



**Istituto Nazionale di
Geofisica e Vulcanologia**

***PRIMO RAPPORTO DI SINTESI SUL TERREMOTO DI
AMATRICE M_L 6.0 DEL 24 AGOSTO 2016 (ITALIA
CENTRALE)***

***FIRST SUMMARY REPORT ON THE 24 AUGUST,
2016, AMATRICE EARTHQUAKE IN CENTRAL ITALY***

Gruppo di Lavoro INGV sul Terremoto di Amatrice

29 Agosto 2016

Abstract

On August 24, 2016, at 03:36 (local time) a M_L 6.0 earthquake (M_w 6.0) struck an extensive portion of the Central Apennines between the towns of Norcia and Amatrice. The epicenter was located near the town of Accumoli. The area was struck by several earthquakes in historical times (1627, 1639, 1672, 1703; <http://emidius.mi.ingv.it/CPTI15-DBMI15/>).

The preliminary observations (seismological, geodetic and geological) collected in the area affected by the Amatrice earthquake sequence and the available scientific knowledge of the area allow to elaborate a first interpretative framework of the ongoing seismic sequence.

The seismogenic structure is oriented NNW-SSE and extends about 25-30 km between the towns of Norcia and Amatrice with a width of about 10-12 km and a depth of 10-12 km. This seismogenic volume is characterized by a complex tectonic setting. The August 24, 2016 (M_L 6.0) main shock likely ruptured a SW dipping, NNW-SSE trending fault segment. The coseismic rupture started near the town of Accumoli and appears to have spread bilaterally towards Amatrice to S-SE and toward Norcia to N-NW.

Preliminary fault slip inversion suggests two patches of co-seismic deformation located NW and SE of the hypocenter. It is still unclear whether there is fault continuity between the two patches that generated the M_L 6.0 main shock, namely whether rupture occurred on a single fault segment, or on two different segments separated by the Olevano-Antrodoco structural discontinuity.

The seismicity of the seismic volume in the NW sector (i.e., between Accumoli and Norcia) is dispersed suggesting the activation of different fault segments after the main shock of August 24. In particular, the trend of the replicas shows the activation of the Monte Vector fault segment and of different structures antithetical dipping towards NE.

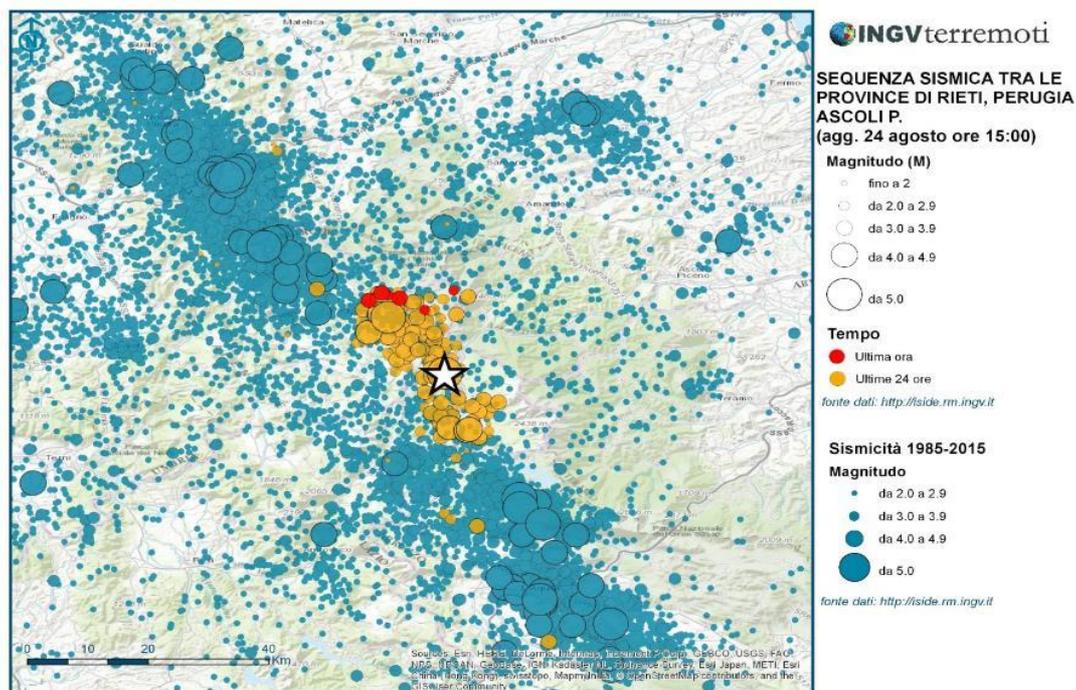


Figura 2. Sismicità strumentale nel settore dell'Appennino interessato dalla sequenza di Amatrice iniziata il 24 Agosto 2016 (simboli gialli e rossi).

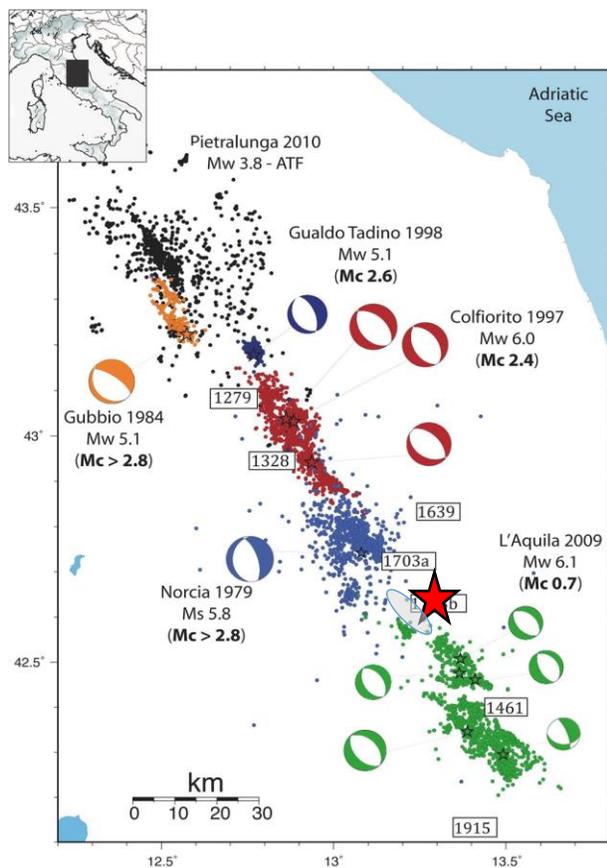


Figura 3. Sequenze degli ultimi decenni nel settore dell'Appennino centrale interessato dalla sequenza di Amatrice iniziata con il terremoto del 24 Agosto 2016 (stella rossa). I simboli azzurri identificano la sequenza della Valnerina (Norcia) del 1979; i simboli arancione identificano la sequenza sismica di Gubbio del 1984; i simboli rossi la sequenza di Colfiorito del 1997 (noti anche come terremoti Umbria-Marche); i simboli blu scuro la sequenza di Gualdo Tadino del 1998; i simboli verdi la sequenza dell'Aquila del 2009; infine, i simboli neri a nord ovest identificano la sismicità dell'alta valle del Tevere e la sequenza di Pietralunga del 2010. Le magnitudo delle rispettive scosse principali sono riportate in figura assieme ai meccanismi focali delle scosse di magnitudo maggiore e la magnitudo di completezza (Mc) dei cataloghi sismici utilizzati per la figura.

L'attività sismica registrata è coerente con il quadro tettonico attuale dell'Appennino Centrale caratterizzato da un regime distensivo e da meccanismi focali normali (Figure 4, 5 e 6).



Figura 4. Meccanismi focali nell'Appennino inclusi quelli della sequenza in corso (INGV/SLU).

I piani di faglia sono orientati in direzione Appenninica in accordo con la distribuzione delle repliche.

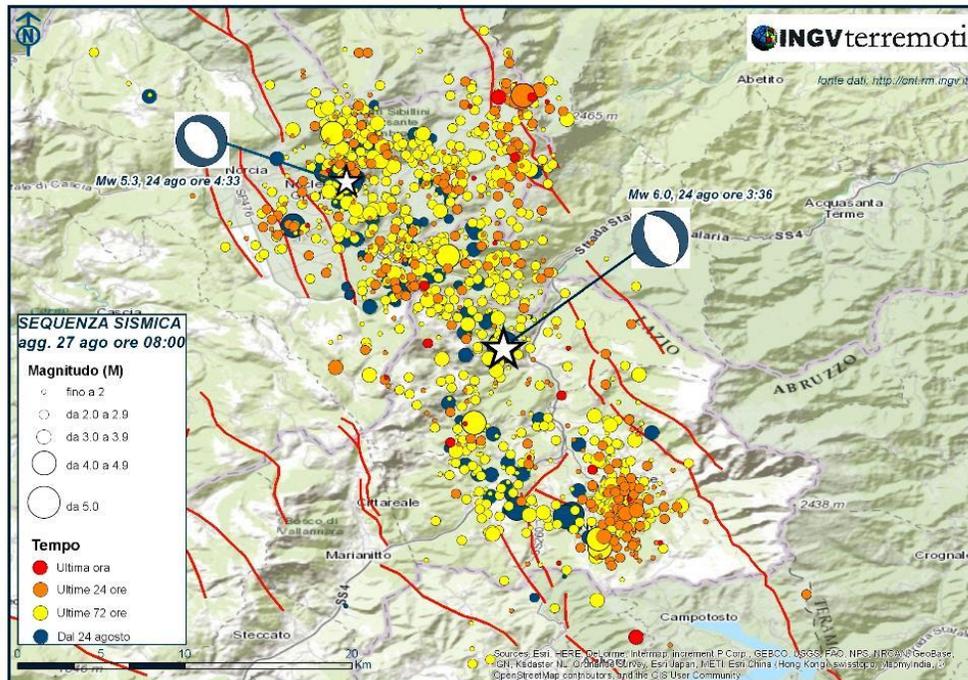


Figura 5. Sismicità registrata al 27 Agosto (ore 8:00) nell'area interessata e meccanismi focali dell'evento principale delle ore 03:36 (italiane) e della replica di magnitudo maggiore delle ore 04:33 del 24 Agosto 2016 (stelle bianche).

