

Rapporti tecnici INGV

**Terremoto del 29 dicembre 2013
nel Matese ($M_W = 5.0$).**

**Indagine speditiva degli
effetti nell'area epicentrale e
analisi preliminare della sequenza sismica**

290



Direttore Responsabile

Stefano Gresta

Editorial Board

Andrea Tertulliani - Editor in Chief (INGV - RM1)

Luigi Cucci (INGV - RM1)

Nicola Pagliuca (INGV - RM1)

Umberto Sciacca (INGV - RM2)

Alessandro Settimi (INGV - RM2)

Aldo Winkler (INGV - RM2)

Salvatore Stramondo (INGV - CNT)

Milena Moretti (INGV - CNT)

Gaetano Zonno (INGV - MI)

Viviana Castelli (INGV - BO)

Antonio Guarnieri (INGV - BO)

Mario Castellano (INGV - NA)

Mauro Di Vito (INGV - NA)

Raffaele Azzaro (INGV - CT)

Rosa Anna Corsaro (INGV - CT)

Mario Mattia (INGV - CT)

Marcello Liotta (Seconda Università di Napoli, INGV - PA)

Segreteria di Redazione

Francesca Di Stefano - Referente

Rossella Celi

Barbara Angioni

Tel. +39 06 51860068

Fax +39 06 36915617

redazionecen@ingv.it

Rapporti tecnici INGV

TERREMOTO DEL 29 DICEMBRE 2013 NEL MATESE ($M_w = 5.0$). INDAGINE SPEDITIVA DEGLI EFFETTI NELL'AREA EPICENTRALE E ANALISI PRELIMINARE DELLA SEQUENZA SISMICA

Vincenzo Convertito¹, Elena Cubellis¹, Aldo Marturano¹, Francesco Obrizzo¹,
Stefano Maria Petrazzuoli²

¹INGV (Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Sezione di Napoli - Osservatorio Vesuviano)

²Esperto di ingegneria sismica - spetrazzuoli@gmail.com. Collaboratore INGV (Sezione di Napoli - Osservatorio Vesuviano)

290

Indice

Introduzione	7
1. Sismicità storica dell'area del Matese	8
2. Località interessate dal rilievo macrosismico	9
3. Danni rilevati	10
4. Caratteristiche principali della sequenza sismica	25
5. Registrazioni accelerometriche, forme d'onda e analisi spettrale	28
5.1 Forme d'onda e spettri di Fourier in accelerazione	29
5.2 Analisi degli effetti osservati	32
6. Discussione finale	33
Ringraziamenti	34
Bibliografia	34

Introduzione

Il 29 dicembre 2013 un terremoto di magnitudo $M_w = 5.0$ (profondità 10.5 km) è avvenuto nell'area dei Monti del Matese alle ore 18:08:43, ora locale. Il terremoto è stato localizzato dalla Rete Sismica Nazionale dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV) nei Monti del Matese (41.37°N, 14.45°E) (Figura 1). In seguito a tale evento, diversi interventi sono stati predisposti finalizzati al miglioramento del monitoraggio geofisico dell'area [De Gori et al., 2014].

L'evento ha prodotto panico e preoccupazione, in modo particolare nelle comunità alle falde del Matese, con un elevato livello di avvertibilità in tutta la provincia di Caserta, Benevento, Napoli, Avellino e Salerno, in Campania, e di Venafro ed Isernia, nel Molise. Nelle aree più prossime all'epicentro sono stati registrati lievi danni ad alcuni edifici e a strutture di culto. L'evento è tra quelli di maggiore energia registrati nell'area del Matese dopo il terremoto del 26 luglio 1805. L'area del Matese che si estende da Isernia a Benevento, è uno dei segmenti della catena Appenninica più attivi dal punto di vista sismico. Il livello di pericolosità sismica fornito dalle mappe dell'INGV indica un valore stimato di accelerazione di picco con probabilità di superamento del 10% in 50 anni, su sito roccioso, compreso tra 0.250g e 0.275g (g è l'accelerazione di gravità) (http://zonesismiche.mi.ingv.it/mappa_ps_apr04/italia.html). Considerato l'elevato livello di pericolosità dell'area si è ritenuto opportuno procedere ad un rilievo speditivo degli effetti del terremoto sulle costruzioni, al fine di analizzare la vulnerabilità del patrimonio edilizio (in gran parte costituito da centri storici ed edifici in c.a. non antisismici) ed esaminare l'andamento della radiazione sismica, elementi che potrebbero essere utilizzati in futuro in un'ottica di mitigazione del rischio nel caso di eventi di maggiore energia.

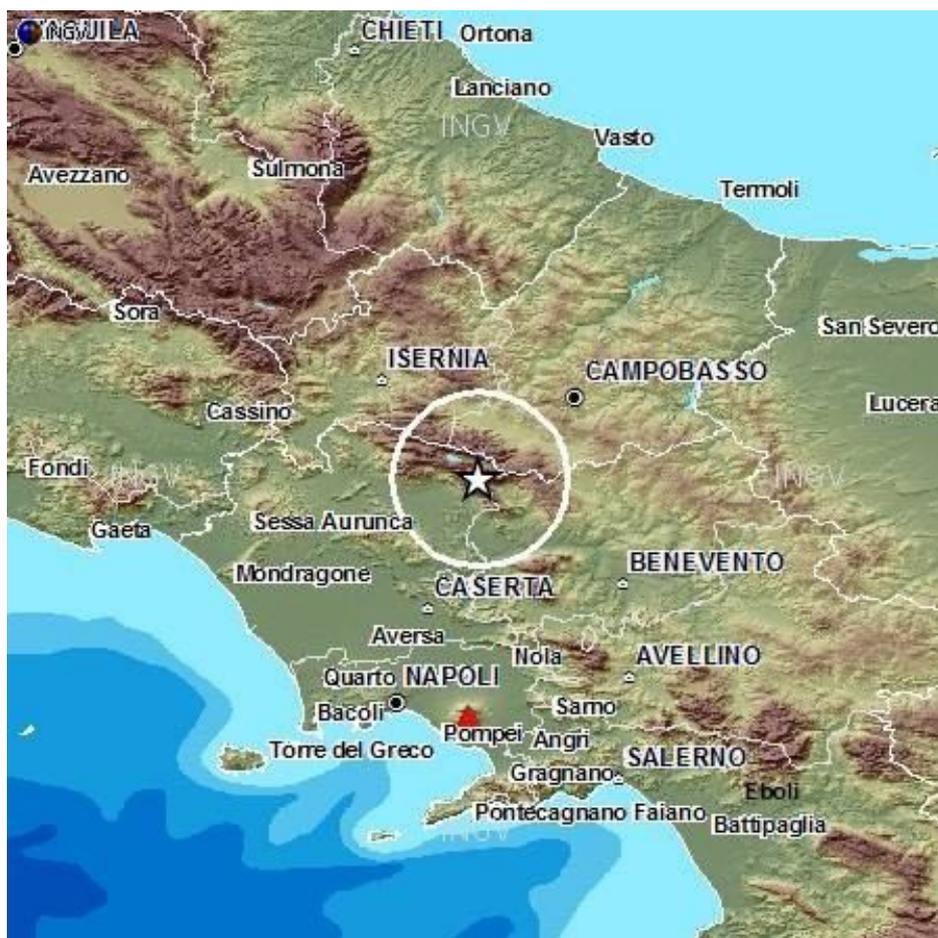


Figura 1. Epicentro del terremoto del 29 dicembre 2013 nel Matese (INGV- www.ingv.it).

1. Sismicità storica dell'area del Matese

L'evento registrato si colloca nella fascia appenninica molisano-campano-lucana, interessata da terremoti disastrosi sin dal XV secolo, da quando le fonti documentali sono più attendibili, fino al terremoto dell'Irpinia del 1980. Quattordici eventi distruttivi, per numero di vittime e danni provocati al patrimonio costruito e all'ambiente naturale, sono accaduti in circa 6 secoli con intensità massime comprese tra il IX e XI grado della scala Mercalli e magnitudo stimata maggiore di 6 (Fig.2) [Postpischl, 1985; Esposito et al., 1987; Luongo et al., 1996; Cubellis et al., 2005; Marturano e Cubellis, 2005; Locati et al., 2011; Rovida et al., 2011].

Gli eventi storici che hanno indotto i maggiori danni all'area del Matese, sono quelli del 1456 (Magnitudo stimata 7.5, numero di morti superiore ai 10.000), del 1688 che investì fortemente il Sannio (Magnitudo stimata 6.8, migliaia di morti) e quello del 1805 (Magnitudo stimata 6.8, circa 5000 morti). Il terremoto del 1805, noto come terremoto di Sant'Anna, è tra le maggiori catastrofi sismiche del XIX secolo, e forte è la memoria storica di tale evento in Campania e Molise. Infatti viene ancora ricordato, ogni anno, nel giorno di Sant'Anna (26 luglio), in alcune località dell'area con cerimonie religiose.

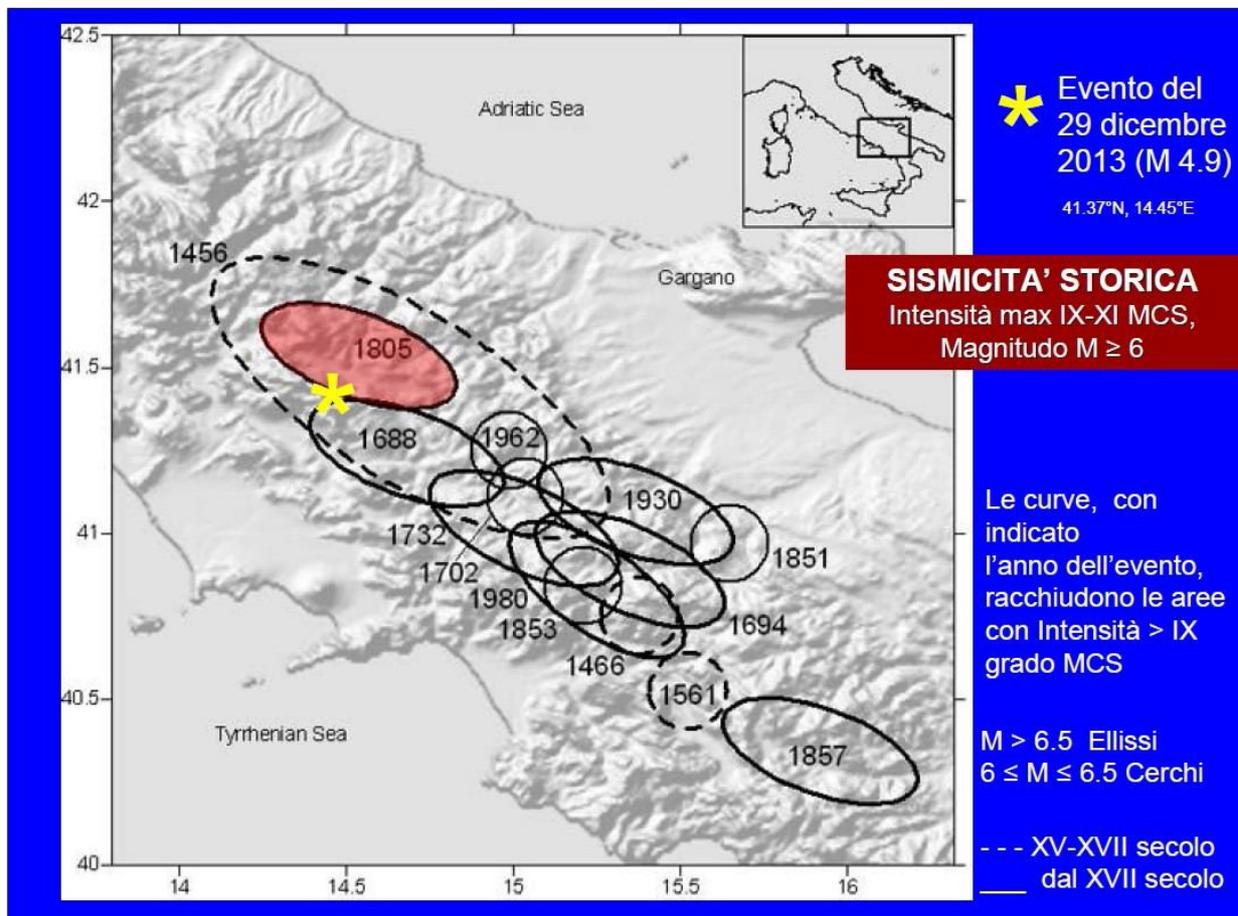


Figura 2. Ubicazione del terremoto del Matese del 29 dicembre 2013 ($M_I = 4.9$) nel quadro della sismicità storica nell'Appennino Molisano-Campano-Lucano a partire dal XV secolo [Cubellis et al., 2005, modificata].

