Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia

3 ottobre 2016

GRUPPO BOLLETTINO SISMICO ITALIANO

RAPPORTO PRELIMINARE SULLE ATTIVITÀ SVOLTE DAL GRUPPO BOLLETTINO SISMICO ITALIANO A SEGUITO DEL TERREMOTO DI AMATRICE Mw 6.0 (24 AGOSTO 2016, ITALIA CENTRALE)

BOLLETTINO SISMICO ITALIANO – gruppo di lavoro Amatrice:

L. MARGHERITI[1], A. MARCHETTI [1], M. G. CIACCIO[2], A. NARDI[1], A. BONO[1], F. M. MELE[1], A. ROSSI[2], P. BATTELLI[1], C. MELORIO[1], B. CASTELLO[1], V. LAUCIANI[1], M. BERARDI[2], C. CASTELLANO[2], L. ARCORACI[2], G. LOZZI[1], A. BATTELLI[1], C. THERMES[1], N. PAGLIUCA[2], G. MODICA[1], A. LISI[2], L. PIZZINO[2], P. BACCHESCHI[1], S. PINTORE[1], M. QUINTILIANI[1], A. MANDIELLO[1], C. MARCOCCI[1], M. FARES[1], D. CHELONI[1], A. FREPOLI[1], D. LATORRE[1], A.M. LOMBARDI[2], M. MORETTI[1], M. PASTORI[1,2], M. VALLOCCHIA[1], A. GOVONI[1], L. SCOGNAMIGLIO[1], A. BASILI[1]. A. MICHELINI[1] E S. MAZZA[1]

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

Citare come: *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***

Riassunto

La sequenza sismica che ha seguito il terremoto di magnitudo momento M_W = 6.0 di Amatrice del 24 agosto 2016 è la prima 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 ML≥ 1.5, la revisione rapida degli eventi con ML≥ 3.5 e l'integrazione all'interno del BSI di tutte le stazioni i cui dati sono archiviati nello European Integrated Data Archive. Quest'ultima procedura permette di integrare nel BSI anche le stazioni temporanee installate dal gruppo di emergenza SISMIKO, le cui registrazioni vengono archiviate in EIDA, in tempi brevi, insieme alle stazioni trasmesse in real-time.
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'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (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, nel mese di settembre, sono stati analizzati e ricontrollati 83 eventi di magnitudo M_L≥ 3.5 dei quali 76 sono risultati con M_L finale maggiore di tale soglia. Inoltre sono state analizzate le prime 8 ore del 24 agosto, le ore più critiche per la sala di sorveglianza dell'INGV. La magnitudo di completezza di quelle prime ore, dopo l'analisi del BSI, si è abbassata considerevolmente, passando da magnitudo 3.5 a 2.7.

Introduzione

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 ad una sequenza sismica che al 23 settembre 2016 conta circa 11000 eventi, localizzati dalla sala di sorveglianza sismica dell'INGV di Roma.
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'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 ed, 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 fatte in sala di monitoraggio.
Dal 2015 è stata predisposta una modalità di analisi che prevede la revisione entro alcuni giorni degli eventi "forti", con M_L≥ 3.5, e che consente inoltre di integrare tutte le stazioni sismiche temporanee disponibili nell'archivio EIDA [European Integrated Data Archive, http://eida.rm.ingv.it/, Mazza et al., 2012].
Quella di Amatrice è la prima sequenza sismica importante da quando sono state introdotte queste nuove modalità di analisi; riportiamo in questo report le principali azioni intraprese e

i risultati di questo primo mese di lavoro del gruppo del BSI. Tali azioni erano state in parte codificate nell'esercitazione di novembre 2015 [Pondrelli *et al.*, 2016] ed hanno contribuito alla stesura dei report di sintesi INGV [Gruppo di lavoro INGV 2016 primo e secondo report, 2016a; 2016b]. In primo luogo, è stata fatta una immediata revisione della localizzazione e magnitudo del *mainshock* e sono state cercate eventuali scosse significative nelle prime ore successive alla scossa principale. Successivamente, sono stati revisionati gli eventi "forti" rilevati dal sistema automatico ma non analizzati nella sala di sorveglianza sismica. Infine, sono state revisionate tutte le scosse con $M_L \geq 3.5$, dal 24 agosto al 23 settembre 2016.

Il Bollettino Sismico Italiano

Il BSI viene da decenni prodotto dall'INGV. Dal 2015 sono reperibili al sito http://cnt.rm.ingv.it/bsi le uscite quadrimestrali del BSI, descritte in un breve documento tecnico sempre rintracciabile sullo stesso sito [Bollettino Sismico Italiano 2015_1; 2015_2; 2015_3; 2016_1]. Il BSI è attualmente disponibile in formato *QuakeML* e contiene le localizzazioni con la stima degli errori, le magnitudo (M_W, M_L, Md), le letture delle fasi P ed S e i *Time Domain Moment Tensor* (TDMT), quando calcolabili. 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 nazionale ed internazionale. Inoltre, i dati del BSI confluiscono *all'International Seismological Centre* (ISC), dove sono integrati all'interno del bollettino europeo. I dati del BSI (1985-2016) sono disponibili sia nel data-base ISIDe ([SIDe *working group*, 2016] sia nella pagina web del CNT. La soglia di magnitudo per la quale è possibile localizzare un evento in qualsiasi parte del territorio italiano (fatta esclusione per la Sardegna e per alcuni casi particolari) è circa M_L=1.7 [Amato *and* Mele, 2008]. Tuttavia, l'integrazione in tempo reale dei dati relativi a diverse reti integrate alla RSN (IV, http://doi.org/10.13127/SD/X0FXNH7QFY, MN, http://doi.org/10.13127/SD/FBBBTDTD6), garantisce, in alcune aree, la localizzazione di un gran numero di eventi più piccoli. Dalla fine del 2014 il gruppo di lavoro del BSI ha deciso di revisionare solo gli eventi di magnitudo maggiore o uguale a 1.5, per mantenere così una certa omogeneità su tutto il territorio nazionale e comunque rendere il lavoro degli analisti più veloce, permettendo le uscite quadrimestrali (dal 2009 complessivamente si localizzano decine di migliaia di terremoti ogni anno di cui circa 1/3 sopra M_L=1.5). Per gli eventi più piccoli rimane disponibile nel database la localizzazione realizzata nella sala di monitoraggio. Da gennaio 2015 gli analisti del BSI rielaborano gli eventi con $M_L \geq 3.5$ nei giorni seguenti all'accadimento dell'evento, per fornire un dato migliore in tempi brevi. Per rianalizzare gli eventi "forti" sono state sviluppate opzioni dedicate, che permettono di localizzare l'evento utilizzando solo le stazioni più vicine, mantenendo tuttavia l'associazione di tutti i tempi di arrivo anche alle stazioni più lontane (queste letture sono fondamentali per gli studi sulla struttura crostale e litosferica italiana ed europea e per localizzazioni più elaborate svolte dai diversi gruppi di ricerca). Questa procedura conferisce maggiore completezza al prodotto principale del BSI, cioè le letture dei tempi di arrivo P ed S, consentendo comunque di ottenere delle buone localizzazioni, nonostante il modello di velocità crostale utilizzato sia estremamente semplice (vedi Tab. 1).

