

ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ

Η πρόσφατη (2016) σεισμική διέγερση στην Κεντρική Ιταλία

The recent (2016) seismic excitation in Central Italy



Διπλωματική Εργασία

ΑΡΑΜΠΙΑΤΖΗ Κ. ΕΥΘΥΜΙΑ
ΚΥΡΙΑΚΙΔΟΥ Θ. ΕΛΙΣΑΒΕΤ-ΓΕΩΡΓΙΑ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΣΚΟΡΔΥΛΗΣ ΕΜΜΑΝΟΥΗΛ

Θεσσαλονίκη 2017



ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ.....	3
ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ	4
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	5
ABSTRACT	6
1. ΜΕΛΕΤΗ ΣΕΙΣΜΙΚΩΝ ΑΚΟΛΟΥΘΙΩΝ	7
1.1 ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΕΣ ΕΝΟΙΕΣ	7
1.2 ΧΩΡΙΚΗ ΚΑΤΑΝΟΜΗ	9
1.3 ΚΑΤΑ ΜΕΓΕΘΟΣ ΚΑΤΑΝΟΜΗ.....	11
1.4 ΜΕΣΟ ΜΕΓΕΘΟΣ	13
1.5 ΧΡΟΝΙΚΗ ΚΑΤΑΝΟΜΗ	13
1.6 ΧΩΡΟ-ΧΡΟΝΙΚΗ ΚΑΤΑΝΟΜΗ.....	14
2. ΜΑΚΡΟΣΕΙΣΜΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ	16
2.1.1 ΠΕΡΙΟΧΗ	16
2.1.2 ΣΕΙΣΜΟΣ 24 ^{ΗΣ} ΑΥΓΟΥΣΤΟΥ	16
2.1.3 ΣΕΙΣΜΟΣ 30 ^{ΗΣ} ΟΚΤΩΒΡΙΟΥ.....	17
2.1.3 Ιστορικοί Σεισμοί.....	19
2.2 ΓΕΩΛΟΓΙΑ-ΓΕΩΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑ.....	20
2.3 ΡΗΓΜΑΤΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΜΤ. VETTORE ΚΑΙ LAGA.....	21
2.3.1 Σύστημα Mt. Vettore.....	22
2.3.2 Σύστημα Laga	22
2.4 ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΕΣ	23
3. ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΣΕΙΣΜΙΚΩΝ ΑΚΟΛΟΥΘΙΩΝ AMATRICE ΚΑΙ NORCIA (2016).....	29
3.1 ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΗΣ.....	29
3.2 ΚΑΤΑ ΜΕΓΕΘΟΣ ΚΑΤΑΝΟΜΗ.....	30
3.3 ΧΩΡΙΚΗ ΚΑΤΑΝΟΜΗ	37
3.3.1 ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΗ ΚΑΤΑΝΟΜΗ.....	38
3.3.2 ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΗ ΚΑΤΑΝΟΜΗ	44
3.4 ΧΡΟΝΙΚΗ ΚΑΤΑΝΟΜΗ	48
3.5 ΧΩΡΟ-ΧΡΟΝΙΚΗ ΚΑΤΑΝΟΜΗ.....	54
3.6 ΜΕΣΟ ΜΕΓΕΘΟΣ	57
4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	599
Βιβλιογραφία.....	61
Ιστοσελίδες.....	633
Παράρτημα.....	644



ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Σκοπός αυτής της διπλωματικής εργασίας είναι να μελετηθούν οι σεισμικές ακολουθίες του Amatrice (Αύγουστος 2016, M=6.0) και της Norcia (Οκτώβριος 2016, M=6.6) στην κεντρική Ιταλία, ούτως ώστε με τις πληροφορίες που έχουν συλλεχτεί να συντεθεί μια πιο ολοκληρωμένη εικόνα του σεισμογόνου χώρου και, αναπόφευκτα λόγω της μικρής χρονικής και χωρικής απόστασης των ακολουθιών, να συγκριθούν οι δυο ακολουθίες και να εξετασθούν και συγκριθούν οι παράμετροι που τις χαρακτηρίζουν.

Το πρώτο κεφάλαιο περιλαμβάνει τους βασικού ορισμούς, έννοιες και τις μαθηματικές σχέσεις που χρησιμοποιήθηκαν κατά τη μελέτη των δυο αυτών σεισμικών ακολουθιών. Το δεύτερο κεφάλαιο περιλαμβάνει τα γενικά στοιχεία για τις ακολουθίες και τους κύριους σεισμούς τους, πληροφορίες για το σεισμογόνο χώρο που μελετήθηκε και τη γεωμορφολογία του, αναφορά στους ιστορικούς σεισμούς που έλαβαν χώρα στην περιοχή και τέλος σχόλια και εικόνες σχετικά με τις καταστροφές που οι ακολουθίες αφήσαν πίσω τους. Το τρίτο κεφάλαιο περιλαμβάνει περιγραφή της διαδικασίας μελέτης που ακολουθήθηκε πάνω στις ακολουθίες του Amatrice και της Norcia, όπως επίσης και των αποτελεσμάτων της μελέτης αυτής. Τέλος, η εργασία κλείνει με το τέταρτο και τελευταίο κεφάλαιο, στο οποίο καταγράφονται τα τελικά συμπεράσματα που προέκυψαν από τη μελέτη.



ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Ευχαριστούμε θερμά τον καθηγητή Εμμανουήλ Σκορδύλη, η συμβολή του οποίου ήταν καθοριστική για τη διεκπεραίωση της μελέτης αυτής η οποία χωρίς τη βοήθειά του δε θα μπορούσε να πραγματοποιηθεί.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στις 26 Αυγούστου του 2016, και 3:36:32 τοπική ώρα, ένας σεισμός μεγέθους $M=6.0$ έπληξε την περιοχή της πόλης Amatrice στην κεντρική Ιταλία, αφήνοντας πίσω του πολλές καταστροφές, θύματα και πολλούς αστέγους. Αργότερα την ίδια χρονιά, στις 30 Οκτωβρίου και 08:40 τοπική ώρα, άλλη μια ισχυρή δόνηση, μεγέθους $M=6.6$, έλαβε χώρα στην περιοχή Norcia της κεντρικής Ιταλίας, μόλις μερικά χιλιόμετρα ΒΔ της ακολουθίας του Αυγούστου, συνοδευόμενη με ανάλογες επιπτώσεις με την πρώτη.

Στην εργασία αυτή γίνεται προσπάθεια να προσεγγίσουμε την ολοκληρωμένη εικόνα της σεισμικής δραστηριότητας της κεντρικής Ιταλίας, για το δεύτερο μισό του 2016. Επίσης, εξετάζονται τα χαρακτηριστικά και τα μακροσεισμικά αποτελέσματα των σεισμικών αυτών δονήσεων. Και οι δυο ακολουθίες προκλήθηκαν στην ευρύτερη ρηξιγενή ζώνη της περιοχής των κεντρικών Απεννίνων. Η ακολουθία του Amatrice οφείλεται σε ένα ρήγμα μήκους περίπου 26 km, με διεύθυνση BBD-NNA, ενώ η ακολουθία της Norcia οφείλεται σε ρήγμα ίδιας περίπου διεύθυνσης και μήκους περίπου 25 km, και ανήκει στην ίδια ρηξιγενή ζώνη με τον σεισμό του Αυγούστου. Οι καταστροφές που προκλήθηκαν ήταν πολλές, ενώ υπήρξαν ανθρώπινες απώλειες.

Για τη μελέτη των σεισμικών ακολουθιών, δημιουργήθηκαν χάρτες επικέντρων, διαγράμματα της κατά μέγεθος, χωρικής, χρονικής και χωρο-χρονικής κατανομής ανά διάφορα χρονικά διαστήματα, που ανέδειξαν ενδιαφέροντα συμπεράσματα.

ABSTRACT

On the 26th of August 2016, at 03:36:32 local time, an earthquake of magnitude $M= 6.0$, shook the area of Amatrice, in central Italy, leaving behind ruins, human fatalities and homeless people. Later that year, on the 30th of October, at 08:40 local time, another strong earthquake of magnitude $M=6.6$ took place in the area of Norcia, a town a few km NW of Amatrice's sequence, having its own seismic and causing also damage and human fatalities

With this study, we tried to create a picture of this seismic activity of Central Italy. In addition, characteristics and the macroscopic results of its earthquake are examined. Both seismic sequences occurred in the fault zone of the central Apennines.

The Amatrice sequence was caused by a fault of 26 km length, with a NNW-SSE direction, while the Norcia sequence was caused by a fault 15km in length and of the, almost, same direction. They both belong to the same fault system of central Apennines. Both sequences were disastrous, with human losses.

For the study of these seismic sequences, we created maps of epicenters, as well as graphs showing the magnitude spatial, time and space-time distribution for different time periods that showed interesting results.

1.1 ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΕΣ ΕΝΟΙΕΣ

Σεισμός καλείται η δόνηση που προκαλείται στο εσωτερικό της Γης (φλοιό και ανώτερο μανδύα), όταν απελευθερώνεται ξαφνικά ενέργεια οποία μεταφέρεται με τη μορφή σεισμικών κυμάτων. Οφείλεται συνήθως σε πρόσφατη γεωλογική διεργασία, που ονομάζεται ενεργός τεκτονική, αποτέλεσμα της οποίας είναι η απότομη μετακίνηση μαζών, που επιφέρει η θραύση των πετρωμάτων ή ολίσθηση σε προϋπάρχον ρήγμα, λόγω της διατάραξης της μηχανικής ισορροπίας τους.

Το επίπεδο στο οποίο συμβαίνει ένας σεισμός συμπίπτει με το επίπεδο επαφής των δυο επιφανειών εκατέρωθεν μιας διάρρηξης και ονομάζεται σεισμικό ρήγμα. Η εκδήλωση ενός τέτοιου γεγονότος ξεκινάει σε ένα ενεργό (συνήθως) ρήγμα. Αυτό μπορεί να έχει πλάτος και μήκος από λίγα εκατοστά έως αρκετές δεκάδες ή και εκατοντάδες χιλιόμετρα.

Η δημιουργία των ρηγμάτων οφείλεται στις ορογενετικές κινήσεις. Όταν οι τάσεις που ασκούνται –λόγω συσσώρευσης δυναμικής ενέργειας- σε ένα υλικό ξεπεράσουν την κρίσιμη τιμή του ορίου ελαστικότητας, προκαλείται θραύση κι επομένως διάρρηξη. Έτσι δημιουργείται μια ασυνέχεια (ρήγμα) μεταξύ των πετρωμάτων. Η ασυνέχεια αυτή μπορεί να είναι ορατή στην επιφάνεια του εδάφους, συχνά όμως περιορίζεται μόνο μέσα στο φλοιό, χωρίς επιφανειακή έκφραση.

Σε ένα προϋπάρχον ρήγμα η διαδικασία γένεσης του σεισμού δεν σχετίζεται με θραύση, αλλά με ολίσθηση. Όταν οι τάσεις που ασκούνται στην επιφάνεια της ρηξιγενούς ασυνέχειας υπερβούν τη δύναμη στατικής τριβής των δυο πλευρών της, οι τελευταίες ολισθαίνουν παράλληλα με αντίθετη φορά. Η μετακίνηση, ουσιαστικά, τμήματος των πετρωμάτων του φλοιού ή/και του ανώτερου μανδύα, έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία σεισμικών κυμάτων χώρου P (Primary) και S (Secondary ή Shear) και επιφανειακών κυμάτων (Rayleigh και Love). Η τιμή του συντελεστή τριβής εξαρτάται άμεσα από τις επιφάνειες των πετρωμάτων της Γης.

Κατά την απελευθέρωση της ενέργειας, λαμβάνουν χώρα έντονα παραμορφωτικά γεγονότα. Η περιοχή που υφίσταται αυτή την παραμόρφωση

αποτελεί τον σεισμογόνο χώρο. Η πηγή, από όπου προέρχονται τα σεισμικά κύματα, θεωρείται σημείο και καλείται εστία ή υπόκεντρο του σεισμού. Θεωρώντας την τομή της κατακόρυφης ευθείας, στην εστία με την επιφάνεια της Γης, προκύπτει το επίκεντρο του σεισμού, που αποτελεί την προβολή της εστίας στην επιφάνεια της Γης.

Τις περισσότερες φορές δεν εκδηλώνεται ένας σεισμός ως μεμονωμένο γεγονός, αλλά συνοδεύεται από ένα πλήθος σεισμικών γεγονότων, συνιστώντας μια σεισμική διέγερση ή μια σεισμική ακολουθία. Όταν ένας από τους σεισμούς έχει ιδιαίτερα μεγάλο μέγεθος σε σχέση με τους υπόλοιπους, τότε χαρακτηρίζεται ως κύριος σεισμός της σεισμικής ακολουθίας. Οι σεισμοί που προηγήθηκαν αυτού ονομάζονται προσεισμοί και η αντίστοιχη ακολουθία προσεισμική, ενώ αυτοί που έπονται μετασεισμοί και η αντίστοιχη ακολουθία μετασεισμική. Μια προσεισμική ακολουθία είναι πιθανό να εκδηλωθεί μερικά λεπτά νωρίτερα από τον κύριο σεισμό, μέχρι και λίγες εβδομάδες πριν. Η διάρκεια της μετασεισμικής ακολουθίας κυμαίνεται από μερικές εβδομάδες, έως κάποιους μήνες. Μια σεισμική διέγερση που δεν περιέχει κανένα γεγονός αισθητά ισχυρότερο από τα υπόλοιπα, ώστε να χαρακτηριστεί ως κύριος σεισμός, ονομάζεται σμηνοακολουθία ή σμηνοσειρά ή σμήνος σεισμών.

Κατά γενική ομολογία ο αριθμός των σεισμών μιας προσεισμικής ακολουθίας είναι μικρότερος από τον αντίστοιχο αριθμό της μετασεισμικής ακολουθίας. Σε αρκετές περιπτώσεις μάλιστα ολόκληρη η προσεισμική ακολουθία μπορεί να εκλείπει. Ο αριθμός των μετασεισμών εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από το μέγεθος και το βάθος του υποκέντρου του κύριου σεισμού. Μετά από έναν μέτριο έως ισχυρό επιφανειακό σεισμό ακολουθεί πλήθος μικρότερων στην ίδια περιοχή. Η πιθανότητα εκδήλωσης του μεγαλύτερου μετασεισμού εντός 24 ωρών από τον χρόνο γένεσης του κύριου κυμαίνεται στο 50% (Tsarpanos et al., 1988). Ο χώρος που καθορίζουν οι εστίες των μετασεισμών ονομάζεται μετασεισμικός χώρος.

Πέρα από το μέγεθος του κύριου σεισμού και το βάθος του υποκέντρου, το πλήθος των μετασεισμών εξαρτάται από την γεωλογία και την τεκτονική κατάσταση της περιοχής. Η τεκτονική της περιοχής αντικατοπτρίζει το πεδίο των τάσεων που επικρατεί, ενώ η γεωλογία τις συνθήκες ελαστικής παραμόρφωσης. Έχει παρατηρηθεί ότι πλούσιες (ανάλογα με τον αριθμό των σεισμών) μετασεισμικές ακολουθίες χαρακτηρίζουν σύγκλιση ωκεάνιας λιθοσφαιρικής πλάκας με ηπειρωτική

και εκδηλώνονται κατά μήκος τάφρων (http://www.geo.auth.gr/courses/ggp/mth1063e/pdf/8th_Chapter.pdf).

Η μελέτη μιας σεισμικής ακολουθίας μπορεί να οδηγήσει σε σημαντικές πληροφορίες, όπως οι διαστάσεις του σεισμογόνου χώρου που. Ιδιαίτερα, όταν η παρακολούθηση της ακολουθίας συμβαίνει εξαρχής - αμέσως μετά τον κύριο σεισμό τα δεδομένα που προκύπτουν είναι εφικτό να οδηγούν σε εκτίμηση για την ομαλή ή μη ομαλή εξέλιξή της. Η διαδικασία για τη μελέτη μιας ακολουθίας βασίζεται στις εξής παραμέτρους:

- I. Χωρική κατανομή των σεισμικών εστιών που καθορίζουν το σεισμογόνο χώρο.
- II. Κατά μέγεθος κατανομή των σεισμών πέραν του κύριου από όπου προκύπτει το μέγεθος πληρότητας και οι παράμετροι a και b της σχέσης Gutenberg-Richter.
- III. Εξέλιξη της τιμής του μέσου μεγέθους των μετασεισμών.
- IV. Χρονική κατανομή των σεισμών της ακολουθίας.
- V. Χωροχρονική κατανομή των σεισμών της ακολουθίας.

1.2 ΧΩΡΙΚΗ ΚΑΤΑΝΟΜΗ

Σημαντικό στοιχείο για την μελέτη μιας σεισμικής ακολουθίας αποτελεί η διερεύνηση του σεισμογόνου χώρου. Τα σεισμικά ρήγματα έχουν μεγάλες διαστάσεις που μπορεί να φτάνουν μερικές δεκάδες ή και εκατοντάδες χιλιόμετρα. Ο προσδιορισμός λοιπόν των διαστάσεων (μήκος, πλάτος) ενός σεισμικού ρήγματος ή ενός σεισμογόνου χώρου, καθώς και των λοιπών του στοιχείων (αζιμούθιο, διεύθυνση και γωνία κλίσης) αποτελούν στόχο μελέτης της χωρικής κατανομής των σεισμικών εστιών μιας μετασεισμικής ακολουθίας. Οι πληροφορίες που λαμβάνονται από τη μελέτη της χωρικής κατανομής σε συνδυασμό με το μέγεθος του σεισμού, μπορούν να οδηγήσουν σε χρήσιμα συμπεράσματα σχετικά με την εξέλιξή της.

Διακρίνονται δυο κατηγορίες χωρικής κατανομής, η κατακόρυφη και η οριζόντια (γεωγραφική). Με βάση την κατακόρυφη κατανομή, οι σεισμοί χωρίζονται σε επιφανειακούς ($h \leq 60\text{km}$), ενδιάμεσου βάθους ($60\text{km} \leq h \leq 300\text{km}$) και σε σεισμούς βάθους ($h > 300\text{km}$). Οι επιφανειακοί σεισμοί ακολουθούνται από μεγάλο αριθμό

μετασεισμών και ενίοτε από προσεισμούς, αντίθετα οι σεισμοί ενδιάμεσου βάθους και οι σεισμοί βάθους συνοδεύονται από ελάχιστους έως καθόλου μετασεισμούς και προσεισμούς (Parazachos et al., 1967). Η κατακόρυφη κατανομή των εστιών δίνει πληροφορίες για την κλίση του σεισμικού ρήγματος, ενώ η οριζόντια κατανομή (που πρακτικά είναι η αποτύπωση των επικέντρων των σεισμών σε ένα χάρτη) καθορίζει το μήκος και το αζιμούθιο του διεγερθέντος χώρου (ρήγμα).

Το μέγεθος ενός σεισμού συνδέεται με τις παραμέτρους του ρήγματος που τον προκάλεσε. Οι τελευταίες ορίζονται ως εξής:

L , το μήκος του ρήγματος σε km

u , η πραγματική μετατόπιση στην εστία σε cm

w , το πλάτος του ρήγματος σε km

S , το εμβαδό της επιφάνειας του σεισμικού ρήγματος σε km^2 .

Σημαντική παρατήρηση για τις εμπειρικές σχέσεις είναι ότι διαφέρουν ανάλογα με το γεωτεκτονικό καθεστώς της περιοχής (ενδοπλακικοί σεισμοί, οριοπλακικοί σεισμοί), αλλά και με τον τύπο διάρρηξης του ρήγματος (οριζόντιας μετατόπισης, κλίσης). Οι σχέσεις που συνδέουν τα στοιχεία του σεισμικού ρήγματος με το μέγεθος του σεισμού που προκλήθηκε σ' αυτό είναι οι εξής:

- Ρήγματα οριζόντιας μετατόπισης, $6.0 \leq M \leq 8.0$

$$\log L = 0.59M - 2.30 \quad (1.1)$$

$$\log u = 0.68M - 2.59 \quad (1.2)$$

$$\log w = 0.23M - 0.49 \quad (1.3)$$

$$\log S = 0.82M - 2.79 \quad (1.4)$$

- Ρήγματα κλίσης ηπειρωτικών περιοχών, $6.0 \leq M \leq 8.0$

$$\log L = 0.50M - 1.86 \quad (1.5)$$



$$\log u = 0.72M - 2.82 \quad (1.6)$$

$$\log w = 0.28M - 0.70 \quad (1.7)$$

$$\log S = 0.78M - 2.56 \quad (1.8)$$

- Ρήγματα κλίσης περιοχών λιθοσφαιρικής κατάδυσης, $6.0 \leq M \leq 8.0$

$$\log L = 0.55M - 2.19 \quad (1.9)$$

$$\log u = 0.64M - 2.56 \quad (1.10)$$

$$\log w = 0.31M - 0.63 \quad (1.11)$$

$$\log S = 0.86M - 2.82 \quad (1.12)$$

(Papazachos et al., 2004)

1.3 ΚΑΤΑ ΜΕΓΕΘΟΣ ΚΑΤΑΝΟΜΗ

Ο στατιστικός νόμος της κατανομής των μεγεθών που χρησιμοποιείται, για να περιγράψει την κατανομή των σεισμικών μεγεθών σε μια περιοχή, προτάθηκε από τους Gutenberg & Richter (1941).

Με βάση αυτόν το νόμο, ο αριθμός, n , των σεισμών με μέγεθος $M \pm \Delta M$, που συμβαίνουν σε μια περιοχή και για συγκεκριμένο χρονικό διάστημα, συνδέεται με το μέγεθος και εκφράζεται από τη σχέση:

$$\log n = a' - bM \quad (1.13)$$

όπου a, b παράμετροι. Από την παραπάνω σχέση προκύπτει το συμπέρασμα ότι, καθώς το μέγεθος του σεισμού αυξάνεται, η συχνότητα μειώνεται εκθετικά σε μια περιοχή.

Το 1961 ο Utsu έδειξε πως είναι προτιμότερο να χρησιμοποιείται η αθροιστική συχνότητα N , που περιέχει μεγέθη σεισμών ίσα ή μεγαλύτερα του M . Επομένως η σχέση γίνεται:

$$\log N = a_t - bM \quad (1.14)$$

Η παράμετρος b εκφράζει το ρυθμό με τον οποίο αυξάνεται ο αριθμός των σεισμών, με την ελάττωση του μεγέθους τους. Η συνηθέστερη τιμή που λαμβάνει ισούται με τη μονάδα, ενώ υπολογισμοί δείχνουν ότι οι τιμές της να κυμαίνονται μεταξύ 0.5 και 1.5. Εξαρτάται από το επίπεδο των τάσεων και από τις μηχανικές ιδιότητες του υλικού της εστιακής περιοχής.

Η παράμετρος a είναι ο λογάριθμος του συνόλου των σεισμών με μεγέθος ≥ 0 . Η τιμή της μεταβάλλεται από περιοχή σε περιοχή και εξαρτάται από το χρονικό διάστημα που καλύπτουν τα δεδομένα, από την έκταση της περιοχής μελέτης και το επίπεδο της σεισμικότητάς της. Συνήθως ανάγεται σε διάστημα ενός έτους, οπότε:

$$a = a_t - \log t \quad (1.15)$$

όπου t το χρονικό διάστημα σε έτη.

Άρα για ένα έτος η αρχική σχέση γίνεται:

$$\log N = a - bM \quad (1.16)$$

1.4 ΜΕΣΟ ΜΕΓΕΘΟΣ

Η ομαλή εξέλιξη μιας ακολουθίας προϋποθέτει τη σταθερή τιμή του μέσου μεγέθους των μετασεισμών. Έχει παρατηρηθεί ότι κατά την διάρκεια της μετασεισμικής ακολουθίας το μέσο μέγεθος των μετασεισμών δεν μεταβάλλεται. Η παρατήρηση αυτή έγινε για πρώτη φορά από τον Lomnitz (1966) κατά τη μελέτη της ακολουθίας του σεισμού του Kern County (21-7-1952, $M=7.5$). Σύμφωνα με τη μελέτη αυτή, παρά την αύξηση ή την μείωση του αριθμού των σεισμών το μέσο μέγεθός τους παραμένει σταθερό.

Η τιμή μέσου μεγέθους υπολογίζεται συνήθως από τα δεδομένα του πρώτου 48ωρου, μετά την εκδήλωση του κύριου σεισμού. Εννοείται ότι στη διαδικασία αυτή μετέχουν μόνο οι μετασεισμοί που ικανοποιούν τη συνθήκη πληρότητας.

1.5 ΧΡΟΝΙΚΗ ΚΑΤΑΝΟΜΗ

Μετά την εκδήλωση ενός κύριου σεισμικού γεγονότος, ακολουθούν μετασεισμοί. Ο ρυθμός εκδήλωσης των μετασεισμών εξαρτάται από τον χρόνο που πέρασε από τον χρόνο γένεσης του κύριου σεισμού. Γενικά οι μετασεισμοί τείνουν να ελαττώνονται με την πάροδο του χρόνου. Ο σχετικός νόμος όπως διατυπώθηκε από τον Omori (1894), δείχνει την πορεία της ελάττωσης αυτής και εκφράζεται από τη σχέση:

$$n = \frac{c}{(k + t)^p}, \quad (1.17)$$

όπου n η συχνότητα των σεισμών και c , k , p σταθερές που εξαρτώνται από το μέγεθος του σεισμού, με το p να παίρνει τιμές από 1.0 – 1.4.

Μετά από σχετικές μελέτες, διάφοροι επιστήμονες (Mogi 1962b, Ranalli 1969, Papazachos 1974), έδειξαν ότι ο αριθμός των μετασεισμών, n , στη μονάδα του χρόνου (π.χ. ανά μήνα) δίνεται σε συνάρτηση με τον χρόνο, t , από τον χρόνο γένεσης του κύριου σεισμού, σύμφωνα με τη σχέση:

$$n = n_1 t_i^{-p}, \quad (1.18)$$

όπου n_1 η συχνότητα των μετασεισμών ανά μονάδα χρόνου, ύστερα από τον χρόνο γένεσης του κύριου σεισμού. Η, p , παράμετρος σχετίζεται με τις φυσικές ιδιότητες της εστίας, με συνήθη τιμή τη μονάδα.

Λογαριθμίζοντας την παραπάνω σχέση, με σκοπό να εξαχθούν γραμμικά τα αποτελέσματα, αυτή λαμβάνει την μορφή:

$$\text{Log} n = a - p \text{Log} t_i \quad (1.19)$$

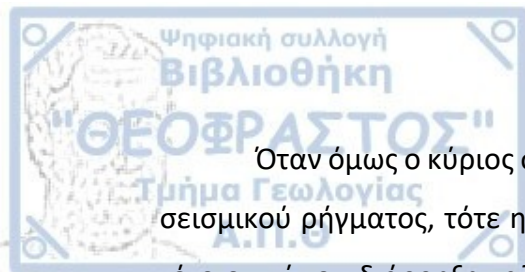
με $a = \text{Log} n_1$.

Σε κάθε περίπτωση πέραν της εξίσωσης που προκύπτει, χρησιμοποιούμε και ένα διάστημα εμπιστοσύνης 95%, για την διασφάλιση της σχετικής απόκλισης. Τα σημεία, σε μια ομαλά εξελισσόμενη ακολουθία, πρέπει να περιέχονται σε αυτό το διάστημα. Σημεία που βρίσκονται πάνω από το πάνω όριο 95% προδίδουν πιθανώς μη ομαλά εξελισσόμενη ακολουθία.

1.6 ΧΩΡΟ-ΧΡΟΝΙΚΗ ΚΑΤΑΝΟΜΗ

Σημαντικό κομμάτι της μελέτης μιας σεισμικής ακολουθίας αποτελεί η διερεύνηση της χωρο-χρονικής κατανομής των σεισμών-μελών της. Η τελευταία παρουσιάζει την χωρική εξέλιξη των μετασεισμών πάνω στο σεισμικό ρήγμα συναρτήσει του χρόνου. Επομένως υποδεικνύει τη διάδοση των σεισμών μελών της ακολουθίας με σημείο εκκίνησης την εστία του κύριου σεισμού.

Όταν ο κύριος σεισμός εντοπίζεται σε ένα από τα άκρα ενός σεισμικού ρήγματος, τότε η διάδοση που θα ακολουθήσουν οι μετασεισμοί θα έχει φορά προς το άλλο άκρο του ίδιου σεισμικού ρήγματος. Η διάρρηξη αυτή ονομάζεται μονοκατευθυντική διάρρηξη, *unilateral*. Στις περισσότερες των περιπτώσεων ο ισχυρότερος μετασεισμός συμβαίνει στο αντίθετο άκρο από αυτό που συνέβη ο κύριος σεισμός.



Όταν όμως ο κύριος σεισμός εκδηλωθεί στο χώρο μεταξύ των δύο άκρων ενός σεισμικού ρήγματος, τότε η διάρρηξη θα εξαπλωθεί ως προς και τα δύο άκρα. Μια τέτοιου τύπου διάρρηξη καλείται δι-κατευθυντική, bilateral. Το πιθανότερο σε αυτή την περίπτωση είναι ότι ο ισχυρότερος μετασεισμός θα εκδηλωθεί στο ένα από τα δύο άκρα του σεισμικού ρήγματος (Karakaisi et al, 1985).

