“ITALY ON THE FAULT”

«ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ ΕΔΑΦΙΚΩΝ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΕΩΝ ΤΟΥ ΣΕΙΣΜΟΥ AMATRICE (ΚΕΝΤΡΙΚΗ ΙΤΑΛΙΑ) ΤΗΣ 24/8/2016»

Παυλίδης Σπύρος, Παπαθανασίου Γιώργος, Γεωργιάδης Γιώργος,

Χατζηπέτρος Αλέξανδρος, Βαλκανιώτης Σωτήρης

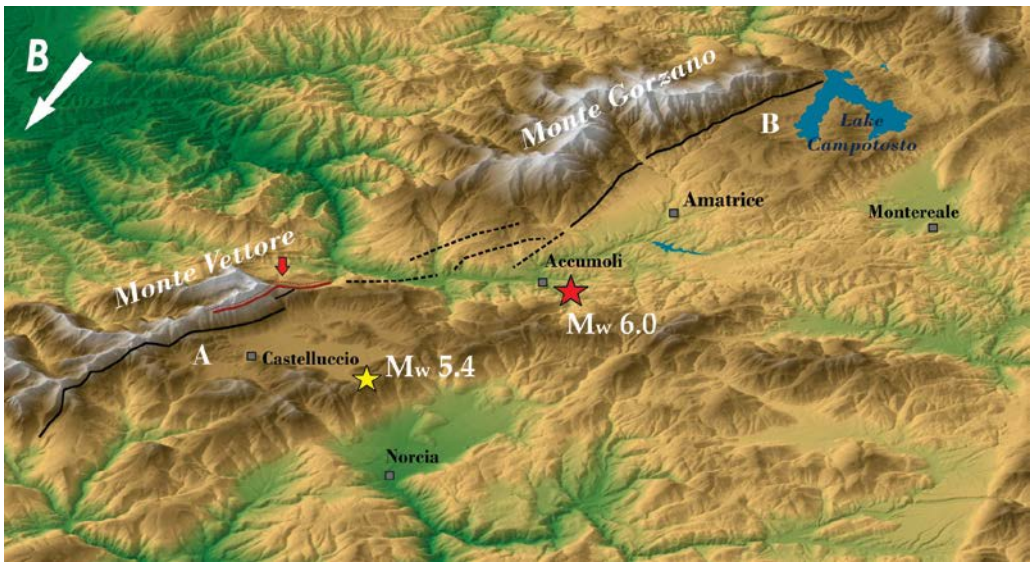
Ερευνητική Ομάδα Γεωλογίας των Σεισμών, Τμήμα Γεωλογίας Α.Π.Θ.

Internal Report, 30 Σεπτεμβρίου 2016

Στην πρώτη φωτογραφία “εξωφύλλου” της ιστοσελίδας αυτής εμφανίζεται σε μια πλαγιά της καρστικής λεκάνης La Piana di Castelluccio, σε υψόμετρο ~ 1400 m, (υψομ. χωριού Castelluccio di Norcia 1452m) ένα αλσύλλιο με το σχήμα (χάρτης με δένδρα) της Ιταλίας, ακριβώς δίπλα στο βουνό Monte Vettore (υψομ. 2476m) με τα τρία ρήγματα (ΒΒΔ-ΝΝΑ διεύθυνσης), όπως φαίνονται στο Σχήμα 1, ένα από τα οποία, αυτό της κορυφογραμμής (φωτ. 1), ενεργοποιήθηκε στον πρόσφατο σεισμό και έδωσε επιφανειακές συν-σεισμικές διαρρήξεις.