Spessore (km)	Velocità P (km/s)	Velocità S (km/s)
11.1	5.00	2.89
26.9	6.50	3.75
semispazio	8.05	4.65

Tabella 1. Modello di velocità utilizzato nelle localizzazioni di sala sismica e dal BSI

E' stato inoltre perfezionato lo strumento che permette di leggere le ampiezze con le quali si calcola la M_L. Tale miglioramento si è reso necessario per minimizzare gli errori commessi dal sistema automatico in presenza di più eventi consecutivi.

Dal 2016 gli analisti del BSI possono utilizzare tutte le stazioni archiviate all'interno di EIDA (http://eida.rm.ingv.it, http://www.orfeus-eu.org/data/eida/) e, quindi, anche le stazioni temporanee installate in emergenza dal gruppo di coordinamento SISMIKO [SISMIKO *working group*, *2016*; Moretti *et al.*, 2014]. Tale procedura garantisce l'integrazione di un maggior numero di stazioni vicine all'epicentro e, quindi, una maggiore accuratezza nella stima degli ipocentri e, in particolare, della profondità (che resta comunque anche funzione del modello di velocità utilizzato).

La sequenza sismica di Amatrice: revisione degli eventi di magnitudo $M_L \geq$ 3.5 nel periodo 23 agosto - 23 settembre 2016

Nei giorni successivi all'evento sismico di M_w 6.0, avvenuto nella notte del 24 agosto 2016 alle ore 01:36 UTC, il gruppo del BSI, nonostante molti fossero occupati nell'attività della sala di monitoraggio, si è impegnato nell'immediata revisione della localizzazione del *mainshock* e nella ricerca di scosse significative avvenute nelle ore successive alla scossa principale. Entro il 30 agosto era stato rilocalizzato il *mainshock* (Fig. 1) e tutti gli eventi di $M_L \geq 4.0$. La localizzazione ipocentrale del *mainshock* è stata attentamente rivista ed è stata pubblicata solo il 31 agosto 2016, dopo aver informato il Dipartimento di Protezione Civile (DPC) della modifica che si stava apportando al database (Tab. 2).

Cronologia delle localizzazioni calcolate

Tipo	Tempo origine (UTC)	Latitudine	Longitudine	Magnitudo	Profondità (km)	Ora pubblicazione (UTC)	Autore
Rev 100	2016-08-24 01:36:32	42.71	13.22	ML 6.0	4	2016-08-24 01:53:18	Sala Sismica INGV-Roma
Rev 501	2016-08-24 01:36:32	42.71	13.22	Mw 6.0	5	2016-08-24 03:14:39	TDMT-INGV Revised
Rev 1000 ★	2016-08-24 01:36:32	42.7	13.23	ML 6.0	8	2016-08-31 06:40:09	Bollettino Sismico Italiano INGV
Rev 501	2016-08-24 01:36:32	42.71	13.22	Mw 6.0 ★	5	2016-09-23 11:19:11	TDMT-INGV Revised

★ Migliore localizzazione e migliore magnitudo calcolate finora.

Tabella 2. Localizzazioni dell'evento principale e tempi di pubblicazione.

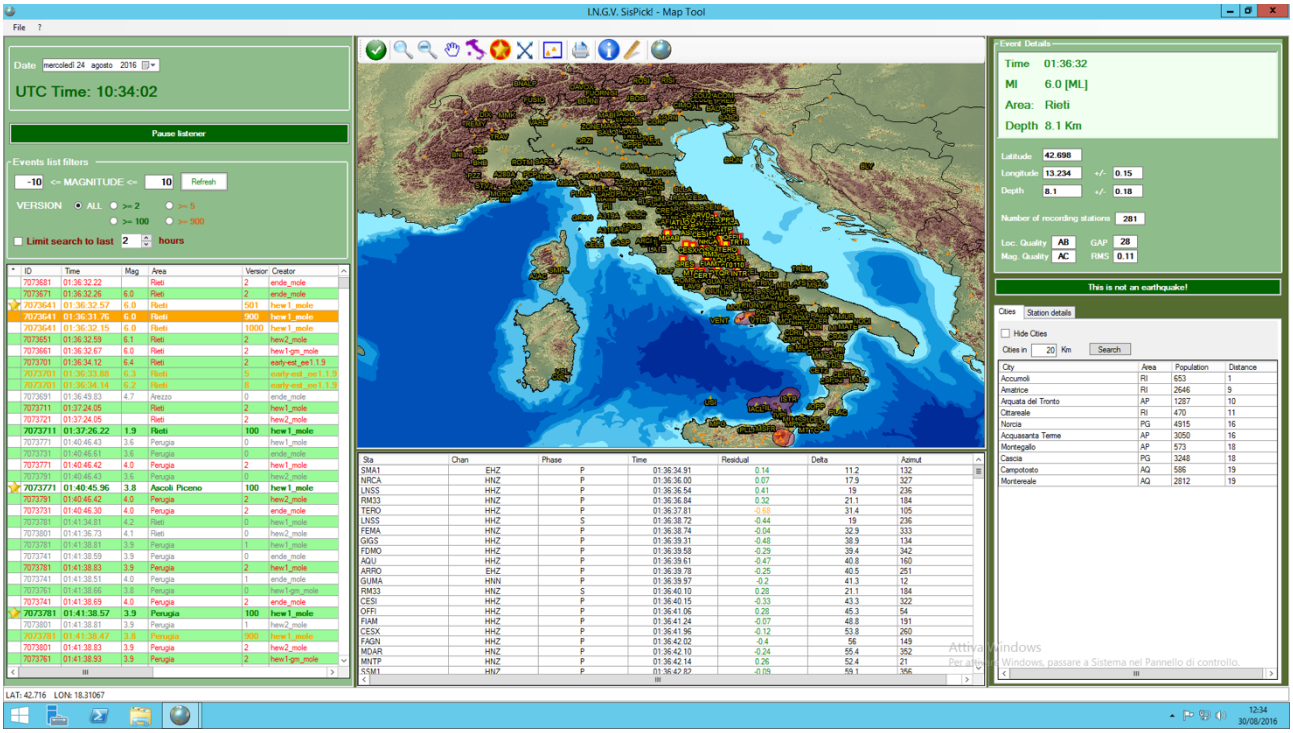


Figura 1: Schermata della localizzazione dell'evento principale realizzata dagli analisti del BSI.