2. ΜΑΚΡΟΣΕΙΣΜΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

2.1.1 ΠΕΡΙΟΧΗ

Το Amatrice είναι μια πόλη στην Κεντρική Ιταλία, ανήκει στην περιοχή Lazio, και λόγω της σεισμικής ακολουθίας τον Αύγουστο του 2016 βρέθηκε στο κέντρο του ενδιαφέροντος των σεισμολόγων. Ο πληθυσμός της μέχρι τους σεισμούς 2016 ήταν 2.532 κάτοικοι. Η έκταση που καταλαμβάνει η ευρύτερη περιοχή του Amatrice, είναι μεγαλύτερη από 170km². Η ιστορία της πόλης ξεκινάει από πολύ παλιά, καθώς στην περιοχή έχουν ανακαλυφθεί και ευρήματα από τη Ρωμαϊκή εποχή, γεγονός που της προσδίδει ένα πολιτισμικό και πολιτιστικό ενδιαφέρον. Βρίσκεται κοντά στην οροσειρά των Απεννίνων, η οποία φιλοξενεί στο μήκος της πολλά ενεργά σεισμικά ρήγματα. Αυτά τα ρήγματα είναι που προκάλεσαν τους δυο μεγάλους σεισμούς στις 24 Αυγούστου 2016 και 30 Οκτωβρίου 2016. Ο πρώτος από αυτούς προκάλεσε πολύ σοβαρές ζημιές, αφήνοντας πίσω του 295 νεκρούς. Η καταστροφή ήταν τόσο μεγάλη που ο δήμαρχος της περιοχής βγήκε και ανακοίνωσε ότι «*Η πόλη δεν υπάρχει πλέον*», μιας και τα $\frac{3}{4}$ της πόλης είχαν πλέον μετατραπεί σε συντρίμια. (citypopulation)

Η Norcia, η οποία βρίσκεται ΒΔ του Amatrice, είναι μια πόλη που επίσης χτυπήθηκε από τις σεισμικές ακολουθίες του 2016. Ο αριθμός των κατοίκων της πόλης αυτής αγγίζει σχεδόν τους 5.000 και εκτείνεται σε μια περιοχή 274 km². Η ιστορία της είναι εξίσου μεγάλη και σημαντική, καθώς στη Norcia βρίσκονται πολλά κτίρια από την εποχή της Αναγέννησης και του Διαφωτισμού, κυρίως χώροι θρησκευτικού ενδιαφέροντος. Σε αντίθεση με το Amatrice, η ακολουθία της Norcia επέφερε μόλις 3 ανθρώπινες απώλειες. Παρόλα αυτά κατέστρεψε σε μεγάλο βαθμό την πόλη και πολλά κτίρια πολιτιστικού ενδιαφέροντος πλήχθηκαν, το σημαντικότερο εκ των οποίων ήταν η Basilica του Αγίου Βενέδικτου, που καταστράφηκε ολοσχερώς. (citypopulation)

2.1.2 ΣΕΙΣΜΟΣ 24^{ΗΣ} ΑΥΓΟΥΣΤΟΥ

Τα ξημερώματα της 24ης Αυγούστου και 03:36 τοπική ώρα (01:36 GMT) μια καταστροφική σεισμική δόνηση έπληξε την περιοχή της κεντρικής Ιταλίας.

Συγκεκριμένα, ο επιφανειακός σεισμός μεγέθους $M_w=6.0$, έλαβε χώρα στο κεντρικό τμήμα της οροσειράς των Απεννίνων (Σχήμα 2.1). Το επίκεντρο του τοποθετείται κοντά στο χωριό Accumoli, μεταξύ των πόλεων L'Aquila και Norcia.

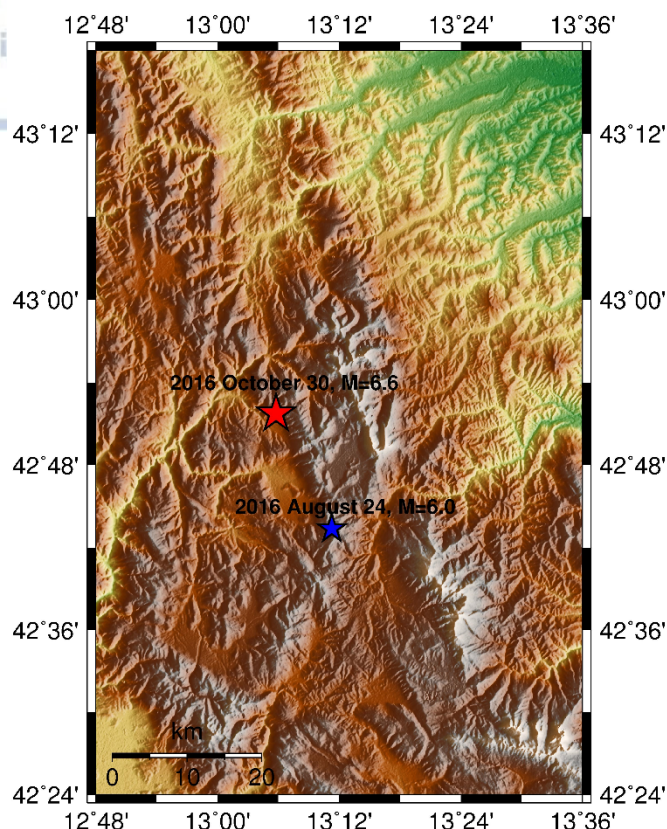
Το ρήγμα που προκάλεσε το σεισμό είναι κανονικό και έχει διεύθυνση BBD-NNa και βύθιση ΔΝΔ. Το μήκος της διάρρηξης ανέρχεται στα 26km περίπου, ενώ το εστιακό βάθος του κυρίου σεισμού βρίσκεται μόλις στα 8km. Το τμήμα της ρηξιγενούς ζώνης των Απεννίνων, το οποίο καλύφθηκε από τους μετασεισμούς, είχε μήκος 50km και βάθος 15km.

Το γεγονός ήταν ξαφνικό, καθώς δεν είχαν προηγηθεί σεισμικές δονήσεις κατά το διάστημα των δυο τελευταίων μηνών, μόνο δυο. Σε αντίθεση με την έλλειψη προσεισμικής δραστηριότητας, υπήρξε ιδιαίτερα έντονη μετασεισμική ακολουθία έως και τα μέσα Σεπτεμβρίου, όπου και άρχισε να εξασθενεί. Ο μεγαλύτερος μετασεισμός, μεγέθους $M_w=5.1$, ακολούθησε μόλις μια ώρα μετά τον κύριο σεισμό (02:33:29 GMT).

2.1.3 ΣΕΙΣΜΟΣ 30^{ΗΣ} ΟΚΤΩΒΡΙΟΥ

Στις 30 Οκτωβρίου του ίδιου έτους, τις πρώτες πρωινές ώρες (6:40 GMT), 8:40 τοπική ώρα, σε χρονικό διάστημα μόλις λίγο περισσότερο των 2 μηνών από το σεισμό του Αυγούστου, μια ακόμη μεγαλύτερη δόνηση ταρακούνησε ξανά την περιοχή της κεντρικής Ιταλίας.

Αυτή τη φορά το επίκεντρο βρισκόταν 6km Βόρεια της Norcia, δηλαδή περίπου 20km BBD του σεισμού στο Amatrice (Σχήμα 2.1). Το μέγεθος του ήταν $M_w=6.6$ και το εστιακό βάθος, περίπου 7km. Αξίζει να σημειωθεί ότι αυτό είναι το μεγαλύτερο μέγεθος σεισμού που καταγράφηκε στην Ιταλία από το σεισμό του 1980, με $M_w=6.9$, στην Irpinia.



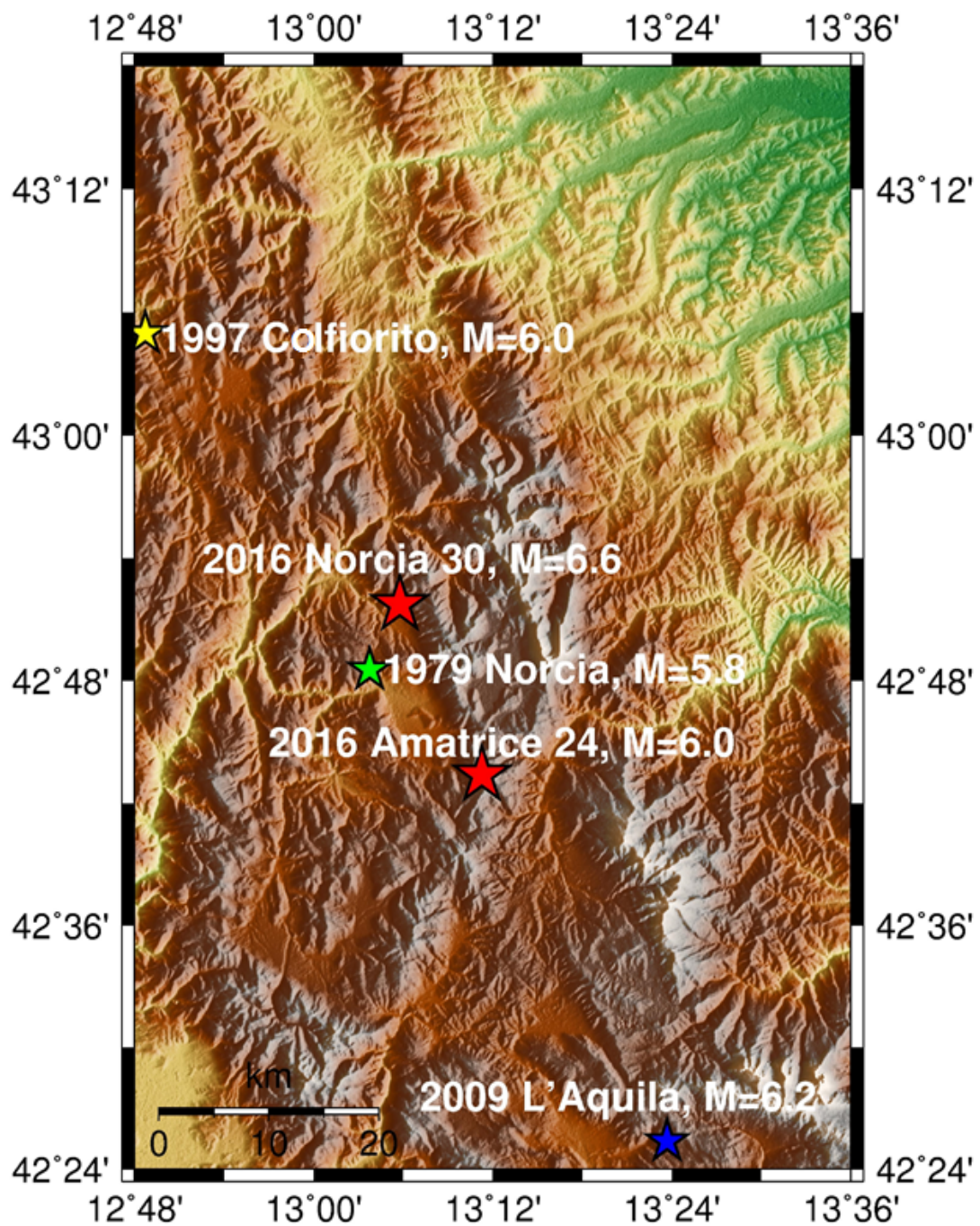
Σχήμα 2.1. . Χάρτης επικέντρων των κύριων σεισμών των σεισμικών ακολουθιών του Amatrice και της Norcia.

Ο σεισμός φαίνεται να επανενεργοποίησε το Βόρειο τμήμα του προηγουμένως ήδη δραστηριοποιηθέντος συστήματος. Προκλήθηκαν νέες επιφανειακές διαρρήξεις, ενώ διευρύνθηκαν αυτές που είχε διανοίξει ο προηγούμενος σεισμός. Έτσι καταλαβαίνουμε ότι τα δυο γεγονότα συνέβησαν στην ίδια ζώνη ρηγμάτων.

Σημαντικό κομμάτι της ακολουθίας αποτελεί και ο σεισμός της 26ης Οκτωβρίου (19:18:08 GMT) που έγινε στην ίδια περιοχή. Λόγω του μεγέθους του, που ήταν $M_w=5.9$, αρχικά θεωρήθηκε ως ο κύριος σεισμός μιας νέας ακολουθίας. Αυτό βέβαια ανατράπηκε τέσσερις μέρες αργότερα, με το νέο σεισμό που προαναφέρθηκε.

2.1.3 Ιστορικοί Σεισμοί

Η περιοχή κατά μήκος της ρηξιγενούς ζώνης του σεισμού του Αυγούστου του 2016, φιλοξενεί έντονη σεισμικότητα από παλιά. Οι πιο πρόσφατοι σεισμοί ήταν το 1979 στη Norcia, το 1997 στο Colfiorito, το 2009 στη L'Aquila και το 2016 στο Amatrice και στη Norcia (με χρονική απόσταση μόλις 2 μηνών) (Σχήμα 2.2). Από το σεισμό του



Σχήμα 2.2. Χάρτης επικέντρων κύριων σεισμών σχετικά πρόσφατων σεισμικών ακολουθιών ζώνης Απέννινων.

1979 και του 1997 ($M=6.0$) έως και το σεισμό του 2016 στο Amatrice, έγινε εμφανές ότι όλος ο ενδιάμεσος χώρος είναι σεισμικά ενεργός, καθώς παρατηρεί κανείς ότι όλοι αυτοί οι μεγάλοι σεισμοί έγιναν κατά μήκος αυτής της ρηξιγενούς ζώνης.

Μεταξύ των επικέντρων των σεισμών του 1979, 1997 και 2009 υπήρχε ένα σεισμικό κενό μήκους $\sim 15\text{-}20\text{km}$ Το οποίο καλύφθηκε από την ακολουθία του Amatrice.

-Σεισμός στη Norcia, 1979 ($M=5.8$)

Ο σεισμός αυτός έλαβε χώρα, ΒΔ του σεισμογόνου χώρου της ακολουθίας του Amatrice του 2016, με εστιακό βάθος 6-8 km. Μετά το σεισμό του 1979 και λόγω των πολλών καταστροφών που προκλήθηκαν τότε, έγιναν μερικές παρεμβάσεις για τη βελτίωση αντισεισμικής προστασίας.

-Σεισμός στο Colfiorito, 1997 ($M=6.0$)

Λίγα χρόνια μετά το σεισμό του 1979, ακολούθησε η σεισμική ακολουθία του Colfiorito το 1997. Η ακολουθία αυτή έπληξε την περιοχή τόσο ανθρωπιστικά, όσο και πολιτιστικά.

-Σεισμός στη L'Aquila, 2009 ($M=6.2$)

Ο τελευταίος μεγάλος σεισμός, πριν ξεκινήσει η ακολουθία του Amatrice, ήταν αυτός της L'Aquila το 2009. Έγινε μόλις 95km ανατολικά της Ρώμης, σε εστιακό βάθος 10km και είχε ως αποτέλεσμα την κατάρρευση κτιρίων και κατ' επέκταση έναν μεγάλο αριθμό θυμάτων (300 περίπου) και τραυματιών (πάνω από 1500). Επίσης, πολλοί άνθρωποι έμειναν άστεγοι (source: Wikipedia).

2.2 ΓΕΩΛΟΓΙΑ-ΓΕΩΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑ

Στην ανάλυση κάθε σεισμικής διέγερσης, ένα πολύ σημαντικό κομμάτι είναι η μελέτη της γεωλογίας της περιοχής στην οποία αυτή εκδηλώνεται. Έτσι και στην περίπτωση των σεισμικών ακολουθιών στην Κεντρική Ιταλία (Αύγουστος 2016 και

Οκτώβριος 2016), σημαντικό ρόλο διαδραμάτισε το γεωλογικό υπόβαθρο, κυρίως όσον αφορά την καταστροφή που επήλθε σε κτηριακές υποδομές.

Στα ανώτερα τμήματα της επιφάνειας κυριαρχούν ασβεστιτικά πετρώματα. Στο κατώτερο τμήμα του υπεδάφους υπάρχουν πυλιτικές και αμμούχες αποθέσεις του Τεταρτογενούς. Στην ΒΑ πλευρά, το υπόβαθρο είναι παρόμοιας σύστασης με τα επιφανειακά στρώματα και αποτελείται από ασβεστολιθικούς σχηματισμούς και αποθέσεις μαργαϊκής φύσης.

Η ρηγμάτωση της περιοχής είναι έντονη. Διάφορα συστήματα διάρρηξης διατρέχουν μεγάλο τμήμα της έκτασης στην οποία έλαβαν χώρα οι σεισμικές ακολουθίες. Το πιο χαρακτηριστικό σύστημα ρηγμάτωσης είναι αυτό του Monte Vettore, ενώ ένα άλλο εξίσου σημαντικό είναι της περιοχής Laga. Επιπλέον πολυάριθμα ανάστροφα ρήγματα καλύπτουν τον ευρύτερο σεισμογόνο χώρο.

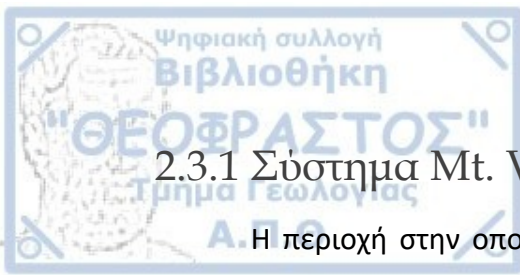
Εκεί το έδαφος εμφανίζει υπόβαθρο λιγότερο συμπαγές και ο κίνδυνος υποχώρησης του εδάφους ή διάρρηξης του είναι μεγαλύτερος από αυτόν στις γειτονικές περιοχές.

Η γεωλογία μιας περιοχής πρέπει να μελετάται πολύ προσεκτικά κατά τη διαδικασία ρυμοτόμησης. Εάν δε ληφθούν υπόψιν όλες οι παράμετροι, τότε υπάρχει μεγάλη πιθανότητα ένα κτίσμα να μη διαθέτει την απαιτούμενη αντοχή απέναντι σε μια δόνηση του μέγιστου μεγέθους που είναι ικανή να δώσει η περιοχή.

2.3 ΡΗΓΜΑΤΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ MT. VETTORE ΚΑΙ LAGA

Κοντά στην περιοχή του σεισμού στις 24 Αυγούστου 2016 υπάρχουν δυο δευτερογενή ρήγματα, του Mt. Vettore και της Laga. Ένα από τα μοντέλα που συντέθηκαν για να ερμηνευτεί η δραστηριότητα της περιοχής, συνδέει τη σεισμική αυτή δραστηριότητα με τα ρήγματα που εκτείνονται μεταξύ των δύο δευτερογενών αυτών ρηγμάτων (Livio et al., 2016).

Επιφανειακές εκδηλώσεις δευτερογενών ρηγμάτων μετά το σεισμό που δε σχετίζονται άμεσα με το σεισμικό ρήγμα εντοπίστηκαν στην περιοχή και των δυο ρηγματικών συστημάτων.



2.3.1 Σύστημα Mt. Vettore

Η περιοχή στην οποία βρίσκεται το ρήγμα του Mt. Vettore είναι εμφανώς τεκτονισμένη. Ένα ανάστροφο ρήγμα από το Νεογενές, στα Ανατολικά όρια των Απεννίνων, έχει μετακινήσει τους αρχικούς σχηματισμούς της περιοχής και έτσι η τεκτονική δραστηριότητα είναι διακριτή και οπτικά.

Το δυτικό πρανές του Mt. Vettore είναι BBD-NNA διεύθυνσης και ΝΔ βύθισης. Απλώνεται σε μήκος περίπου 30km και κόβει τις ανθρακικές αποθέσεις Μεσοζωικού, στην περιοχή Umbria-Sabina. Ίδια διεύθυνση παρουσιάζουν και οι Τεταρτογενής συμπίεστικές δομές, που δημιουργήθηκαν από κανονικά ρήγματα. Το νότιο τμήμα του ρήγματος εμφανίζει ρωγμές που προδίδουν κανονική κίνηση, ελαφρώς αριστερόστροφη. Το τμήμα αυτό ενεργοποιήθηκε ξανά από τον σεισμό του Αυγούστου.

2.3.2 Σύστημα Laga

Το ρήγμα της Laga εκτείνεται στη βάση του βουνού Gorzano. Είναι κανονικό και περιστοιχίζεται από αποθέσεις χαλαρών ιζημάτων. Αν και δεν έχουν παρατηρηθεί επιφανειακές διαρρήξεις, η παραμόρφωση της περιοχής τόσο εδώ, όσο και στο Mt. Vettore, δείχνουν μια πιθανή σύνδεση μεταξύ των δυο ρηγματικών συστημάτων και του σεισμού του Αυγούστου. Οι εμφανίσεις επιφανειακών διαρρήξεων φαίνεται να οφείλονται σε δευτερογενείς παράγοντες και δεν αποτελούν ουσιαστικά επιφανειακή εκδήλωση ρήγματος.

Στη βόρεια πλευρά δε φαίνεται να υπάρχει επιφανειακή εκδήλωση της δραστηριότητας. Οι ρωγμές του εδάφους, στο κατώτερο τμήμα του χωριού San Tommaso, ακολουθούν τη διεύθυνση του πρανούς του ρήγματος και εκτείνονται σε μήκος 20-25m και πλάτος 5-20cm. Η βύθιση είναι δυτικής διεύθυνσης. Στο ανώτερο τμήμα συνέβη κατολίσθηση, ένδειξη ύπαρξης τεκτονισμού στην περιοχή.

2.4 ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΕΣ

Οι καταστροφές που έγιναν ως αποτέλεσμα των σεισμικών ακολουθιών του 2016 ήταν έντονες και μεγάλες. Πολύ σημαντικό ρόλο σε αυτό έπαιξε η κακή ποιότητα κατασκευής των κτιρίων της περιοχής. Παρ' όλη τη σεισμική δραστηριότητα της περιοχής στο πρόσφατο παρελθόν, οι κατασκευές δεν ήταν κατάλληλα προετοιμασμένες να αντέξουν σε έναν ισχυρό σεισμό. Οι πληροφορίες που ακολουθούν προέρχονται κατά κύριο λόγο από την έκθεση των Livio et al. (2016).

Μετά από τις έρευνες και τις μακροσκοπικές παρατηρήσεις που έγιναν, οι μεγάλες εντάσεις φάνηκε να επικεντρώθηκαν σε περιοχές που επικρατούν τα ιζήματα της λεκάνης του Amatrice. Έτσι, η γεωλογία της περιοχής εμφανώς συνέβαλε αρκετά στη μεγάλη έκταση και ένταση των καταστροφών.

Ακόμα ένα στοιχείο που επιβάρυνε τα κτίρια ήταν τα υλικά κατασκευής τους. Η περιοχή είναι πλούσια σε τουρβιδιτικό ψαμμίτη (γνωστό και ως φλύσχη Laga). Όπως συμβαίνει συχνά κυρίως λόγω χαμηλού κόστους, το υλικό αυτό αποτέλεσε πρώτη ύλη της περιοχής και χρησιμοποιήθηκε για την κατασκευή οικισμών και κτιρίων (σπιτιών, εκκλησιών, κάστρων, πύργων, μέχρι και στάβλων) (Σχήμα 2.3 & 2.4).

Επίσης, τα περισσότερα ιστορικά κέντρα των χωριών της περιοχής ήταν χτισμένα με πέτρα, στρογγυλοποιημένα χαλίκια μαγματικής φύσης και κροκαλοπαγή. Το συγκολλητικό υλικό ήταν φτωχό ενώ τα κτίρια τα οποία είχαν ενισχυθεί με πιο γερά υλικά τα τελευταία χρόνια, όπως αυτά που έπληξε ο σεισμός του 1979, στην περιοχή ήταν λίγα. Έτσι η φτωχή κατασκευαστική αντοχή τους, επέτρεψε στο σεισμό να καταστρέψει πάρα πολλά από αυτά τα κτίσματα, αφήνοντας πίσω ανθρώπινα θύματα και πάρα πολλούς άστεγους.

Όπως φαίνεται και παρακάτω (Σχήματα 2.5 έως 2.8) οι ζημιές που προκλήθηκαν και από τους δυο σεισμούς είναι εκτεταμένες.



Σχήμα 2.3. Κτίρια και (κτίσματα, φτιαγμένα από υλικά του γεωλογικού υποβάθρου της περιοχής, μετά το σεισμό του Αυγούστου του 2016. (Livio et al., 2016)

Το πλήγμα ήταν μεγάλο και σε πολιτισμικό και πολιτιστικό επίπεδο, αφού πολλά κτίρια της περιοχής χρονολογούνται από το 15^ο αιώνα, κάτι που τους προσέδιδε μεγάλη ιστορική σημασία.



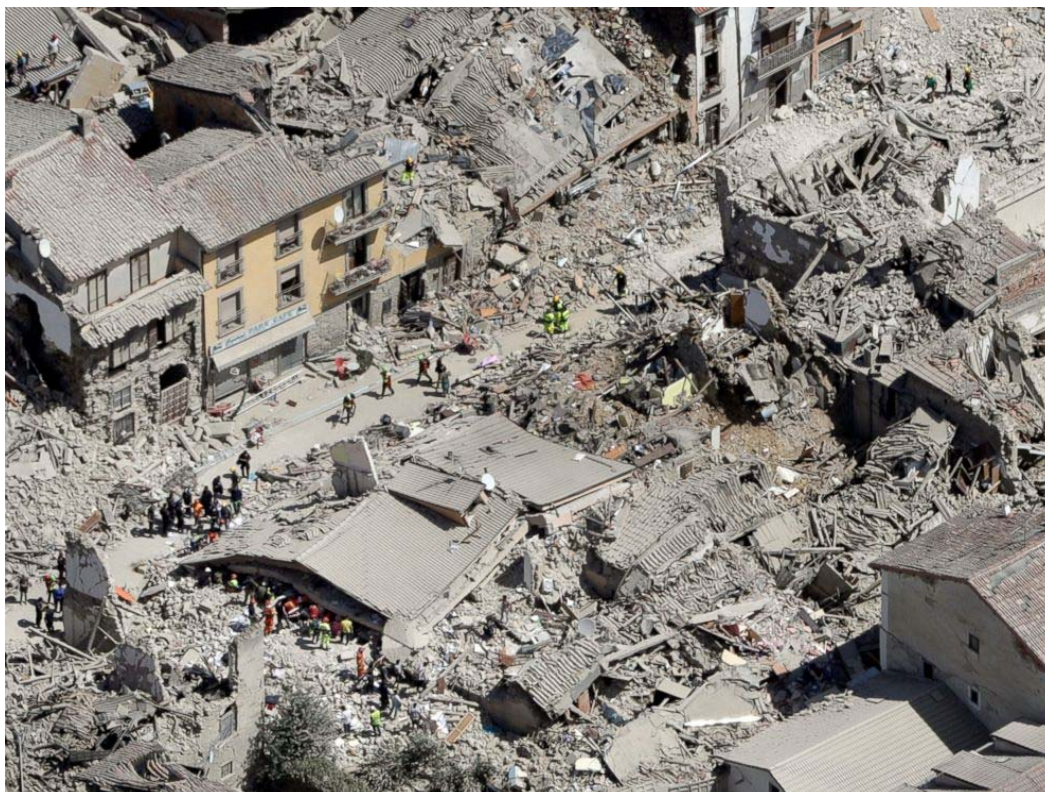
Σχήμα 2.4. Η πόλη του Amatrice μετά το σεισμό. Όλα φαίνονται κατεστραμένα (σπίτια, εκκλησίες κτλ), εκτός από έναν μεσαιωνικό πύργο, ο οποίος είχε αντέξει στο παρελθόν και έναν σεισμό στην περιοχή το 1639 (Livio et al., 2016).

Πολλοί ήταν οι επιστήμονες που θεώρησαν το σεισμό του Amatrice αναμενόμενο, τόσο λόγω της ύπαρξης ενεργών ρηγμάτων και σεισμικών κενών, όσο και εξαιτίας της ανακατανομής τάσεων στην περιοχή μετά από το σεισμό του 2009. Ρίχνοντας μια γρήγορη ματιά στη σεισμική ιστορία της περιοχής, ήταν σχεδόν βέβαιο ότι στον κενό αυτό χώρο θα εκδηλωνόταν ένας ισχυρός σεισμός. Επομένως, στο πλαίσιο μιας ενεργητικής, αντισεισμικής πολιτικής θα μπορούσαν ίσως να έχουν ληφθεί κάποια προσεισμικά μέτρα, ώστε να μετριαστούν οι επιπτώσεις αυτών των σεισμών. (Livio et al., 2016)

Αυτό δυστυχώς δεν έγινε, παρόλο που και η ίδια η πολιτεία επέβαλε με νόμο από το 1974 τα κτίρια να χτίζονται με βάση τον αντισεισμικό κώδικα. Οι προειδοποιήσεις αγνοήθηκαν και έτσι οι σεισμικές ακολουθίες του 2016 άφησαν πίσω τους πολλές καταστροφές και θύματα.



Σχήμα 2.5. Πανοραμικές εικόνες της πόλης του Amatrice, μετά τον καταστροφικό σεισμό του Αυγούστου το 2016 (ABC News)





Σχήμα 2.6. Σπίτι στο Amatrice, το οποίο συνεχίζει να στέκεται, με μοναδική του απώλεια τον ένα τοίχο. (ABC News)



Σχήμα 2.7. Η βασιλική εκκλησία του Αγίου Βενέδικτου στη Νορκία, μετά το σεισμό του Οκτωβρίου 2016 (<https://www.internazionale.it/notizie/2016/10/30/terremoto-norcia-crolli>).



Σχήμα 2.8. Το εσωτερικό της βασιλικής εκκλησίας του Αγίου Βενέδικτου στη Νορκία, μετά το σεισμό του Οκτωβρίου 2016 (<http://www.bbc.co.uk/news/av/world-europe-37821998/italy-quake-drone-footage-shows-norcia-basilica-damage>).

3. ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΣΕΙΣΜΙΚΩΝ ΑΚΟΛΟΥΘΙΩΝ AMATRICE ΚΑΙ NORCIA (2016)

3.1 ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΗΣ

Για τη μελέτη των δυο σεισμικών ακολουθιών που αναλύονται παρακάτω χρειάστηκε η δημιουργία καταλόγου σεισμών. Τα δεδομένα που συλλέχθηκαν προέρχονται κυρίως από το Εθνικό Ινστιτούτο Γεωφυσικής και Ηφαιστειολογίας της Ρώμης (Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, INGV, www.ingv.it) και το Εθνικό Ινστιτούτο Σεισμικών Πληροφοριών των ΗΠΑ (National Earthquake Information Center, NEIC, <https://earthquake.usgs.gov>). Οι κατάλογοι των παραπάνω κέντρων περιέχουν τις εστιακές παραμέτρους (χρόνο γένεσης, γεωγραφικές συντεταγμένες epicέντρων, εστιακό βάθος, μέγεθος σεισμού) όλων των σεισμών των δυο ακολουθιών.

Συγκεκριμένα, το χρονικό διάστημα που καλύπτουν οι κατάλογοι είναι από τις 24/06/2016 (2 μήνες πριν τον κύριο σεισμό της ακολουθίας του Αυγούστου) έως τις 31/12/2016. Η περιοχή μελέτης (κεντρική Ιταλία) ορίστηκε από τις συντεταγμένες 42.2° - 43.3° Βόρειο γεωγραφικό πλάτος και 12.8° - 13.6° Ανατολικό γεωγραφικό μήκος.

