



Primo rapporto di sintesi sul terremoto di Visso M5.9 del 26 ottobre 2016



**Istituto Nazionale di
Geofisica e Vulcanologia**

***PRIMO RAPPORTO DI SINTESI SUL TERREMOTO DI
VISSO M_L 5.9 DEL 26 OTTOBRE 2016 (ITALIA
CENTRALE)***

Gruppo di Lavoro INGV sul Terremoto di Amatrice-Visso

29 ottobre 2016

INDICE

Introduzione

1. Sequenza sismica agosto-ottobre 2016

1.1 Reti sismiche di monitoraggio (gruppi di emergenza SISMICO, Emersito)

1.2 Evoluzione spazio-temporale

1.3 Geometria faglie dalle localizzazioni

2. Eventi principali del 26 ottobre

2.1 Meccanismi focali

2.2 Pericolosità e shakemap e dati accelerometrici

2.3 Dati SAR prime analisi

2.4 Rete GPS

3 Inquadramento sismicità storica e strumentale

4 Confronto con le conoscenze geologiche

5 Forecast

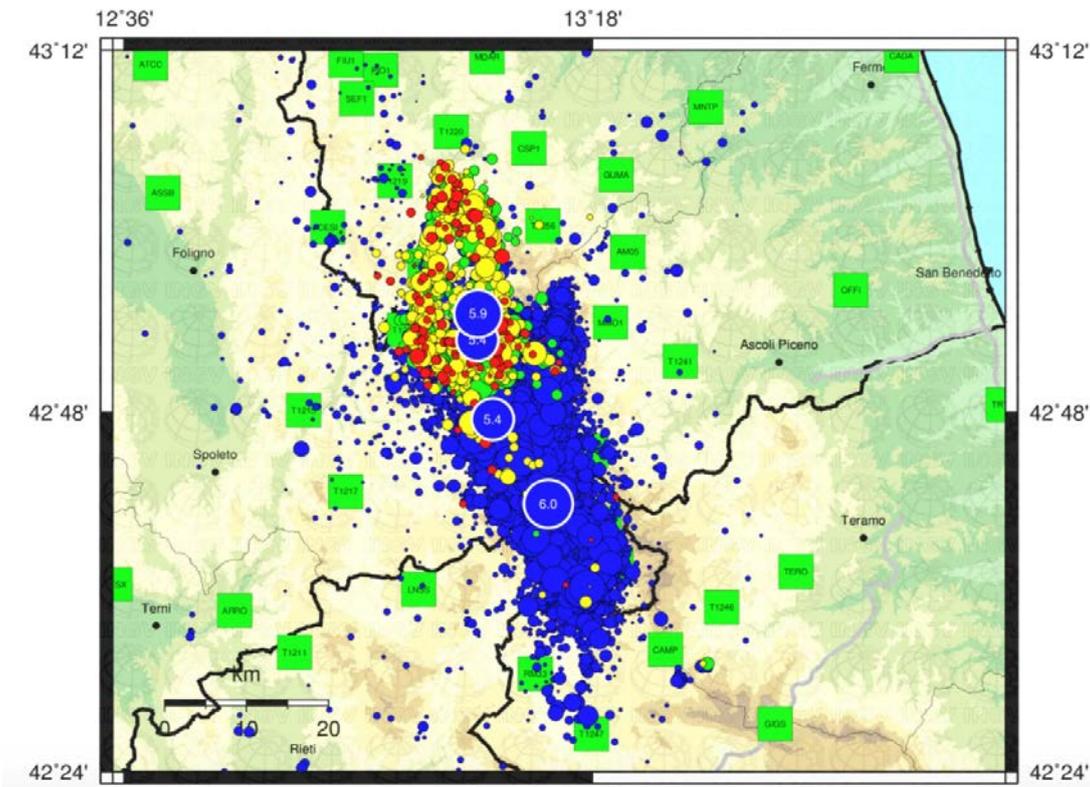
6 Conclusioni

Introduzione

Il giorno 26 ottobre 2016, due eventi di magnitudo (M_w) 5.4 (17:10 UTC, coord. 42.88°N, 13.13°E ad una profondità di 9 km) e 5.9 (19:18 UTC, coord. 42.91°N, 13.13°E ad una profondità di 8 km), hanno esteso verso N-NW il volume sismogenetico attivatosi il 24 agosto 2016 con l'evento di Accumoli ($M_w=6$).

Ad oggi, più di 1000 eventi sismici (in giallo, rosso e verde in Figura 1) hanno seguito l'evento di M_w 5.4, con profondità ipocentrali comprese mediamente tra 5 e 10 km, concentrati prevalentemente in prossimità di Castelsantangelo sul Nera (MC), Visso (MC), Ussita (MC), Fiastra (MC). Di questi, circa 100 hanno magnitudo compresa tra 3.0 e 4.0 mentre risultano 5 gli eventi di magnitudo compresa tra 4.0 e 5.0. L'area di recente attivazione è lunga circa 15 km e, spazialmente, può essere considerata in continuità con la distribuzione della sismicità successiva al 24 agosto 2016 lungo la direzione NW-SE. L'intera struttura risulta avere una lunghezza complessiva di circa 50 km.

Mappa Epicentrale della Sequenza Sismica per il periodo 23-08-2016 : 29-10-2016



Aggiornata al 2016-10-29,07:13:05 UTC, numero di eventi 19561

	Oggi	Ieri	2gg fa	Precedenti
MI < 3.0	151	608	426	18010
3.0 <= MI < 4.0	0	20	42	280
4.0 <= MI < 5.0	0	0	4	16
MI >= 5.0	0	0	0	4



Figura 1. Mappa che mostra la distribuzione degli epicentri; vedi legenda per i colori e dimensioni dei simboli.

1. Sequenza sismica agosto-ottobre 2016

1.1 Reti sismiche di monitoraggio (gruppi di emergenza SISMICO, Emersito)

A seguito del terremoto di Amatrice del 24 agosto, erano state installate 19 stazioni sismiche temporanee per migliorare la qualità delle localizzazioni epicentrali [Gruppo di Lavoro INGV sul terremoto di Amatrice (2016)]. Secondo rapporto di sintesi sul Terremoto di Amatrice MI

6.0 del 24 Agosto 2016 (Italia Centrale). Doi: 10.5281/zenodo.154400]. Visto l'ampliamento dell'area delle repliche a seguito degli eventi del 26 ottobre, la rete sismica è stata integrata con tre stazioni temporanee installate a nord della nuova porzione attivata (Figura 1.1).

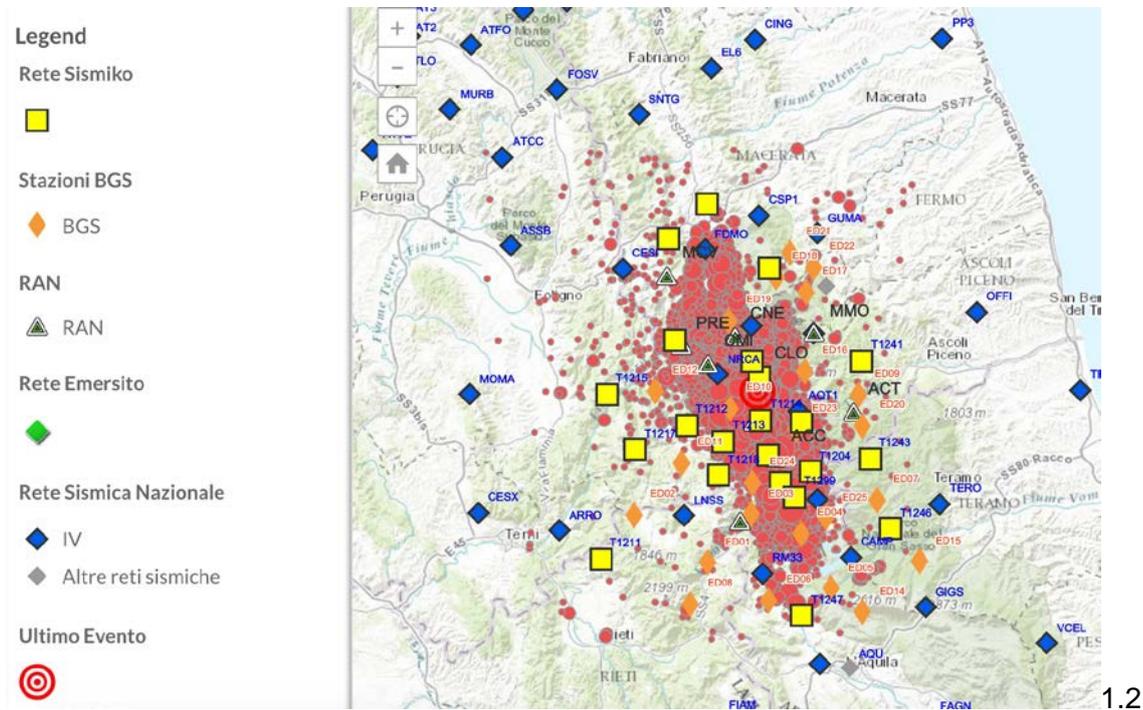


Figura 1.1 Mappa della rete sismica in area epicentrale: i rombi blu indicano le stazioni permanenti della Rete Sismica Nazionale (RSN), i quadrati gialli le stazioni temporanee installate dal coordinamento della rete mobile di emergenza INGV SISMICO (i tre più a nord sono stati installati nella giornata del 27 ottobre), i rombi arancioni sono stazioni BB installate dai colleghi del *British Geological Survey* in collaborazione con INGV e che erano funzionanti il 26 ottobre.

1.2 Evoluzione spazio-temporale

La Figura 1.2a, nel pannello in alto, mostra la mappa della sismicità nella zona interessata dalla sequenza a partire da luglio 2016. Nel pannello in basso (Figura 1.2b) si osserva l'evoluzione temporale della sismicità lungo la sezione indicata in mappa, centrata in corrispondenza dell'epicentro del terremoto di Accumoli del 24 agosto ed orientata NW-SE. Si nota come, a partire dal mese di settembre, vi sia una concentrazione della sismicità verso la zona a NW e una diminuzione nel settore di SE. Dalla figura si evince inoltre che gli eventi del 26 ottobre hanno attivato una struttura di circa 15-20 km verso NW (evidenziate dal cerchio rosso, vedi anche le mappe degli epicentri in Fig. 1).