Nello stesso giorno sono stati pubblicati i parametri di una scossa di M_L=4.5, avvenuta meno di un minuto dopo l'evento principale, alle 01:37:26 UTC, non localizzato in sala di monitoraggio perché le relative registrazioni risultavano contenute all'interno del sismogramma della scossa principale di M_w=6.0 (Fig. 2). La pubblicazione dei restanti eventi rianalizzati è prevista per la metà di ottobre, successivamente alla pubblicazione di questo report. Tale revisione può considerarsi definitiva, perché ottenuta dall'integrazione delle stazioni permanenti con tutte le stazioni temporanee (sia le *real-time* sia le *stand-alone*) e non richiederà, quindi, ulteriori variazioni.

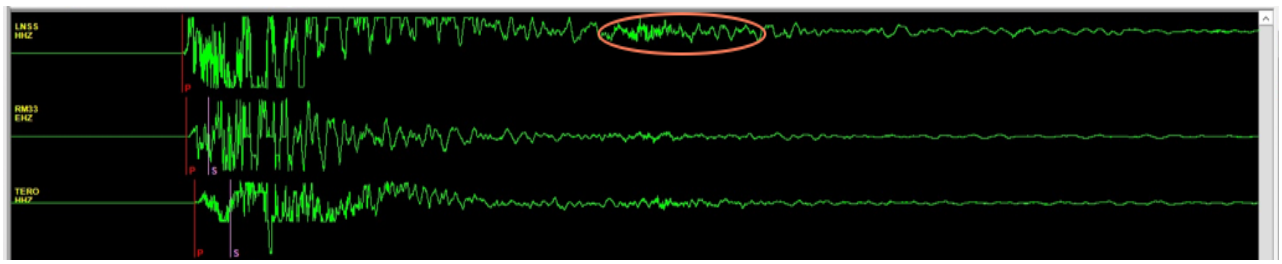


Figura 2: Forme d'onda dell'evento di M_w=6.0 di Amatrice. Nel cerchio rosso, per la stazione di Leonessa (LNSS), è evidenziato l'evento di M_L=4.5 sfuggito ai turnisti in sala di sorveglianza e rilocalizzato e pubblicato dal BSI.

La revisione di tutte le scosse con $M_L \geq 3.5$ dal 24 agosto al 23 settembre 2016, è proseguita nel mese di settembre partendo dall'elenco delle scosse localizzate in sala di monitoraggio. Queste risultavano essere 76 di cui una con $M_L \geq 6.0$, una con $5.0 \leq M_L < 6.0$, 14 eventi con $4.0 \leq M_L < 5.0$ e 59 eventi con $3.5 \leq M_L < 4.0$. Per questi eventi sono stati rivalutati dal BSI i

parametri ipocentrali e le magnitudo; queste ultime, in alcuni casi, sono risultate inferiori ai valori stimati in sala di monitoraggio, determinando l'eliminazione dei corrispettivi eventi dalla tabella finale delle scosse considerate "forti". Al contempo, alcuni eventi, inizialmente elaborati in sala sismica con magnitudo al di sotto della soglia M_L=3.5, che da un'analisi visuale delle registrazioni mostravano ampiezze confrontabili con gli eventi già classificati come $M_L \geq 3.5$, sono stati rianalizzati ed eventualmente considerati all'interno della tabella stessa. Sono stati, inoltre, ricontrollati tutti gli eventi che dall'analisi automatica realizzata dai sistemi di acquisizione di Roma e della sede INGV di Ancona risultavano ricadere nell'intervallo di magnitudo di interesse. In totale sono stati ricontrollati 83 eventi.
La revisione di questi eventi "forti" ha comportato l'analisi delle registrazioni delle stazioni sismiche temporanee installate da SISMIKO (18 stazioni con sigla T12** - rete IV) [SISMIKO *working group,* 2016] ed Emersito (sigla AM05 rete XO, [EMERSITO *working group,* 2016], integrate con le forme d'onda delle stazioni della RSN.
In tabella 3 sono riportate sia le determinazioni ipocentrali originarie di sala sismica, sia le localizzazioni finali ottenute dalla revisione, effettuata dal gruppo di lavoro BSI, degli 83 eventi principali, con $M_L \geq 3.5$, avvenuti nel primo mese di sequenza. La loro mappa è mostrata in figura 3.

Versione	Tempo origine	lat	lon	dep	ml	mw	Fasi P	Fasi S	Ampiezze
100	24/08/16 01:36	42.7063	13.2232	4.2	6.01	5.96	15	7	482
1000	24/08/16 01:36	42.6983	13.2335	8.1	6.02	5.96	281	9	482
1000	24/08/16 01:37	42.7123	13.2533	9	4.48		27	7	9
100	24/08/16 01:40	42.7928	13.1968	3.5	3.84		8	9	8
900	24/08/16 01:40	42.7647	13.1723	9.7	3.18		43	21	43
100	24/08/16 01:41	42.7807	13.1523	7.1	3.92		24	20	32
900	24/08/16 01:41	42.7803	13.1683	9.7	3.93		80	14	32
900	24/08/16 01:42	42.7798	13.1575	9.7	3.63		24	14	14
100	24/08/16 01:46	42.7613	13.1532	5.5	3.67		37	25	64
900	24/08/16 01:46	42.7645	13.1777	6.6	3.67		64	27	64
900	24/08/16 01:55	42.7217	13.2497	6.3	3.45		30	16	6
100	24/08/16 01:56	42.6138	13.275	4.8	4.44	4.34	50	25	312
900	24/08/16 01:56	42.6008	13.2763	7.7	4.45	4.34	128	17	312
100	24/08/16 02:01	42.7982	13.2553	8.5	3.9		17	27	248
900	24/08/16 02:01	42.7988	13.2412	6.9	3.9		113	18	248
100	24/08/16 02:05	42.6072	13.2762	10.3	3.9		14	22	306
900	24/08/16 02:05	42.6162	13.2812	6.7	3.9		143	15	306
100	24/08/16 02:07	42.6577	13.3182	9.6	3.83		19	19	146
900	24/08/16 02:07	42.6632	13.2957	6.4	3.83		94	21	146
100	24/08/16 02:09	42.7417	13.1987	8.6	3.58		16	20	52

