



HELLENIC REPUBLIC

**National and Kapodistrian
University of Athens**

EST. 1837



School of Science

**Department of Geology
and Geoenvironment**

Corinth Rift Laboratory (CRL): Δυνατότητες & Ανάγκες στη Διαχείριση των Υποδομών

Δρ. Βασίλης Καπετανίδης

Επίκουρος Καθηγητής Σεισμολογίας
Τομέας Γεωφυσικής – Γεωθερμίας
Τμήμα Γεωλογίας & Γεωπεριβάλλοντος
Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών



TRANSFORM²: Πρώτο Φόρουμ Διαλόγου

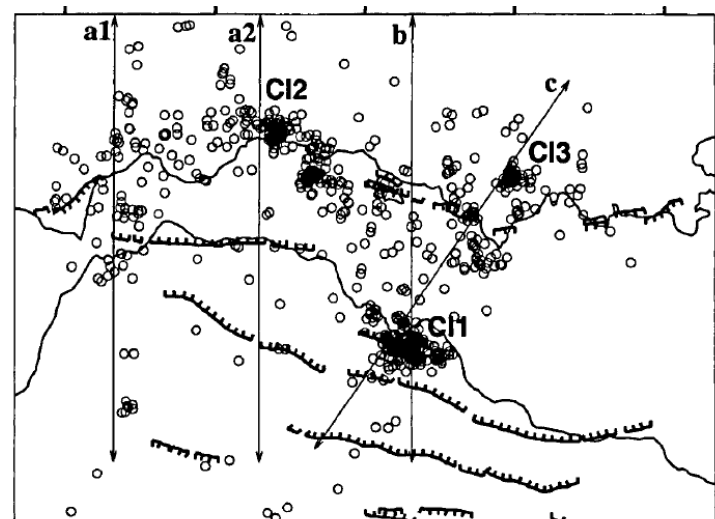
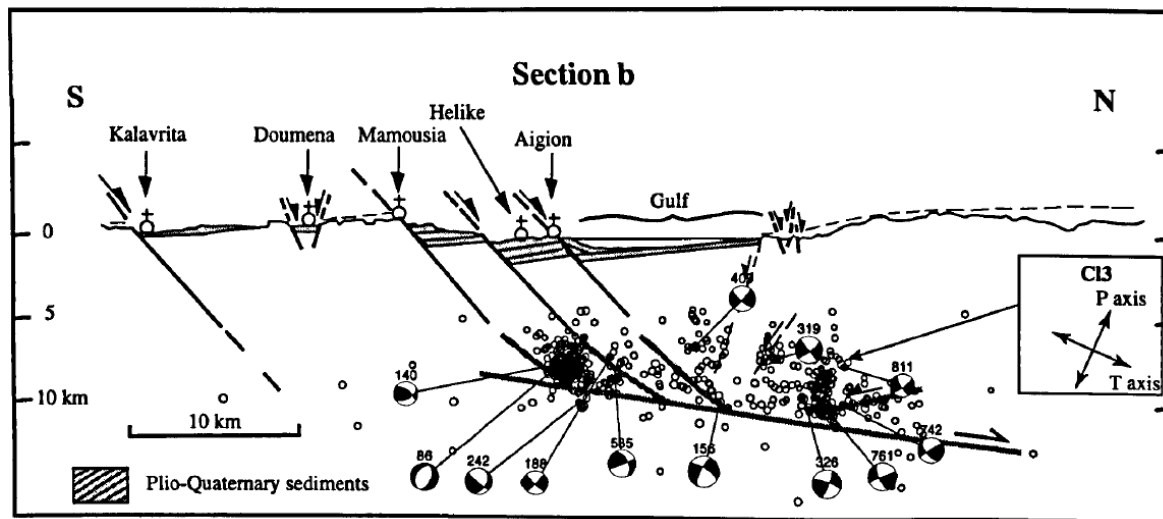
Ερευνητικές Σεισμολογικές Υποδομές Νέας Γενιάς:
Συνδέοντας την Έρευνα, την Πολιτική Προστασία και την Καινοτομία

Πάτρα - 7 Νοεμβρίου 2025

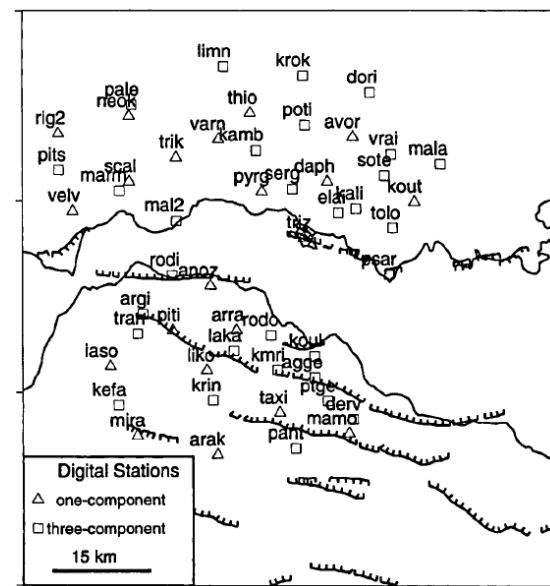




Ο Δυτικός Κορινθιακός Κόλπος



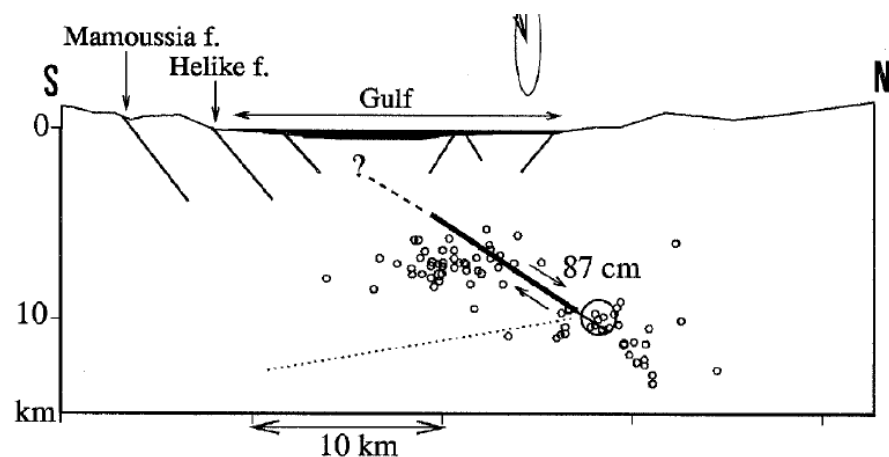
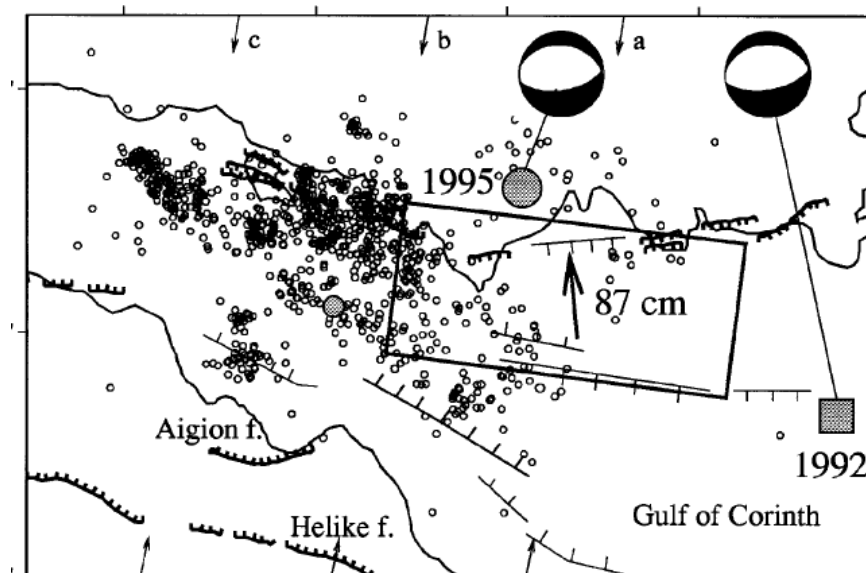
- Ο Κορινθιακός Κόλπος είναι μία από τις πιο σεισμικά ενεργές ζώνες στην Ευρώπη και μία από τις ταχύτερα επεκτεινόμενες ηπειρωτικές τάφρους στον κόσμο, με ρυθμό περίπου 1.5 cm/έτος Β-Ν.
- Τον Ιούνιο-Αύγουστο 1991, πραγματοποιήθηκε ένα σεισμολογικό πείραμα στον Δυτικό Κορινθιακό:
 - Ένα πυκνό δίκτυο 51 ψηφιακών σεισμολογικών σταθμών κατέγραψε περίπου 5000 σεισμούς, εκ των οποίων 774 εντοπίστηκαν με ακρίβεια.
 - Το πείραμα αποκάλυψε έντονη μικροσεισμική δραστηριότητα στην περιοχή, κυρίως συγκεντρωμένη στη διασταύρωση σημαντικών χαρτογραφημένων ρηγμάτων με μια ζώνη αποκόλλησης, σε βάθος 6 έως 11 km.





Ο σεισμός του 1995 στο Αίγιο

- Στις 15 Ιουνίου 1995, ένας σεισμός μεγέθους $M_s=6.2$ έπληξε τον Δυτικό Κορινθιακό, προκαλώντας σοβαρές ζημιές στο Αίγιο.
- Το επίκεντρο του σεισμού εντοπίστηκε ~15 km BBA του Αιγίου.
- Με χρήση σεισμολογικών και γεωδαιτικών δεδομένων, προσδιορίστηκε η έκταση και η θέση του επιπέδου διάρρηξης.
- Ο σεισμός αποδόθηκε σε ένα τυφλό, χαμηλής γωνίας κανονικό ρήγμα.
- Ο Δυτικός Κορινθιακός δεν είναι απλά ένα φυσικό εργαστήριο για τις γεωεπιστήμες, αλλά έχει επίσης τη δυνατότητα να δημιουργήσει μεγάλους, καταστροφικούς σεισμούς.

