ISSN 1590-2595
Anno 2017_Numero 140

Terremoto a Campobasso del 16 gennaio 2016. L'evento di M_W 4.3 e la sequenza sismica associata

Quaderni di Geofisica



140

Istituto Nazionale di
Geofisica e Vulcanologia

Quaderni di Geofisica

Direttore Responsabile
Silvia MATTONI

Editorial Board
Luigi CUCCI - Editor in Chief (INGV-RM1)
Raffaele AZZARO (INGV-CT)
Mario CASTELLANO (INGV-NA)
Viviana CASTELLI (INGV-BO)
Rosa Anna CORSARO (INGV-CT)
Mauro DI VITO (INGV-NA)
Marcello LIOTTA (INGV-PA)
Mario MATTIA (INGV-CT)
Milena MORETTI (INGV-CNT)
Nicola PAGLIUCA (INGV-RM1)
Umberto SCIACCA (INGV-RM2)
Alessandro SETTIMI (INGV-RM2)
Salvatore STRAMONDO (INGV-CNT)
Andrea TERTULLIANI (INGV-RM1)
Aldo WINKLER (INGV-RM2)

Segreteria di Redazione
Francesca Di Stefano - Referente
Rossella Celi
Tel. +39 06 51860068
redazionecen@ingv.it

in collaborazione con:
Barbara Angioni (RM1)

REGISTRAZIONE AL TRIBUNALE DI ROMA N.174|2014, 23 LUGLIO
© 2014 INGV Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia
Rappresentante legale: Carlo DOGLIONI
Sede: Via di Vigna Murata, 605 | Roma

ISSN 1590-2595
Anno 2017_Numero 140

Il terremoto a Campobasso del 16 gennaio 2016. L'evento di M_W 4.3 e la sequenza sismica associata

The 2016 Campobasso M_W 4.3 earthquake: the mainshock and the associated seismic sequence

Milena Moretti[1], Lucia Margheriti[1], Alberto Basili[1], Paola Baccheschi[1], Fabio Villani[2], Gianpaolo Cecere[1], Ciriaco D'Ambrosio[1], Raffaele Di Stefano[1], Luigi Falco[1], Antonino Memmolo[1], Giovanni De Luca[1], Franco Migliari[1], Felice Minichiello[1], Laura Scognamiglio[1]

[1]**INGV** (Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Centro Nazionale Terremoti)

[2]**INGV** (Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Sezione di Sismologia e Tettonofisica)

in copertina Evoluzione della sismicità dal 1° gennaio al 31 marzo 2016 (particolare)

Il terremoto a Campobasso del 16 gennaio 2016. L'evento di M_W 4.3 e la sequenza sismica associata

Alle 18.55 UTC del 16 gennaio 2016 è stato registrato dalla Rete Sismica Nazionale[1] (RSN, http://doi.org/10.13127/SD/X0FXNH7QFY) dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV) un terremoto di magnitudo locale (M_L) 4.1 (magnitudo momento M_W 4.3) ben risentito in gran parte delle province di Campobasso e di Isernia e in alcune zone delle province limitrofe di Caserta, Benevento e Foggia. L'evento, localizzato a circa 6 km di distanza dal capoluogo molisano e ad una profondità prossima ai 10 km, è stato preceduto durante la giornata da una decina di eventi, il più significativo dei quali è stato di M_L 2.9. La sequenza sismica sviluppatasi nei giorni successivi si colloca in un'area caratterizzata da una pericolosità sismica molto elevata e a circa 20 km a nord-est dalla sequenza sismica iniziata il 29 dicembre 2013 con un evento di M_L 4.9 (M_W 5.0 [De Gori et al., 2014]).

Considerate le criticità che il sistema di sorveglianza sismica attivo H24/7 presso la sede INGV di Roma ha iniziato a patire nei giorni successivi a causa di cattive condizioni meteo, è stata predisposta in collaborazione con l'Agenzia della Protezione Civile della Regione Molise l'installazione di una stazione sismica temporanea a sei canali. L'installazione si è svolta nell'ambito del Coordinamento delle reti sismiche mobili INGV (Sismiko [Margheriti et al., 2014; Moretti et al., 2016]) ed è stata sufficiente per garantire la continuità del servizio di sorveglianza sismica, come richiesto nella Convenzione vigente[2] tra l'INGV e il Dipartimento della Protezione Civile (DPC).

La sequenza è stata analizzata con diverse tecniche di localizzazione, i cui risultati sono stati messi a confronto nel corrente lavoro.

At 18.55 UTC on January 16, 2016, an earthquake of magnitude M_L 4.1 (M_W 4.3) has been recorded by the National Seismic Network (in Italian: Rete Sismica Nazionale – RSN, http://doi.org/10.13127/SD/X0FXNH7QFY) of the National Institute of Geophysics and Volcanology (in Italian: Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia - INGV). The earthquake affected the provinces of Campobasso and Isernia and also some areas of the neighboring provinces of Caserta, Benevento and Foggia. The event, located at about 6 km away from Campobasso and at depth ~ 10 km, had been preceded during the day by approximately ten events with maximum magnitude M_L 2.9. The seismic sequence is located in an area of high seismic hazard and it occurred about 20 km southwest of the seismic sequence which began on December 29, 2013 with a M_L 4.9 event (M_W 5.0 [De Gori et al., 2014]).

Due to bad weather during the following days the seismic station closest to the epicenters stop working and could not be restored; this worst the quality of the seismic monitoring system H24/7 at the headquarters in INGV of Rome.To overcome this problem, a 6-channels temporary seismic station has been quickly installed in collaboration with the Regional Civil Protection of the Molise. The activity has been prepared by the Coordination of mobile seismic networks INGV (Sismiko [Margheriti et al., 2014; Moretti et al., 2016]) and has been sufficient to ensure the efficiency of the seismic monitoring service as required in the current agreement between the INGV and the National Civil Protection Department (in Italian: Dipartimento Protezione Civile - DPC). The sequence has been then analyzed with different localization techniques, and the results are shown in the following for comparison.

[1] *https://ingvterremoti.wordpress.com/il-monitoraggio-sismico/*
[2] *http://istituto.ingv.it/l-ingv/progetti/allegati-convenzioni-dpc/accordo-quadro-2012-2021*

Introduzione

La sera del 16 gennaio 2016 alle ore 18:55:11 UTC (19:55:11 locali) la Rete Sismica Nazionale (RSN, http://doi.org/10.13127/SD/X0FXNH7QFY) dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV) ha registrato un terremoto ben risentito in gran parte delle province di Campobasso, di Isernia e in alcune zone delle province limitrofe di Caserta, Benevento e Foggia. L'evento è stato localizzato dai sismologi in turno presso la Sala di Sorveglianza Sismica della sede centrale INGV a Roma [Basili, 2011] a circa 6 km di distanza dal capoluogo della Regione Molise, ad una profondità prossima ai 10 km e con una magnitudo locale (M_L) stimata pari a 4.1 (magnitudo momento M_W 4.3) come riportato nel Catalogo dei terremoti italiani *"Italian Seismological Instrumental and parametric database"*(ISIDe [ISIDe working group (2016) - Version 1.0; Mele *et al.*, 2007; Moro *et al.,* 2008; Bollettino Sismico Italiano, 2016]).

L'evento è stato preceduto durante la stessa giornata da una decina di eventi minori, di cui uno di M_L pari a 2.9 (13:12:54 UTC) ed è stato seguito poi per diversi giorni da una discreta attività sismica, più intensa nei primi giorni subito dopo il *mainshock* del 16 gennaio. La sequenza si colloca in un'area caratterizzata da una pericolosità sismica molto elevata. In un periodo molto recente, ricordiamo l'evento di M_L 4.9 (M_W 5.0) che il 29 dicembre 2013 (17:08:43 UTC [De Gori *et al.*, 2014]) ha interessato la zona del Matese a sud ovest dell'area epicentrale del 16 gennaio 2016, ad una distanza di circa 20 km in linea d'aria dall'epicentro del *mainshock*. Tra gli eventi storici più prossimi geograficamente all'evento del 16 gennaio 2016, si ricorda quello del 26 luglio 1805, con una magnitudo stimata intorno a 6.7 (Fonte dati: "Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani", CPTI15 [Rovida *et al.*, 2016]). Il sisma, noto anche come terremoto di Bojano, provocò oltre 5000 morti e danni stimati fino all'XI grado della scala Mercalli-Cancani-Sieberg (MCS, Fonte dati: "DataBase Macrosismico Italiano" aggiornato al 2015 - DBMI15 [Locati *et al.*, 2016]).

Il terremoto del 16 gennaio 2016 ha innescato una serie di azioni da parte dell'INGV, codificate nell'ambito della vigente Convezione 2012-2020 tra l'Ente e il Dipartimento della Protezione Civile (DPC), e che si reiterano ogni qualvolta viene registrato un evento sismico di magnitudo superiore a 4.0 sul territorio nazionale: *in primis*, è compito dell'INGV informare prontamente il DPC e tutte le autorità competenti dell'accaduto aggiornandoli continuamente nei tempi concordati; a seguire, le informazioni vengono date anche alla popolazione e a tutti gli interessati attraverso i mezzi di comunicazione disponibili quali il *web*, stampa, *social network*, ecc. A livello operativo, tra le priorità vi è il controllo di tutti sistemi di acquisizione e di trasmissione dati, in modo da garantire la continuità del servizio di sorveglianza sismica e la verifica della qualità del monitoraggio sismico in area epicentrale. La verifica del funzionamento delle stazioni sismiche presenti nell'area epicentrale consente di pianificare eventuali interventi volti sia al ripristino immediato della strumentazione permanente eventualmente malfunzionante, sia all'installazione *ex novo* di stazioni temporanee.

In questo lavoro vengono illustrate, dopo un sintetico inquadramento della sequenza sismica e del contesto sismologico in cui essa si colloca, alcune delle principali azioni che l'INGV ha intrapreso in occasione della sequenza molisana del gennaio 2016. Sono inoltre mostrate le analisi dei dati sismici che hanno permesso un'accurata localizzazione degli eventi. Tutti questi elementi sono stati forniti alla Commissione Grandi Rischi per la sua riunione quadrimestrale di fine gennaio 2016.

1. Inquadramento sismo-tettonico dell'area

La possibilità che oggi abbiamo di localizzare eventi sismici anche di bassa magnitudo con un ottimo grado di accuratezza, ci permette di vedere come la sismicità di magnitudo bassa e moderata in una regione si distribuisca rispetto ai sistemi di faglie noti in superficie in base alle informazioni geologiche disponibili.

Tuttavia, associare con un buon grado di certezza la sismicità ad una specifica faglia che in passato ha generato un forte terremoto, non sempre è di facile attuazione. L'associazione della sismicità recente ad una delle faglie note nella regione del Sannio-Matese rimane infatti al momento problematica e irrisolta. Questo è vero non solo per questa sequenza del 2016 ma anche per l'evento del 29 dicembre 2013 e la relativa sequenza [De Gori *et al.*, 2014]. Tuttavia, lo studio di questi terremoti è molto importante per definire con maggior accuratezza le caratteristiche sismotettoniche del nostro Paese e perfezionare, quindi, le stime di pericolosità sismica.

1.1 Sismicità storica

La storia sismica del Molise è segnata sia da alcuni terremoti molto forti localizzati all'interno del territorio regionale e nelle sue immediate vicinanze, sia da terremoti avvenuti nelle regioni adiacenti quali Campania, Puglia e Abruzzo ma che hanno ugualmente prodotto effetti molto gravi in area molisana.

Il terremoto più importante, tra i più distruttivi della storia sismica italiana, è quello del 5 dicembre 1456. Una fortissima scossa di M_W 7.2 (XI grado MCS; Fonte dati di questo e dei successivi eventi: CPTI15) causò circa 30.000 morti e distruzioni in un'area molto vasta dell'Italia centro-meridionale. Un centinaio di località tra l'Abruzzo, il Molise, la Campania e la Basilicata subirono danni gravissimi. Isernia e Bojano furono quasi totalmente distrutte e Napoli, Benevento e Campobasso riportarono gravi danneggiamenti. La vastità dell'area interessata dagli effetti maggiori fu tale da far pen-

sare oggi che, quello che le testimonianze contemporanee percepirono come un unico catastrofico terremoto, sia stato in realtà una successione di diversi forti eventi, avvenuti in rapida successione lungo la catena appenninica [Fracassi and Valensise, 2007].

Di minore intensità, ma comunque molto forte, fu anche il terremoto del 26 luglio 1805 (M_W 6.7) che provocò più di 5000 morti, oltre alla distruzione o effetti gravissimi in una ventina di località tra Isernia e Campobasso con danni stimati fino all'XI grado MCS. Tale evento, tra i terremoti storici, è quello che si colloca geograficamente più vicino all'evento odierno (vedi Figura 1).

In aggiunta ad alcuni terremoti minori della zona di Isernia (1882, M_W 5.2) e Campobasso (1885 – in fase di revisione e fortemente ridimensionato), degni di nota sono alcuni grandi eventi il cui epicentro è localizzato nelle regioni vicine, ma che hanno prodotto danni molto gravi anche in territorio molisano. Fra questi ricordiamo uno degli eventi della sequenza appenninica del settembre 1349 (M_W 6.8), il terremoto garganico del 30 luglio 1627 (M_W 6.7), che produsse danni anche in alcune località della costa molisana, e il terremoto del 5 giugno 1688 (M_W 7.1) nel Sannio, che produsse danni gravi a Campobasso.