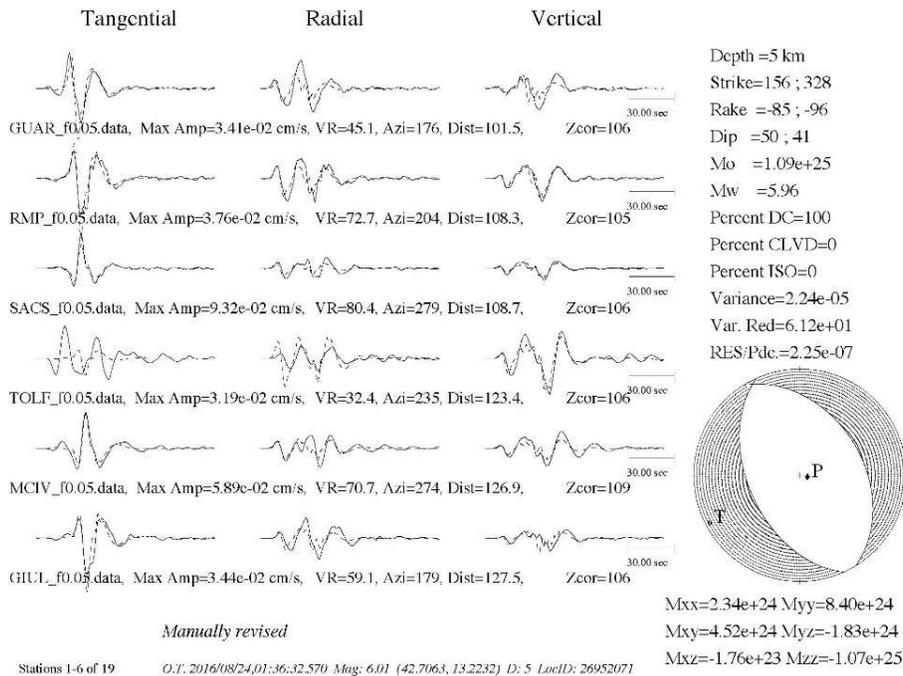


Figura 6. Meccanismo focale dell'evento principale determinato utilizzando la tecnica del "Time Domain Moment Tensor" (TDMT) con i parametri di input calibrati per il territorio nazionale (<http://cnt.rm.ingv.it/tdmt>).

Le oltre 2000 repliche localizzate si distribuiscono in una fascia tra Norcia e Amatrice lunga circa 25 km e larga circa 12. Le repliche di magnitudo maggiore sono concentrate ai due estremi della zona attivata con la scossa principale, in particolare nella zona di Norcia a NW, dove è stata localizzata la replica di magnitudo maggiore M_L 5.3, e nella zona di Amatrice a SE. L'insieme delle repliche indica l'attivazione di un sistema di faglie orientato in direzione appenninica e interessato da forte complessità interna. Questo andamento è in accordo con il pattern di deformazione rilevato dal satellite, che sarà presentato tra poco.

La mappa di sismicità illustrata in Figura 5 mostra una maggiore dispersione delle repliche nel settore nord-occidentale dell'area epicentrale, tra Accumoli e Norcia. Questa osservazione suggerisce una certa complessità del sistema di faglie attivato a seguito della scossa principale del 24 Agosto 2016. Al contrario il settore sud-orientale del volume focale, tra Accumoli e Amatrice, mostra una minore dispersione e un allineamento coerente con la direzione del piano di faglia che ha dislocato durante la scossa principale. Nel settore nord-occidentale la sismicità ha interessato la faglia del Vettore con repliche di magnitudo tra 4.0 e 4.4 tra il 26 e il 28 Agosto 2016.

I meccanismi focali delle repliche (Figura 7) sono coerenti con l'assetto tettonico dell'Appennino e con il movimento della faglia che ha generato la scossa principale del 24 Agosto (M_L 6.0).

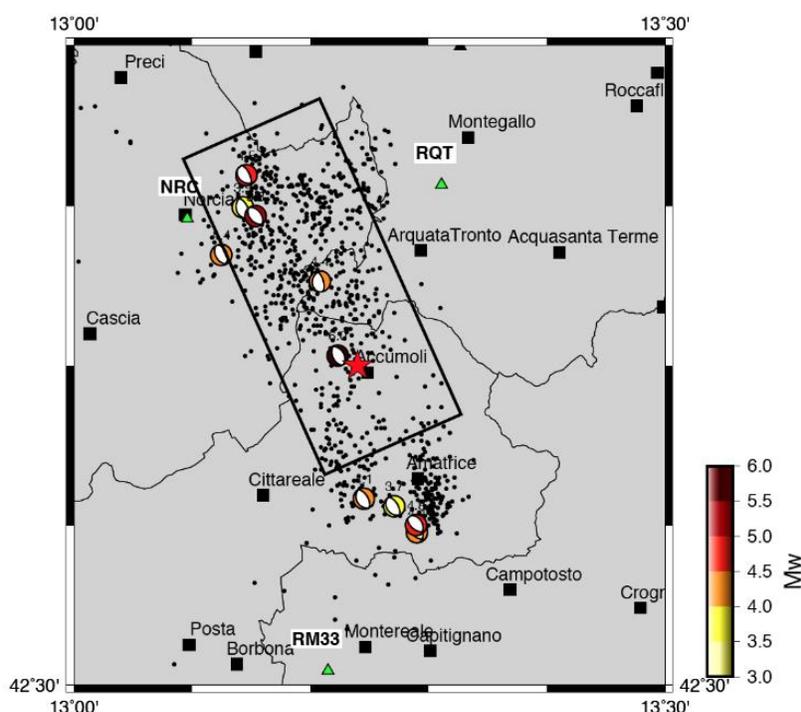


Figura 7. Area epicentrale e meccanismi focali TDMT delle principali repliche.

Le deformazioni cosismiche

L'analisi preliminare dei dati geodetici, sia i dati GPS (Figura 8) sia le osservazioni da satellite, ha permesso di definire un primo quadro interpretativo del sistema di faglie attivato durante la

sequenza attuale. Nella Figura 8 è riportata la deformazione cosismica orizzontale e verticale derivante dalla soluzione di consenso. Si noti come la stazione AMAT (Amatrice) mostri il massimo spostamento.