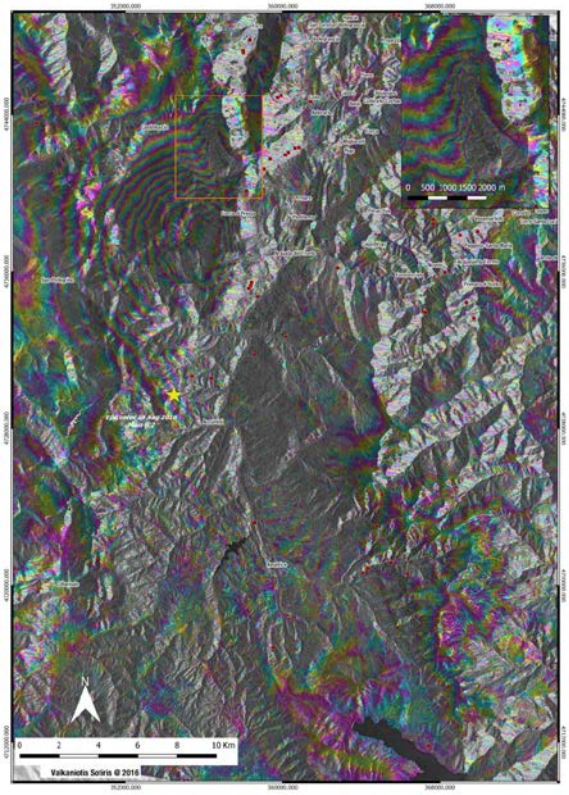
Φωτ. 1. *Πανοραμική άποψη του σεισμικού ρήγματος στο βουνό Vettore (αριστερά) και λεπτομέρειες του σεισμογόνου ρήγματος στο ίδιο βουνό (δεξιά).*

Από την επίσκεψη (22-25/9/2016) της Ερευνητικής Ομάδας Γεωλογίας των Σεισμών (*) του Α.Π.Θ. (Earthquake Geology Research Team; eqgeogr.weebly.com) στη περιοχή των σεισμών (24/8/2016) της Κεντρικής Ιταλίας (Amatrice - Mt Vettore - Vettoretto) με μεγέθη Mw=6.0 (Ms6.2) και Mw=5.4 προωθούμε τις πρόδρομες παρατηρήσεις μας με τις αντίστοιχες φωτογραφίες υπαίθρου από τους γεωλογικούς σχηματισμούς, τα γεωλογικά ρήγματα, τη γεωμορφολογία, την επεξεργασία δορυφορικών εικόνων και GIS, τις εδαφικές παραμορφώσεις και κυρίως τις επιφανειακές διαρρήξεις του σεισμογόνου ρήγματος.

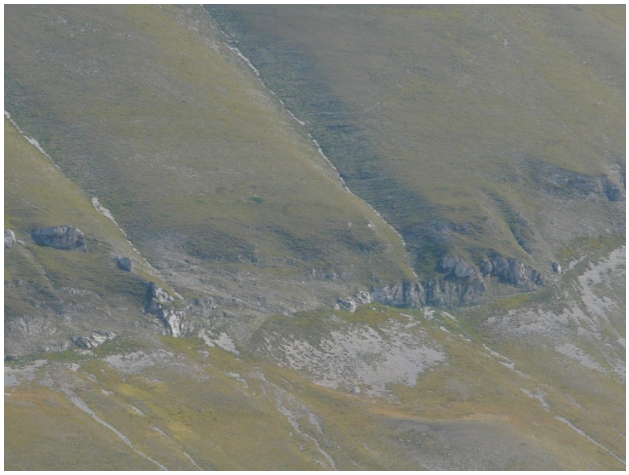


Σχ. 1

Το Σχήμα 2 είναι ένας συνθετικός χάρτης με το λεπτομερές συμβολογράφημα (InSAR από COSMO-SkyMed) όπου διακρίνεται πάρα πολύ καλά η θέση του σεισμογόνου ρήγματος (πλαίσιο και ένθετη εικόνα σε μεγέθυνση). Επίσης φαίνεται η γεωμορφολογία της ευρύτερης περιοχής, καθώς και το επίκεντρο του κύριου σεισμού Mw 6.0 της 24ης Αυγούστου 2016.