2. Località interessate dal rilievo macrosismico

Nonostante la magnitudo dell'evento del 29 dicembre 2013 possa definirsi moderata, si è intervenuti nell'area per una verifica speditiva degli effetti del terremoto, tenendo in conto la sismicità storica e il livello di pericolosità sismica dell'area. Sono stati così effettuati sopralluoghi nell'area epicentrale e zone limitrofe e attraverso la valutazione dell'entità del danno, si è proceduto ad attribuire l'intensità del terremoto e definire la distribuzione geografica degli effetti.

L'indagine sul campo è iniziata con un primo contatto con la popolazione coinvolta che ha fornito le descrizioni sull'avvertibilità dell'evento, ed eventuali effetti alle strutture abitative, pubbliche e private, nonché alle chiese. L'evento si è verificato durante la celebrazione della S. Messa in molte località procurando una forte preoccupazione collettiva che ha spinto alla chiusura di molte chiese, gran parte in via cautelativa.

I comuni più vicini all'epicentro, distanti meno di 10 km, sono: Castello Matese (CE), Gioia Sannitica (CE), Piedimonte Matese (CE), San Gregorio Matese (CE), San Potito Sannitico (CE), Cusano Mutri (BN), Faicchio (BN), Campochiaro (CB).

Tra i comuni a distanza compresa entro i 10-20 km ritroviamo: Alife (CE), Alvignano (CE), Castel Campagnano (CE), Dragoni (CE), Ruviano (CE), Sant'Angelo D'Alife (CE), Amorosi (BN), Castelvenero (BN), Cerreto Sannita (BN), Guardia Sanframondi (BN), Pietraroia (BN), Puglianello (BN), San Lorenzello (BN), San Salvatore Telesino (BN), Teleso Terme (BN), Baranello (CB), Bojano (CB), Cole D'Anchise (CB), Guardiaregia (CB), San Massimo (CB), San Polo Matese (CB), Sepino (CB), Spinete (CB), Vinchiaturro (CB), Cantalupo nel Sannio (IS), Macchiagodena (IS), Roccamandolfi (IS).

Nella mappa riportata in Figura 3 sono indicati i siti visionati durante i sopralluoghi nell'area del Matese, sia sul versante campano che molisano.

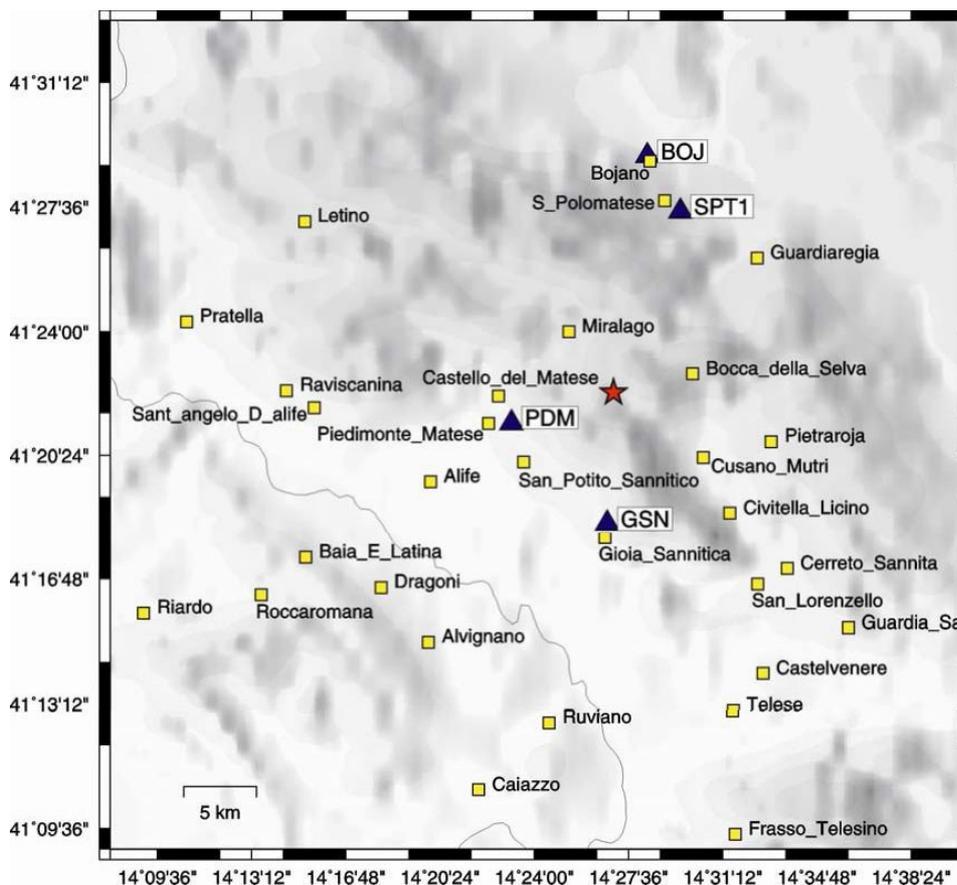


Figura 3. Epicentro del terremoto del 29 dicembre 2013 (stella rossa) con ubicazione delle stazioni accelerometriche della Rete Nazionale RAN (triangoli) più vicine e indicazione delle località esaminate per il rilievo degli effetti (quadratini gialli).

3. Danni rilevati

A partire dal giorno 2 Gennaio 2014 sono stati effettuati una serie di sopralluoghi che hanno consentito di avere una stima attendibile del livello di danneggiamento subito dalle diverse località. Al fine di documentare i danni osservati, nel seguito si riporta per ciascuna località un campionamento fotografico dei danni più importanti rilevati a strutture pubbliche, private e chiese, su cui ci si è basati per attribuire il grado di intensità. L'intensità è stata assegnata sulla base del massimo danno osservato in ciascuna località. Ciò è stato possibile anche grazie al supporto dei tecnici locali che hanno segnalato le strutture maggiormente colpite. È stata utilizzata a tal fine la scala MCS per edifici in muratura, inoltre in presenza di strutture in c.a. si è tenuto conto della scala MSK che è sovrapponibile alla MCS per i livelli di danno registrati. Nelle foto che riportano i danni principali osservati si è ritenuto opportuno esplicitare il livello di danneggiamento rappresentato. A tal fine, l'entità del danno è stata distinta in diversi livelli (D0,...,D5) secondo la scala EMS '98 [Grünthal, 1998]. Nel corso dell'attività di rilevamento in molti edifici non è stato possibile accedere in quanto oggetto di una ordinanza sindacale di inagibilità temporanea, in modo particolare per le chiese e scuole, chiuse per la gran parte.

Alife (CE)

Nella città di Alife, l'evento è stato avvertito con panico da persone in casa e per strada, numerose le segnalazioni di oggetti caduti dagli scaffali mentre alcune famiglie (un centinaio) hanno chiesto la verifica di agibilità in seguito a lesioni riscontrate nella propria abitazione. Solo in pochissimi casi sono state riscontrate lesioni nelle pareti esterne. Anche l'Istituto Professionale, sito all'ingresso della città, è stato dichiarato inagibile. In molte chiese sono state segnalate lesioni e sono state chiuse al culto per le verifiche. In particolare, la Cattedrale mostra chiare lesioni al campanile. Durante il terremoto in cattedrale si celebrava la S. Messa e tutti sono scappati all'esterno impauriti dalla caduta di calcinacci, oggetti sacri e decorativi. Gli effetti più rilevanti compatibili con il VI grado di intensità MCS, riscontrati nella città di Alife, sono stati riportati nella Figura 4.



Figura 4. Danni alla torre campanaria della Cattedrale. Livello di danno stimato D3-Grave. Le lesioni nelle foto c) e d) sono state graficamente evidenziate.

Piedimonte Matese (CE)

La popolazione della città di Piedimonte Matese ha avvertito l'evento con panico, sia in casa che per strada, e numerose sono state le segnalazioni di oggetti caduti dagli scaffali. Molti hanno dormito fuori casa sia perché le abitazioni risultavano danneggiate, sia perché impauriti dalla forte scossa. Diverse centinaia di famiglie hanno chiesto la verifica di agibilità in seguito a lesioni riscontrate nella propria abitazione. L'edificio Comunale sito in Piazza Roma ha subito lesioni nella parte alta della torre con l'orologio e sono state segnalate lesioni internamente alla parte storica della struttura.

Lesioni anche alla chiesa Ave Gratia Plena dove internamente sono segnalate cadute di calcinacci e intonaci, di oggetti sacri e decorativi. Chi si trovava in chiesa al momento del terremoto è scappato con panico e ha descritto il momento di grande paura per le oscillazioni di oggetti pendenti, forte boato. Lesioni anche alle volte lateralmente alla chiesa Ave Gratia Plena.

In Via Luigi Noviello, nel condominio segnalato, sono state riscontrate gravi lesioni alla base dell'edificio in cemento armato, soprattutto nella parte poggiate su terreni sciolti.

Effetti più intensi sono stati riscontrati in diversi condomini ubicati in Via A. Moro, dove molte famiglie sono state evacuate. Danni diffusi sono presenti su diverse unità abitative e diversi palazzi recintati a causa dei dissesti subiti. Si tratta di edilizia popolare in cemento armato edificata su morfologie quasi pianeggianti o in lieve pendenza, e depositi alluvionali, distanti dalla roccia affiorante, su cui invece si imposta gran parte del centro storico della città di Piedimonte.

L'Istituto Agrario Scocciarini Coppola mostra lesioni esterne, sono segnalati danni internamente ed è stato chiuso per le verifiche di stabilità.

Il convento Franciscano di San Pasquale e la Torre sulla collina che domina la città di Piedimonte Matese, hanno subito lesioni visibili e sono stati recintati perché considerati pericolanti.

Abitazioni lungo la strada che porta al Convento hanno subito lesioni visibili sulle pareti esterne della casa. Per alcune di queste abitazioni, si può attribuire il danno al "mal costruito".

Nella frazione Sepicciano di Piedimonte Matese, sono state osservate lievi lesioni nei condomini segnalati. Gli effetti più rilevanti compatibili con il VI-VII grado di intensità MCS, riscontrati nella città di Piedimonte Matese, sono riportati nelle Figure 5-15.

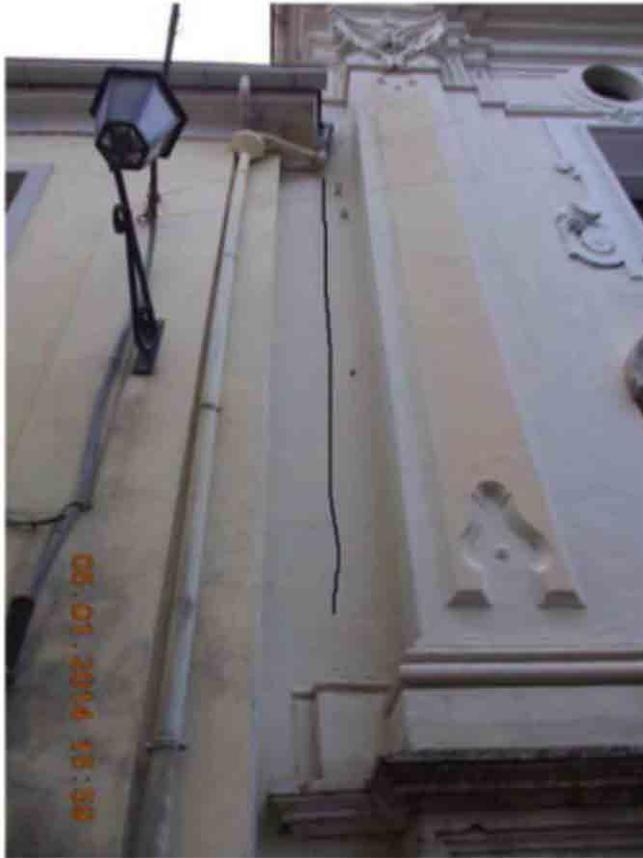


a)



b)

Figura 5. a) Palazzo Comunale; b) Danni alla torre dell'orologio. Danno stimato D2-D3 (Medio-Grave). Le lesioni della foto b) sono state graficamente evidenziate.



a)



b)

Figura 6. Danni osservati dall'esterno della chiesa Ave Gratia Plena: a) lesione di distacco da edificio confinante (Danno stimato D1-Lieve); b) lesione torre campanaria (Danno stimato D3-Grave). Le lesioni sulle foto a e b sono state evidenziate.