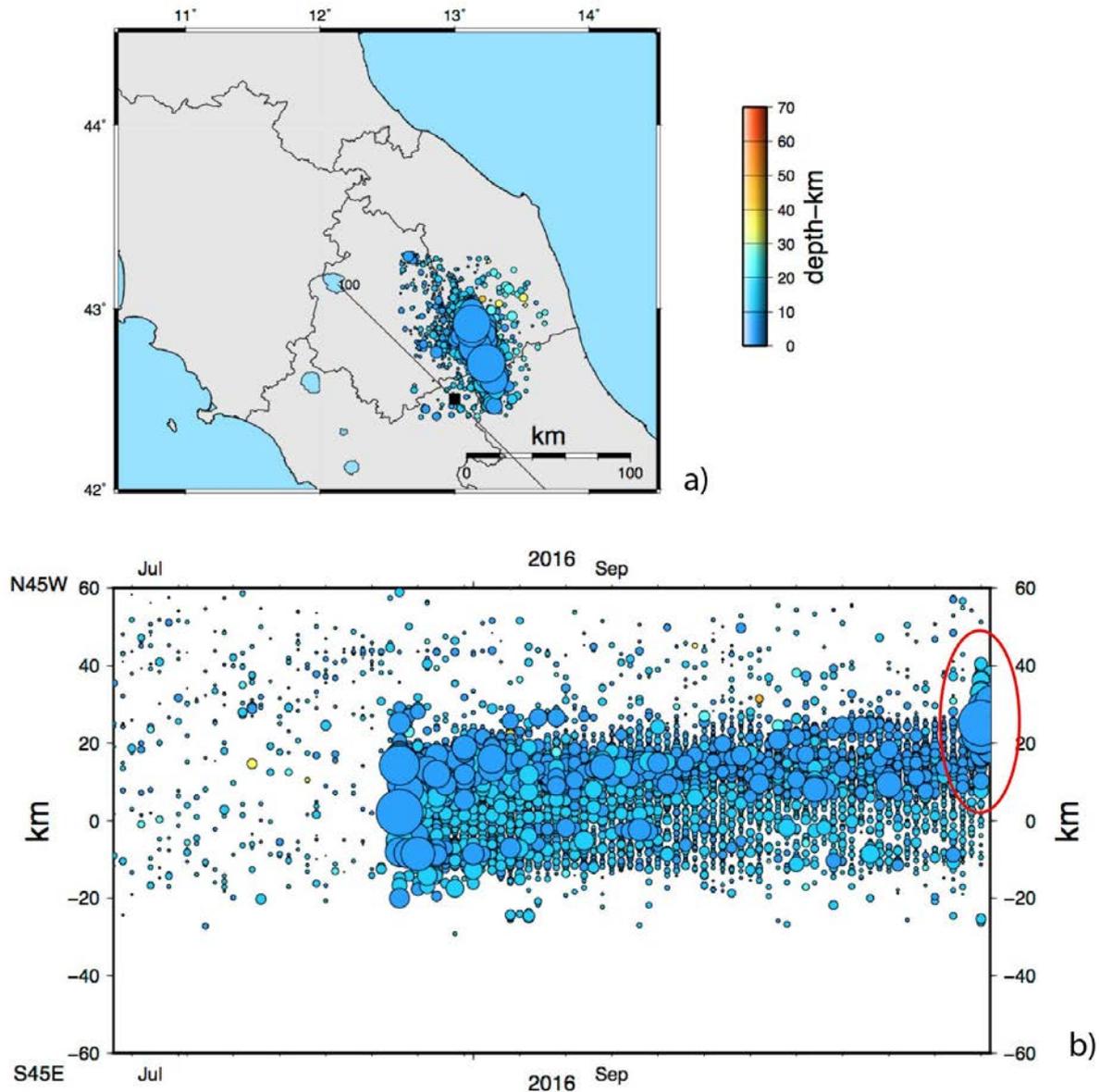


Figura 1.2. a) Mappa della sismicità da luglio 2016 nella zona interessata dalla sequenza in corso. b) Evoluzione temporale della sismicità lungo la sezione NW-SE centrata nell'epicentro nel *mainshock* (M_w 6.0 del 24 agosto). Ogni evento è rappresentato da un cerchio le cui dimensioni sono proporzionali alla magnitudo e il cui colore indica la profondità ipocentrale. L'ascissa e l'ordinata rappresentano il tempo di accadimento e la proiezione di ogni epicentro epicentro lungo il profilo, rispettivamente. Il cerchio rosso evidenzia la sismicità successiva agli eventi del 26 ottobre nella parte NW della zona epicentrale.

La Figura 1.3 mostra un dettaglio della sismicità nel settore NW delle 12 ore successive ai due eventi maggiori del 26 ottobre. Non sono stati rilevati eventi sismici che hanno preceduto le due scosse del 26 ottobre nell'area settentrionale.

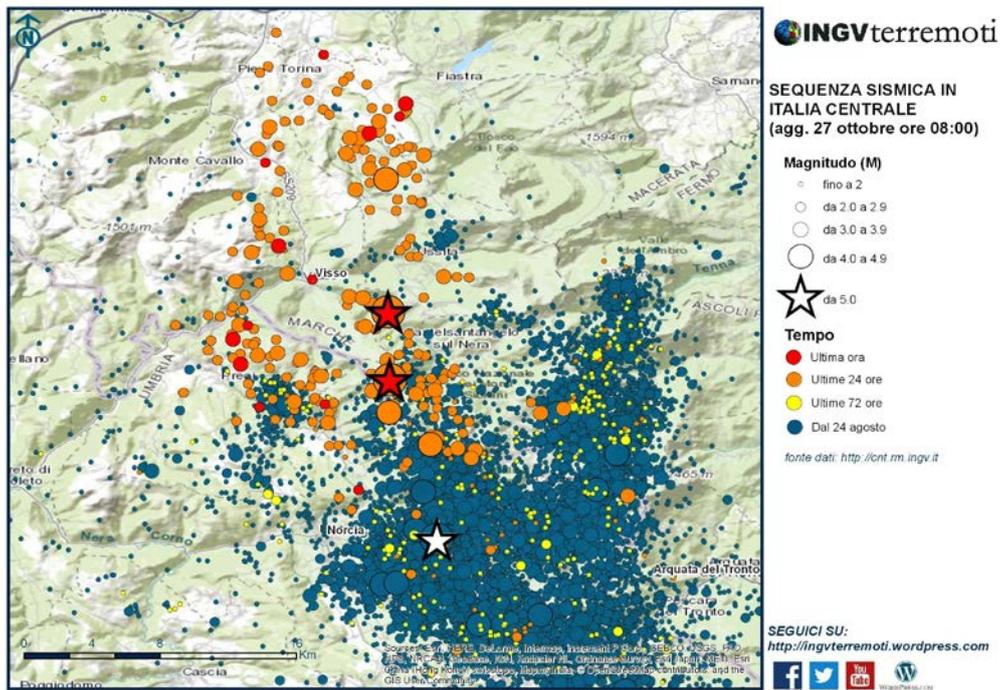


Figura 1.3: Localizzazione della sismicità del 26 e 27 ottobre rispetto alla porzione nord della sequenza precedente.

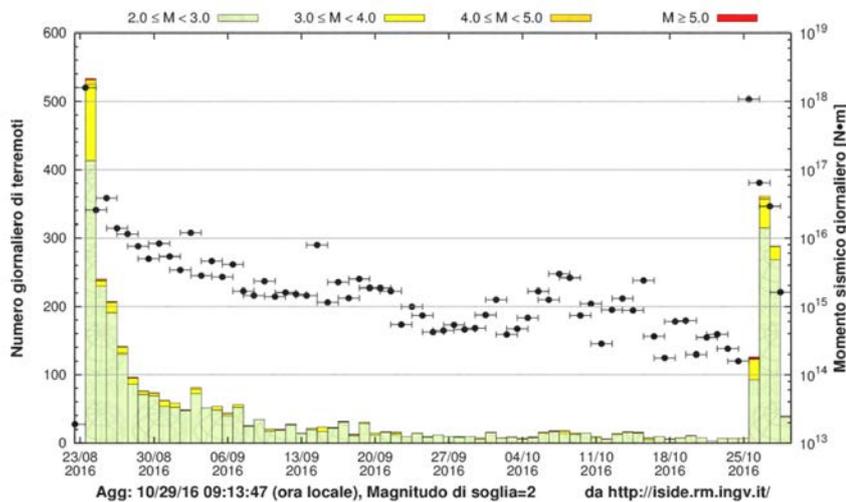
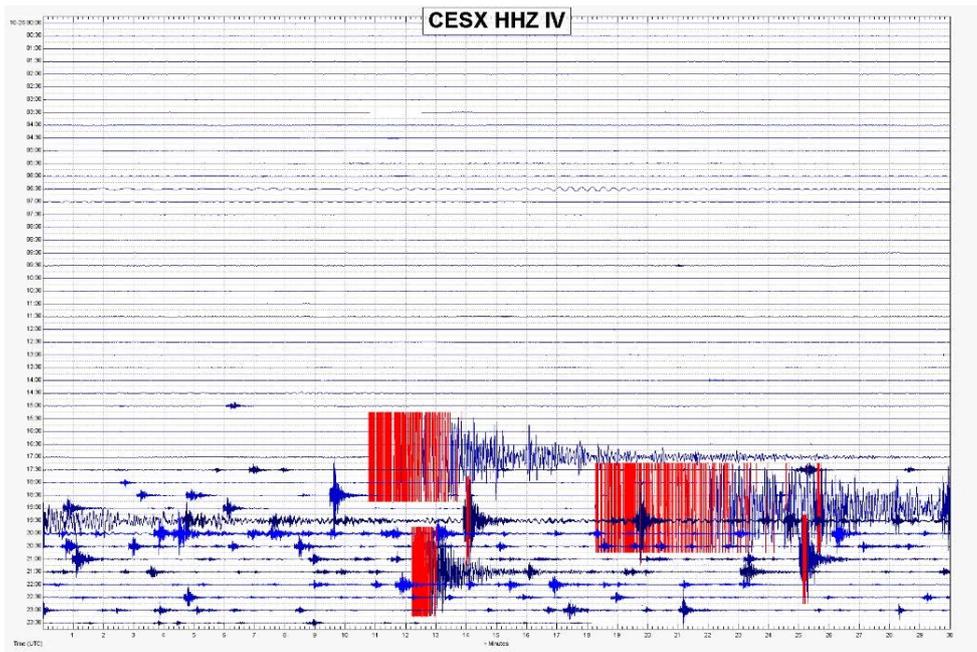


Figura 1.4: Numero di terremoti giornalieri con $M > 2.0$ (asse di sinistra) localizzati nella regione della sequenza (vedi Figura 1) dal 23 agosto al 29 ottobre (ore 7:13 UTC). I punti nel grafico indicano una stima del rilascio di momento sismico giornaliero (asse di destra).