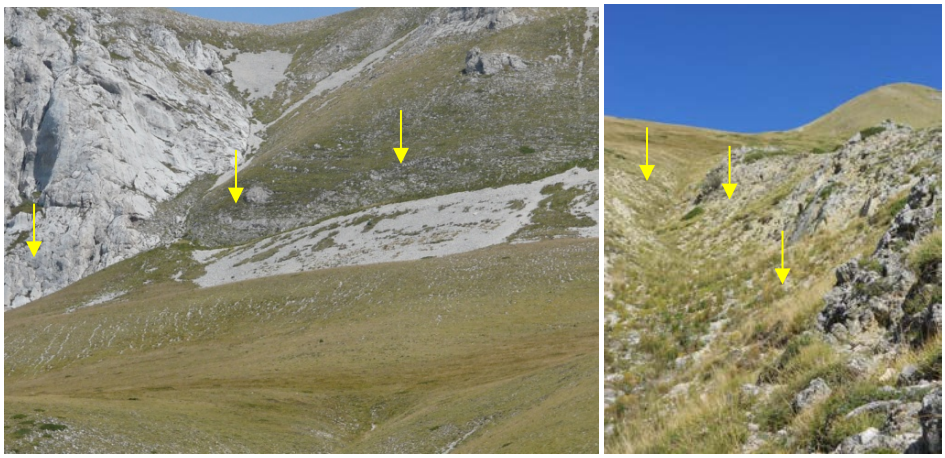


Σχ. 2

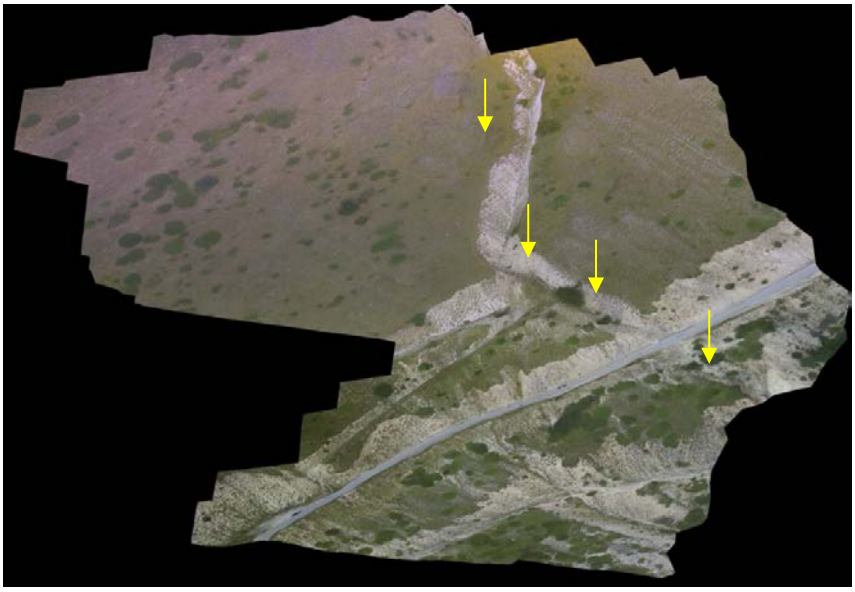


Φωτ. 2. *Το σεισμικό ρήγμα στο βουνό Vettore.*

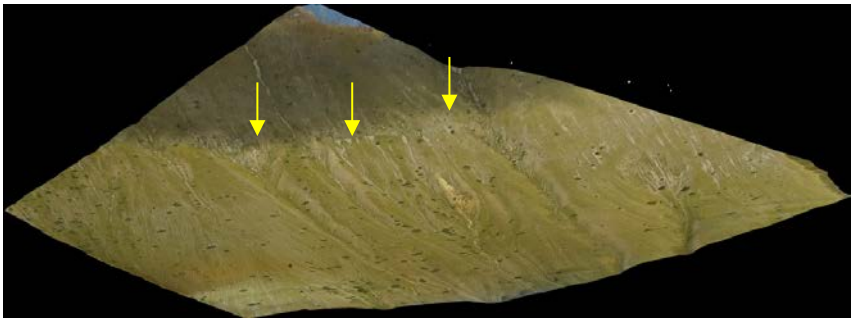
Οι επιφανειακές συν-σεισμικές διαρρήξεις, στο βόρειο ρήγμα (segment) εμφανίζονται για ορισμένα χιλιόμετρα (~ 7 km) στα βουνά Vettore (φωτ. 2) και Vettoretto (Σχήμα 1 και φωτ. 3) σε μεγάλα υψόμετρα.