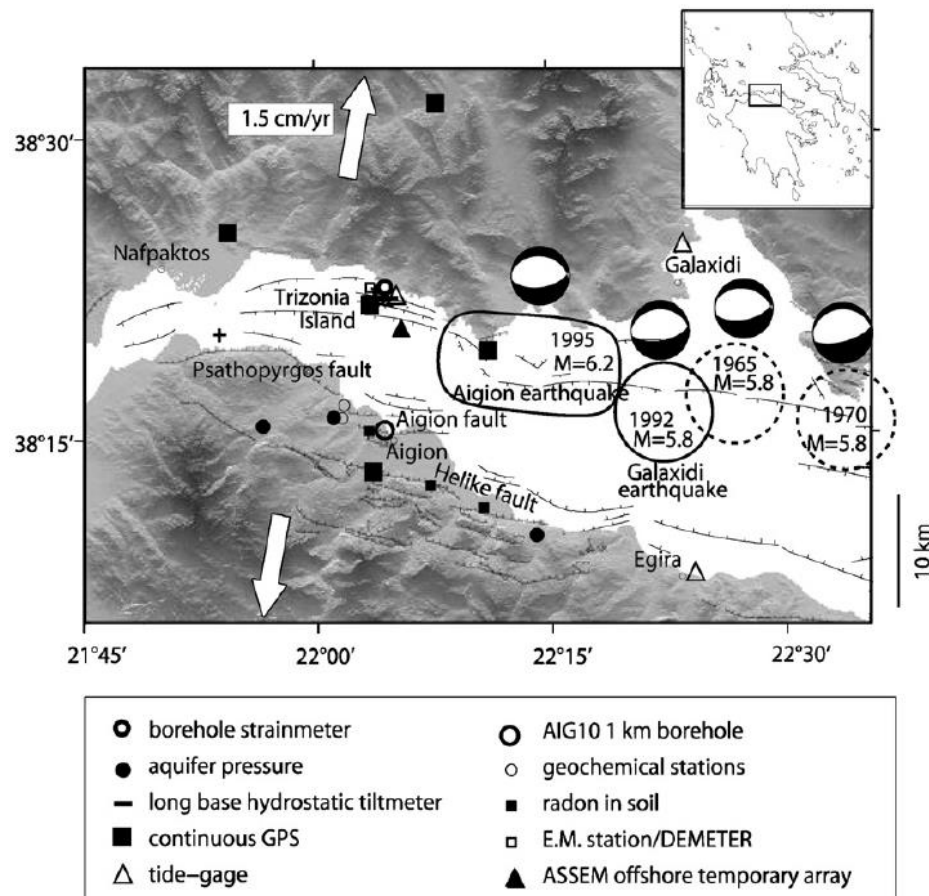




Corinth Rift Laboratory (CRL)

<https://nfo.crlab.eu/>

- Η περιοχή του Δυτικού Κορινθιακού επιλέχθηκε για το CRL για διάφορους λόγους:
 - Έχει τοπικά υψηλό ρυθμό παραμόρφωσης και μικροσεισμικότητας.
 - Βρίσκεται στο δυτικό όριο του σεισμού του 1995 στο Αίγιο.
 - Ο κόλπος είναι αρκετά στενός σε αυτό το σημείο (πλάτος λιγότερο από 8 km), επιτρέποντας κυρίως την πρόσβαση από ξηρά στις τοποθεσίες όπου έχουν εγκατασταθεί τα όργανα.
 - Η τοποθεσία είναι αρκετά μακριά και από τα δύο άκρα της τάφρου, έτσι ώστε να υπόκειται σε ένα καθαρά εκτατικό καθεστώς παραμόρφωσης.



Bernard et al. (2006)

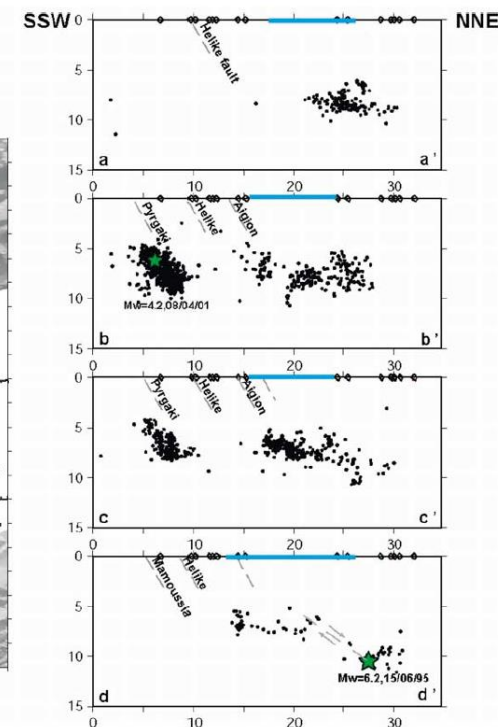
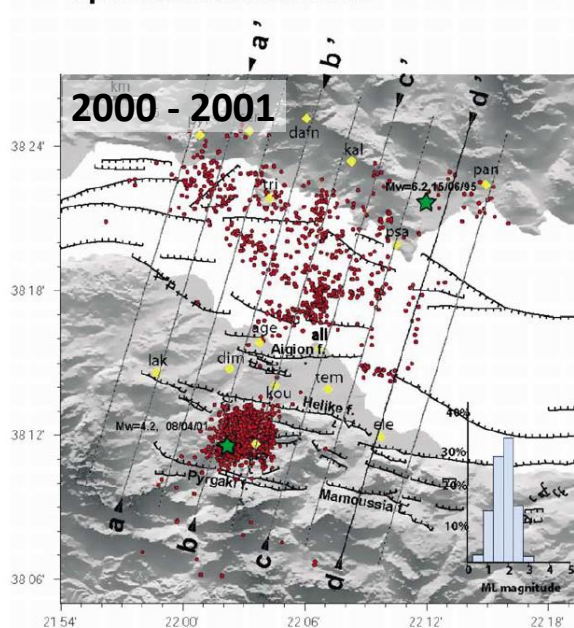


Corinth Rift Laboratory (CRL)

<https://nfo.crlab.eu/>

- Το δίκτυο CRL εγκαταστάθηκε στις αρχές της δεκαετίας του 2000, στον Δυτικό Κορινθιακό.
- Αρχικά, το σεισμολογικό δίκτυο αποτελούταν από 12 σταθμούς, που κάλυπταν κυρίως την περιοχή γύρω από το Αίγιο και την απέναντι ακτή.
- Οι κύριοι στόχοι του περιλαμβάνουν:
 - Τη μελέτη της μηχανικής των ενεργών ρηγμάτων και των αλληλεπιδράσεών τους.
 - Την παροχή συνεχούς παρακολούθησης της μικροσεισμικής δραστηριότητας στην περιοχή του Αίγιου, ιδιαίτερα μετά τον σεισμό του 1995.
 - Να λειτουργεί ως φυσικό εργαστήριο για πολυπαραμετρικές μελέτες, συνδυάζοντας δεδομένα από σεισμικότητα, γεωδαισία, εδαφική παραμόρφωση, γεωτρήσεις κ.α., για πιο ολοκληρωμένες αναλύσεις.

Corinth Rift Laboratory Network
April 2000-December 2001



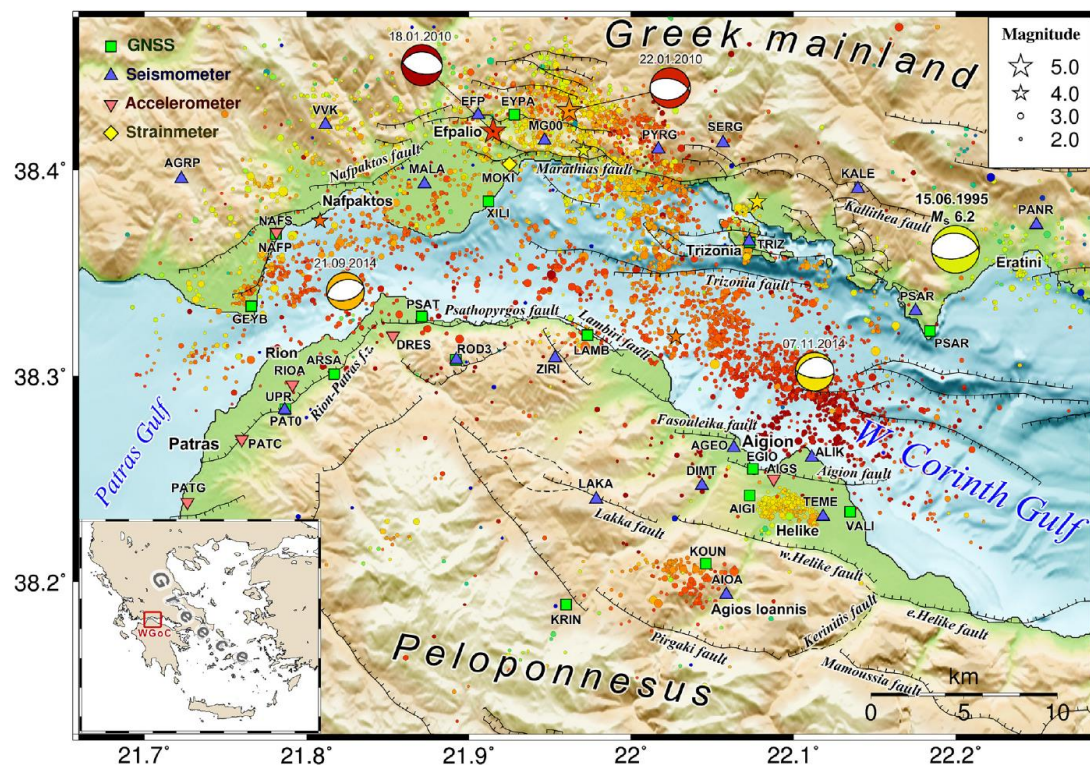
Lyon-Caen et al. (2004)



Corinth Rift Laboratory (CRL)

<https://nfo.crlab.eu/>

- Σήμερα, το δίκτυο CRL περιλαμβάνει **πάνω από 80 μόνιμους σταθμούς**, εξοπλισμένους με σειсмоγράφους, επιταχυνσιόμετρα, παγκόσμια δορυφορικά συστήματα πλοήγησης (GNSS), παλιρροιογράφους και παραμορφωσιόμετρα.
- Το CRL είναι ένα από τα παρατηρητήρια εγγύς ρηγμάτων (NFO) του Ευρωπαϊκού Συστήματος Παρακολούθησης Λιθόσφαιρας (EPOS) και το μόνο με διεθνές καθεστώς.

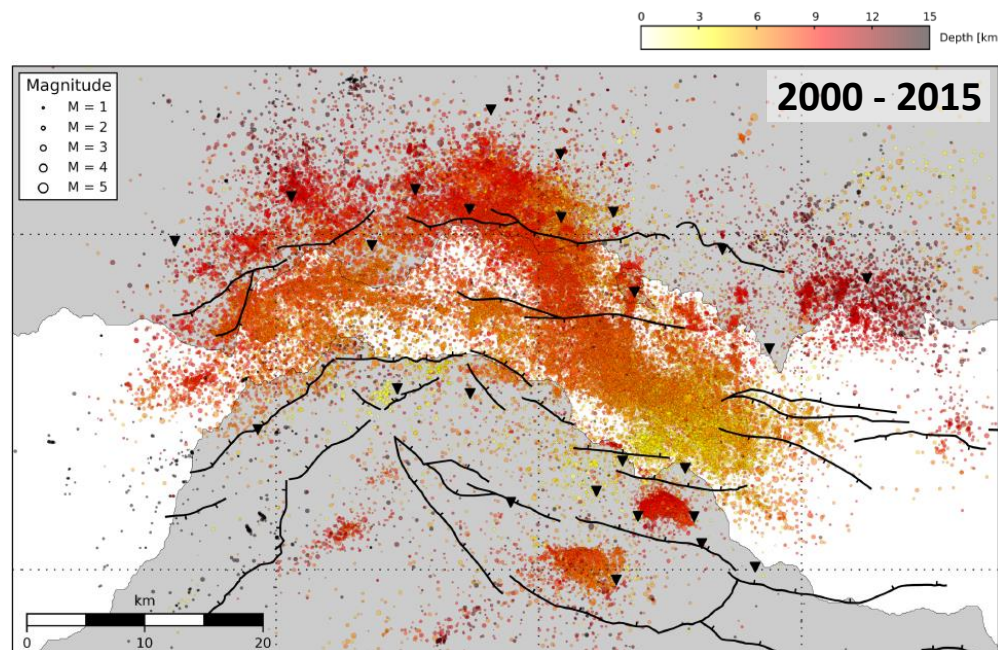


Kaviris et al. (2021)

- Η διαχείριση και η συντήρηση γίνεται από το Centre National de la Recherche Scientifique (Γαλλία), το Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών (ΕΚΠΑ), το Πανεπιστήμιο Πατρών (Π.Π.) και το Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών (ΕΑΑ), με τη συμμετοχή του Πανεπιστημίου Charles της Πράγας (Τσεχική Δημοκρατία).



