

ANALISI DEL BOLLETTINO SISMICO ITALIANO A SEGUITO DEL TERREMOTO DI AMATRICE MW 6.0 (24 AGOSTO 2016, ITALIA CENTRALE)

M.G. Ciaccio² e Gruppo di Lavoro Bollettino Sismico Italiano (A. Marchetti¹, A. Nardi¹, A. Bono¹, F.M. Mele¹, A. Basili¹, A.M. Lombardi², P. Battelli¹, C. Melorio¹, B. Castello¹, V. Lauciani¹, M. Berardi², A. Lisi², L. Pizzino², C. Castellano², A. Rossi², L. Arcoraci², G. Lozzi¹, A. Battelli¹, C. Thermes¹, N. Pagliuca², G. Modica¹, P. Baccheschi¹, S. Pintore¹, M. Quintiliani¹, A. Mandiello¹, C. Marcocci¹, M. Fares¹, D. Cheloni¹, A. Frepoli¹, D. Latorre¹, M. Moretti¹, M. Pastori^{1,2}, M. Vallocchia¹, A. Govoni¹, L. Scognamiglio¹, A. Michelini¹, S. Mazza¹, L. Margheriti¹)

¹ Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, INGV, Centro Nazionale Terremoti

² Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, INGV, Sezione Roma 1 - Sismologia e Tettonofisica

La sequenza sismica che ha seguito il terremoto di magnitudo momento $M_w = 6.0$ di Amatrice del 24 agosto 2016 è la prima sequenza rilevante che avviene da quando, all'inizio del 2015, le modalità di analisi del Bollettino Sismico Italiano (BSI) sono state aggiornate (Nardi *et al.*, 2015). Queste modalità prevedono la pubblicazione del BSI ogni quattro mesi, la revisione solo degli eventi con $M_L \geq 1.5$, la revisione rapida degli eventi con $M_L \geq 3.5$ e l'integrazione all'interno del BSI di tutte le stazioni i cui dati sono archiviati nello *European Integrated Data Archive* (EIDA). Quest'ultima procedura permette di integrare nel BSI anche le stazioni temporanee (Moretti *et al.*, 2014) installate dal gruppo di emergenza SISMICO (*Sismiko working group*, 2016), le cui registrazioni vengono archiviate, in tempi brevi, in EIDA (Mazza *et al.*, 2012) insieme alle stazioni trasmesse in *real-time*. I quadrimestri del BSI 2015 e il primo del 2016 sono attualmente disponibili (<http://cnt.rm.ingv.it/bsi>) in formato *QuakeML*; tale formato contiene le localizzazioni con la stima degli errori, le magnitudo (M_w , M_L , M_d), le letture delle fasi P ed S e i *Time Domain Moment Tensor* (TDMT). Sono stati inoltre sviluppati alcuni *webservices* (http://webservices.rm.ingv.it/ws_fdsn.php) per facilitare la lettura dei *QuakeML* e per rendere il bollettino fruibile alla comunità scientifica.

Il terremoto di $M_w 6.0$, avvenuto nella notte del 24 agosto 2016, alle ore 01:36 UTC, nell'area al confine tra l'Umbria, il Lazio, l'Abruzzo e le Marche, ha dato inizio a una sequenza sismica che al 23 settembre 2016 contava circa 11000 eventi.

Le localizzazioni e la magnitudo dei terremoti registrati dalle stazioni della Rete Sismica Nazionale (RSN, <http://doi.org/10.13127/SD/X0FXNH7QFY>) sono stimate nella sala di sorveglianza dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV) di Roma e rese immediatamente disponibili sul web, nella pagina del Centro Nazionale terremoti (CNT, <http://cnt.rm.ingv.it/>). Tali eventi sono successivamente revisionati dagli analisti del BSI che ne ricontrollano i parametri, inseriscono pesi e polarità degli arrivi delle onde sismiche e, infine, integrano i dati letti in sala dai sismologi in turno con tutti i dati disponibili nel sistema di acquisizione. Tali localizzazioni riviste vanno quindi a sostituire nel database INGV quelle effettuate in sala di monitoraggio. Nei primi giorni della sequenza molti degli analisti del BSI erano impegnati a coprire la turnazione prevista per lo