Φωτ. 3. *Το σεισμικό ρήγμα στο βουνό Vettore (αριστερά) και η συνέχειά του προς τα νότια στο βουνό Vettoretto (δεξιά).*



Φωτ. 4. *Εικόνα από το συνθετικό 3D μοντέλο UAV (Drone) στο Vettoretto, με το ρέμα που ακολουθεί το σεισμικό ρήγμα.*



Φωτ. 5. *Εικόνα από το συνθετικό 3D μοντέλο UAV (Drone). Νεοτεκτονικό ρήγμα του Mt Vettore (δυτική κλιτύς).*

Οι 3D εικόνες όπως αυτές προέκυψαν από την ανάλυση και επεξεργασία φωτογραφιών που λήφθηκαν με UAV (Drone) δείχνουν: α) την πλαγιά του Vettoretto με το ρέμα που ακολουθεί το νέο ενεργό ρήγμα, το οποίο κυρίως εμφάνισε τις συν-σεισμικές διαρρήξεις

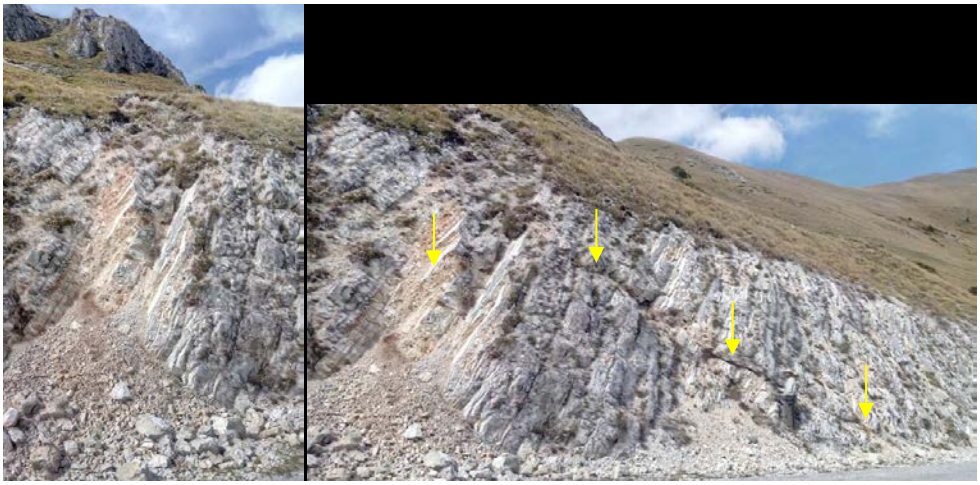
(φωτ. 4). Διακρίνονται η κοίτη του, το τεκτονικό πρανές και οι διαρρήξεις, β) το δεύτερο νεοτεκτονικό ρήγμα του Mt. Vettore (δυτική κλιτύς, φωτ. 5). Διαρρήξεις με άλματα 0-15 cm εμφανίζονται τόσο σε κορήματα (φωτ. 6), σε μανδύα αποσάθρωσης (ελλούβιο), όσο και σε πετρώματα του υποβάθρου (φωτ. 7), κυρίως πολυδιαρρηγμένα ανθρακικά, σε μικρές τεκτονικές επιφάνειες (φωτ. 8)

Φωτ. 6. *Διαρρήξεις σε κορήματα που καλύπτουν τον "καθρέφτη" του σεισμογόνου ρήγματος στο βουνό Vettoretto.*

Φωτ. 7. *Μετατοπίσεις λίγων εκατοστών (5-12 cm) από τον πρόσφατο σεισμό που παρατηρήθηκαν στη ρηξιγενή επιφάνεια του σεισμογόνου ρήγματος στο βουνό Vettoretto.*

Η σεισμική μετατόπιση φτάνει στην επιφάνεια και κατανέμεται σε πολλά μικρά κανονικά ρήγματα μιας ευρείας ζώνης διάρρηξης πλάτους μεγαλύτερου των 500m (φωτ. 8).