CRL: Σεισμική παρακολούθηση



Duverger et al. (2018)

- Οι σεισμολογικοί σταθμοί μεταδίδουν τα δεδομένα τους σε πραγματικό χρόνο, κυρίως μέσω τηλεμετρίας 4G/2G.
- Τα δεδομένα αναλύονται αυτόματα: τα σεισμικά γεγονότα ανιχνεύονται και εντοπίζονται σε πραγματικό χρόνο.
- Τα αποτελέσματα δημοσιεύονται ηλεκτρονικά στους ιστότοπους των συνεργαζόμενων ιδρυμάτων, δηλαδή του ΕΚΠΑ, του Π.Π. και του ΕΑΑ.
- Τα αποτελέσματα της επεξεργασίας της σεισμικότητας δημοσιεύονται επίσης στον ειδικό ιστότοπο του CRL: <https://nfo.crlab.eu/>

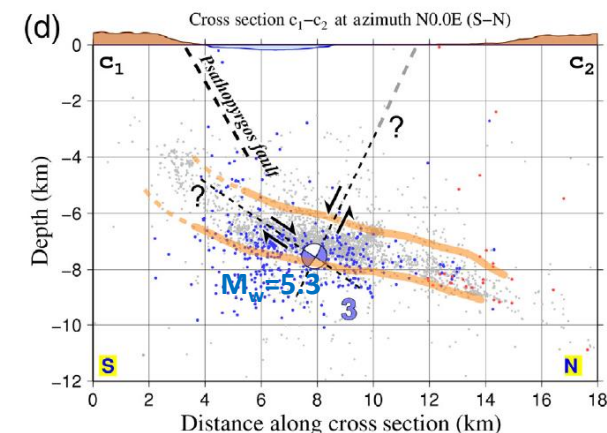
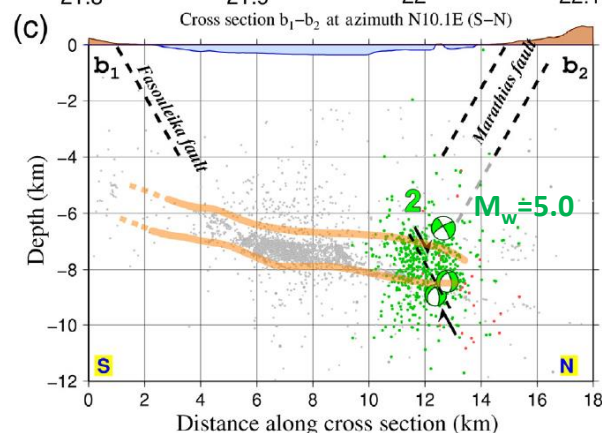
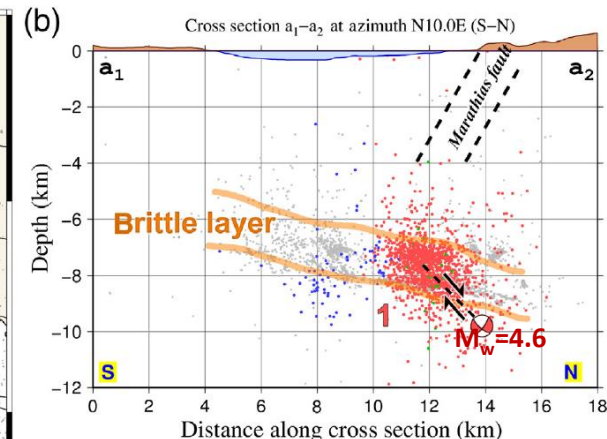
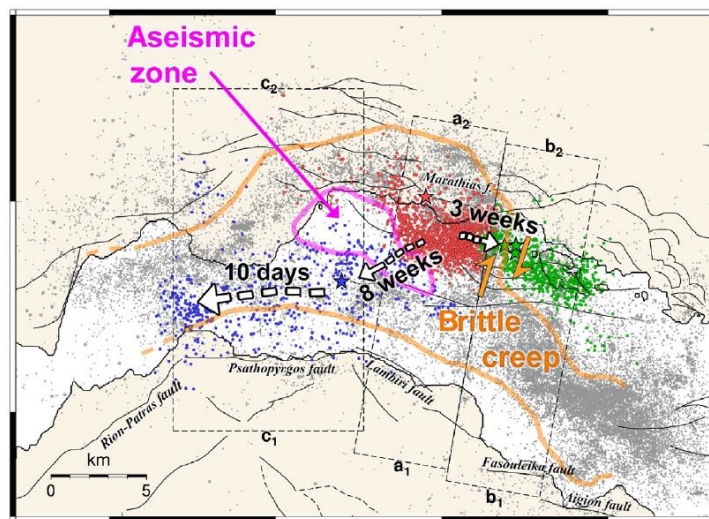


Η σεισμική κρίση του 2020-2021 στον Δυτικό Κορινθιακό

3 φάσεις σεισμικής κρίσης:

- (1) 23 Δεκεμβρίου 2020, $M_w=4.6$, νότια του Μαραθιά
- (2) 12 Ιανουαρίου 2021, $M_w=5.0$, δυτικά από τα Τριζόνια
- (3) 17 Φεβρουαρίου 2021, $M_w=5.3$, ανοιχτά του Ψαθοπύργου

(ο μεγαλύτερος σεισμός στην περιοχή μετά τον σεισμό του 1995)



Kaviris et al. (2021)

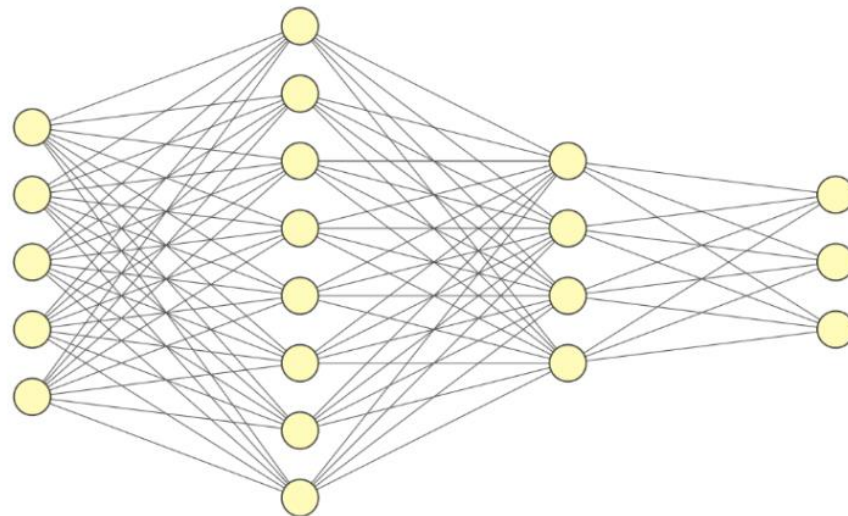
- Η σεισμική κρίση του 2020-2021 απασχόλησε όλη τη διεθνή ομάδα του CRL, η οποία μελέτησε το φαινόμενο και δημοσίευσε αποτελέσματα σε διεθνή επιστημονικά περιοδικά και συνέδρια.



Ανάλυση σεισμικότητας με εργαλεία **τεχνητής νοημοσύνης**:



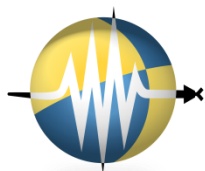
SeisBench
A toolbox for machine learning in seismology



GaMMA: Gaussian Mixture Model Associator



python™



ObsPy

A Python Framework for Seismology

SeisBench: Woollam et al. (2022)

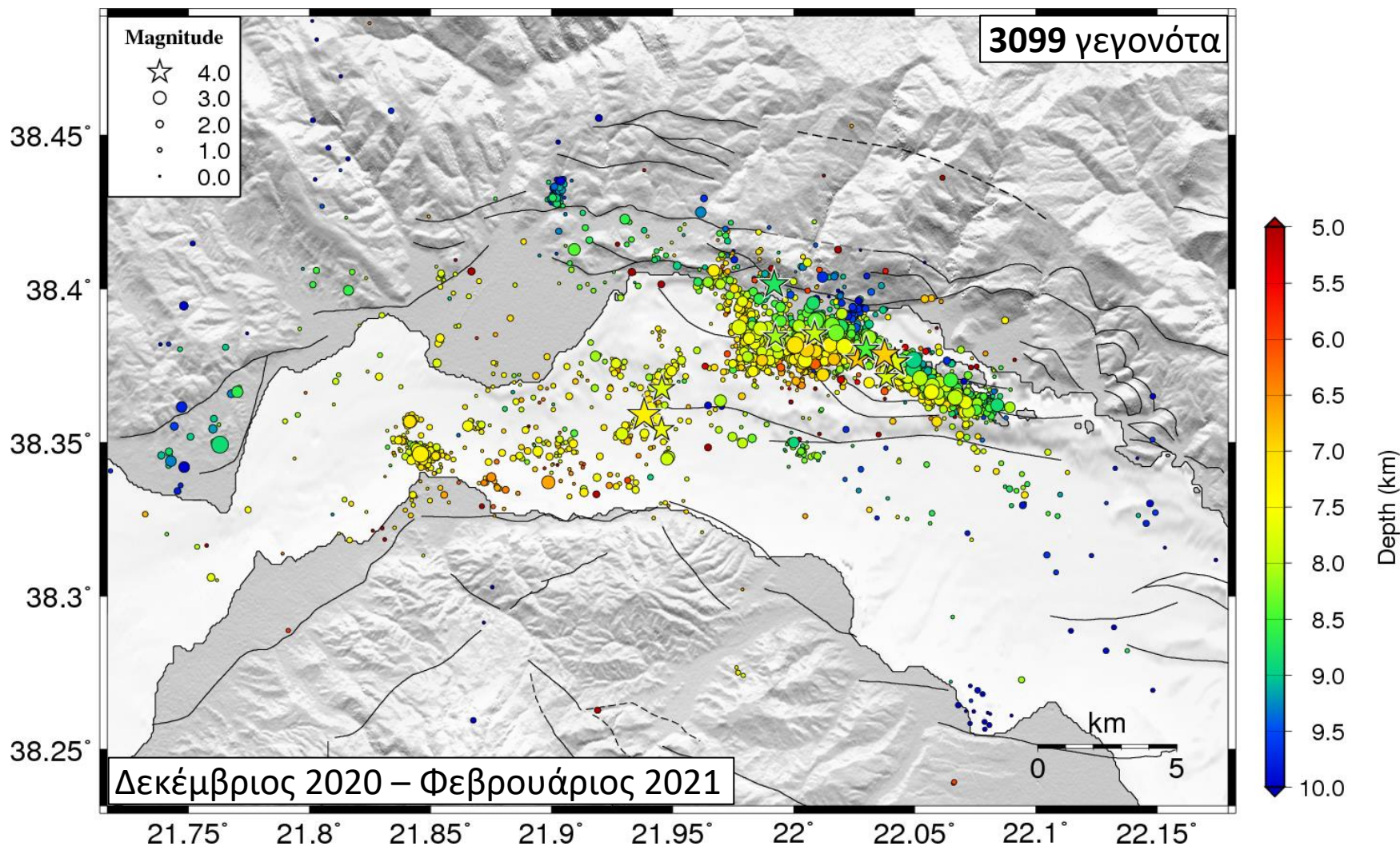
GaMMA: Zhu et al. (2022)

ObsPy: Beyreuther et al. (2010); Krischer et al. (2015)



Εφαρμογή στη σεισμική κρίση του 2020-2021 (περιοχή CRL)