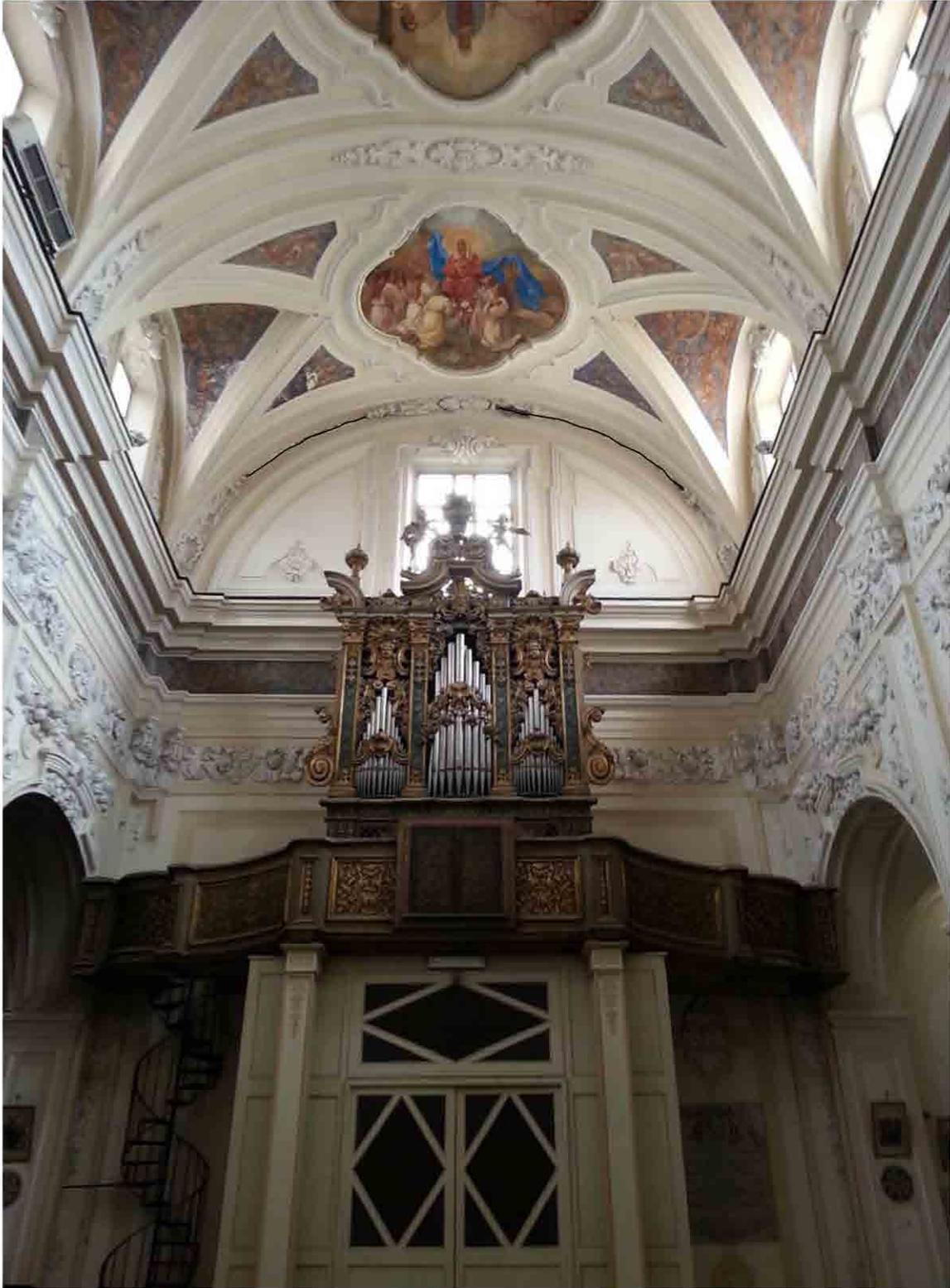


Figura 7a. Danni osservati dall'interno della chiesa Ave Gratia Plena (Danno stimato D3-Grave). Le lesioni sono state graficamente evidenziate. (Gentile concessione del parroco Don Alfonso, vicario del Vescovo - Foto Arch. A. Pascarella).



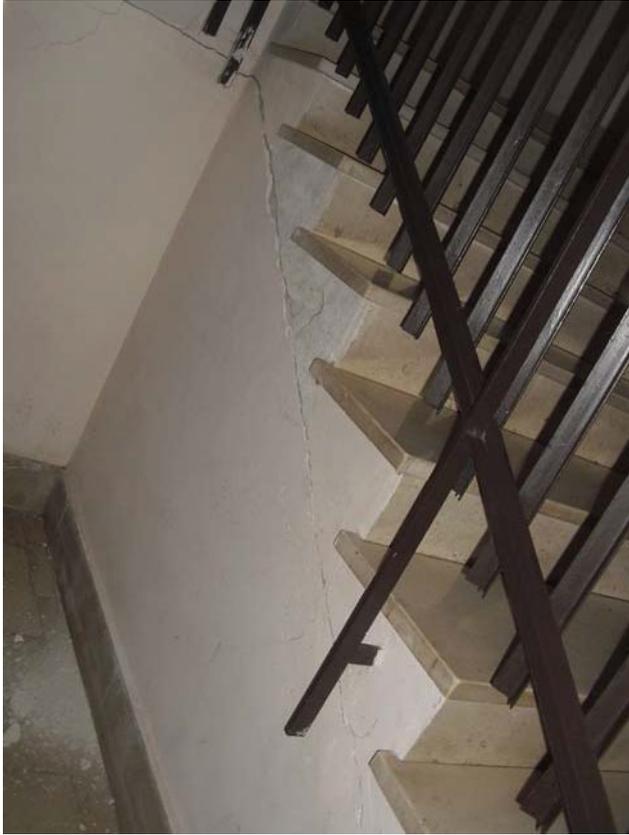
Figura 7b. Danni osservati dall'interno della chiesa Ave Gratia Plena. Danno stimato D3-Grave. (Gentile concessione del parroco Don Alfonso, vicario del Vescovo – Foto Arch. A. Pascarella).



Figura 7c. Danni osservati dall'interno della chiesa Ave Gratia Plena. Danno stimato D2-Medio. Le lesioni sono state graficamente evidenziate. (Gentile concessione del parroco Don Alfonso, vicario del Vescovo – Foto Arch. A. Pascarella).



Figura 7d. Danni osservati dall'interno della chiesa Ave Gratia Plena. Danno stimato D2-Medio. (Gentile concessione del parroco Don Alfonso, vicario del Vescovo – Foto Arch. A. Pascarella).



a)



b)



c)

Figura 8. Via Noviello. Lesioni alle tamponature a), b) e c). Livello di danno stimato D2-D3-Medio-Grave. L'edificio in c.a. presenta danni solo nella parte poggianti su terreni sciolti (detrito di versante) o probabile riempimento.



a)



b)



c)

Figura 9. Via Aldo Moro, Condominio I. a) e b) Lesioni alle tamponature interne. Livello di danno stimato D2-D3-Medio-Grave. c) Lesioni alle tamponature esterne realizzate successivamente. Livello di danno stimato D1-Lieve. Le lesioni sono state graficamente evidenziate.



a)



b)



c)



d)



e)

Figura 10. Via Aldo Moro, Condominio II. Lesioni alle tamponature edifici c.a. con tipologia Pilotis. Lesioni in a), b) e c) livello di danno stimato D2-D3-Medio-Grave. Lesioni in d) ed e) livello di danno stimato D3-D4-Grave-Gravissimo. Nell'ambito dell'agglomerato edilizio si nota una riduzione dei danni in direzione Nord-Ovest.



a)

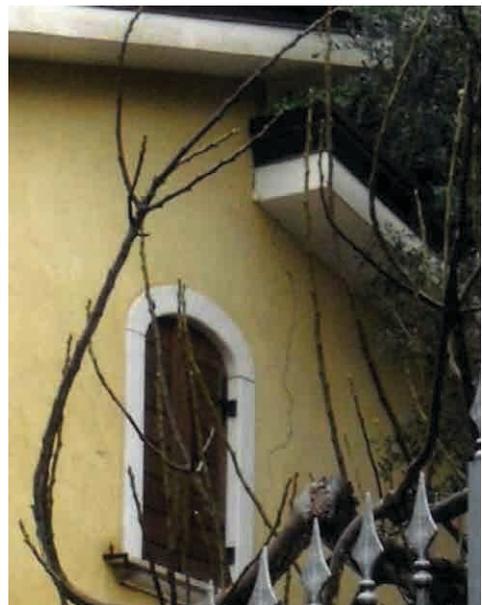


b)

Figura 11. Istituto Agrario “Scorciarini Coppola”, Via Monte Muto. a) e b) Lesioni sulle facciate. Livello di danno stimato D2-D3-Medio-Grave. Danni gravi (D3) sulla facciata posteriore non documentati fotograficamente. Le lesioni sulle foto a) e b) sono state evidenziate.



a)



b)

Figura 12. Abitazioni lungo la strada che porta al Santuario S. Maria Occorrevole (San Pasquale, Via Monte Muto). a) e b) Lesioni sulle facciate. Livello di danno stimato D3-Grave. La palazzina è stata realizzata recuperando un vecchio edificio e sostituendo solai in legno con solai in c.a..



a)



b)

Figura 13. a) Convento S. Maria Occorrevole (San Pasquale). b) Lesioni arcata di ingresso. Livello di danno D2-D3-Medio-Grave. Le lesioni sulla foto b) sono state evidenziate.



a)



b)

Figura 14. Torre campanaria Santuario S. Maria Occorrevole (San Pasquale, quota 500m s.l.m.). Caduta pietre dalla Torre, livello di danno D2-D3-Medio-Grave.

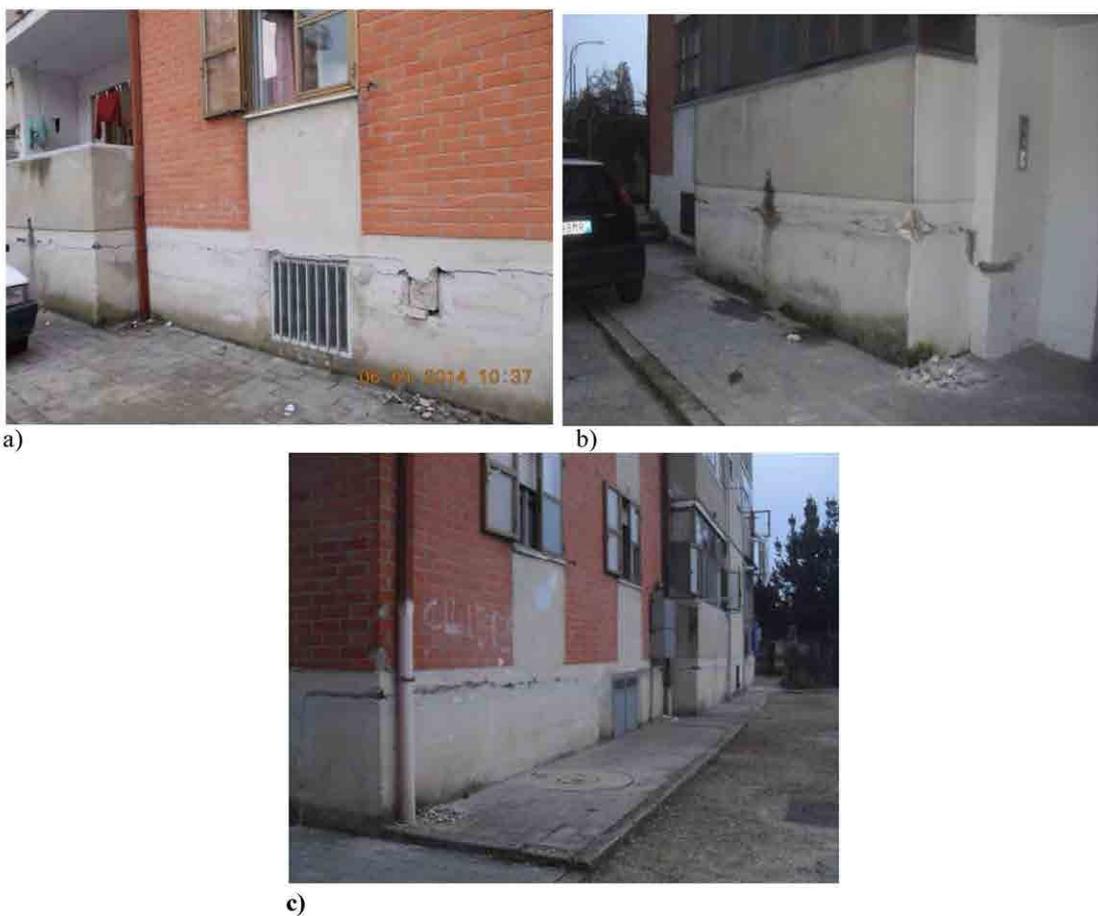


Figura 15. Frazione Sepicciano. Condominio in c.a.. Lesioni alle tamponature. Livello di danno D2-D3-Medio-Grave. La irregolarità costituita dai pilastri tozzi ha concentrato il danno nella parte bassa.