svolgimento del servizio nella sala di sorveglianza sismica dell'INGV di Roma. Ciò nonostante, è subito iniziata la revisione di tutti gli eventi con magnitudo maggiore di 4.0, terminata a fine agosto, durante la quale è stato identificato un evento di $M_L = 4.5$, immediatamente successivo al *mainshock*, che non era stato localizzato in sala di monitoraggio. Successivamente sono stati revisionati un totale di 83 eventi con $M_L \geq 3.5$: di questi, 76 erano stati localizzati in sala di monitoraggio e 7 hanno modificato la loro M_L in un valore al di sotto di 3.5 dopo la revisione. Tre eventi sono stati recuperati, rivisti dagli analisti del BSI e pubblicati nei primi giorni dopo la scossa principale, ulteriori quattro eventi sono stati recuperati e rivisti e presto saranno pubblicati.

Il numero dei tempi di arrivo associati alle determinazioni ipocentrali degli 83 eventi rivisti risulta aumentato di 8074 letture per le onde P e di 463 letture per le onde S; anche le ampiezze utilizzate sono aumentate di 1292 letture. Le profondità degli eventi forti rivisti variano tra circa 6 e 12 km, una variabilità decisamente ridotta rispetto alle localizzazioni di sala e dovuta all'integrazione delle stazioni temporanee di SISMICO. I valori assoluti delle profondità sono tuttavia dipendenti dal modello di velocità estremamente semplificato utilizzato per la localizzazione. Gli eventi rivisti (stelle e cerchi celesti in Fig. 1) risultano localizzati principalmente a nord dell'evento principale, nei pressi di Norcia, e, in generale, risultano concentrati nei settori di faglia che hanno mostrato il valore di slip minore durante il *mainshock* (Gruppo di lavoro INGV, 2016). Per alcuni degli eventi "forti" sono stati calcolati i meccanismi focali, utilizzando le polarità dei primi arrivi, lette dagli analisti del BSI, e confrontati con i TDMT e con gli altri momenti tensoriali disponibili.

Particolare attenzione è stata posta all'analisi del meccanismo focale dell'evento principale. Partendo dalla revisione effettuata dagli analisti del Bollettino e applicando un ulteriore controllo sulle polarità dei primi arrivi, abbiamo potuto ottenere il meccanismo focale ricalcolando la localizzazione (Hypoellipse code: Lahr, 1989) e utilizzando successivamente il programma Pffit (Reasenber e Oppenheimer, 1985). La soluzione ottenuta grazie a 150 polarità è molto

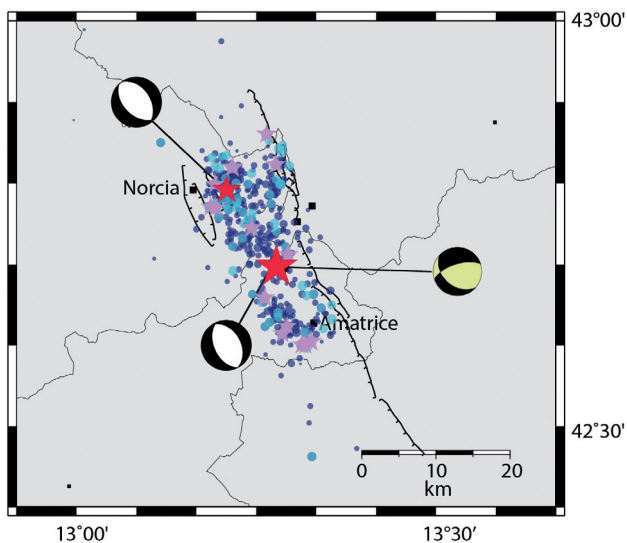


Fig. 1 – Mappa degli epicentri della sequenza sismica di Amatrice. In evidenza le scosse con $M_L \geq 3.5$ analizzate dagli analisti del BSI; le due stelle rosse sono gli eventi principali per i quali è riportato il TDMT (Scognamiglio *et al.*, 2016) e, per il mainshock, il meccanismo focale ottenuto con le prime polarità, le stelle viola gli eventi con $M_L \geq 4.0$, i cerchi celesti sono gli eventi $3.5 \leq M_L < 4.0$ e i cerchi blu sono gli eventi localizzati dal BSI nelle prime 8 ore del giorno 24 agosto.