900	24/08/16 02:09	42.7352	13.1897	11.4	2.93		17	17	62
100	24/08/16 02:10	42.7577	13.1877	10.7	3.8		16	6	14
900	24/08/16 02:10	42.7558	13.1927	9.5	3.58		18	8	19
100	24/08/16 02:12	42.8107	13.1587	10.2	3.46		33	15	38
900	24/08/16 02:12	42.8068	13.1488	8.9	3.48		75	49	38
100	24/08/16 02:13	42.773	13.1677	10.7	3.74		13	23	242
900	24/08/16 02:13	42.7678	13.1538	9.3	3.75		119	63	242
1000	24/08/16 02:15	42.8002	13.1663	7.5	3.67		83	14	146
100	24/08/16 02:19	42.635	13.2317	10.1	3.76		22	21	20
900	24/08/16 02:19	42.6403	13.2362	10.4	3.76		127	17	20
100	24/08/16 02:33	42.7935	13.1537	8.7	5.39	5.35	15	22	548
900	24/08/16 02:33	42.7922	13.1507	8	5.39	5.35	211	22	548
100	24/08/16 02:51	42.7682	13.2217	6.2	3.65		45	30	204
900	24/08/16 02:51	42.7747	13.225	6.3	3.65		118	30	204
100	24/08/16 02:55	42.6512	13.279	1.2	3.54		45	15	143
900	24/08/16 02:55	42.6463	13.3087	7.5	3.55		61	10	143
100	24/08/16 02:59	42.7985	13.1425	9	4.05	3.89	17	29	340
900	24/08/16 02:59	42.7987	13.1313	6.7	4.08	3.89	123	29	340
100	24/08/16 03:08	42.6123	13.2713	15.4	3.95	3.69	17	23	46
900	24/08/16 03:08	42.6237	13.2518	10.6	4	3.69	124	20	46
100	24/08/16 03:09	42.6962	13.2322	9.6	3.72		16	12	6
900	24/08/16 03:09	42.6882	13.2137	9.2	2.8		19	19	6
100	24/08/16 03:16	42.7255	13.1662	8.8	3.51		22	30	244
900	24/08/16 03:16	42.7222	13.1605	8.2	3.5		91	22	244
100	24/08/16 03:17	42.7617	13.1592	8.4	3.76		24	34	238
900	24/08/16 03:17	42.7588	13.1378	7.8	3.77		120	29	238
100	24/08/16 03:19	42.7862	13.21	5.7	3.69		18	27	72
900	24/08/16 03:19	42.7862	13.2227	6.6	3.67		84	26	72
100	24/08/16 03:40	42.6168	13.2453	10.6	4.22	4.12	27	35	344
900	24/08/16 03:40	42.6143	13.2437	10.7	4.23	4.12	197	25	344
100	24/08/16 03:59	42.722	13.2188	9.9	3.49		10	9	30
900	24/08/16 03:59	42.722	13.2188	9.9	2.15		9	9	30
100	24/08/16 04:06	42.7692	13.1247	7.6	4.27	4.4	15	33	220
900	24/08/16 04:06	42.771	13.1238	6.2	4.28	4.4	167	28	220
100	24/08/16 04:25	42.6413	13.2408	9.4	3.55		18	38	194
900	24/08/16 04:25	42.6353	13.2363	9.7	3.54		112	19	194
1000	24/08/16 04:26	42.77	13.1668	9.4	3.53		68	15	46
100	24/08/16 04:33	42.6283	13.2397	10.1	3.54		17	27	178
900	24/08/16 04:33	42.6232	13.2148	9.8	3.54		109	14	178

100	24/08/16 04:38	42.6395	13.211	7.1	3.53		17	37	180
900	24/08/16 04:38	42.6287	13.2225	9.5	3.54		108	19	180
100	24/08/16 04:44	42.7352	13.1847	9.7	3.72	3.46	19	14	88
900	24/08/16 04:44	42.7322	13.1773	8.3	3.6	3.46	129	29	258
100	24/08/16 04:57	42.8388	13.0475	8.7	3.57		13	15	152
900	24/08/16 04:57	42.8502	13.0405	7.6	3.57		103	16	152
100	24/08/16 05:02	42.4597	13.2865	9.8	3.64	3.35	22	29	46
900	24/08/16 05:02	42.4623	13.2928	9.6	3.63	3.35	56	16	46
900	24/08/16 05:31	42.6633	13.1937	9.6	3.49		92	42	84
100	24/08/16 06:54	42.7877	13.1442	10.1	3.47		15	31	148
900	24/08/16 06:54	42.7993	13.1863	8.8	3.51		125	42	148
100	24/08/16 07:10	42.7783	13.173	9.7	3.62		21	26	26
900	24/08/16 07:10	42.7763	13.1523	9.4	3.11		30	30	12
100	24/08/16 09:31	42.8123	13.1727	9.9	3.74	3.38	24	21	120
900	24/08/16 09:31	42.8123	13.1923	9.5	3.75	3.38	96	42	120
100	24/08/16 11:50	42.8188	13.1463	8.4	4.7	4.53	26	38	488
900	24/08/16 11:50	42.8197	13.1602	9.8	4.72	4.53	151	34	488
100	24/08/16 11:59	42.8313	13.1403	9	3.46		21	31	164
900	24/08/16 11:59	42.8332	13.1435	10.2	3.46		111	33	164
100	24/08/16 12:06	42.8327	13.1438	10	3.57		21	34	236
900	24/08/16 12:06	42.8347	13.1507	10.3	3.57		148	36	236
100	24/08/16 14:02	42.7992	13.253	8.3	3.91	3.77	28	33	268
900	24/08/16 14:02	42.7997	13.2403	8.3	3.93	3.77	154	61	268
100	24/08/16 17:46	42.6628	13.2222	10	4.4	4.24	20	28	426
900	24/08/16 17:46	42.6587	13.2147	10.3	4.35	4.24	137	30	426
100	24/08/16 20:21	42.7815	13.1542	8.3	3.63	3.32	27	24	36
900	24/08/16 20:21	42.7808	13.1477	8.7	3.59	3.32	132	57	36
100	24/08/16 23:22	42.6478	13.2127	11.2	3.83	4	15	23	288
900	24/08/16 23:22	42.6535	13.2098	11.8	3.83	4	144	19	288
100	25/08/16 03:17	42.7527	13.2082	9.5	4.48	4.34	13	27	456
900	25/08/16 03:17	42.7452	13.1927	9	4.48	4.34	209	48	456
100	25/08/16 04:51	42.6183	13.3343	13.3	3.93	3.76	15	22	340
900	25/08/16 04:51	42.6323	13.3263	8.2	3.94	3.76	147	32	340
100	25/08/16 12:36	42.5957	13.2902	10	4.33	4.42	24	37	380
900	25/08/16 12:36	42.6003	13.2823	7.5	4.32	4.42	172	34	380
100	25/08/16 23:49	42.7968	13.2355	7.5	3.62		35	41	334
900	25/08/16 23:49	42.8047	13.2337	9	3.67		122	29	334
100	26/08/16 00:04	42.6667	13.2873	10.2	3.75	3.56	19	21	290
900	26/08/16 00:04	42.6617	13.2842	8.3	3.77	3.56	135	29	290
100	26/08/16 04:28	42.6003	13.2895	10.9	4.8	4.76	40	11	104