In Figura 1 viene mostrata, sovrapposta alla Mappa di Pericolosità Sismica (MPS [Gruppo di Lavoro MPS, 2004]), la sismicità storica di $M_W \geq 6.0$ selezionata dal CPTI15 e il *mainshock* del 16 gennaio 2016 (Fonte dati: ISIDe). Come si osserva, a livello regionale il territorio è caratterizzato da una pericolosità sismica che è più elevata in corrispondenza della catena appenninica e diminuisce andando verso il mare Adriatico. Questo indica che un forte scuotimento del terreno è più probabile in Appennino che lungo la costa, dove può comunque verificarsi seppure con frequenza minore. Come è evidente, una parte della regione si classifica come zona ad alta pericolosità sismica, in cui il picco di accelerazione su roccia può superare con probabilità del 10% nei prossimi 50 anni il valore di 0.275 g.

In epoca più recente, sono invece tre le sequenze sismiche significative che hanno interessato il territorio molisano:

a) 1984: lungo l'Appennino abruzzese, nel territorio di confine tra il Lazio e l'Abruzzo. I due eventi sismici di $M_L > 5.5$ (7 maggio 1984, M_L 5.9, M_W 5.9; 11 maggio 1984, M_L 5.7, M_W 5.5) hanno prodotto effetti fino all'VIII grado MCS anche in territorio molisano.
b) 2002: nella zona del Subappennino Dauno, dove il 31 ottobre 2002 una scossa di magnitudo M_L 5.4 (M_W 5.7) provocò effetti del VII-VIII grado MCS in alcune località delle province di Campobasso e Foggia, molto più gravi a San Giuliano di Puglia, di grado VIII-IX MCS. Il giorno seguente, 1 novembre 2002, si verificò un'altra forte scossa di M_L 5.3 (M_W 5.7) che contribuì all'aggravamento dei danni [Chiarabba *et al.*, 2005a].
c) 2013: nella zona dei Monti del Matese, tra le province di Campobasso, Caserta e Benevento, con un evento di magnitudo M_L 4.9 (M_W 5.0) il 29 dicembre 2013. La scossa fu risentita in gran parte della Campania e del Molise [De Gori *et al.*, 2014; Ferranti *et al.*, 2015].

1.2 Sismicità recente: il *mainshock* e la sequenza sismica

In Figura 2 viene mostrato l'andamento della sismicità dell'area (a destra) e la sua distribuzione spaziale (a sinistra) dal 1° gennaio al 31 marzo 2016, quando è stata disinstallata la stazione sismica temporanea (vedi Capitolo 2). Nella mappa viene anche mostrata, sullo sfondo, la sismicità precedente selezionata dal catalogo ISIDe (dal 16 aprile 2005).

Come si può osservare, la sismicità recente è concentrata in un'area molto ristretta attorno al *mainshock* e si è sviluppata in pochissimi giorni; il 70% della sismicità si raggruppa nella prima settimana di attività. Non si osservano altri eventi di particolare entità ad eccezione di quello del 17 gennaio alle 22:09.23 UTC, di cui è stato anche calcolato il meccanismo focale (vedi Tabella 2).

In Tabella 1 sono riportati gli eventi di $M_L \geq 2.5$ ovvero quelli al di sopra della soglia di comunicazione prevista nella matrice decisionale all'interno della Convenzione vigente INGV-DPC (Fonte dati: Bollettino Sismico Italiano - BSI [Bollettino Sismico Italiano, 2016; Nardi *et al.*, 2015]).

Per gli eventi di $M_L > 3.5$ è stato calcolato il momento tensore usando la tecnica dei *Time Domain Moment Tensor* (TDMT [Dreger and Helmberger, 1993; Dreger, 2003]) nella versione implementata all'INGV [Scognamiglio *et al.*, 2009; 2010]. Tali soluzioni focali sono mostrate in Tabella 2 insieme alla magnitudo momento (M_W) risultante. La M_W rappresenta una migliore stima della grandezza del terremoto in quanto è direttamente legata al rilascio di momento sismico alla sorgente. L'inversione del momento tensore ha portato, per il *mainshock*, ad una stima della magnitudo pari a M_W 4.25. Stessa analisi è stata fatta per l'evento del giorno seguente alle ore 22.09 UTC, stimato di M_W 3.64. La soluzione focale data dai TDMT mostra un meccanismo distensivo con piani nodali orientati in direzione sub-parallela alla catena Appenninica.

Il meccanismo focale del *mainshock* e la profondità media della sequenza (~10 km) fanno ritenere che essa abbia avuto luogo in prossimità della porzione sudorientale della faglia normale ritenuta responsabile del grande terremoto del 26 luglio 1805 (M_W 6.6), il più forte evento storico della zona (Fonte dati: *Database of Individual Seismogenic Sources* - DISS [DISS Working Group, 2010]).

1.3 Breve inquadramento geologico-strutturale

L'area interessata dalla sequenza del gennaio 2016 ricade nella fascia assiale della catena sud-appenninica, strutturatasi tra il Miocene Superiore e il Pliocene Inferiore. Le princi-

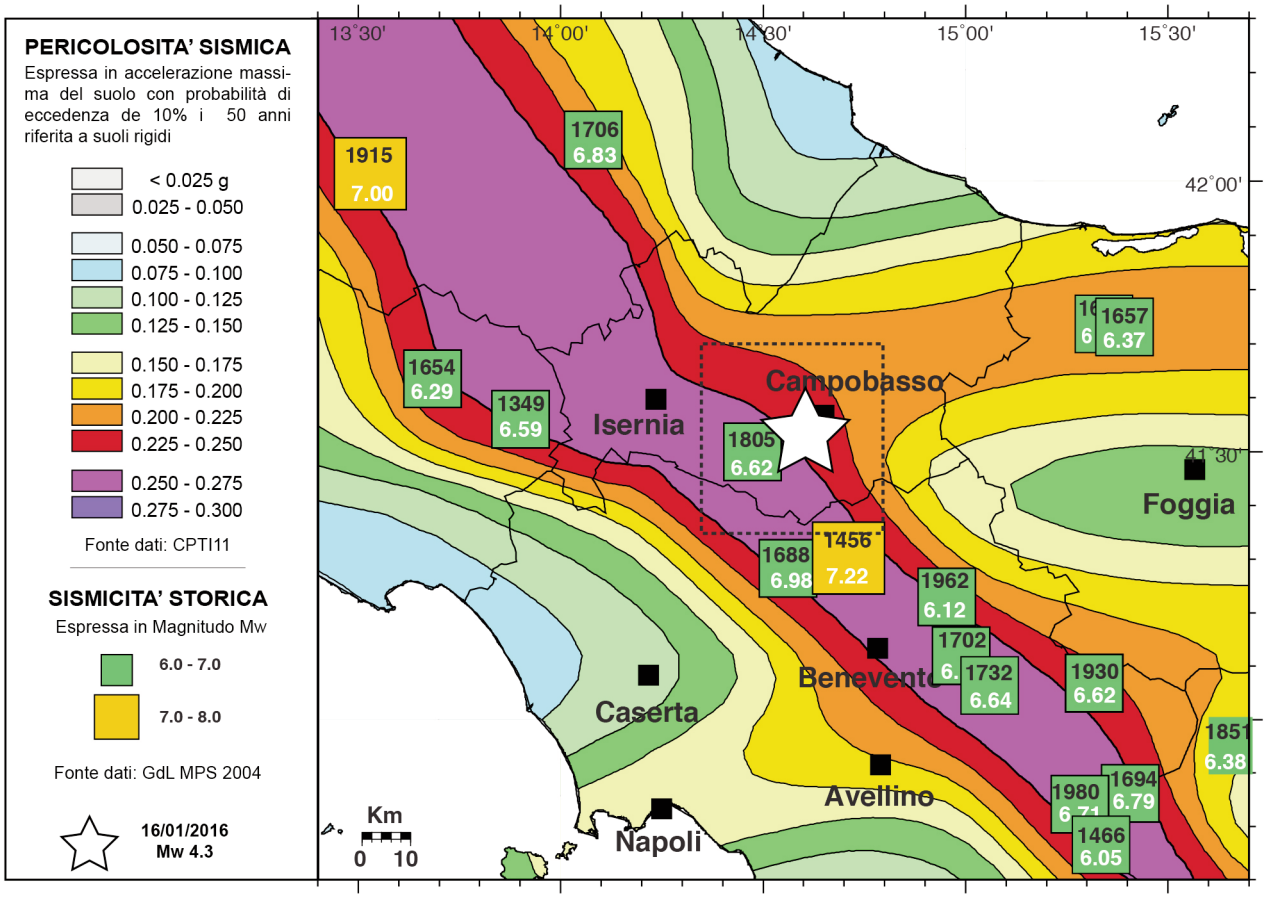


Figura 1 Distribuzione della sismicità storica di $M_W \geq 6.0$ negli ultimi mille anni (Fonte dati: CPTI15) in relazione alla Mappa di Pericolosità Sismica (Fonte dati: MPS) nell'area interessata dalla sequenza sismica oggetto del presente lavoro. La stella bianca indica l'epicentro del terremoto di M_W 4.3 del 16 gennaio 2016 delle ore 18:55 UTC (coordinate epicentrali 41.527° N, 14.599° E; Fonte dati: ISIDe). Il rettangolo nero tratteggiato raffigura l'area riportata in Figura 2.
Figure 1 Distribution of the historical seismicity of $M_W \geq 6.0$ in the last 1000 years (Data source: CPTI15) overlaid on the seismic hazard map (Data source: MPS) for the area affected by the earthquake sequence object of this work. The white star indicates the epicentre of the M_W 4.3 earthquake occurred on January 16, 2016 at 18:55 UTC (epicenter coordinates 41.527° N, 14.599° E; Data source: ISIDe). The dashed black rectangle enclose the area shown in Figure 2.

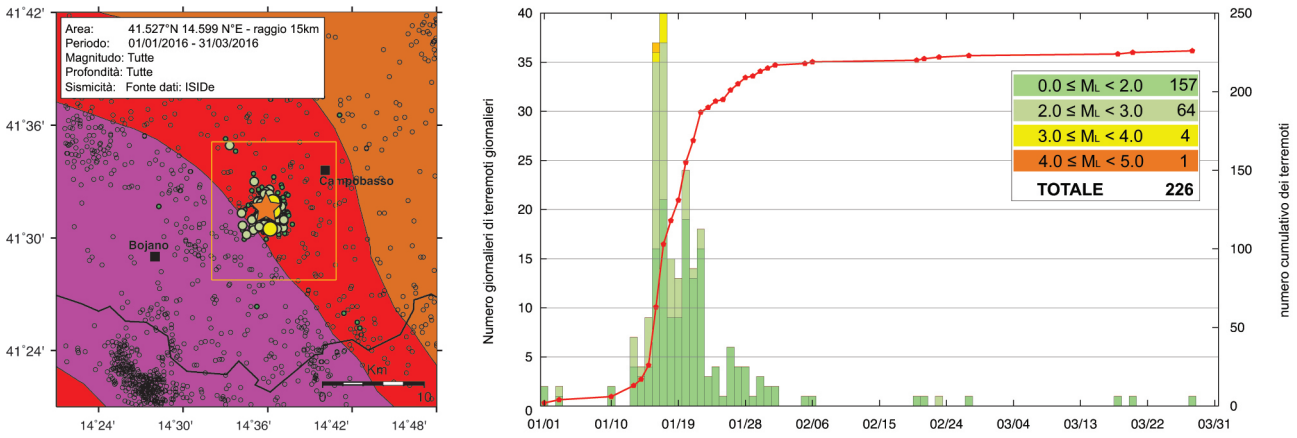


Figura 2 Evoluzione della sismicità dal 1° gennaio al 31 marzo 2016: a sinistra la distribuzione spaziale dei terremoti; a destra la distribuzione giornaliera, dove la linea rossa indica la cumulata dei terremoti. I 226 terremoti si riferiscono all'estrazione fatta a partire dalle localizzazioni del BSI all'interno del quadrato arancione (centro nel *mainshock* e raggio di 15 km).
Figure 2 Evolution of the seismicity from January 1 to March 31, 2016: on the left: both the spatial distribution (right panel) and the daily distribution (left panel) of earthquakes are shown. The red line in the right panel indicates the cumulative number of earthquakes per day. The 226 earthquakes are extracted from BSI inside the orange square (center in the mainshock and 15 km size).

pali unità tettoniche sono rappresentate dalla falda dei Monti del Matese, costituita da calcari di piattaforma di età Mesozoico-Terziaria, sovrascorsi verso nord-est sulle antistanti unità calcareo-marnose del bacino Lagonegrese-Molisano-Sannitico. Queste unità tettoniche ricoprono a loro volta le unità sepolte della Piattaforma Apula, coinvolte nella tardiva strutturazione compressiva della catena nel Pliocene [Patacca *et al.,* 2007]. A partire dal Pleistocene Inferiore-Medio la catena sud-appenninica è stata interessata da tettonica estensionale a direttrice nord-est, con la formazione di sistemi di faglie normali orientati prevalentemente NW-SE [Hyppolite *et al.,* 1994]. La fascia soggetta attualmente ad estensione è caratterizzata da un forte rilascio sismico legato soprattutto a terremoti che avvengono nei primi 15 km della crosta con meccanismi focali di tipo normale [Chiarabba *et al.,* 2005b].