robusta con fattori di qualità $Q_p=A$ e $Q_f=B$, e presenta una componente distensiva prevalente con una minore componente trascorrente; selezionando ulteriormente le polarità registrate alle stazioni più vicine, entro un raggio di 200 km (85 primi arrivi), il meccanismo focale resta analogo e con fattori di qualità $Q_p=A$, $Q_f=A$. La soluzione così ottenuta, inoltre, confrontata con il TDMT, risulta avere lo *strike* del piano nodale immergente verso SW, maggiormente ruotato verso W e un dip minore (Tab. 1):

Tab. 1 – Parametri del *mainshock* (latitudine, longitudine, profondità, magnitudo, *strike*, *dip*, e *rake* del piano nodale immergente verso SW) ottenuti in questo studio e con il TDMT.

Mainshock	Latitude Longitude	Depth	M	Strike Dip Rake
24/08/2016 01:36 UTC	42.696 13.235	8.1km Ml 6.0	130 40 -40	First Polarities
24/08/2016 01:36 UTC	42.706 13.223	5.0 km Mw 5.96	155 49 -87	TDMT

Nella sala di sorveglianza di Roma il momento di maggiore criticità operativa si ha nelle prime ore che seguono un evento significativo, quando la frequenza degli eventi sismici è massima e il personale ausiliario, previsto nelle emergenze, non è ancora operativo (Pondrelli *et al.*, in press). Tale circostanza determina un inevitabile innalzamento della soglia di completezza della magnitudo degli eventi revisionati in sala. Per questo motivo, il BSI, nel mese di settembre, si è concentrato nell’analisi delle prime 8 ore della giornata del 24 agosto (dalle 00:00 alle 08:00 UTC). In particolare, sono state revisionate tutte le associazioni automatiche del sistema di localizzazione non riviste dai turnisti di sala in tempo reale. In quelle ore in sala di monitoraggio erano stati localizzati 133 eventi mentre il BSI ne ha localizzati 408 (cerchi blu in Fig. 1). E’ prevista inoltre l’analisi di tali eventi con tecniche di localizzazione relativa per capire quali porzioni della faglia siano state attivate dagli *aftershocks* nelle prime ore della sequenza e come si distribuiscono gli ipocentri. E’ stata fatta una stima della magnitudo di completezza degli eventi localizzati in sala di sorveglianza sismica utilizzando due metodi: il *Goodness of Fit method* (GFT) e il *Mc and b-value stability method* (MBS) (Woessner e Wiemer, 2005). Il valore così ottenuto è stato confrontato con quello relativo alle prime ore di analisi del BSI