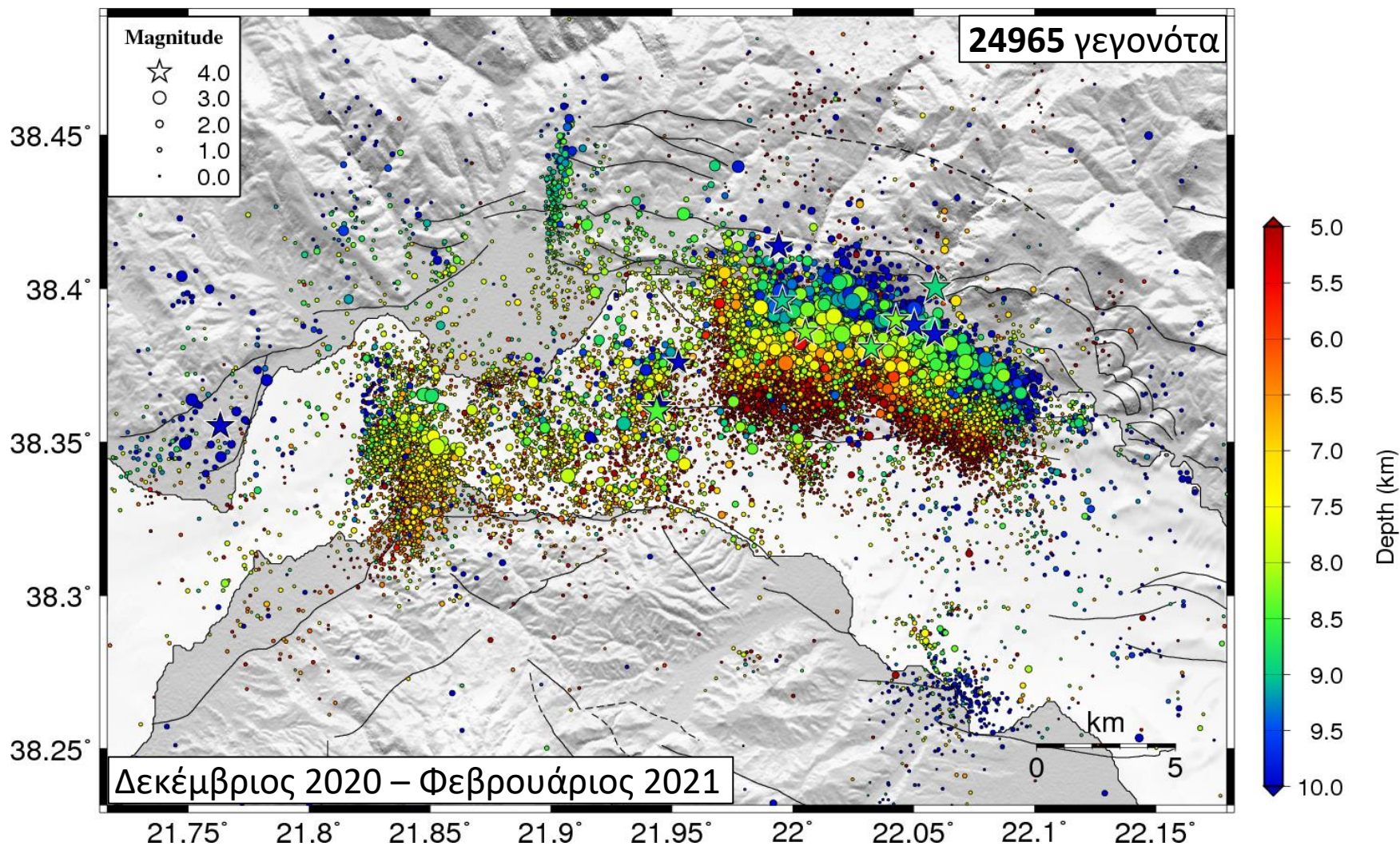
- Επαναπροσδιορισμένος κατάλογος ρουτίνας από Serpetsidaki et al. (2023)





Εφαρμογή στη σεισμική κρίση του 2020-2021 (περιοχή CRL)

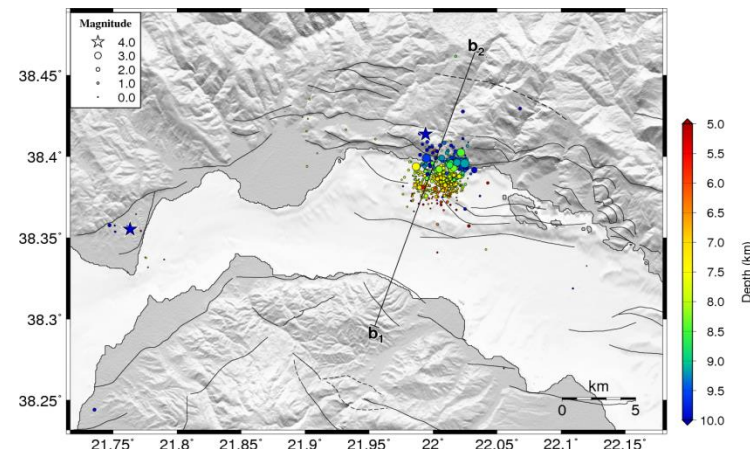
- Κατάλογος μηχανικής μάθησης ~ πάνω από 8 φορές περισσότερα γεγονότα



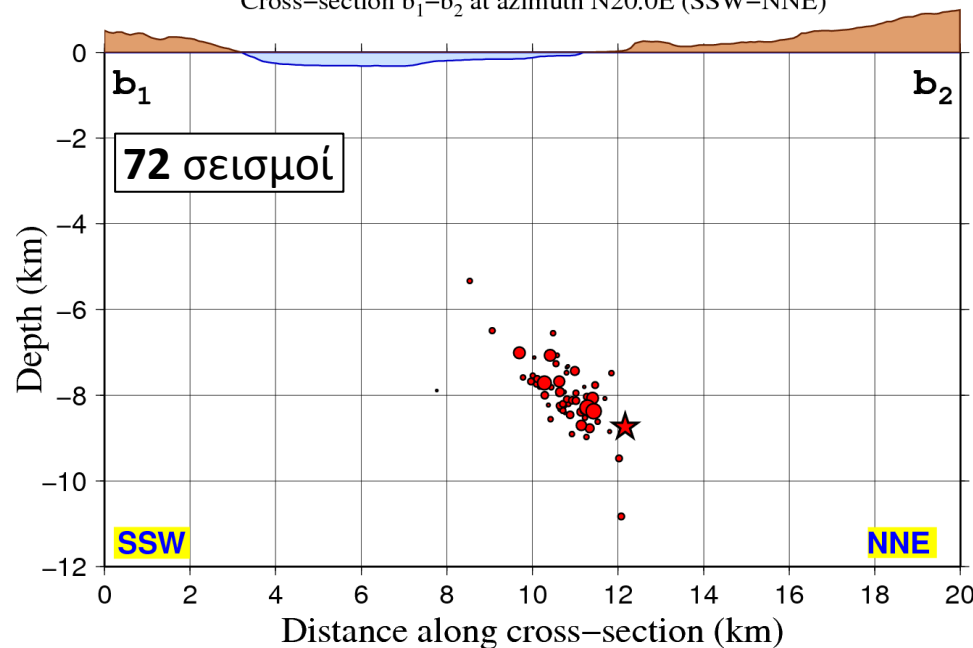


Εφαρμογή στη σεισμική κρίση του 2020-2021 (περιοχή CRL)

- Τομή NND-BBA: **23 Δεκεμβρίου 2020**

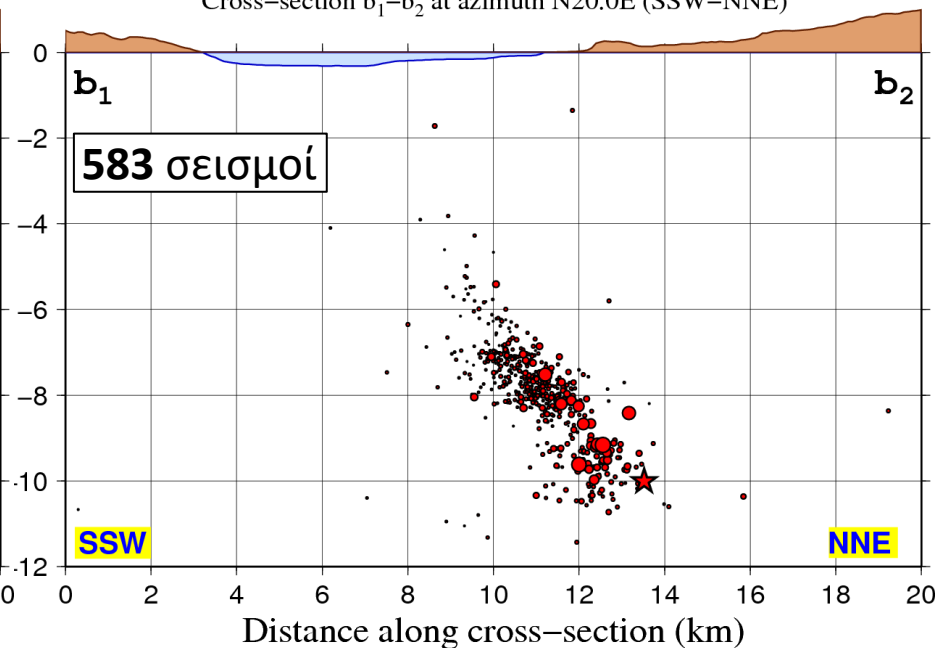


Cross-section b_1 – b_2 at azimuth N20.0E (SSW–NNE)



Κατάλογος Serpetsidaki et al. (2023)

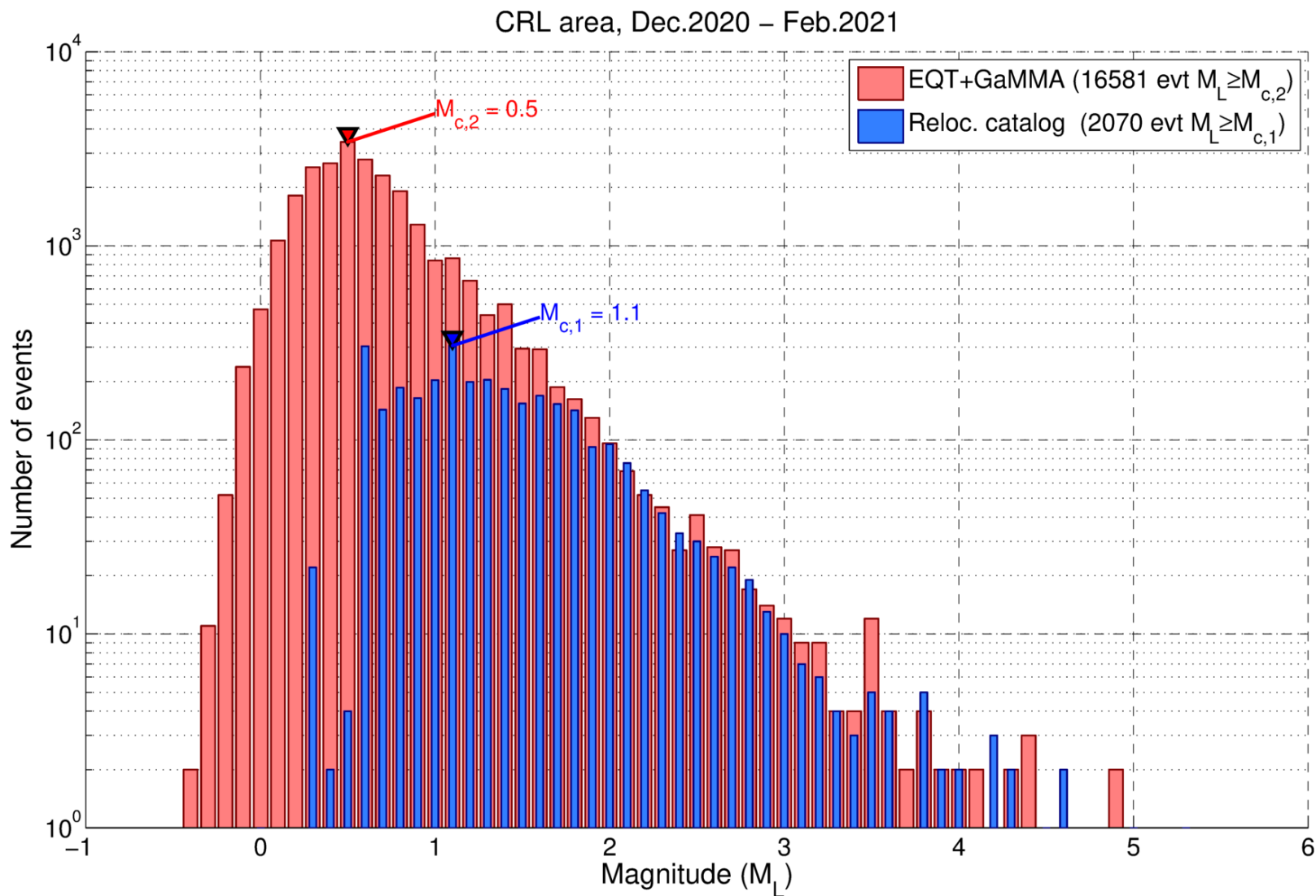
Cross-section b_1 – b_2 at azimuth N20.0E (SSW–NNE)