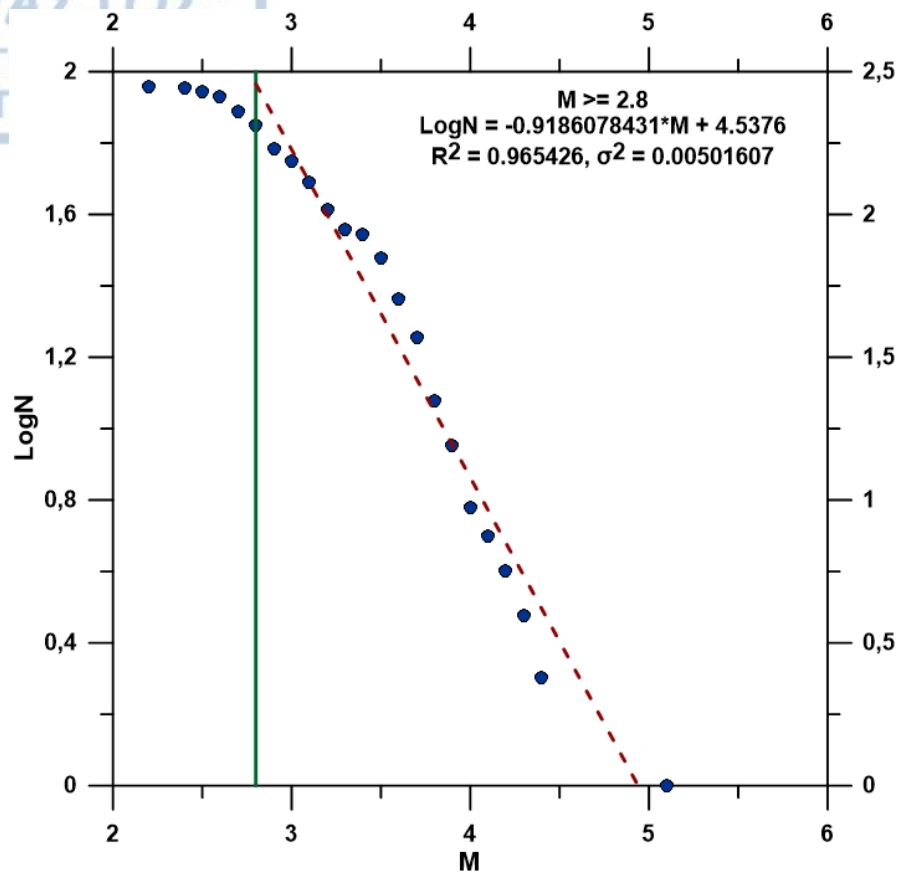
Αξίζει να σημειωθεί ότι στον κατάλογο σεισμών που προέκυψε, για το διάστημα 24/06/2016 έως 24/08/2016 (πριν τον κύριο σεισμό), τα δεδομένα ήταν ανεπαρκή (μόλις 2 σεισμοί) άρα δεν υπήρχαν στοιχεία για προσεισμική ακολουθία οπότε δεν προχωρήσαμε σε σχετική ανάλυση και μελέτη.

3.2 ΚΑΤΑ ΜΕΓΕΘΟΣ ΚΑΤΑΝΟΜΗ

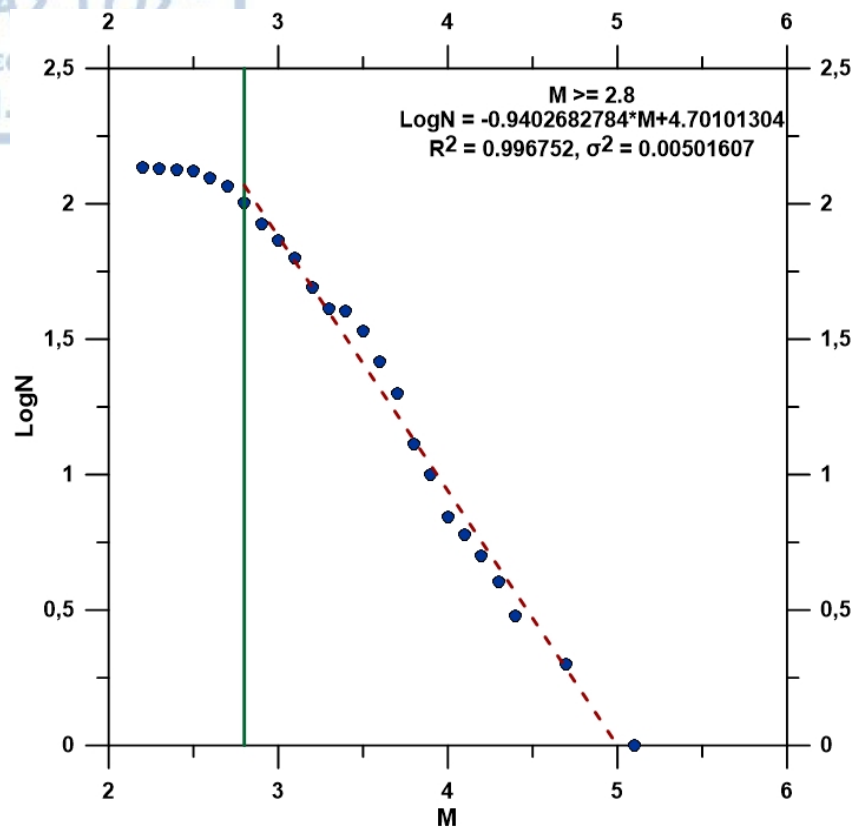
Με την εφαρμογή της σχέσης των Gutenberg and Richter (1944), στη μετασεισμική ακολουθία τόσο του Αυγούστου όσο και του Οκτωβρίου, για διάφορα χρονικά διαστήματα, προκύπτουν τα διαγράμματα που παρουσιάζονται στα σχήματα 3.1-3.10.

Το μέγεθος πληρότητας για την ακολουθία του Αυγούστου, όπως αυτό προέκυψε από τους μετασεισμούς των 6 πρώτων ωρών, ύστερα από τον κύριο σεισμό, είναι $M_c=2.8$. Αντίστοιχα το μέγεθος πληρότητας της μετασεισμικής ακολουθίας του Οκτωβρίου είναι $M_c=3.1$ και βασίζεται στα δεδομένα από το πρώτο 12ωρο των μετασεισμών. Η τιμή του μεγέθους πληρότητας των 6 πρώτων ωρών είναι $M_c=3.5$, όμως το πλήθος των σεισμών του μεγέθους αυτού είναι ίδιο με το πλήθος του μεγέθους $M_c=3.1$. Πρακτικά λοιπόν είναι εφικτό να θεωρηθεί ότι το μέγεθος πληρότητας του Οκτωβρίου προκύπτει ως αποτέλεσμα των μετασεισμών που συνέβησαν το πρώτο δωρο μετά τον κύριο σεισμό.

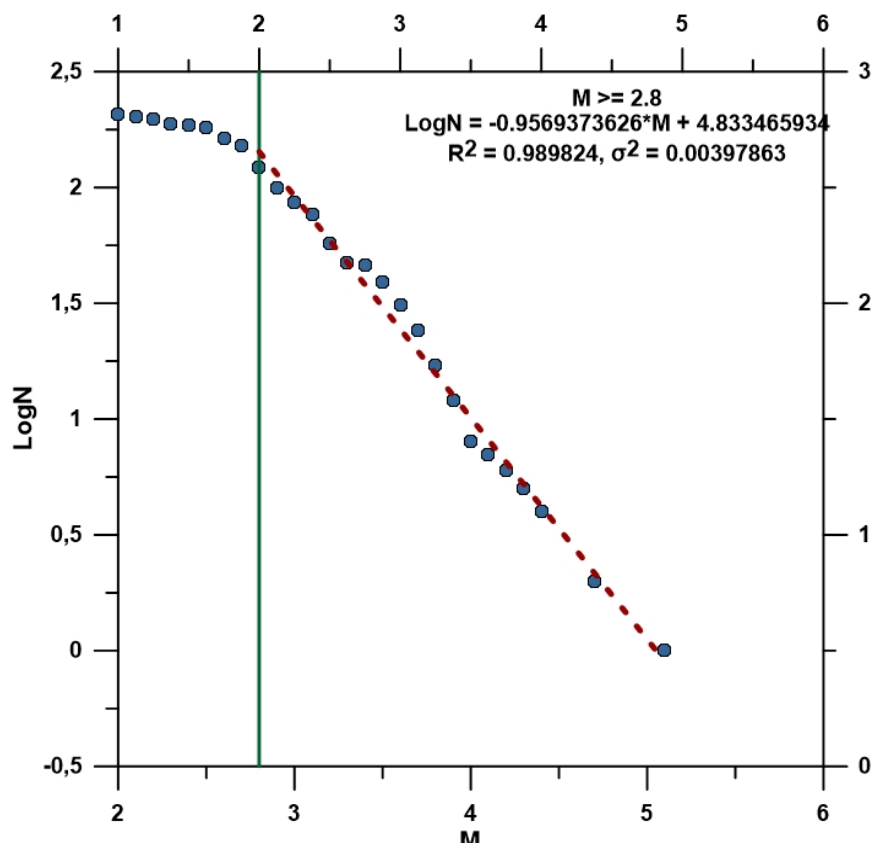
Σημαντική παρατήρηση αποτελεί η έλλειψη προσεισμών (μόλις 2 προσεισμοί για την ακολουθία του Αυγούστου). Για το λόγο αυτό η μελέτη της προσεισμικής ακολουθίας του Αυγούστου δεν μπορεί να μελετηθεί. Όσον αφορά τους προσεισμούς της ακολουθίας του Οκτωβρίου, αδυνατούμε να τους διαχωρίσουμε από τους μετασεισμούς της ακολουθίας του Αυγούστου. Αυτό καθιστά τη μελέτη και αυτής της προσεισμικής ακολουθίας μη εφικτή.



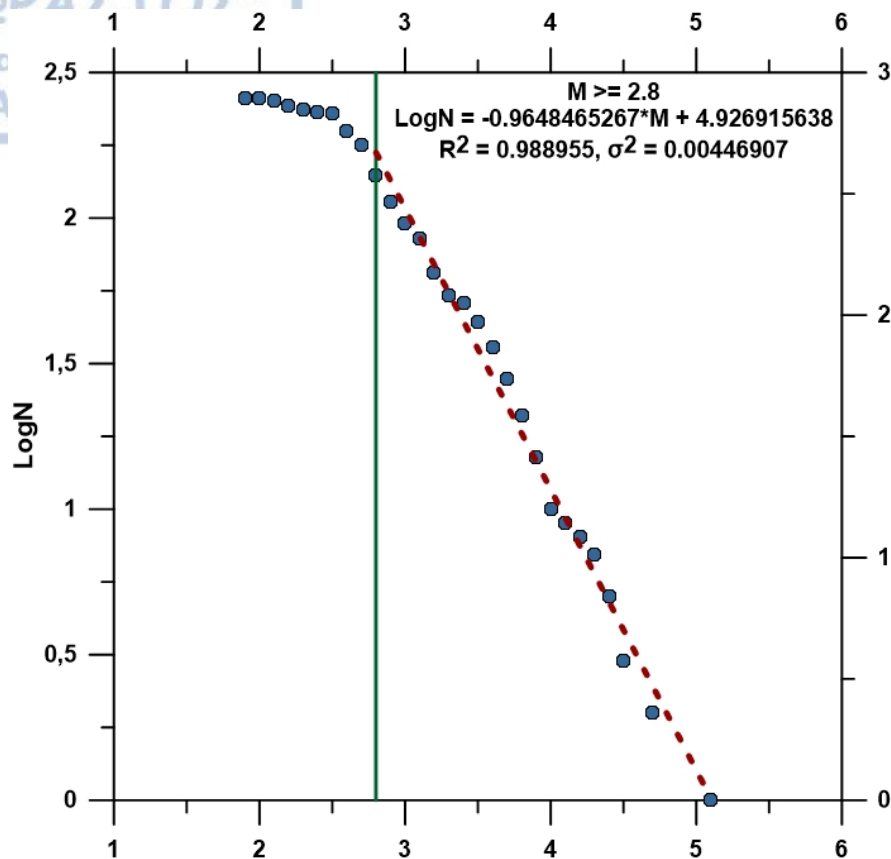
Σχήμα 3.1. Κατά μέγεθος κατανομή των μετασεισμών των 6 πρώτων ωρών της σεισμικής ακολουθίας του Αυγούστου (24/08/2016, Amatrice).



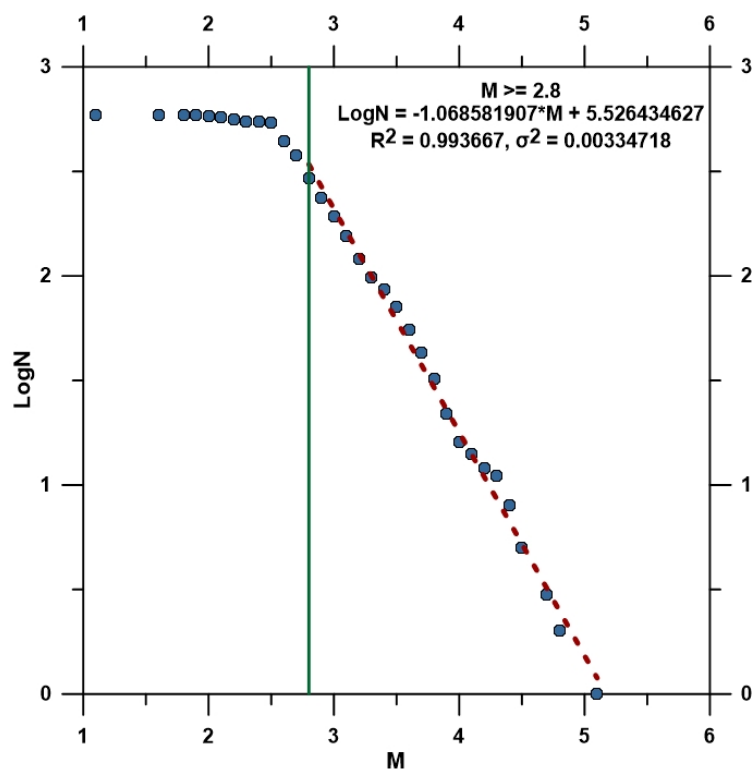
Σχήμα 3.2. Κατά μέγεθος κατανομή των μετασεισμών των 12 πρώτων ωρών της σεισμικής ακολουθίας του Αυγούστου (24/08/2016, Amatrice).



Σχήμα 3.3. Κατά μέγεθος κατανομή των μετασεισμών των 24 πρώτων ωρών της σεισμικής ακολουθίας του Αυγούστου (24/08/2016, Amatrice).



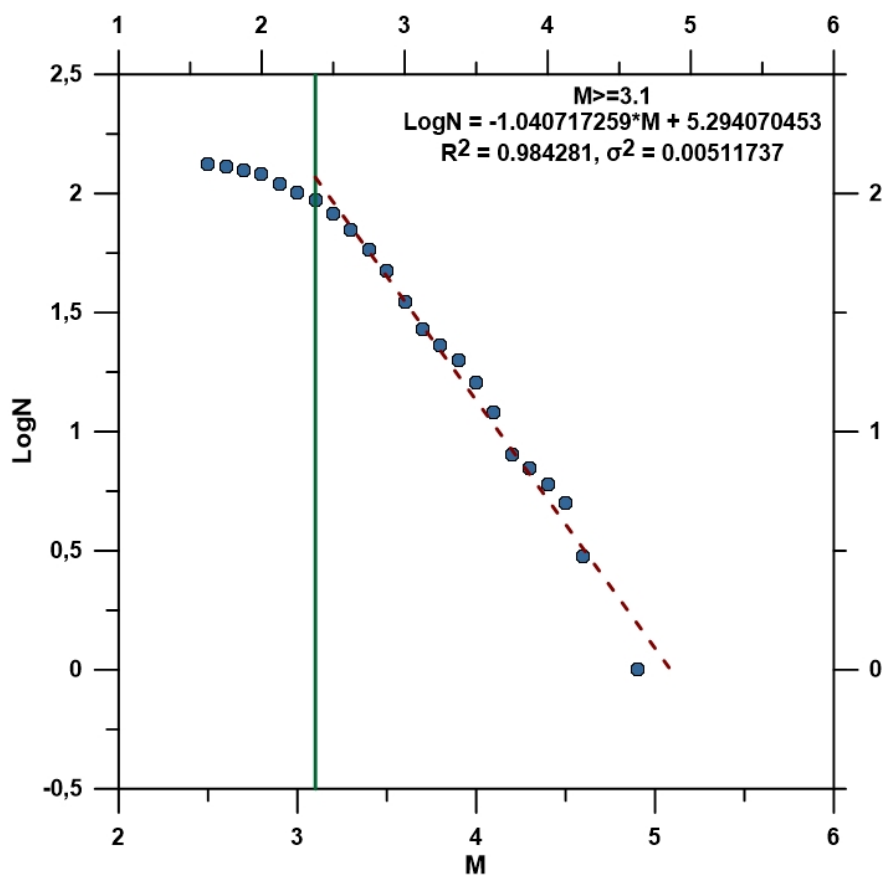
Σχήμα 3.4. Κατά μέγεθος κατανομή των μετασεισμών των 48 πρώτων ωρών της σεισμικής ακολουθίας του Αυγούστου (24/08/2016, Amatrice).



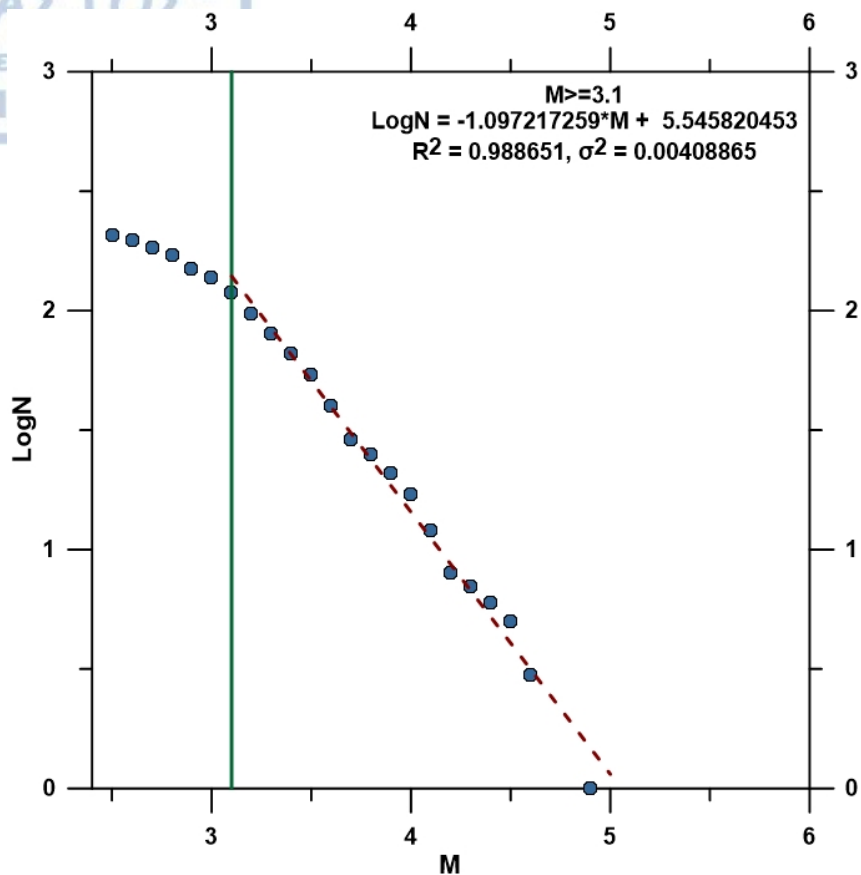
Σχήμα 3.5. Κατά μέγεθος κατανομή των μετασεισμών του 1 μήνα της σεισμικής ακολουθίας του Αυγούστου (24/08/2016, Amatrice).

Για την ακολουθία του Αυγούστου:

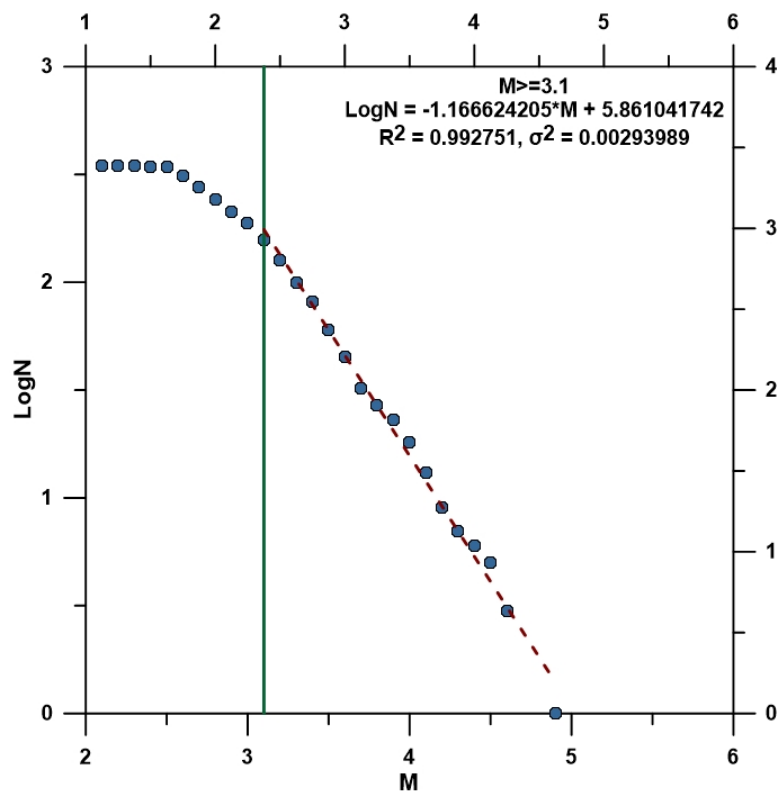
Η κλίση της ευθείας των πρώτων 6 ωρών των μετασεισμών είναι περίπου $b=-0.92$. Αντίστοιχα η τιμή των 12 ωρών $b=-0.94$, της 1 μέρας (24 ώρες) $b=-0.956$ και των 2 ημερών (48 ώρες) $b=-0.964$. Για τον πρώτο μήνα η κλίση είναι της τάξης του $b=-1.07$. Οι παραπάνω τιμές είναι αντιπροσωπευτικές τυπικών μετασεισμικών ακολουθιών.



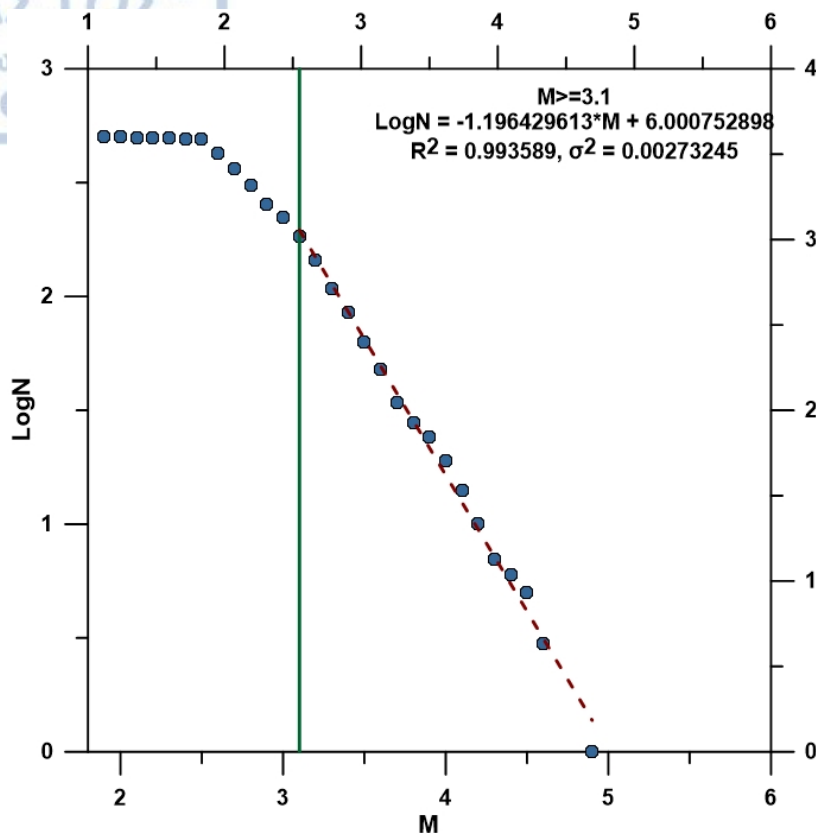
Σχήμα 3.6. Κατά μέγεθος κατανομή των μετασεισμών των 6 πρώτων ωρών της σεισμικής ακολουθίας του Οκτωβρίου (30/10/2016, Norcia).



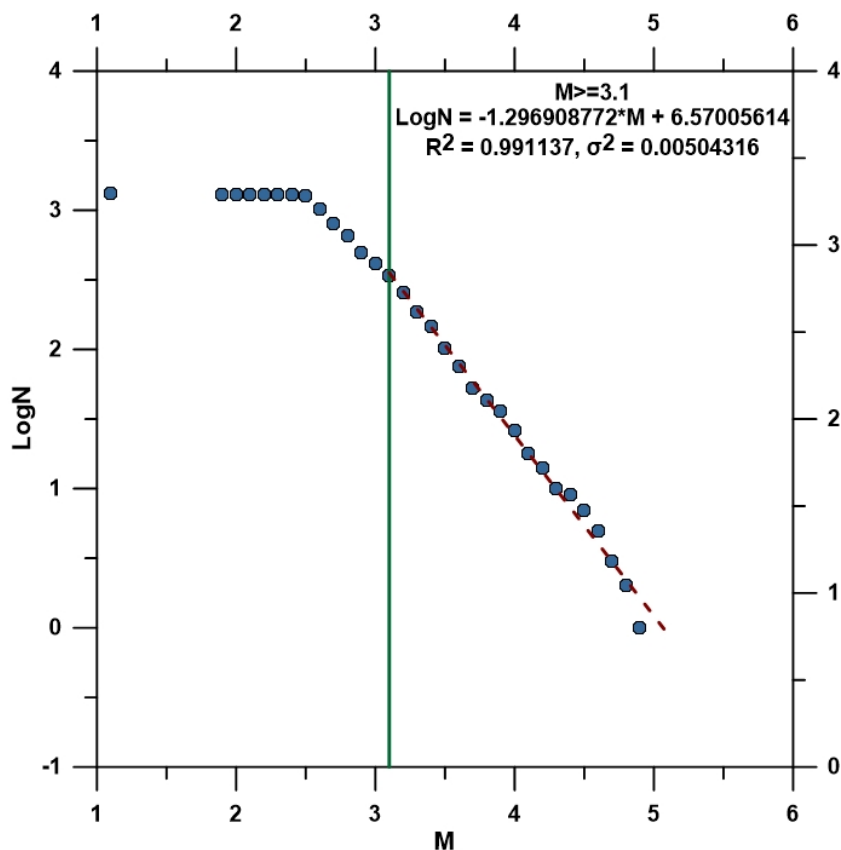
Σχήμα 3.7. Κατά μέγεθος κατανομή των μετασεισμών των 12 πρώτων ωρών της σεισμικής ακολουθίας του Οκτωβρίου (30/10/2016, Norcia).



Σχήμα 3.8. Κατά μέγεθος κατανομή των μετασεισμών των 24 πρώτων ωρών της σεισμικής ακολουθίας του Οκτωβρίου (30/10/2016, Norcia).



Σχήμα 3.9. Κατά μέγεθος κατανομή των μετασεισμών των 48 πρώτων ωρών της σεισμικής ακολουθίας του Οκτωβρίου (30/10/2016, Norcia).



Σχήμα 3.10. Κατά μέγεθος κατανομή των μετασεισμών του 1 μήνα της σεισμικής ακολουθίας του Οκτωβρίου (30/10/2016, Norcia).

Για την ακολουθία του Οκτωβρίου:

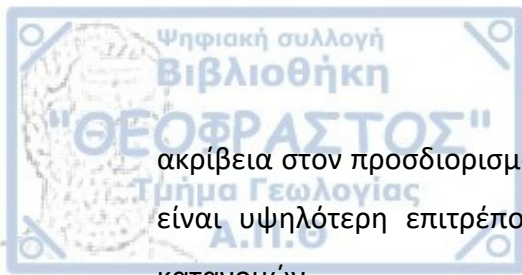
Η κλίση της ευθείας για τις 6 πρώτες ώρες μετά τον κύριο σεισμό στις 30 Οκτωβρίου έχει τιμή $b=-1.04$. Στις 12 ώρες $b=-1.1$, στη 1 μέρα (24 ώρες) $b=-1.166$ και στις 2 μέρες (48 ώρες) $b=-1.196$. Όσο αφορά τον πρώτο μήνα η κλίση έχει τιμή περίπου $b=-1.3$. Η μέση τιμή λαμβάνοντας υπόψιν την πρώτη μέρα τον μετασεισμών και των πρώτο μήνα είναι $b \approx -1.2$.

Η διαφορά των μέσων τιμών της παραμέτρου b για τις παραπάνω ακολουθίες πιθανά εξηγείται από το ότι ο κύριος σεισμός του Οκτωβρίου είναι της τάξης του 6.6 ενώ του Αυγούστου είναι 6.0. Ειδικότερα συγκρίνοντας την μέση τιμή του b της ακολουθίας του Οκτωβρίου (-1.2), με την αντίστοιχη των 2 ημερών (48 ωρών) της ακολουθίας του Αυγούστου (-0.96), γίνεται αντιληπτό ότι μετά την εκδήλωση του κύριου σεισμού του Αυγούστου πιθανόν να εξακολουθούσαν να υπάρχουν αυξημένες τιμές τάσεων στην περιοχή. Ενδεχομένως λοιπόν, οι τάσεις αυτές να προετοίμαζαν εκδήλωση σεισμού με σημαντικό μέγεθος στην ευρύτερη περιοχή.

3.3 ΧΩΡΙΚΗ ΚΑΤΑΝΟΜΗ

Για τη μελέτη της χωρικής κατανομής των δυο σεισμικών ακολουθιών που ερευνώνται, διερευνήθηκαν η γεωγραφική τους (οριζόντια) κατανομή και η κατακόρυφη κατανομή κάθε ακολουθίας ξεχωριστά. Η γεωγραφική κατανομή όπως έχει αναφερθεί είναι η αναπαράσταση των επικέντρων σε ένα χάρτη. Προκειμένου να οριστεί η κατακόρυφη κατανομή των εστιών κάθε ακολουθίας είναι απαραίτητο να παρασταθούν οι προβολές των σεισμικών εστιών σε δυο κατακόρυφα επίπεδα με αζιμούθια παράλληλα και κάθετα προς τη διεύθυνση του σεισμικού ρήγματος. Η γενική διεύθυνση των σεισμικών ρηγμάτων είναι BBD – NNA με ΔΝΔ βύθιση.