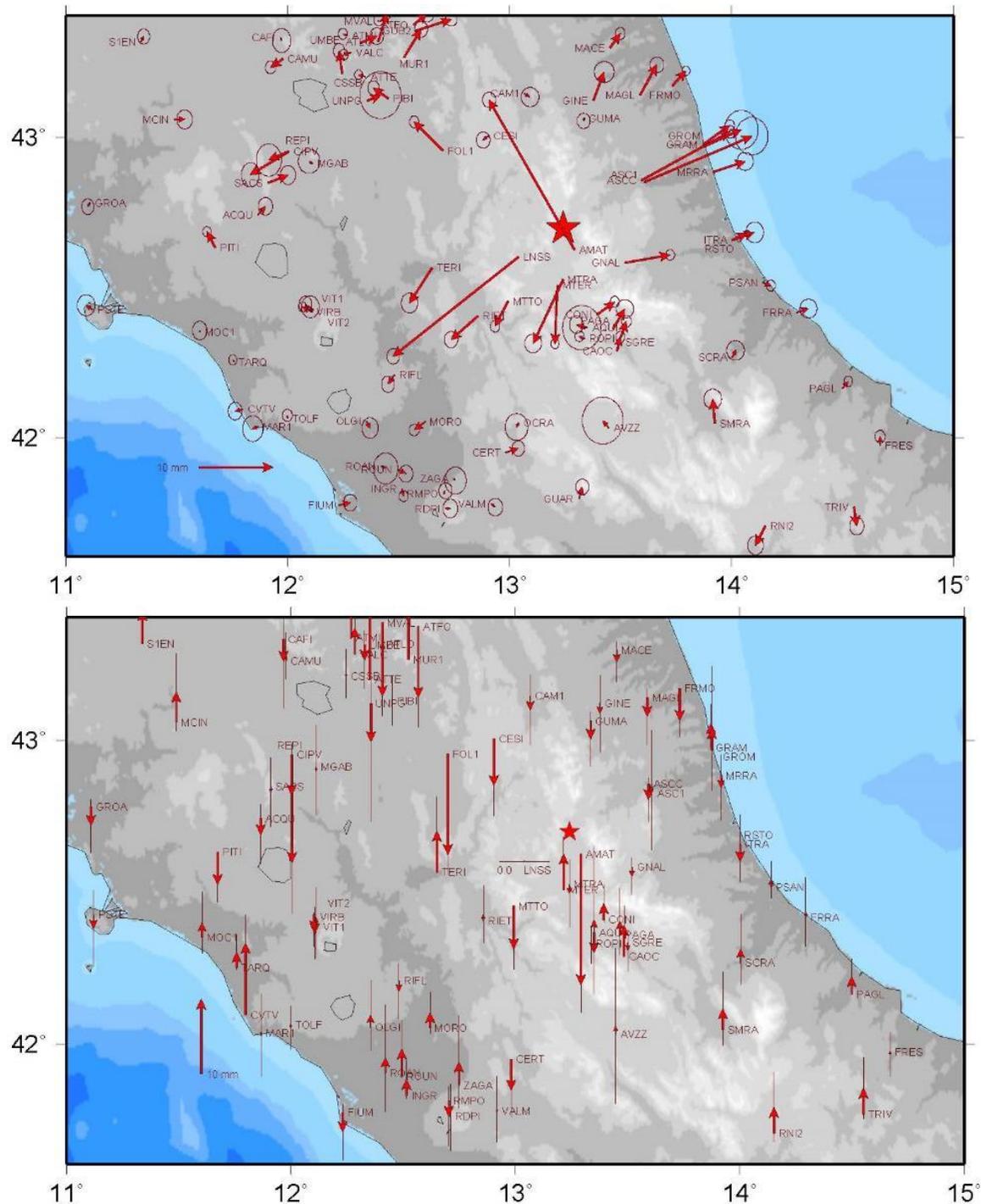


Figura 8. Prime osservazioni GPS degli spostamenti cosismici (freccie rosse) orizzontali (sopra) e verticali (sotto). La stella rappresenta l'epicentro del main shock del 24/08/2016 M=6.0, ore 03:36 italiane.

In particolare i dati GPS confermano il movimento di una faglia normale orientata SSE-NNW, immergente a SW e delimitano l'estensione verso S della faglia in prossimità di Amatrice. L'orientazione e l'ampiezza del vettore di spostamento del caposaldo di Amatrice indicano una concentrazione di dislocazione in prossimità dell'epicentro ad Accumoli (Figura 9).

Infine, la figura 9 mostra una simulazione dell'offset cosismico atteso ai caposaldi della rete CA-GeoNet (freccie azzurre in corrispondenza dei caposaldi indicati dai triangoli verdi – stazione in misurazione – e triangoli bianchi – stazioni esistenti). I risultati dell'analisi preliminare dei dati GPS confermano l'ipotesi della superficialità della dislocazione sulla faglia principale.

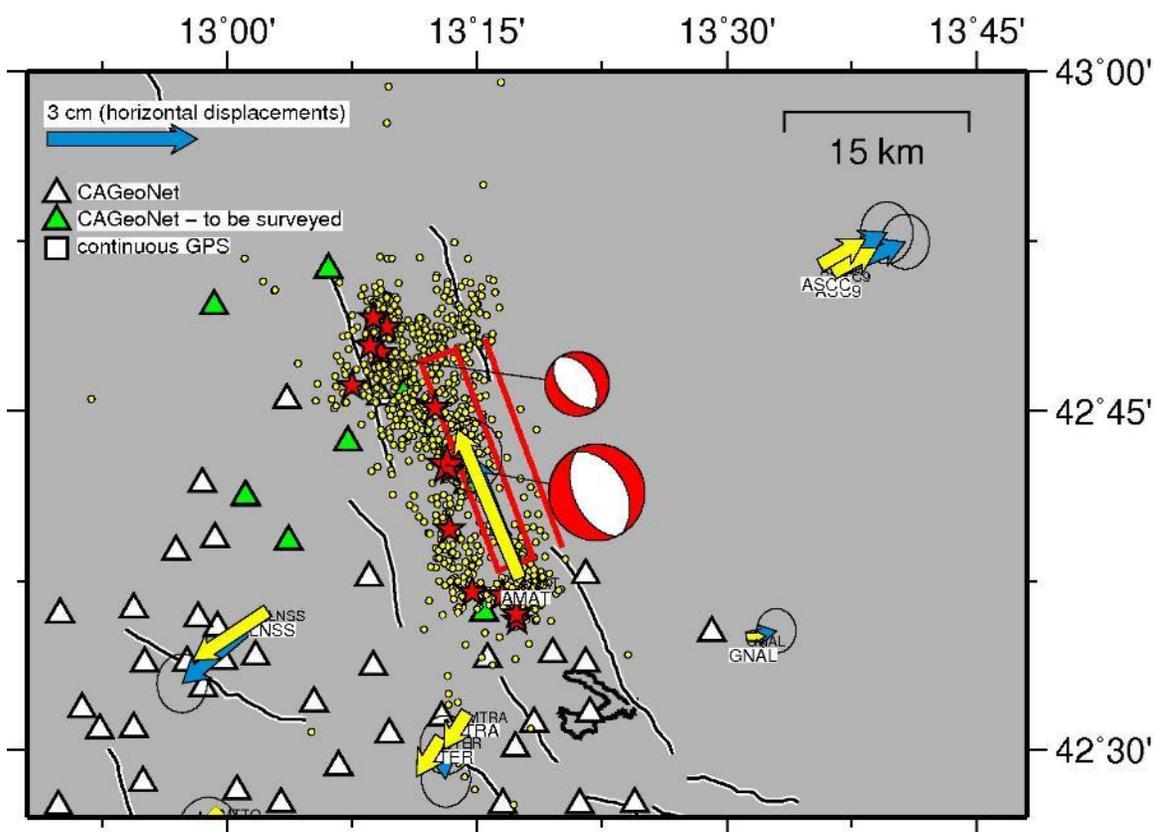


Figura 9. Spostamenti orizzontali stimati (freccie blu) e sintetici (freccie gialle) alle stazioni GPS permanenti nell'area epicentrale (soluzione Bernese). I triangoli rappresentano i caposaldi della rete geodetica CAGeoNet con evidenziati in verde quelli attualmente in via di misura, subito dopo l'evento principale. Sono anche indicati la faglia (box rosso) e il meccanismo focale delle scosse principali.

Questo quadro interpretativo preliminare è coerente con l'analisi dei dati da satellite mostrati in Figura 10. Le osservazioni da satellite mostrano una distribuzione della deformazione consistente con le prime osservazioni GPS, geologiche e sismologiche.

La zona di deformazione più ristretta che si osserva nella zona compresa tra Accumoli e Amatrice suggerisce una profondità minore del movimento sulla faglia. Al contrario, la zona di

deformazione più estesa nel settore settentrionale indicherebbe una deformazione più profonda e una maggiore complessità del sistema di faglie attivate.

Come anticipato, l'analisi preliminare dei dati geodetici suggerisce che il terremoto del 24 Agosto M_L 6.0 sia avvenuto su una faglia avente un piano appenninico immergente verso SW interessato da forte complessità interna. Nel solo settore settentrionale è stata identificata anche una faglia coniugata immergente verso NE (vedi Figura 11).

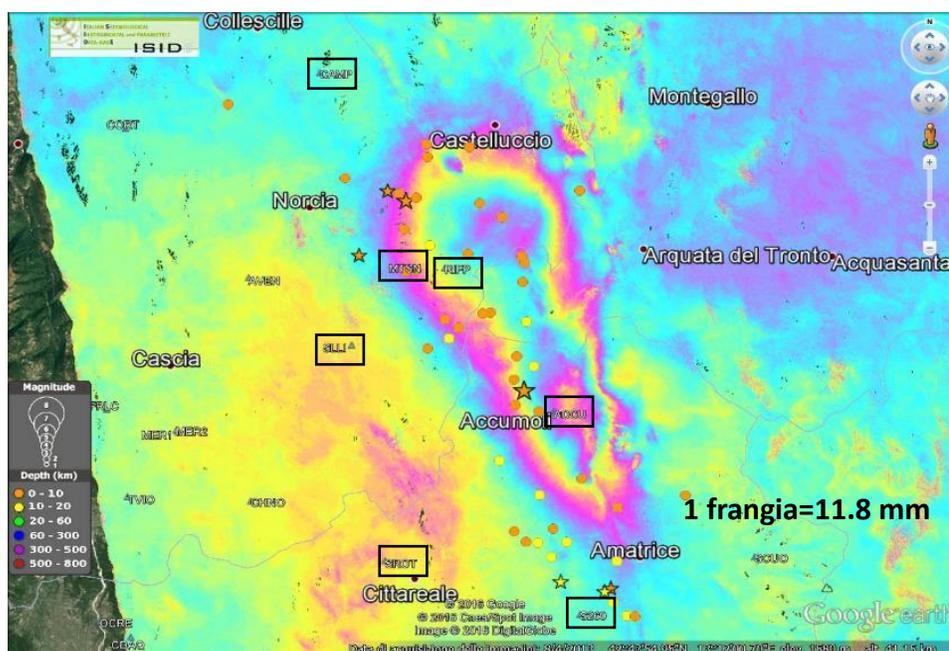


Figura 10. Le prime osservazioni dello spostamento del suolo co-sismico ottenute con il satellite giapponese ALOS 2 evidenziano un abbassamento del suolo allungato in un'area NNW-SSE, con valori massimi di circa 20 cm in due aree a nord e a sud (Elaborazione INGV).