Κατάλογος μηχανικής μάθησης



Ελάττωση του μεγέθους πληρότητας (βελτίωση στην ανιχνευσιμότητα μικρών σεισμών)

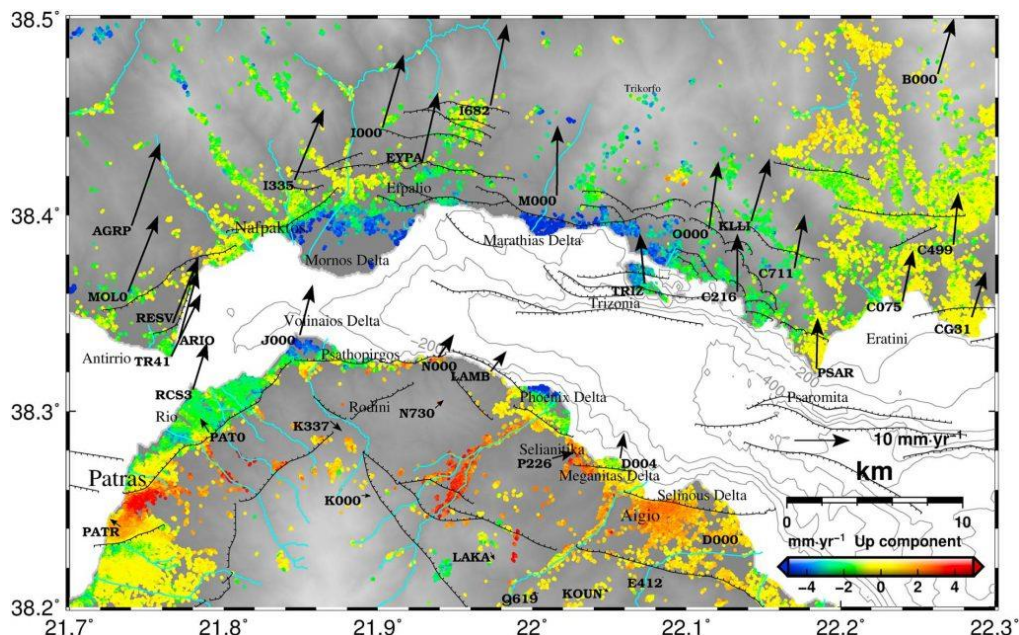




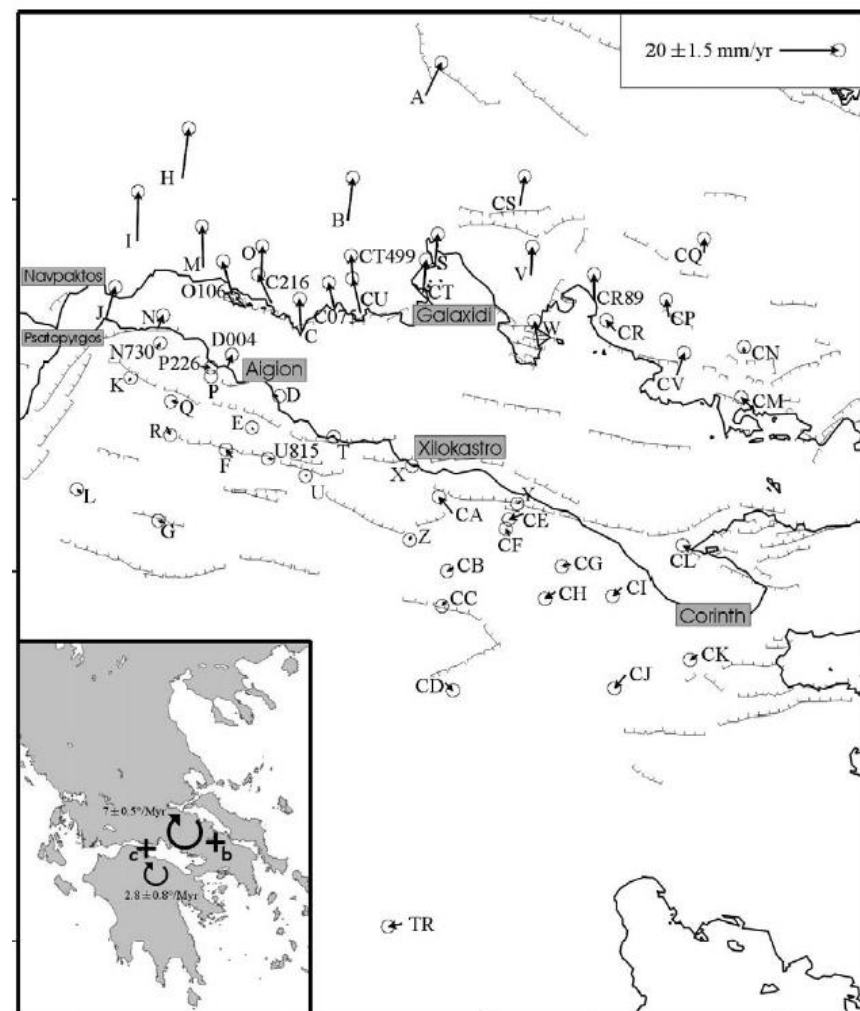
CRL: Γεωδαισία

<https://nfo.crlab.eu/insar-velocities><https://nfo.crlab.eu/gnss>

- Περίπου 15 μόνιμοι σταθμοί GNSS έχουν εγκατασταθεί σε μια περιοχή 90km×70km στο CRL.
- Επιπλέον, περίπου 100 σημεία GNSS επανεξετάζονται σε καμπάνιες, προκειμένου να πυκνωθούν οι γεωδαιτικές μετρήσεις.
- Γίνεται συνδυασμός με Συμβολομετρία Ραντάρ Συνθετικού Ανοίγματος (InSAR) για την παροχή μιας πιο ολοκληρωμένης εικόνας της παρατηρούμενης παραμόρφωσης της επιφάνειας.



Elias & Briole (2018)

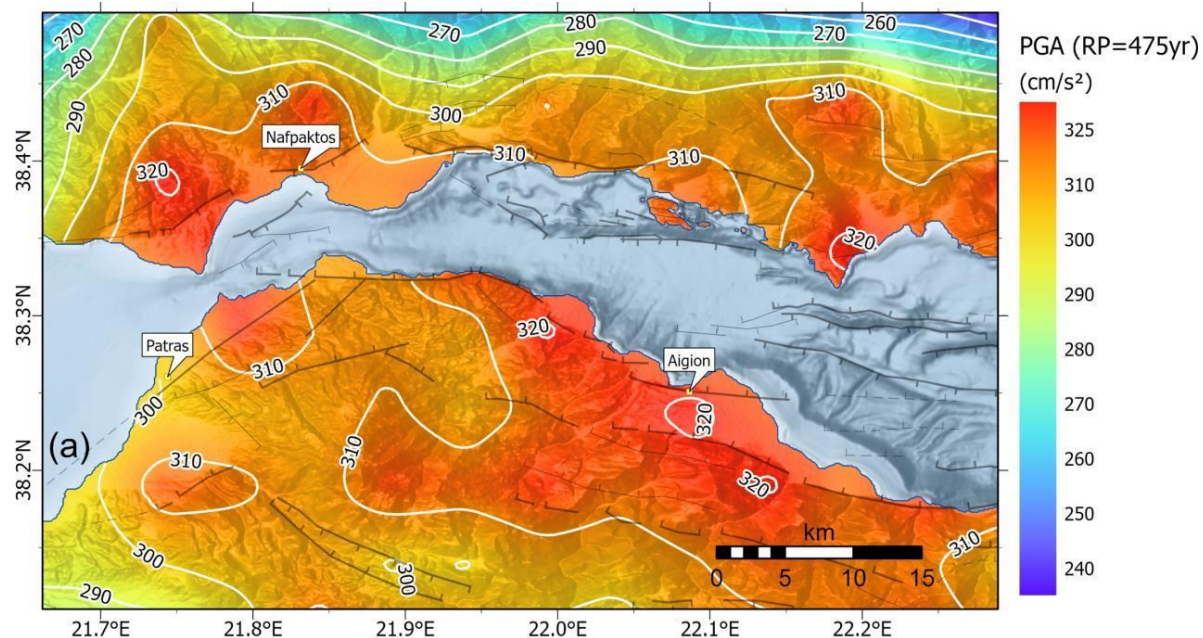


Avallone et al. (2004)



CRL: Πιθανολογική εκτίμηση σεισμικής επικινδυνότητας (PSHA)

Πιθανολογική εκτίμηση σεισμικής επικινδυνότητας (PSHA): Εκτιμά την πιθανότητα υπέρβασης των επιπέδων εδαφικής κίνησης σε μια τοποθεσία εντός μιας δεδομένης χρονικής περιόδου, με βάση ένα μοντέλο σεισμικής πηγής (σεισμοί και ρήγματα), μοντέλα επαναληψιμότητας και σχέσεις απόσβεσης (GMPE).