Στις κατανομές που ακολουθούν χρησιμοποιήθηκαν μόνο οι σεισμοί με μέγεθος μεγαλύτερο ή ίσο του 4.0. Ο λόγος αυτού του περιορισμού είναι η διασφάλιση της αξιοπιστίας των αποτελεσμάτων. Οι σεισμοί με μέγεθος μεγαλύτερο ή ίσο του 4.0 συνδέονται συνήθως απευθείας με το σεισμικό ρήγμα, σε αντίθεση με μικρότερου μεγέθους σεισμούς που είναι πιθανό να οφείλονται σε μικρότερα γειτονικά ρήγματα τα οποία διεγέρθηκαν έπειτα από τον κύριο σεισμό. Επιπλέον η

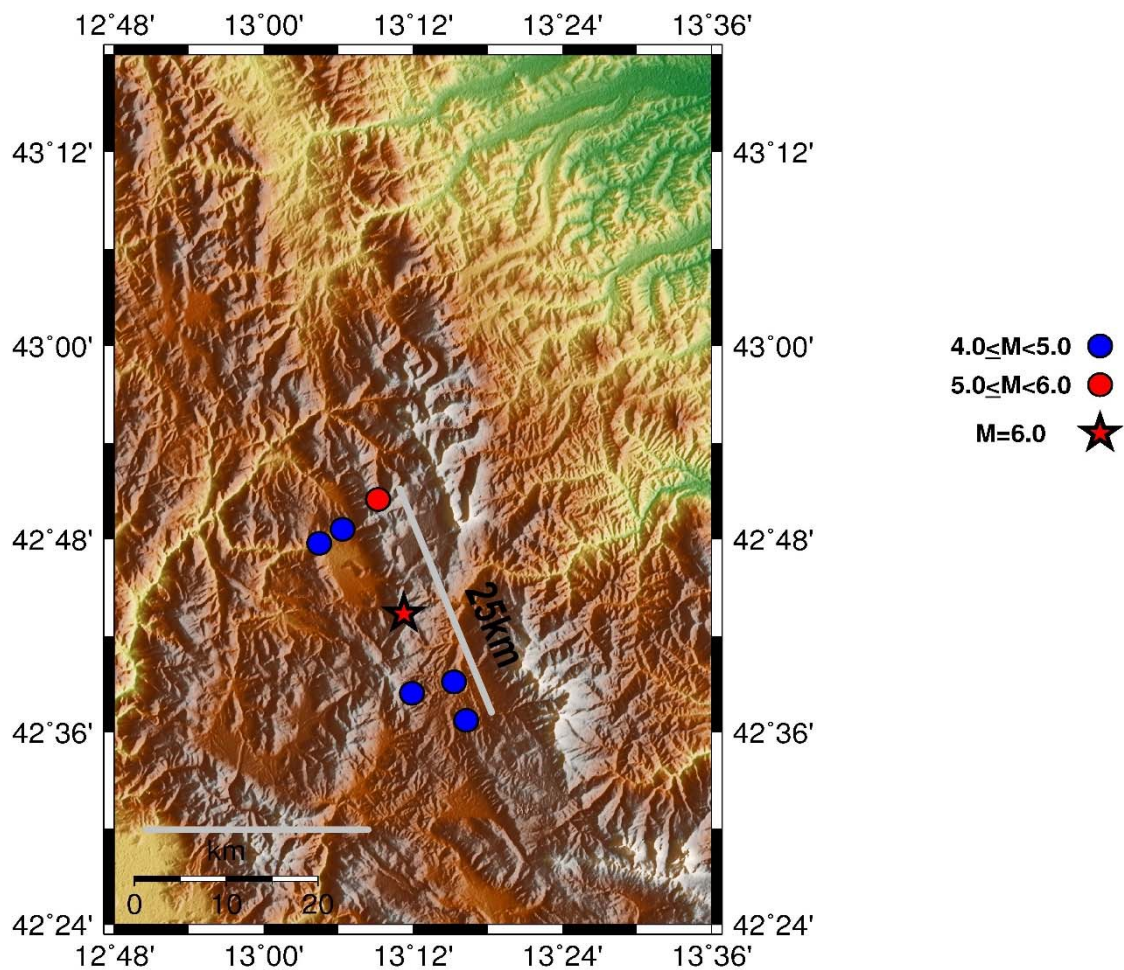


ακρίβεια στον προσδιορισμό των εστιακών παραμέτρων των μεγαλύτερων σεισμών είναι υψηλότερη επιτρέποντας μια περισσότερο αντιπροσωπευτική εικόνα των κατανομών.

3.3.1 ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΗ ΚΑΤΑΝΟΜΗ

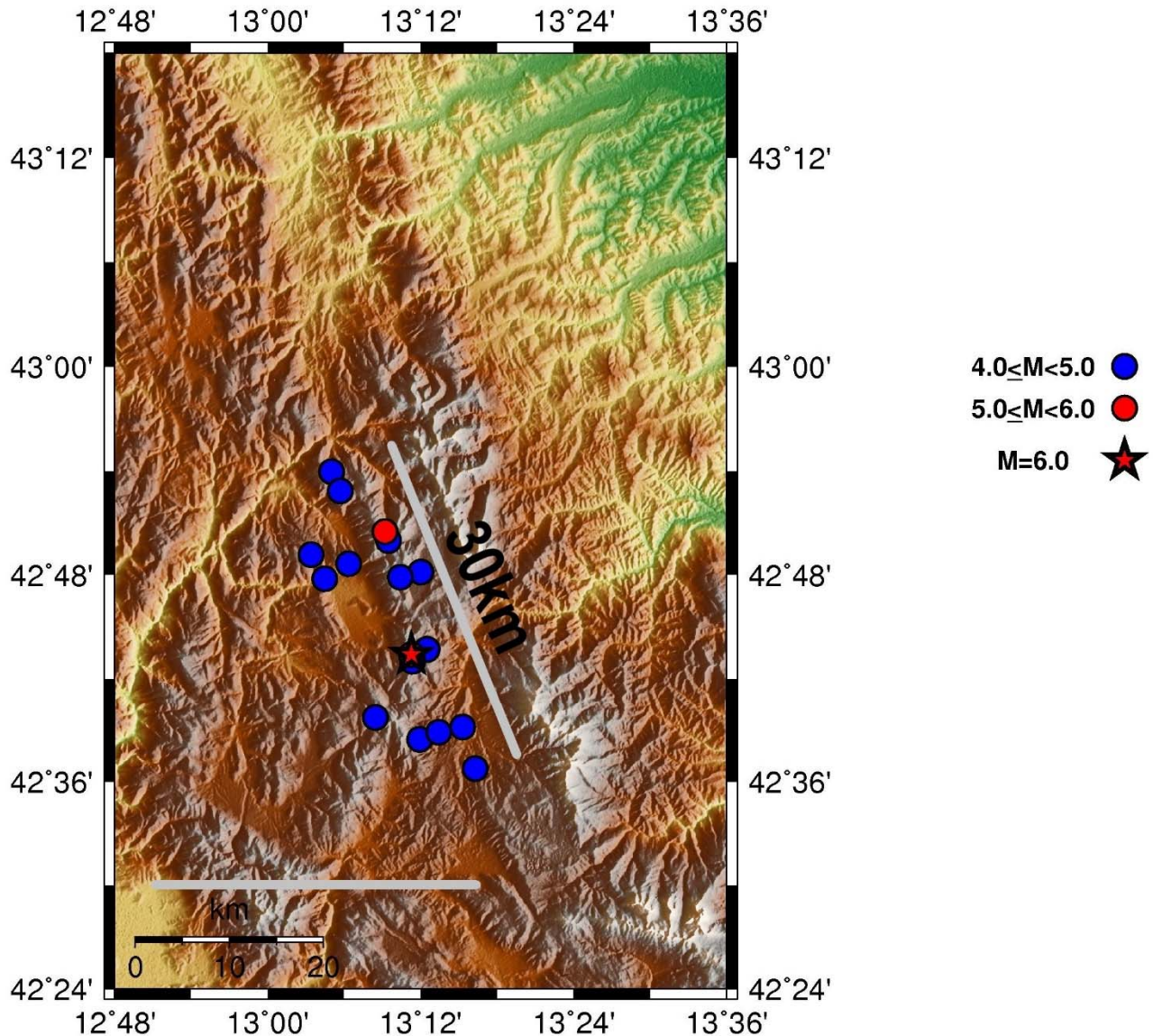
Με σκοπό την οριζόντια απεικόνιση της κατανομής των μετασεισμών των ακολουθιών που μελετήθηκαν, χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα κατασκευής χαρτών GMT (Wessel and Smith, 1995). Στους χάρτες που κατασκευάστηκαν παριστάνονται οι γεωγραφικές κατανομές των μετασεισμών για τις πρώτες 6 ώρες, για τον 1 μήνα και για ολόκληρες τις ακολουθίες και των δυο σεισμών (Αυγούστου και Οκτωβρίου). Στην περιοχή ενδιαφέροντος, τα ρήγματα στα οποία οφείλονται οι σεισμικές δονήσεις είναι ρήγματα κλίσης (όπως αυτά προέκυψαν από τους μηχανισμούς γένεσης USGS). Η σχέση που συνδέει το μήκος του σεισμικού ρήγματος με το μέγεθος του μέγιστου σεισμού που μπορεί να προκαλέσει είναι η σχέση (2.15).

Επομένως για το σεισμό του Αυγούστου, ο οποίος είχε μέγεθος $M=6.0$, η τιμή του μήκους του ρήγματος είναι $L=14.8\text{km}$, δηλαδή θεωρητικά το μήκος φτάνει τα 15km περίπου. Από την άλλη πλευρά, ο σεισμός του Οκτωβρίου με μέγεθος $M=6.6$, φαίνεται να οφείλεται σε ρήγμα μεγαλύτερων διαστάσεων, καθώς το μήκος που προκύπτει από τον παραπάνω τύπο περίπου $L=27,54\text{km}$. Άρα το θεωρητικό μήκος ρήγματος είναι κοντά στα 30km .



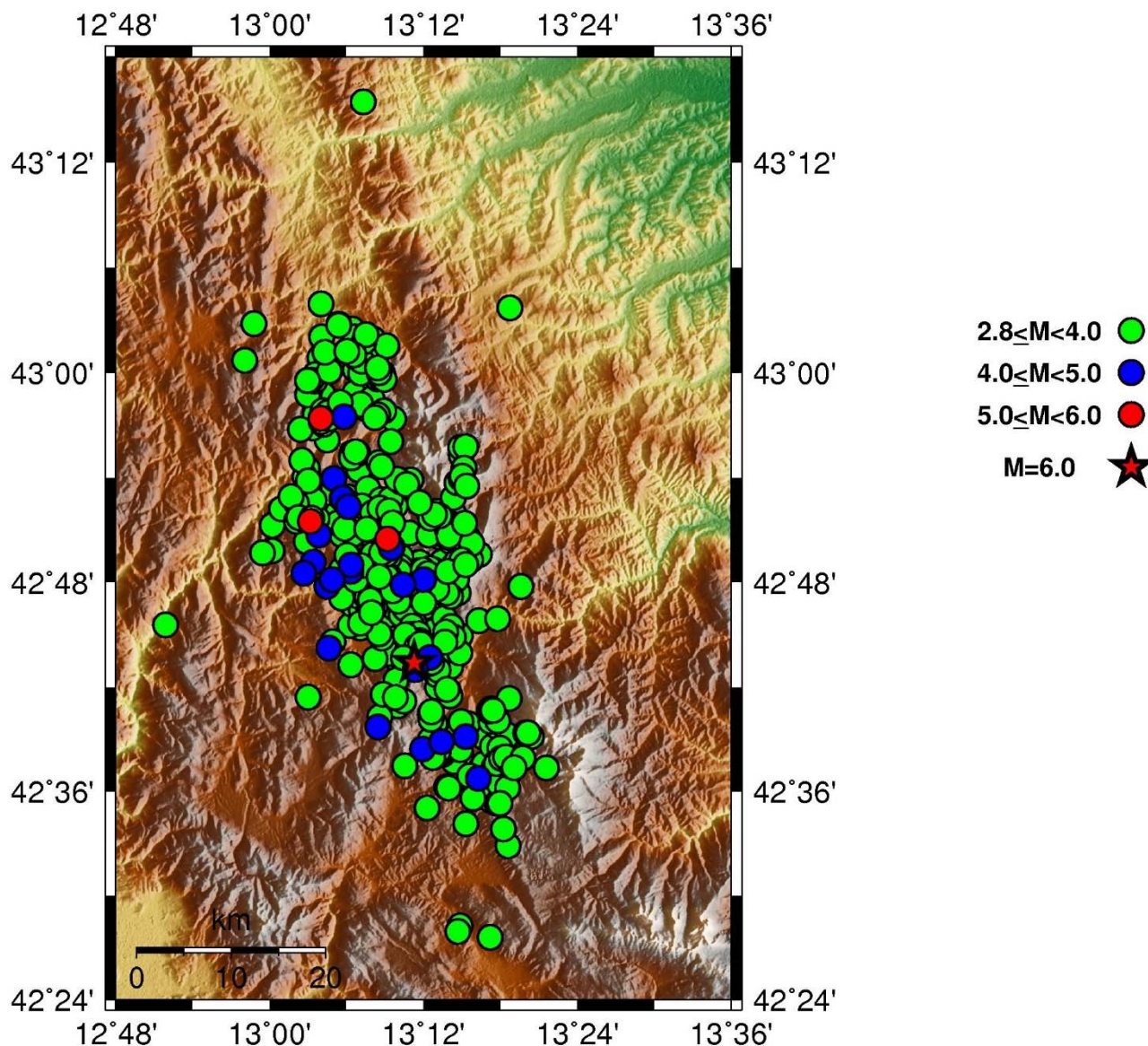
Σχήμα 3.11. Χάρτης γεωγραφικής κατανομής των μετασεισμών με μέγεθος ≥ 4.0 των 6 πρώτων ωρών της ακολουθίας του Αυγούστου.

Στον πρώτο χάρτη (Σχήμα 3.11) αναπαρίστανται οι μετασεισμοί των 6 πρώτων ωρών της ακολουθίας του Αυγούστου. Η οριζόντια διάσταση του ρήγματος που προκύπτει από τα επίκεντρα αυτών φαίνεται να καλύπτει μήκος $\sim 25\text{km}$. Η διάσταση αυτή είναι μεγάλη για ένα σεισμό μεγέθους $M=6.0$ και δεν επαληθεύει την τιμή που υπολογίστηκε προηγουμένως από τη σχέση. Εφαρμόζοντας στον σχέση (1.5) το υπολογισμένο από τον χάρτη μήκος, ($\sim 25\text{km}$), διαπιστώνεται πως ένας σεισμός με μέγεθος της τάξης του 6.5, θα δικαιολογούσε την εξάπλωση των επικέντρων.



Σχήμα 3.12. Χάρτης γεωγραφικής κατανομής των μετασεισμών, με μέγεθος ≥ 4.0 , του 1 μήνα της ακολουθίας του Αυγούστου.

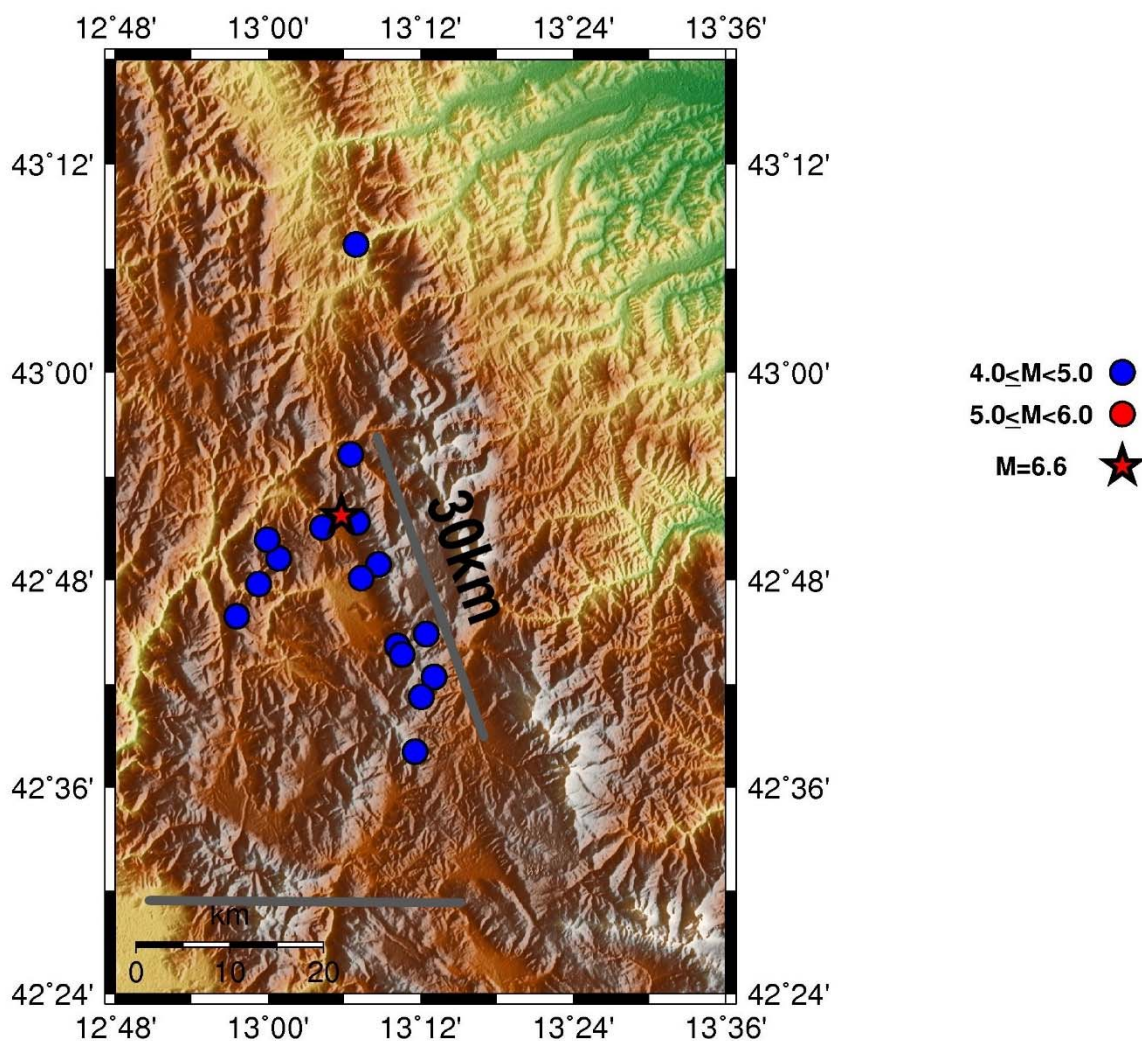
Παρόμοια εικόνα παρουσιάζει και ο χάρτης με την απεικόνιση του 1 μήνα. (Σχήμα 3.12) Στο Σχήμα 3.13, που αφορά όλη τη μετασεισμική ακολουθία του Αυγούστου, παρατηρείται μια έντονη εξάπλωση των επικέντρων προς τα ΒΒΔ. Η σεισμική διέγερση φαίνεται να καλύπτει ένα εξαιρετικά μεγάλο τμήμα, της τάξης των 40km. Όπως όμως έχει αναφερθεί και πιο πάνω, η εικόνα αυτή δεν αντικατοπτρίζει την πραγματικότητα απόλυτα, μιας και συμπεριλαμβάνει και αρκετούς σεισμούς που ουσιαστικά ανήκουν σε άλλη ακολουθία.



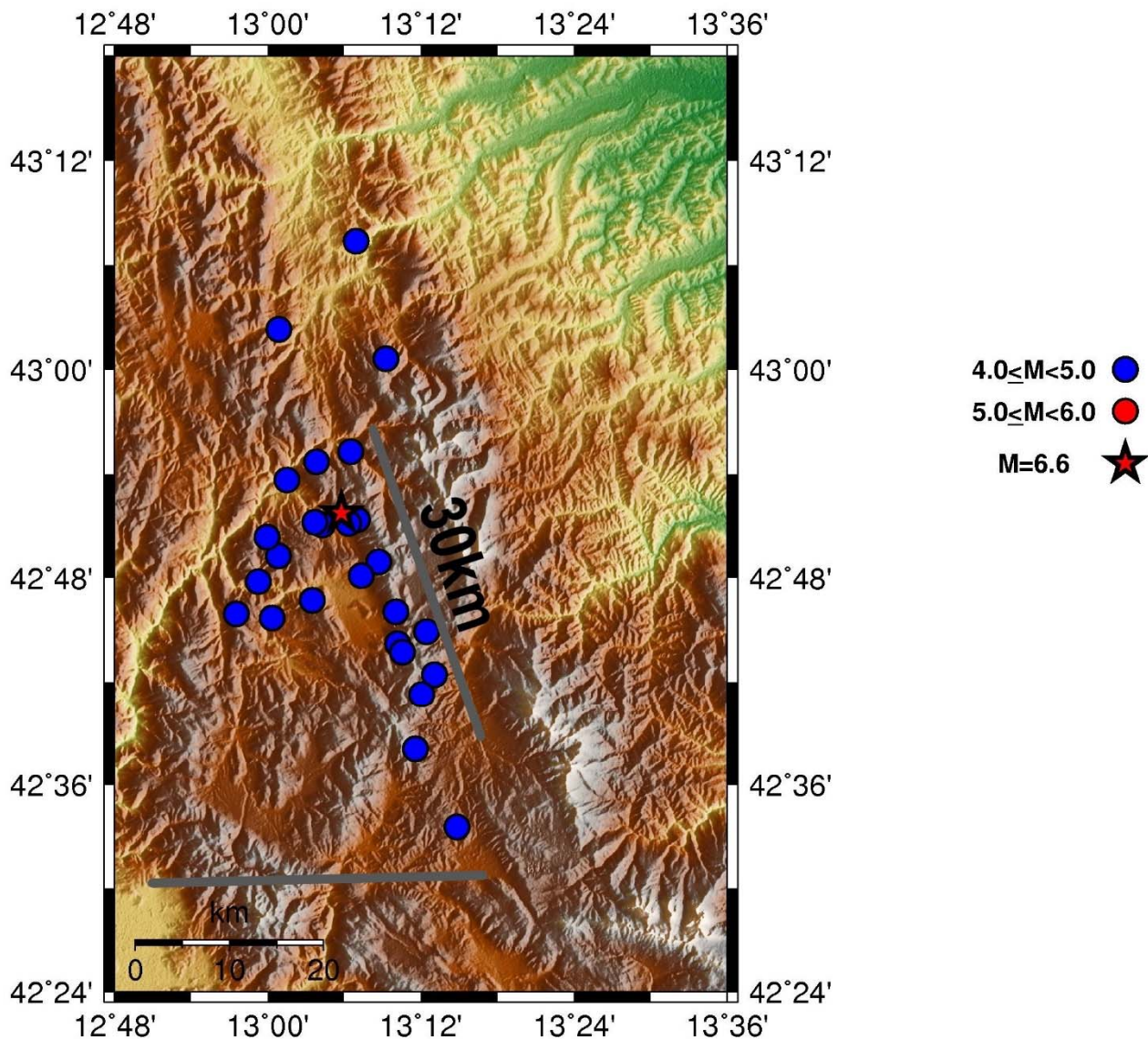
Σχήμα 3.13. Χάρτης γεωγραφικής κατανομής μετασεισμών της σεισμικής ακολουθίας του Αυγούστου, με μέγεθος μεγαλύτερο του μεγέθους πληρότητας και προσεισμών της σεισμικής ακολουθίας του Οκτωβρίου.

Το μήκος του ρήγματος, που προκύπτει από τους μετασεισμούς των 6 πρώτων ωρών της ακολουθίας του Οκτωβρίου, φαίνεται να είναι της τάξης των 30km (Σχήμα 3.14), τιμή η οποία μπορεί να χαρακτηριστεί αναμενόμενη με βάση το μέγεθος του κύριου σεισμού και τη σχέση (1.15). Η διάσταση των 30km παραμένει και για τους μετασεισμούς του 1 μήνα της ίδιας ακολουθίας (Σχήμα 3.15). Επομένως η οριζόντια χωρική κατανομή των σεισμών-μελών, καταδεικνύει μια πλήρως

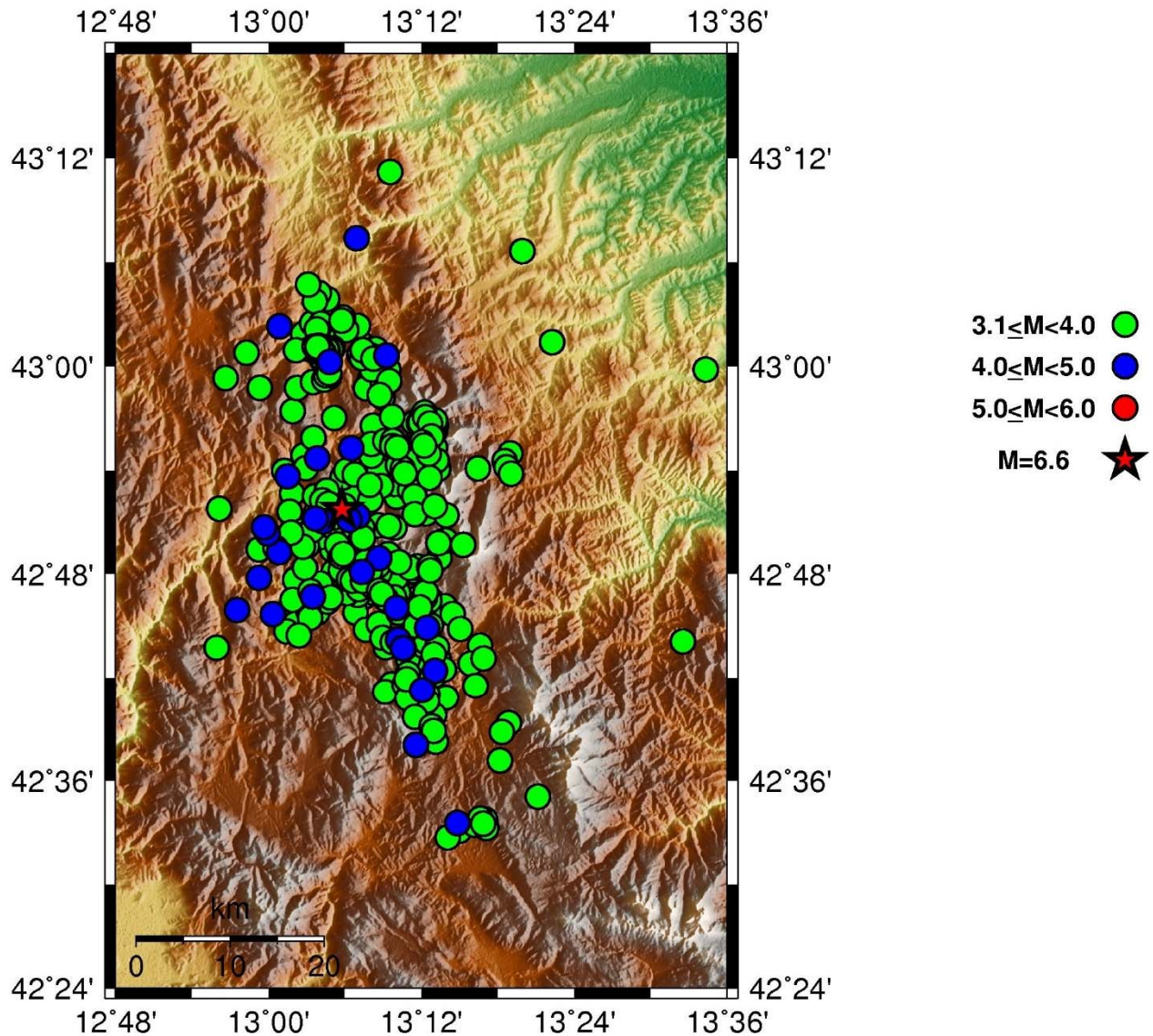
αποδεκτή τιμή του μήκους του ρήγματος. Ακόμη και στον τελευταίο χάρτη (Σχήμα 3.16), που περιέχει όλα τα επίκεντρα των σεισμών, για το διάστημα 30 Οκτωβρίου 2016 – 31 Δεκεμβρίου 2016), με μέγεθος ≥ 3.1 (μέγεθος πληρότητας), το μήκος που ορίζεται από τους μετασεισμούς με μέγεθος ≥ 4.0 είναι σχεδόν ίδιο (~ 30 km).



Σχήμα 3.14. Χάρτης γεωγραφικής κατανομής μετασεισμών, με μέγεθος ≥ 4.0 , των 6 πρώτων ωρών της σεισμικής ακολουθίας του Οκτωβρίου.



Σχήμα 3.15. Χάρτης γεωγραφικής κατανομής μετασεισμών, με μέγεθος ≥ 4.0 , του 1 μήνα της σεισμικής ακολουθίας του Οκτωβρίου.

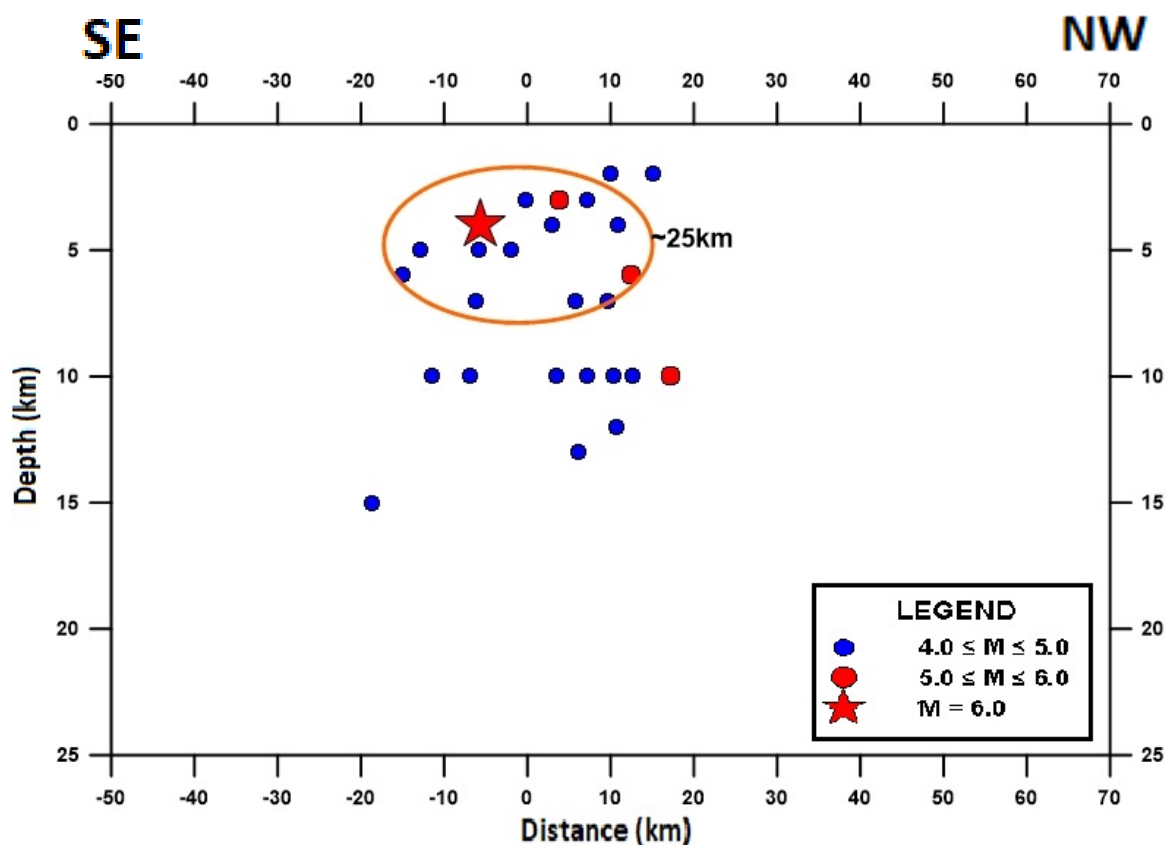


Σχήμα 3.16. Χάρτης γεωγραφικής κατανομής μετασεισμών της σεισμικής ακολουθίας του Οκτωβρίου, με μέγεθος μεγαλύτερο του μεγέθους πληρότητας, για το διάστημα 30 Οκτωβρίου 2016 – 31 Δεκεμβρίου 2016.