900	26/08/16 04:28	42.6048	13.2915	8.7	4.65	4.76	219	29	494
100	26/08/16 05:32	42.7668	13.1495	7.9	3.47		38	47	238
900	26/08/16 05:32	42.7723	13.1493	8.5	3.48		149	45	238
900	26/08/16 14:32	42.5967	13.2815	10.1	3.74		107	31	26
100	26/08/16 16:05	42.6927	13.1477	9.9	3.79	3.47	31	23	114
900	26/08/16 16:05	42.6922	13.1613	10.8	3.83	3.47	150	43	114
100	27/08/16 01:26	42.8362	13.2453	9.1	3.72	3.73	24	25	352
900	27/08/16 01:26	42.8377	13.2437	8.9	3.72	3.73	167	29	352
100	27/08/16 02:50	42.8392	13.2488	8.2	4.02	4	23	32	400
900	27/08/16 02:50	42.8428	13.2377	7.8	3.9	4	156	32	400
100	27/08/16 10:40	42.8382	13.2462	6.8	3.58		42	50	218
900	27/08/16 10:40	42.8468	13.2442	8.4	3.55		149	46	218
100	28/08/16 13:07	42.5953	13.2923	10.3	3.65	3.52	36	17	316
900	28/08/16 13:07	42.5985	13.2867	8.6	3.67	3.52	151	29	316
100	28/08/16 15:37	42.7732	13.1192	10.9	3.57		33	35	272
900	28/08/16 15:37	42.7718	13.1198	11.5	3.55		124	68	272
100	28/08/16 15:55	42.8198	13.2382	8.7	4.38	4.19	42	31	446
900	28/08/16 15:55	42.8232	13.2323	8.7	4.39	4.19	165	38	446
100	28/08/16 16:42	42.8207	13.1428	9.8	3.78	3.73	21	34	324
900	28/08/16 16:42	42.8183	13.1387	9.2	3.8	3.73	164	39	324
100	29/08/16 01:44	42.7625	13.1948	9.8	3.45		27	24	266
900	29/08/16 01:44	42.7637	13.1937	10.3	3.51		131	28	266
100	29/08/16 06:20	42.7482	13.1865	9.3	3.58		25	34	256
900	29/08/16 06:20	42.75	13.1792	9.6	3.62		164	37	256
100	31/08/16 11:26	42.8397	13.1358	10.9	3.76	3.91	16	29	200
900	31/08/16 11:26	42.8315	13.1263	9.6	3.76	3.91	141	26	200
100	31/08/16 11:52	42.8663	13.2363	10.3	3.52	3.41	20	38	174
900	31/08/16 11:52	42.853	13.2213	8.3	3.55	3.41	135	47	174
100	31/08/16 13:23	42.7577	13.236	12.1	3.88	3.32	22	22	18
900	31/08/16 13:23	42.7507	13.2305	11.2	3.81	3.32	86	30	18
100	31/08/16 18:12	42.8272	13.2595	9.4	3.69	3.48	20	34	330
900	31/08/16 18:12	42.8218	13.2553	8.6	3.7	3.48	131	31	330
100	31/08/16 20:08	42.8278	13.1347	10.8	3.5		26	43	274
900	31/08/16 20:08	42.8213	13.1312	9.5	3.5		157	47	274
100	31/08/16 21:42	42.7795	13.1653	10.7	3.49		32	33	274
900	31/08/16 21:42	42.776	13.168	9.8	3.46		134	36	274
100	31/08/16 22:14	42.7475	13.2387	10.5	3.5		26	30	263
900	31/08/16 22:14	42.7408	13.2335	9.2	3.51		162	46	291
100	01/09/16 03:53	42.6232	13.3153	9.9	3.61		27	28	258

900	01/09/16 03:53	42.6207	13.3122	8.9	3.59		112	29	258
100	01/09/16 11:35	42.5637	13.3038	12.1	3.66	3.27	21	17	78
900	01/09/16 11:35	42.558	13.299	10.8	3.3		108	31	164
100	03/09/16 01:34	42.7753	13.13	10.6	4.28	4.22	20	39	434
900	03/09/16 01:34	42.7698	13.1323	8.9	4.28	4.22	195	44	434
100	03/09/16 10:18	42.8657	13.2145	9.3	4.51	4.3	23	27	450
900	03/09/16 10:18	42.8607	13.2173	8.3	4.44	4.3	196	45	450
100	05/09/16 21:36	42.6523	13.34	10.4	3.53		21	36	218
900	05/09/16 21:36	42.6502	13.3262	9.6	3.46		139	33	218
100	15/09/16 14:40	42.7848	13.1325	10	3.93	3.67	22	21	122
900	15/09/16 14:40	42.768	13.1335	9.2	3.91	3.67	94	25	122
100	15/09/16 14:43	42.7762	13.132	10.1	3.67		29	27	184
900	15/09/16 14:43	42.7747	13.1303	10	3.66		117	27	184
100	15/09/16 14:44	42.7783	13.1362	8.5	3.89		28	23	22
900	15/09/16 14:44	42.7762	13.1342	8.3	3.65		58	41	35
100	19/09/16 23:34	42.6742	13.2837	9.7	4.07	3.65	28	20	356
1000	19/09/16 23:34	42.6737	13.2773	9.2	3.9	3.65	162	30	356
100	21/09/16 07:07	42.8052	13.1518	10	3.46		34	27	238
900	21/09/16 07:07	42.803	13.1547	8.8	3.43		41	41	238
100	22/09/16 20:03	42.758	13.1853	10.9	3.78	3.42	15	14	92
900	22/09/16 20:03	42.7563	13.1863	9.4	3.67	3.42	127	24	330

Tabella 3. Lista delle localizzazioni con $M_L \geq 3.5$ di sala - versione 100 (linee verdi), del BSI - versione 900 (linee bianche) e del BSI pubblicate - versione 1000 (linee rosa). Per ogni evento oltre ai parametri ipocentrali sono riportati il numero di fasi P ed S che hanno contribuito alla localizzazione, la magnitudo dell'evento (M_L ed M_w) e il numero di ampiezze che hanno contribuito alla sua determinazione. Gli eventi con caratteri rossi sono quelli che non erano stati localizzati in sala di monitoraggio, le 1000 sono localizzazioni già pubblicate mentre le 900 sono localizzazioni lavorate dal BSI e non ancora pubblicate. Gli eventi con caratteri verdi sono quelli che nella localizzazione di sala avevano $M_L \geq 3.5$, valore che successivamente alla revisione è sceso al di sotto di tale soglia.