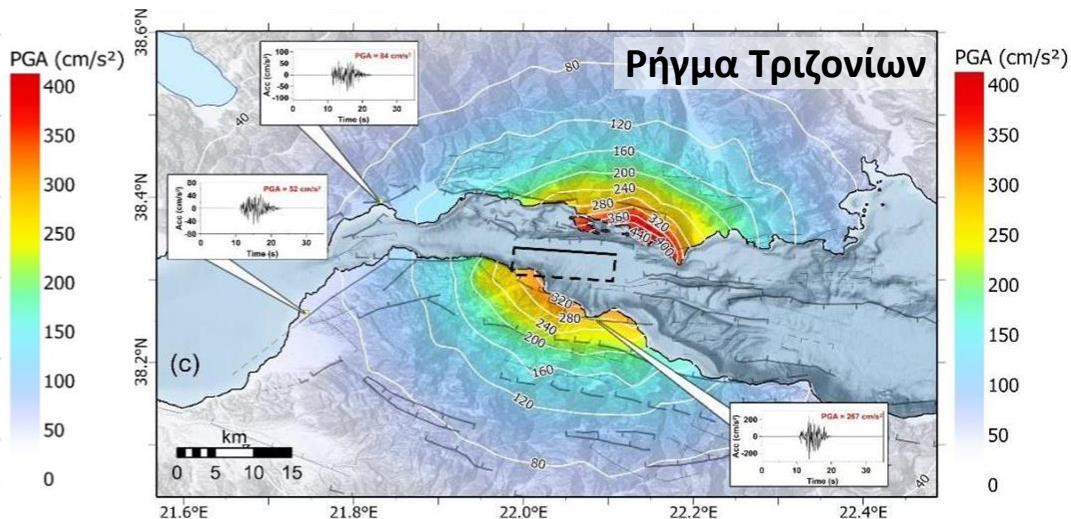
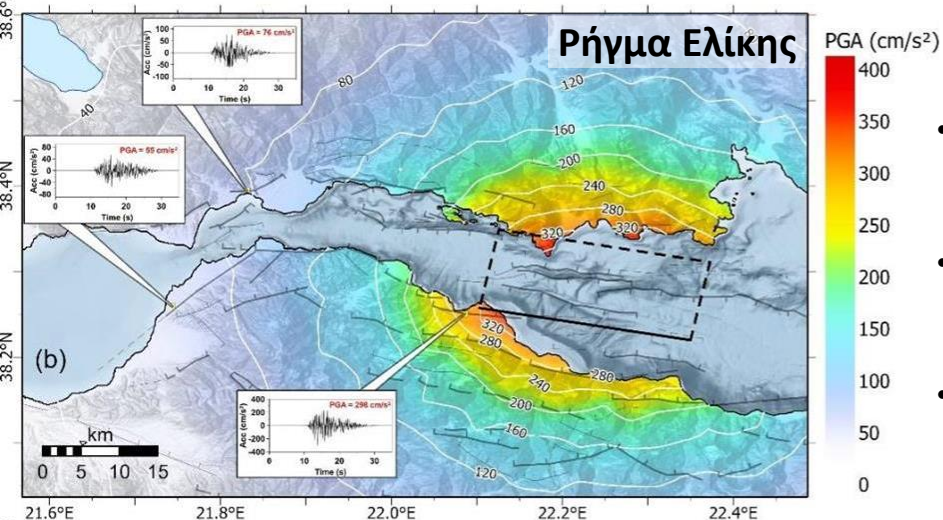
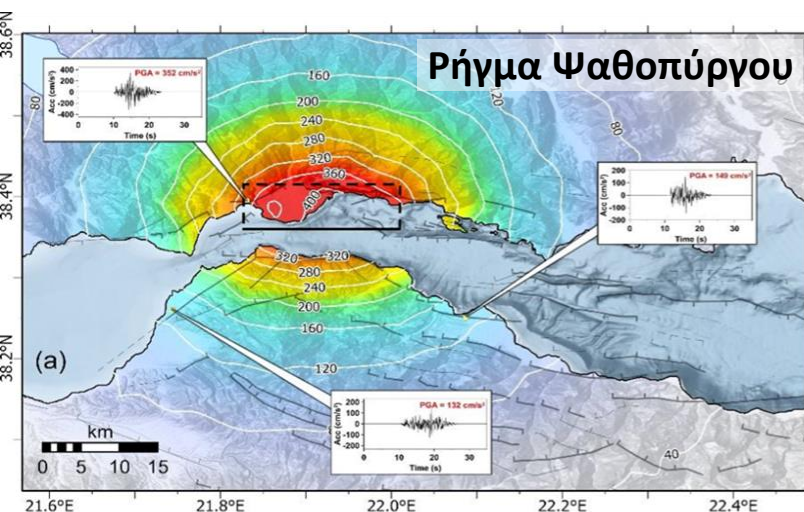


Kaviris et al. (2022)

- Οι **υψηλότερες τιμές** εντοπίζονται σε κοντινή απόσταση από την **ακτογραμμή**, κοντά στη **Ναύπακτο** και το **Αίγιο**.
- Η **μέγιστη εδαφική επιτάχυνση (PGA)** **μειώνεται** προς τα **βόρεια** και φτάνει στο ελάχιστό της, περίπου **250 cm/s²**, στο βορειοανατολικό άκρο της περιοχής μελέτης.
- Η **μέγιστη τιμή ~325 cm/s²** παρατηρείται **~5 km NNA του Αίγιου**.
- Οι τιμές αυτές είναι αντίστοιχες, αλλά λίγο υψηλότερες από εκείνες που παρέχει ο ΕΑΚ, με τις οποίες χτίζουν οι μηχανικοί (π.χ., 0.24g).



CRL: Εκτίμηση σεισμικής επικινδυνότητας με μοντέλα φυσικής



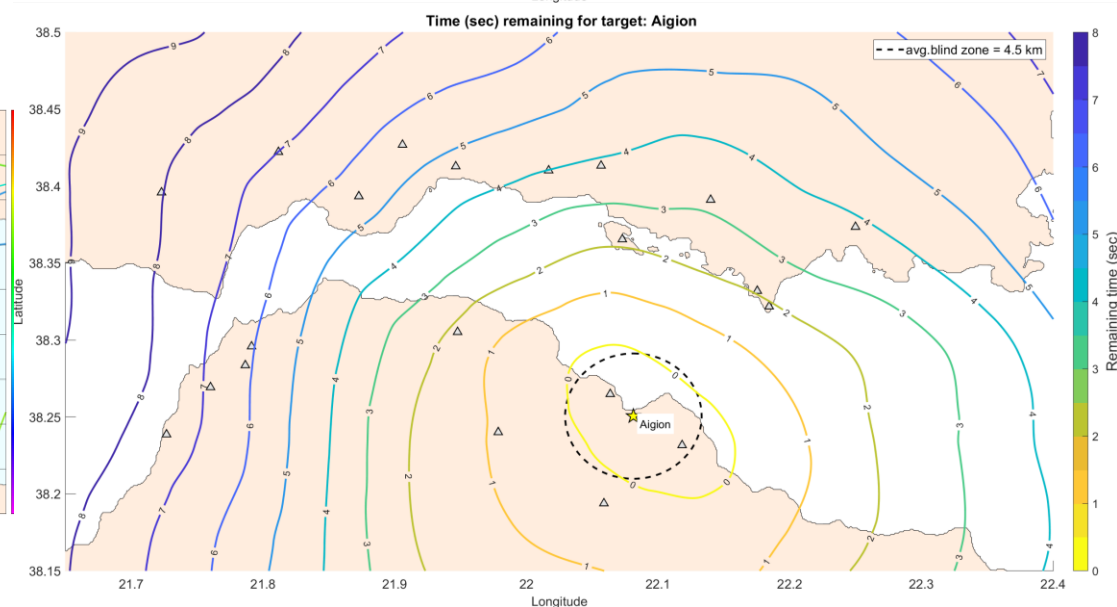
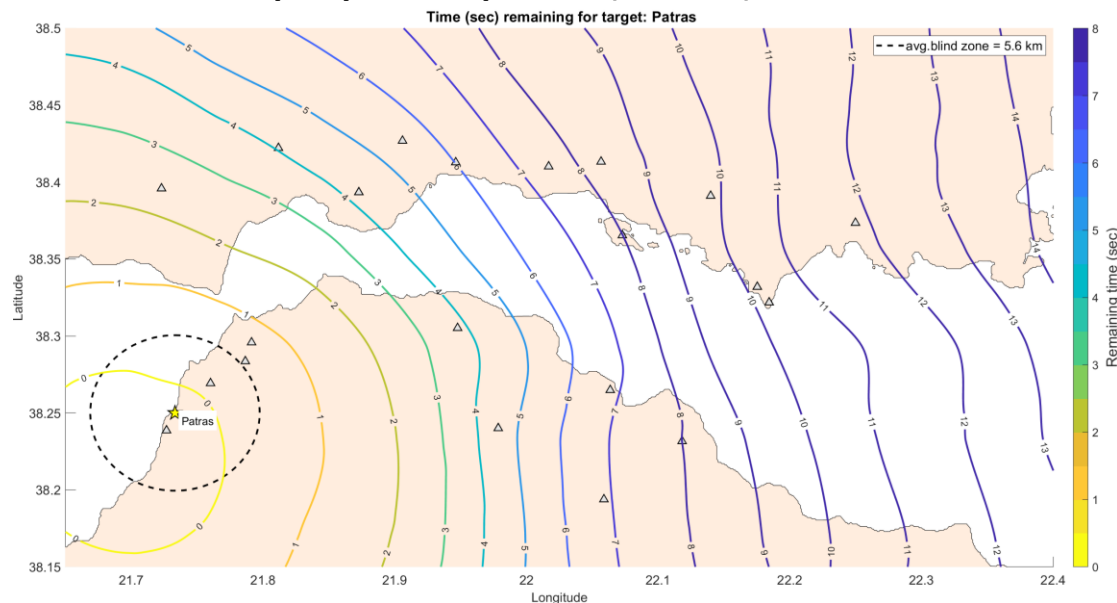
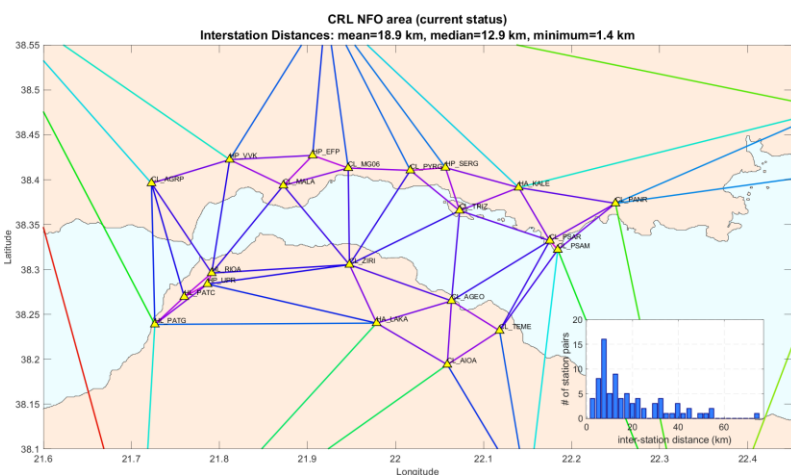
Στοχαστική μοντελοποίηση για σενάρια διάρρηξης

- Παρουσιάζονται οι προσομοιωμένες χρονοσειρές επιτάχυνσης για την Πάτρα, τη Ναύπακτο και το Αίγιο, μαζί με την προκύπτουσα τιμή PGA.
- Σε όλες τις περιπτώσεις, οι μέγιστες τιμές PGA (περίπου **350** έως **450 cm/s²**) βρίσκονται στην **επιφανειακή προβολή των ρηγμάτων** ή κοντά σε αυτή.
- Το ρήγμα της Ελίκης μπορεί να είναι το μεγαλύτερο σε διαστάσεις μεταξύ των τριών περιπτώσεων, αλλά το **ρήγμα του Ψαθοπύργου** παρήγαγε τις **υψηλότερες τιμές επιτάχυνσης** στην ξηρά, παρόλο που του αποδόθηκε ελαφρώς χαμηλότερο $M_{\max}$ (6.3) από εκείνο της Ελίκης ($M_{\max}$ 6.4).