La complessità geologica e geomorfologica del territorio molisano rende difficile la caratterizzazione sistematica di tutte le possibili strutture attive presenti nella regione. Esistono, a nord e a nord-ovest dell'area interessata dalla recente sequenza sismica, due faglie ben note (linee rosse in Figura 3) e alle quali sono stati associati alcuni dei sopra citati più forti terremoti della storia di queste zone:

a) la faglia di Bojano (FB in Figura 3 [Di Bucci *et al.,* 2002; 2005]), localizzata lungo la fascia pedemontana nord-orientale del Matese e che borda l'omonimo bacino continentale: è stata associata ai due grandi terremoti del 1456 e del 1805;

TEMPO ORIGINE (UTC)	LAT	LON	PROF (km)	M_L/M_W
2016-01-16 13:12:54.340	41.521	14.591	10.6	2.9 -- M_L
2016-01-16 18:55:11.870	41.527	14.599	10.2	4.3 -- M_W
2016-01-16 19:34:11.180	41.511	14.606	10.5	2.6 -- M_L
2016-01-16 19:36:54.460	41.515	14.619	10.8	2.5 -- M_L
2016-01-16 20:00:45.850	41.523	14.599	10.2	3.4 -- M_L
2016-01-16 20:22:21.290	41.528	14.593	10.5	2.5 -- M_L
2016-01-16 20:27:17.660	41.525	14.597	10.2	2.9 -- M_L
2016-01-17 00:28:36.280	41.524	14.607	10.3	3.2 -- M_L
2016-01-17 05:37:00.890	41.516	14.581	10.0	2.7 -- M_L
2016-01-17 13:42:12.670	41.520	14.589	9.6	2.8 -- M_L
2016-01-17 14:47:50.750	41.519	14.595	10.1	2.5 -- M_L
2016-01-17 18:53:04.900	41.508	14.603	10.2	3.3 -- M_L
2016-01-17 22:09:23.570	41.532	14.606	10.7	3.6 -- M_W
2016-01-18 01:59:57.500	41.532	14.606	9.9	2.5 -- M_L
2016-01-19 00:55:19.160	41.539	14.596	10.0	2.9 -- M_L
2016-01-19 15:07:28.060	41.518	14.614	10.5	2.8 -- M_L
2016-01-20 17:56:22.140	41.524	14.606	9.9	2.5 -- M_L
2016-01-22 11:46:43.410	41.530	14.602	10.7	2.9 -- M_L

Tabella 1 Elenco degli eventi di $M_L \geq 2.5$ dal 16 al 31 gennaio 2016; le localizzazioni sono quelle prodotte dagli analisti del BSI [Bollettino Sismico Italiano, 2016; Nardi *et al.*, 2015]. I diversi intervalli di magnitudo sono evidenziati da colori differenti e sono gli stessi utilizzati nelle mappe in Figura 2.
Table 1 List of the earthquakes $M_L \geq 2.5$ occurred between January 16th 31st 2016; the hypocentres parameters are evaluated by the analysts in the BSI [Bollettino Sismico Italiano, 2016; Nardi *et al.*, 2015]. Different colors in the table are related to magnitude ranges, the same we used in Figure 2.

b) la faglia delle *Aquae Iuliae* (FAI in Figura 3), così chiamata da Galli e Naso [2008] in quanto attraversa un importante acquedotto di epoca romana, localizzata lungo il margine sud-occidentale del Matese. Gli Autori ritengono che questa faglia sia stata responsabile del terremoto del settembre del 1349 che produsse estesi danni anche a Roma. La faglia delle *Aquae Iuliae* immerge verso sud-ovest e anch'essa non sembra essere in relazione con la sismicità strumentale recente.

La faglia associata al grande terremoto del 1688 nel Sannio (M_W 7.0), che produsse estesi e ingenti danni nell'area immediatamente a sud della sequenza in atto, è ancora oggi fonte di dibattito nella comunità scientifica. In Figura 3 sono riportati anche i paesi che hanno avuto i massimi danneggiamenti in occasione di tale evento (in arancione il X e in viola l'XI grado della scala delle intensità MCS. Fonte dati: DBMI15), quelli del terremoto del 1805 (in rosa il X grado) assieme alle due recenti sequenze sismiche.

Negli ultimi anni sono state proposte diverse ipotesi per la faglia responsabile del terremoto del 1688. In Figura 4, modificata da Di Bucci *et al.*, [2006], si vedono le differenti ipotesi proposte da diversi autori, inclusa quella suggerita nel DISS: attualmente quella più accreditata è che la struttura responsabile del terremoto del 1688 sia una faglia a direttrice NW-SE e immergente a NE, con una lunghezza associata di circa 30-32 km.

2. La criticità del monitoraggio sismico in area epicentrale e gli interventi predisposti

L'area interessata dalla sequenza sismica oggetto del presente lavoro è normalmente monitorata mediante le stazioni sismiche della RSN (Figura 5), che consentono la localizzazione di terremoti di magnitudo sotto la soglia di comunicazione, ossia M_L 2.5, definita nell'ambito della Convenzione vigente INGV-DPC. Tale soglia è stata ben rispettata durante tutta la sequenza sismica molisana.

La Regione Molise, avvalendosi della competenza del Centro Nazionale Terremoti (CNT), avviò, a partire dal

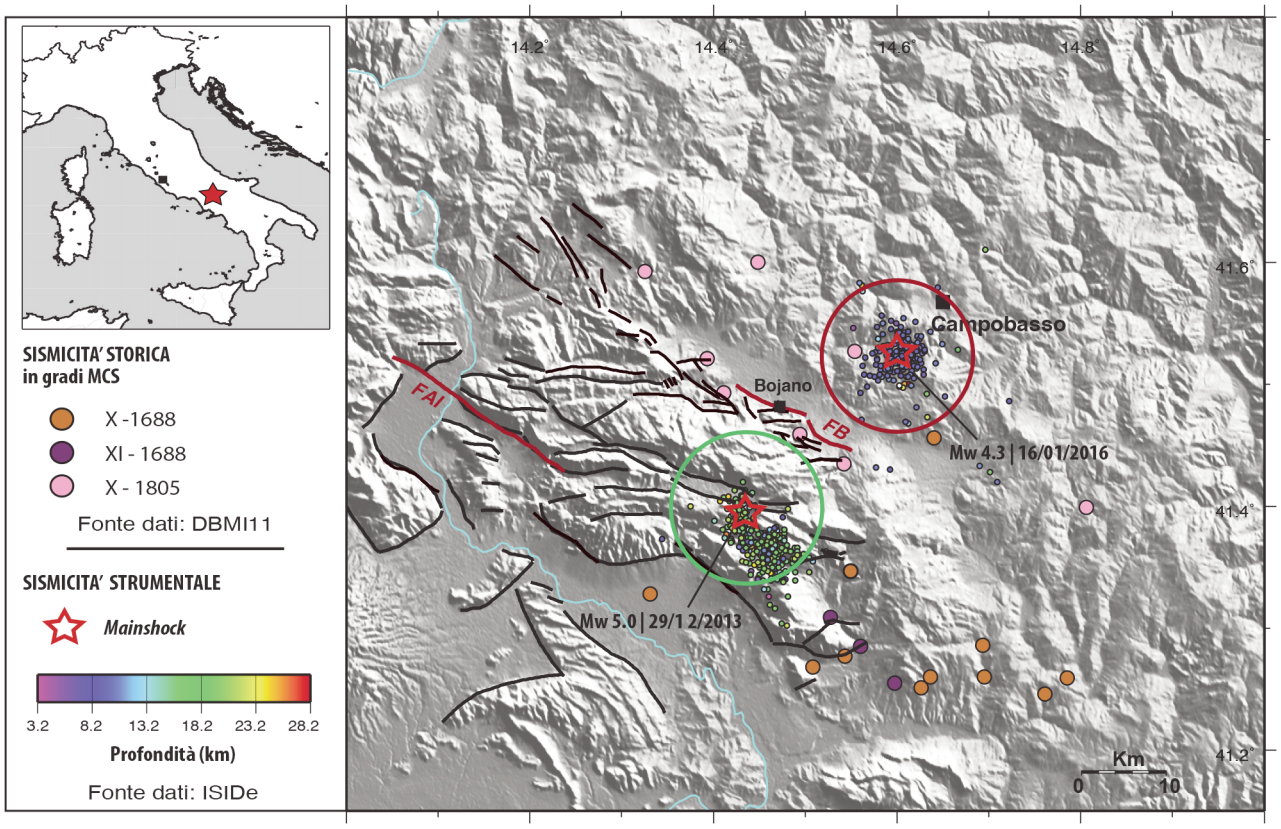


Figura 3 In mappa sono mostrate le recenti sequenze sismiche e i rispettivi mainshock (stelle rosse) che hanno interessato la regione nel 2013, a sud ovest [De Gori *et al.*, 2014], e quella oggetto del presente lavoro a nord est, assieme ai piani quotati, con i punti di massimo danneggiamento, dei terremoti del 1688 e del 1805 (Fonte dati: DBMI15). Sono inoltre rappresentate le maggiori strutture della zona (linee nere e rosse) comprese quelle note in letteratura come faglia di Bojano (FB) e faglia delle Aquae Iuliae (FAI), ridisegnate dalle mappe strutturali disponibili [Di Bucci et al., 2005; Vezzani et al., 2010; Galli and Naso, 2009] e dalla carta geologica in scala 1:50.000 Foglio 405 "Campobasso".

Figure 3 In map the mainshock (red stairs) and the recent seismic sequences affecting the study area are shown: the 2013 sequence to the SW [De Gori *et al.*, 2014] and the 2016 sequence to the NE, together with the maximum intensity points of the 1688 and 1805 earthquakes (Data source: DBMI15). The main faults in the study area are also shown (in balck and red), in particular the Bojano Fault (FB) and the Aquae Iuliae Fault (FAI), redrawn from available structural maps [Di Bucci et al., 2005; Vezzani et al., 2010; Galli and Naso, 2009] and Sheet 405 "Campobasso" of the Geological Map of Italy.

2006, un progetto per la realizzazione della Rete di Monitoraggio Sismico del Molise (RMSM) ad integrazione della RSN (Figura 5). Furono quindi realizzate cinque nuove stazioni sismiche (Tabella 3) dotate di acquisitore GAIA [Salvaterra *et al.*, 2008], sensore Lennartz 3Dlite (1s) e di connettività Hiperlan per la trasmissione dati presso il centro funzionale della Protezione Civile di Campochiaro (CB). Tali stazioni, tuttavia, non furono mai annesse alla RSN ed inoltre, da un controllo effettuato qualche settimana dopo l'evento del gennaio 2016, risultarono guaste.

Il giorno seguente l'inizio della sequenza sismica, bufere di neve, raffiche di vento e gelo provenienti dal Mare Adriatico hanno colpito il Molise aggravando notevolmente la condizione di emergenza e preoccupazione già diffusa nella regione. Nel giro di poche ore, le forti nevicate hanno portato ad un accumulo di neve superiore ai 30-40 centimetri nel capoluogo molisano con pesanti disagi alla circolazione stradale. Gli stessi siti che ospitano le stazioni sismiche della RSN sono stati interessati dall'evento meteorologico: sono accaduti diversi episodi di arresto dell'energia elettrica, che assieme alla copertura nevosa sui pannelli solari che alimentano alcune stazioni, hanno comportato l'interruzione fino a

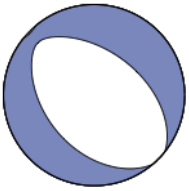
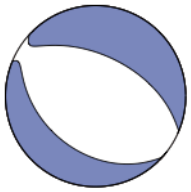
TEMPO ORIGINE (UTC)	LAT	LON	PROF (KM)	M_W	MECCANISMO FOCALE	PIANI NODALI		
						Strike	*Dip*	*Rake*
2016-01-16 18:55	41.53	14.60	6	4.25		305	49	-102
						143	43	-77
2016-01-17 22:09	41.53	14.61	7	3.64		*Strike*	*Dip*	*Rake*
						295	52	-99
						130	38	-78

Tabella 2 Parametri ipocentrali, M_W e meccanismi focali calcolati con la tecnica TDMT [Dreger and Helmberger, 1993; Dreger, 2003; Scognamiglio et al., 2009; 2010]. Per maggiori dettagli, si consulti il sito web del CNT (http://cnt.rm.ingv.it/tdmt).
Table 2 Hypocentre parameters, M_W and focal mechanisms have been calculated with TDMT technique [Dreger and Helmberger, 1993; Dreger, 2003; Scognamiglio et al., 2009; 2010]. For more details, the reader is referred to the CNT website (http://cnt.rm.ingv.it/tdmt).

SIGLA	LOCALITÀ	LAT	LON	QUOTA (M)
CVB1	Civita Superiore di Boiano (CB)	41.477	14.473	717
SAG1	Sant'Angelo in Grotte (IS)	41.557	14.372	826
FROS	Frosolone (IS)	41.611	14.389	1373
CASV	Castel san Vincenzo (IS)	41.656	14.067	750
MAIS	Macchia d'Isernia (IS)	41.563	14.160	426

Tabella 3 Elenco delle stazioni della RMSM realizzata a partire dal 2006 grazie ad una collaborazione tra l'INGV e la Regione Molise.
Table 3 List of stations of the RMSM deployed after 2006 in the frame of a collaboration between the INGV and the Molise Region.

diverse ore dell'acquisizione e trasmissione dei dati da parte di alcune stazioni. La stazione maggiormente compromessa è stata quella di Busso (CB) (BSSO, Figura 5), molto utile per una buona localizzazione degli eventi e soprattutto fondamentale per un miglior vincolo della profondità ipocentrale. La mattina del 18 gennaio, dopo circa 12 ore continue di completa interruzione della trasmissione dei dati da parte di BSSO, ci si è predisposti per un intervento d'urgenza.