Riassumendo, sono stati revisionati un totale di 83 eventi con $M_L \geq 3.5$: di questi, 76 erano stati localizzati in sala di monitoraggio (versione 100) e 7 hanno modificato la loro M_L in un valore al di sotto di 3.5 dopo la revisione (scritte in caratteri verdi). Tre eventi sono stati recuperati, rivisti dagli analisti del BSI e pubblicati nei primi giorni dopo la scossa principale e, pertanto, sono presenti solo come versione 1000. Ulteriori quattro eventi sono stati recuperati e rivisti, ma non ancora pubblicati e sono presenti in tabella solo come versione 900 (scritte in caratteri rossi).
Il numero dei tempi di arrivo associati alle determinazioni ipocentrali dei 76 eventi rivisti con $M_L \geq 3.5$ 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 SISMIKO. I valori assoluti delle profondità sono tuttavia dipendenti dal modello di velocità estremamente semplificato utilizzato per la localizzazione (vedi Tab. 1).

Gli eventi rivisti (stelle e cerchi celesti in figura 3) 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. I risultati di questa analisi saranno a breve presentati e pubblicati.

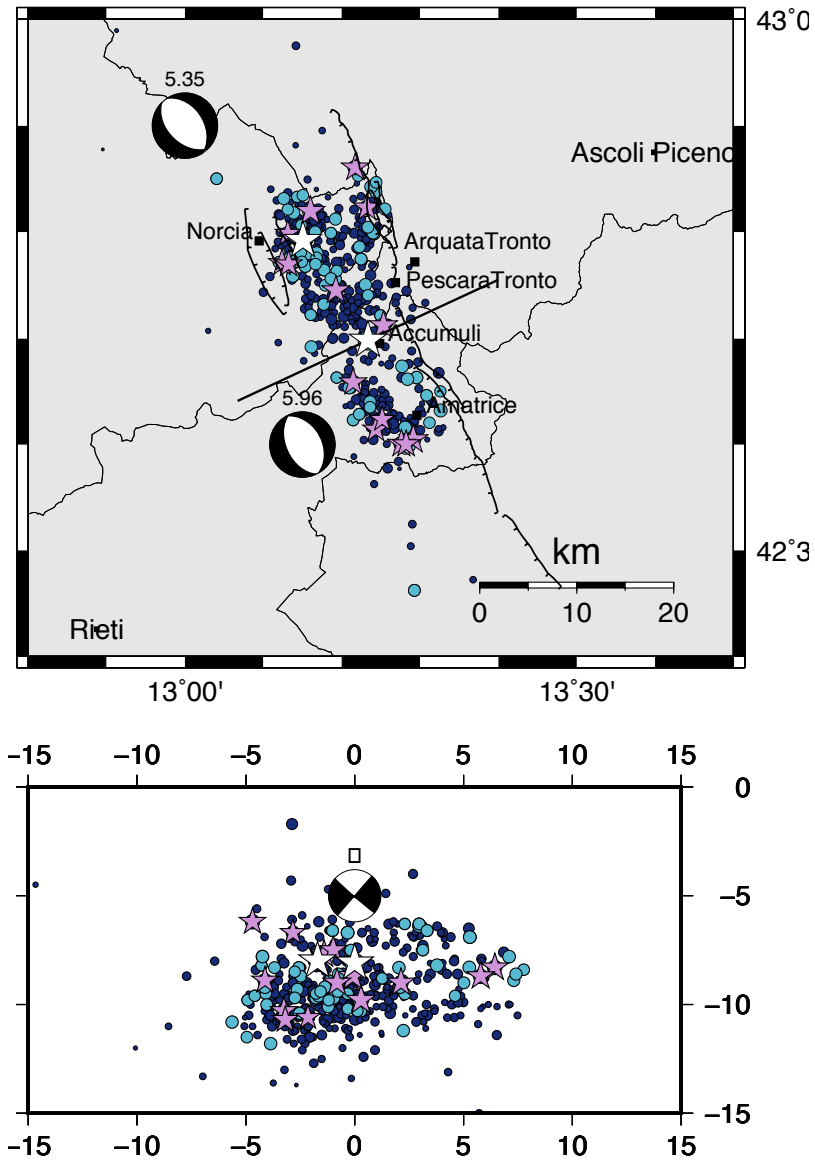


Figura 3: Mappa degli epicentri della sequenza sismica di Amatrice; in evidenza le scosse con $M_L \geq 3.5$ analizzate dagli analisti del BSI; le due stelle bianche sono gli eventi principali per i quali è riportato il TMDT [Scognamiglio et al., 2016], le stelle viola gli eventi con $M_L \geq 4.0$, 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. In basso è mostrata una sezione trasversale (linea nera in mappa) che evidenzia le profondità ipocentrali delle scosse.

La sequenza sismica di Amatrice: revisione delle prime ore della sequenza

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 nella figura 3). Tale revisione non ha comportato l'integrazione dei dati delle stazioni temporanee, che non risultavano ancora operative nelle prime ore della sequenza (il primo segnale sismico registrato dalla stazione T1211 della rete mobile INGV risulta disponibile alle 08:01 UTC del 24 agosto). E' prevista inoltre un'ulteriore 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.

In figura 4 sono riportate le registrazioni in continuo (dalle 00:00 alle 08:00 UTC, del 24 agosto 2016) di due stazioni della RSN che si trovano ad una certa distanza dall'area epicentrale e quindi rilevano chiaramente solo le scosse più significative. In particolare si tratta delle registrazioni di un velocimetro *broad-band,* installato nella stazione di CESX, in provincia di Terni, circa 50 km ad WSW della zona epicentrale, equidistante da Norcia e da Amatrice; e delle registrazioni di un accelerometro, sempre in provincia di Terni, della stazione MGAB che si trova ad una distanza circa doppia (100 km) ed è più vicino a Norcia che ad Amatrice (queste distanze vanno considerate nel momento in cui si stima visivamente l'ampiezza relativa degli eventi).

Infine è 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 *Mb and b-value stability method* (MBS) [Woessner *and* Wiemer, 2005]. Il valore così ottenuto è stato confrontato con quello relativo alle prime ore di analisi del BSI (Fig. 5): la magnitudo di completezza delle prime ore passa da circa 3.5 a 2.7 (o conservativamente 3.1). E' tuttavia da considerare che analizzando il continuo con sistemi automatici certamente si possano trovare ancora moltissimi eventi in queste prime ore di sequenza.