Sant'Angelo D'Alife (CE)

Nel comune di Sant'Angelo D'Alife sono state rilevate lesioni alle facciate esterne dell'edificio comunale (Figura 16) e lesioni all'interno non documentate fotograficamente. Gli effetti rilevati sono compatibili con il VI grado di intensità MCS.



Figura 16. Lesioni alla facciata del Municipio. Livello di danno stimato D3-Grave.

Faicchio (BN)

Nel comune di Faicchio l'evento è stato avvertito dalla popolazione con panico. Lesioni in numerose abitazioni visibili dall'esterno, danni alle case popolari e lesioni gravi alla chiesa madre. Tutte le chiese sono state chiuse al culto in attesa delle verifiche. Gli effetti più rilevanti compatibili con il VI-VII grado di intensità MCS, riscontrati nella città di Faicchio sono riportati nelle Figure 17-19.

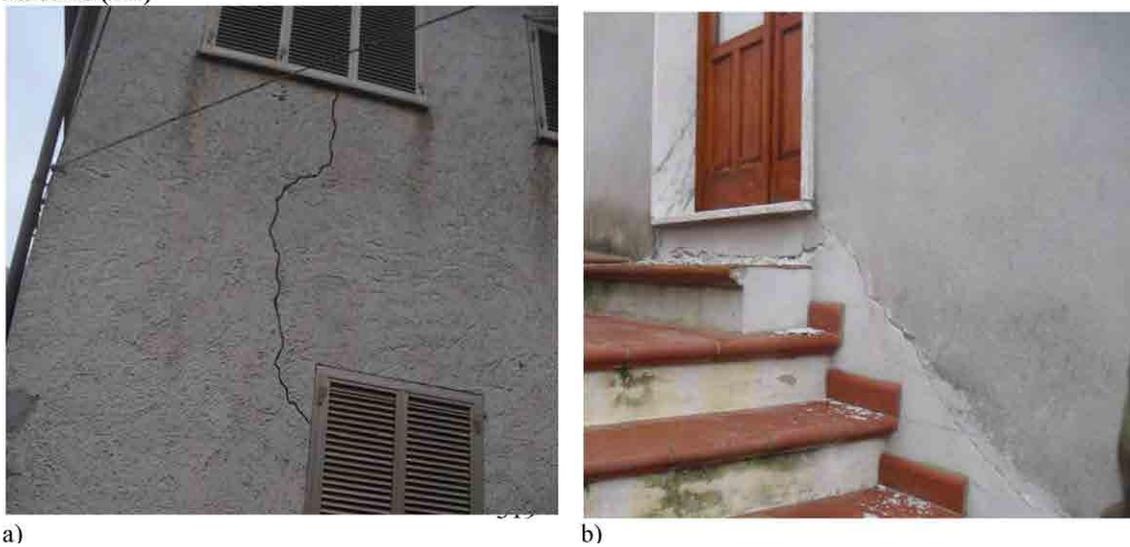


Figura 17. Edificio in corrispondenza della Piazza. Lesioni murature portanti. Livello di danno D3-Grave. Le lesioni sulla foto a) sono state evidenziate.



Figura 18. Chiesa San Giovanni Battista. Lesioni sulle facciate livello di danno D2-D3-Medio-Grave. Le lesioni delle foto a), b) e d) sono state evidenziate.

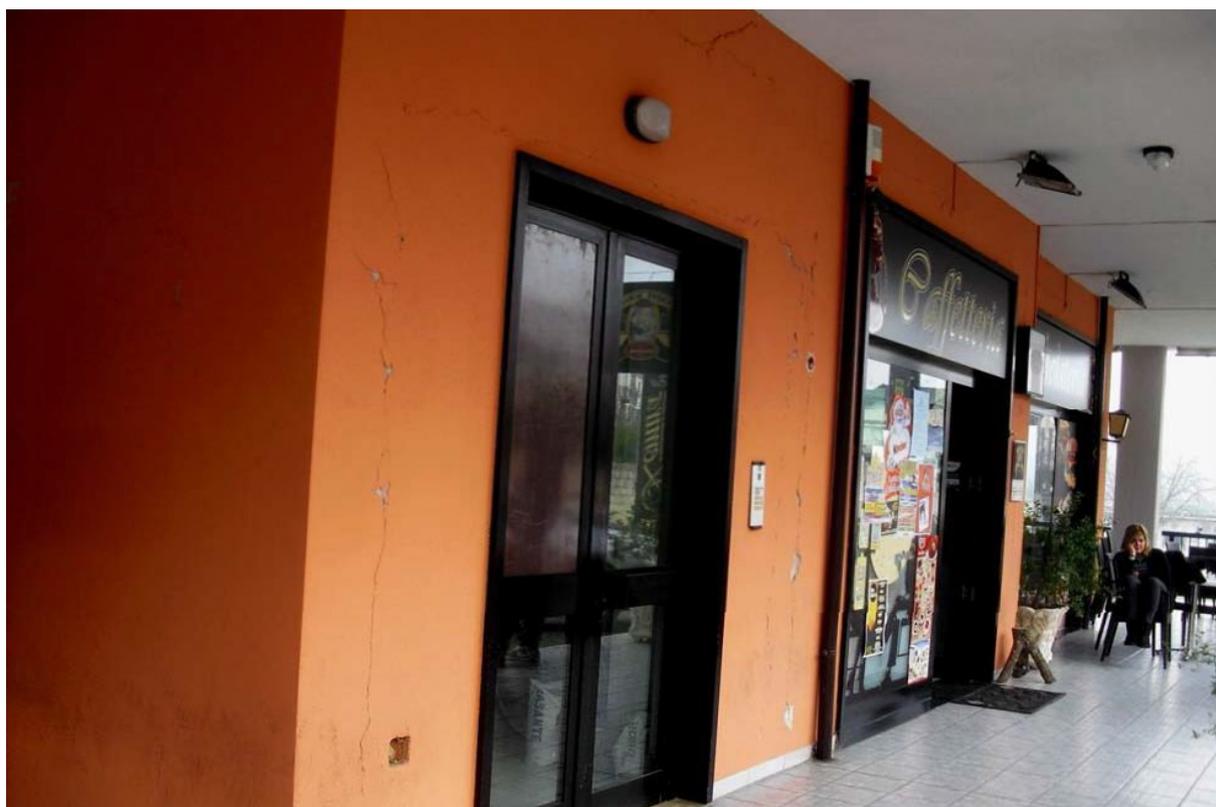


Figura 19. Fabbricato in c.a. all'inizio del centro cittadino. Lesioni sulle tamponature. Livello di danno D2-Medio.

Gioia Sannitica (CE)

Nel comune di Gioia Sannitica l'evento è stato avvertito dalla popolazione con panico. Lesioni in numerose abitazioni. Gli effetti più rilevanti compatibili con il VI grado di intensità MCS, riscontrati nella città di Gioia Sannitica sono stati riportati nella Figura 20.



a)



b)

Figura 20. Danni ad un edificio in località Petrito. L'edificio presenta danni pregressi per cedimenti fondali. Livello di danno D3-Grave.

Castello Matese (CE)

A Castello Matese l'evento è stato ben avvertito da persone in casa e per strada, numerose le segnalazioni di oggetti caduti dagli scaffali mentre alcune famiglie hanno chiesto la verifica di agibilità in seguito a lesioni riscontrate nella propria abitazione.

In molte chiese sono state segnalate lesioni e sono state chiuse al culto per le verifiche. In particolare la Chiesa Madre, mostra un ampliamento delle lesioni al campanile, che è stato protetto con un ponteggio.

Gli effetti più rilevanti, compatibili con il VI grado di intensità MCS, riscontrati nella città Castello Matese sono stati riportati nella Figura 21.

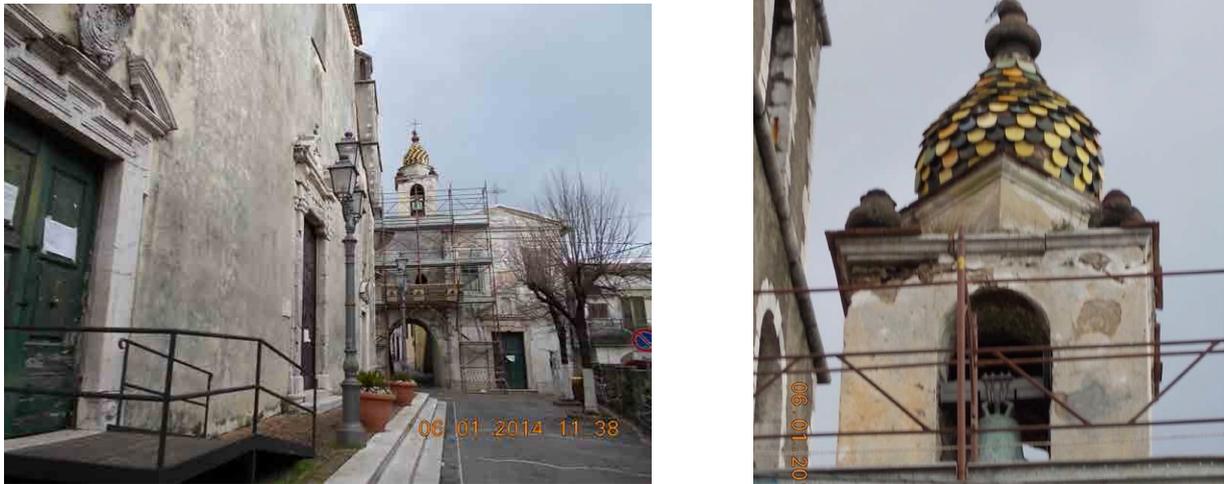


Figura 21. Lesioni alla torre campanaria. Livello di danno D3-Grave.

Bojano (CB)

Nel comune di Bojano, l'evento è stato avvertito dalla popolazione con panico. Lesioni alle chiese, chiuse al culto. Gli effetti più rilevanti compatibili con il VI grado di intensità MCS riscontrati nella città di Bojano sono stati riportati nella Figura 22.

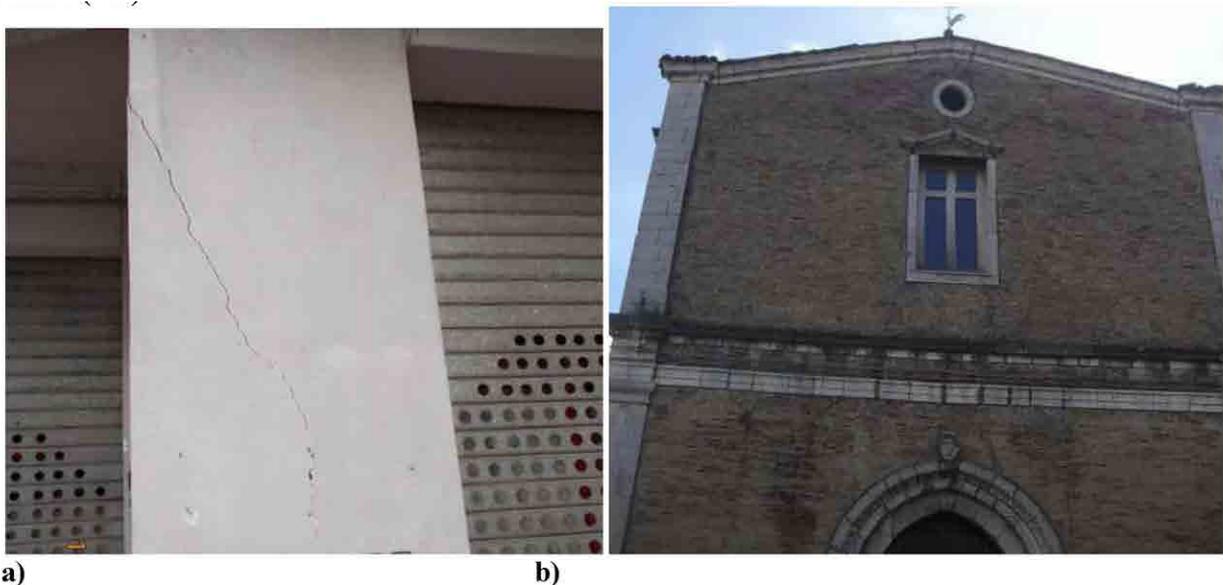


Figura 22. a) Abitazioni danneggiate all'ingresso della città. Livello di danno D2-Medio; b) Chiesa Santa Maria, chiusa al culto, in attesa di interventi (danni alla volta centrale). Livello di danno D3-Grave.