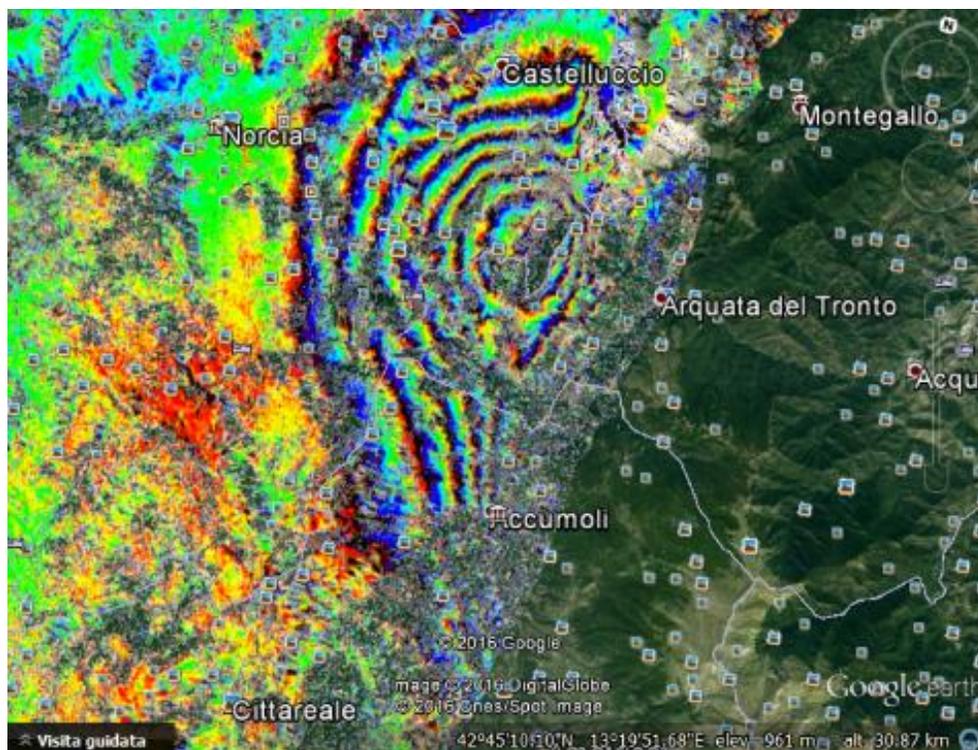


Figura 11. Ulteriore interferogramma da immagini ESA Sentinel 1 (coppia 20/08-26/08) che mostra lo spostamento del suolo co-sismico nel settore settentrionale della rottura (area nord della figura 9). Ogni frangia indica uno spostamento di circa 2.8 cm.

Geometria del piano di faglia

La distribuzione degli eventi principali e delle repliche alla data del 27 agosto, indica un piano principale a direzione variabile tra N140° e N170° e inclinazione tra 45° e 70° SW. Nella parte settentrionale si evidenzia anche una faglia coniugata NE immergente (Figura 12).