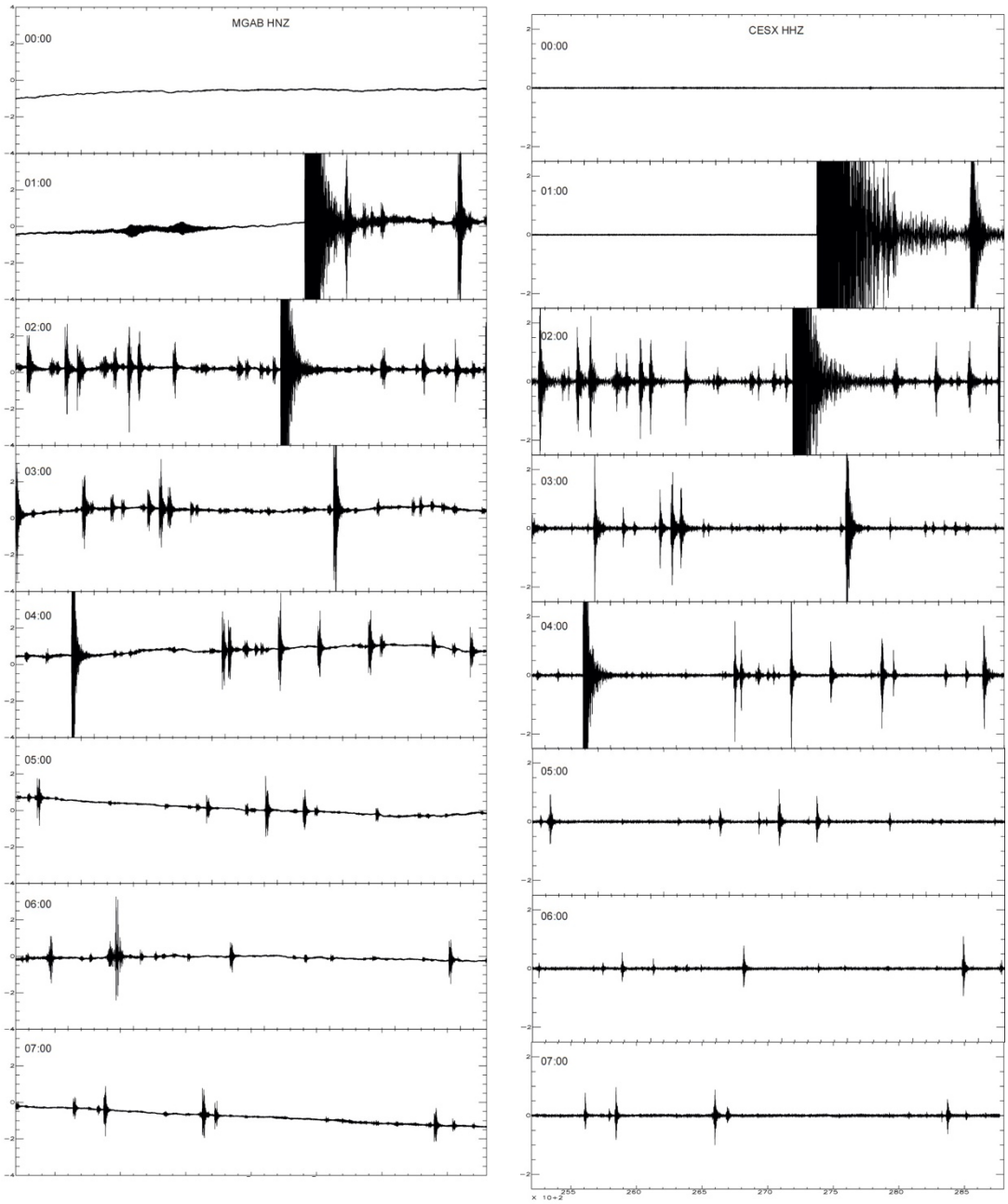


Figura 4: Registrazioni in continuo dalle 00:00 alle 08:00 UTC del 24 agosto 2016 alle stazioni della RSN di CESX (velocimetro BB) e MGAB (accelerometro). Gli eventi di maggior entità sono ben individuabili sulle registrazioni di queste due stazioni, le ampiezze sugli assi verticali in conteggi sono scalati allo stesso modo su tutte le ore per rendere confrontabili le ampiezze (e quindi le magnitudo dei vari eventi). Le registrazioni non sono saturate per i due eventi principali (M_L=6.0 e M_L=5.3) ma sono state tagliate in questa rappresentazione per rendere più visibili gli eventi di magnitudo intorno a 3.5-4.5. Si ricorda che l'ampiezza del segnale è circa doppia per eventi che differiscono di 0.3 in magnitudo.