Nell'ambito del Coordinamento Sismiko [Margheriti *et al.*, 2014; Moretti *et al.*, 2016], è stato concordato un intervento svolto dal personale dell'Osservatorio di Grottaminarda (AV), più prossimo alla zona epicentrale e già in contatto con l'Agenzia della Protezione civile Regione Molise. Per prima cosa, si è cercato di capire se fosse possibile ripristinare il funzionamento della stazione BSSO da parte del personale INGV o chiedendo un supporto logistico all'Agenzia. Sfortunatamente, nessuno aveva a disposizione mezzi idonei a raggiungere la zona di Busso. Per tale motivo è stata predisposta l'installazione di una stazione temporanea nei pressi di quella permanente, ma in un sito accessibile presso il Centro Funzionale della protezione civile della regione Molise (T1101 in Figura 5).

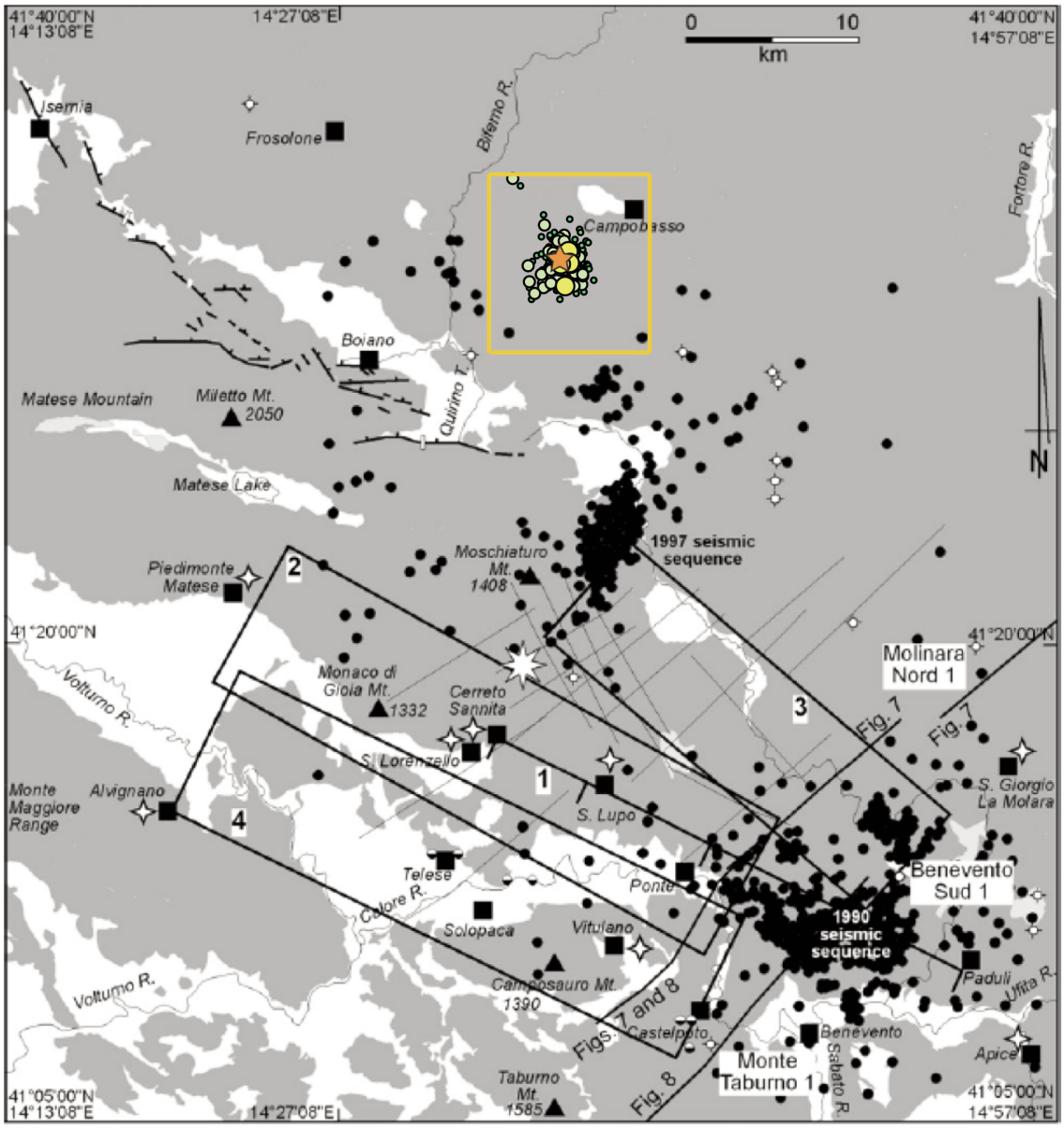


Figura 4 Proiezione in superficie della faglia responsabile del terremoto del 1688 [modificata da Di Bucci *et al.*, 2006] secondo le differenti interpretazioni di diversi autori: 1) Pantosti and Valensise [1988]; 2) Gasperini *et al.* [1999]; 3) Valensise and Pantosti [2001]; 4) Di Bucci *et al.* [2006]. All'interno del quadrato giallo, la sequenza sismica di gennaio 2016 (vedi Figura 2).

Figure 4 Surface projection of the plane of the fault responsible for the 1688 earthquake [modified after Di Bucci et al., 2006] accordingly to various authors interpretations: 1) Pantosti and Valensise [1988]; 2) Gasperini et al., [1999]; 3) Valensise and Pantosti [2001]; 4) Di Bucci et al. [2006]. The coloured circles enclosed by the yellow box represent the 2016 January seismic sequence (see Figure 2).

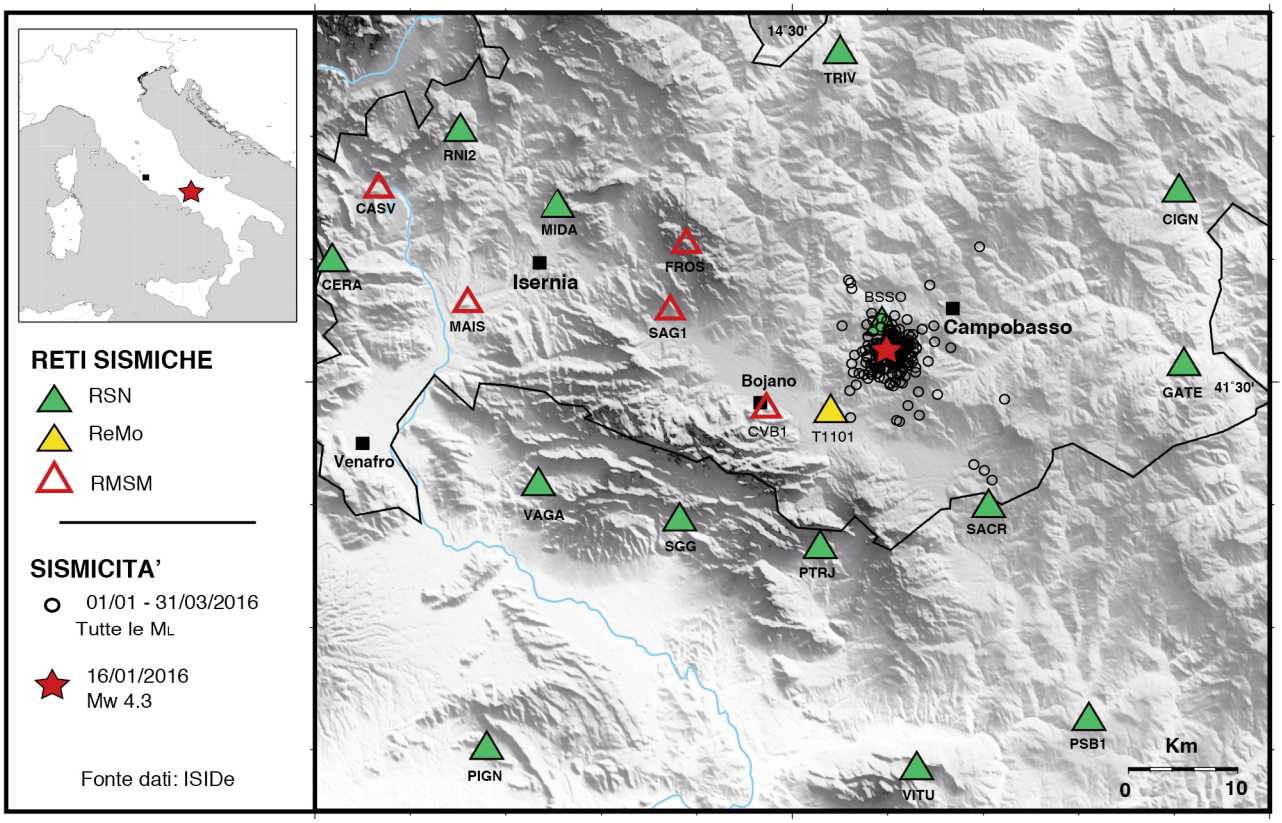


Figura 5 Mappa delle stazioni sismiche installate nell'area della sequenza: stazioni permanenti della RSN (triangoli verdi) e della RMSM (triangoli rossi vuoti) e la stazione temporanea T1101 (triangolo giallo) installata presso il Centro Funzionale della Protezione Civile della regione Molise.
Figure 5 Map of the seismic stations installed in the area of the sequence: permanent stations of the RSN (green triangles) and RMSM (empty red triangles); the yellow triangle is the temporary station T1101 installed at the functional center of Civil Protection of Molise Region.

L'intervento è stato realizzato nella tarda mattinata del 19 gennaio da parte di due unità di personale dell'Osservatorio di Grottaminarda. Le stazioni a disposizione per simili interventi sono fornite di acquisitori TAURUS della *Nanometrics* a 3 canali dotati di connessione UMTS/LTE su *Access Point Name* (APN) dedicato, per l'istradamento diretto dei flussi su circuito Multi Protocol Label Switching (MPLS) attestato presso la sede di Grottaminarda [Falco *et al.*, 2015]. Con l'obiettivo di acquisire sia il dato velocimetrico che accelerometrico, vista la posizione prossima all'epicentro, sono state installate due stazioni temporanee, una equipaggiata con un accelerometro Episensor FBA ES-T ed una con velocimetro a corto periodo Lennartz 3Dlite (1s) con campionamento impostato a 100 sps su tutti i canali. Tuttavia, come vuole la normativa internazionale (maggiori dettagli in [Moretti *et al.*, 2014]), la sigla della stazione è unica, ovvero T1101. In Tabella 4, sono riportati alcuni dettagli relativi alla strumentazione installata e in Allegato, la scheda stazione.
La stazione è stata inserita sin dal pomeriggio del 19 gennaio nel sistema di acquisizione della Sala di Sorveglianza Sismica anche grazie alla pre-configurazione del sistema (come previsto nel Protocollo del Coordinamento Sismiko), ed ha così partecipato alle elaborazioni prodotte in *real-time* dalla Sala di Sorveglianza Sismica (localizzazioni, meccanismi focali, *shakemaps*, ecc); il primo evento localizzato con la T1101 risale alle 19:40:09 del 19 gennaio 2016.
In osservanza delle raccomandazioni internazionali, la stazione è stata registrata presso l'*International Seismological Centre*[3] (ISC).
Per valutare il contributo che la stazione temporanea ha apportato all'analisi della sequenza ed in particolare al servizio di sorveglianza sismica, è stato analizzato l'evento più significativo della Tabella 1 dopo l'installazione della T1101 (M_L 2.9 del 22 gennaio 2016, 11:46:43 UTC). In Tabella 5 sono mostrati i risultati delle localizzazioni prodotte nelle quattro diverse combinazioni, ossia: utilizzando sia BSSO che T1101; escludendo entrambe; usando BSSO ed escludendo T1101; escludendo BSSO e utilizzando T1101. Si osserva come l'utilizzo di almeno una delle due stazioni garantisca una maggiore stabilità della localizzazione, dovuta in particolare al maggior vincolo della profondità ipocentrale (intorno ai 10 km). L'assenza contemporanea delle stazioni ha

[3] *http://www.isc.ac.uk./*

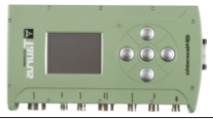
STRUMENTO	TIPO	FOTO	CARATTERISTICHE TECNICHE	
TAURUS [*Nanometrics*] http://www.nanometrics.ca	Acquisitore		Dinamica	> 135 dB
			Risoluzione	24 bit – 20 VPP
LE 3D lite [*Lennartz*] http://www.lennartz-electronic.de	Sensore velocimetro		Poli	-4.444 / +4.444j -4.444 / -4.444j -1.083 / 0.000j
			Zeri	Triplo zero all'origine
			Banda frequenza	1 - 80 Hz
EpiSensor FBA ES-T [*Kinemetrics*] http://www.kinemetrics.com/	Sensore accelerometro		Fondo scala	4g
			Range dinamico	155 dB
			Banda frequenza	DC a 200 Hz

Tabella 4 Acquisitore e sensori sismici costituenti la stazione sismica temporanea T1101.
Table 4 Datalogger and seismic sensors at the T1101 temporary seismic station.

invece generato soluzioni diverse tra cui la migliore (riportata in Tabella 5), con una profondità pari a 21.5 km, non è coerente con la sequenza in esame.

In considerazione dell'andamento della sequenza e della geometria della rete, nonché dell'installazione della T1101 e del riavvio della stazione BSSO nella tarda mattinata del 20 gennaio, non si è ritenuto necessario predisporre alcun altro intervento. In ogni caso, i colleghi afferenti a Sismiko e che si erano resi disponibili in caso di maggiore necessità, sono stati sempre aggiornati riguardo le attività in corso.

Nonostante il ripristino della stazione permanente BSSO e della diminuzione dell'attività sismica, si è preferito mantenere T1101 in funzione per diverse settimane, fino alla fine del mese di marzo.