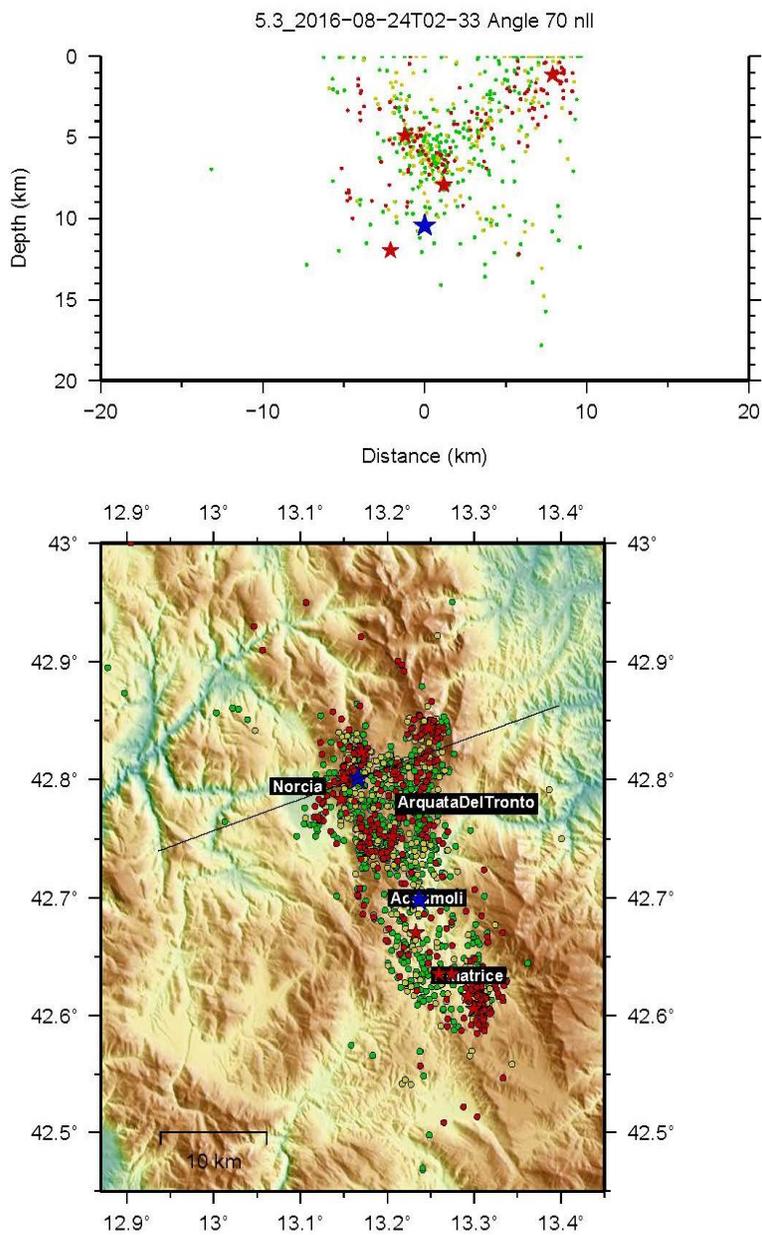


Figura 12 A

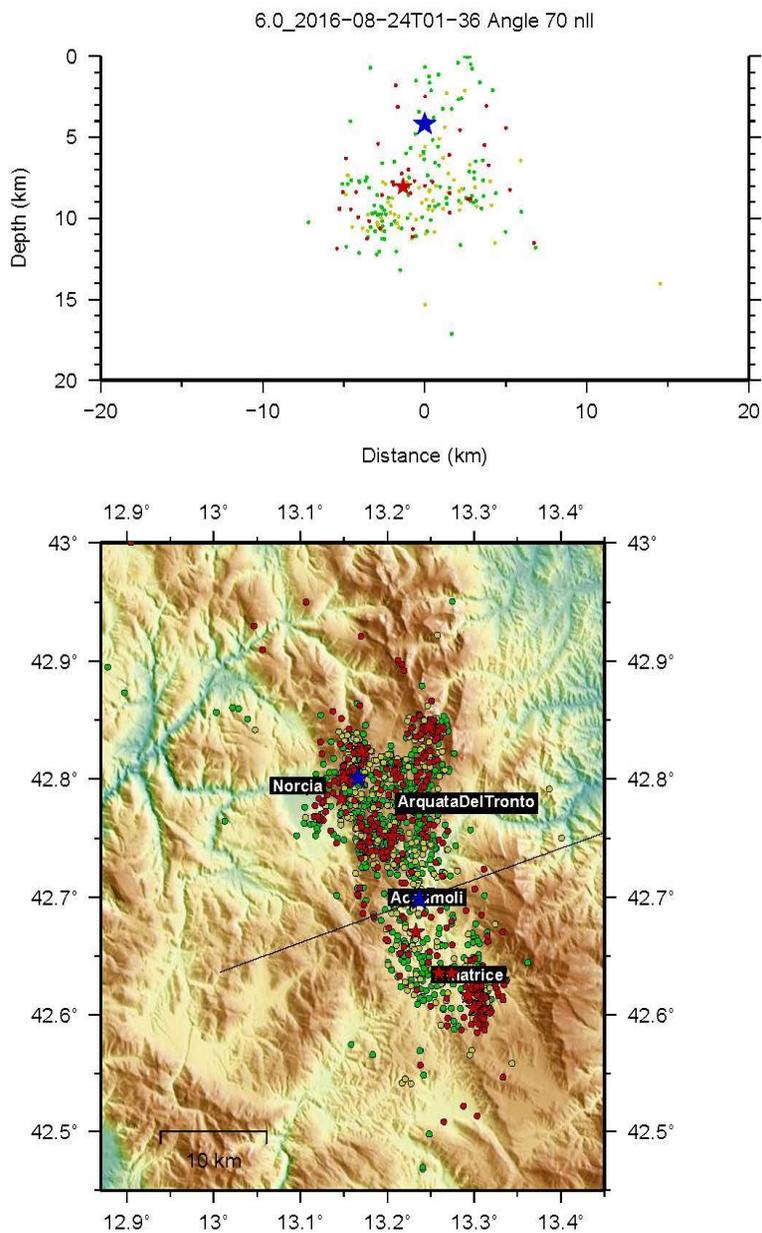


Figura 12 B

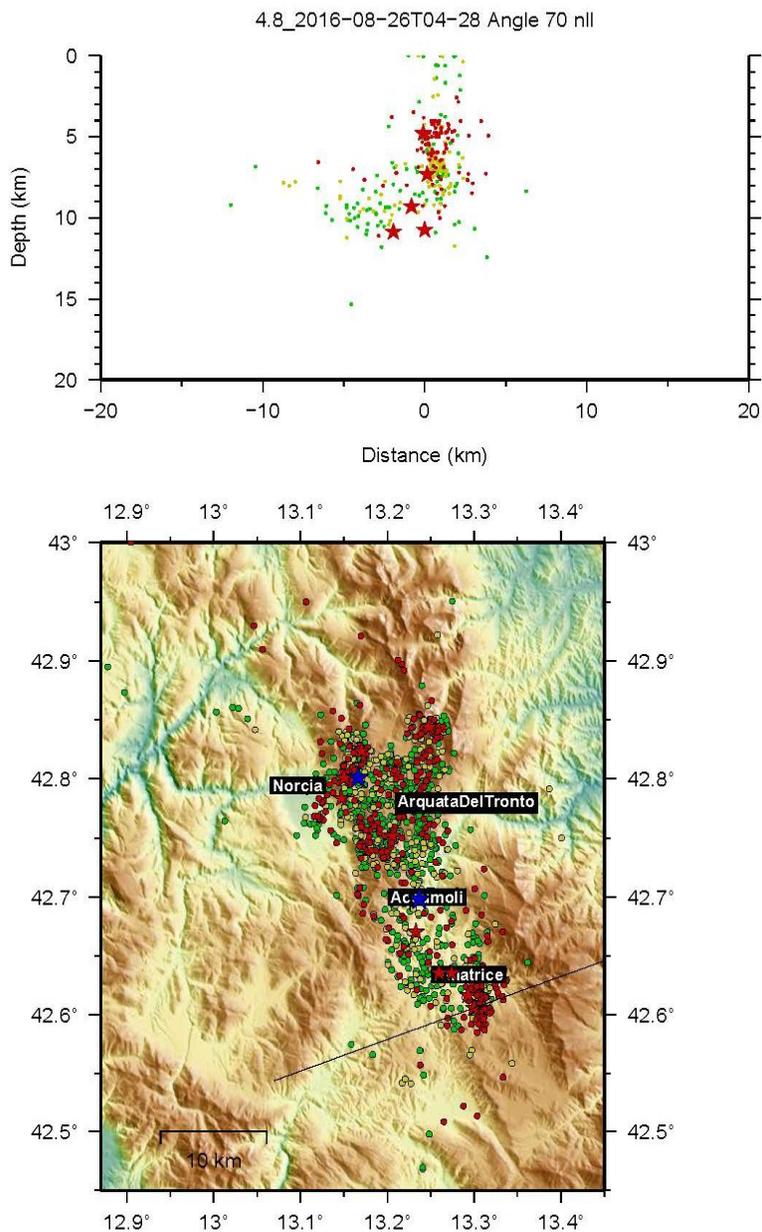


Figura 12 C

Figura 12. Mappe e sezioni della sismicità al 27 agosto in corrispondenza degli eventi, da nord a sud: M_L 5.3 del 24 agosto (Figura 12 A), M_L 6.0 del 24 agosto (Figura 12 B) e M_L 4.8 del 26 agosto (Figura 12 C). Si noti nella sezione più settentrionale il sistema coniugato assente a sud.

L'inversione dello spostamento co-sismico del suolo ottenuto dai dati satellitari ha fornito un'indicazione della geometria del piano di faglia e della distribuzione della dislocazione sul piano stesso. La Figura 13 mostra il risultato preliminare dell'inversione dei dati InSAR ALOS e Sentinel 1 delle figure 10 e 11, più i dati preliminari di spostamento da tre stazioni GPS



permanenti. In attesa di ulteriori vincoli, è stata preferita un'inversione a singola sorgente. Nell'inversione non-lineare non sono stati inseriti vincoli mediante altri dati, e la geometria della sorgente (dip, strike e rake) è stata stimata indipendentemente in ottimo accordo con i meccanismi focali del mainshock. La successiva modellazione lineare utilizza tale geometria per stimare lo slittamento sul piano di faglia, mostrato in figura 13.

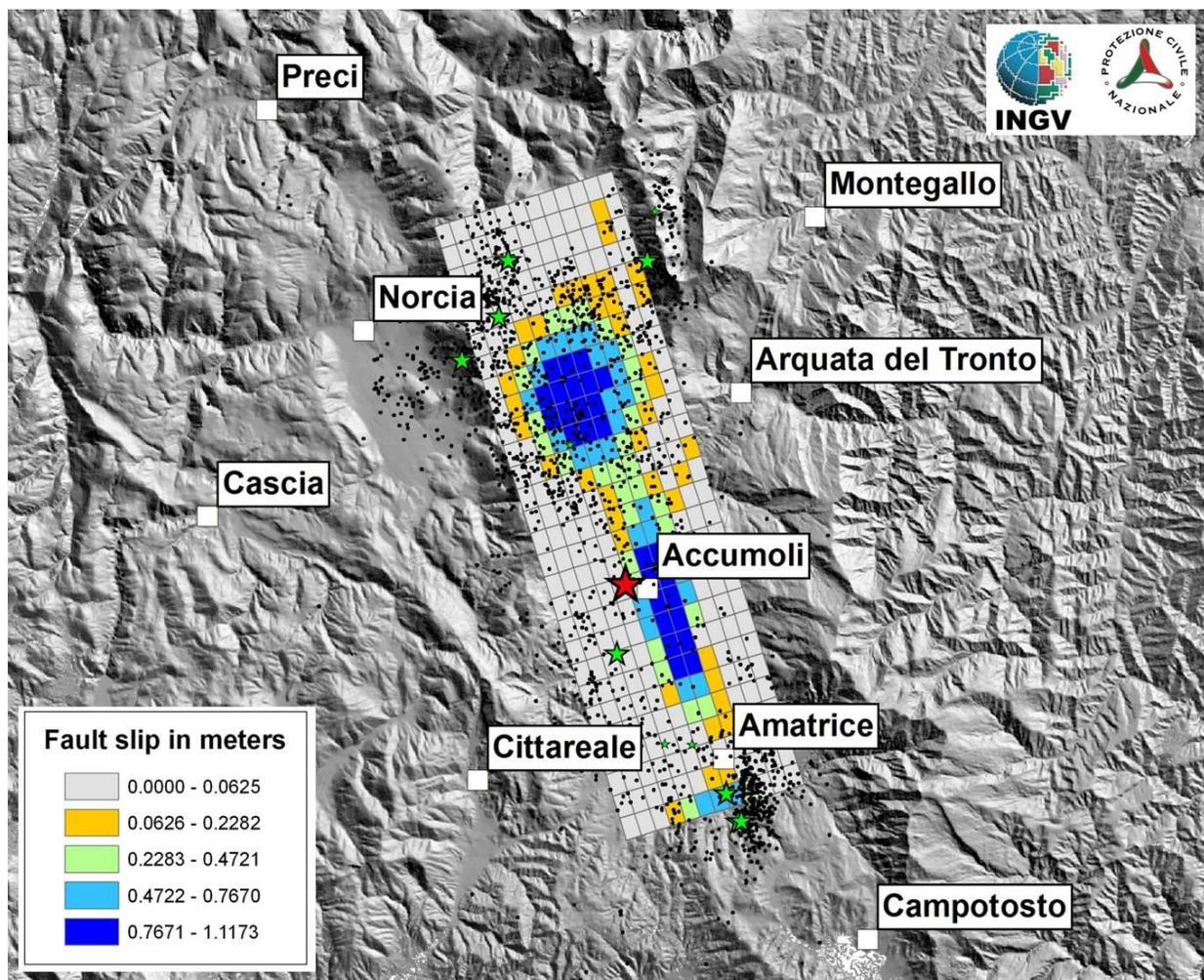


Figura 13. Modello preliminare di distribuzione dello slip dai dati ALOS2, Sentinel 1 e GPS in continuo. In rosso il mainshock, i punti neri sono le repliche rilocalizzate in modo preliminare con la procedura NonLinLoc.