Mappa Epicentrale della Sequenza Sismica
per il periodo 23-08-2016 : 26-10-2016

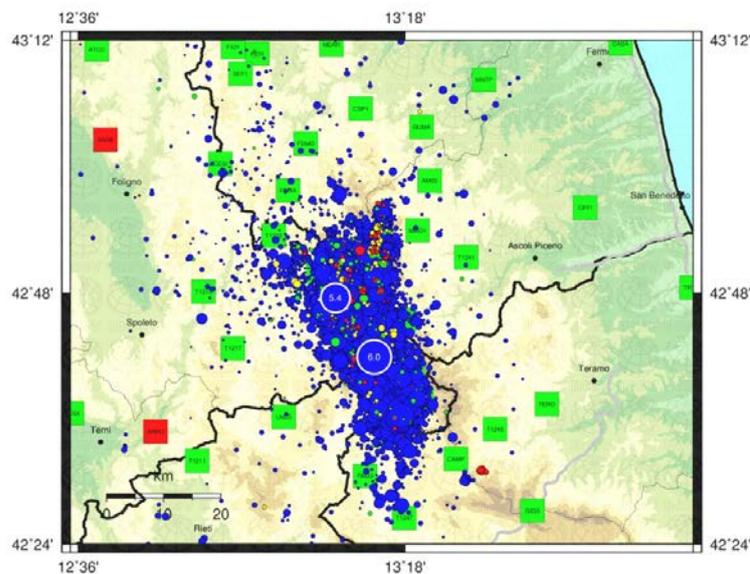


Figura 1.5. In alto: la registrazione del 26 ottobre della stazione CESX (Terni) dove non si evidenzia una attività particolarmente sostenuta nelle ore che hanno preceduto il terremoto Mw 5.4 delle 17:10 UTC. In basso: la mappa della distribuzione epicentrale aggiornata a pochi minuti prima di tale evento. Gli eventi del 26 ottobre sono riportati in rosso, quelli del 25 in giallo e quelli dei giorni precedenti in blu .

1.3 Geometria faglie dalle localizzazioni

Gli eventi localizzati nella sala di monitoraggio dell'INGV nelle giornate del 26-28 ottobre sono stati rilocalizzati usando un modello di velocità calibrato per la zona usando dei codici di localizzazione standard e in maniera relativa tramite la tecnica delle doppie-differenze con il software HypoDD (Figura 1.6). I terremoti delineano due strutture entrambe immergenti verso ovest; una profonda tra gli 11 ed i 5 km, l'altra più a est sembra estendersi tra 7 e 2 km di profondità.

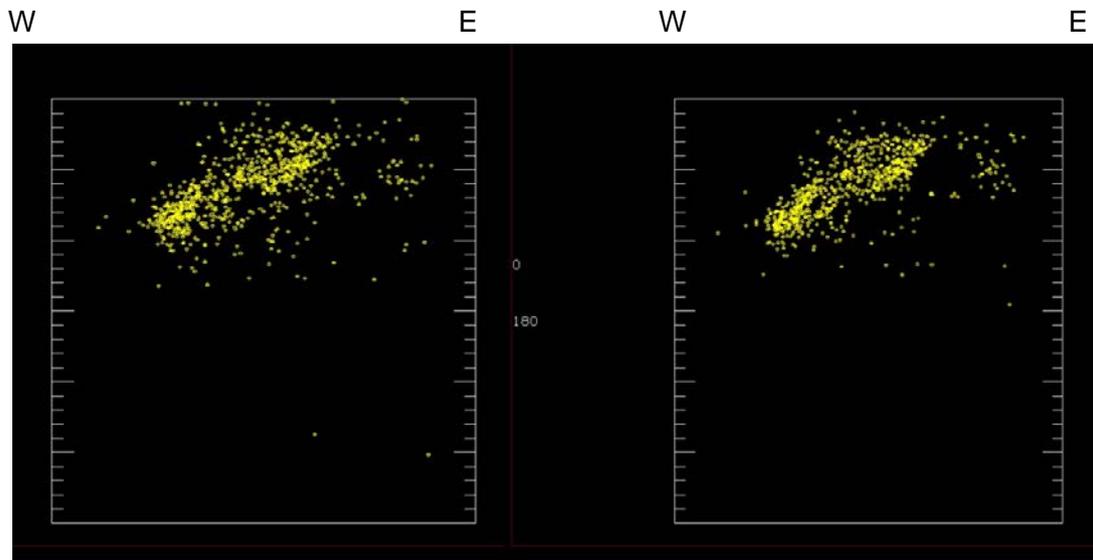


Figura 1.6. Ipocentri dei terremoti localizzati nei giorni 26-28 ottobre 2016 nella sala di monitoraggio INGV e rilocalizzati con tecniche standard (sinistra) e in maniera relativa con la tecnica delle doppie-differenze con il software HlypoDD (destra). Le sezioni sono lunghe 30 km e profonde 30 km.

2. Eventi principali

Le registrazioni del mainshock mostrano ad alcune delle stazioni vicine una notevole complessità della forma d'onda che suggeriscono una certa complessità della sorgente.

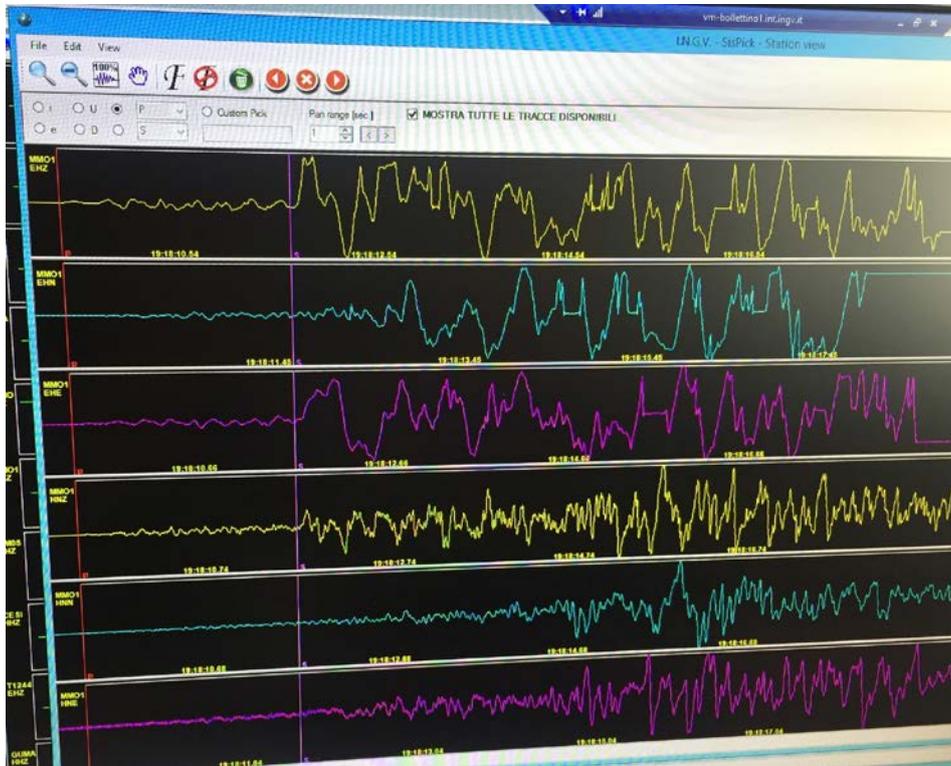


Figura 2. registrazione dell'evento 5.9 alla stazione MM01 le prime tre tracce sono quelle del velocimetro le seconde quelle dell'accelerometro, le forme d'onda mostrano un arrivo P molto emergente e un andamento piuttosto complesso.

2.1 Meccanismi focali

I meccanismi focali dei due ultimi eventi principali, calcolati usando la tecnica del *Time Domain Moment Tensor* (TDMT), sono coerenti con faglie normali aventi piani di rottura paralleli alla direzione appenninica. Si delinea pertanto un volume crostale caratterizzato da un regime di stress distensivo, coerentemente a quanto osservato con gli eventi del 24 agosto 2016.

2.2 Pericolosità e shakemap e dati accelerometrici

Anche l'ultima zona attivata dalla sequenza sismica è localizzata nella fascia a maggiore pericolosità dell'Appennino (Figura 2.2). La zona tra Norcia e Visso è stata interessata in passato da forti terremoti (vedi paragrafo successivo), di magnitudo stimata superiore a 6.0 come quello del 1328. L'area interessata è a SSE di quella attivata dalla sequenza di Colfiorito nel 1997-1998. La shakemap dell'evento di MW 5.9 delle 19:18 UTC del 26 ottobre mostra un'intensità strumentale pari o superiore al VIII grado (Figura 2.2) e valori di accelerazione superiori al 35% g (Figura 2.3) in

prossimità dell'epicentro. I valori di intensità sono pari al VII grado in un'area circolare di circa 70-80 km di raggio.

Per quanto riguarda i valori di scuotimento presentati in mappa, le shakemap indicherebbero accelerazioni (e velocità) del moto del suolo superiori alla media verso NW e N che sono compatibili con una direttività della rottura della sorgente estesa nella medesima direzione.