4. Caratteristiche principali della sequenza sismica

In questa sezione si analizzano le principali caratteristiche della sequenza sismica innescata con l'occorrenza del terremoto del Matese del 29 Dicembre 2013. A tale scopo sono stati estratti dal bollettino ISIDE (<http://iside.rm.ingv.it>) tutti gli eventi registrati fino al 21 Aprile 2014.

La Figura 23 mostra la distribuzione spaziale degli eventi con l'evento principale e l'ubicazione delle stazioni utilizzate nelle analisi precedenti.

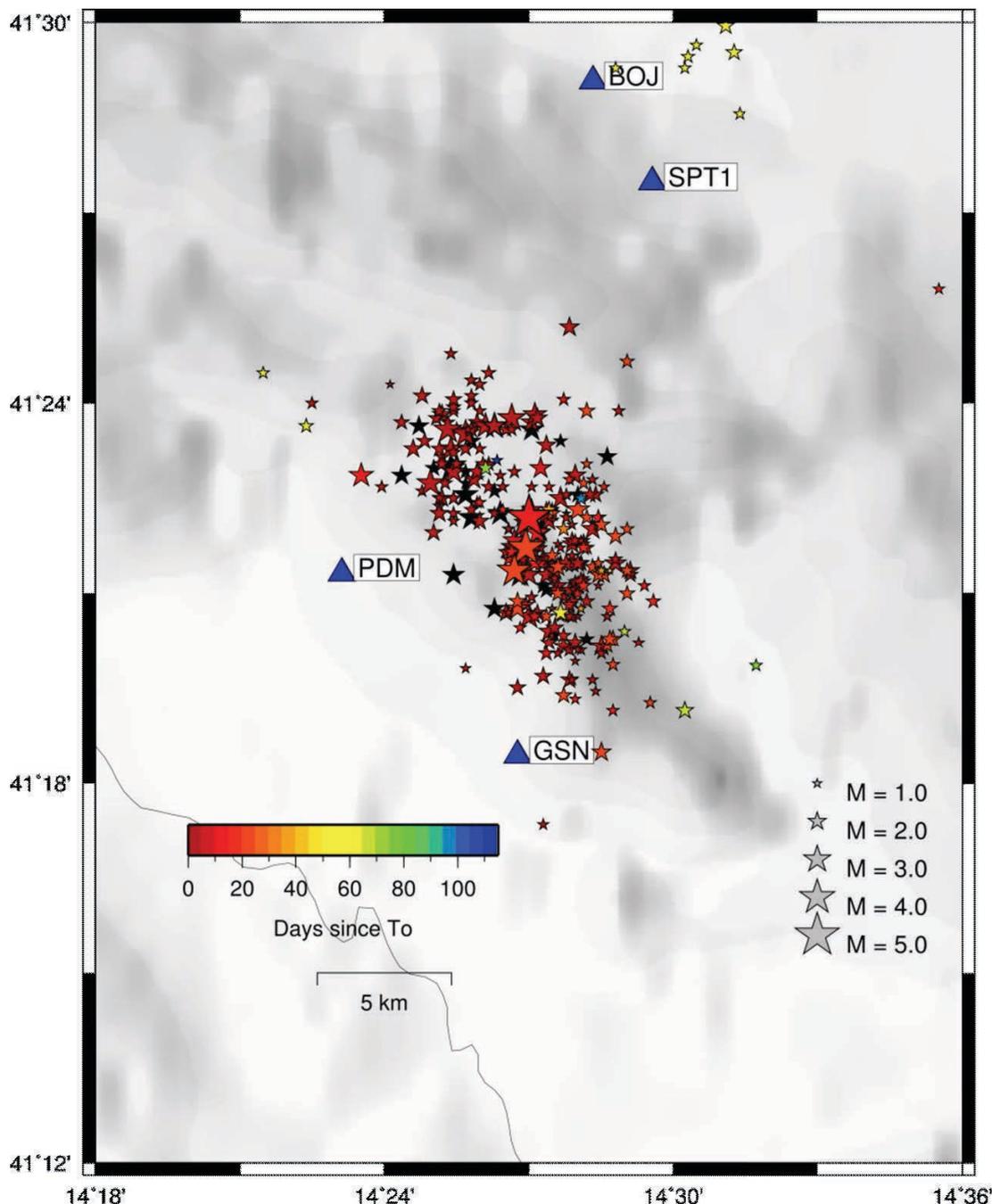


Figura 23. Distribuzione epicentrale delle repliche del terremoto del Matese del 29 Dicembre 2013, 18:08:44UTC, Mw 5.0. I dati sono stati estratti dal Bollettino ISIDE (ultimo accesso Aprile 2014). La dimensione delle stelle è proporzionale alla magnitudo locale degli eventi, mentre il colore indica il tempo in giorni dal tempo origine dell'evento principale. La replica di magnitudo maggiore (Ml=4.2) si è verificata il 20 gennaio 2014 alle ore 08:12, evento ben avvertito dalla popolazione.

Per contestualizzare la sequenza nell'area sismogenetica in cui è avvenuta è utile studiare la sismicità dell'area negli anni precedenti. A tale scopo abbiamo estratto dal bollettino sismico ISIDE i terremoti strumentali localizzati in un'area di raggio 20km e centrata sull'epicentro dell'evento del Matese a partire dal 31 Dicembre 2010 fino al 21 Aprile 2014. La figura 24 mostra il numero cumulato di eventi e l'energia sismica cumulata calcolata trasformando i valori di magnitudo in energia utilizzando la relazione di Kanamori [1977]:

$$\log E = 11.8 + 1.5M \quad (1)$$

dove E è l'energia sismica in Erg ed M è la magnitudo dell'evento considerato.

Quello che si evince dalla figura è che il tasso degli eventi dal 2010 fino all'evento del 29 Dicembre 2013 è praticamente costante così come il rilascio di energia senza nessuna variazione significativa prima dell'evento del 29 Dicembre. In corrispondenza dell'evento principale identificato dal triangolo in figura, c'è un importante incremento di energia ed una variazione del numero di eventi. La seconda variazione importante corrisponde alla replica di magnitudo maggiore pari a $M_I=4.2$ avvenuta il 20 gennaio 2014 alle ore 08:12. Infine è possibile verificare che allo stato attuale la sismicità dell'area è ritornata ai livelli pre-evento.

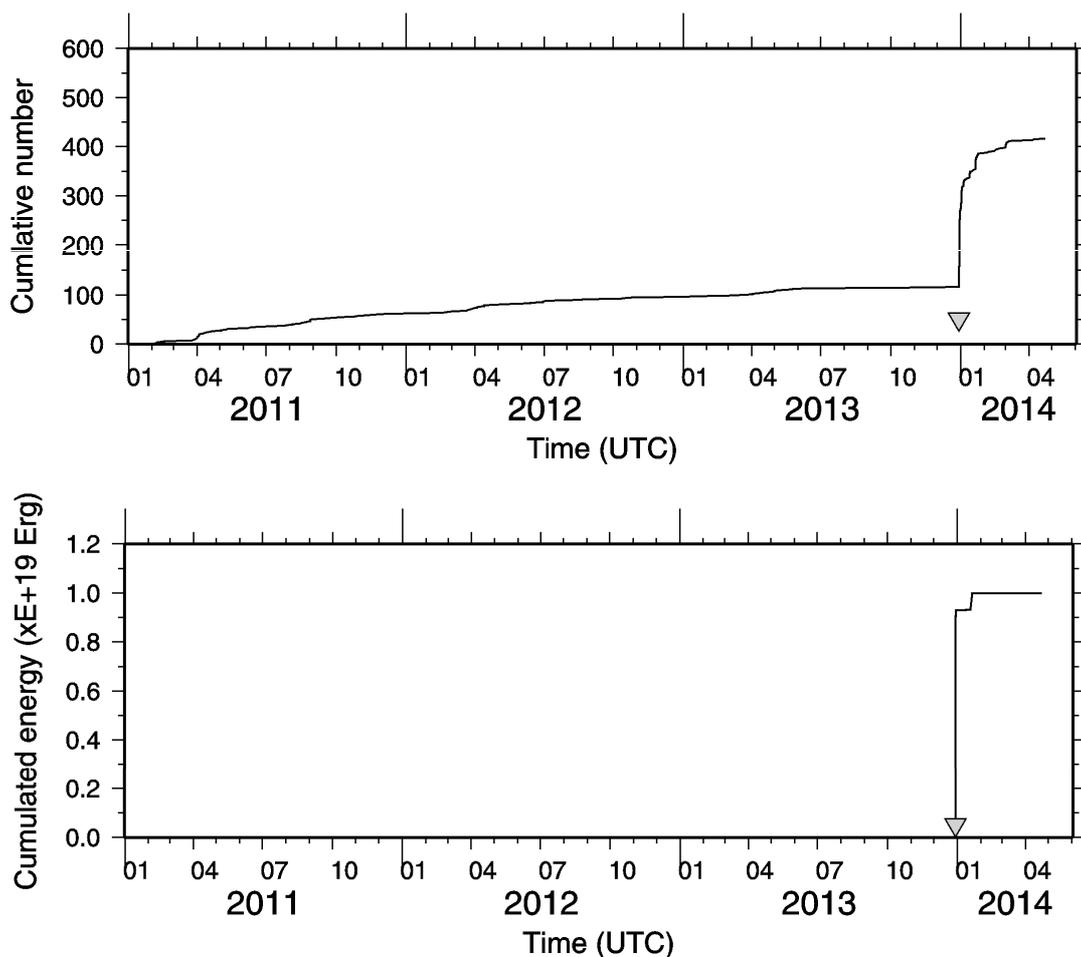


Figura 24. Pannello superiore: Numero cumulato di eventi registrati in un'area di raggio 20 km dall'epicentro dell'evento del 31 Dicembre 2013 Mw 5.0 a partire da Dicembre 2010 fino ad Aprile 2014. Pannello inferiore: Rilascio cumulato di energia sismica nella stessa area e per lo stesso periodo.

È interessante anche calcolare la relazione di Gutenberg-Richter [1944] (GR) la cui formulazione è la seguente:

$$\log N(M \geq m) = a - bM \quad (2)$$

Nell'equazione (2), $N(M \geq m)$ è il numero di eventi con magnitudo maggiore o uguale ad m , il parametro a fornisce una misura della produttività (o sismicità) dell'area ed il parametro b fornisce invece una misura del rapporto tra i grandi e piccoli eventi.

L'idea è quella di confrontare le stime dei parametri a e b relativi alla sequenza con quelle ottenute utilizzando i dati da bollettino nel periodo pre-evento indicato in precedenza. Le due relazioni con relative magnitudo minime di completezza M_c e i valori di a e b (con relative incertezze) sono riportate in Figura 25.