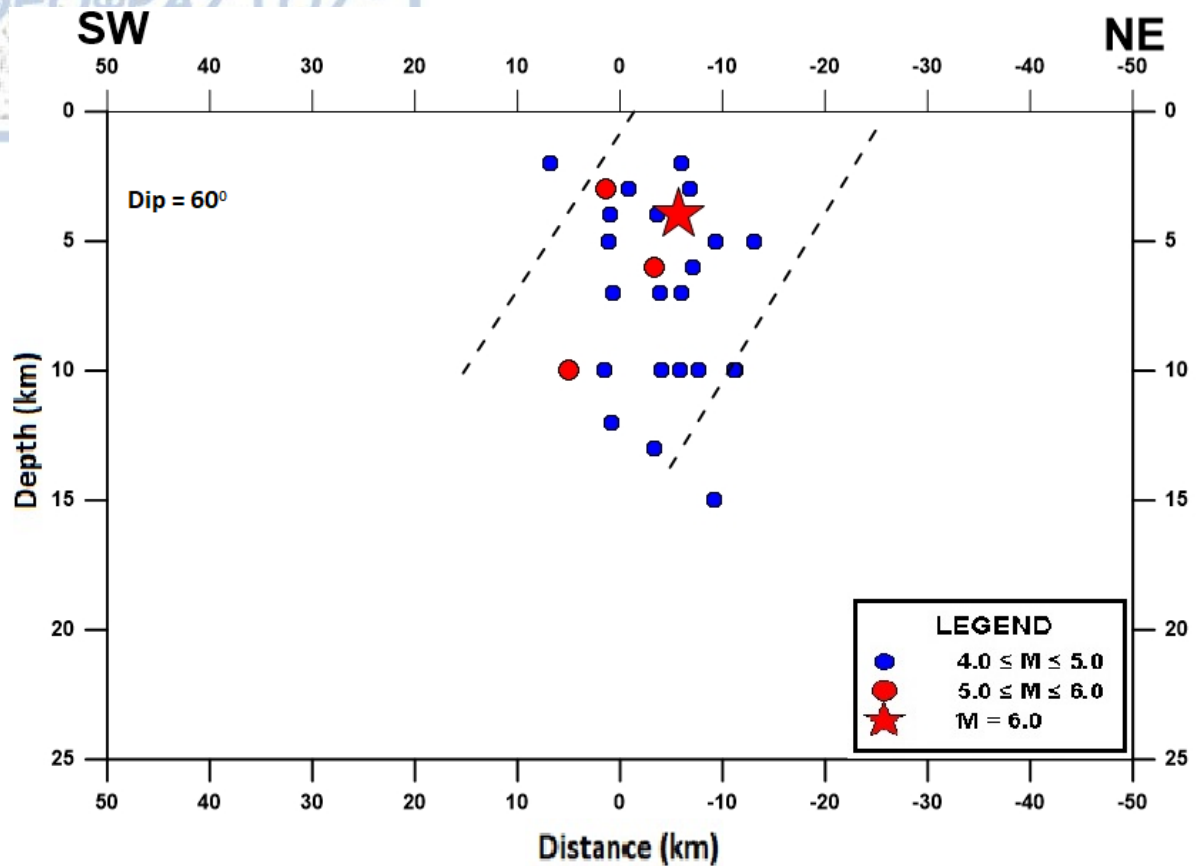
3.3.2 ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΗ ΚΑΤΑΝΟΜΗ

Με σκοπό να μελετηθούν τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά των ρηγμάτων, κατασκευάστηκαν οι διαμήκεις και οι εγκάρσιες τομές για τις υπό μελέτη ακολουθίες. Η διαμήκης τομή προκύπτει από την προβολή των εστιών σε κατακόρυφο επίπεδο παράλληλο με τη διεύθυνση του σεισμικού ρήγματος (σεισμογόνου χώρου). Η

εγκάρσια τομή προκύπτει από την προβολή των εστιών σε κατακόρυφο επίπεδο κάθετο στη διεύθυνση του σεισμικού ρήγματος. Από τη γεωγραφική κατανομή υπολογίζεται ότι η παράταξη του ρήγματος είναι $\sim 142^\circ$ ΒΔ – ΝΑ, για την ακολουθία του Αυγούστου. Αντίστοιχη διεύθυνση προκύπτει και για το ρήγμα που ευθύνεται για τον σεισμό του Οκτωβρίου, (παράταξη 149°). Συνεπώς και οι δυο κάθετες προς το ρήγμα τομές θα είναι διεύθυνσης ΒΑ – ΝΔ. Για την πρώτη ακολουθία κατασκευάστηκε στις Β⁰52Α (Σχήμα 3.18) ενώ για την δεύτερη στις Β⁰59Α (Σχήμα 3.20).

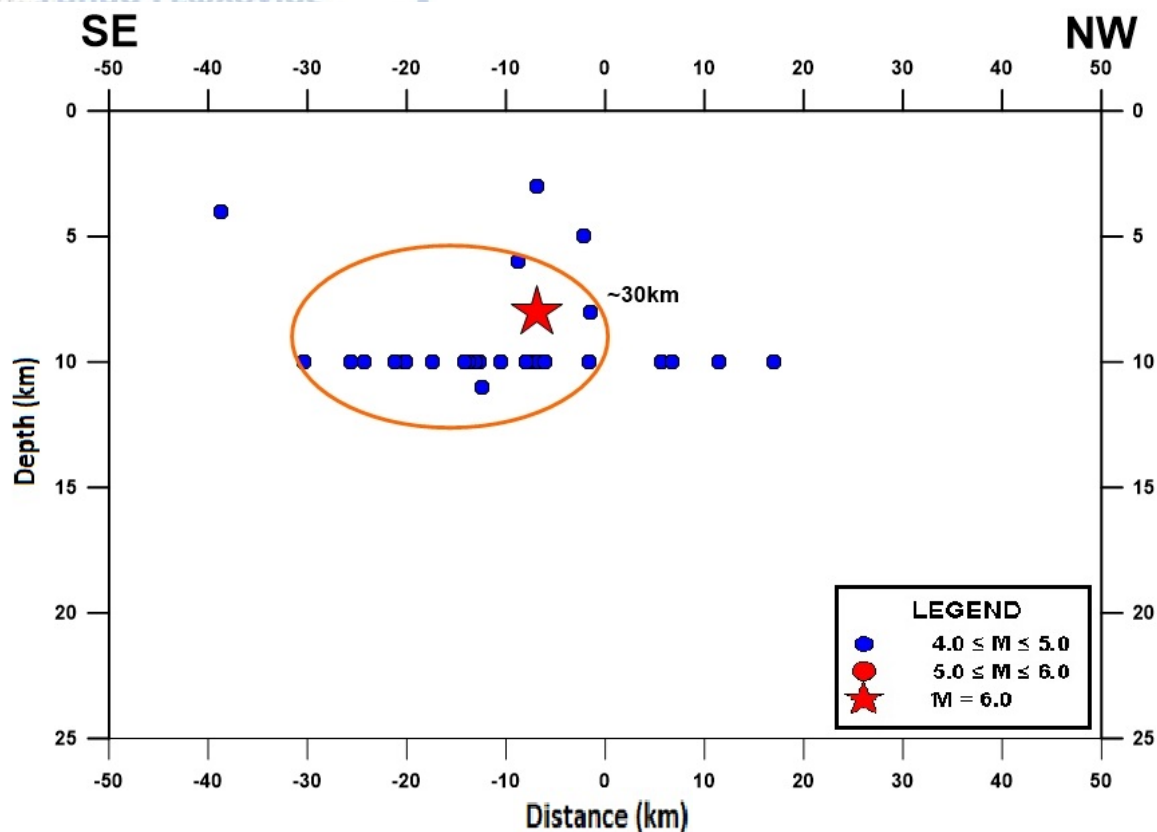


Σχήμα 3.17. Χωρική (κατακόρυφη) κατανομή των εστιών των μετασεισμών της ακολουθίας του Αυγούστου. Τομή παράλληλη προς το ρήγμα διεύθυνσης 142° (ΝΑ – ΒΔ).



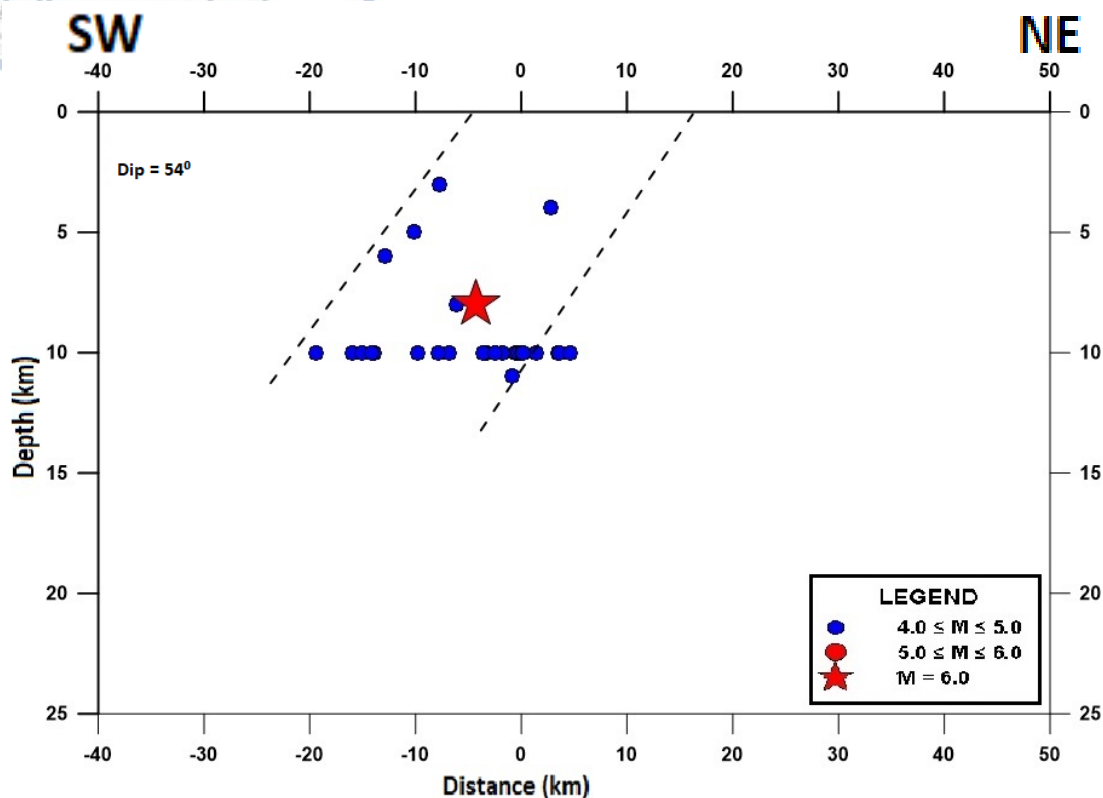
Σχήμα 3.18. Χωρική (κατακόρυφη) κατανομή των εστιών των μετασεισμών της ακολουθίας του Αυγούστου. Τομή κάθετη προς το ρήγμα διεύθυνσης 45° (BA-ΝΔ).

Η διαμήκης τομή της ακολουθίας του Αυγούστου, όπως προκύπτει από τις εστίες των σεισμών με $M \geq 4.0$, δείχνει ότι η διάσταση του σειсмоγόνου χώρου είναι της τάξης των 25km. Από την εγκάρσια τομή (Σχήμα 3.18) υπολογίστηκε ότι το ρήγμα βυθίζεται με γωνία περίπου 60°, ενώ η διεύθυνση βύθισής του φαίνεται να είναι ΔΝΔ.



Σχήμα 3.19. Χωρική (κατακόρυφη) κατανομή των εστιών των μετασεισμών της ακολουθίας του Οκτωβρίου. Τομή παράλληλη προς το ρήγμα διεύθυνσης 149° (NA – ΒΔ).

Όσον αφορά την ακολουθία του Οκτωβρίου φαίνεται ότι η ακρίβεια των εστιακών βαθών δεν ήταν ικανοποιητική. Αποτέλεσμα είναι οι τομές (Σχήμα 3.19 & 3.20) να μη δείχνουν σαφή εικόνα του σεισμικού ρήγματος.



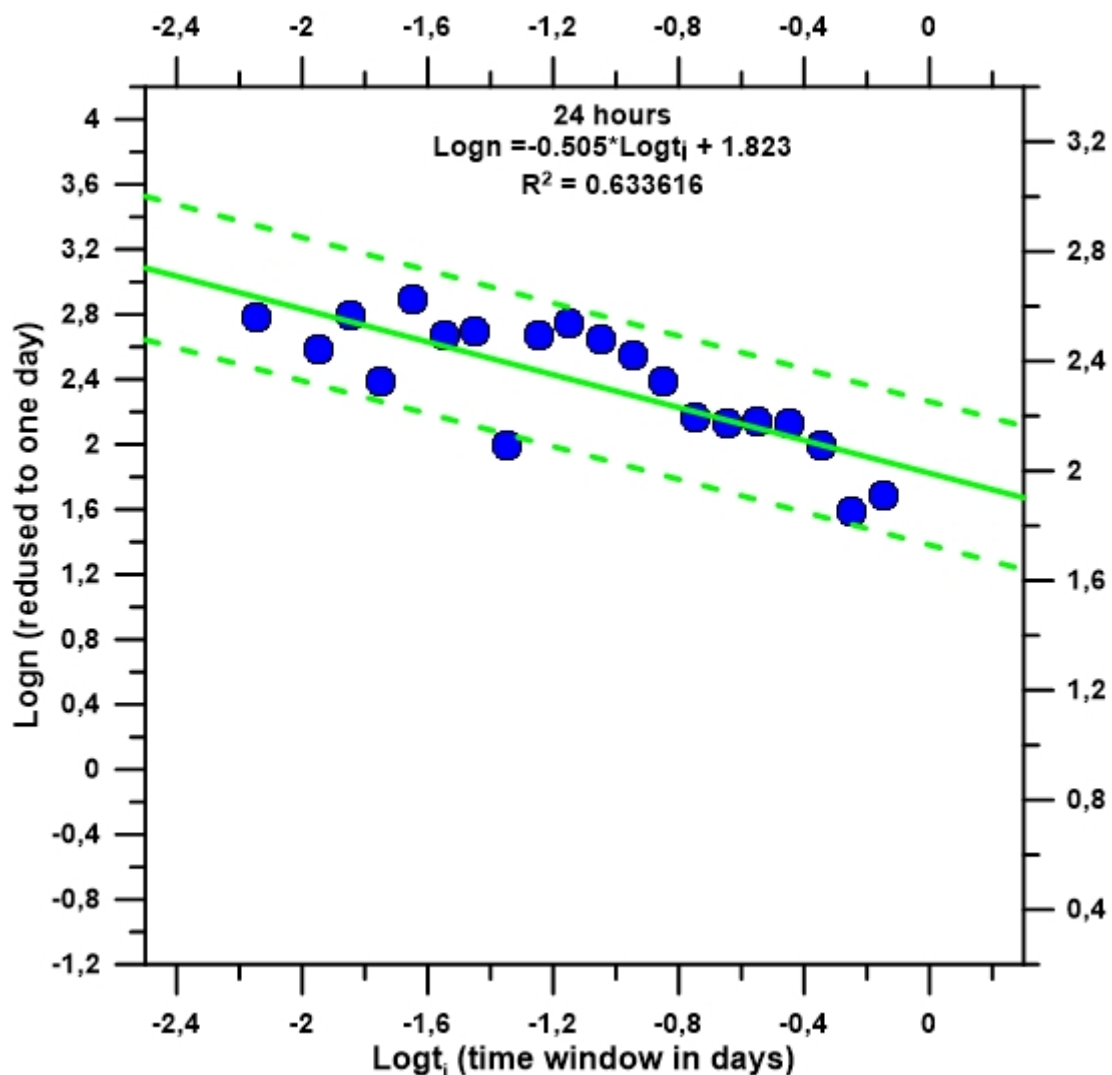
Σχήμα 3.20. Χωρική (κατακόρυφη) κατανομή των εστιών των μετασεισμών της ακολουθίας του Οκτωβρίου. Τομή κάθετη προς το ρήγμα διεύθυνσης 59° (BA-ND).

3.4 ΧΡΟΝΙΚΗ ΚΑΤΑΝΟΜΗ

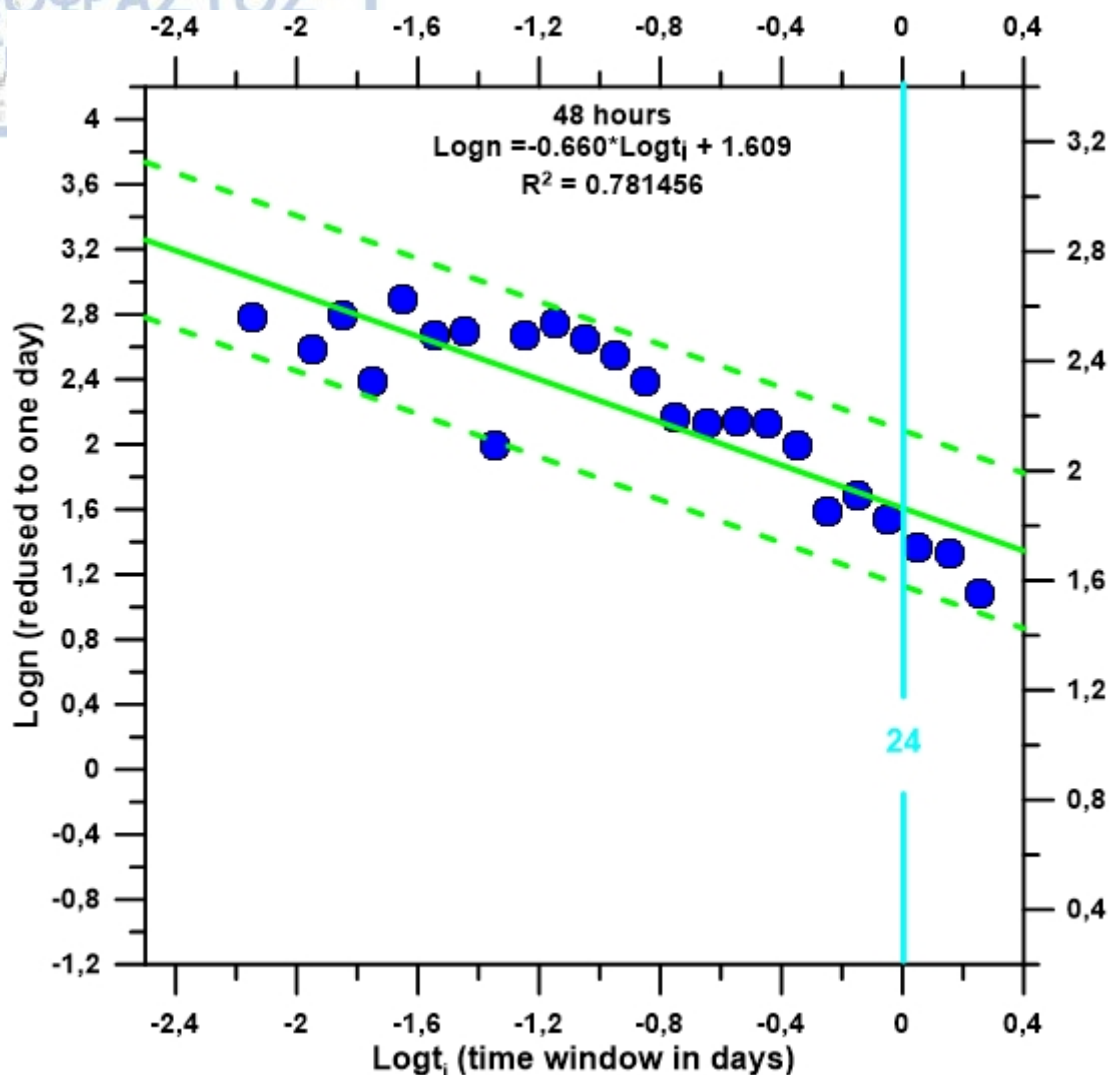
Ο ρυθμός με τον οποίον απομειώνονται οι σεισμοί-μέλη μιας ακολουθίας υπολογίζεται με την σχέση (1.19). Σε περίπτωση που η ακολουθία είναι μη ομαλά εξελισσόμενη, εκδηλώνονται δηλαδή περισσότεροι σεισμοί από τους αναμενόμενους, αναμένονται σημεία πάνω από το άνω όριο του διαστήματος εμπιστοσύνης 95%. Η τυπική μέση ευθεία και οι ευθείες $\pm 95\%$ συνήθως ορίζονται από την επεξεργασία των μετασεισμών των 48 πρώτων ωρών μιας ακολουθίας. Εννοείται ότι χρησιμοποιούνται μόνο οι σεισμοί που ακολουθούν τους κανόνες πληρότητας (2.8 για την ακολουθία του Αυγούστου, 3.1 για την ακολουθία του Οκτωβρίου).

Στην παρούσα εργασία παρουσιάζεται η χρονική κατανομή των 24 (Σχήμα 3.21 & Σχήμα 3.24) και των 48 ωρών, καθώς και για διάστημα 2 περίπου μηνών

(Σχήμα 3.23 & Σχήμα 3.26) και των δυο σεισμικών ακολουθιών που μελετώνται. Σε όλες τις περιπτώσεις (και μετά τη συμπλήρωση των πρώτων 48 ωρών) οι ευθείες που προέκυψαν από τα πρώτα 48ωρα υιοθετούνται για όλα τα μεγαλύτερα χρονικά διαστήματα.

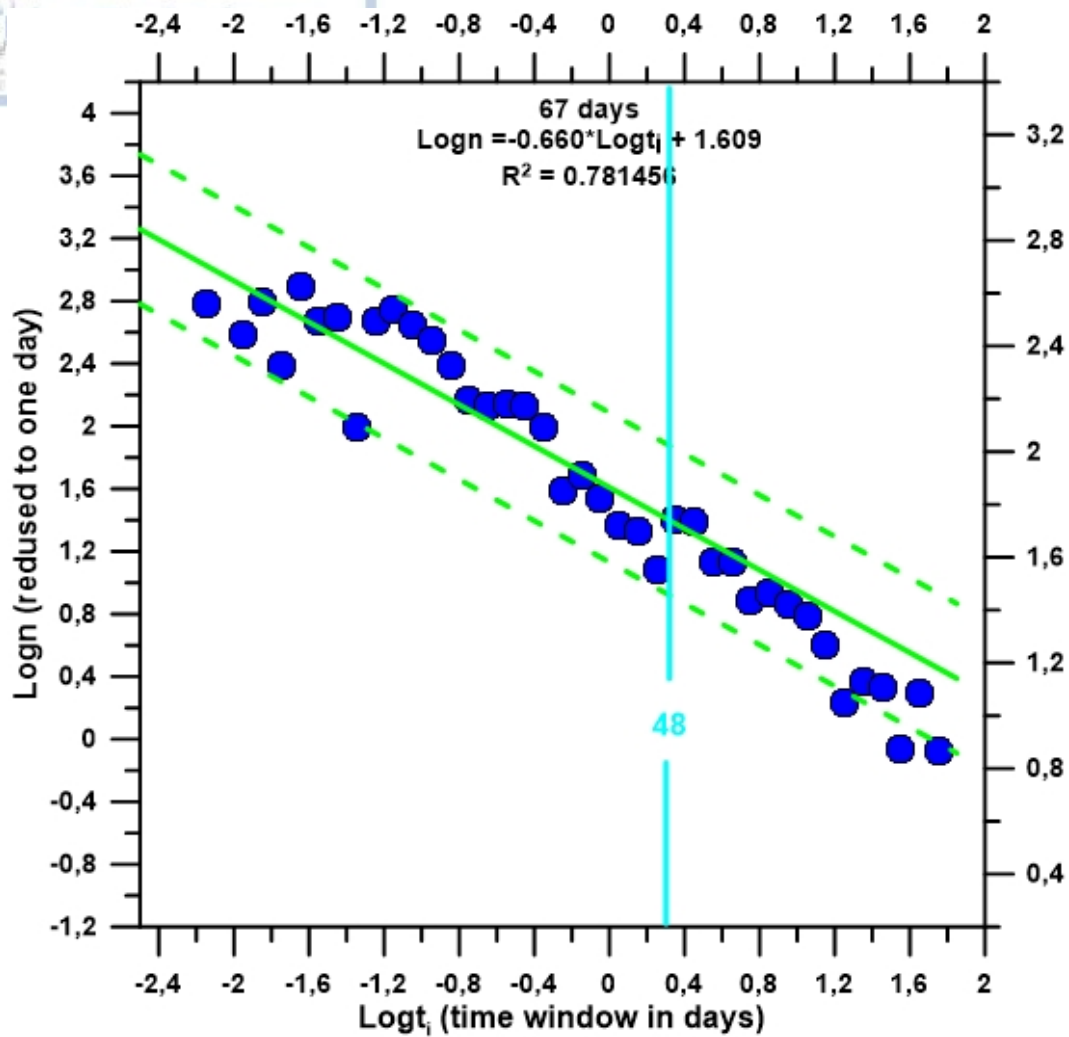


Σχήμα 3.21. Χρονική κατανομή των μετασεισμών της ακολουθίας του Αυγούστου για το χρονικό διάστημα των 24 ωρών.

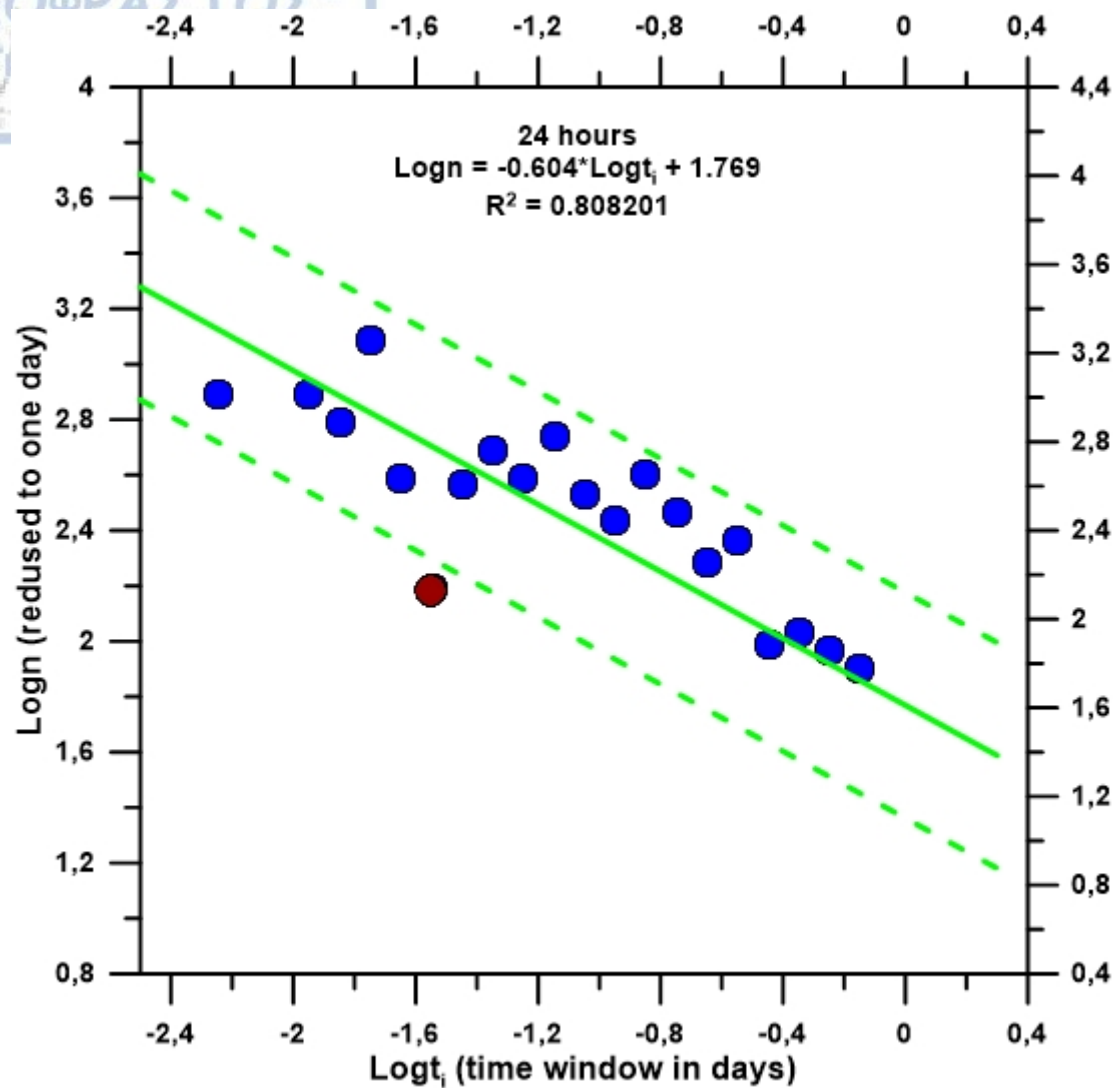


Σχήμα 3.22. Χρονική κατανομή των μετασεισμών της ακολουθίας του Αυγούστου για το χρονικό διάστημα των 48 ωρών.