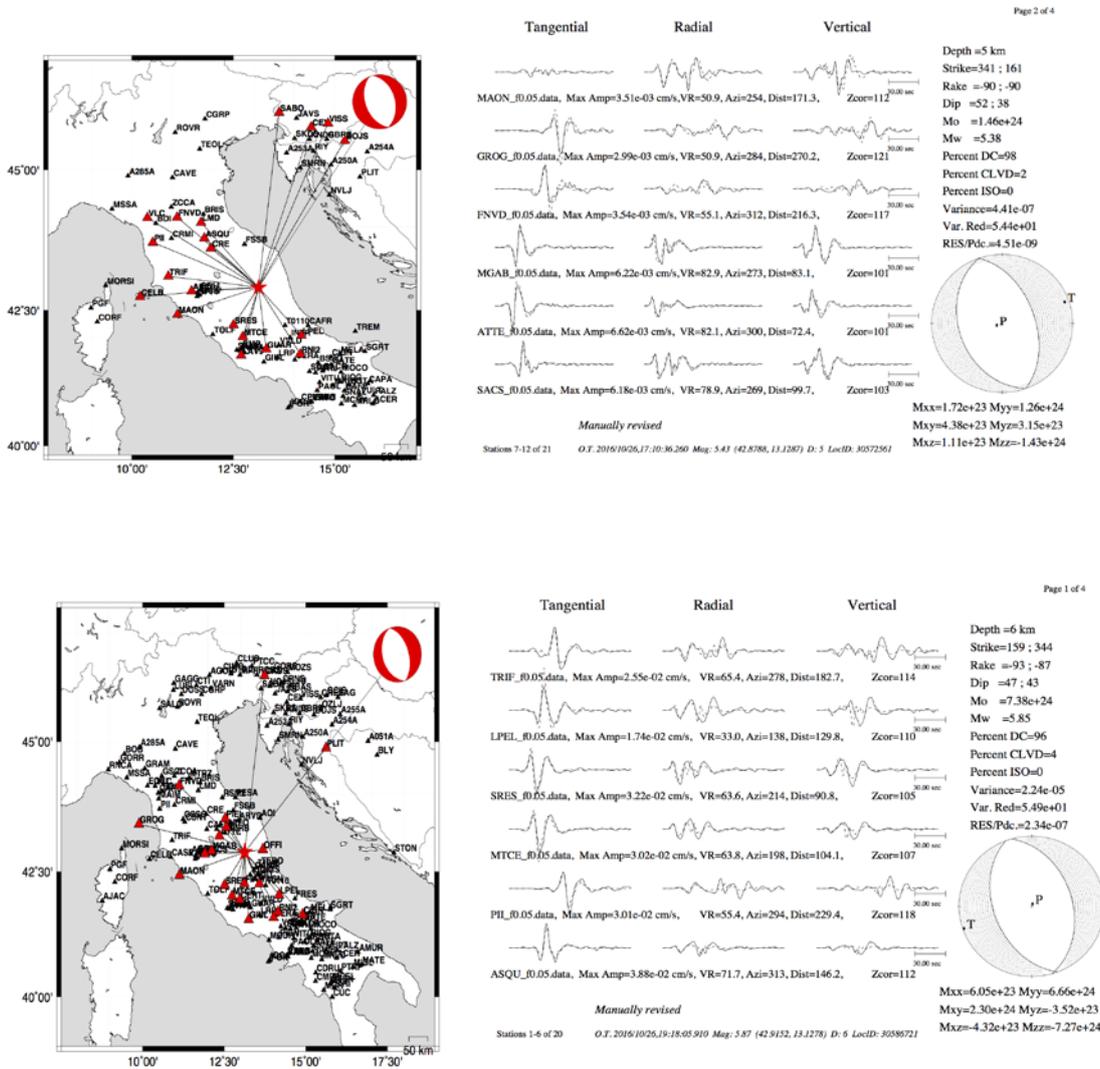


Figura 2.1. Time Domain Moment Tensor dei due eventi principali del 26 ottobre; gli eventi hanno una Mw pari rispettivamente a 5.4 e 5.9.

Di seguito, sono riportati i valori di accelerazione registrati ad alcune stazioni sismiche in area epicentrale e le rispettive distanze dalla sorgente del terremoto:

- FEMA (INGV) 23%g dist=1.39 km
- MCV (DPC) 57%g dist=6 km
- CMI (DPC) 70%g dist= 2.5 km
- NRC (DPC) 35%g dist= 7.4 km
- PRE (DPC) 29%g dist=6 km

- RQT (DPC) 19%g dist=12 km
- MMO (DPC) 17%g dist=11 km
- CNE (DPC) 56%g dist= 0 km

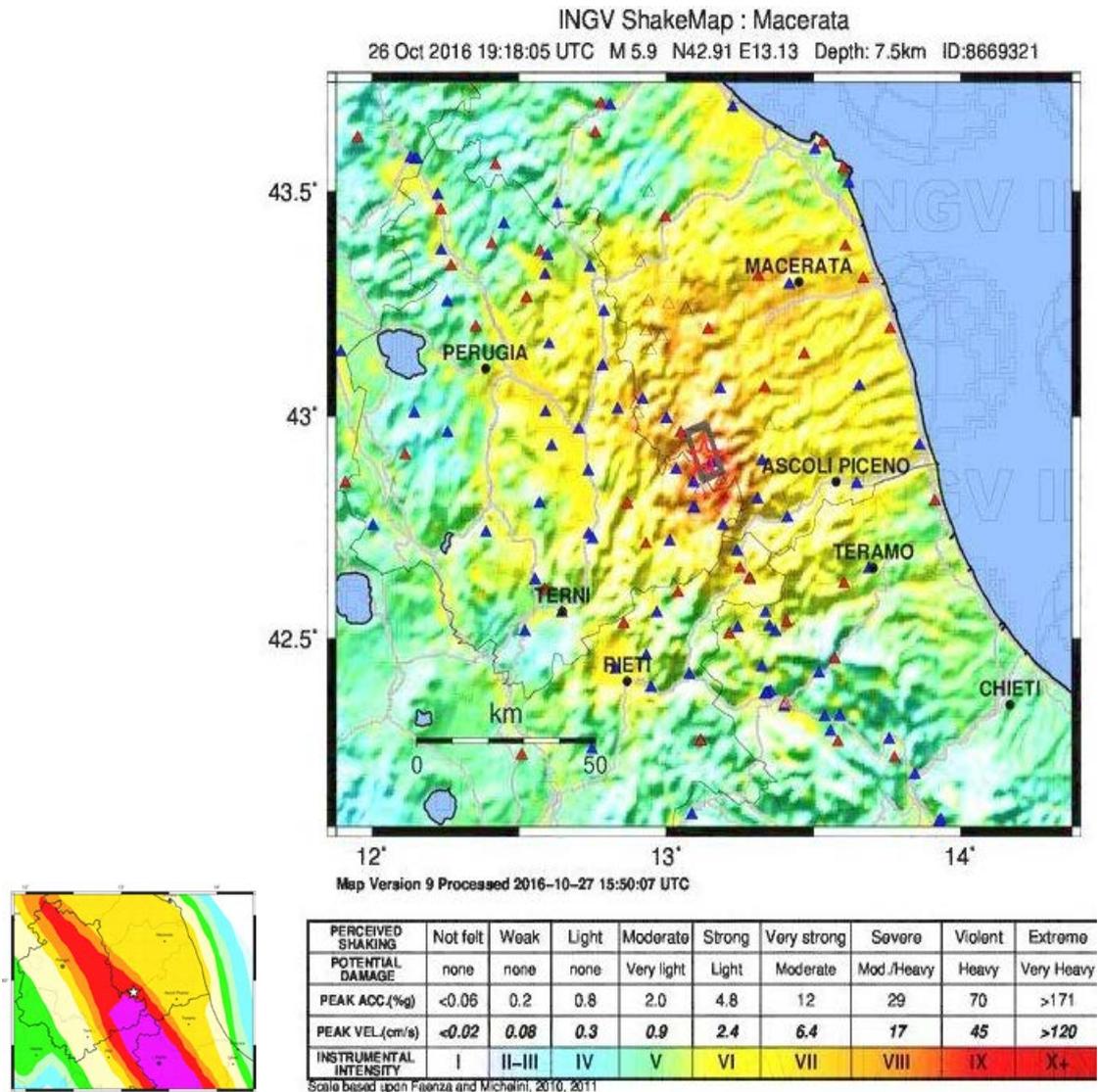


Figura 2.2. *Shakemap* dell'intensità strumentale (scala MCS) per l'evento di M_w 5.9 del 26 ottobre; l'intensità ha superato l'VIII grado. I triangoli mostrano le stazioni sismiche accelerometriche INGV in rosso, RAN-DPC in blu). In basso a sinistra viene mostrata la localizzazione del terremoto sulla mappa di pericolosità sismica attualmente vigente.

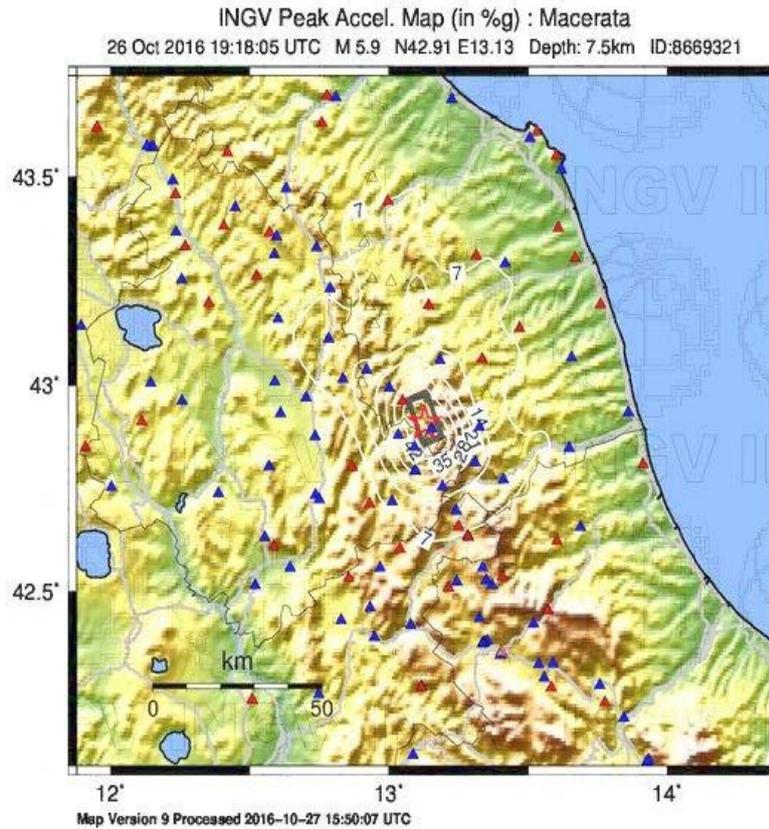


Figura 2.3: *Shakemap* del PGA (*Peak Ground Acceleration*) dell'evento M_w 5.9 del 26 ottobre; le accelerazioni registrate superano il 35% g in prossimità dell'epicentro. I triangoli mostrano le stazioni sismiche accelerometriche INGV in rosso, RAN-DPC in blu).