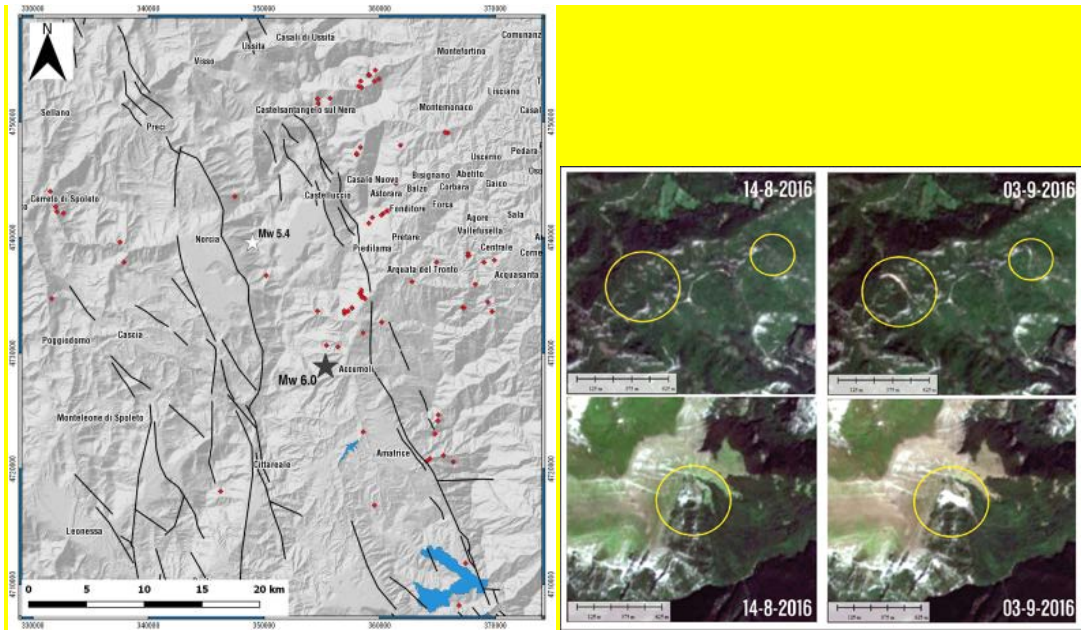
Στο άλλο, νότιο τμήμα, του σεισμικού ρήγματος (segment) στην περιοχή Amatrice (Fault Della Laga ή Gorzano Fault), οι παρατηρούμενες λίγες επιφανειακές διαρρήξεις (φωτ. 9) δεν είναι τυπικές συν-σεισμικές, αλλά βαρύτητας (gravitational cracks mainly). Η εκτίμησή μας είναι ότι στην περιοχή αυτή η σεισμική μετατόπιση βάθους δεν έφτασε στην επιφάνεια.



Φωτ. 8. *Μεγάλης γωνίας κλίσης στρώσεις ασβεστόλιθων (40-50°), καθώς και ρηξιγενείς επιφάνειες κανονικού ρήγματος (70-80°) που επηρεάζουν ("κόβουν") παλαιότερο ανάστροφο ρήγμα (δείχνεται με βέλη) με μικρότερη γωνία κλίσης (σημειώνεται με βέλη) κοντά στο σεισμικό ρήγμα στο βουνό Vettoretto.*

Φωτ.9. *Πανοραμική άποψη του νότιου κλάδου του σεισμικού ρήγματος στην περιοχή Amatrice και διαρρήξεις (βαρύτητας) κοντά στο χωριό Amatrice.*