CRL: Έγκαιρη Προειδοποίηση Σεισμών (EEW)

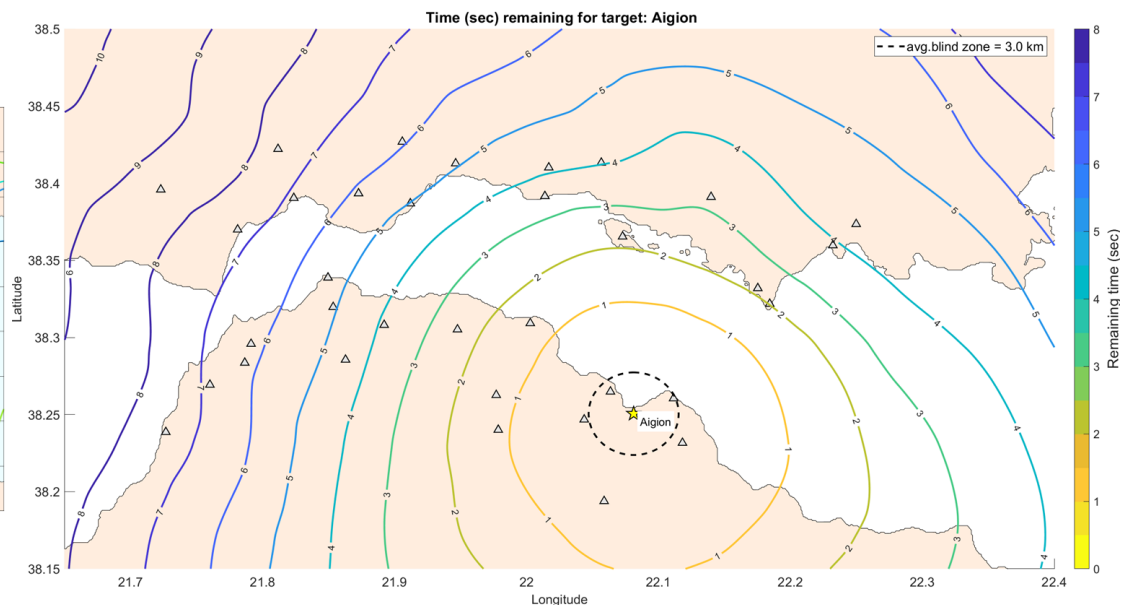
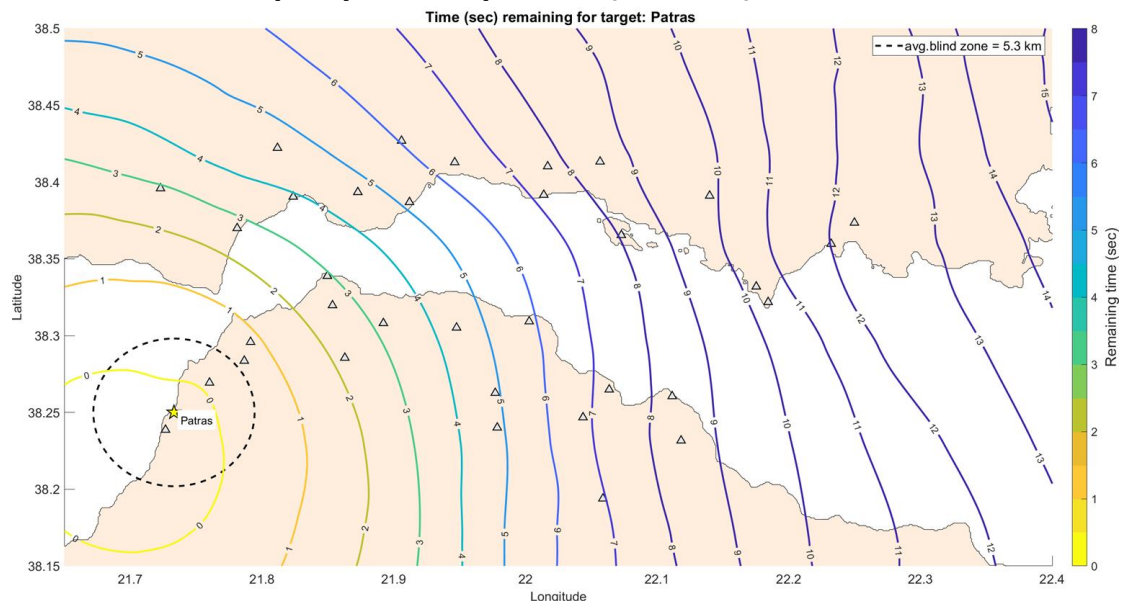
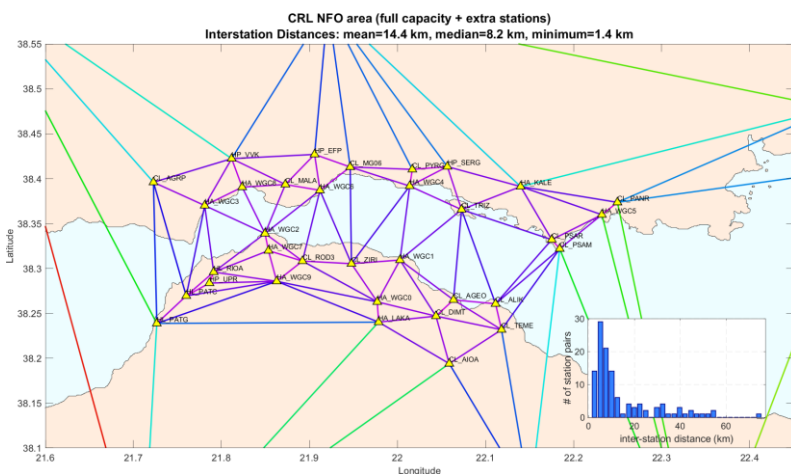
- Στο πλαίσιο του TRANSFORM², πραγματοποιήθηκαν δοκιμές εφαρμοσιμότητας EEW για το CRL.
- Με ιδανικά χαμηλές καθυστερήσεις (~1 sec) και ενεργοποίηση 4 σταθμών:
 - Η Πάτρα έχει ακτίνα τυφλής ζώνης ~5.6 km.
 - Το Αίγιο έχει ακτίνα τυφλής ζώνης ~4.5 km.
- Με ρεαλιστικές καθυστερήσεις (~4 sec) η ακτίνα τυφλής ζώνης αυξάνεται κατά ~15 km.





CRL: Έγκαιρη Προειδοποίηση Σεισμών (EEW)

- Μετά την εγκατάσταση 10 σταθμών χαμηλού κόστους και με το δίκτυο σε πλήρη λειτουργία, με ιδανικούς χρόνους καθυστέρησης (~1 sec) και ενεργοποίηση 4 σταθμών:
 - Η Πάτρα έχει ακτίνα τυφλής ζώνης ~5.3 km.
 - Το Αίγιο έχει ακτίνα τυφλής ζώνης ~3.0 km.
- Η Πάτρα θα είχε προειδοποίηση ~10 δευτερολέπτων για σεισμό στο επίκεντρο του σεισμού του 1995.





CRL: Οπτικό υδροστατικό κλισιόμετρο μακράς βάσης (OLBT) για την ανίχνευση αργών σεισμών

- Ένα όργανο OLBT μήκους βάσης 40 μέτρων έχει εγκατασταθεί σε μια σήραγγα έκτακτης ανάγκης της εθνικής οδού που διαχειρίζεται η Vinci Construction στον Δ. Κορινθιακό, κοντά στο ρήγμα του Ψαθοπύργου.
- Ο κύριος σκοπός του είναι να ανιχνεύει φαινόμενα αργής ολίσθησης (SSE) και να παρακολουθεί μικρές μεταβολές κλίσης του εδάφους με υψηλή ακρίβεια και μακροπρόθεσμη σταθερότητα.
- Τα δεδομένα του μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την έρευνα πρόδρομων σεισμικών φαινομένων και τον μετριάσμό του σεισμικού κινδύνου.

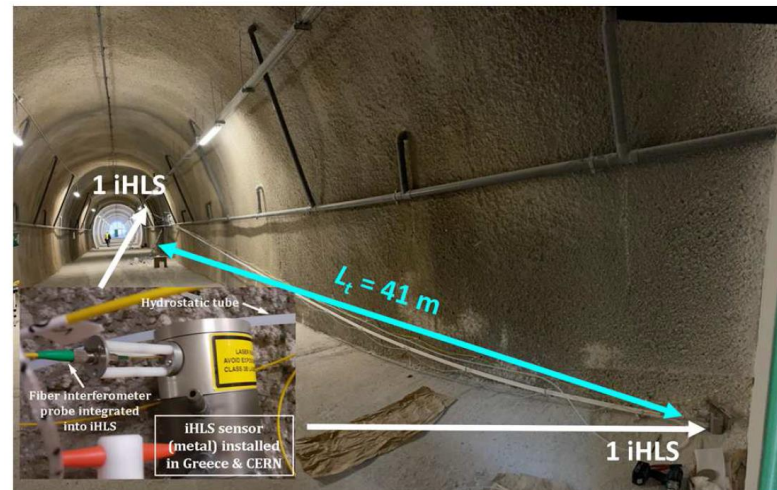
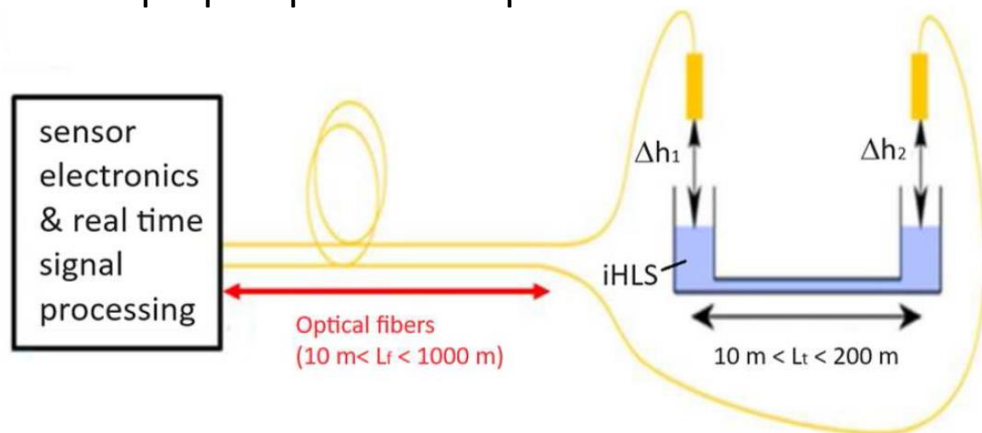
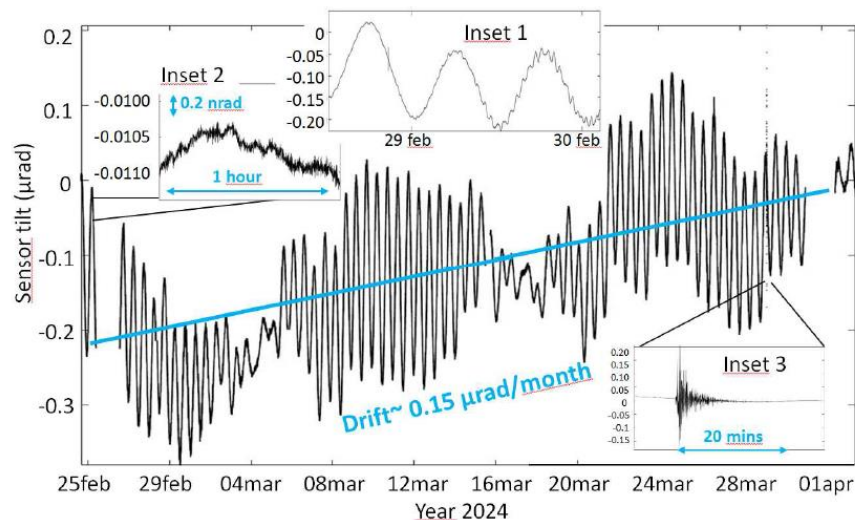


Fig. 3. OLBT with 2 *iHLS* installed in tunnel in Gulf of Corinth (Greece)





CRL: Εκπαίδευση

<https://nfo.crlab.eu/crl-school-2025>



- Το «**CRL School**» είναι ένα πολυήμερο θερινό σχολείο, το οποίο διοργανώνεται από το CRL.
- Γίνονται διαλέξεις σεισμολογίας, γεωφυσικής, γεωλογίας, GNSS και τηλεπισκόπησης, χρησιμοποιώντας τον Κορινθιακό Κόλπο ως φυσικό εργαστήριο.
- Απευθύνεται κυρίως σε μεταπτυχιακούς φοιτητές και υποψήφιους διδάκτορες της Ελλάδας και του εξωτερικού, καθώς και σε καθηγητές δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης.
- Προσφέρει:
 - Διαλέξεις από Έλληνες και διεθνείς ειδικούς στη σεισμολογία, γεωδαισία, τηλεπισκόπηση και άλλους τομείς των γεωεπιστημών, καθώς και της αντισεισμικής μηχανικής.
 - Πρακτική εξάσκηση σε πραγματικά επιστημονικά δεδομένα.
 - Επισκέψεις σε σεισμικούς σταθμούς / σταθμούς GNSS και ενεργά ρήγματα.