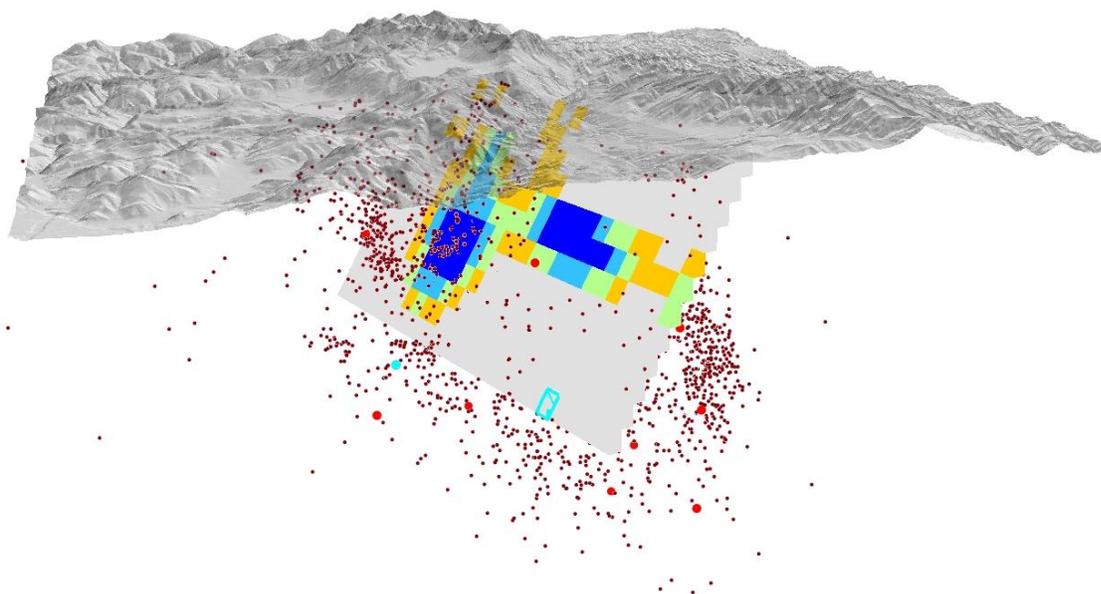


Figura 14. Vista 3D del secondo modello di faglia ottenuto dall'inversione dello spostamento del suolo statico (2 dataset SAR e 3 CGPS). Il modello è ancora preliminare ed è consistente con il primo quadro interpretativo.

La Figura 14 mostra la distribuzione della dislocazione sul piano di faglia in una rappresentazione tridimensionale. La dislocazione è concentrata in due zone: nel settore sud-orientale della faglia (Accumoli-Amatrice) e nel settore nord-occidentale (Accumoli-Norcia).

La modellazione delle registrazioni accelerometriche (strong motion) disponibili ha permesso di ottenere un primo modello, molto preliminare, della propagazione cosismica della rottura (Figura 15) durante la scossa principale. La durata della rottura è di circa 8 secondi, se si adotta un modello a velocità di rottura costante. La distribuzione della dislocazione è concentrata in due zone una più superficiale tra Accumoli e Amatrice, una più profonda in prossimità di Norcia. Questo risultato è coerente con l'analisi dei dati satellitari.

SLIP AND RUPTURE VELOCITY:

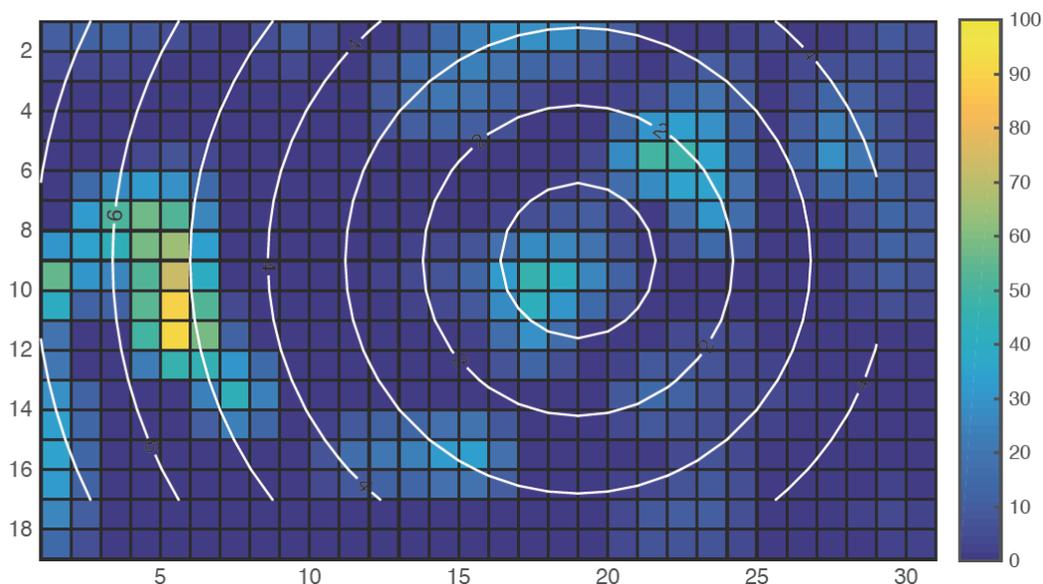


Figura 15. Primo modello dell'evoluzione della rottura sulla faglia ottenuto utilizzando i dati strong motion della RAN del DPC e della RSN dell'INGV. La scelta del piano di faglia si basa sulle osservazioni inSAR, sulla distribuzione delle repliche, e sulla geometria dei piani di faglia ottenuta dall'inversione del tensore momento (Figura 6). Vista della faglia da SO. L'inversione, seppure preliminare, identifica una zona di slip maggiore di circa 80 cm concentrato nella parte settentrionale della faglia.

Analisi preliminare dei dati accelerometrici

La Figura 16 mostra la distribuzione dei valori di picco nelle zone circostanti l'epicentro dell'evento principale. Questa osservazione e le *shakemaps* (<http://shakemap.rm.ingv.it/shake/7073641/intensity.html>) suggeriscono una direttività in direzione NW e comunque a nord dell'epicentro. Tuttavia, i valori di picco maggiori sono stati osservati sia alle stazioni di Arquata del Tronto e Norcia sia ad Amatrice, suggerendo una rottura bilaterale. La maggiore profondità della rottura nella zona NW può aver contribuito all'andamento osservato. Lo studio e l'interpretazione della direttività della rottura cosismica associata alla scossa principale richiedono altre analisi e ulteriori conferme.

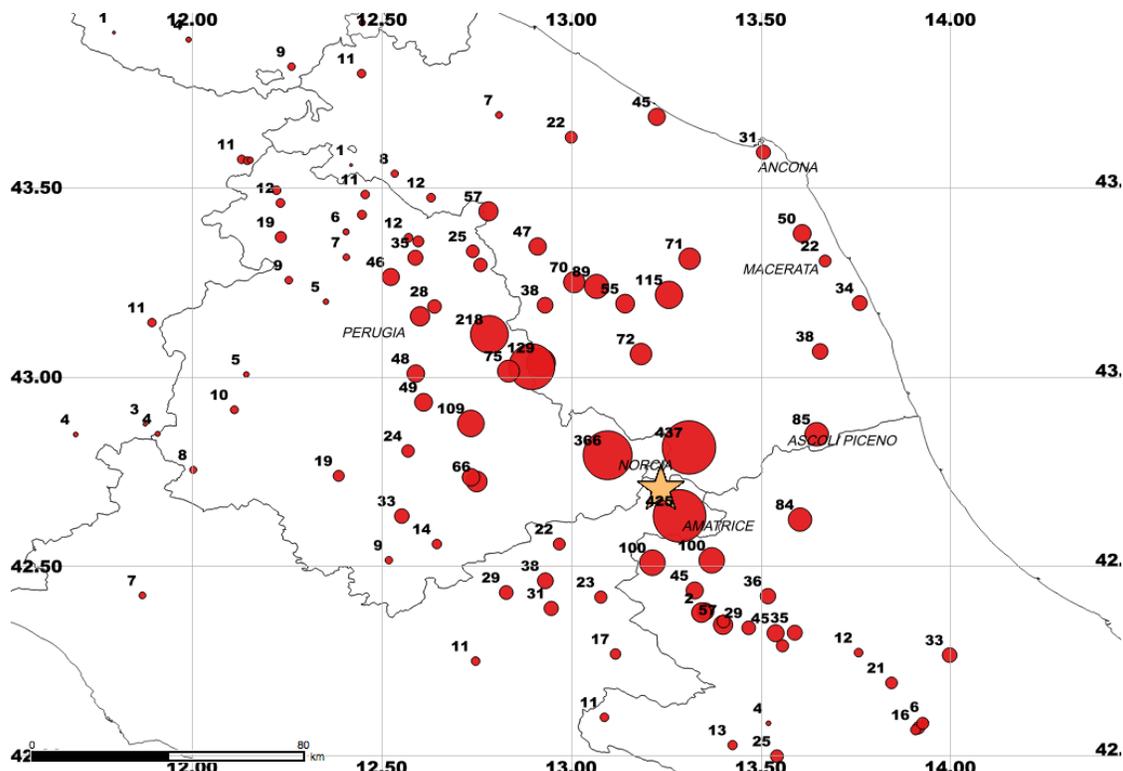


Figura 16. Distribuzione dei valori di picco (mGal) sulle componenti orizzontali registrati dalle stazioni accelerometriche della RAN del DPC e della RSN di INGV.