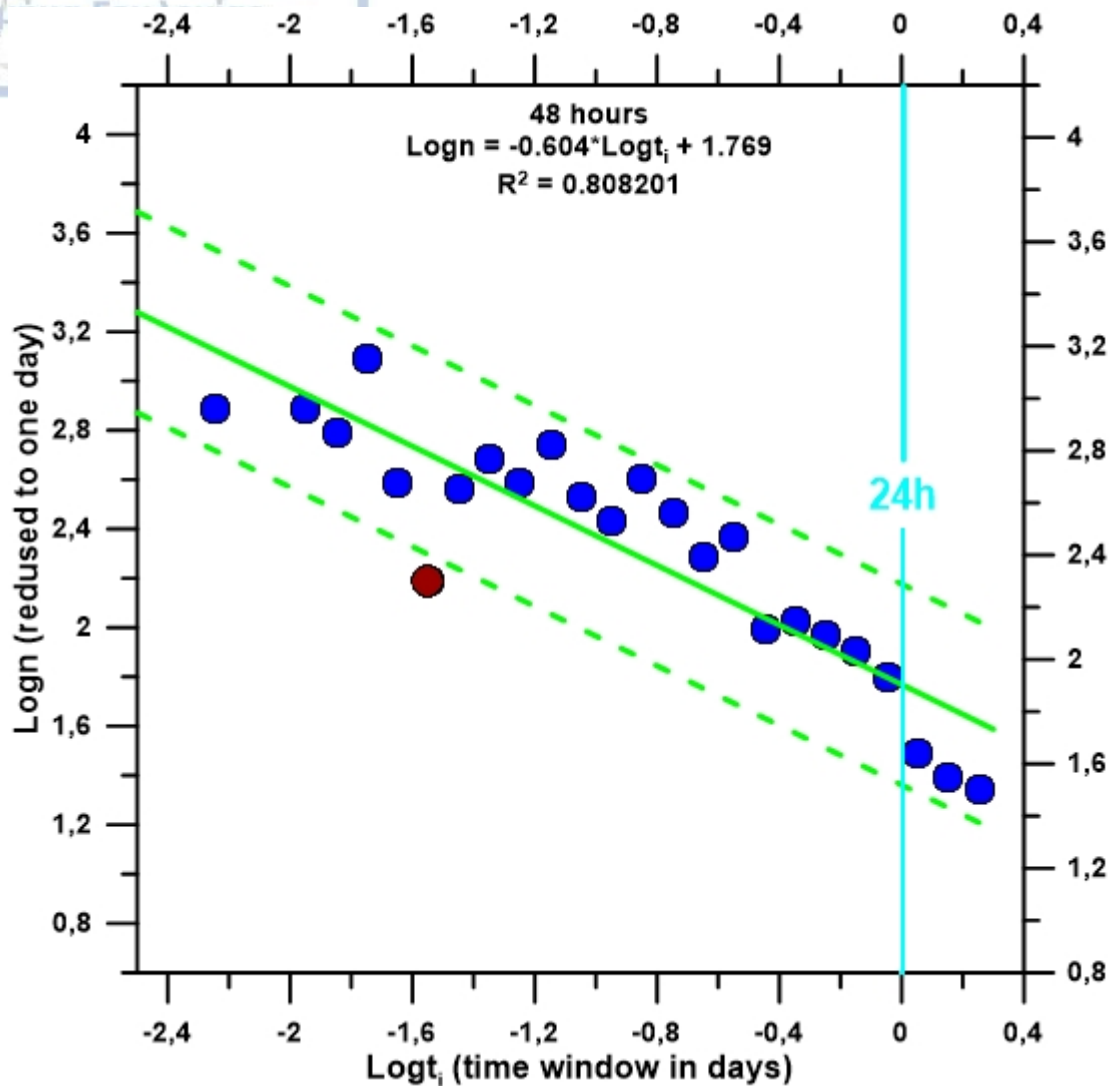
Η χρονική κατανομή για τις πρώτες 48 ώρες της ακολουθίας του Αυγούστου (Σχήμα 3.22), καθορίζει την ευθεία που εκφράζεται από τη σχέση $\text{Logn} = -0.660 \cdot \text{Logt}_i + 1.609$. Όπως διακρίνεται και στο Σχήμα 3.23, οι 67 πρώτες ημέρες (που αντιστοιχούν στο διάστημα έως και τον κύριο σεισμό του Οκτωβρίου) της ακολουθίας δεν δείχνουν ούτε αυτές κάποια μη ομαλή εξέλιξη του ρυθμού απομείωσης των μετασεισμών.



Σχήμα 3.23. Χρονική κατανομή των μετασεισμών της ακολουθίας του Αυγούστου για το χρονικό διάστημα των 67 ημερών.

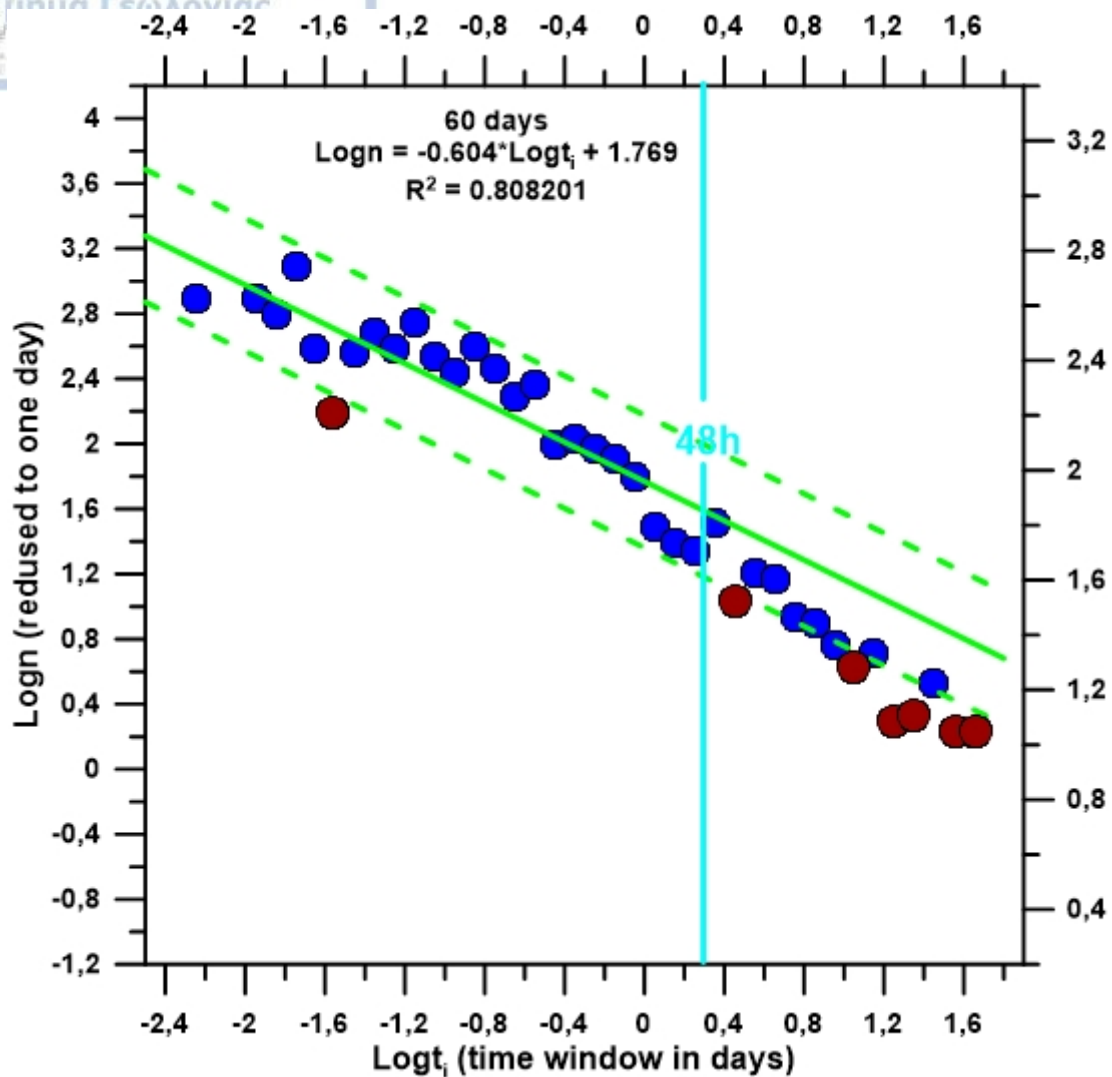


Σχήμα 3.24. Χρονική κατανομή των μετασεισμών της ακολουθίας του Οκτωβρίου για το χρονικό διάστημα των 24 ωρών.



Σχήμα 3.25. Χρονική κατανομή των μετασεισμών της ακολουθίας του Οκτωβρίου για το χρονικό διάστημα των 48 ωρών.

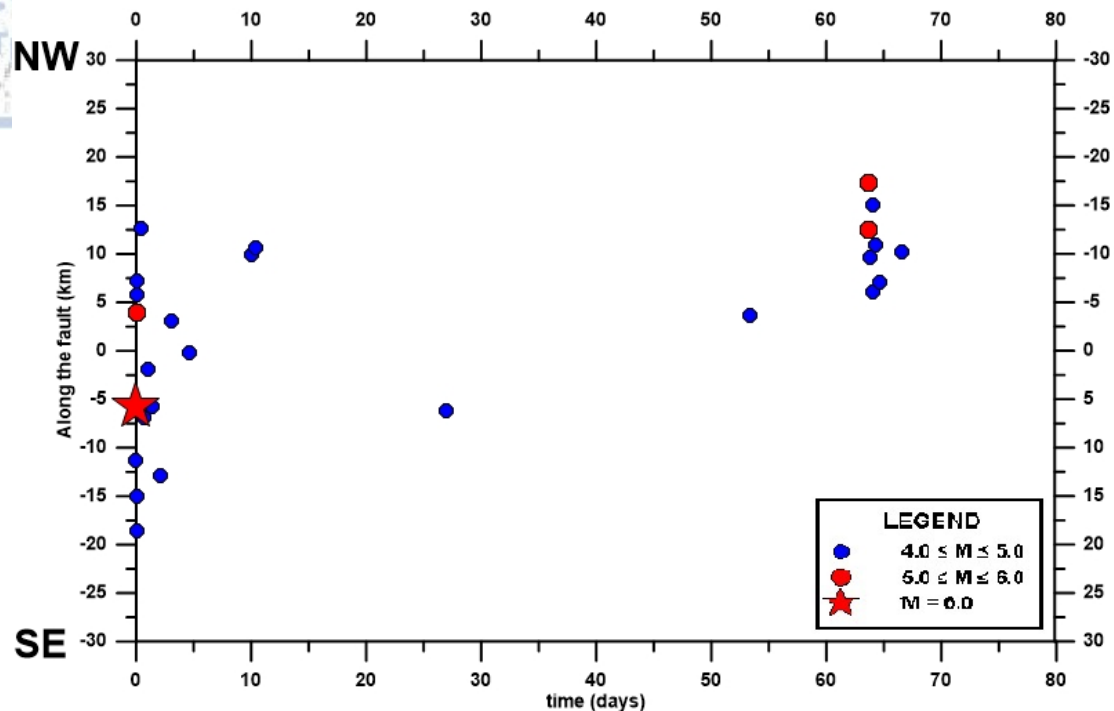
Η χρονική κατανομή των 48 πρώτων ωρών της ακολουθίας του Οκτωβρίου (Σχήμα 3.25) καθορίζει την ευθεία που εκφράζεται με τη σχέση $\text{Logn} = -0.604 \cdot \text{Logt}_i + 1.769$. Όπως φαίνεται στο Σχήμα 3.26, ο ομαλός ρυθμός απομείωσης των μετασεισμών υφίσταται και για τις επόμενες 60 ημέρες μετά την εκδήλωση του κύριου σεισμού.



Σχήμα 3.26. Χρονική κατανομή των μετασεισμών της ακολουθίας του Οκτωβρίου για το χρονικό διάστημα των 60 ημερών.

3.5 ΧΩΡΟ-ΧΡΟΝΙΚΗ ΚΑΤΑΝΟΜΗ

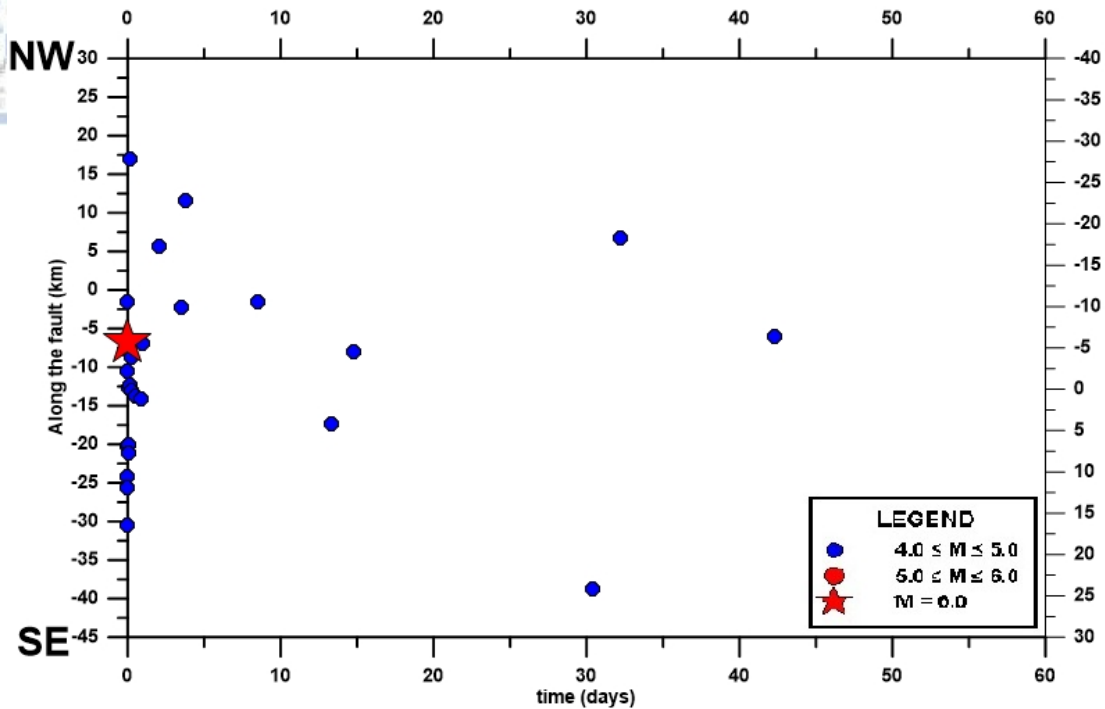
Η χωρο-χρονική κατανομή μελετάται για να καθοριστεί ο τρόπος διάδοσης της διάρρηξης πάνω στο σεισμικό ρήγμα. Στα παρακάτω σχήματα παρουσιάζονται και αναλύονται οι πορείες διάρρηξης και των δυο ακολουθιών. Τονίζεται ότι χρησιμοποιήθηκαν μόνον οι μετασεισμοί με μέγεθος $M \geq 4.0$. Είναι εμφανές ότι η πρώτη διάρρηξη είναι δι-κατεθυντική, ενώ η δεύτερη μόνο-κατευθυντική.



Σχήμα 3.27. Χωρο-χρονική κατανομή της μετασεισμικής ακολουθίας του Αυγούστου, για μεγέθη ≥ 4.0 .

Η διάρρηξη εκτείνεται τόσο κατά τη ΝΑ διεύθυνση όσο και κατά τη ΒΔ τις πρώτες ώρες μετά την εκδήλωση του κύριου σεισμού του Αυγούστου. Από το διάστημα των 5 ημερών, αν και τα στοιχεία δεν είναι ικανοποιητικά, παρατηρείται ότι οι μετασεισμοί τείνουν να εκδηλώνονται με κατεύθυνση προς το ΒΔ άκρο του σεισμικού ρήγματος. Αν και αρχικά ο διεγερμένος χώρος έχει μήκος που ξεπερνά τα 30km, περιορίζεται στη συνέχεια σε μήκος ελαφρώς μεγαλύτερο των 20km. Άρα υπάρχει σχετική συμφωνία με τα δεδομένα που προέκυψαν από τη μελέτη της χωρικής (οριζόντιας) κατανομής.

Ενώ μέχρι τις 63 μέρες τα δεδομένα είναι ελάχιστα, από εκεί κι έως τις 67 μέρες μετά τον κύριο σεισμό του Αυγούστου, υπάρχει μια έξαρση των μετασεισμικών γεγονότων προς το ΒΔ άκρο του ρήγματος. Σε εκείνο το διάστημα καταγράφεται και ο σεισμός που συνέβη στις 26 Οκτωβρίου 2016 με μέγεθος $M = 5.9$. Αρχικά θεωρήθηκε ο κύριος σεισμός μιας νέας ακολουθίας, έπειτα όμως διαπιστώθηκε ότι πρόκειται πιθανώς για τον μεγαλύτερο προσεισμό του κύριου σεισμού με $M=6.6$ που ακολούθησε στις 30 Οκτωβρίου 2016.



Σχήμα 3.28. Χωρο-χρονική κατανομή της μετασεισμικής ακολουθίας του Οκτωβρίου, για μεγέθη ≥ 4.0 .

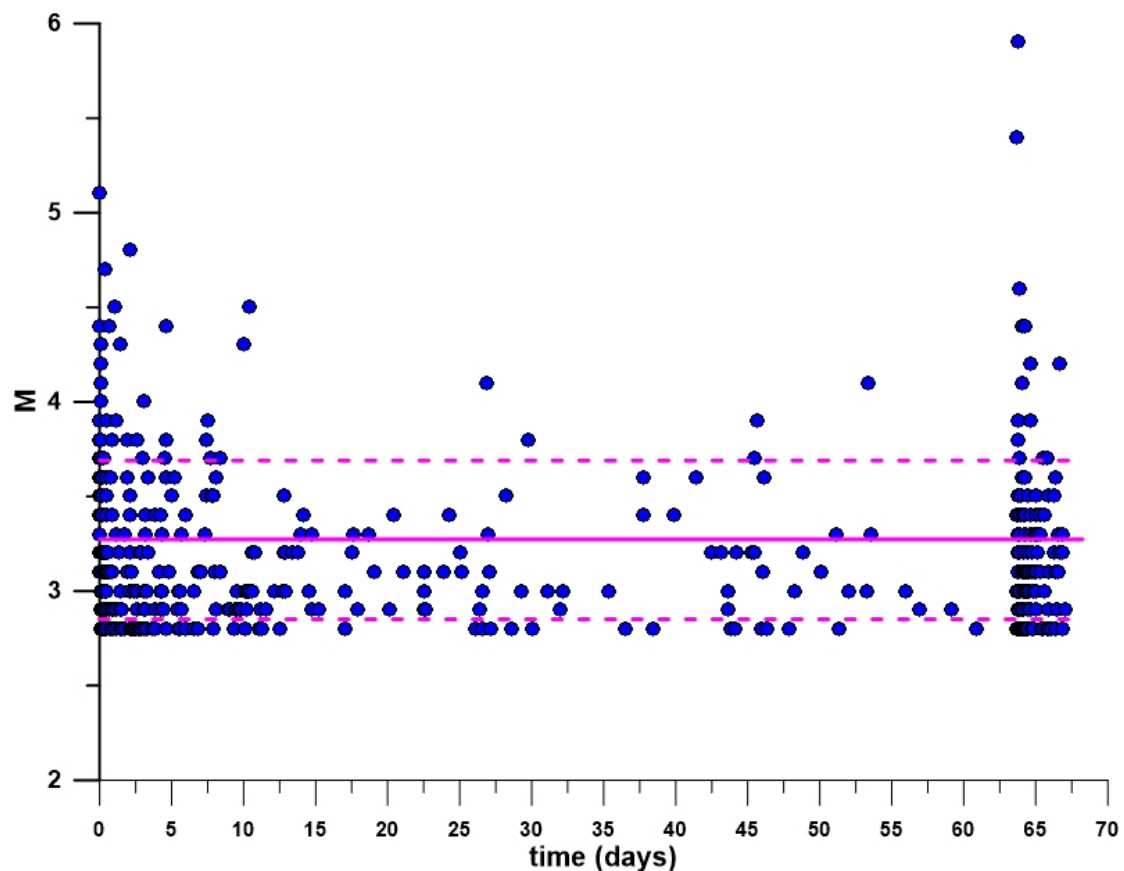
Φαίνεται ο κύριος σεισμός εκδηλώθηκε κοντά στο ΒΔ άκρο της περιοχής που είχε ήδη διεγερθεί. Η πλειοψηφία των μετασεισμών του εμφανίστηκε προς τα ΝΑ του σεισμογόνου χώρου. Επίσης εμφανίζονται κάποιοι μετασεισμοί προς ΒΔ, που πιθανόν εκδηλώθηκαν πάνω σε μικρότερα δευτερογενή ρήγματα και όχι στο κύριο σεισμικό ρήγμα.

3.6 ΜΕΣΟ ΜΕΓΕΘΟΣ

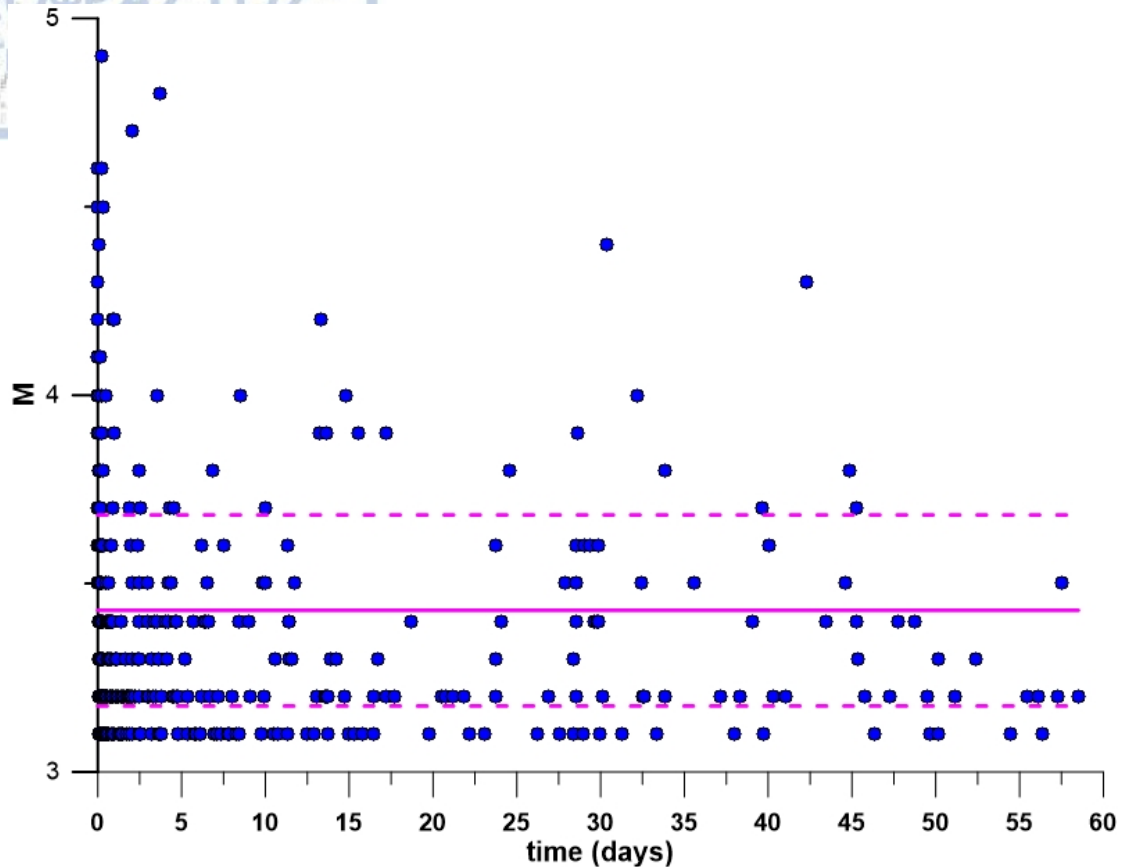
Στα παρακάτω διαγράμματα (Σχήμα 2.29 & Σχήμα 2.30) απεικονίζεται η διακύμανση των τιμών των μεγεθών των μετασεισμών των ακολουθιών του Αυγούστου και του Οκτωβρίου. Για την πρώτη προκύπτει ότι $\bar{M} \approx 3.3$, ενώ για την δεύτερη $\bar{M} \approx 3.4$. Δίνονται επίσης και τα διαστήματα εμπιστοσύνης 95% ($\pm 2sd$).

Παρατηρούμε ότι μετά τις πρώτες ώρες της ακολουθίας του Amatrice και μέχρι την 63^η μέρα τα μεγέθη των σεισμών κατανέμονται κατά κύριο λόγο γύρω από τη μέση τιμή (3.3) δίνοντας, έτσι, την εικόνα ομαλά εξελισσόμενης μετασεισμικής ακολουθίας. Μετά την 63^η μέρα παρατηρείται μια αύξηση της τιμής των μεγεθών που μπορεί να αποδοθεί στην έναρξη της προσεισμικής ακολουθίας του σεισμού της Norcia.

Τα μεγέθη της ακολουθίας του Οκτωβρίου παρά τη μεγάλη διασπορά που εμφανίζουν δεν παρουσιάζουν συστηματική απόκλιση από τη μέση τιμή (3.4) δίνοντας έτσι την εικόνα ομαλά εξελισσόμενης μετασεισμικής ακολουθίας.



Σχήμα 2.29. Διάγραμμα χρονικής μεταβολής των μεγεθών των σεισμών-μελών της ακολουθίας του Αυγούστου. Η συνεχής γραμμή αντιστοιχεί στην τιμή του μέσου μεγέθους ενώ οι δύο διακεκομμένες γραμμές ορίζουν το διάστημα εμπιστοσύνης 95%.



Σχήμα 2.30. Διάγραμμα χρονικής μεταβολής των μεγεθών των σεισμών-μελών της ακολουθίας του Οκτωβρίου. Η συνεχής γραμμή αντιστοιχεί στην τιμή του μέσου μεγέθους ενώ οι δύο διακεκομμένες γραμμές ορίζουν το διάστημα εμπιστοσύνης 95%.

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Α. Στις 26 Αυγούστου 2016, έγινε ισχυρός σεισμός στην περιοχή Amatrice της κεντρικής Ιταλίας, με μέγεθος $M=6.0$. Δυο μήνες αργότερα, στις 30 Οκτωβρίου 2016, ένας ακόμα ισχυρότερος σεισμός, μεγέθους $M=6.6$, έγινε στην περιοχή της Norcia, 20 km ΒΔ από το Amatrice. Ο αριθμός των θυμάτων ήταν μεγάλος και οι καταστροφές πολλές. Κτίρια με πολιτιστική αξία γκρεμίστηκαν ολοσχερώς, ενώ η μικρή πόλη του Amatrice καταστράφηκε σχεδόν εξ ολοκλήρου.

Η ανάλυση, επεξεργασία και μελέτη των δεδομένων αυτών των δυο σεισμικών ακολουθιών μας οδήγησαν σε κάποιες διαπιστώσεις και συμπεράσματα.

Σχετικά με την ακολουθία του Amatrice:

- Το σεισμογόνο ρήγμα έχει μήκος περίπου 25 km, με παράταξη 142° , έχει βύθιση προς τα ΔΝΔ και γωνία βύθισης $\sim 60^\circ$.
- Παρατηρώντας τα αποτελέσματα από την κατά μέγεθος κατανομή, προκύπτει τιμή της παραμέτρου b για τις πρώτες 48 ώρες -0,96..
- Από τα αποτελέσματα της χωρικής κατανομής σε οριζόντιο επίπεδο συμπεραίνεται ότι ο σεισμογόνος χώρος των μετασεισμών μεγέθους $M \geq 4.0$ έχει μήκος μεγαλύτερο από το αναμενόμενο για ένα σεισμό της τάξης μεγέθους του κύριου σεισμού της σεισμικής ακολουθίας του Amatrice ($M=6.0$).
- Η μελέτη της χρονικής κατανομής υποδεικνύει ομαλά εξελισσόμενη ακολουθία. Αυτό όμως ενδέχεται να οφείλεται στο χρονικό διάστημα που χωρίζει τους κύριους σεισμούς των δυο σεισμικών ακολουθιών.
- Η εικόνα της χωρο-χρονικής κατανομής των μετασεισμών παραπέμπει σε δι-κατευθυντικό ρήγμα, αφού η εξάπλωσή τους γίνεται τόσο προς το ΒΔ τμήμα του σεισμογόνου χώρου, όσο και προς το ΝΑ. Προς το τέλος της κατανομής αυτής παρατηρείται αύξηση της δραστηριότητας στο ΒΔ τμήμα του ρήγματος, κάτι που μπορεί να μεταφραστεί ως προσεισμική ακολουθία του σεισμού του Οκτωβρίου.
- Η κατανομή των τιμών των μεγεθών των μετασεισμών της ακολουθίας του Amatrice μέχρι την 63^η μέρα δείχνει ομαλή εξέλιξη της μετασεισμικής

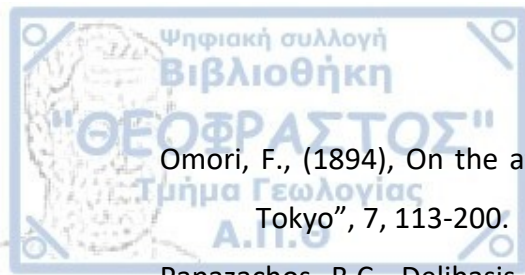
ακολουθίας. Η αύξηση των τιμών μετά την 63^η μέρα συνδέεται, πιθανά, με τη διαδικασία προετοιμασίας του σεισμού της Norcia που ακολούθησε.

Σχετικά με την ακολουθία της Norcia:

- Το σεισμογόνο ρήγμα έχει μήκος περίπου 30km, με παράταξη 149°, έχει βύθιση προς τα ΔΝΔ και γωνία βύθισης 54°.
- Από την κατά μέγεθος κατανομή προκύπτει μέση τιμή της παραμέτρου b ίση με -1,2. Η τιμή αυτή δικαιολογείται από μια μετασεισμική ακολουθία με κύριο σεισμό της τάξης μεγέθους $M=6.6$.
- Η χωρική κατανομή με βάση οριζόντιο επίπεδο έδειξε μήκος ρήγματος ~30km. Το μήκος αυτό είναι αναμενόμενο για ένα σεισμό τέτοιου μεγέθους ($M=6.6$).
- Η μελέτη της χρονικής κατανομής παρουσιάζει σταθερό ρυθμό απομείωσης των μετασεισμών της σεισμικής ακολουθίας.
- Από τη χωρο-χρονική κατανομή των μετασεισμών παρατηρείται ρήγμα μονοκατευθυντικό, με διάδοση της διάρρηξης προς τα ΝΑ. Ορισμένοι μετασεισμοί που συνέβησαν προς τα ΒΔ πιθανώς να οφείλονται σε δραστηριότητα γειτονικών ρηγμάτων, τα οποία διεγέρθηκαν εξαιτίας της σεισμικής αυτής ακολουθίας.
- Τα μεγέθη των σεισμών της ακολουθίας του Οκτωβρίου δεν παρουσιάζουν συστηματική απόκλιση από τη μέση τιμή δίνοντας έτσι την εικόνα ομαλά εξελισσόμενης μετασεισμικής ακολουθίας.