CRL: Εκπαίδευση

Bernard et al. (2006)



Η κατοπτρική επιφάνεια του ρήγματος της Ελίκης



CRL: Αναβάθμιση υποδομών στο πλαίσιο του TRANSFORM²

Ένα πεδίο δοκιμών για εφαρμογές νέων λογισμικών και οργάνων

- Πύκνωση δικτύου: Εγκατάσταση 10 νέων προσωρινών σεισμολογικών σταθμών χαμηλού κόστους για τη δοκιμή των δυνατοτήτων έγκαιρης προειδοποίησης σεισμών (EEW).
- Αναβαθμίσεις οργάνων GNSS: Σταθμοί GNSS υψηλής συχνότητας δειγματοληψίας, με εφαρμογή στην καταγραφή μεταβατικών σημάτων (π.χ. συν-σεισμικές μετατοπίσεις), με πιθανή ενσωμάτωση στο σύστημα EEW.
- Νέο λογισμικό και ροές εργασίας στην επεξεργασία δεδομένων:
 - Εφαρμογή μοντέλων μηχανικής μάθησης σε πραγματικό χρόνο για την ανίχνευση και τον εντοπισμό σεισμών.
 - Σετ δεδομένων με επισημασμένες σεισμικές κυματομορφές για την εκπαίδευση μοντέλων βαθιάς μάθησης.
 - Χαρακτηρισμός πηγής σε πραγματικό χρόνο για σεισμούς χαμηλών ή υψηλών μεγεθών: προσδιορισμός σχετικών αλλαγών στο πεδίο τάσεων και στα χαρακτηριστικά διάρρηξης σημαντικών σεισμών.
- Νέα όργανα και τεχνολογίες:
 - 6κάναλα «Rotaphone» που αναπτύσσονται στο TRANSFORM²
 - Σεισμογράφοι οπτικών ινών που αναπτύσσονται στο TRANSFORM²
 - Κατανεμημένη ακουστική ανίχνευση (DAS) σε διαθέσιμα καλώδια οπτικών ινών.
 - Οπτικό σεισμόμετρο θαλάσσιου πυθμένα (OBS).



CRL: Ανάγκες στη διαχείριση υποδομών

- Συντήρηση:
 - Τα όργανα που είναι εγκατεστημένα στο πεδίο εκτίθενται στις καιρικές συνθήκες.
 - Η λειτουργία τους 24/7 προκαλεί επίσης σταδιακή φθορά του εξοπλισμού.
 - Οι μπαταρίες και οι φορτιστές συχνά χρειάζονται αντικατάσταση.
- Τηλεμετρία:
 - Οι δρομολογητές πρέπει να αναβαθμιστούν σε 4G (ειδικά για εφαρμογές EEW).
 - Οι καθυστερήσεις λόγω δικτύου πρέπει να ελαχιστοποιηθούν ώστε να είναι εφικτή η EEW.
 - Όργανα: Ψηφιοποιητές που είναι βελτιστοποιημένοι για EEW μπορούν να μειώσουν την καθυστέρηση της μετάδοσης δεδομένων.
- Αποθήκευση δεδομένων:
 - Τα δεδομένα αρχειοθετούνται σε συστοιχίες δίσκων καθώς και σε offline αντίγραφα ασφαλείας.
 - Οι διακομιστές δεδομένων παρέχουν τα σεισμολογικά δεδομένα ελεύθερα, υπακούοντας στις αρχές FAIR των δεδομένων, στο κοινό μέσω διαδικτυακών υπηρεσιών (EIDA, FDSN-WS), οι οποίες απαιτούν συνεχή τεχνική υποστήριξη από ειδικούς IT.
 - Η μελλοντική αποθήκευση συνεχών δεδομένων DAS αποτελεί πρόκληση.
- Υπολογιστικές εγκαταστάσεις:
 - Η αυτόματη επεξεργασία δεδομένων σε πραγματικό χρόνο, ειδικά με μοντέλα βαθιάς μάθησης, απαιτεί πολλαπλούς διακομιστές με υψηλές δυνατότητες (CPU, GPU, RAM, διαθέσιμος χώρος αποθήκευσης) και υποστήριξη από ειδικούς IT.
- Ιστότοπος:
 - Οι παρεχόμενες υπηρεσίες ιστού απαιτούν διαχείριση και συντήρηση από ειδικούς IT.



ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Akkar, S., Sandikkaya, M.A., Bommer, J.J., 2014. Empirical ground-motion models for point- and extended-source crustal earthquake scenarios in Europe and the Middle East. *Bull. Earthq. Eng.* 12, 359–387. <https://doi.org/10.1007/s10518-013-9461-4>
- Avallone, A., Briole, P., Agatza-Balodimou, A.M., Billiris, H., Charade, O., Mitsakaki, C., Nercessian, A., Papazissi, K., Paradissis, D., Veis, G., 2004. Analysis of eleven years of deformation measured by GPS in the Corinth Rift Laboratory area. *Comptes Rendus Geosci.* 336, 301–311. <https://doi.org/10.1016/j.crte.2003.12.007>
- Bernard, P., Briole, P., Meyer, B., Lyon-Caen, H., Gomez, J.M., Tiberi, C., Berge, C., Cattin, R., Hatzfeld, D., Lachet, C., Lebrun, B., Deschamps, A., Courboux, F., Larroque, C., Rigo, A., Massonnet, D., Papadimitriou, P., Kassaras, J., Diagourtas, D., Makropoulos, K., Veis, G., Papazisi, E., Mitsakaki, C., Karakostas, V., Papadimitriou, E., Papanastassiou, D., Chouliaras, M., Stavrakakis, G., 1997. The Ms=6.2, June 15, 1995 Aigion earthquake (Greece): Evidence for low angle normal faulting in the Corinth rift. *J. Seismol.* 1, 131–150. <https://doi.org/10.1023/A:1009795618839>
- Bernard, P., Lyon-Caen, H., Briole, P., Deschamps, A., Boudin, F., Makropoulos, K., Papadimitriou, P., Lemeille, F., Patau, G., Billiris, H., Paradissis, D., Papazissi, K., Castarède, H., Charade, O., Nercessian, A., Avallone, A., Pacchiani, F., Zahradnik, J., Sacks, S., Linde, A., 2006. Seismicity, deformation and seismic hazard in the western rift of Corinth: New insights from the Corinth Rift Laboratory (CRL). *Tectonophysics* 426, 7–30. <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2006.02.012>
- Beyreuther, M., Barsch, R., Krischer, L., Megies, T., Behr, Y., Wassermann, J., 2010. ObsPy: A python toolbox for seismology. *Seismol. Res. Lett.* 81, 530–533. <https://doi.org/10.1785/gssrl.81.3.530>
- Bindi, D., Massa, M., Luzi, L., Ameri, G., Pacor, F., Puglia, R., Augliera, P., 2014. Pan-European ground-motion prediction equations for the average horizontal component of PGA, PGV, and 5 %-damped PSA at spectral periods up to 3.0 s using the RESORCE dataset. *Bull. Earthq. Eng.* 12, 391–430. <https://doi.org/10.1007/s10518-013-9525-5>
- Cornet, F.H., Bernard, P., Moretti, I., 2004. The Corinth Rift Laboratory. *Comptes Rendus - Geosci.* 336, 235–241. <https://doi.org/10.1016/j.crte.2004.02.001>
- Duverger, C., Lambotte, S., Bernard, P., Lyon-Caen, H., Deschamps, A., Nercessian, A., 2018. Dynamics of microseismicity and its relationship with the active structures in the western Corinth Rift (Greece). *Geophys. J. Int.* 215, 196–221. <https://doi.org/10.1093/gji/ggy264>
- Elias, P., Briole, P., 2018. Ground Deformations in the Corinth Rift, Greece, Investigated Through the Means of SAR Multitemporal Interferometry. *Geochemistry, Geophys. Geosystems* 19, 4836–4857. <https://doi.org/10.1029/2018GC007574>



ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Kaviris, G., Elias, P., Kapetanidis, V., Serpetsidaki, A., Karakonstantis, A., Plicka, V., De Barros, L., Sokos, E., Kassaras, I., Sakkas, V., Spingos, I., Lambotte, S., Duverger, C., Lengliné, O., Evangelidis, C.P., Fountoulakis, I., Ktenidou, O.-J., Gallovič, F., Bufférol, S., Klein, E., Aissaoui, E.M., Scotti, O., Lyon-Caen, H., Rigo, A., Papadimitriou, P., Voulgaris, N., Zahradnik, J., Deschamps, A., Briole, P., Bernard, P., 2021. The Western Gulf of Corinth (Greece) 2020–2021 Seismic Crisis and Cascading Events: First Results from the Corinth Rift Laboratory Network. *Seism. Rec.* 1, 85–95. <https://doi.org/10.1785/0320210021>
- Kaviris, G., Zymvragakis, A., Bonatis, P., Kapetanidis, V., Voulgaris, N., 2022. Probabilistic and Scenario-Based Seismic Hazard Assessment on the Western Gulf of Corinth (Central Greece). *Appl. Sci.* 12, 11152. <https://doi.org/10.3390/app122111152>
- Krischer, L., Megies, T., Barsch, R., Beyreuther, M., Lecocq, T., Caudron, C., Wassermann, J., 2015. ObsPy: a bridge for seismology into the scientific Python ecosystem. *Comput. Sci. Discov.* 8, 014003. <https://doi.org/10.1088/1749-4699/8/1/014003>
- Lyon-Caen, H., Papadimitriou, P., Deschamps, A., Bernard, P., Makropoulos, K., Pacchiani, F., Patau, G., 2004. First results of the CRLN seismic network in the western Corinth Rift: Evidence for old-fault reactivation. *Comptes Rendus - Geosci.* 336, 343–351. <https://doi.org/10.1016/j.crte.2003.12.004>
- Rigo, A., Lyon-Caen, H., Armijo, R., Deschamps, A., Hatzfeld, D., Makropoulos, K., Papadimitriou, P., Kassaras, I., 1996. A microseismic study in the western part of the Gulf of Corinth (Greece): Implications for large-scale normal faulting mechanisms. *Geophys. J. Int.* 126, 663–688. <https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.1996.tb04697.x>
- Seat, H.C., Cattoen, M., Apriyanto, H., Boudin, F., Nmili, Y., Bernard, P., Aissaoui, E.-M., Mavroeidi, A., Sokos, E., 2024. Optical Long Base Hydrostatic Tiltmeter for Slow Earthquake Detection, in: 2024 IEEE SENSORS. pp. 1–4. <https://doi.org/10.1109/SENSORS60989.2024.10784680>
- Serpetsidaki, A., Kapetanidis, V., Elias, P., Rigo, A., Spingos, I., De Barros, L., Lengliné, O., Bufférol, S., Karakonstantis, A., Bernard, P., Briole, P., Zahradnik, J., Kaviris, G., Plicka, V., Sokos, E., Voulgaris, N., 2023. The 2020–2021 seismic sequence in the Western Gulf of Corinth: Insights on the triggering mechanisms through high resolution seismological and geodetic data analysis. *Tectonophysics* 863, 230011. <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2023.230011>
- Woollam, J., Münchmeyer, J., Tilmann, F., Rietbrock, A., Lange, D., Bornstein, T., Diehl, T., Giunchi, C., Haslinger, F., Jozinović, D., Michelini, A., Saul, J., Soto, H., 2022. SeisBench—A Toolbox for Machine Learning in Seismology. *Seismol. Res. Lett.* 93, 1695–1709. <https://doi.org/10.1785/0220210324>
- Zhu, W., McBrearty, I.W., Mousavi, S.M., Ellsworth, W.L., Beroza, G.C., 2022. Earthquake Phase Association Using a Bayesian Gaussian Mixture Model. *J. Geophys. Res. Solid Earth* 127, e2021JB023249. <https://doi.org/10.1029/2021JB023249>

Ευχαριστώ για την προσοχή σας!