L'analisi della registrazione accelerometrica della stazione di Amatrice (AMT) è di particolare interesse (Figura 17). Lo spostamento del terreno calcolato dalla registrazione accelerometrica di Amatrice (AMT) mostra un segnale coerente caratterizzato da un singolo impulso e la presenza di un offset statico associato alla deformazione permanente. Questa osservazione suggerisce che la propagazione della rottura cosismica verso SE, in direzione di Amatrice, sia abbastanza coerente e che la città di Amatrice sia ubicata in posizione direttiva rispetto alla propagazione della rottura verso SE (da Accumoli verso Amatrice).

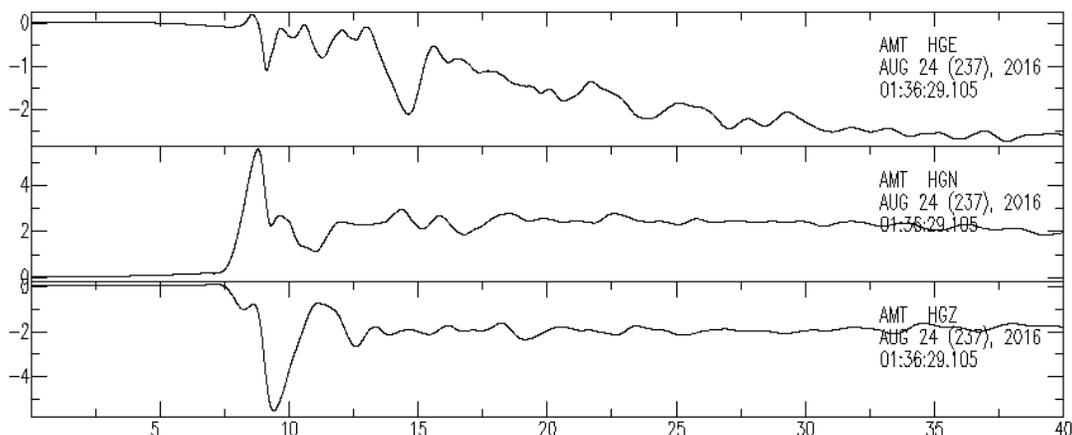


Figura 17. Spostamento del terreno calcolato dalla registrazione accelerometrica di Amatrice (AMT)

Confronto con le conoscenze geologiche

Le osservazioni sismologiche preliminari (distribuzione delle repliche e meccanismi focali delle scosse principali) e le osservazioni geodetiche (analisi dati GPS e SAR) sono coerenti con le conoscenze geologiche e con la mappa delle faglie attive (Figura 18).

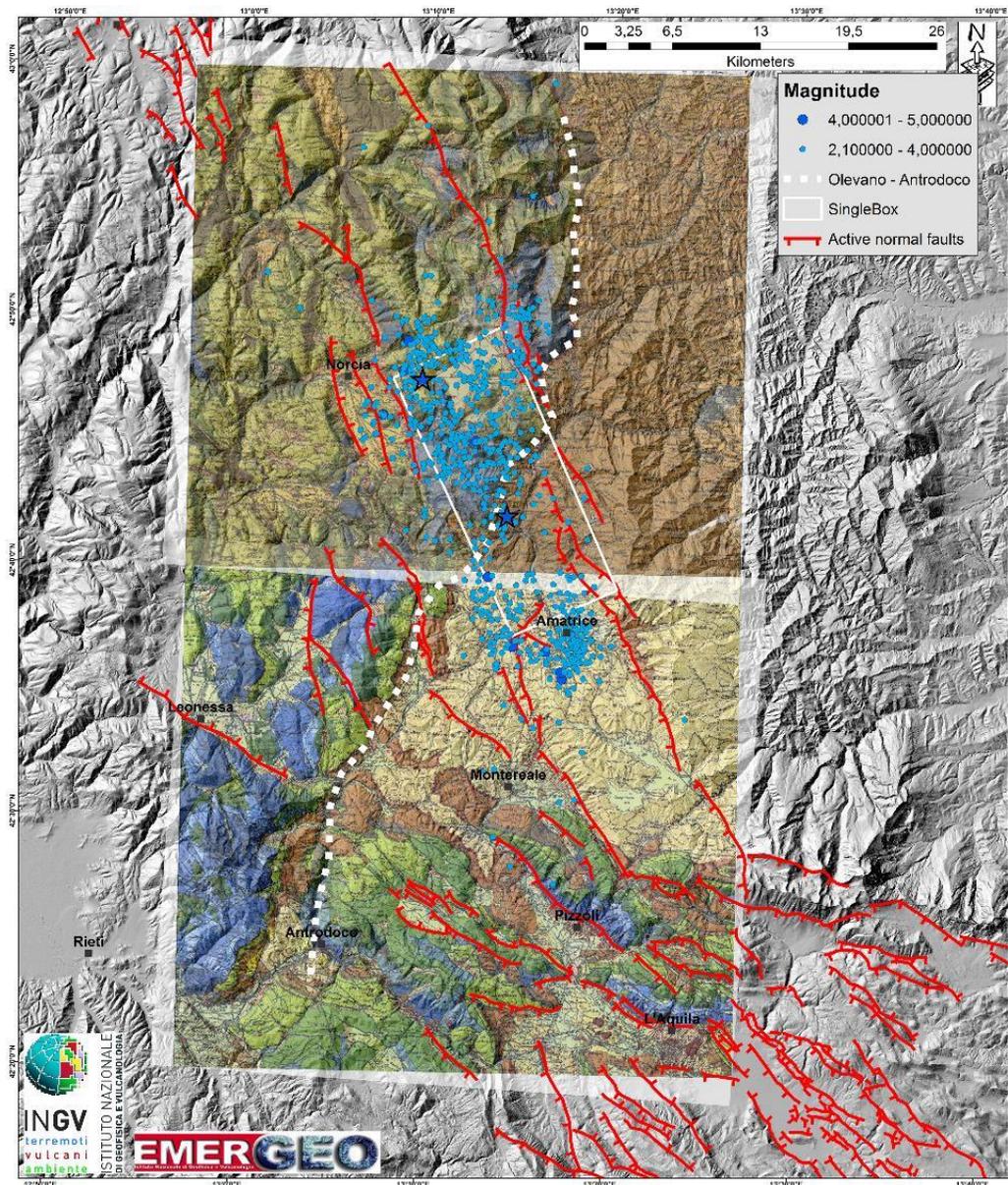


Figura 18. Carta Geologica dell'area epicentrale. In puntinato azzurro la sismicità al 27 agosto 2016, la stella indica l'epicentro dell'evento principale. La linea tratteggiata rappresenta il sovrascorrimento inattivo dei monti Sibillini che separa le unità terziarie flyshoidi a velocità sismiche minori rispetto alle serie carbonatiche mesozoiche a NW. La box rettangolare in bianco indica la proiezione in superficie del piano di faglia preliminare.