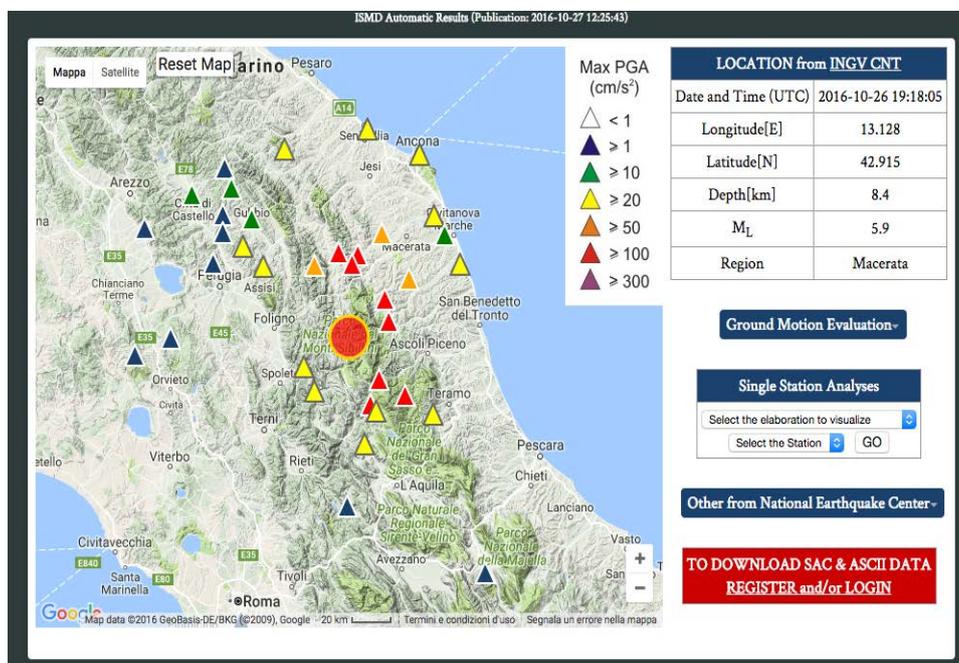


Figura 2.4. Dati accelerometrici immediatamente disponibili sulla banca dati ISMD.

Tutte le forme d'onda accelerometriche (e i relativi metadati) registrate dalle sole stazioni sismiche INGV in acquisizione in tutta l'area che copre dal centro-nord al centro sud includendo la zona epicentrale (63 stazioni) sono disponibili e scaricabili dalla banca dati dell'INGV *Strong Motion Database* (ISMD; <http://ismd.mi.ingv.it>; Figura 2.4). Nell'*Engineering Strong Motion DB* (ESM; <http://esm.mi.ingv.it/>, Figura 2.5) sono disponibili tutte le registrazioni INGV e tutte quelle della Rete Accelerometrica Nazionale (oltre a quelle di altri reti estere) per un totale di 228 stazioni tutte processate manualmente prima di essere distribuite.

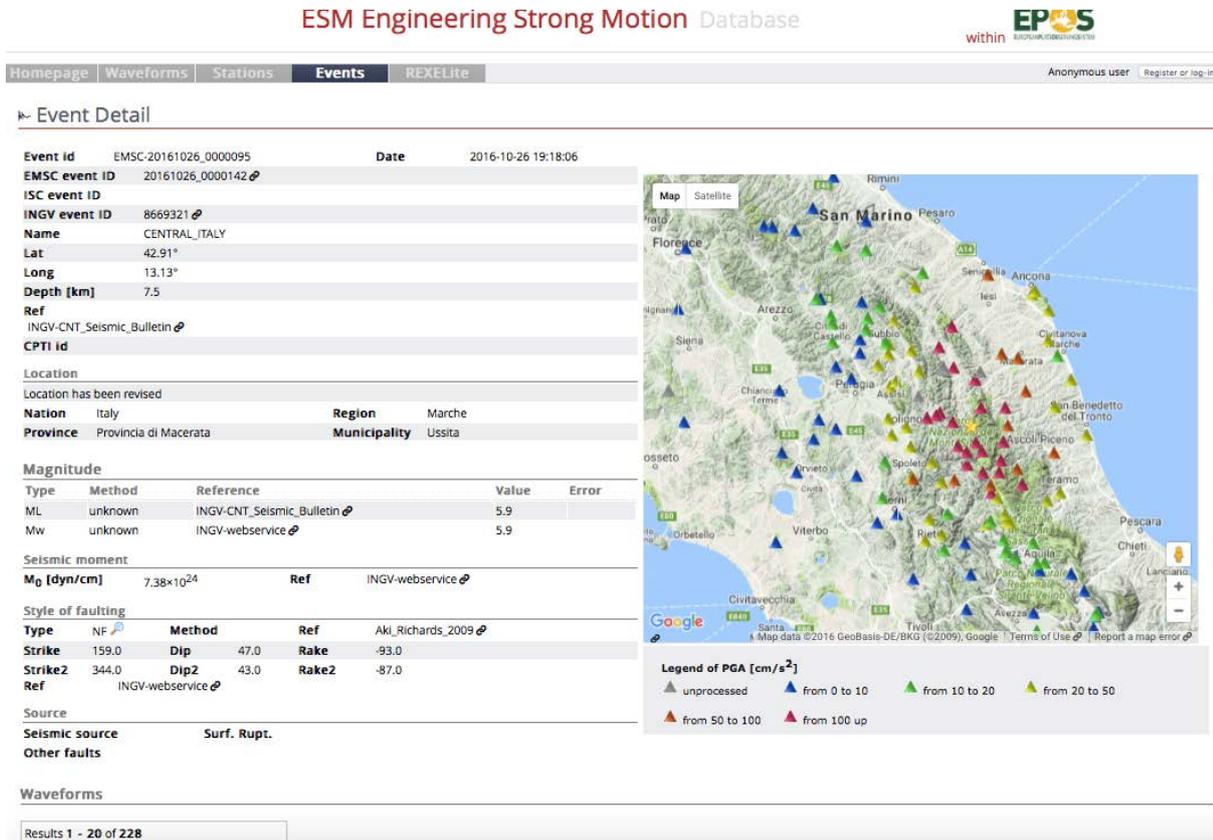


Figura 2.5. Dati accelerometrici disponibili su ESM processati manualmente e resi pubblici nelle ore immediatamente successive agli eventi del 26 ottobre, 2016.

Coerentemente alla *shakemap*, la mappa del risentimento sismico basata sulle segnalazioni di “Hai sentito il terremoto” (<http://www.haisentitoilterremoto.it>), mostra un risentimento del VII grado per una zona, ampia 50-60 km, estesa approssimativamente da Macerata a Terni (Figure 2.6). Si nota un risentimento del III grado in provincia di Bolzano, a oltre 500 km di distanza.