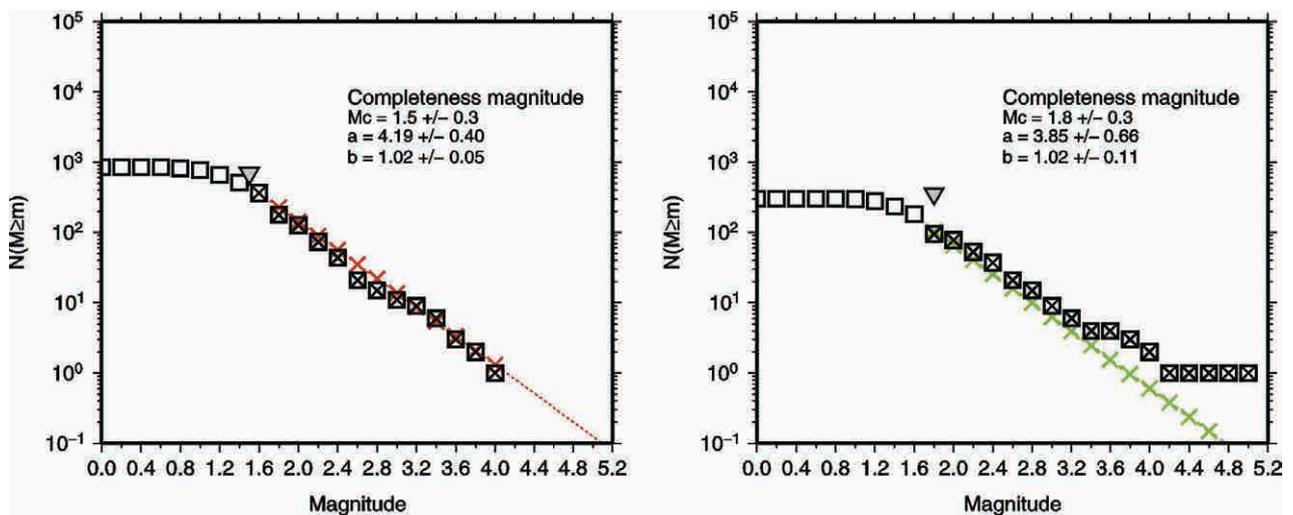


Figura 25. Pannello sinistro: Relazione di Gutenberg-Richter [1944] per la sismicità registrata nell'area di studio per il periodo Dicembre 2010 – Dicembre 2013 e precedente l'evento del 29 Dicembre. Pannello destro: stessa relazione ma per il periodo 29 Dicembre – 21 Aprile 2014.

Dai risultati si vede che il valore di b delle GR sono simili sebbene le distribuzioni siano diverse. In particolare, mentre per il periodo antecedente la sequenza l'andamento è lineare (pannello a sinistra), per quanto riguarda la sequenza (pannello a destra) la distribuzione dei dati non ha l'andamento lineare atteso.

Infine riportiamo le stime dei parametri delle relazione di Omori [Utsu, 1961; Utsu et al., 1995]. La relazione di Omori consente di stimare il numero di eventi atteso nel tempo a partire dall'evento principale della sequenza. La cui formulazione è la seguente:

$$n(t) = \frac{k}{(c+t)^p} \quad (3)$$

in cui k , c e p sono delle costanti e t è il tempo (generalmente espresso in giorni) misurato dal tempo origine dell'evento principale. Mentre c fornisce uno *shift* in tempo rispetto al tempo origine dell'evento principale, il parametro p fornisce una stima della rapidità di decadimento della sequenza. Il valore medio di p riportato in varie parti del mondo è circa 1.1 con un intervallo di variazione di 0.6-2.5 [Utsu, 1961; Utsu et al., 1995].

Il risultato dell'analisi per la sequenza del Matese è riportato in Figura 26 in cui sono anche elencati i valori dei parametri k , c e p e le relative incertezze. Il valore di p ottenuto è molto prossimo al valore utilizzato da Murru et al., [2009] dall'analisi delle sequenze sul territorio italiano.

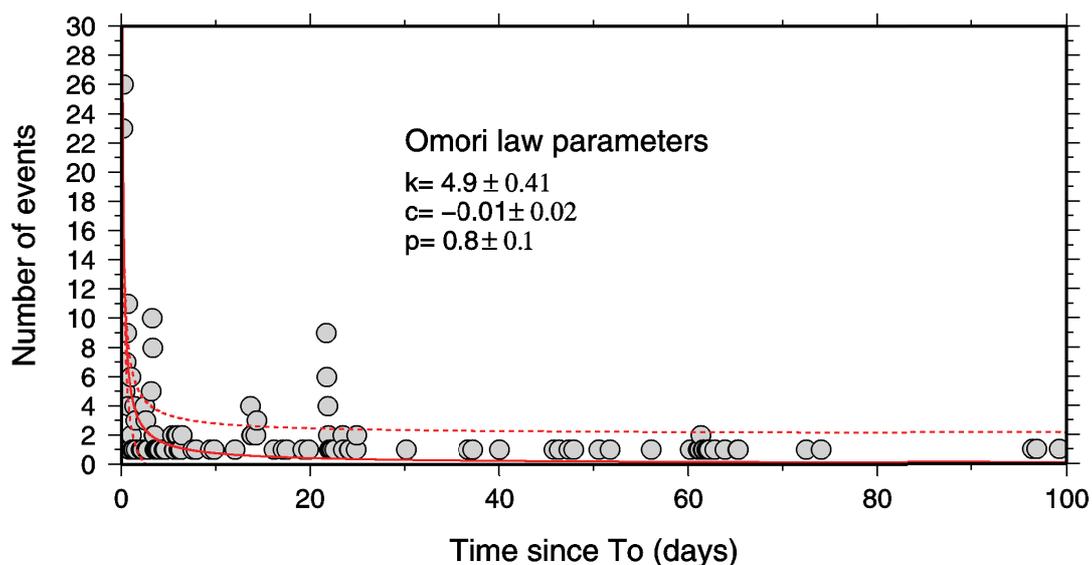


Figura 26. Stima di parametri della legge di Omori per la sequenza del Matese.

Si può notare che dopo circa dieci giorni dall'evento principale la sequenza sembra esaurirsi e il livello di sismicità è prossimo al livello di background. Nel periodo successivo si evidenziano però altre due mini sequenze con durate dell'ordine del giorno. L'interesse per le analisi delle repliche nasce dal fatto che strutture danneggiate dall'evento principale possono essere ulteriormente indebolite dall'arrivo di eventi successivi che, sebbene di energia più piccola, possono essere molto numerosi.

5. Registrazioni accelerometriche, forme d'onda e analisi spettrale

In questo paragrafo si illustrano le principali caratteristiche delle registrazioni accelerometriche relative all'evento del 29 Dicembre 2013, 18:08:44UTC, M_w 5.0, localizzato nell'area dei Monti del Matese (stella rossa in Figura 23) (Lat.= 41.37°N, Lon.= 14.45°E e Profondità = 10.5 Km). Lo scopo è quello di effettuare un'analisi degli effetti macrosismici e delle relazioni con il moto del suolo registrato nell'area epicentrale.

Il meccanismo focale dell'evento è quello di una faglia diretta con strike in direzione appenninica (NO-SE) coerente con la cinematica dell'area ed un regime tettonico tensile. I due piani di faglia quello principale e quello ausiliario, così come riportato nel sito dell'INGV, hanno parametri di Strike : 324°, 125°; Dip: 50°, 41° e Rake: -79°, -105° mentre il momento sismico è $M_0 = 3.5 \times 10^{23}$ dyne-cm.

Stazione	Latitudine	Longitudine	Elevazione	Sensore	Suolo (EC8)	Topografia
BOJ (Bojano)	41.4845	14.4721	536	Episensor FBA ES-T DC- 200 Hz	C	T1
PDM (Piedimonte Matese)	41.3553	14.3853	340	Episensor FBA ES-T DC- 200 Hz	C	T1
SPT1 (San Polo Matese)	41.4580	14.4927	784	Episensor FBA ES-T DC - 200 Hz	A	T3
GSN (Gioia Sannitica)	41.3072	14.4461	275	Syscom MS2007 + DC - 80 Hz	C	T1

Tabella 1. Stazioni accelerometriche e parametri del suolo secondo la classificazione EC8. Classe A: ammassi rocciosi affioranti $800 \text{ m/s} < V_{s30}$; Classe C: sabbie, ghiaie ... $180 \text{ m/s} < V_{s,30} < 360 \text{ m/s}$; Topografia: T1 - superficie piana o poco pendente $i \leq 15^\circ$; T3 - Rilievi ... inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$.

Le stazioni considerate in questo rapporto fanno parte della Rete Accelerometrica Nazionale (RAN) gestita dal Dipartimento della Protezione Civile Nazionale e sono riportate in Figura 3 identificate da un triangolo blu e con la loro sigla.

In Tabella 1 si riportano le sigle delle stazioni selezionate per l'analisi dell'evento, le loro coordinate geografiche, il tipo di suolo (categoria EC8) e il tipo di sensore installato come riportato nel database ITACA (http://itaca.mi.ingv.it/ItacaNet/itaca10_links.htm).

5.1 Forme d'onda e spettri di Fourier in accelerazione

Di seguito si riportano le forme d'onda accelerometriche (tre componenti) alle quattro stazioni elencate in Tabella 1 e si propone una analisi di alcune caratteristiche cinematiche della sorgente sismica. In particolare, in Figura 27 si mostrano le registrazioni delle stazioni e si identifica il pacchetto d'onda a cui è associato la massima ampiezza della registrazione. I valori massimi sia di accelerazione che di velocità forniscono una prima indicazione del livello di danno atteso.

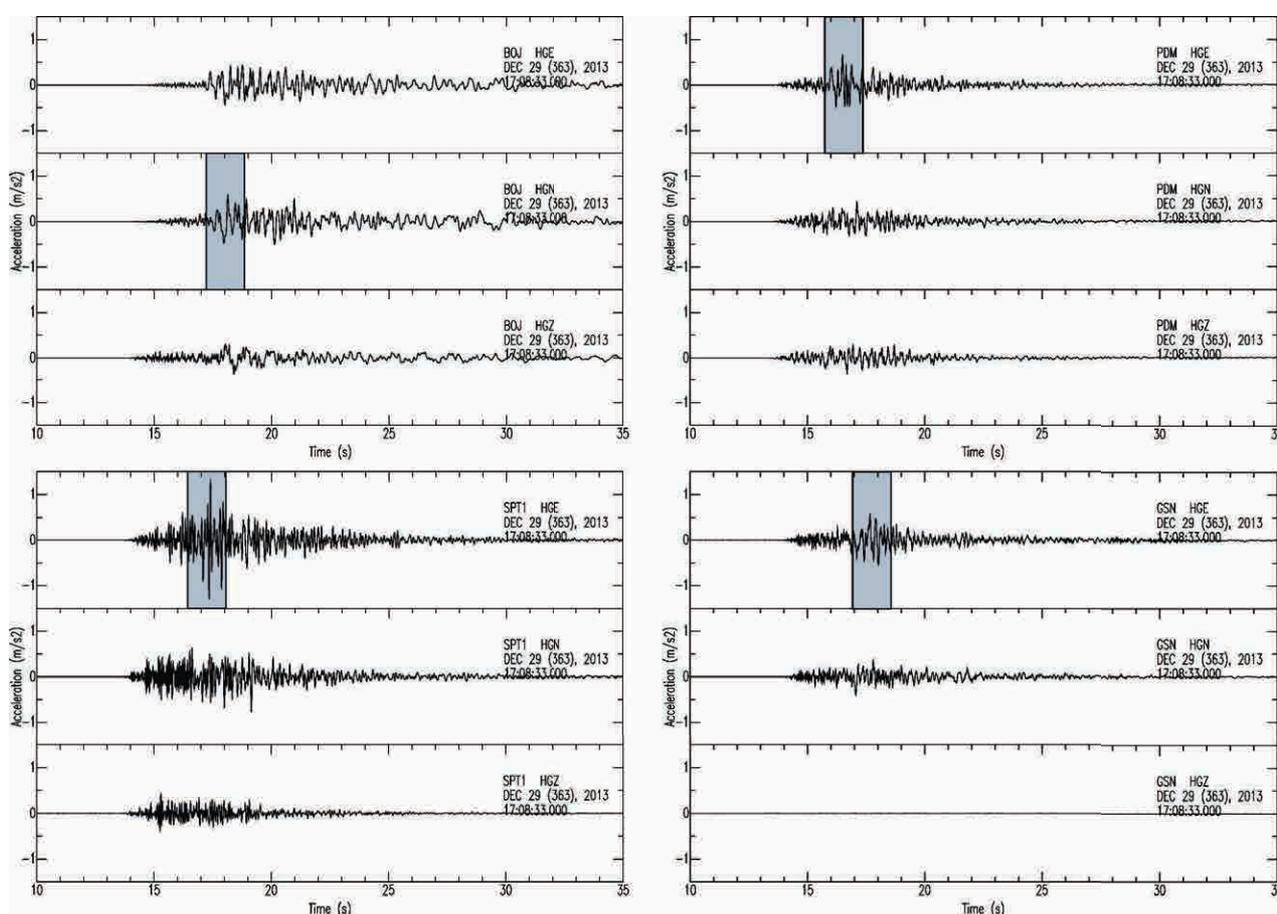


Figura 27. Forme d'onda - Accelerazione (m/sec²). I rettangoli in ciascun pannello contengono il pacchetto d'onda a cui è associato il valore massimo di PGA.