Versione della localizzazione	+ BSSO +T1101	– BSSO – T1101	+ BSSO – T1101	– BSSO + T1101
Prof (km)	10.7	21.5	10.8	10.2
N. Stazioni	29	27	28	28
Distanza della 1a stazione (Km)	BSSO: 1.9 T1101: 8.3	SACR: 16.8	BSSO: 1.9	T1101: 8.5
RMS	0.42	0.40	0.43	0.43
GAP (°)	70	70	70	72
Erh (Km)	0.55	0.55	0.50	0.52
Erz (Km)	0.40	1.30	0.40	0.50
N. fasi P	29	27	28	28
N. fasi S	20	18	19	19

Tabella 5 Confronto delle localizzazioni dell'evento di M_L 2.9 del 22 gennaio 2016 (11:46:43 UTC) prodotte con le due stazioni più prossime all'area epicentrale (BSSO e T1101), escludendole entrambe e, alternativamente, utilizzandone una solamente.
Table 5 Comparison of event localizations of M_L 2.9 of January 22, 2016 (11:46:43 UTC) produced with the two seismic stations nearest the epicenter (BSSO and T1101), neither, and using one of the two, alternately.

3. Analisi dei dati in tempo reale e *offline*

I parametri di tutti i terremoti registrati dalla RSN, localizzati dal sistema automatico operante nella Sala di Sorveglianza Sismica dell'INGV, sono sempre rivisti dai sismologi in turno H24/7 e sono immediatamente disponibili sulle pagine web di ISIDe e del CNT e su varie piattaforme social (*Twitter, App Apple, Facebook,* ecc). La localizzazione ipocentrale rivista, denominata tecnicamente "Rev100", è disponibile entro 30 minuti dal tempo origine dell'evento, previa comunicazione dell'evento al DPC se la magnitudo supera la soglia di 2.5.

Come illustrato in precedenza, per terremoti con $M_L \geq 3.5$ viene calcolato automaticamente, e poi rivisto manualmente, il momento tensore con la tecnica TDMT; in questo modo si determina la M_W, che, essendo una stima più accurata della magnitudo del terremoto, viene sostituita alla M_L nel rapporto della localizzazione ipocentrale definitiva, che diventa così la "Rev501".

In seguito, tutti gli eventi con $M \geq 1.5$ sono revisionati dagli analisti del BSI [Nardi *et al.*, 2015], i quali ricontrollano i parametri inserendo anche i pesi e le polarità degli arrivi delle onde sismiche e integrando i dati letti in sala con tutti i dati disponibili nel sistema di localizzazione. In genere, per gli eventi di magnitudo superiore a 3.5, tale versione denominata "Rev1000" è disponibile in pochi giorni dal loro accadimento.

In Tabella 6, sono mostrati i parametri delle tre versioni relative al *mainshock* assieme ai tempi di pubblicazione della localizzazione.

Tutti i parametri delle localizzazioni, insieme con le informazioni sulla distribuzione della sismicità recente e storica dell'area e le mappe di scuotimento del suolo (*shakeMap* calcolate per tutti gli eventi con $M \geq 3.0$), sono disponibili in tempo reale alla pagina dell'evento raggiungibile tramite il sito web del CNT.

Versione della localizzazione	**Rev100**	**Rev501**	**Rev1000***
Autore	Sala Sismica INGV	TDMT-INGV *Revised*	BSI
Tempo origine (UTC)	2016/01/16 - 18:55:11	2016/01/16 - 18:55:11	2016/01/16 - 18:55:11
Ora pubblicazione (UTC)	2016/01/16 - 19:09:06	2016/01/16 - 22:07:09	2016/01/18 - 11:13:49
Magnitudo	M_L 4.1	M_W 4.3*	M_L 4.1
Latitudine (°)	41.53	41.53	41.53
Longitudine (°)	14.60	14.60	14.60
Prof (km)	9.6	6	10.2
N. Stazioni	93	21	92
Distanza della 1a stazione (Km)	BSSO: 1.5	----	BSSO: 2.1
RMS	0.42	----	0.35
GAP (°)	75	----	41
Erh (Km)	0.65	----	0.41
Erz (Km)	0.75	----	0.44
N. fasi P	25		87
N. fasi S	14		17

*Migliore localizzazione e magnitudo calcolate.

Tabella 6 Localizzazioni calcolate per il *mainshock* del 16 gennaio, con i tempi di pubblicazione dei parametri e gli autori (Fonte dati: sito web del CNT, http://cnt.rm.ingv.it/event/6376371).
Table 6 Locations evaluated for the mainshock of 16 January, with the timing of publication of the parameters and the authors (Data source: CNT website, http://cnt.rm.ingv.it/event/6376371).

3.1 Ri-localizzazioni della sequenza. Analisi preliminari utilizzando localizzazione 1D standard, con il metodo delle doppie differenze e localizzazione 3D

Il complesso assetto strutturale dell'area interessata dalla sequenza e delle zone limitrofe rende difficile la caratterizzazione di tutte le possibili strutture attive presenti nella regione. È quindi fondamentale delineare nel modo più accurato possibile la distribuzione spaziale della sismicità, sia in superficie che in profondità, al fine di individuare accuratamente i piani di faglia attivatisi durante la sequenza.

In tale ottica, gli eventi delle prime ore della sequenza sono stati localizzati con tre differenti approcci di inversione. La prima fase del lavoro è consistita nell'estrarre dal catalogo ISIDe tutti gli eventi nella finestra temporale che va dal 10 (3.42 UTC) al 18 gennaio (7.35 UTC), periodo di tempo che ha consentito di creare un *dataset* di partenza di 105 eventi. Ricordiamo che tali analisi sono state effettuate dopo pochi giorni dall'inizio della sequenza, quindi le localizzazioni di partenza sono quelle generate dai sismologi in turno presso la Sala di Sorveglianza Sismica.

Il primo codice utilizzato è *Hypoinverse* [Klein, 2002], per il quale è stato usato come modello di velocità di partenza il modello 1D a gradiente: questo modello è quello impiegato per le localizzazioni prodotte in Sala di Sorveglianza Sismica (Figura 6). Tuttavia, gli errori sistematici introdotti nel processo di localizzazione legati alla precisione nella lettura dei tempi di arrivo, al gap azimutale e all'uso di un modello di velocità 1D, limitano l'accuratezza nella stima dei parametri ipocentrali.

Per minimizzare l'entità di questi errori ed ottenere così delle localizzazioni di alta precisione, è stata utilizzata la tecnica delle doppie differenze *HypoDD* [Waldhauser *and* Ellsworth, 2000; Waldhauser, 2001]. Tale tecnica non produce una localizzazione assoluta di ciascun evento come *Hypoinverse*, ma ogni evento viene rilocalizzato relativamente ad un altro con precisione tanto maggiore quanto più i due eventi sono vicini. Il *misfit* da minimizzare in questo caso non è la differenza tra il tempo di arrivo teorico e quello osservato alla stazione del singolo evento, ma la differenza di tempi di arrivo osservati e teorici di due eventi alla stessa stazione, appunto doppie differenze. L'assunzione su cui si basa *HypoDD*, infatti, è che se la distanza evento-evento è piccola sia rispetto alla distanza evento-stazione sia alla scala delle eterogeneità crostali (che implicano variazioni di velocità) che a quelle locali (che in genere vengono associati ai ritardi di stazione), è ragionevole ipotizzare che il percorso dei raggi sismici tra le due sorgenti e la stazione comune che li registra sia lo stesso, e quindi, che i raggi siano affetti dagli stessi errori del modello di velocità. Questo significa che la differenza nelle *travel times* per i due eventi, che si traduce in una minima differenza tra i rispettivi residui, può essere attribuita alla sola distanza tra di essi. In genere la tecnica *HypoDD* tende ad evidenziare maggiormente gli aspetti geometrici del *cluster* e quindi l'identificazione della struttura attivatasi. Allo scopo di trovare la soluzione migliore, il modello di velocità utilizzato in *HypoDD* è un modello a strati modulato sul modello utilizzato in *Hypoinverse* (Figura 6).

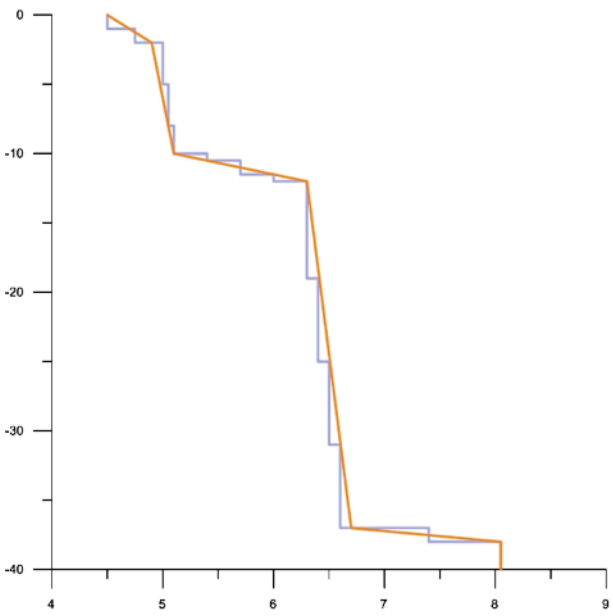


Figura 6 Modelli di velocità crostali usati in questo lavoro per le localizzazioni della sequenza: in rosso il modello a gradiente utilizzato per l'inversione con il programma in *Hypoinverse* [Klein, 2002]; in azzurro, un modello a strati modulato sul precedente ed utilizzato per l'inversione del dataset dal 1° al 18 gennaio con il programma *HypoDD* [Waldhauser and Ellsworth, 2000; Waldhauser, 2001].
Figure 6 Different crustal velocity models used to localize the seismic sequence: red line shows the gradient model used in the Hypoinverse code [Klein, 2002]; the blue line shows the layered model modulated on the previous one and used in the HypoDD code [Waldhauser and Ellsworth, 2000; Waldhauser, 2001].

Nelle Figure 7 e 8, sono mostrati i risultati delle due ri-localizzazioni ottenute con *Hypoinverse* e con *HypoDD*. Queste ultime in particolare permettono di identificare con più chiarezza l'allineamento degli ipocentri, e come caratteristica principale mostrano una sismicità confinata per lo più tra gli 8 e i 15 km di profondità, piuttosto concentrata attorno all'ipocentro del *mainshock*. Nelle sezioni orientate SW-NE, in particolare quelle ottenute con *HypoDD* (Figura 8, in basso), gli *aftershock* sembrano seguire un allineamento ad alto angolo con una debole immersione verso NE.

In un secondo momento, è stata anche calcolata la localizzazione 3D multiparametrica. Questa scelta è stata dettata dal tentativo di minimizzare ulteriormente gli errori nella stima dei parametri ipocentrali dovuti all'imperfezione del modello di velocità 1D. Per quest'ultimo tipo di localizzazione, dal *dataset* di partenza sono stati estratti gli eventi con RMS ≤ 0.7s per un totale di 102 terremoti.

La localizzazione multiparametrica 3D consta di due fasi distinte. Nella prima fase, per ciascun terremoto si esplorano diverse possibili localizzazioni utilizzando un unico modello 1D *a priori* noto [Di Stefano *et al.*, 2009] ma differenti set di parametri di localizzazione del codice *Hypoellipse* [Lahr, 1999]. Per ogni singolo evento si sceglie la soluzione che ha fornito la migliore localizzazione 1D in base alla qualità formale, ossia errori orizzontali e verticali, gap, RMS. La soluzione così scelta viene usata come ipotesi di partenza per la seconda fase, quella in cui ciascun evento si localizza impiegando un modello regionale 3D di velocità delle onde sismiche P ed S [Di Stefano and Ciaccio, 2014] ed utilizzando il codice di Zhao *et al.* [1992]. Per questo studio, è stata utilizzata la versione del codice modifica-