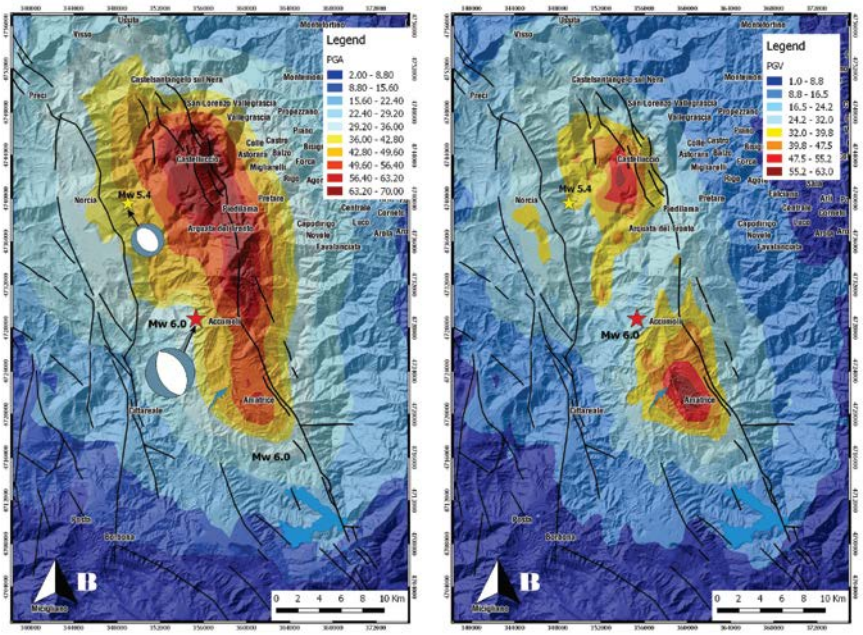
Οι πολυάριθμες παρατηρούμενες και χαρτογραφημένες (INGV, ISPRA, κ.α.) καταπτώσεις βράχων, ολισθήσεις γεωυλικών κτλ. εμφανίζονται κυρίως κατά μήκος του ορεινού οδικού δικτύου, σε τεχνητά πρανή (Σχήματα 2 και 3, φωτ. 10). Κατά μήκος του ορεινού δικτύου που συνδέει τις κωμοπόλεις Pescara del Tronto - Castelluccio προκλήθηκαν αρκετές μικρού μεγέθους καταπτώσεις βράχων σε τεχνητά πρανή (φωτ. 10). Επίσης, κατολισθήσεις στο ίδιο δίκτυο προκάλεσαν την προσωρινή διακοπή κυκλοφορίας για λόγους ασφάλειας σε συγκεκριμένες θέσεις π.χ. οικισμός Pretare (φωτ. 11). Τις πρώτες ημέρες μετά το σεισμό της 24ης Αυγούστου, ακολούθησε μια πρόδρομη καταγραφή ισχυρών κατολισθητικών φαινομένων στην επικεντρική περιοχή με τη χρήση δορυφορικών εικόνων. Χρησιμοποιήθηκαν δορυφορικές εικόνες Sentinel-2A της European Space Agency (πηγή scihub.copernicus.eu) με ανάλυση 10 μέτρων, οι οποίες διατίθενται ελεύθερα από το Copernicus. Ακόμη έγινε χρήση και μιας δορυφορικής εικόνας RapidEye της Planet για την ημερομηνία 25/8 μικρότερης όμως έκτασης καταγραφής (πηγή Planet s3-us-west-2.amazonaws.com/planetviz/norcia-earthquake-20160825-RE1-geo.tif). Έχοντας ως αναφορά την εικόνα της 14/8 (προ-σεισμού), έγινε εντοπισμός θέσεων κατολισθητικών φαινομένων στις μεταγενέστερες εικόνες Sentinel-2 και RapidEye, για τις ημερομηνίες 24 και 25/8 (με ισχυρή νεφοκάλυψη που απέκρυψε κάποιες περιοχές) και τελική εικόνα στις 3/9 (σχεδόν μηδενική νεφοκάλυψη). Εντοπίστηκαν συνολικά **83 θέσεις κατολισθήσεων** οι οποίες απεικονίζονται στο παρακάτω σχήμα 3.