In Tabella 2, per ciascuna stazione, si riportano i valori di accelerazione di picco (PGA) e velocità di picco (PGV) e le distanze epicentrali. Come si nota, le stazioni selezionate sono molto prossime all'epicentro dell'evento. I valori di PGA sono stati misurati dagli accelerogrammi filtrati tra 0.01Hz e 20Hz in cui la risposta strumentale è piatta (cfr Tabella 1). I valori di PGV sono stati invece misurati dagli accelerogrammi integrati e filtrati nella banda 0.1 Hz e 10 Hz che, data la magnitudo dell'evento, contiene tutta la parte più energetica del segnale sismico. Si noti che la componente verticale della stazione GSN non è funzionante.

Stazione	Distanza (km)	PGA (m/s ²) [EO, NS, Z]			PGV (m/s) [EO, NS, Z]		
BOJ	16.9	0.436	0.571	0.356	0.0321	0.0487	0.0356
PDM	12.2	0.659	0.306	0.336	0.0257	0.0222	0.0203
SPT1	15.2	1.333	0.755	0.421	0.0323	0.0279	0.0109
GSN	13.0	0.565	0.364	-	0.0269	0.0230	-

Tabella 2. Accelerazioni di picco, velocità di picco e distanze epicentrali per ciascuna stazione. I valori in grassetto corrispondono al valore massimo registrato alla stazione.

Dai dati riportati in Tabella 2 si evince che i valori massimi sia di PGA che di PGV si registrano sempre sulle componenti orizzontali. Questa osservazione è molto probabilmente attribuibile sia alla posizione delle stazioni rispetto al meccanismo focale che alle modalità di propagazione della rottura sul piano di faglia nonché ad effetti *in situ*, generalmente più importanti sulle componenti orizzontali [e.g., Nakamura and Samizo, 1989]. In particolare, si osserva che la massima accelerazione 1.3 m/sec^2 è stata registrata sulla componente EO alla stazione di San Polo Matese (SPT1), mentre alle stazioni di Piedimonte Matese (PDM) e Gioia Sannitica (GSN) sono stati registrati picchi di 0.65 e 0.56 m/sec^2 rispettivamente, sempre per la componente EO.

Nel comune di Bojano (BOJ) l'accelerazione di picco registrata è pari a 0.57 m/sec^2 , per la componente NS. In Figura 28 riportiamo gli spettri di Fourier in accelerazione in scala lineare per un'analisi del contenuto in frequenza. Si osserva che per la stazione SPT1 la frequenza dominante si colloca intorno a 8 Hz, mentre per le stazioni PDM, GSN, e BOJ le frequenze dominanti sono più basse e comprese nel range 2-6 Hz.

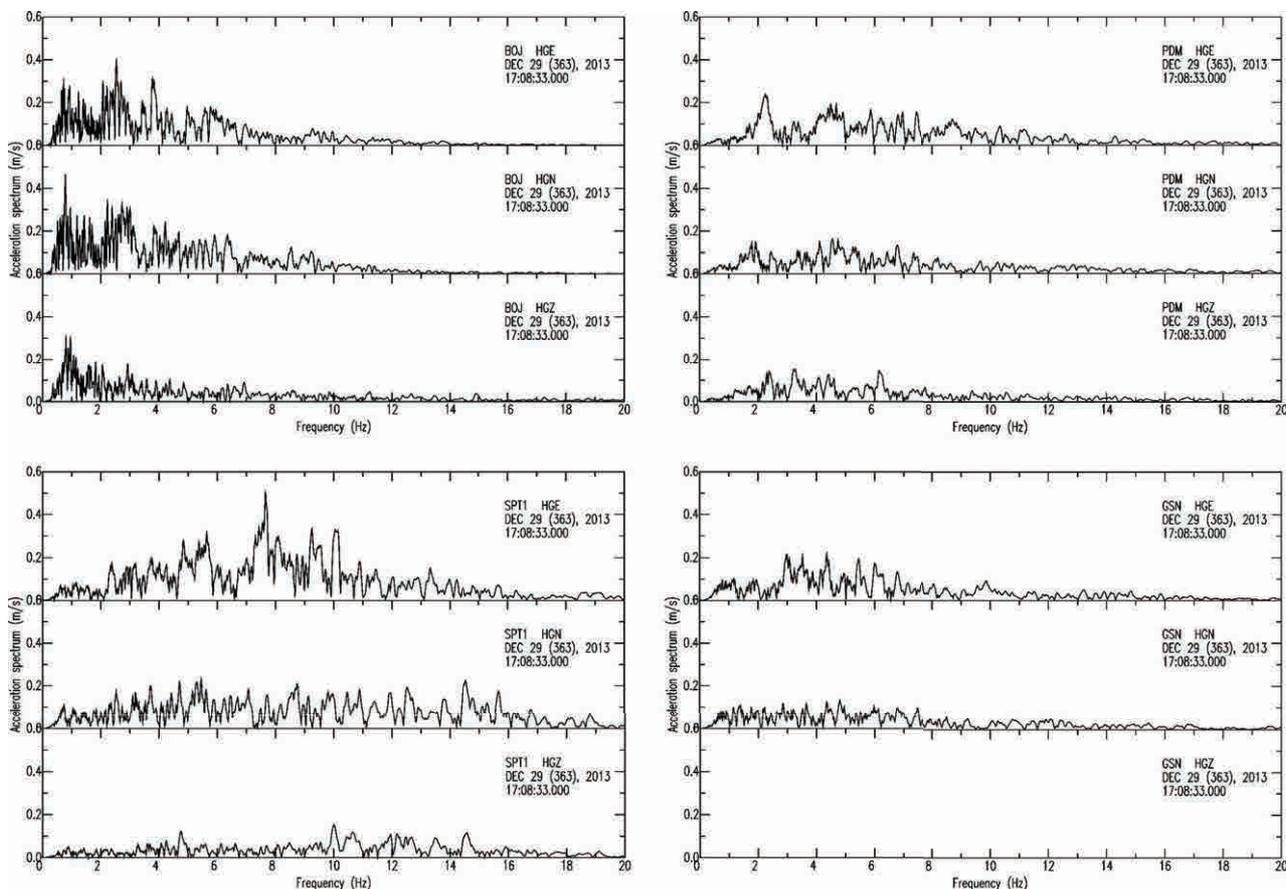


Figura 28. Spettri di Fourier in accelerazione.

Per le stesse stazioni sono stati calcolati gli spettri di ampiezza di Fourier in spostamento e in accelerazione. Dagli spettri in spostamento è possibile ottenere una stima della frequenza d'angolo (f_c) dell'evento e quindi una stima delle dimensioni della faglia su cui il terremoto ha avuto origine. A tale scopo, nella figura 29 riportiamo gli spettri in spostamento delle tre componenti (tranne la componente verticale della stazione GNS) in scala log-log. Se come stima della frequenza d'angolo si considera il punto di intersezione tra la parte piatta dello spettro e la parte discendente ne risulta che la f_c è circa 1.0Hz. Se si assume come modello di sorgente il modello circolare di Brune [1970] è possibile ricavare il valore del raggio sorgente r , che è dato da:

$$r = k \frac{\beta}{f_c} \quad (4)$$

dove β è la velocità delle onde S, f_c è la frequenza d'angolo e k è una costante pari a 0.37 [Brune, 1970]. Avendo stimato $f_c = 1.0\text{Hz}$, assumendo un valore di $\beta = 3.2\text{km/s}$ si ottiene un valore di $r = 1.2\text{km}$. Il valore del raggio sorgente e del momento sismico possono essere poi utilizzati per stimare lo *stress-drop* statico utilizzando la relazione di Keilis-Borok [1959] e che riportiamo di seguito:

$$\Delta\sigma = \frac{7}{16} \frac{M_0}{r^3} \quad (5)$$

Utilizzando il valore di momento sismico fornito dall'INGV ($M_0 = 3.5 \times 10^{23} \text{ dyne-cm} = 3.5 \times 10^{16} \text{ Nm}$) ed il valore di r ottenuto dalla frequenza d'angolo, si ottiene un valore di *stress-drop* statico $\Delta\sigma \sim 9\text{MPa}$.

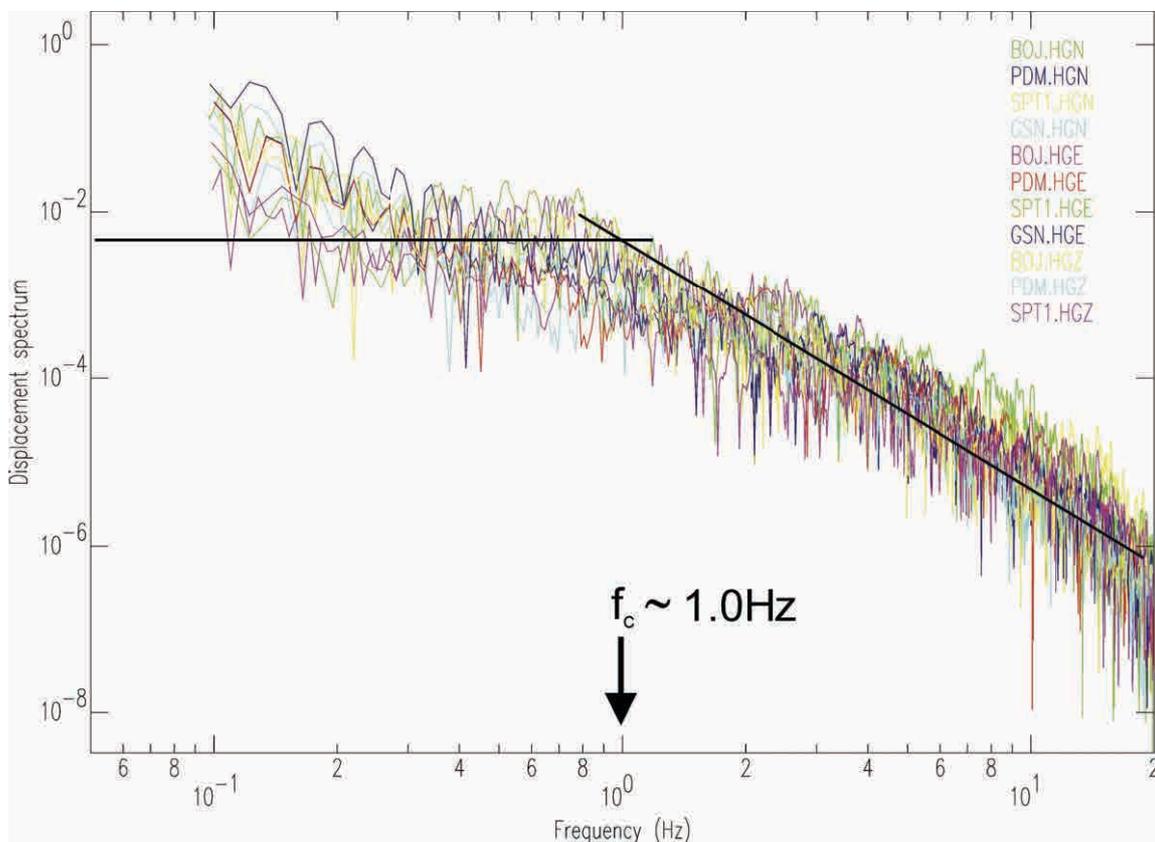


Figura 29. Spettri di Fourier in spostamento per le tre componenti (NS, EO e Z) registrate alle stazioni elencate in Tabella 1. Nella stessa figura è riportata una stima della frequenza d'angolo f_c .

5.2 Analisi degli effetti osservati

Il terremoto del 29 dicembre 2013 ha prodotto nell'area epicentrale e nelle immediate vicinanze effetti valutabili nel V e VI grado con punte di VII MCS (Tabella 3). Tale stima si basa sia sull'avvertibilità che sull'entità del danno. Le località interessate sono poste sia sul versante campano che molisano del Massiccio del Matese, ma queste ultime hanno subito livelli di danno minore.