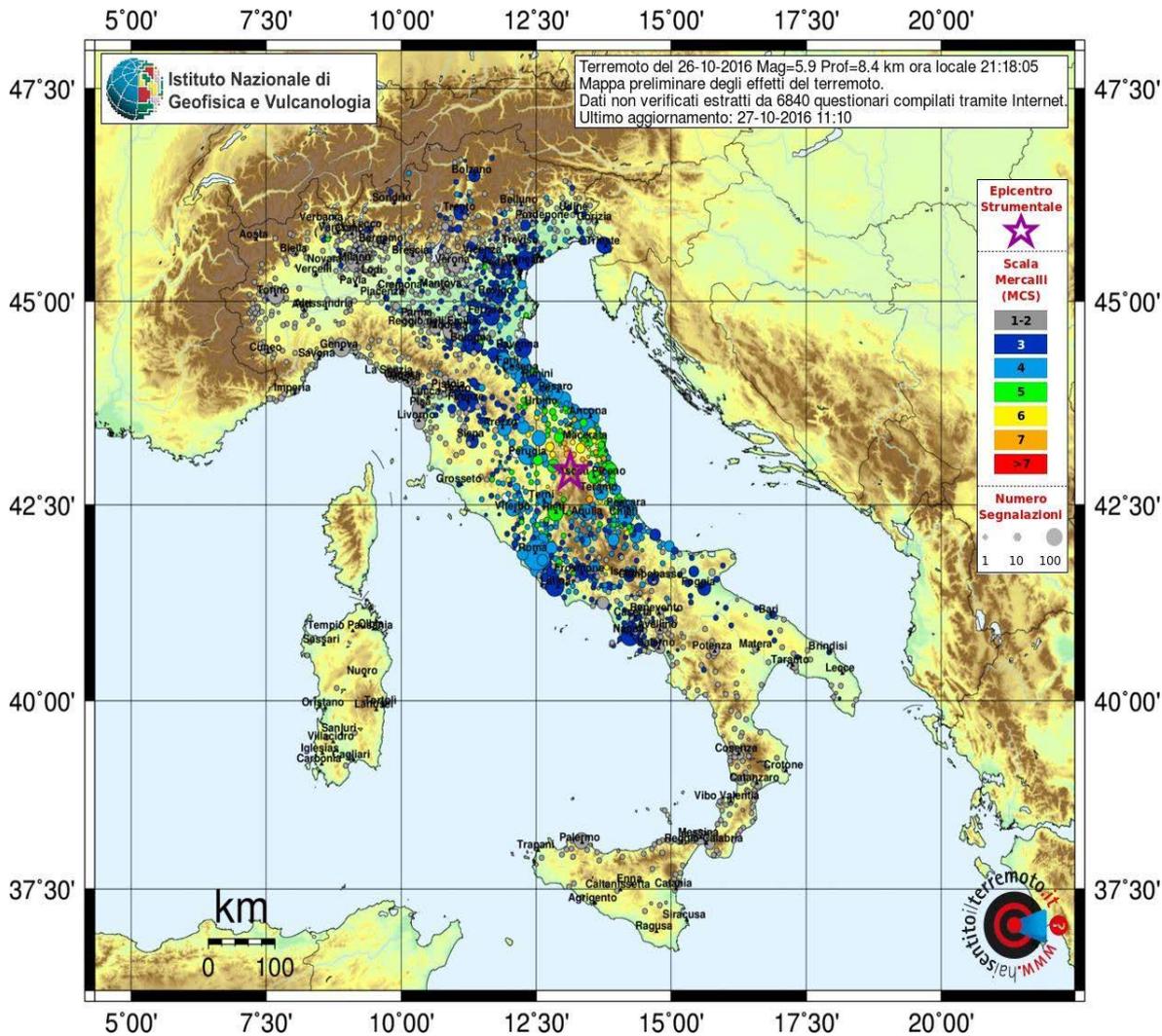


Figura 2.6. Mappa del risentimento del terremoto del sito “Hai sentito il terremoto” per l’evento di M_w 5.9 del 26 ottobre.

Il gruppo di emergenza QUEST sta effettuando i rilievi macrosismici nell’area colpita dall’evento del 26 ottobre ma che dovranno essere estesi anche a quei centri abitati già colpiti dal terremoto del 24 agosto per verificare l’eventuale incremento di danneggiamento. Tali rilievi permetteranno di ottenere informazioni dettagliate riguardo alla distribuzione del danneggiamento in area epicentrale.

2.3 Dati SAR e prime analisi

Gli eventi del 26 ottobre sono stati investigati, alla data attuale, con tre coppie interferometriche di dati SAR, in ordine di acquisizione: COSMO-SkyMed, Sentinel 1 e ALOS 2. I dati sono tutti piuttosto rumorosi, data la copertura boschiva in una parte dell’area. In attesa di poter invertire il dato ALOS2 (il meno rumoroso) è stato elaborato un modello diretto che simula abbastanza bene il pattern dei tre interferogrammi, nelle loro linee generali.

Considerando una serie di elementi, quali il pattern delle frange, la similitudine con i pattern di spostamento della sequenza di Amatrice, i risultati della modellazione diretta, le sezioni della sismicità rilocalizzata e i meccanismi focali, e considerazioni geologiche, è possibile dire che le sorgenti di entrambi gli eventi del 26 ottobre (M_w 5.9 e M_w 5.4) hanno dip verso WSW con angolo di 45-55°.

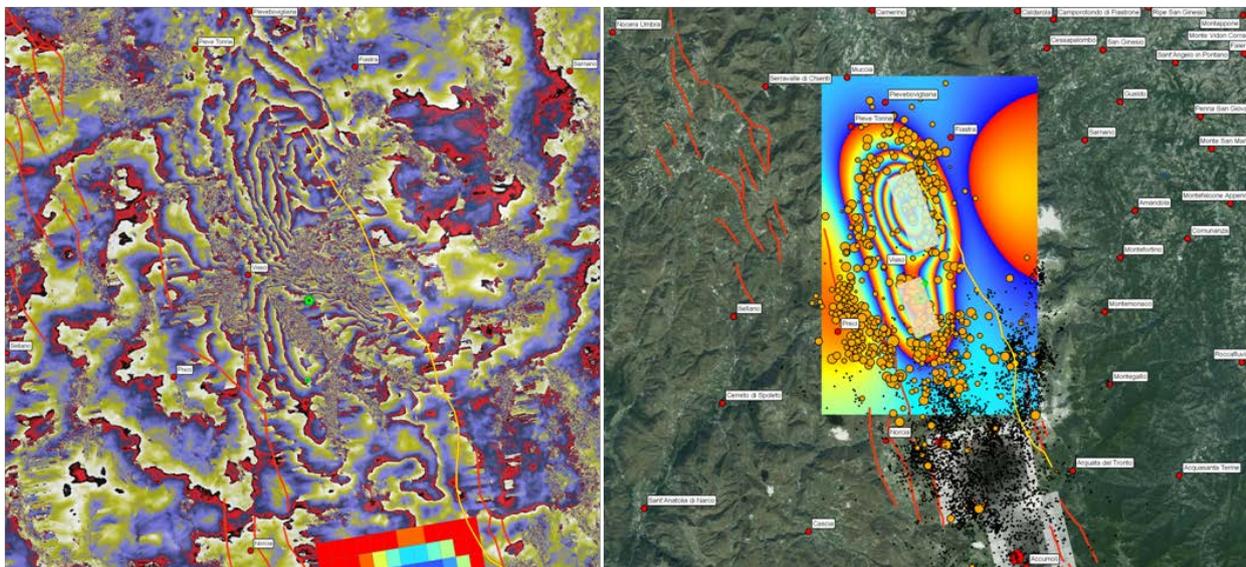


Figura 2.7. A sinistra: l'interferogramma Sentinel 1 ascendente 27/10/16-15/10/16. Ogni frangia equivale a 2.8 cm di spostamento del suolo in linea di vista. L'angolo di incidenza è di 39°. A destra il modello diretto che riproduce il pattern osservato con due faglie normali immergenti verso W con dip di 50° e slip uniforme.

2.3 Rete GPS

Si mostrano le stazioni GPS presenti nell'area che saranno analizzati nei prossimi giorni in Figura 2.8 le frecce rosse sono gli spostamenti co-sismici dell'evento del 24 agosto (solo la componente orizzontale) della soluzione di consenso (ottenuta dalla combinazione delle tre soluzioni GAMIT, GIPSY e BERNESE) che include sia i dati delle stazioni GPS permanenti, rappresentate dai quadrati blu, sia i dati delle stazioni non-permanenti (IGM e CaGeoNet), rappresentate dai quadrati verdi. Questa soluzione vede il contributo di DPC e ISPRA sia per la parte relativa ad alcune stazioni GPS permanenti sia, soprattutto, per il contributo relativo ai punti IGM. Per quanto riguarda gli spostamenti prodotti dagli eventi del 26 ottobre è in corso la misurazione delle stazioni non-permanenti e l'analisi ed elaborazione dei dati già acquisiti.

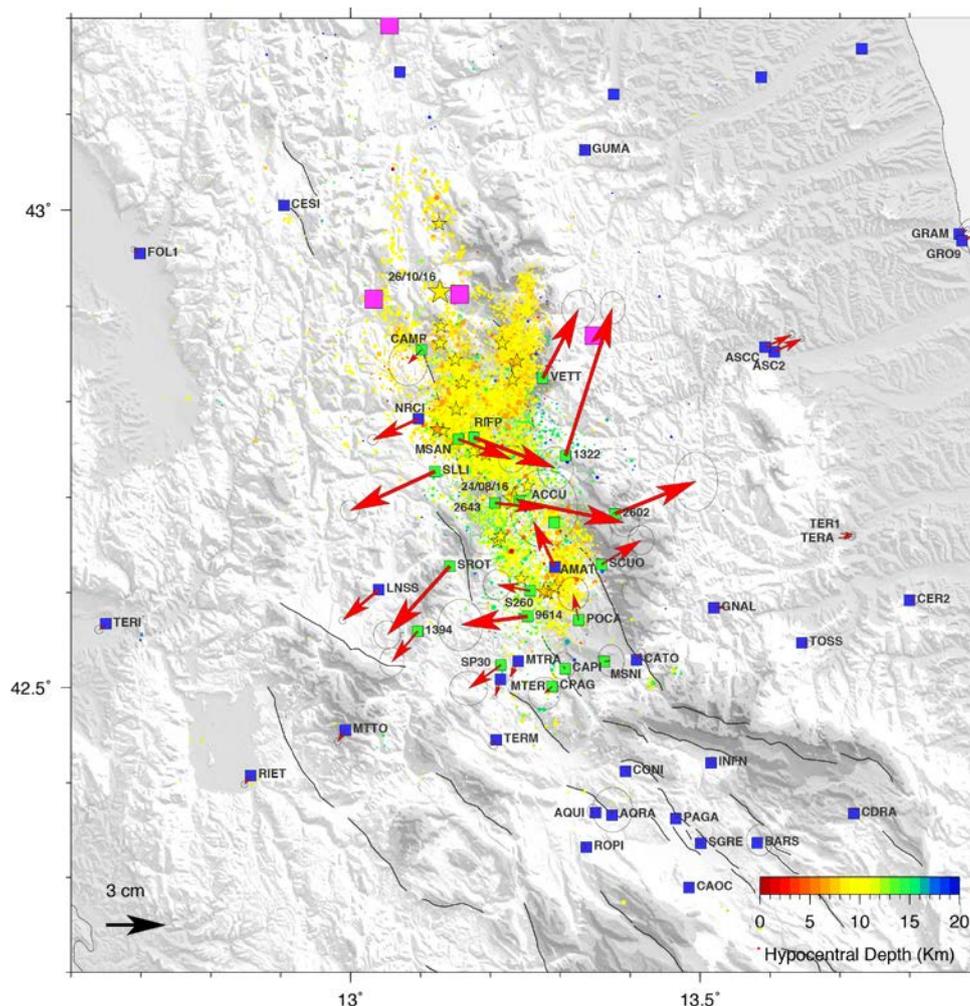


Figura 2.8. Mappa delle stazioni GPS presenti nell'area. Le frecce rosse indicano lo spostamento cosismico orizzontale del 24 agosto alle stazioni (vedi testo). Nella figura è riportata la sismicità da ISIDE dal 24 agosto ad oggi con le stelle ad indicare gli eventi con $M > 4.0$.