Συνεκτιμώντας τα παραπάνω προκύπτει ότι το συνολικό μήκος της ρηξιγενούς ζώνης των δύο σεισμών που μελετήθηκαν είναι περίπου 45km. Το μήκος αυτό δικαιολογείται απόλυτα από τα μεγέθη των δύο κύριων σεισμών. Συστηματική παρακολούθηση και ανάλυση της σεισμικής δραστηριότητας θα μπορούσε, υπό προϋποθέσεις, να είχε οδηγήσει σε εκτίμηση της υψηλής πιθανότητας εκδήλωσης των σεισμών αυτών και να είχε οδηγήσει σε λήψη προληπτικών μέτρων που θα μετρίαζαν τις επιπτώσεις των σεισμών αυτών.

- Domenico A. Farabollini P., Giacompetti M., Materazzi M., Paggi S., Pambianchi G., Pierantoni P.P., Pistolesi E., Pitts A., Tondi E., (2016), The August 24th 2016 Accumoli earthquake: surface faulting and Deep-Seated Gravitational Slope Deformation (DSGSD) in the Monte Vettore area, "Geology Division, School of Sciences and Technology", 1-4.
- Falcucci E., Gori S., Galandi F., Fubeli G., Moro M., Saroli M., (2016), Active faults in the epi-central and mesoseismal M_L 6.0 24, 2016 Amatrice earthquake region, central Italy. Methodological and seismotectonic issues, "Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia", 2-4.
- Galli P., Peronace E., Bramerini F., Castenetto S., Naso G., Cassone F. Pallone F., (2016) The MCS intensity distribution of the devastating 24 August 2016 earthquake in central Italy (M_W 6.2), "Dipartimento della Protezione Civile Nazionale", 2-11.
- Gutenberg, B. and C.F. Richter (1944), Frequency of earthquakes in California, "Bulletin of the Seismological Society of America", 34, 185-188.
- Livio F., Michetti A.M., Vittori E., Gregory L., Piccardi L., Tondi., Roberts G and Central Italy Earthquake Working Group, (2016), Surface faulting during the August 24, 2016, Central Italy earthquake (M_w 6.0): preliminary results, "Università dell'Insubria", 2-5.
- Lomnitz C., (1966), Magnitude stability in earthquake sequences, "Bull. Seism. Soc. Am.", 56, 247-249
- Michele M., Di Stefano R., Chiaraluce L., Cattaneo M., De Gori P., Monachesi G., Latorre D., Marzorati S., Valoroso L., Ladina C., Chiarabba C., Lauciani V. and M. Fares (2016), The Amatrice 2016 seismic sequence: a preliminary look at the mainshock and aftershocks distribution, "Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia", 1-2.
- Mogi, K. (1962), Magnitude-Frequency Relationship for Elastic Shocks Accompanying Fractures of Various Materials and Some Related Problems in Earthquakes. Bulletin of the Earthquake Research Institute, "University of Tokyo", 47, 395-317.



Omori, F., (1894), On the after-shocks of earthquakes, "J . College S ci., Imp. Univ. Tokyo", 7, 113-200.

Papazachos, B.C., Delibasis, N., Laipis, N., Moumoulidis, G. and G. Purcaru, (1967), Aftershock sequences of some large earthquakes in the region of Greece, "Annal. Di Geofys.", 20, 1-93.

Papazachos B.C., (1974), Dependence of the seismic parameter b on the magnitude range, "Pure Appl. Geophys.", Vol. 112, 6, 1059–1065

Papazachos B.C., Kiratzi A.A., and B.G. Karacostas, (1997), Toward a Homogeneous Moment-Magnitude Determination for Earthquakes in Greece and the Surrounding Area, "Bulletin of the Seismological Society of America", Vol. 87, 2, 474-483.

Papazachos, B.C., Scordilis, E.M., Panagiotopoulos, D.G., Papazachos, C.B. and G.F. Karakaisis, (2004), Global relations between seismic fault parameters and moment magnitude of earthquakes, "Bulletin of the Geological Society of Greece", XXXVI, 3, 1482-1489, 2004.

Ranalli G, (1969), A statistical study of aftershock sequences, "Annali di Geofisica", 359-397

Tsapanos, T.M., Karakaisis, G.F., Hatzidimitriou, P.M. and Scordilis, E.M., (1988), On the probability of the time of occurrence of the largest aftershock and the largest foreshock in a seismic sequences, "Tectonophysics", 149, 177-180

Udias A., (1999), Principals of Seismology, 376-386.

Utsu, T., (1961), A statistical study on the occurrence of aftershocks, "Geoph. Magazine", 30, 521-605.

Καρακαϊσής, Γ.Φ., (1984), Συμβολή στη μελέτη των σεισμικών ακολουθιών στο Αιγαίο και τις γύρω περιοχές, "Διδ. Διατριβή. Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης"

Παπαζάχος, Β.Κ., Γ.Φ. Καρακαϊσής και Π.Μ. Χατζηδημητρίου, (2005), Εισαγωγή στη Σεισμολογία", 5, 177-193.



Ιστοσελίδες

<http://citypopulation.info/php/italy-lazio.php?cityid=057002>

http://www.geo.auth.gr/courses/ggp/mth1063e/pdf/8th_Chapter.pdf

<https://www.internazionale.it/notizie/2016/10/30/terremoto-norcia-crolli>

<http://www.bbc.co.uk/news/av/world-europe-37821998/italy-quake-drone-footage-shows-norcia-basilica-damage>

https://en.wikipedia.org/wiki/August_2016_Central_Italy_earthquake

https://en.wikipedia.org/wiki/October_2016_Central_Italy_earthquakes

https://en.wikipedia.org/wiki/2009_L'Aquila_earthquake

<http://abcnews.go.com/International/amatrice-town-hard-hit-italys-earthquake/story?id=41616175>

Φωτογραφίες Εξωφύλλου:

<http://edition.cnn.com/2016/10/30/europe/italy-earthquake/index.html>

<http://www.dailymail.co.uk/sciencetech/article-3756083/Italian-earthquake.html>

Παράρτημα

Κατάλογος σεισμών της ακολουθίας του Amatrice 2016 με $M \geq 2.8$

Year	MoDaHrMnSecs	Latitude	Longitude	Depth (km)	M
2016	0824013632.87	42.7230	13.1877	4	6.0
2016	0824014045.96	42.7928	13.1968	4	3.8
2016	0824014612.25	42.7613	13.1532	6	3.7
2016	0824015242.84	42.6570	13.2327	11	3.1
2016	0824015546.80	42.6059	13.2652	2	3.4
2016	0824015601.94	42.6404	13.1986	10	4.4
2016	0824020108.92	42.7856	13.1447	8	3.9
2016	0824020555.87	42.6072	13.2762	10	3.9
2016	0824020555.92	42.6352	13.3022	11	3.9
2016	0824020731.09	42.6243	13.1756	3	3.8
2016	0824020956.27	42.7417	13.1987	9	3.6
2016	0824021357.26	42.7730	13.1677	11	3.7
2016	0824021514.60	42.7976	13.1781	10	3.3
2016	0824021944.23	42.6817	13.1667	4	3.8
2016	0824022337.49	42.8436	14.0913	0	3.5
2016	0824022857.91	42.6263	13.2787	11	3.2
2016	0824023049.39	42.8052	13.1162	4	3.4
2016	0824023329.45	42.8413	13.1533	3	5.1
2016	0824024453.54	42.6368	13.2447	11	2.8
2016	0824024852.40	42.7948	13.1598	7	3.0
2016	0824025127.63	42.7596	13.1812	7	3.7
2016	0824025414.21	42.7390	13.1767	6	3.1
2016	0824025539.61	42.6512	13.2790	1	3.5
2016	0824025936.00	42.8104	13.1056	7	4.1
2016	0824030143.09	42.7652	13.2233	7	3.1
2016	0824030810.70	42.6123	13.2713	15	4.0
2016	0824030914.77	42.6962	13.2322	10	3.7
2016	0824031147.67	42.6352	13.2488	10	3.4
2016	0824031310.14	42.6995	13.2180	3	3.2
2016	0824031630.04	42.7255	13.1662	9	3.5
2016	0824031759.15	42.7617	13.1592	8	3.8
2016	0824031903.57	42.7862	13.2100	6	3.7
2016	0824032238.29	42.7693	13.1900	6	3.1
2016	0824032614.29	42.7500	13.1857	9	2.8
2016	0824033145.89	42.7533	13.1623	6	2.9

2016	0824034011.23	42.6522	13.2549	6	4.2
2016	0824034250.12	42.7728	13.2088	6	2.8
2016	0824034542.87	42.7317	13.1550	4	2.8
2016	0824034928.63	42.7882	13.2043	7	2.8
2016	0824035109.79	42.8133	13.1662	8	3.0
2016	0824035234.66	42.7113	13.2172	8	3.1
2016	0824035355.32	42.6647	13.2577	5	3.0
2016	0824035957.51	42.7220	13.2188	10	3.5
2016	0824040332.48	42.6645	13.2148	10	2.8
2016	0824040651.71	42.7959	13.0745	3	4.3
2016	0824041209.76	42.7823	13.2088	7	2.9
2016	0824041518.68	42.8183	13.1907	10	3.1
2016	0824042424.62	42.5687	13.2550	10	2.9
2016	0824042558.87	42.6413	13.2408	9	3.6
2016	0824042742.02	42.8192	13.1657	9	3.1
2016	0824043053.91	42.6402	13.2177	9	3.0
2016	0824043309.82	42.6283	13.2397	10	3.5
2016	0824043809.63	42.6352	13.2247	10	3.5
2016	0824044438.76	42.7352	13.1847	10	3.7
2016	0824045245.30	42.7302	13.1790	11	3.0
2016	0824045519.04	42.6008	13.2893	7	3.0
2016	0824045737.08	42.8388	13.0475	9	3.6
2016	0824045916.57	42.7207	13.2310	10	2.9
2016	0824050224.54	42.4597	13.2865	10	3.6
2016	0824052400.14	42.7563	13.2222	6	3.2
2016	0824052858.83	42.7278	13.1805	10	2.8
2016	0824053131.92	42.6735	13.2088	10	3.4
2016	0824053618.98	42.7968	13.1493	7	3.4
2016	0824053745.97	42.6012	13.2843	11	3.0
2016	0824054535.25	42.6493	13.2088	12	2.8
2016	0824060058.76	42.6115	13.3040	11	2.8
2016	0824062700.43	42.8110	13.1510	10	3.2
2016	0824065454.38	42.7877	13.1442	10	3.5
2016	0824070701.33	42.6040	13.2300	11	2.9
2016	0824071003.58	42.7783	13.1730	10	3.6
2016	0824072329.31	42.7958	13.3264	0	3.2
2016	0824072502.83	42.7193	13.2352	4	3.1
2016	0824072825.09	42.7063	13.1642	11	2.8
2016	0824074808.44	42.7770	13.2043	10	3.1
2016	0824075217.04	42.6428	13.2893	3	3.2
2016	0824075522.78	42.8127	13.1653	10	2.8
2016	0824080055.83	42.7293	13.2118	9	2.9

2016	0824080158.37	42.7760	13.1850	10	2.9
2016	0824085533.33	42.8265	13.2725	7	3.1
2016	0824085638.24	42.7848	13.1368	10	2.8
2016	0824090258.77	42.8187	13.1950	10	3.2
2016	0824090437.77	42.8112	13.1953	10	2.9
2016	0824092808.44	42.4708	13.2475	12	2.8
2016	0824093143.33	42.8123	13.1727	10	3.7
2016	0824094115.16	42.8212	13.1668	10	2.9
2016	0824094348.02	42.6618	13.2958	9	3.1
2016	0824100641.57	42.7437	13.1793	11	3.2
2016	0824100926.41	42.6535	13.3092	16	3.1
2016	0824101510.77	42.7160	13.2190	10	3.0
2016	0824102243.34	42.7562	13.1177	8	2.8
2016	0824103242.74	42.6030	13.2325	11	3.0
2016	0824105234.21	42.8225	13.2377	7	2.8
2016	0824110542.53	42.6432	13.2282	2	2.8
2016	0824113153.37	42.7458	13.1927	11	3.1
2016	0824114015.75	42.7358	13.1957	10	2.9
2016	0824115031.50	42.8989	13.0834	10	4.7
2016	0824115959.60	42.8313	13.1403	9	3.5
2016	0824120148.38	42.8243	13.1705	9	3.0
2016	0824120609.14	42.8327	13.1438	10	3.6
2016	0824121327.04	42.8282	13.1538	10	2.9
2016	0824121826.98	42.8207	13.1248	8	3.4
2016	0824132003.58	42.8192	13.2235	8	2.8
2016	0824133313.56	42.6888	13.3113	6	3.1
2016	0824140222.43	42.7989	13.1462	10	3.9
2016	0824140330.21	42.8010	13.1790	10	3.2
2016	0824144510.40	42.7288	13.1973	9	3.2
2016	0824153927.78	42.7973	13.2405	9	3.1
2016	0824163447.34	42.7352	13.2375	9	3.1
2016	0824172953.18	42.6055	13.2763	10	2.9
2016	0824174611.21	42.7279	13.2082	10	4.4
2016	0824183606.94	42.6887	13.1660	10	3.1
2016	0824184230.10	42.7757	13.1663	10	3.1
2016	0824185841.99	42.7898	13.1903	9	2.8
2016	0824191018.78	42.6502	13.2383	11	2.8
2016	0824192602.61	42.8012	13.2107	9	2.8
2016	0824202135.96	42.7815	13.1542	8	3.6
2016	0824210551.79	42.7778	13.1855	9	2.8
2016	0824212748.34	42.7587	13.1047	8	2.9
2016	0824214544.84	42.8038	13.1722	10	3.1

2016	0824232206.70	42.6713	13.1430	8	3.8
2016	0824232455.82	42.7505	13.2323	9	3.4
2016	0824233210.69	42.6377	13.2242	10	2.8
2016	0825001234.74	42.6063	13.3035	11	2.9
2016	0825031718.70	42.8024	13.2002	5	4.5
2016	0825041211.78	42.6913	13.2343	10	3.3
2016	0825041326.95	42.6148	13.2938	7	2.9
2016	0825045141.02	42.6397	13.2478	10	3.9
2016	0825045321.90	42.8120	13.2123	8	2.8
2016	0825045657.35	42.7905	13.2153	8	2.9
2016	0825085937.36	42.6137	13.3032	7	3.2
2016	0825112159.73	42.8148	13.1697	9	2.9
2016	0825122158.35	42.6147	13.2597	15	3.0
2016	0825123607.30	42.6615	13.1407	5	4.3
2016	0825124755.75	42.6230	13.2915	7	2.8
2016	0825133455.37	42.6050	13.2940	10	2.8
2016	0825152229.96	42.8432	13.2212	8	2.9
2016	0825182908.00	42.6300	13.3088	8	2.8
2016	0825194044.96	42.5908	13.2883	10	3.3
2016	0825224623.69	42.8062	13.2230	8	3.1
2016	0825234955.44	42.7968	13.2355	8	3.6
2016	0826000409.15	42.6667	13.2873	10	3.8
2016	0826040803.10	42.6975	13.2305	11	3.0
2016	0826042109.87	42.6153	13.2952	8	3.0
2016	0826042827.50	42.6473	13.2235	5	4.8
2016	0826044121.43	42.6230	13.2982	11	2.8
2016	0826050830.60	42.7778	13.1587	10	3.2
2016	0826051705.34	42.7528	13.2125	10	3.4
2016	0826053252.13	42.7668	13.1495	8	3.5
2016	0826054507.36	42.5985	13.2975	7	2.8
2016	0826055034.18	42.6298	13.2967	7	3.1
2016	0826060811.94	42.7592	12.8647	7	2.8
2016	0826092410.42	42.7792	13.1785	10	2.8
2016	0826110644.73	42.6143	13.3040	11	3.0
2016	0826120801.60	42.7922	13.2373	7	2.8
2016	0826143340.86	42.6687	13.2097	15	2.8
2016	0826151623.74	42.6017	13.2925	7	3.0
2016	0826160415.26	42.5883	13.2957	9	2.9
2016	0826160529.01	42.6927	13.1477	10	3.8
2016	0826171155.48	42.6412	13.2992	11	2.8
2016	0826185138.17	42.6862	13.1742	10	2.8
2016	0826202628.32	42.7930	13.1303	8	2.8

2016	0826204912.32	42.7940	13.1532	10	3.2
2016	0826222900.68	42.8467	13.2177	9	2.8
2016	0826231336.89	42.8423	13.2577	8	3.2
2016	0827012639.66	42.8362	13.2453	9	3.7
2016	0827025100.00	42.8327	13.1578	4	4.0
2016	0827025223.72	42.6158	13.3100	10	3.0
2016	0827030007.42	42.8415	13.2467	9	2.9
2016	0827033010.93	42.7367	13.1903	10	2.8
2016	0827045644.77	42.7487	13.2477	10	2.9
2016	0827060829.94	42.8383	13.2357	7	3.3
2016	0827062030.25	42.5475	13.3098	16	3.4
2016	0827074412.80	42.7658	13.2272	9	3.0
2016	0827082716.37	42.4653	13.2447	11	2.8
2016	0827083050.03	42.8157	13.2393	9	2.8
2016	0827094138.39	42.7925	13.1815	9	3.2
2016	0827104014.01	42.8382	13.2462	7	3.6
2016	0827175027.05	42.8132	13.2083	11	2.8
2016	0827211311.07	42.6067	13.2983	10	2.9
2016	0827212657.77	42.6557	13.3328	10	2.8
2016	0827213142.57	42.5932	13.2643	11	3.4
2016	0828051634.23	42.6032	13.3092	10	3.1
2016	0828061310.36	42.6252	13.3103	9	2.9
2016	0828063719.59	42.7225	13.2083	10	3.4
2016	0828075953.72	42.7960	13.2352	8	3.0
2016	0828091817.98	42.6265	13.2948	8	3.3
2016	0828102532.63	42.7788	13.1073	11	3.0
2016	0828121750.74	42.7898	13.2448	11	2.9
2016	0828130734.50	42.6665	13.2488	12	3.7
2016	0828153738.86	42.7732	13.1192	11	3.6
2016	0828155535.71	42.7975	13.1733	3	4.4
2016	0828162518.57	42.7323	13.2470	10	2.8
2016	0828164202.32	42.8814	13.1020	4	3.8
2016	0828202230.71	42.7398	13.2032	9	3.1
2016	0829014426.66	42.8410	13.1372	7	3.5
2016	0829062010.67	42.7482	13.1865	9	3.6
2016	0829103135.94	42.7817	13.1247	12	2.9
2016	0829132928.35	42.7268	13.1370	8	3.0
2016	0829142725.39	42.6315	13.3012	9	2.8
2016	0829162321.50	42.8025	13.2285	8	2.8
2016	0829164352.52	42.8287	13.1483	9	3.0
2016	0829175222.57	42.8628	13.2198	8	3.3
2016	0829190451.85	42.8512	13.2232	8	2.9

2016	0830000940.29	42.7465	13.1458	8	2.8
2016	0830003555.73	42.8038	13.1408	9	3.4
2016	0830140532.12	42.7310	13.1852	13	3.0
2016	0830145455.36	42.8232	13.1473	11	2.8
2016	0830221115.68	42.8212	13.2613	10	3.1
2016	0830223741.36	42.8662	13.2140	9	2.8
2016	0831014148.95	42.8060	13.1587	11	3.1
2016	0831094616.13	42.7568	13.1792	11	3.3
2016	0831112601.40	42.8397	13.1358	11	3.8
2016	0831115231.04	42.8663	13.2363	10	3.5
2016	0831132304.10	42.7577	13.2360	12	3.9
2016	0831181252.62	42.8627	13.2213	3	3.7
2016	0831200802.87	42.8278	13.1347	11	3.5
2016	0831214252.10	42.7795	13.1653	11	3.5
2016	0831221409.63	42.7475	13.2387	11	3.5
2016	0831225422.68	42.7523	13.2287	11	2.8
2016	0901015552.36	42.8470	13.1813	15	3.1
2016	0901034322.73	42.7747	13.1627	10	2.9
2016	0901035303.90	42.6232	13.3153	10	3.6
2016	0901094029.41	42.8130	13.2358	10	3.1
2016	0901110243.78	42.8100	13.1685	11	3.1
2016	0901113557.20	42.5637	13.3038	12	3.7
2016	0901233021.64	42.8418	13.2365	10	2.9
2016	0902025503.90	42.8452	13.2065	9	2.9
2016	0902092649.33	42.8663	13.2385	9	2.8
2016	0902123547.82	42.7552	13.1848	11	2.9
2016	0902143818.77	42.8627	13.1193	6	2.9
2016	0902152327.88	42.7507	13.1422	9	3.0
2016	0902192617.17	42.8237	13.1552	11	2.9
2016	0902210015.10	42.6258	13.3197	8	2.9
2016	0903013413.40	42.8192	13.0567	2	4.3
2016	0903031914.04	42.8117	13.1997	8	3.0
2016	0903042627.92	42.9215	13.2488	10	2.8
2016	0903054139.30	42.8335	13.1593	11	2.9
2016	0903061043.56	42.9287	13.2482	10	3.0
2016	0903091635.26	42.9292	13.2548	10	3.0
2016	0903101852.70	42.8804	13.0948	12	4.5
2016	0903103110.99	42.8627	13.2142	9	3.0
2016	0903152626.71	42.8677	13.2167	9	3.0
2016	0903163222.73	42.8592	13.2253	9	3.2
2016	0903212016.35	42.7875	13.1118	10	3.2
2016	0904042643.88	42.7632	13.2717	14	2.8

2016	0904053135.35	42.8513	13.2303	9	2.9
2016	0904082508.94	42.7650	13.2963	15	2.8
2016	0904144024.89	42.8563	13.2283	9	2.9
2016	0905042222.44	43.0465	12.9795	0	3.0
2016	0905144905.37	42.6328	13.3067	11	2.8
2016	0905184251.73	42.7688	13.1708	13	3.0
2016	0905195937.67	42.8557	13.2362	9	3.2
2016	0905213611.25	42.6523	13.3400	10	3.5
2016	0905224946.28	42.8300	13.0030	10	3.0
2016	0906001811.10	42.6557	13.3358	10	3.2
2016	0906095626.58	42.7602	13.1885	10	3.2
2016	0906205239.71	42.8643	13.2232	10	3.2
2016	0907000410.56	42.7348	13.1918	13	3.3
2016	0907050847.60	42.8002	13.2043	10	3.4
2016	0907143911.94	42.6672	13.2963	12	3.0
2016	0907181326.63	42.8028	13.2428	10	3.3
2016	0907192231.28	42.8397	13.1358	11	2.9
2016	0908062553.50	42.9658	13.1241	9	2.9
2016	0910022939.63	42.8370	13.2627	9	3.0
2016	0910030516.87	42.7233	13.2107	11	2.8
2016	0910142336.64	42.9557	13.1610	9	3.2
2016	0910170002.86	42.7863	13.2352	9	3.3
2016	0910223243.93	42.7763	13.1368	10	2.9
2016	0911183903.62	42.6899	13.1634	10	3.3
2016	0912021059.68	42.7975	13.2245	7	3.1
2016	0913052608.14	42.7847	13.1692	10	2.9
2016	0913110420.99	42.5838	13.2045	16	3.4
2016	0914030744.26	42.7337	13.1787	14	3.1
2016	0915144046.30	42.7746	13.1758	10	3.1
2016	0915144054.30	42.6900	13.0500	10	3.1
2016	0915144351.60	42.7849	13.0934	10	3.0
2016	0915144423.70	42.7819	13.1673	9	2.9
2016	0915172753.80	42.7430	13.0823	11	2.9
2016	0916215702.32	42.8202	13.2435	7	3.1
2016	0917073521.90	42.8442	13.2328	11	3.4
2016	0918015535.92	42.6768	13.2855	10	3.2
2016	0918035149.61	42.8212	13.2498	8	3.1
2016	0919050237.05	42.7992	13.2062	9	2.8
2016	0919113405.45	42.7760	13.1327	8	2.9
2016	0919161714.78	42.6760	13.2102	11	2.8
2016	0919164955.57	42.6788	13.2877	9	3.0
2016	0919233426.55	42.7166	13.1893	7	4.1

2016	0920012053.25	42.6772	13.2902	9	3.3
2016	0920033002.52	42.8055	13.1553	10	3.1
2016	0920053946.95	42.8082	13.2058	10	2.8
2016	0921070723.91	42.8052	13.1518	10	3.5
2016	0921154907.17	42.8587	13.0693	10	2.8
2016	0922075420.66	42.7853	13.1263	10	3.0
2016	0922200354.96	42.7580	13.1853	11	3.8
2016	0923024702.82	42.7503	13.1867	8	2.8
2016	0924052105.87	42.7848	13.1313	7	3.0
2016	0925003259.51	42.8268	13.1518	9	2.9
2016	0925064629.18	42.7427	13.2278	11	3.0
2016	0928100409.98	42.8730	13.1633	9	3.0
2016	0929140652.75	42.8808	13.2388	9	2.8
2016	0930192228.19	42.8960	13.2482	9	3.4
2016	0930193837.66	42.8950	13.2435	9	3.6
2016	1001115609.50	42.9088	13.2527	10	2.8
2016	1002234707.03	42.7897	13.2303	9	3.4
2016	1004124136.48	42.8543	13.0034	10	3.6
2016	1005122931.04	42.6382	13.2192	13	3.2
2016	1006053418.31	42.7935	13.2173	10	3.2
2016	1006160944.01	42.8793	13.1408	9	3.0
2016	1006175414.62	42.8990	13.2487	9	2.9
2016	1006212956.44	42.6223	13.3597	18	2.8
2016	1007043442.11	42.7827	13.1307	10	2.8
2016	1007074606.40	42.9013	13.2503	9	3.2
2016	1008081501.83	42.7802	13.2003	10	3.2
2016	1008121903.25	42.7502	13.1823	9	3.7
2016	1008124058.92	42.7508	13.1932	11	3.2
2016	1008181110.52	42.7210	13.1054	7	3.9
2016	1008235709.08	42.7608	13.1180	10	2.8
2016	1009024728.86	42.7442	13.1948	10	3.1
2016	1009044242.27	42.7437	13.1953	10	3.6
2016	1009103302.64	42.6323	13.2120	11	2.8
2016	1010230051.99	42.5882	13.2992	10	2.8
2016	1011073250.73	42.8562	13.2533	9	3.0
2016	1011212410.30	42.8672	13.0747	8	3.2
2016	1013045649.91	42.8657	13.0728	9	3.1
2016	1014040920.21	42.6318	13.3290	11	3.3
2016	1014084548.09	42.8678	13.0707	9	2.8
2016	1015013054.55	42.8918	13.2560	9	3.0
2016	1016074826.12	42.7497	13.1762	9	3.0
2016	1016093237.21	42.7370	13.0769	10	4.1

2016	1016142824.48	42.8465	13.1532	10	3.3
2016	1019005212.47	42.8102	13.2312	9	3.0
2016	1020005450.97	42.7383	13.1912	10	2.9
2016	1022052456.26	42.7707	13.1322	6	2.9
2016	1023222241.00	42.6225	13.3177	9	2.8
2016	1026171037.21	42.8580	13.0528	6	5.4
2016	1026173638.33	42.8660	13.1313	8	2.8
2016	1026175503.34	42.8558	13.0960	9	3.0
2016	1026183434.14	42.8712	13.1428	8	3.0
2016	1026183919.42	42.8808	13.0925	10	3.4
2016	1026190029.91	42.9073	13.1157	9	3.2
2016	1026190547.02	42.8893	13.1275	9	3.0
2016	1026191808.43	42.9564	13.0666	10	5.9
2016	1026192518.79	42.9357	13.0747	9	3.9
2016	1026192754.21	42.8898	13.0818	10	3.4
2016	1026193426.67	42.9472	13.0557	10	3.3
2016	1026194344.61	42.8280	12.9906	10	3.8
2016	1026194926.57	42.9647	13.0598	10	3.5
2016	1026195327.37	42.8632	13.2208	9	3.1
2016	1026200016.32	43.0412	13.1072	8	2.8
2016	1026200329.14	42.9852	13.1250	9	3.4
2016	1026200636.66	42.9233	13.1072	10	3.1
2016	1026200911.31	42.9843	13.1183	8	2.9
2016	1026201100.65	42.9807	13.1107	10	3.0
2016	1026201241.07	43.0172	13.1230	8	3.3
2016	1026202240.50	42.8587	13.1522	7	2.9
2016	1026202553.18	42.9913	13.1365	10	3.2
2016	1026203025.85	43.0045	13.0693	10	2.9
2016	1026203241.17	42.8563	13.0880	9	2.9
2016	1026203557.26	42.8788	13.1450	8	2.8
2016	1026203807.81	43.0142	13.0653	10	3.0
2016	1026204124.86	42.8733	13.1527	8	3.1
2016	1026210046.92	42.9227	13.1147	9	3.1
2016	1026210835.13	43.0027	13.1113	8	2.9
2016	1026212300.25	42.9187	13.1063	8	2.8
2016	1026212452.76	42.8700	13.0153	10	3.7
2016	1026213019.47	43.0172	13.0732	10	2.8
2016	1026213313.19	42.8168	13.2548	10	3.0
2016	1026213930.14	42.9752	13.1328	9	2.8
2016	1026214202.41	42.8720	13.1025	7	4.6
2016	1026214545.25	42.8478	13.1537	9	3.0
2016	1026214857.71	42.8092	13.1087	10	2.9