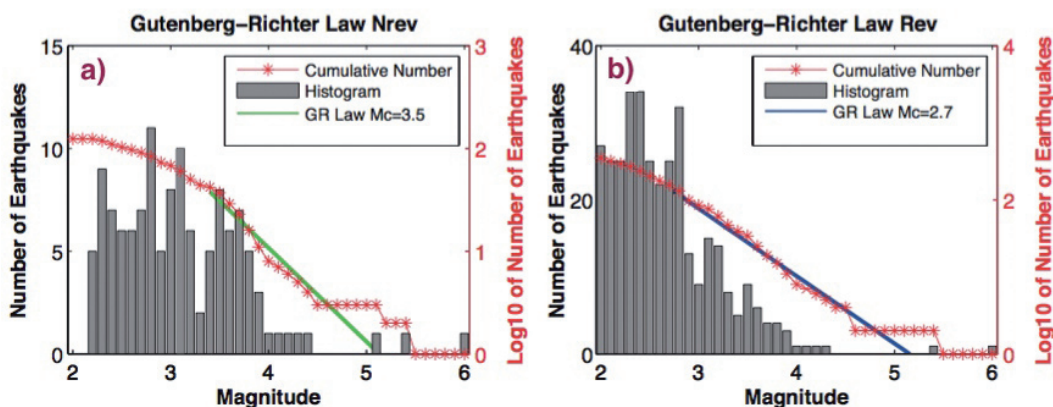


Fig. 2 – Stima della magnitudo di completezza M_c . a) *Fit* dei dati con la legge Gutenberg-Richter per il catalogo degli eventi localizzati in sala (NRev). La figura mostra l’istogramma (colonne grigie) e la distribuzione cumulativa (asterischi rossi) delle magnitudo. La linea verde segue la legge Gutenberg-Richter per il valore più probabile $M_c=3.5$. b) Come in 2a) ma per il catalogo degli eventi rivisti dal BSI (Rev). Il valore più probabile di M_c è pari a 2.7.

(Fig. 2): la magnitudo di completezza delle prime ore passa da circa 3.5 a 2.7. E' tuttavia da considerare che analizzando il continuo con sistemi automatici certamente si possano trovare ancora moltissimi eventi in queste prime ore di sequenza.

Ringraziamenti. Si ringraziano tutti i turnisti della sala di monitoraggio di Roma, il personale CNT della sede di Ancona e tutti gli operatori di SISMICO.

Bibliografia

Bollettino Sismico Italiano <http://cnt.rm.ingv.it/bsi>

Bollettino Sismico Italiano gruppo di lavoro Amatrice (2016). Rapporto preliminare sulle attività svolte dal gruppo Bollettino Sismico Italiano a seguito del terremoto di Amatrice Mw 6.0 (24 agosto 2016, Italia centrale). doi: 10.5281/zenodo.157545.

Gruppo di Lavoro INGV sul terremoto di Amatrice (2016b). Secondo rapporto di sintesi sul Terremoto di Amatrice MI 6.0 del 24 Agosto 2016 (Italia Centrale). doi: 10.5281/zenodo.154400.

Lahr J.C. (1989). HYPOELLIPSE/version 2.00: a computer program for determining local earthquakes hypocentral parameters, magnitude and first motion pattern. U.S. Geol. Surv. Open-File Rep., 89-116, 92 pp.

Mazza, S., A. Basili, A. Bono, V. Lauciani, A.G. Mandiello, C. Marcocci, F.M. Mele, S. Pintore, M. Quintiliani, L. Scognamiglio and G. Selvaggi (2012). AIDA – Seismic data acquisition, processing, storage and distribution at the National Earthquake Center, INGV. *Annals of Geophysics*, 55 (4); doi:10.4401/ag-6145.

Moretti, M., Cattaneo, C., Cecere, G., Govoni, A., Margheriti, L. and S. Mazza (2014). Integrazione dei dati sismologici delle reti sismiche permanenti e temporanee. *Regolamento e procedure. Rapporti Tecnici INGV*, 276.

Nardi A., et al. (2015). Bollettino Sismico Italiano: novità. 34° GNGTS. Trieste, novembre 2015.

Pondrelli et al. (2016). Pianificazione e gestione di un'emergenza sismica: esercitazione INGV del 26 novembre 2015 effettuata nell'ambito della Linea di Attività T5 "Sorveglianza sismica e operatività post terremoto". *Quaderni di Geofisica*, in press.

Reasenber, P. and D. Oppenheimer (1985). FPFIT, FP- PLOT and FPPAGE: FORTRAN computer programs for calculating and displaying earthquake fault-plane solutions, *U.S. Geol. Surv. Open-File Rep.* 85-739.

SISMICO working group (2016). Rapporto preliminare sulle attività svolte dal gruppo operativo SISMICO a seguito del terremoto di Amatrice Mw 6.0 (24 agosto 2016, Italia centrale) doi: 10.5281/zenodo.157546.

Woessner J. and S. Wiemer (2005). Assessing the quality of earthquake catalogues: Estimating the magnitude of completeness and its uncertainty *Bulletin of the Seismological Society of America* 95 (2), 684-698, 2005.