3 *Inquadramento sismicità storica e strumentale*

Questa regione dell'Appennino centrale è stata frequentemente colpita anche in passato da importanti terremoti. Tra i terremoti storici avvenuti in prossimità degli eventi del 26 ottobre i maggiori sono il terremoto del 1328 della Valnerina e quello del 1703 di Norcia (gennaio), il primo con una M 6.5 e il secondo 6.9. I cataloghi riportano anche numerosi eventi di M superiore a 5.5 come il 1859, 1815, 1730, 1719 (Figura 3.1) 1979 e 1997, localizzati principalmente ad ovest di questa sequenza. A volte più scosse di magnitudo comparabile si sono succedute nell'arco di giorni o mesi causando la rottura di grandi settori di crosta. Tra questi il terremoto del 1997 dell'Umbria Marche con tre scosse principali che si erano succedute in meno di un mese su tre faglie distinte. Anche nel 1703 tre scosse si erano succedute nel giro di un paio di settimane, colpendo una vasta area tra Norcia e L'Aquila.

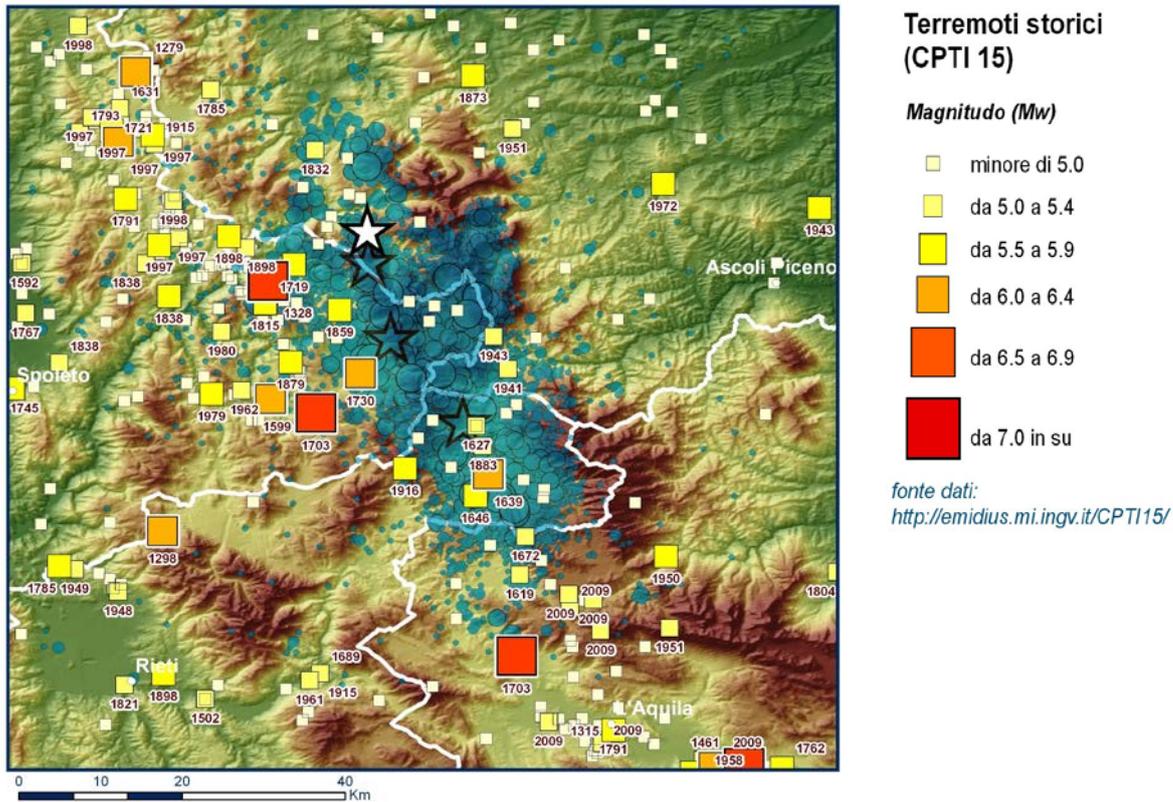


Figura 3.1. Distribuzione della sismicità storica dell'area colpita dalla sequenza sismica agosto-ottobre 2016. I pallini azzurri mostrano gli eventi sismici registrati a partire dal 24 agosto 2016.

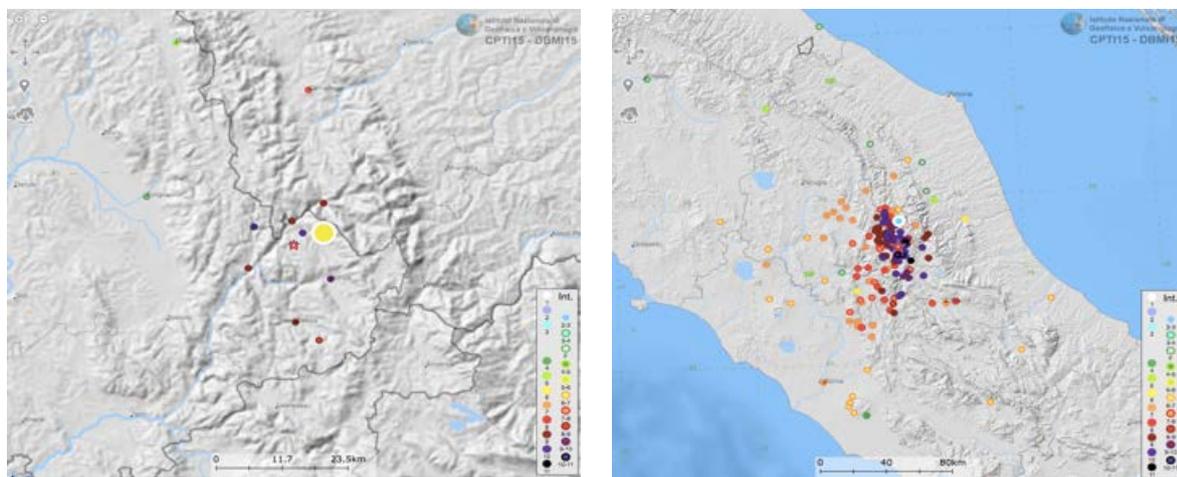


Figura 3.2. Distribuzione del risentimento per i terremoti del 1328 (sinistra) e del gennaio 1703 (destra) da CPTI15-DBMI15.

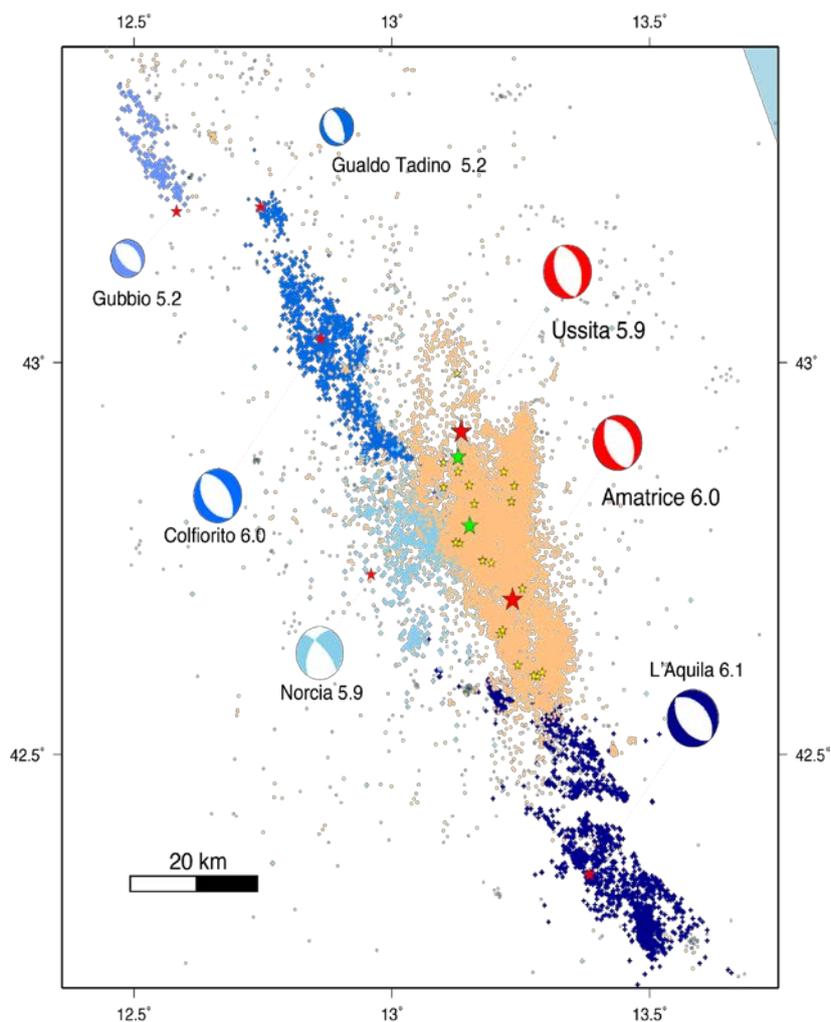


Figura 3.3. Distribuzione della sismicità strumentale nell'area colpita dalla sequenza sismica agosto-ottobre 2016. Sono riportati in celeste gli eventi della sequenza del 1979 (terremoto di Norcia), in azzurro quelli della sequenza del 1997 (Umbria-marche- Colfiorito), in blu quelli del 2009 della sequenza di L'Aquila e in rosa gli eventi della sequenza del 2016.

Tra i terremoti strumentali degli ultimi decenni ci sono le sequenze riportate in Figura 3.3 che mostrano come tutta la fascia appenninica sia stata recentemente interessata da sequenze sismiche importanti.

In particolare la Figura 3.3 mostra come gli eventi del 26 ottobre si collochino ad Est della sequenza di Colfiorito del 1997. Le faglie che li hanno generati sono su un sistema di faglie leggermente spostato verso est rispetto a quello del 1997 e del 2009.