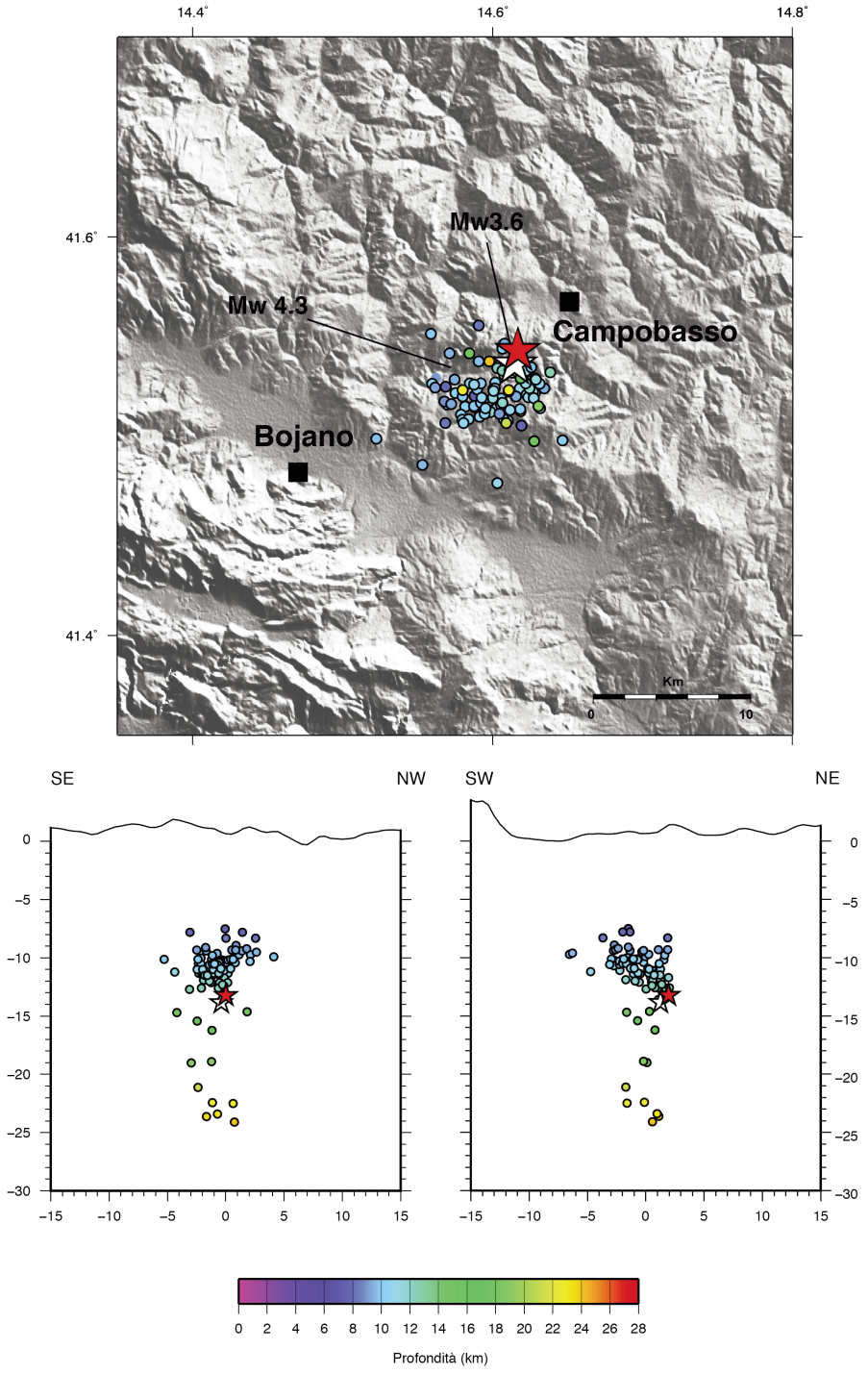


Figura 7 Distribuzione degli eventi della sequenza sismica in pianta e in profondità lungo due sezioni ortogonali rispettivamente NE-SW e NW-SE. Gli eventi, colorati in funzione della profondità secondo la scala dei colori riportata, sono stati localizzati con il codice Hypoinverse. La stella rossa rappresenta il *mainshock* (M_W 4.3), mentre la stella bianca rappresenta l'*aftershock* più grande (M_W 3.6).
Figure 7 Map of the hypocentral distribution of the events localized using Hypoinverse code and two othogonal vertical cross sections NE-SW and NW-SE respectively. The events are coloured as a function of depth. The red star is the M_W 4.3 mainshock, while the white star represents the M_W 3.6 aftershock.

ta da Di Stefano and Chiarabba [2002] per includere informazioni a priori sulla geometria 3D della discontinuità sismica crosta-mantello (Moho) per tutto il territorio italiano [Di Stefano *et al.*, 2011]. Le ri-localizzazioni 3D sono piuttosto diverse dalle precedenti (Figura 9): i terremoti tendono, infatti, a essere diffusi in un volume maggiore, occupando un areale più esteso; sono inoltre presenti molti eventi superficiali (profondità anche di 1 km). Nella sezione SW-NE la sismicità non definisce più un allineamento netto, come si era visto nelle localizzazioni 1D (Figura 7 e 8) ma piuttosto un fascio ad alto angolo, con eventi fino a 20-25 km di profondità.

In Figura 10 sono messi a confronto alcuni parametri di localizzazione ottenuti nelle tre diverse tecniche di inversione.

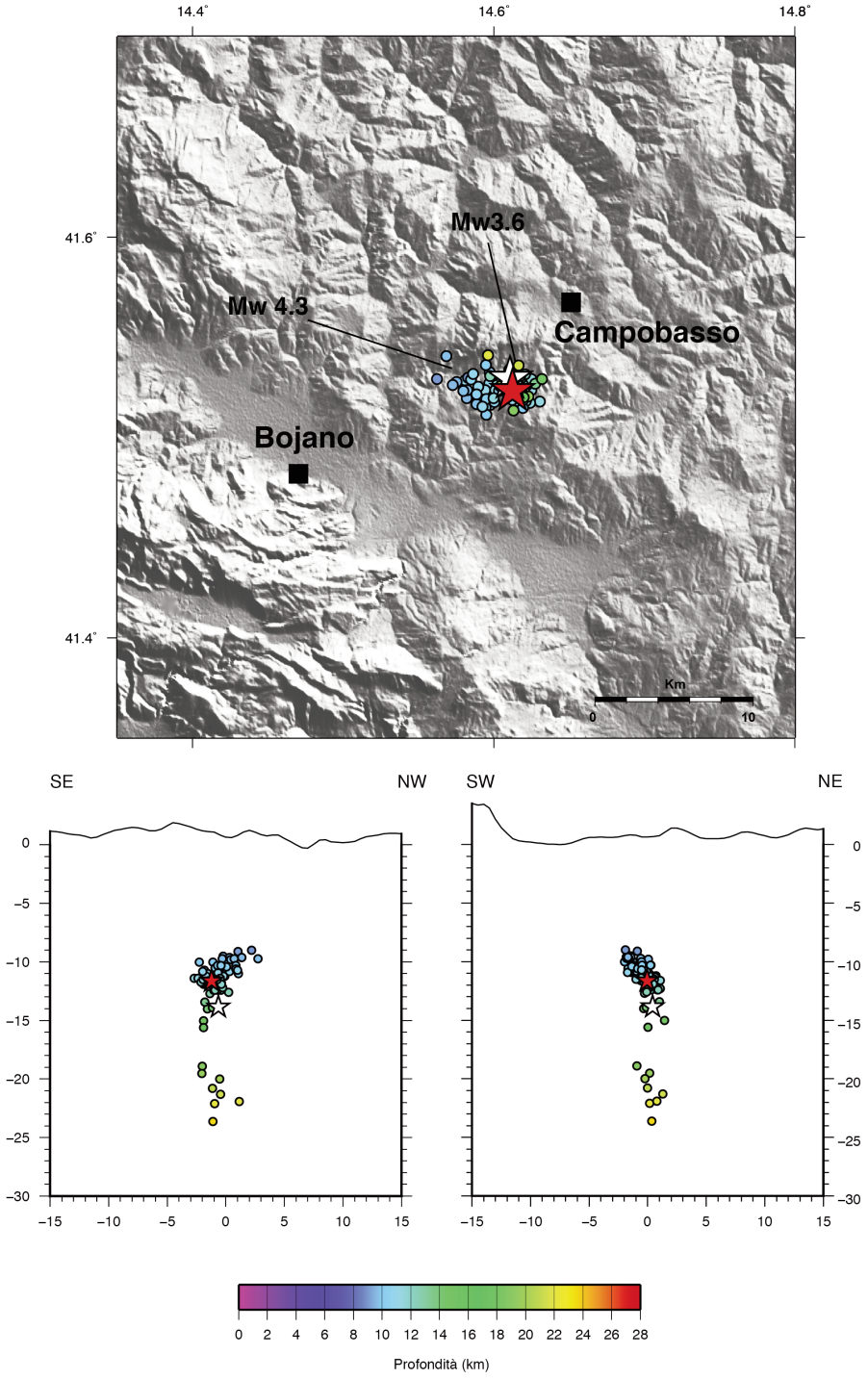


Figura 8 Distribuzione degli eventi della sequenza sismica rilocalizzato con il codice HypoDD. Gli eventi sono riportati sia in pianta che in profondità con le stesse modalità di rappresentazione della Figura 7.
Figure 8 Distribution of the events of the seismic sequence relocated using HypoDD code. The events location is represented both on the map and in a cross-section, for details on their representation see Figure 7.

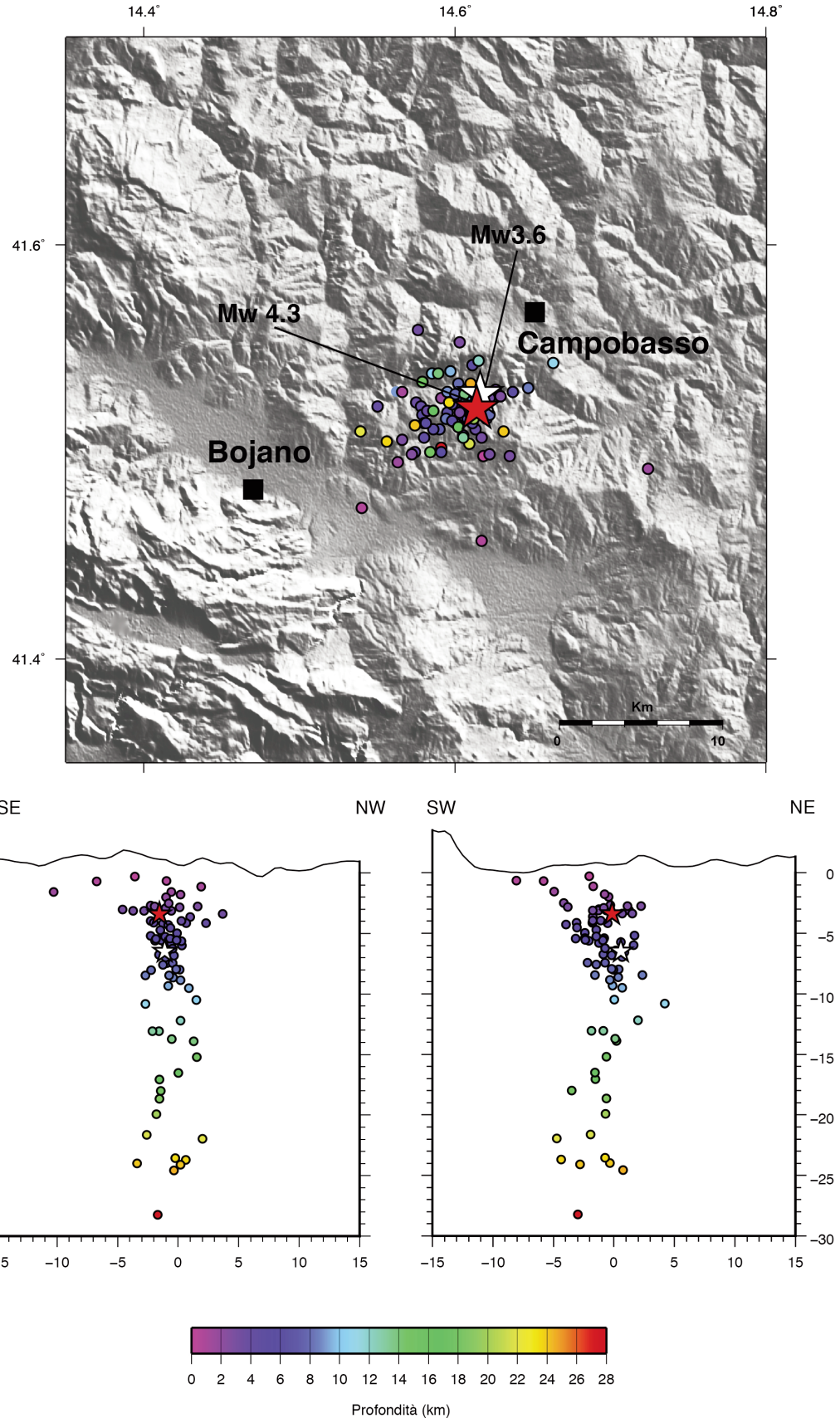


Figura 9 Distribuzione degli eventi della sequenza sismica rilocalizzati attraverso una procedura di localizzazione multiparametrica con un modello di velocità 3D (si rimanda al testo per una descrizione più dettagliata della procedura). Gli eventi sono riportati sia in pianta che in profondità con le stesse modalità di rappresentazione della Figura 7.
Figure 9 Distribution of the events of the seismic sequence relocated events using a 3D multiparametric location procedure (see text for more details on the 3D multiparameters location procedure). The events location is represented both on the map and in a cross-section, for details on their representation see Figure 7.