2016	1026215252.00	42.8610	13.2088	9	3.3
2016	1026220003.15	42.8793	13.1570	7	2.8
2016	1026221127.91	42.9342	13.1573	8	3.2
2016	1026221503.93	43.0167	13.1228	9	2.9
2016	1026221634.18	42.8728	13.1195	8	3.0
2016	1026222052.23	42.9793	13.0693	10	2.8
2016	1026223429.66	42.7412	13.1962	12	2.8
2016	1026224835.29	42.9938	13.1403	10	2.8
2016	1026225851.10	42.9600	13.0592	10	2.9
2016	1026233836.00	42.9698	13.1183	11	2.8
2016	1026235231.40	42.8020	13.1120	4	3.5
2016	1027002130.70	42.9458	13.0400	10	3.5
2016	1027013705.65	43.0116	12.9675	0	3.4
2016	1027023910.66	42.8913	13.0655	10	2.8
2016	1027024445.57	42.9083	13.0490	11	3.6
2016	1027031240.88	42.9992	13.1467	10	3.1
2016	1027031928.20	42.8165	13.1059	13	4.1
2016	1027034624.93	43.0615	13.3122	8	2.9
2016	1027035024.70	42.9578	13.0967	2	4.4
2016	1027040749.72	43.0228	13.1378	10	2.9
2016	1027042651.94	43.0127	13.1142	10	2.8
2016	1027043344.93	43.0078	13.1288	8	2.9
2016	1027050528.20	42.8873	13.0500	11	3.4
2016	1027052047.70	42.9505	13.0700	10	3.0
2016	1027053412.66	43.0198	13.1340	10	2.8
2016	1027054037.84	43.0267	13.1372	10	3.1
2016	1027054333.61	42.9005	13.0458	11	3.0
2016	1027054810.41	43.0108	13.1180	10	3.2
2016	1027063415.76	43.0302	13.1252	9	3.0
2016	1027071101.70	42.8582	13.0347	11	3.0
2016	1027071207.88	42.8663	13.1338	8	3.4
2016	1027073216.80	42.9163	13.0418	11	2.8
2016	1027074256.76	43.0338	13.0675	10	2.8
2016	1027075029.99	42.8268	13.1343	9	3.6
2016	1027082146.20	42.8451	13.0639	4	4.4
2016	1027082408.24	42.8975	13.1833	9	3.1
2016	1027083508.70	42.8708	13.1433	9	3.0
2016	1027083837.22	42.9635	13.1483	9	3.3
2016	1027084512.19	42.9992	13.1182	10	3.3
2016	1027091800.92	43.0340	13.1102	8	2.8
2016	1027093230.48	43.0460	13.0897	6	2.8
2016	1027101025.60	42.8787	13.0618	11	3.0

2016	1027103814.43	42.9815	13.0518	10	2.8
2016	1027110800.62	42.9788	13.0495	10	3.1
2016	1027114815.05	42.8452	13.0940	11	3.0
2016	1027120324.88	42.8608	13.0617	10	2.9
2016	1027121900.31	43.0225	13.1278	10	3.5
2016	1027122343.71	43.2572	13.1216	10	3.1
2016	1027122556.19	43.0252	13.1197	10	2.8
2016	1027122742.59	43.0322	13.1340	9	3.2
2016	1027122915.25	43.0237	13.1362	8	3.1
2016	1027124717.05	42.8853	13.0765	10	3.1
2016	1027131704.89	43.0253	13.1520	9	2.8
2016	1027140905.63	42.7917	13.1598	8	3.1
2016	1027143753.46	42.8955	13.1710	8	3.0
2016	1027161450.19	42.9542	13.0682	10	3.3
2016	1027163406.79	42.8875	13.0515	11	2.9
2016	1027172224.20	42.8024	13.0811	10	4.2
2016	1027172343.26	42.8460	13.1085	8	3.9
2016	1027172733.78	43.0108	13.1197	9	3.4
2016	1027185029.54	42.8283	13.1455	9	3.1
2016	1027193554.60	42.8782	13.0578	11	2.8
2016	1027200155.96	42.9918	13.0585	10	3.2
2016	1027201055.61	42.8968	13.0503	11	3.1
2016	1027213318.47	42.8982	13.1658	8	3.0
2016	1027215425.57	42.8753	13.0348	10	2.8
2016	1027233550.95	42.8683	13.1550	9	3.1
2016	1028001403.26	42.9637	13.0692	10	3.3
2016	1028011703.87	42.9980	13.0592	9	2.9
2016	1028011944.66	42.8157	13.1190	8	3.0
2016	1028015509.42	42.9953	13.1443	9	3.3
2016	1028021319.32	43.0292	13.1225	8	3.5
2016	1028023353.28	42.9935	13.1488	9	3.3
2016	1028024020.52	42.9998	13.1423	7	3.1
2016	1028030012.84	43.0043	13.1402	5	3.4
2016	1028035114.18	42.8600	13.0437	11	3.3
2016	1028053451.36	42.8933	13.1780	9	3.2
2016	1028081052.08	42.9597	13.1405	8	3.3
2016	1028091213.05	42.9245	13.1117	8	3.4
2016	1028101103.29	43.0360	13.1253	9	3.1
2016	1028110408.20	42.9533	13.0668	10	2.8
2016	1028135632.86	42.8647	13.2142	5	3.7
2016	1028140718.22	42.9928	13.0538	10	2.8
2016	1028153529.65	43.0450	13.0897	8	3.0

2016	1028155659.55	42.9141	13.1419	0	3.4
2016	1028195631.79	42.9105	13.1454	5	3.7
2016	1028200921.02	42.8817	13.0278	11	2.8
2016	1028220016.50	42.8052	13.1423	9	3.1
2016	1028220936.15	42.7277	13.1738	10	2.8
2016	1028231810.23	42.8798	13.0938	9	3.5
2016	1028232211.94	42.8513	13.0973	9	2.8
2016	1028234559.11	43.0012	13.0775	9	2.9
2016	1029024129.38	42.8618	13.0377	10	2.8
2016	1029084854.81	42.9923	13.0492	9	3.5
2016	1029085843.67	42.9563	13.0778	10	3.2
2016	1029093054.99	42.8612	13.0547	10	3.1
2016	1029101625.21	42.8493	13.1530	9	3.6
2016	1029110642.98	43.0193	13.0718	9	2.8
2016	1029113457.98	42.8507	13.1262	9	2.8
2016	1029114817.46	43.0168	13.1093	10	2.9
2016	1029134614.83	42.9570	13.1368	8	2.9
2016	1029142851.42	43.0203	13.1002	9	3.1
2016	1029151619.01	42.8757	13.1948	10	3.3
2016	1029162433.75	42.8085	13.0443	10	4.2
2016	1029171426.93	42.9618	13.0757	9	3.2
2016	1029213424.42	42.8565	13.1597	9	2.8
2016	1029220307.71	42.8123	13.0938	11	2.8
2016	1029220808.51	42.8257	13.1005	10	3.2
2016	1029230134.15	43.0653	13.0667	9	3.3
2016	1030025725.96	42.9715	13.0917	10	2.9

Κατάλογος σεισμών της ακολουθίας της Norcia (2016) με $M \geq 3.1$

Year	MoDaHrMnSecs	Latitude	Longitude	Depth (kg)	M
2016	1030064018.67	42.8621	13.0961	8	6.6
2016	1030064430.38	42.8507	13.0715	10	4.6
2016	1030064852.10	42.6746	13.2088	10	3.6
2016	1030065540.20	42.7065	13.2177	10	4.1
2016	1030065802.78	42.8992	13.0207	10	3.5
2016	1030070038.96	42.6342	13.1929	10	4.1
2016	1030070133.13	42.7365	13.1695	10	4.0
2016	1030070322.42	42.8048	13.1290	9	3.9
2016	1030070459.16	42.7962	12.9876	10	4.0

2016	1030070559.54	42.9210	13.1083	10	4.1
2016	1030070755.01	42.6874	13.2009	10	4.2
2016	1030070835.07	42.7479	13.2074	10	4.3
2016	1030071006.25	42.8058	13.1007	11	3.7
2016	1030071306.33	42.7282	13.1757	10	4.5
2016	1030072437.75	42.7188	13.2037	9	3.8
2016	1030073012.92	42.8020	13.0852	10	3.7
2016	1030073448.52	42.8556	13.1168	10	4.0
2016	1030073720.11	42.8773	13.1047	9	3.6
2016	1030073858.85	42.6932	13.1610	11	3.9
2016	1030074032.42	42.7710	13.1688	9	3.6
2016	1030074642.69	42.8983	13.1542	4	3.4
2016	1030074917.01	42.9152	13.1512	8	3.4
2016	1030075141.21	42.8743	13.1673	7	3.1
2016	1030075530.16	42.7807	13.1257	9	3.3
2016	1030075917.11	42.7873	13.0837	10	3.5
2016	1030080008.70	42.7966	13.1546	8	3.2
2016	1030080240.09	42.8300	13.0810	10	3.4
2016	1030081051.02	42.8578	13.0613	10	3.5
2016	1030081306.02	43.0230	13.3709	0	3.3
2016	1030081633.82	42.8773	13.0310	11	3.3
2016	1030081939.43	42.8982	13.1482	4	3.1
2016	1030082154.83	42.8208	13.1112	8	3.5
2016	1030082253.14	42.8766	13.1073	0	3.4
2016	1030082435.25	42.7782	13.0817	10	3.5
2016	1030083106.79	42.8928	13.0968	10	3.7
2016	1030083201.11	42.9791	12.9886	0	3.4
2016	1030083421.76	42.9885	12.9440	0	3.8
2016	1030083600.99	42.7652	12.9588	10	4.4
2016	1030083704.35	42.7308	13.2767	10	3.9
2016	1030084119.90	42.8847	13.1892	8	3.6
2016	1030084253.44	42.7738	13.2140	10	3.2
2016	1030085552.38	42.8995	13.1018	4	3.3
2016	1030085755.80	42.6691	13.2129	10	3.5
2016	1030090229.86	42.9312	13.2072	7	3.5
2016	1030090445.16	42.7020	13.2170	11	3.5
2016	1030090938.98	42.8157	13.2235	12	3.2
2016	1030091739.11	42.8233	13.0833	10	3.2
2016	1030092352.61	42.8457	13.0820	3	3.3
2016	1030092949.40	42.6728	13.1958	10	3.1
2016	1030093400.33	42.6802	13.2322	10	3.1
2016	1030094105.00	42.9160	13.3162	27	3.3
2016	1030094534.92	42.7183	13.1823	8	3.2
2016	1030094709.76	42.6948	13.1953	10	3.1

2016	1030095027.14	42.7727	13.0742	9	3.5
2016	1030095103.65	43.0128	12.9713	0	3.4
2016	1030095840.23	42.7777	13.1243	3	3.1
2016	1030100047.57	42.7628	13.1138	10	3.3
2016	1030101246.72	42.8547	13.0673	10	3.3
2016	1030101449.69	42.7037	13.1823	11	3.4
2016	1030101926.15	42.8152	13.1448	11	4.1
2016	1030102135.33	42.8022	13.1857	9	3.1
2016	1030102434.09	42.9367	13.2028	8	3.7
2016	1030102624.87	42.8358	13.0713	9	3.6
2016	1030102757.13	42.9313	13.2015	9	3.1
2016	1030103009.10	42.8437	13.0948	10	3.3
2016	1030103211.16	42.8957	13.1127	9	3.3
2016	1030103738.67	42.7168	13.2228	11	3.1
2016	1030104639.69	42.7133	13.2643	13	3.2
2016	1030105037.24	42.7287	12.9322	0	3.8
2016	1030110049.21	42.8163	13.0937	10	3.5
2016	1030110554.36	42.9202	13.1862	7	3.6
2016	1030111420.55	42.7783	13.1981	0	3.4
2016	1030112021.32	42.8027	13.1883	10	3.9
2016	1030112111.28	43.1228	13.1153	10	4.9
2016	1030112323.60	42.9307	13.2050	8	3.2
2016	1030112652.75	42.8487	13.1208	10	3.3
2016	1030113431.82	42.8917	13.1843	7	3.1
2016	1030114001.00	42.8918	13.1438	9	3.5
2016	1030115818.58	42.8209	13.0139	6	4.0
2016	1030120226.39	42.7817	13.1377	10	3.3
2016	1030120702.14	42.8390	12.9990	10	4.6
2016	1030122617.79	42.9313	13.1967	8	3.6
2016	1030123219.59	42.8468	13.1438	10	3.4
2016	1030123507.92	42.9168	13.1527	8	3.4
2016	1030123838.00	42.9193	13.1848	8	3.2
2016	1030124012.03	42.9125	13.1950	8	3.2
2016	1030124921.46	42.7348	13.1862	10	3.2
2016	1030125225.57	42.8422	13.0877	10	3.2
2016	1030125740.14	42.9042	13.2022	9	3.1
2016	1030130231.63	42.7292	13.1533	10	3.5
2016	1030131831.62	42.8062	13.1947	10	3.2
2016	1030132128.83	43.0197	13.1247	9	3.6
2016	1030132323.32	43.0112	13.1187	8	3.4
2016	1030133455.79	42.8020	13.1220	10	4.5
2016	1030133835.08	42.7595	13.2063	19	3.1
2016	1030134205.27	42.9012	13.2218	4	3.3
2016	1030134726.82	42.9047	13.1990	9	3.1

2016	1030140318.08	42.9370	13.2105	9	3.6
2016	1030140720.16	42.7897	13.0688	10	3.2
2016	1030141419.85	42.9057	13.2002	8	3.8
2016	1030141438.73	42.8599	13.0276	0	3.3
2016	1030142227.07	42.6832	13.2077	12	3.2
2016	1030142444.31	42.7627	13.0638	10	3.6
2016	1030144522.51	42.8957	13.1592	8	3.6
2016	1030144822.17	42.9313	13.2117	9	3.1
2016	1030145034.84	42.6878	13.1863	13	3.1
2016	1030151120.26	42.9380	13.2033	9	3.1
2016	1030151807.92	42.8415	13.0448	11	3.2
2016	1030152506.28	42.7742	13.2005	11	3.1
2016	1030161352.43	42.8190	13.1567	10	3.1
2016	1030161542.72	42.7818	13.1697	10	3.1
2016	1030161835.89	42.8268	13.0502	10	3.2
2016	1030170731.25	43.0657	13.0682	9	3.1
2016	1030172239.53	42.8442	13.1227	11	3.1
2016	1030173026.42	42.8707	13.0747	10	3.1
2016	1030173209.21	42.8885	13.1592	8	3.4
2016	1030174913.71	42.9132	13.1397	10	3.5
2016	1030182109.72	42.7781	13.0580	10	4.0
2016	1030182358.73	43.0645	13.0767	9	3.2
2016	1030183929.10	42.8143	13.0962	10	3.5
2016	1030185151.55	42.7907	13.1475	10	3.2
2016	1030185322.68	42.8583	13.2060	5	3.1
2016	1030185818.17	42.8007	13.1470	10	3.2
2016	1030191911.88	42.8448	13.1647	10	3.1
2016	1030192826.09	42.7688	13.2308	11	3.3
2016	1030192939.07	42.7518	13.0352	9	3.1
2016	1030193247.06	42.9052	13.1913	11	3.3
2016	1030194336.79	43.0072	13.0693	9	3.4
2016	1030200955.90	42.7302	13.2038	10	3.2
2016	1030204154.41	42.9427	13.2188	9	3.1
2016	1030204708.14	42.9338	13.1988	10	3.2
2016	1030205216.37	42.9427	13.1367	11	3.4
2016	1030215710.95	42.7847	13.0727	10	3.1
2016	1030221342.53	42.7997	13.1648	9	3.1
2016	1030221943.13	42.9118	13.1580	9	3.4
2016	1030224703.15	42.8072	13.1942	10	3.4
2016	1030230531.25	42.9123	13.1973	9	3.5
2016	1030230910.17	42.9142	13.0458	11	3.3
2016	1030235229.55	42.7798	13.1168	10	3.4
2016	1030235619.33	42.8283	13.0898	11	3.6
2016	1031001110.59	42.7815	13.1033	10	3.3

2016	1031003030.89	42.7462	13.1275	10	3.4
2016	1031004531.59	42.8038	13.0947	11	3.2
2016	1031010133.40	42.7943	13.0348	10	3.2
2016	1031013525.08	42.7393	13.1802	11	3.1
2016	1031014821.57	42.9027	13.1475	9	3.4
2016	1031020223.81	42.7852	13.1180	12	3.2
2016	1031024941.54	43.0702	13.0658	9	3.6
2016	1031025914.83	42.6193	13.3025	10	3.4
2016	1031030545.24	42.8417	13.0548	10	3.3
2016	1031032741.13	42.7611	13.0057	10	4.2
2016	1031033237.29	42.9455	13.1907	8	3.7
2016	1031042028.23	42.8932	13.1857	8	3.2
2016	1031042218.53	42.8418	13.0567	11	3.4
2016	1031044916.26	42.7907	13.0678	10	3.2
2016	1031045016.30	42.8867	13.1655	9	3.1
2016	1031051805.25	42.7742	13.2103	10	3.1
2016	1031061721.28	42.7937	13.1105	10	3.9
2016	1031070545.80	42.8533	13.0615	3	4.2
2016	1031071021.37	42.9378	13.2177	9	3.3
2016	1031083734.45	43.1104	13.3319	0	3.2
2016	1031084035.82	42.8063	13.1358	9	3.3
2016	1031093417.90	42.8451	13.1117	9	3.2
2016	1031110306.01	42.7733	13.0773	10	3.3
2016	1031112333.32	42.6918	13.2707	11	3.1
2016	1031121515.53	42.9217	13.2175	9	3.2
2016	1031145220.64	42.8748	13.0607	10	3.1
2016	1031150804.50	42.7518	13.1445	16	3.2
2016	1031155527.81	42.8998	13.1448	8	3.4
2016	1031164306.07	42.8463	13.1572	11	3.1
2016	1031171444.52	42.7650	13.0518	10	3.2
2016	1031174031.16	42.9453	13.1968	8	3.1
2016	1031175819.70	42.7383	13.1490	19	3.1
2016	1031202416.01	42.9397	13.2147	8	3.2
2016	1031222453.21	42.8058	13.0477	11	3.3
2016	1031235553.85	42.9458	13.1988	7	3.2
2016	1101003636.23	42.8542	13.0842	9	3.2
2016	1101004034.02	42.9310	13.0588	10	3.1
2016	1101023548.50	42.6630	13.2165	11	3.2
2016	1101024409.91	42.7750	13.0317	10	3.2
2016	1101031905.73	42.9087	13.3088	25	3.7
2016	1101034127.34	42.9027	13.3113	25	3.2
2016	1101040915.35	42.5843	13.3522	19	3.1
2016	1101063605.55	43.0085	13.1428	9	3.6
2016	1101064333.28	43.0138	13.1400	8	3.2

2016	1101073250.80	42.9018	13.0487	10	3.1
2016	1101075640.93	43.0102	13.1543	10	4.7
2016	1101080022.89	43.0098	13.1503	10	3.2
2016	1101080126.61	43.0077	13.1338	8	3.3
2016	1101080724.15	42.9912	13.1492	10	3.5
2016	1101113243.54	42.7342	13.2063	12	3.2
2016	1101114151.53	42.6858	13.1525	13	3.2
2016	1101151343.47	42.9047	13.1693	9	3.6
2016	1101160059.43	42.7948	13.1053	12	3.3
2016	1101170434.60	42.8802	13.0763	11	3.1
2016	1101175912.92	42.8018	13.1472	8	3.3
2016	1101180254.07	42.8117	13.1273	11	3.8
2016	1101180308.09	42.9016	13.2738	0	3.5
2016	1101180622.10	42.8965	13.3172	24	3.2
2016	1101184750.86	42.7288	13.2203	10	3.4
2016	1101190321.08	42.8236	12.9874	9	3.7
2016	1101203820.77	42.9200	13.2017	9	3.1
2016	1101204626.25	43.0148	13.1383	10	3.1
2016	1102053058.99	42.9137	13.1348	10	3.2
2016	1102060748.65	42.7773	13.0812	10	3.4
2016	1102064113.03	42.7962	13.1668	10	3.5
2016	1102073904.13	73.0263	5.9590	10	3.2
2016	1102111352.13	42.7775	13.2047	9	3.3
2016	1102120514.97	43.0387	13.1170	8	3.1
2016	1102142559.70	42.8847	13.1473	11	3.2
2016	1102155302.71	43.0308	13.0453	10	3.4
2016	1102174537.01	42.8010	13.1447	11	3.2
2016	1102192647.28	42.9282	13.2067	9	3.4
2016	1102193750.51	42.8939	13.0251	5	4.0
2016	1102215733.96	42.8808	13.1850	8	3.3
2016	1102221056.47	43.0413	13.0573	10	3.1
2016	1102225703.10	42.7077	13.2293	10	3.1
2016	1103003502.61	43.0383	13.0143	10	4.8
2016	1103011831.04	42.6553	13.3142	8	3.1
2016	1103023832.73	42.9702	13.1492	11	3.2
2016	1103073907.69	42.8338	13.1210	10	3.4
2016	1103101413.18	42.7822	13.2057	10	3.3
2016	1103115917.68	42.9093	13.2198	9	3.5
2016	1103122220.03	42.9222	13.2025	9	3.4
2016	1103131045.57	42.6930	13.1780	14	3.7
2016	1103144129.85	42.9938	13.0763	9	3.5
2016	1103172634.85	43.0347	13.0648	9	3.2
2016	1103191639.87	43.0163	13.0538	10	3.2
2016	1103203240.51	42.7935	13.1102	11	3.7

2016	1103211024.95	42.7577	13.0543	11	3.4
2016	1103232435.57	42.8657	13.0988	10	3.4
2016	1104001732.01	42.8708	13.0703	10	3.2
2016	1104004127.07	42.7627	13.1702	8	3.1
2016	1104013209.47	43.0042	13.0745	9	3.2
2016	1104020843.92	42.6768	13.2072	13	3.1
2016	1104104833.59	42.8713	13.1332	9	3.3
2016	1104143131.39	42.9798	13.1348	8	3.2
2016	1104151526.94	42.9868	13.1328	9	3.1
2016	1104234521.07	42.7902	13.1348	11	3.4
2016	1105004206.33	42.8322	13.2317	13	3.1
2016	1105032056.48	42.8082	13.1432	10	3.1
2016	1105082530.03	42.6795	13.1817	13	3.1
2016	1105093935.92	42.9508	13.2077	9	3.1
2016	1105094543.29	42.9097	13.1938	9	3.1
2016	1105110546.60	42.9967	13.5717	0	3.6
2016	1105111526.42	42.9478	13.2177	9	3.2
2016	1105144520.14	42.9787	13.1273	9	3.4
2016	1105175251.09	42.7502	13.1925	9	3.4
2016	1105191158.92	42.9553	13.2038	9	3.5
2016	1105212911.90	42.7342	13.1626	10	3.4
2016	1105223205.25	42.9510	13.2048	9	3.2
2016	1106031931.47	43.0623	13.0608	10	3.8
2016	1106044051.66	42.7867	13.1377	10	3.1
2016	1106082724.60	42.8565	13.2327	9	3.1
2016	1106102441.23	42.9567	13.0317	9	3.2
2016	1106144952.56	43.0153	13.0358	8	3.1
2016	1106181519.57	42.8058	13.1848	11	3.6
2016	1107001805.98	42.8927	13.2107	7	3.1
2016	1107031305.06	42.9448	13.2112	8	3.1
2016	1107070557.52	42.8747	13.1907	8	3.2
2016	1107123433.04	42.8675	13.0785	11	3.1
2016	1107165832.51	43.0158	13.1355	9	3.4
2016	1107170031.83	43.0163	13.1403	9	3.1
2016	1107185617.44	42.9113	13.0636	8	4.0
2016	1108060037.99	42.8068	13.2102	9	3.4
2016	1108081627.32	42.8262	13.0448	10	3.2
2016	1109010727.38	42.5515	13.2497	11	3.1
2016	1109031508.45	43.0010	13.1490	9	3.5
2016	1109035010.57	42.9965	13.1567	9	3.2
2016	1109061310.60	42.6613	13.1917	13	3.7
2016	1109062955.58	42.7280	13.1770	14	3.5
2016	1109175120.81	42.6982	13.1805	8	3.1
2016	1109194307.96	42.9268	13.1513	10	3.3

2016	1110011434.04	42.9323	13.2130	9	3.1
2016	1110135059.14	42.8858	13.1323	9	3.6
2016	1110144335.92	42.8280	13.2545	14	3.1
2016	1110155733.46	42.9790	13.0372	8	3.4
2016	1110160314.20	42.6523	13.2133	11	3.3
2016	1110172330.20	42.9838	13.1493	9	3.4
2016	1110195434.62	42.7833	13.0548	11	3.3
2016	1111003655.92	42.7932	13.1235	11	3.5
2016	1111175309.59	42.8298	13.2223	12	3.1
2016	1112035459.59	43.0113	13.0732	10	3.1
2016	1112090407.88	42.9013	13.1755	8	3.2
2016	1112123411.69	42.9968	13.1352	9	3.9
2016	1112144335.80	42.7672	13.1672	10	4.2
2016	1112191830.32	43.0313	13.0670	9	3.2
2016	1112223223.82	42.7446	13.0235	10	3.9
2016	1112225110.56	42.9157	13.2095	8	3.2
2016	1112231937.96	42.8167	13.0952	11	3.2
2016	1112235536.39	42.8192	13.0977	11	3.1
2016	1113031552.81	42.5450	13.2343	11	3.3
2016	1113115354.30	42.7223	13.2158	10	3.3
2016	1113230151.89	42.9502	13.0858	9	3.2
2016	1114013344.76	42.8522	13.1055	10	4.0
2016	1114053242.49	43.0118	13.0653	8	3.1
2016	1114142513.05	42.9847	13.0582	10	3.1
2016	1114194951.95	42.9251	13.1346	6	3.9
2016	1115013802.34	43.1863	13.1590	9	3.1
2016	1115183058.18	43.0297	13.0778	9	3.2
2016	1115183316.04	42.9857	13.1578	7	3.1
2016	1115225752.50	42.7502	13.2123	10	3.3
2016	1116115222.85	42.8033	13.1328	9	3.9
2016	1116115936.85	43.0347	13.1015	8	3.2
2016	1117001315.72	43.0077	13.1222	9	3.2
2016	1117231651.14	42.7678	13.1980	13	3.4
2016	1119011238.41	43.0062	13.0715	9	3.1
2016	1119194820.96	42.8575	13.1912	9	3.2
2016	1120014152.31	42.6375	13.2188	11	3.2
2016	1120115219.18	42.9513	13.1617	12	3.2
2016	1121034904.48	43.0142	13.0758	9	3.2
2016	1121101429.93	43.0173	13.0840	9	3.1
2016	1122084525.05	43.0103	13.1337	7	3.1
2016	1123000242.94	42.8348	13.1235	9	3.6
2016	1123013310.63	42.7775	13.1643	13	3.2
2016	1123013414.16	42.9283	13.1528	9	3.3
2016	1123075445.29	43.0467	13.0973	9	3.4

2016	1123211117.53	42.7183	13.2812	11	3.8
2016	1125114909.39	43.0147	13.0793	9	3.1
2016	1126043437.68	42.8627	12.9357	8	3.2
2016	1126201242.50	42.7758	13.1535	9	3.1
2016	1127035707.32	42.8032	13.2117	9	3.5
2016	1127154107.64	43.0108	13.0722	9	3.1
2016	1127161639.82	43.0138	13.0752	10	3.3
2016	1127190919.46	43.0160	13.0817	10	3.5
2016	1127193428.57	43.0153	13.0773	9	3.6
2016	1127195112.21	43.0198	13.0688	8	3.2
2016	1127204018.65	43.0147	13.0688	10	3.4
2016	1127214114.05	43.0187	13.0728	10	3.9
2016	1128051243.04	42.6478	13.2160	12	3.1
2016	1128075328.56	43.0168	13.0688	10	3.6
2016	1128162142.07	43.0193	13.0727	10	3.6
2016	1128222840.92	43.0183	13.0728	8	3.4
2016	1129015259.77	42.8142	12.7762	9	3.4
2016	1129033534.28	42.7613	13.2408	10	3.6
2016	1129041856.78	43.0163	13.0633	10	3.4
2016	1129044956.73	43.0153	13.0688	8	3.1
2016	1129092900.44	43.0153	13.1233	7	3.2
2016	1129161403.24	42.5589	13.2470	4	4.4
2016	1130140306.76	42.7468	13.2508	11	3.1
2016	1201113053.22	43.0040	13.0800	10	4.0
2016	1201165718.75	43.0402	13.0688	9	3.5
2016	1201200733.92	43.0408	13.0687	10	3.2
2016	1201214728.98	43.0353	13.0632	8	3.2
2016	1202151942.70	43.0072	13.1373	9	3.1
2016	1203020656.25	42.9942	13.0767	9	3.2
2016	1203024238.37	42.9898	13.0793	10	3.8
2016	1204202220.60	43.0437	13.0955	8	3.5
2016	1206103915.17	42.8288	13.0133	9	3.2
2016	1207055707.49	42.8652	13.2173	10	3.1
2016	1207142338.57	42.5622	13.2832	12	3.2
2016	1208083240.76	42.8397	13.0295	10	3.4
2016	1208212135.03	42.7348	13.5418	18	3.7
2016	1209001003.74	43.0158	13.0762	9	3.1
2016	1209071429.84	43.0163	13.0690	10	3.6
2016	1209133720.23	43.0197	13.0657	7	3.2
2016	1210083539.48	43.0137	13.0717	6	3.2
2016	1211125454.44	42.8450	12.9942	10	4.3
2016	1212170941.42	42.7407	13.0397	10	3.4
2016	1213214759.89	42.9870	13.0728	8	3.5
2016	1214035400.28	42.6467	13.3052	7	3.8

2016	1214133732.03	43.0177	13.0683	8	3.4
2016	1214134032.74	43.0190	13.0602	10	3.7
2016	1214160856.73	43.0187	13.0640	10	3.3
2016	1215003102.32	42.5572	13.2703	10	3.2
2016	1215151630.17	42.9282	13.1627	8	3.1
2016	1216120346.13	42.8968	13.1780	7	3.2
2016	1217013357.43	42.9912	13.0753	10	3.4
2016	1217235411.89	42.9232	13.1618	9	3.4
2016	1218181659.05	42.9268	13.2007	6	3.2
2016	1218213510.79	42.9217	13.1683	8	3.1
2016	1219100251.57	42.7838	13.1448	11	3.1
2016	1219104054.20	42.7808	13.1483	10	3.3
2016	1220102644.85	42.8112	13.1707	10	3.2
2016	1221165133.35	42.8250	13.0093	9	3.3
2016	1223174134.80	42.5542	13.2848	10	3.1
2016	1224180338.34	42.5632	13.2768	12	3.2
2016	1225084926.76	42.9933	13.0793	9	3.2
2016	1225143856.72	42.5583	13.2807	11	3.1
2016	1226134403.44	42.9722	13.1455	8	3.2
2016	1226195644.44	42.9237	13.2033	8	3.5
2016	1227191018.64	43.0783	13.0518	10	3.2