Σχήμα 3. *(Αριστερά): Χάρτης θέσεων κατολισθήσεων, προκαταρτική χαρτογράφηση από δορυφορικές εικόνες, με κόκκινες τελείες, (δεξιά): Παραδείγματα μεγάλων κατολισθήσεων στην πλειόσειστη περιοχή σε εικόνες λήψης προ- και μετά το σεισμό (Εικόνες Sentinel-2A, ESA, μέγεθος pixel 10m).*

Φωτ.10. *Μικρής έκτασης κατολισθήσεις και καταπτώσεις βράχων στα πρανή του οδικού δικτύου στη σεισμόπληκτη περιοχή.*

Φωτ. 11. *Κατολίσθηση στο χωριό Pescara del Tronto που επηρέασε τον κεντρικό οδικό άξονα προς Ascoli Piceno.*



Σχ. 4. *Εδαφική κίνηση, PGA (μέγιστη σεισμική επιτάχυνση) και PGV (μέγιστη εδαφική ταχύτητα) (από Shakemap, USGS) χαρτογραφούνται τα ίχνη των γεωλογικών ρηγμάτων (μαύρες γραμμές, από Tondi & Cello 2003), καθώς και οι μηχανισμοί γένεσης (INGV)*

Στο σχήμα 4 με υπόβαθρο την εδαφική κίνηση, PGA (σεισμική επιτάχυνση) και PGV (εδαφική ταχύτητα) (USGS) χαρτογραφούνται τα ίχνη των γεωλογικών ρηγμάτων (μαύρες γραμμές).

Οι μεγάλες ζημιές σε κτήρια και οι ολοκληρωτικές καταρρεύσεις παρατηρούνται στους παραδοσιακούς διατηρητέους οικισμούς της περιοχής (Amatrice, Accumoli, Illica, Pescara Del Tronto, Arquata Del Tronto, Casale, Castelluccio κ.α.), οι οποίοι βρίσκονται κατά μήκος των κανονικών σεισμογενών ρηγμάτων, στο κατερχόμενο τέμαχος, στις ζώνες υψηλής επιτάχυνσης (Σχ. 4), κτισμένα σε κορυφές λόφων και απότομα πρανή (Topographic effect), κατά κανόνα λιθόκτιστα, παλιά, χωρίς “φέροντα οργανισμό” (φωτ. 12, 13, 14, 15 και 16).

Φωτ. 12, 13, 14, 15, 16.

Ευχαριστίες

Η Ερευνητική Ομάδα Γεωλογίας των Σεισμών του τμήματος Γεωλογίας του Α.Π.Θ. ευχαριστεί την Επιτροπή Ερευνών (ΕΛΚΕ) του Α.Π.Θ. και το Τμήμα / Τομέα Γεωλογίας για την οικονομική υποστήριξη, με την κάλυψη των εξόδων μετακίνησης στην ύπαιθρο, τη διάθεση του Drone και όλων των επιστημονικών οργάνων, καθώς και τις ομάδες εργασίας των συναδέλφων γεωλόγων ISPRA και INGV για τις άμεσες και έγκυρες εκθέσεις τους (reports) που παρείχαν ουσιαστική βοήθεια για την υπαίθρια παρατήρηση μας και την καλύτερη κατανόηση του φαινομένου.

(*), Η ομάδα υπαίθρου αποτελούταν από τους: Σπύρο Παυλίδη, Καθηγητή Τμήματος Γεωλογίας ΑΠΘ, Γιώργο Παπαθανασίου Δρ. Τεχνικής Γεωλογίας ΑΠΘ και Γιώργο Γεωργιάδη Υπ. Διδάκτορα ΑΠΘ, με την τεχνική υποστήριξη (UAV analysis, GIS, Τηλεπισκόπηση, Μορφοτεκτονική) των Αλεξάνδρου Χατζηπέτρου, Επ. Καθηγητή, και Σωτήρη Βαλκανιώτη, Δρ. Γεωλογίας.

Βιβλιογραφικές αναφορές

INGV (EMERGEO Working Group). The 24 August 2016 Amatrice Earthquake: Coseismic Effects. Version 04.09.2016. (doi 10.581/zenodo.61568).

ISPRA et al.,. The August 24, 2016, Amatrice earthquake (Mw 6.0): field evidence of on-fault effects. September 16, 2016.

Tondi E. and Cello G. (2003) Spatiotemporal evolution of the Central Apennines fault system (Italy), Journal of Geodynamics 36 (2003) 113–128.

USGS