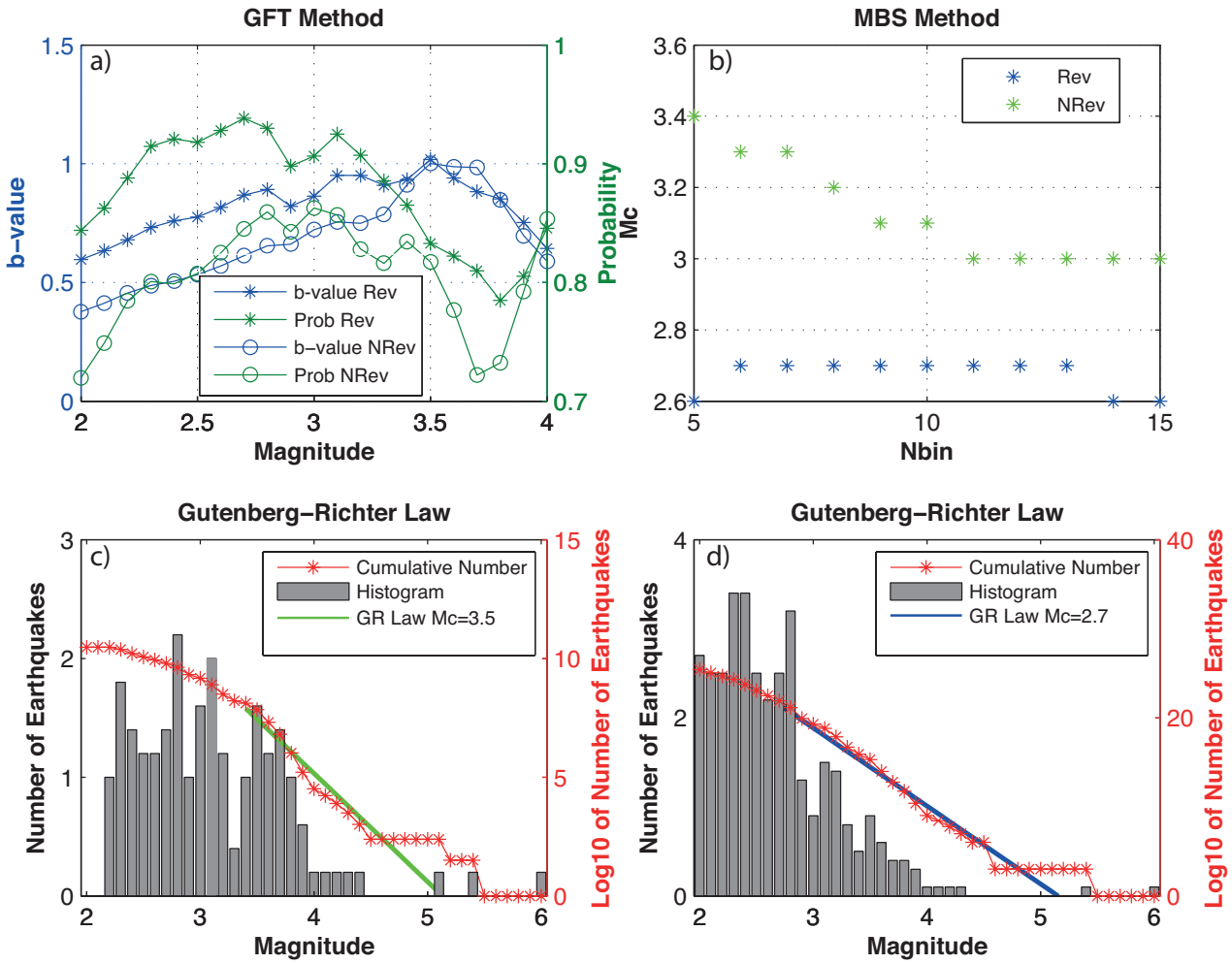


Figura 5: Stima della magnitudo di completezza *Mc*. a) Metodo GFT sia per le localizzazioni riviste (Rev) sia per quelle di sala (NRev): le linee blu e verdi indicano il più probabile b-values e la probabilità che i dati siano spiegati dalla legge di Gutenberg-Richter, rispettivamente come funzione di *Mc*. b) Metodo MBS sia per Rev che per NRev: le linee blu e verdi mostrano i valori di *Mc* e di *b*, come funzione di *Nbin*. c) Fit dei dati con la legge Gutenberg-Richter per gli eventi NRev: istogramma delle magnitudo (colonne grigie), magnitudo cumulative (asterischi rossi). La linea verde segue la legge Gutenberg-Richter per il valore più probabile *Mc*=3.5. d) Come in 5c ma per il catalogo Rev il valore più probabile di *Mc* è pari a 2.7.

Ringraziamenti

Il Gruppo di lavoro del BSI vuole ringraziare tutti i turnisti della sala di monitoraggio di Roma per il lavoro svolto nel primo mese di sequenza, il personale CNT della sede di Ancona che ha reso disponibile l'elenco delle localizzazioni automatiche del loro sistema e tutti gli operatori che hanno installato stazioni temporanee per i gruppi di lavoro SISMIKO ed EMERSITO.

Bibliografia

Amato A. and Mele F. M.(2008). Performance of the INGV National Seismic Network from 1997 to 2007. Annals of Geophysics, 51, 2/3, pp. 417-431. DOI: 10.4401/ag-4454.

Bollettino Sismico Italiano gennaio - aprile 2016doi:10.13127/BOLLETTINO/2016.01
Bollettino Sismico Italiano gennaio - aprile 2015doi:10.13127/BOLLETTINO/2015.01
Bollettino Sismico Italiano maggio - agosto 2015doi:10.13127/BOLLETTINO/2015.02
Bollettino Sismico Italiano settembre - dicembre 2015doi:10.13127/BOLLETTINO/2015.03

EMERSITO working group (2016). Rapporto preliminare sulle attività svolte dal gruppo operative EMERSITO a seguito del terremoto di Amatrice Mw 6.0 (24 agosto 2016, Italia centrale). Doi:10.5281/zenodo.61884.

Gruppo di Lavoro INGV sul terremoto di Amatrice (2016a). Primo rapporto di sintesi sul Terremoto di Amatrice Ml 6.0 del 24 Agosto 2016 (Italia Centrale). Doi: 10.5281/zenodo.61121.

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

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.

Mele F.M, Arcoraci L., Battelli P., Berardi M., Castellano C., Lozzi G., Marchetti A., Nardi A., Pirro M., Rossi A.;2010: Bollettino Sismico Italiano 2008. Quaderni di Geofisica, n. 85.

Moretti M., Cattaneo C., Cecere G., Govoni A., Margheriti L., Mazza S. (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.

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

Woessner J, 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.

Inquadramento, esclusione di responsabilità e limiti di uso dei dati

L'INGV, in ottemperanza a quanto disposto dall'Art.2 del D.L. 381/1999, svolge funzioni di sorveglianza sismica e vulcanica del territorio nazionale, provvedendo alla organizzazione della rete sismica nazionale integrata e al coordinamento delle reti sismiche regionali e locali in regime di convenzione con il Dipartimento della Protezione Civile.

L'INGV concorre, nei limiti delle proprie competenze inerenti la valutazione della Pericolosità sismica e vulcanica nel territorio nazionale e secondo le modalità concordate dall'Accordo di programma decennale stipulato tra lo stesso INGV e il DPC in data 2 febbraio 2012 (Prot. INGV 2052 del 27/2/2012), alle attività previste nell'ambito del Sistema Nazionale di Protezione Civile.

In particolare, questo documento, redatto in conformità all'Allegato A del suddetto Accordo Quadro, ha la finalità di informare il Dipartimento della Protezione Civile circa le osservazioni e i dati acquisiti dalle Reti di monitoraggio gestite dall'INGV su fenomeni naturali di interesse per lo stesso Dipartimento.

L'INGV fornisce informazioni scientifiche utilizzando le migliori conoscenze scientifiche disponibili al momento della stesura delle previste relazioni; tuttavia, in conseguenza della complessità dei fenomeni naturali in oggetto, a può essere imputato all'INGV circa l'eventuale incompletezza ed incertezza dei dati riportati.

La reportistica fornita dall'INGV non include ipotesi circa accadimenti futuri, o comunque a carattere previsionale, sui fenomeni naturali in corso.

L'INGV non è responsabile dell'utilizzo, anche parziale, dei contenuti di questo documento da parte di terzi, né delle decisioni assunte dal Dipartimento della Protezione Civile, dagli organi di consulenza dello stesso Dipartimento, da altri Centri di Competenza, dai membri del Sistema Nazionale di Protezione Civile o da altre autorità preposte alla tutela del territorio e della popolazione, sulla base delle informazioni contenute in questo documento. L'INGV non è altresì responsabile di eventuali danni arrecati a terzi derivanti dalle stesse decisioni. La proprietà dei dati contenuti in questo documento è dell'INGV. La diffusione anche parziale dei contenuti è consentita solo per fini di protezione civile e in conformità a quanto specificatamente previsto dall'Accordo Quadro sopra citato tra INGV e Dipartimento della Protezione Civile.



Quest'opera è distribuita con Licenza

Creative Commons Attribuzione - Non opere derivate 4.0 Internazionale