Località	Intensità (MCS)
Piedimonte Matese (CE)	VI – VII
Faicchio (BN)	VI –VII
Alife (CE)	VI
Sant' Angelo D'Alife (CE)	VI
Gioia Sannitica	VI
San Potito Sannitico (CE)	VI
Castello Matese	VI
Bojano (CB)	VI
Cusano Mutri (BN)	V – VI
Guardia Sanframondi (BN)	V – VI
Dragoni (CE)	V – VI
Baia e Latina (CE)	V
Raviscanina (CE)	V
Pietra Roia (BN)	V
Guardiaregia (CB)	V
San Polo Matese	V

Tabella 3. Intensità (MCS) attribuite alle località elencate sulla base degli effetti massimi rilevati.

Gli effetti di maggiore rilevanza sono stati osservati nelle città di Piedimonte Matese e Faicchio, per le quali sono stati rilevati effetti pari al VI-VII grado MCS (Figura 30) ed in alcuni casi valutabili fino al VII grado MCS (e.g., Piedimonte Matese: via Aldo Moro, Via Noviello, Frazione Sepicciano; Faicchio: Chiesa San Giovanni Battista ed edifici lungo la strada provinciale).

Non si evidenzia una chiara dipendenza degli effetti con la distanza dall'epicentro, mentre si è osservato che i comuni situati su depositi sciolti (alluvioni - detrito di versante) presentano un livello di danneggiamento maggiore di quelli posti su roccia.

In particolare, nei comuni maggiormente danneggiati, Piedimonte Matese e Faicchio, si osservano chiare dipendenze dell'aggravamento del livello di danno con la geologia locale e con la topografia. Inoltre le stesse tipologie strutturali potrebbero aver esercitato un ulteriore aggravamento, con particolare riferimento alle chiese ed agli edifici in c.a. con tipologia pilotis.

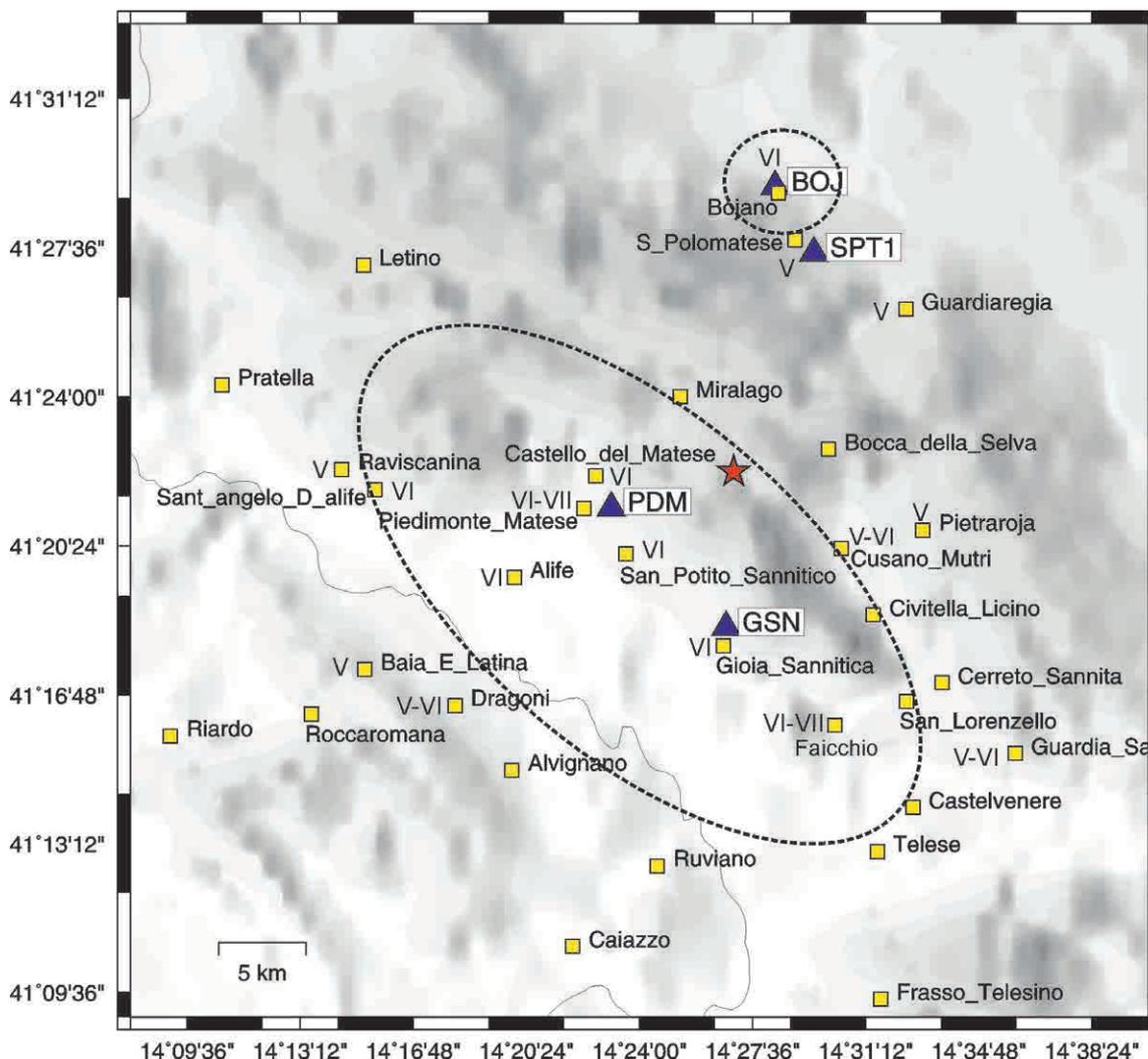


Figura 30. L'ellisse in figura racchiude l'ipotetica area del VI grado MCS del terremoto nel Matese del 29 dicembre 2013.

6. Discussione finale

Scopo del presente rapporto tecnico è mostrare che, nonostante il modesto rilascio di energia della sequenza sismica del Matese, gli effetti prodotti hanno creato disagio alla popolazione e livelli di danno che hanno portato alla inagibilità di numerosi edifici pubblici e monumentali, nonché ad importanti condomini di recente costruzione.

Sulla base dell'indagine svolta sul danneggiamento strutturale si è rilevato che l'evento sismico del 29/12/2013 ha prodotto danni che in alcuni siti hanno raggiunto valori rappresentativi del VI-VII MCS. La distribuzione territoriale dei danni presenta alcune interessanti caratteristiche:

- amplificazione a macroscale dei danni nei comuni posti su depositi sciolti;
- amplificazione a scala molto locale derivante dalla geologia degli strati superficiali (30-50m);
- incremento del danneggiamento per le tipologie strutturali maggiormente vulnerabili (chiese e edifici in c.a. con struttura pilotis).

Dal punto di vista sismologico, l'evoluzione temporale della sequenza non ha seguito l'andamento classico alla Omori, ma come si evince dalla Figura 26 a circa 20 giorni dall'evento principale si è verificata una nuova sequenza con magnitudo massima di $M_l = 4.2$. Tale evoluzione potrebbe essere interpretata come l'attivazione di aree sulla stessa faglia che non si sono attivate con il *mainshock* oppure come l'attivazione di

una struttura limitrofa a causa di un possibile trasferimento di sforzo statico. Tale argomento è comunque oltre gli scopi del presente rapporto e richiede delle analisi di dettaglio.

È opinione degli autori che nel periodo successivo alla scossa principale probabilmente il livello di danneggiamento potrebbe essere stato lievemente aggravato dagli ulteriori eventi. Da un'analisi speditiva dei siti, tale circostanza non è però emersa in maniera evidente.

Le problematiche affrontate in questo rapporto sono elementi importanti per la messa a punto di scenari di danno per eventi di maggiore energia e quindi pianificare eventuali interventi tesi alla mitigazione degli effetti. In tal senso i dati raccolti potrebbero fornire elementi di riflessione sulle questioni della amplificazione sismica locale per comprendere la diversa risposta di siti fra di loro poco distanti. Ulteriori e significativi contributi potrebbero derivare altresì da un'analisi più dettagliata della distribuzione spaziale degli aftershocks, dei meccanismi focali e della modalità di radiazione sismica della frattura sul piano di faglia. Questo consentirebbe sia di definire il piano su cui ha avuto origine e si è propagata la frattura sismica, sia di capire le modalità con cui l'energia sismica si è propagata verso i siti di registrazione ed in tal modo aiutare a comprendere le differenze osservate nei danni tra il versante campano e molisano del Matese.

Ringraziamenti

Gli autori ringraziano Giuseppe De Natale, Direttore della Sezione INGV di Napoli - Osservatorio Vesuviano, per aver sostenuto ed incoraggiato il presente studio.

Ringraziano altresì Raffaele Azzaro (Editorial Board del Centro Editoriale Nazionale INGV) ed l'anonimo revisore per gli utili commenti e suggerimenti.

Si ringrazia inoltre il parroco Don Alfonso, vicario del Vescovo di Piedimonte Matese per aver consentito l'accesso all'interno della cattedrale, e l'Arch. Angelo Pascarella per l'acquisizione delle foto utilizzate per il rilievo degli effetti. Rilevante ai fini del rilievo degli effetti, è stata la disponibilità di professionisti e cittadini dell'area colpita dall'evento.

Bibliografia

- Brune J.N., (1970). *Tectonic stress and the spectra of seismic shear waves from earthquakes*, J. Geophys. Res., 75, 4997–5009.
- Cubellis E., Luongo G., Marturano A., Mazzarella A., Obrizzo F., (2005). *Power Laws Governing Historical Earthquakes in the Apennine Chain (Southern Italy)*. Natural Hazard 34: 263-278.
- 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, n. 281.
- Esposito E., Luongo G., Marturano A., Porfido S., (1987). *Il terremoto di S. Anna del 26 luglio 1805*. Mem. Soc. Geol. It., 37, 171-191.
- Grünthal G., (ed.) (1998). *European Macroseismic Scale 1998. Cahiers du Centre Européen de Géodynamique et de Séismologie*, vol. 15, Centre Européen de Géodynamique et de Séismologie, Luxembourg.
- Gutenberg B., Richter, C.R., (1944). *Frequency of earthquakes in California*, Bull. Seism. Soc. Am. 34, 185-188.
- Kanamori H., (1977). *The Energy Release in Great Earthquakes*, J. Geophys. Res., 82, 2981- 2987.
- Keilis-Borok, V.I., (1959). *On the estimation of the displacement in an earthquake source and of source dimensions*, Ann. Geophys., 12, 205-214.
- Locati M., Camassi R., Stucchi M., (2011). *Data Base Macrosismico Italiano*. Versione DBMI11. DOI: 10.6092/INGV.IT-DBMI11. <http://emidius.mi.ingv.it/DBMI11/presentazione.htm>
- Luongo G., Obrizzo F., Hartl P., Thiel K.H., Becker D., Reich M., Bles J.L., Sauret B., Murino P., Ferri M., Castellano L., Russo L., Fanelli A., Rufino A. and Esposito S., (1996). *Earthquakes prediction in tectonic active areas using space techniques*. In: A. Ghazi and M. Yeroyami (eds), "Seismic risk in the European Union", European Commission 1, 79-106. Vedi anche Report EV5V-CT94-0461.

- Marturano A., Cubellis E., (2005). *Il terremoto di Sant'Anna del 1805 nel Molise - Analisi dell'evento e moderne interpretazioni*. Hydrogeo, N.1/Ottobre 2005: 60-65, Maggioli Editore; disponibile su: Earthprints, <http://hdl.handle.net/2122/8885>.
- Murru M., Console R., Falcone G., (2009). *Real time earthquake forecasting in Italy*. Tectonophysics, 470, 214-223.
- Nakamura Y. and Samizo M., (1989). *Site Effect Evaluation of Surface Ground using Strong Motion Records* (in Japanese). Proc. 20th JSCE Earthquake Eng. Symposium, 133-136.
- Postpischl D., (ed.) (1985). *Atlas of isoseismal maps of Italian earthquakes* (CNR-PFG).
- Rovida A., Camassi R., Gasperini P., Stucchi M., (a cura di) (2011). *CPTI11, la versione 2011 del Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani*. Milano, Bologna, <http://emidius.mi.ingv.it/CPTI>. doi: 10.6092/INGV.IT-CPTI11.
- Utsu, T., (1961). *A statistical study on the occurrence of aftershocks*. Geophys. Mag, 30 (4), 521–605.
- Utsu, T., Ogata Y., Matsuura R.S., (1995). *The centenary of the Omori formula for a decay law of aftershock activity*. J. Phys. Earth, 43, 1–33.

Quaderni di Geofisica

ISSN 1590-2595

<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.

Rapporti tecnici INGV

ISSN 2039-7941

<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.

Miscellanea INGV

ISSN 2039-6651

<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

© 2014 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