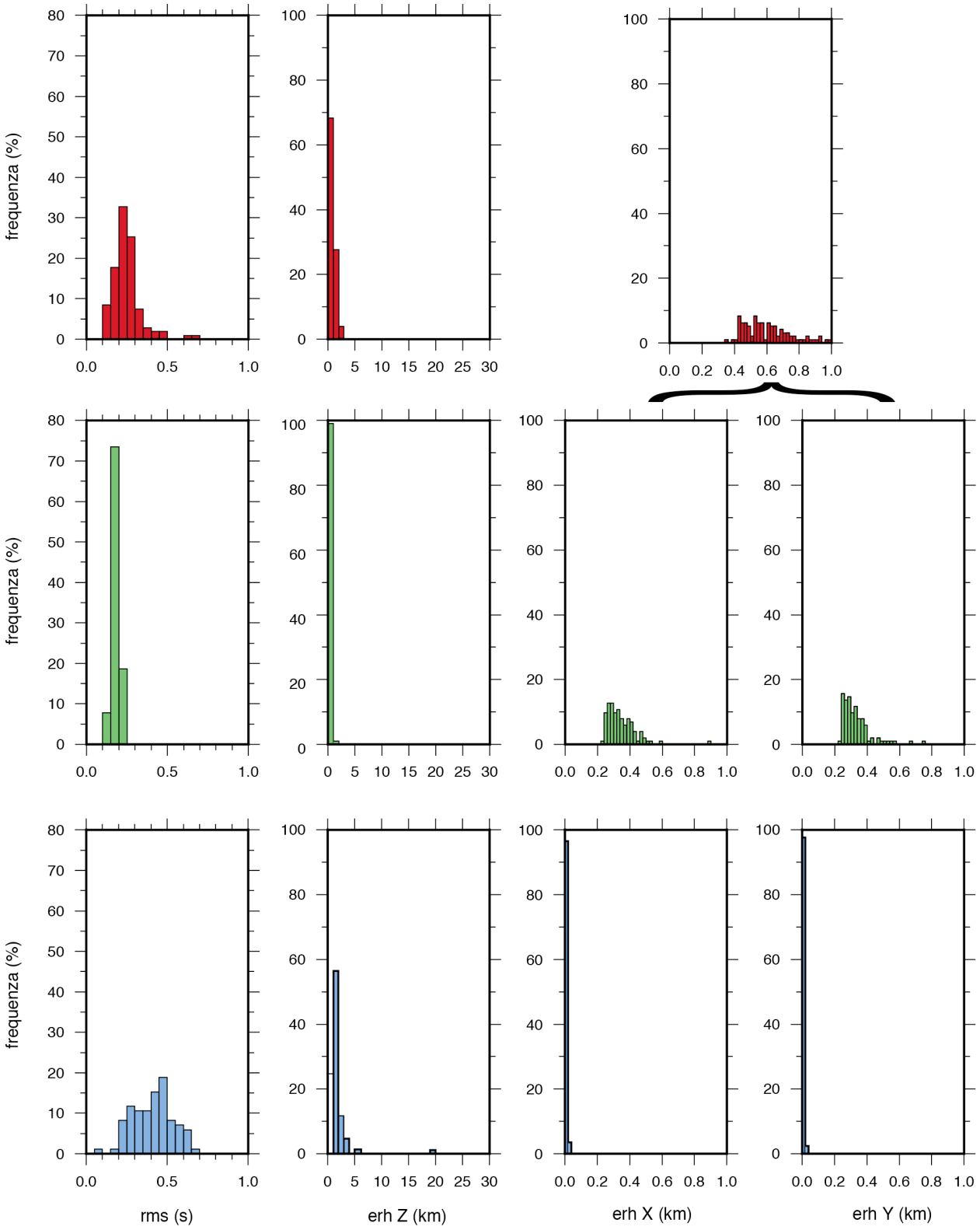


Figura 10 Confronto fra alcuni parametri prodotti con le diverse tecniche di localizzazione: *Hypoinverse* (in alto), *HypoDD* (al centro) e 3D (in basso). Nel dettaglio, da sinistra verso destra, sono paragonati i valori di rms e gli errori verticali ed orizzontali nelle localizzazioni. Per Hypoinverse, gli errori orizzontali non vengono distinti in X e Y.
Figure 10 Comparison of some parameters of products with different localization techniques: Hypoinverse (top), HypoDD (center) and 3D (bottom). In detail, from left-side to the right, they are compared the values of rms and the vertical and horizontal errors in localization. For Hypoinverse, horizontal errors are not distinguished in X and Y.

4. Conclusioni

Numerose sono le azioni che l'INGV intraprende in caso di occorrenza di un evento sismico rilevante sul territorio nazionale. Tra le priorità vi è sicuramente la continuità del servizio di sorveglianza sismica codificato nell'ambito della Convenzione vigente fra l'INGV e il DPC e, quindi, la robustezza del sistema di monitoraggio. In occasione della piccola sequenza sismica registrata nel mese di gennaio 2016 nell'area di Campobasso, si è ad esempio resa necessaria l'installazione di una stazione sismica temporanea in area epicentrale, a causa di un cattivo funzionamento per maltempo della stazione permanente BSSO della RSN più vicina al *mainshock* del 16 gennaio e alla successiva sequenza. Il tempestivo intervento ha consentito di seguire con maggior dettaglio l'evoluzione della sismicità fino al ripristino dell'ordinaria attività di monitoraggio dell'area.

Ad un selezionato *dataset* di eventi, sono stati applicati diversi codici di inversione, tecniche *standard* e non, al fine di analizzare la sismicità con maggior dettaglio rispetto alle elaborazioni che vengono prodotte dai turnisti sismologi della Sala di Sorveglianza Sismica. Queste rappresentano infatti le migliori elaborazioni prodotte nel minor tempo possibile ai fini del buon svolgimento del servizio di sorveglianza secondo la tempistica codificata nella convenzione INGV-DPC. I risultati di tali analisi, mostrati nelle Figure 7, 8 e 9, sembrano indicare come probabile faglia attivata una struttura distensiva avente direzione appenninica ed immersione verso nord-est. L'associazione della sismicità recente ad una delle faglie note in letteratura nella regione del Sannio-Matese, rimane tuttavia problematica e richiede ulteriori studi della sismicità dell'area che sono attualmente in corso.

Ringraziamenti

Gli Autori desiderano ringraziare i colleghi INGV che, giorno dopo giorno, rendono possibili le importanti attività che devono essere svolte con tempestività e accuratezza in situazioni come quelle descritte nel presente rapporto, e tra questi in particolare i turnisti della Sala di Sorveglianza Sismica e del servizio di reperibilità della Rete Sismica Mobile, gli analisti del Bollettino Sismico Italiano e gli informatici che garantiscono l'acquisizione del dato in tempo reale. Un ringraziamento va ai colleghi del Coordinamento Sismiko, che in ogni occasione garantiscono la loro disponibilità e professionalità.

Inoltre gli Autori ringraziano l'Agenzia della Protezione Civile della Regione Molise che ha ospitato presso il Centro Funzionale a Campobasso, la stazione sismica temporanea.

Infine, un sentito ringraziamento a Paolo Augliera, per gli utili commenti e suggerimenti oltre alla gentile disponibilità offerta nella revisione del presente lavoro, e a Mauro di Vito, per l'ulteriore cura nella correzione finale del testo.

Lo studio presentato ha beneficiato del contributo finanziario della Presidenza dei Consiglio dei Ministri – DPC; la presente pubblicazione, tuttavia, non riflette necessariamente la posizione e le politiche ufficiali del Dipartimento.

Bibliografia

Basili A., (2011). *Attività di sala operativa*. In: Cattaneo M. e Moretti M., eds. Riassunti estesi I° Workshop Tecnico "Monitoraggio sismico del territorio nazionale: stato dell'arte e sviluppo delle reti di monitoraggio sismico" Roma 20 | 21 dicembre 2010. Miscellanea INGV, 10, pp. 99-100.

Bollettino Sismico Italiano, (2016). Gennaio – Aprile 2016. doi:10.13127/BOLLETTINO/2016.01.

Chiarabba C., De Gori P., Chiaraluce L., Bordoni P., Cattaneo M., De Martin M., Frepoli A., Michelini A., Monachesi A., Moretti M., Augliera G. P., D'Alema E., Frapiccini M., Gassi A., Marzorati S., Di Bartolomeo P., Gentili S., Govoni A., Lovisa L., Romanelli M., Ferretti G., Pasta M., Spallarossa D., Zunino E., (2005a). *Mainshocks and aftershocks of the 2002 Molise seismic sequence, southern Italy*. Journal of Seismology, Vol. 9, 4, 487-494, doi: 10.1007/s10950-005-0633-9.

Chiarabba C., Jovane, L., and Di Stefano, R., (2005b). *A new view of Italian seismicity using 20 years of instrumental recordings*, Tectonophysics, 305, 251-268, doi:10.1016/j.tecto.2004.09.013.

De Gori P., Moretti M., Margheriti L., Cecere G., Govoni A., Criscuoli F., Mazza S., Lauciani V., D'Ambrosio C., Castagnozzi A., Memmolo, A., Migliari F., Minichiello F., Cardinale V., Falco L., Zarrilli L., De Luca G., Abruzzese L., Delladio A., Scognamiglio L., Michelini A., (2014). *Le attività di Pronto Intervento Sismico dell'INGV a seguito del terremoto del 29 dicembre 2013 (area del Matese)*. Rapporti Tecnici INGV, 281.

Di Bucci D., Corrado, S. and Naso, G., (2002). *Active faults at the boundary between Central and Southern Apennines (Isernia, Italy)*. Tectonophysics, 359, 47–63.

Di Bucci D., Naso, G., Corrado S., and Villa, I.M., (2005). *Growth, interaction and seismogenic potential of coupled active normal faults (Isernia Basin, central-southern Italy)*. Terra Nova, 17, 44–55, doi: 10.1111/j.1365-3121.2004.00582.x.

Di Bucci D., Massa B., Zuppetta, A., (2006). *Relay ramps in active normal fault zones: A clue to the identification of seismogenic sources (1688 Sannio earthquake, Italy)*. Geol. Soc. Am. Bull., 118, 3-4, 430–448, 10.1130/B25783.1.

DISS Working Group, (2010). *Database of Individual Seismogenic Sources (DISS), Version 3.1.1: A compilation*

of potential sources for earthquakes larger than M 5.5 in Italy and surrounding areas. http://diss.rm.ingv.it/diss/, © INGV 2010 - Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia - All rights reserved; doi:10.6092/INGV.IT-DISS3.1.1.

Di Stefano R., Bianchi, I., Ciaccio, M.G., Carrara, G., and Kissling, E., (2011). *Three-dimensional Moho topography in Italy: New constraints from receiver functions and controlled source seismology*. Geochem. Geophys. Geosyst., 12, Q09006, doi:10.1029/2011GC003649.

Di Stefano R and M.G. Ciaccio, (2014).*The lithosphere and asthenosphere system in Italy as inferred from the Vp and Vs 3D velocity model and Moho map*. Journal of Geodynamics, 82,16-25. Doi: 10.1016/j.jog.2014.09.006.

Di Stefano R. and Chiarabba, C., (2002). *Active source tomography at Mt. Vesuvius: constraints for the magmatic system,* J. geophys. Res., 107(B11), 2278–2293.

Di Stefano R., Kissling, E., Chiarabba, C., Amato, A., and Giardini D., (2009). *Shallow subduction beneath Italy: Three-dimensional images of the Adriatic-European-Tyrrhenian lithosphere system based on high-quality P wave arrival times.* J. Geophys. Res., 114, B05305, doi:10.1029/2008JB005641.

Dreger D.S., (2003). *TDMT_INV: Time Domain Seismic Moment Tensor INVersion*. In: W. K. Lee, H. Kanamori, P. C. Jennings, C. Kisslinger (Eds). International Handbook of Earthquake and Engineering Seismology, Vol. 81B, 1627.

Dreger D.S., and D.V. Helmberger, (1993). *Determination of Source Parameters at Regional Distances with Single Station or Sparse Network Data*. Journ. Geophys. Res., 98, 8107-8125.

Falco L., Cecere G., D'Ambrosio C., (2015). *Acquisizione dati sismici e GPS mediante implementazione di un cloud privato su rete dati cellulare ad integrazione della rete informatica della sede Irpinia* Rapporti Tecnici INGV, 301.

Ferranti L., Milano G., Burrato P., Palano M., and Cannavò F., (2015). *The seismogenic structure of the 2013-2014 Matese seismic sequence, Southern Italy: implication for the geometry of the Apennines active extensional belt*. Geophys. J. Int., 201, 823-837, doi: 10.1093/gji/ggv053.

Fracassi U., and Valensise G., (2007). *Unveiling the Sources of the Catastrophic 1456 Multiple Earthquake: Hints to an Unexplored Tectonic Mechanism in Southern Italy.* Bull. Soc. Seismol. Am., 97 (3), 725-748.

Galli P. and Naso G., (2008). *The "Taranta" Effect of the 1743 Earthquake in Salento.* Bollettino di Geofisica Teorica ed Applicata, Vol. 49, n. 2, pp. 177-204.

Galli P. and Naso, G., (2009). *Unmasking the 1349 earthquake source (southern Italy): paleoseismological and archaeoseismological indications from the Aquae Iuliae fault*. J. Struct. Geol.. 31, 128–149.

Gasperini P., Bernardini F., Valensise G. and Boschi E., (1999). *Defining Seismogenic Sources from Historical Earthquakes Felt Reports*. Bull. Seism. Soc. Am., 89, 1, 94-110.

Gruppo di Lavoro MPS, (2004). *Redazione della mappa di pericolosità sismica prevista dall'Ordinanza PCM 3274 del 20 marzo 2003*. Rapporto Conclusivo per il Dipartimento della Protezione Civile, INGV, Milano-Roma, aprile 2004, 65 pp. + 5 appendici.

Hyppolite J.C., Angelier J. and Roure F., (1994). *A major geodynamic change revealed by quaternary stress patterns in the Southern Apennines (Italy)*. Tectonophysics, 230, 199–210.

ISIDe Working Group, (2016) - Version 1.0. *Italian Seismological Instrumental and parametric database.* http://iside.rm.ingv.it. doi: 10.13127/ISIDe.

Lahr J.C., (1999, revised 2012). *HYPOELLIPSE: a computer program for determining local earthquake hypocentral parameters, magnitude, and first-motion pattern*. U.S. Geological Survey Open-File Report 99–23, version 1.1, 119 p. and software, available at http://pubs.usgs.gov/of/1999/ofr-99-0023/.

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:http://doi.org/10.6092/INGV.IT-DBMI15.

Klein F.W., (2002). *User's Guide to HYPOINVERSE–2000, a Fortran Program to Solve for Earthquake Locations and Magnitudes*. U.S. Geological Survey Open-File Report 02–171, 123 pp.

Margheriti L., Moretti M., Pasta M., Chiaraluce L., Frepoli A., Piccinini D., Piccolini U., Colasanti G., Criscuoli F., De Gori P., Ferretti G., Franceschi D., Giandomenico E., Giovani L., Govoni A., Marchetti A., Mazza S., Pavan M., Scafidi D., Silvestri M., Spallarossa D., Pintore S., Lauciani V., Fiaschi A., Turino C., (2014). *Il terremoto del 21 giugno 2013 in Lunigiana. Le attività del coordinamento Sismiko*. Rapporti Tecnici INGV, 268, 34 pp.