4 Confronto con le conoscenze geologiche

Le osservazioni sismologiche preliminari (distribuzione delle repliche e meccanismi focali delle scosse principali) e le osservazioni SAR sono coerenti con le conoscenze geologiche e con la mappatura delle faglie attive (Figura 3.4). In particolare la zona epicentrale del 26 ottobre (in rosso)

Il modello usato è OEF_Italy (descritto in: W. Marzocchi, A.M. Lombardi, E. Casarotti (2014); The establishment of an operational earthquake forecasting system in Italy. Seismol. Res. Lett., 85(5), 961-969.

A seguito dell'incremento di sismicità osservata dal 26 ottobre, le probabilità settimanali nell'area del riquadro nelle Figure 3.7 e 3.8 sono aumentate considerevolmente. Per esempio, la probabilità settimanale di osservare un terremoto con M_L 5.0 o superiore, qualche ora prima dell'evento di M_W 5.9 del 26 ottobre, era di circa 3-4%. Dopo questo evento la stessa probabilità settimanale è ulteriormente aumentata raggiungendo valori di circa il 9%.

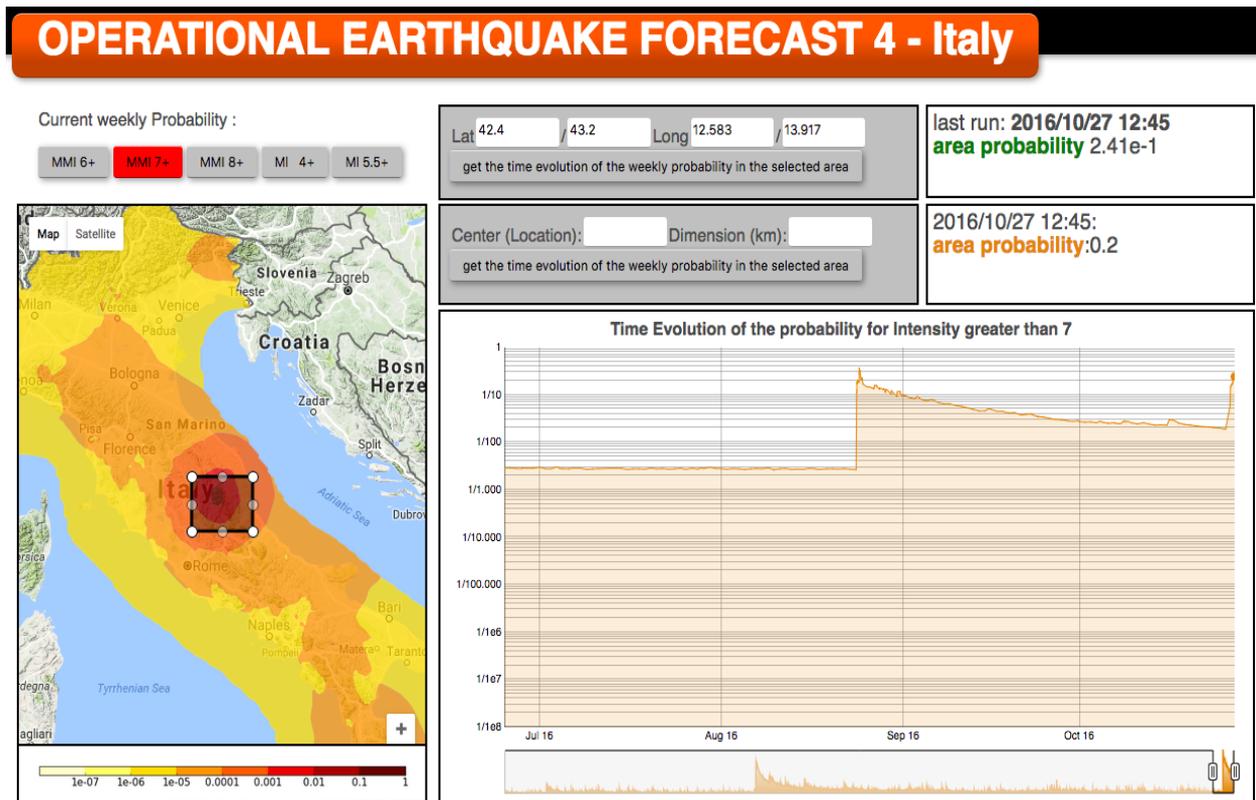


Figura 3.7. Evoluzione nel tempo della probabilità settimanale che venga risentita una intensità MMI 7.0 o superiore nell'area del riquadro in mappa.

OPERATIONAL EARTHQUAKE FORECAST 4 - Italy

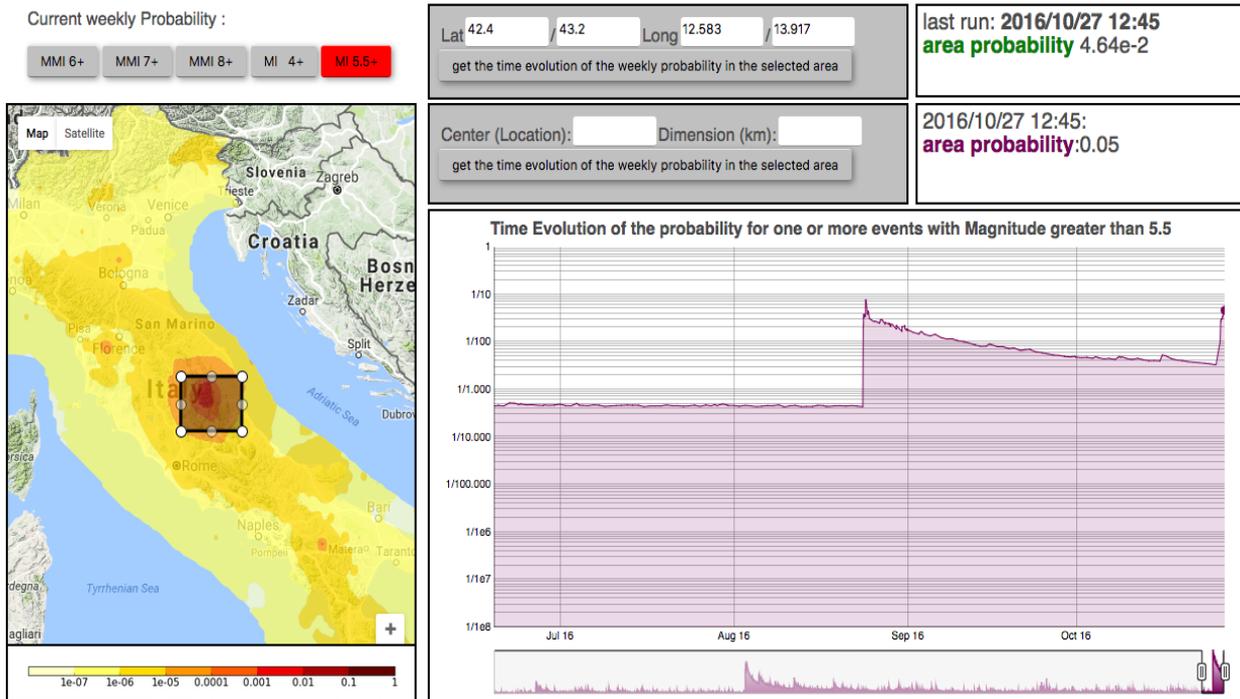


Figura 3.8. Evoluzione nel tempo della probabilità settimanale che si verifichi un terremoto M 5.5 o superiore nell'area del riquadro in mappa.

6 Conclusioni

La sequenza iniziata il 24 agosto è rimasta attiva nei due mesi successivi in una porzione di Appennino che andava da Campotosto a sud fino a poco a Nord di Norcia, con una attività maggiore nella parte settentrionale di questo tratto (figura 1.2). La sismicità non era comunque arrivata ad interessare la porzione a Nord che si è attivata con le scosse 5.4 e 5.9 del pomeriggio del 26 ottobre 2016

I terremoti di $M_w=5.4$ e $M_w=5.9$ del 26 ottobre si sono verificati su una struttura attigua verso N-NW rispetto a quelle attivate nella sequenza di Amatrice del 24 agosto scorso, al bordo della zona delle repliche (pallini blu in figura 1).

I dati raccolti e le analisi svolte hanno già consentito di individuare che i piani lungo i quali si è sviluppata la rottura principale hanno direzione circa NNW e immergono a WSW. La zona di rottura ha un'estensione di 15-20 km; la profondità ipocentrale è stata stimata a 8 km con rilascio massimo d'energia (centroide del momento sismico) a 6 km di profondità. Le registrazioni del mainshock alle stazioni vicine evidenziano una certa complessità che potrebbero indicare complessità della sorgente. Il SAR ha messo in evidenza un ribassamento del settore SW in superficie di circa 20 cm. Gli alti valori di scuotimento registrati a NW dell'epicentro suggeriscono una direttività della rottura nella stessa direzione.

Sulla base delle conoscenze delle faglie attive nell'area, è possibile ipotizzare il coinvolgimento anche in questo terremoto del sistema Vettore-Bove che corre ad est della zona delle repliche.



La sismicità storica e strumentale dell'area evidenziano che in questo settore dell'Appennino sono piuttosto comuni le sequenze con eventi principali multipli a distanza di giorni o di mesi uno dall'altro come in questo caso per i due eventi del 24 agosto seguiti dai due M>5 del 26 ottobre.

Esclusione di responsabilità e limiti di uso delle informazioni

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

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

In particolare, questo documento¹ ha finalità informative circa le osservazioni e i dati acquisiti dalle Reti di monitoraggio e osservative gestite dall'INGV.

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

L'INGV non è responsabile dell'utilizzo, anche parziale, dei contenuti di questo documento da parte di terzi e di eventuali danni arrecati a terzi derivanti dal suo utilizzo.

La proprietà dei dati contenuti in questo documento è dell'INGV.



Quest'opera è distribuita con Licenza
[Creative Commons Attribuzione - Non opere derivate 4.0 Internazionale](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/).

Il Presidente Prof. Carlo Doglioni
Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia
Via di Vigna Murata 605 - 00143 Rome, Italy

¹ Questo documento rientra nella categoria di livello 3 come definita nei "Principi della politica dei dati dell'INGV (D.P. n. 200 del 26.04.2016)".