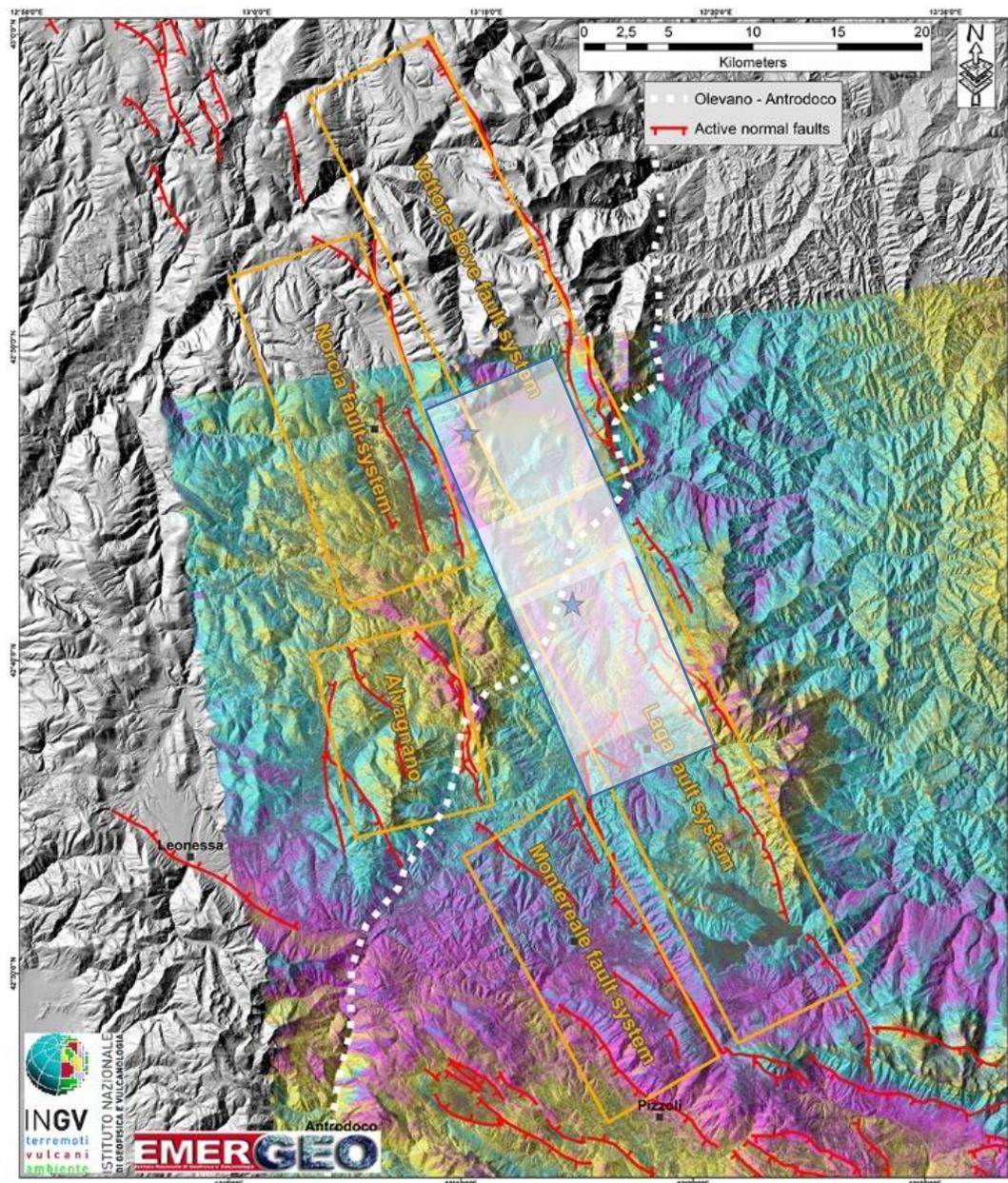


Figura 19. Sintesi iniziale che mostra una buona consistenza tra le conoscenze geologiche, i risultati dell'interferometria e le altre osservazioni disponibili. La complessità della rottura è evidentemente controllata dalla diversità geologico-strutturale dell'area.

In particolare la Figura 18 mostra la carta geologica dell'area epicentrale e le maggiori faglie attive in affioramento. La linea tratteggiata rappresenta il sovrascorrimento inattivo dei monti Sibillini (linea Olevano-Antrdoco) che separa le unità terziarie flyschoidi a velocità sismiche minori rispetto alle serie carbonatiche mesozoiche a NW. Questo contrasto litologico è

sicuramente significativo per i primi 3-4 km e considerata la superficialità dell'ipocentro può aver condizionato la diversa propagazione delle onde. Anche le osservazioni geologiche sono coerenti con l'interpretazione della rottura di una faglia orientata in direzione appenninica e immergente verso SW.

Un primo quadro interpretativo

Le osservazioni preliminari raccolte (osservazioni sismologiche, geodetiche e geologiche) nell'area interessata dalla sequenza sismica di Amatrice e lo stato delle conoscenze scientifiche sui processi sismogenetici permettono di elaborare un primo quadro interpretativo.

La struttura sismogenetica è orientata in direzione NNW-SSE (direzione appenninica) e si estende per circa 25-30 km tra i comuni di Norcia e Amatrice per una larghezza di circa 10-12 km ed una profondità di 10-12 km. Questo volume sismogenetico è caratterizzato dalla presenza di diversi segmenti di faglia di una certa complessità strutturale. La scossa principale del 24 Agosto 2016 M_L 6.0 ha verosimilmente rotto un segmento di faglia orientato NNW-SSE e immergente verso SW. La rottura cosismica ha avuto inizio nei pressi della città di Accumoli e sembra essersi propagata bilateralmente verso S-SE in direzione di Amatrice e verso N-NW in direzione di Norcia. Il massimo della deformazione cosismica è ubicato nei pressi di Accumoli. Non è ancora chiaro se esiste continuità tra le due parti di faglia che hanno generato la scossa principale di M_L 6.0, vale a dire se sia rotto un unico segmento di faglia, oppure se la rottura cosismica abbia interessato due segmenti differenti separati dalla discontinuità strutturale dell'Olevano-Antrodoto.

La sismicità del volume sismogenetico nel settore NW (quello compreso tra Accumoli e Norcia) è molto dispersa e suggerisce l'attivazione di diversi segmenti di faglia a seguito della scossa principale del 24 agosto. In particolare, l'andamento delle repliche mostra l'attivazione del segmento di faglia del Monte Vettore (Figura 5) e di diverse strutture antitetiche immergenti verso NE.

Le repliche di magnitudo maggiore sono concentrate ai margini del volume sismogenetico, sia a NW sia a SE. In particolare, la sismicità nella zona di Amatrice mostra l'attivazione del sistema di faglie dei Monti della Laga, già attivato durante la sequenza dell'Aquila del 2009 (come mostrato nella Figura 19 e 20).

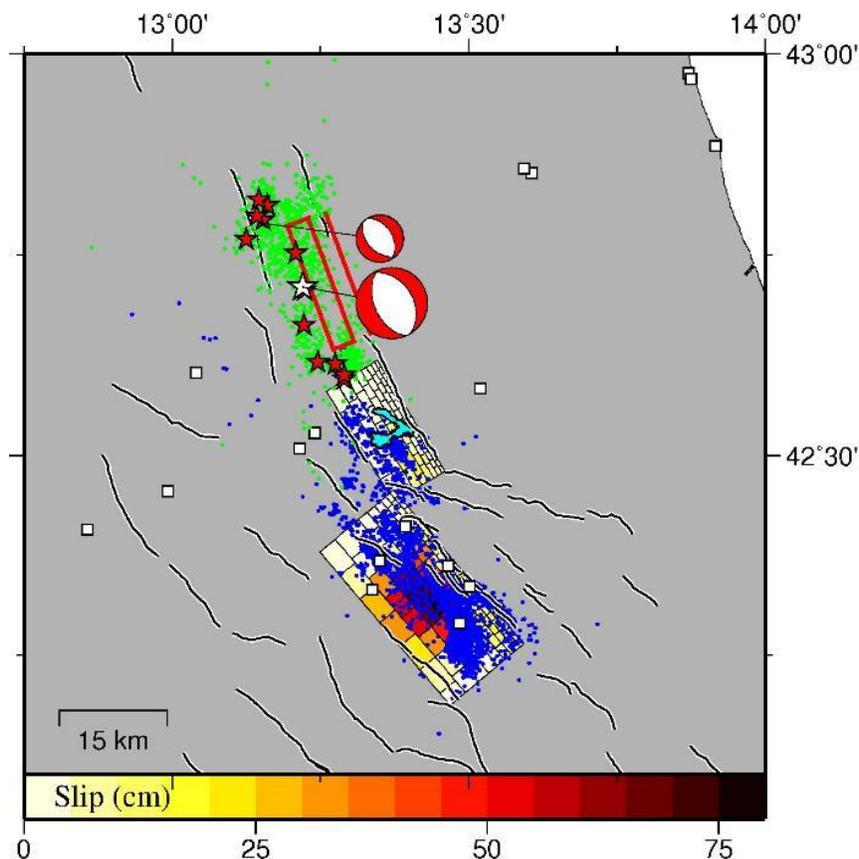


Figura 20. Confronto tra faglia a slip uniforme del terremoto di Amatrice del 2016 (box rossa e traccia superficiale; vedi anche Figura 9), ottenuta dalla modellazione preliminare degli offset GPS, e la distribuzione di slip cosismica del terremoto dell'Aquila del 2009 che include anche la distribuzione di slip asismico del segmento della faglia di Campotosto (faglia della Laga) attivato durante la sequenza del 2009 (da Cheloni et al., *Tectonophysics* 2014). I cerchi verdi rappresentano la sismicità della sequenza del 2016 aggiornata alle 17:40 del 26 Agosto 2016, mentre i cerchi blu rappresentano la sismicità della sequenza aquilana del 2009. La stella bianca rappresenta il main shock Mw 6.0 del 24 agosto 2016, mentre le stelle rosse gli eventi $M_L > 4$.

Questo primo quadro interpretativo ci permette di analizzare i dati e le nuove osservazioni, incluse quelle provenienti dalle campagne di misura nell'area, al fine di implementare le interpretazioni e verificare ipotesi. Questo è fondamentale per analizzare e interpretare l'evoluzione spazio-temporale della sismicità e comprendere i processi di generazione dei terremoti in questo settore dell'Appennino.

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
Phone: +39 0651860481 - Cell: +39 3357436972*

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)".