Mele F., Castello B., Marchetti M., Marcocci C., Moro R. e Riposati D., (2007). *ISIDe, Italian Seismological Instrumental and parametric Data-basE una pagina web per interrogare il Bollettino Sismico Italiano*. 26° Convegno Nazionale GNGTS - Roma 13-15 Novembre 2007.

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.

Moretti M., Margheriti L., Govoni A., (2016). *Rapid response to earthquake emergencies in Italy: temporary seismic network coordinated deployments in the last five years*. In: D'Amico S. (Ed): Earthquakes and their impacts on Society, Springer.

Moro R., Basili A., Bono A., Marcocci C., Mazza S., Mele F., (2008). *ISIDe, an Italian Seismic Data Base with minimum magnitude of completeness M_L 1.8*. Poster presentato alla 31a Assembly of the European Seismological Commission - ESC08, September 7-12, Hersonissos, Greece, 2008.

Nardi A., Marchetti A., Modica G., Battelli P., Berardi M., Castellano C., Melorio C., Pirro M., Rossi A., Spadoni S., Arcoraci L., Lozzi G., Battelli A., Thermes C., Ciaccio M. G., Castello B., Pagliuca N., Vallocchia M., Marcocci C., Frepoli A., Bono A., Pintore S., Pietrangeli D., Lauciani V., Fares M., Moretti M., Lucente F.P., Scognamiglio L., Palombo B., Basili A., Amato A., Michelini A., Mele F. M., Margheriti L., (2015): *Bolllettino Sismico Italiano: novità*. 34° convegno GNGTS, 17-19 novembre 2016, Trieste.

Pantosti D., and G. Valensise, (1988). *La faglia sud-appenninica: identificazione oggettiva di un lineamento sismogenetico nell'Appennino meridionale*. Proc. 7° Meeting G.N.G.T.S., Rome 1988, 205-220.

Patacca E. and Scandone P., (2007). *Geological interpretation of the CROP04 seismic line (southern Apennines, Italy)*. Boll. Soc. Geol. It. (Ital. J. Geosci.), 7, 297–315.

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:http://doi.org/10.6092/INGV.IT-CPTI15.

Salvaterra L., Pintore S e Badiali L., (2008). *Rete sismologica basata su stazioni GAIA*. Rapporti Tecnici INGV, 68.

Scognamiglio L., Tinti E. and A. Michelini, (2009). *Real-time determination of seismic moment tensor for italian region*. Bull. Seism. Soc. of Am., Vol. 99, No. 4, pp. 2223-2242, doi:10.1785/0120080104.

Scognamiglio L, Tinti E, Michelini A, Dreger D.S., Cirella A, Cocco M, Mazza S, Piatanesi A, (2010). *Fast Determination of Moment Tensors and Rupture History: What Has Been Learned from the 6 April 2009 L'Aquila Earthquake Sequence*. Seismol. Res. Lett., 81(6), 892-906.

Waldhauser F. and W.L. Ellsworth, (2000). *A double-difference earthquake location algorithm: Method and application to the northern Hayward fault*. Bull. Seism. Soc. Am., 90, 1353-1368.

Waldhauser F., (2001). *HypoDD: A computer program to compute double-difference earthquake locations*. USGS Open File Rep., 01-113.

Valensise G., and Pantosti D., eds., (2001). *Database of potential sources for earthquakes larger than M 5.5 in Italy*. Annali di Geofisica, Istituto Naxionale di Geo- fisica e Vulcanologia, Supplement to v. 44 (4), p. 1–180, with CD-ROM.

Vezzani L., Festa A., and Ghisetti F., (2010). *Geology and Tectonic Evolution of the Central-Southern Apennines, Italy*. Geol. Soc. Am. Special Paper, 469, 58 pp.

Zhao D., Hasegawa A., and Horiuchi S., (1992). *Tomographic imaging of P and S wave velocity structure beneath northeastern Japan*. Journal of Geophysical Research 97: 19909–19928.

Sitografia

Agenzia Protezione Civile Regione Molise | http://www.protezionecivile.molise.it/index.php/centro-funzionale.html - Pagina web per della Agenzia Protezione Civile Regione Molise con la quale si è collaborato per l'installazione della stazione sismica temporanea T1101.

Bollettino Sismico Italiano, 2016 | http://cnt.rm.ingv.it/bsi - Gli analisti del Bollettino Sismico Italiano ricontrollano i parametri di tutti i terremoti registrati dalla RSN, localizzati nella sala di monitoraggio di Roma e immediatamente disponibili sul web del CNT e in ISIDe. Dal 2015, ogni quadrimestre è dotato di un DOI.

Carta Geologica d'Italia - Foglio 405 "Campobasso" | http://www.isprambiente.gov.it/Media/carg/405_CAMPOBASSO/Foglio.html. - L'area del Foglio, alla scala 1: 50.000, comprende gran parte della provincia di Campobasso e una piccola zona della provincia di Isernia confinando a sud con la provincia di Caserta. La realizzazione del Foglio n. 405 "Campobasso" e stata affidata dalla Regione Molise al Dipartimento di Scienze e Tecnologie per l'Ambiente ed il Territorio dell'Universita degli Studi del Molise a seguito della convenzione stipulata tra ISPRA e Regione Molise nell'ambito del progetto CaRG (legge 438/95, legge 226/99).

Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani 2015 (CPTI15) | http://emidius.mi.ingv.it/CPTI15-DBMI15/ - Fornisce dati parametrici omogenei, sia macrosismici, sia strumentali, relativi ai terremoti con intensità massima ≥ 5 o magnitudo ≥ 4.0 d'interesse per l'Italia nella finestra temporale 1000-2014.

Catalogo RCMT | http://www.bo.ingv.it/RCMT | Catalogo Europeo-Mediterraneo degli RCMT, ovvero dei *Centroid Moment Tensor* (CMT) a scala regionale.

Catalogo TDMT | http://cnt.rm.ingv.it/tdmt - Catalogo dei meccanismi focali calcolati automaticamente e

rivisti manualmente con la tecnica dei *Time Domain Moment Tensor* per i terremoti di magnitudo maggiore di 3.5.

CNT | http://cnt.rm.ingv.it/ - Lista di tutti i terremoti che vengono registrati dalla RSN e immediatamente analizzati dal personale in turno, 24 ore su 24, nella Sala Sismica dell'INGV di Roma. Per ciascun terremoto viene creata una pagina informativa con tutte le informazioni disponibili. Tali pagine sono suscettibili di modifiche non appena sono disponibili nuovi dati.

Database Macrosismico Italiano 2015 (DBMI15) | http://emidius.mi.ingv.it/CPTI15-DBMI15/ - Fornisce un set omogeneo di intensità macrosismiche provenienti da diverse fonti relativo ai terremoti con intensità massima ≥ 5 e d'interesse per l'Italia nella finestra temporale 1000-2014.

ISIDe | http://iside.rm.ingv.it - Pagina web per interrogare il Bollettino Sismico Italiano dal 1985. DOI: 10.13127/ISIDe.

MPS | http://zonesismiche.mi.ingv.it - Pericolosità sismica di riferimento per il territorio nazionale.

http://istituto.ingv.it/l-ingv/progetti/allegati-convenzioni-dpc/accordo-quadro-2012-2021

ISSN 1590-2595
Anno 2017_Numero 140

Allegato

Scheda Stazione T1101

Scheda Stazione

T1101

Castello del Matese (CE)

Carta d'identità

IN	19/01/2016
FINE	31/03/2016
LAT	N 41.474883
LON	E 14.540325
ALT	510 m

Strumentazione

Acquisitore	TAURUS
Sensore	Le 3Dlite
Sensore	Episensor FBA ES-T
Alimentazione	220V

Configurazione

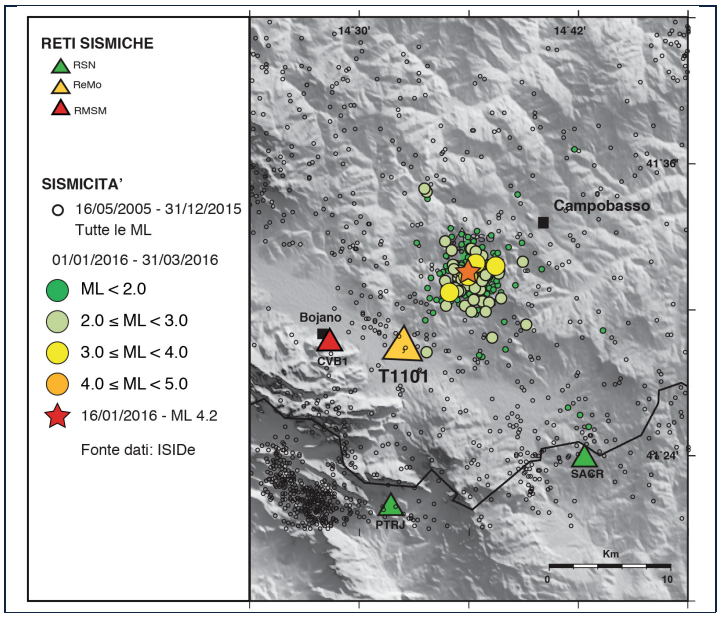
Acquisizione	real-time
Passo di campionament	100 sps entrambi i sensori
Gain	1

Station Code

velocimetro	IV.T1101..EH?
Accelerometr	IV.T1101..HN?

ISC

Registrazione	si



La stazione temporanea T1101, installata in occasione della breve crisi sismica iniziata il 16 gennaio 2016 nell'area del Molise, è stata ospitata presso il Centro Funzionale dell'Agenzia della Protezione Civile della Regione Molise.

La stazione era costituita da un acquisitore Taurus (S/N 248) equipaggiato con sensore a corto periodo Le 3Dlite (S/N 1108) e un Taurus (S/N 131) equipaggiato con accelerometro Episensor FBA ES-T (S/N 2354) entrambi dotati di *router* UMTS/LTE (modello RB411U) per consentire la trasmissione del dato alla Sala di Sorveglianza Sismica INGV (IP: 4C 5E 0C 83 14 23 e CO OC 42 94 B9 3D, rispettivamente).

L'acquisizione, e contestualmente la trasmissione del dato, è iniziata alle ore 16:25 Il primo terremoto in cui la T1101 ha contribuito alla localizzazione, è l'evento del 19 gennaio alle ore 19:40:09 UTC.





Il sito che ha ospitato la stazione è stato, contestualmente alla sua installazione, registrato presso l'*International Seismological Centre*.

Indice

Introduzione 5

1. Inquadramento sismo-tettonico dell'area 5
1.1 Sismicità storica 5
1.2 Sismicità recente: il mainshock e la sequenza sismica 6
1.3 Breve inquadramento geologico-strutturale 6

2. La criticità del monitoraggio sismico in area epicentrale e gli interventi predisposti 9

3. Analisi dei dati in tempo reale e *offline* 14
3.1 Ri-localizzazioni della sequenza. Analisi preliminari utilizzando localizzazione 1D standard, con il metodo delle doppie differenze e localizzazione 3D 15

4. Conclusioni 20

Ringraziamenti 20

Bibliografia 20

Sitografia 22

Allegato - Scheda stazione: T1101 25

ISSN 1590-2595

Quaderni di Geofisica

http://istituto.ingv.it/l-ingv/produzione-scientifica/quaderni-di-geofisica/

I Quaderni di Geofisica coprono tutti i campi disciplinari sviluppati all'interno dell'INGV, dando particolare risalto alla pubblicazione di dati, misure, osservazioni e loro elaborazioni anche preliminari, che per tipologia e dettaglio necessitano di una rapida diffusione nella comunità scientifica nazionale ed internazionale. La pubblicazione on-line fornisce accesso immediato a tutti i possibili utenti. L'Editorial Board multidisciplinare garantisce i requisiti di qualità per la pubblicazione dei contributi.

ISSN 2039-7941

rapporti tecnici INGV

http://istituto.ingv.it/l-ingv/produzione-scientifica/rapporti-tecnici-ingv/

I Rapporti Tecnici INGV pubblicano contributi, sia in italiano che in inglese, di tipo tecnologico e di rilevante interesse tecnico-scientifico per gli ambiti disciplinari propri dell'INGV. La collana Rapporti Tecnici INGV pubblica esclusivamente on-line per garantire agli autori rapidità di diffusione e agli utenti accesso immediato ai dati pubblicati. L'Editorial Board multidisciplinare garantisce i requisiti di qualità per la pubblicazione dei contributi.

ISSN 2039-6651

miscellanea INGV

http://istituto.ingv.it/l-ingv/produzione-scientifica/miscellanea-ingv/

La collana Miscellanea INGV nasce con l'intento di favorire la pubblicazione di contributi scientifici riguardanti le attività svolte dall'INGV (sismologia, vulcanologia, geologia, geomagnetismo, geochimica, aeronomia e innovazione tecnologica). In particolare, la collana Miscellanea INGV raccoglie reports di progetti scientifici, proceedings di convegni, manuali, monografie di rilevante interesse, raccolte di articoli ecc..

Coordinamento editoriale e impaginazione
Centro Editoriale Nazionale | INGV

Progetto grafico e redazionale
Daniela Riposati | Laboratorio Grafica e Immagini | INGV

© 2017 INGV Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia
Via di Vigna Murata, 605
00143 Roma
Tel. +39 06518601 Fax +39 065041181

http://www.ingv.it



Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia