

# ΓΕΩΤΕΚΤΟΝΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΚΑΙ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΙΣ ΣΤΗΝ ΕΥΡΥΤΕΡΗ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΗΣ ΜΕΣΑΡΑΣ



Δρ Χαράλαμπος Γ. Φασουλάς, ΕΔΙΠ-Π.Κ./ Υπ. Τμ. Γεωποικιλότητας ΜΦΙΚ/Επ.  
Υπευθ. Γεωπάρκου Ψηλορείτη/Συντον. Ευρωπαϊκού Δικτύου Γεωπάρκων UNESCO



# Crete: an active geological laboratory

Είναι τμήμα των Αλπικών οροσειρών που δημιουργήθηκαν εδώ και 80 εκ. χρ., στο κέντρο του Ελληνικού ορογενετικού τόξου, το μόνο γεωλογικά ενεργό. Ως συνέπεια πολλές φυσικές διεργασίες λαμβάνουν χώρα αέναα.

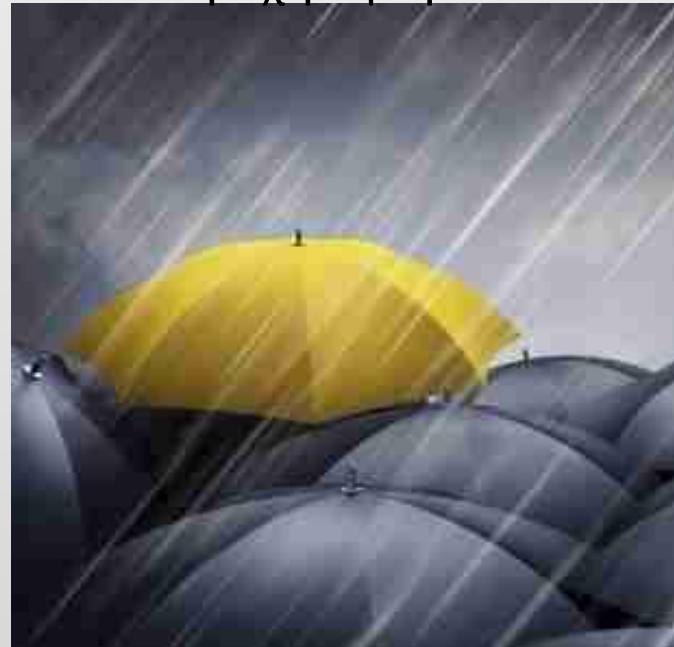


# 1. Φυσικά Φαινόμενα

Τα φυσικά φαινόμενα **δεν** καταστρέφουν (ούτε ο Θεός - Θεομηνία). Είναι αυτά που διαμόρφωσαν και διαμορφώνουν τον πλανήτη.

- Ένα φυσικό φαινόμενο σε κάποιες συνθήκες μπορεί να προκαλέσει ή όχι καταστροφή.
- Η αντιμετώπιση του φαινομένου από τον άνθρωπο διαμορφώνει τις συνθήκες καταστροφής

Βροχή-Ομπρέλα



Γνώση

Κεραυνός- Αλεξικέραυνο

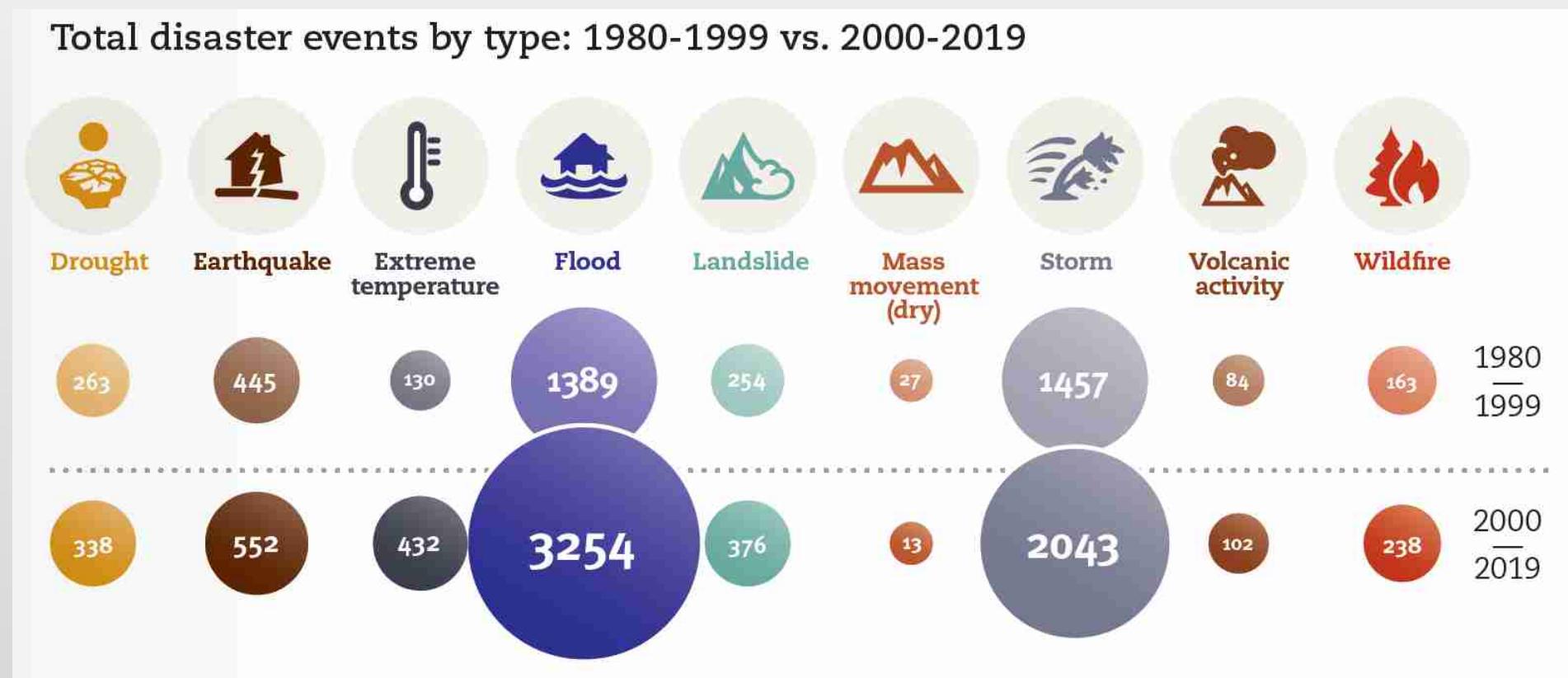


Τεχνολογία

# 1. Συχνότητα και τύποι καταστροφών

Σήμερα το μεγαλύτερο ποσοστό των καταστροφών σχετίζονται με **πλημμύρες**, ακολουθούν οι **καταιγίδες** και μετά οι **σεισμοί**.

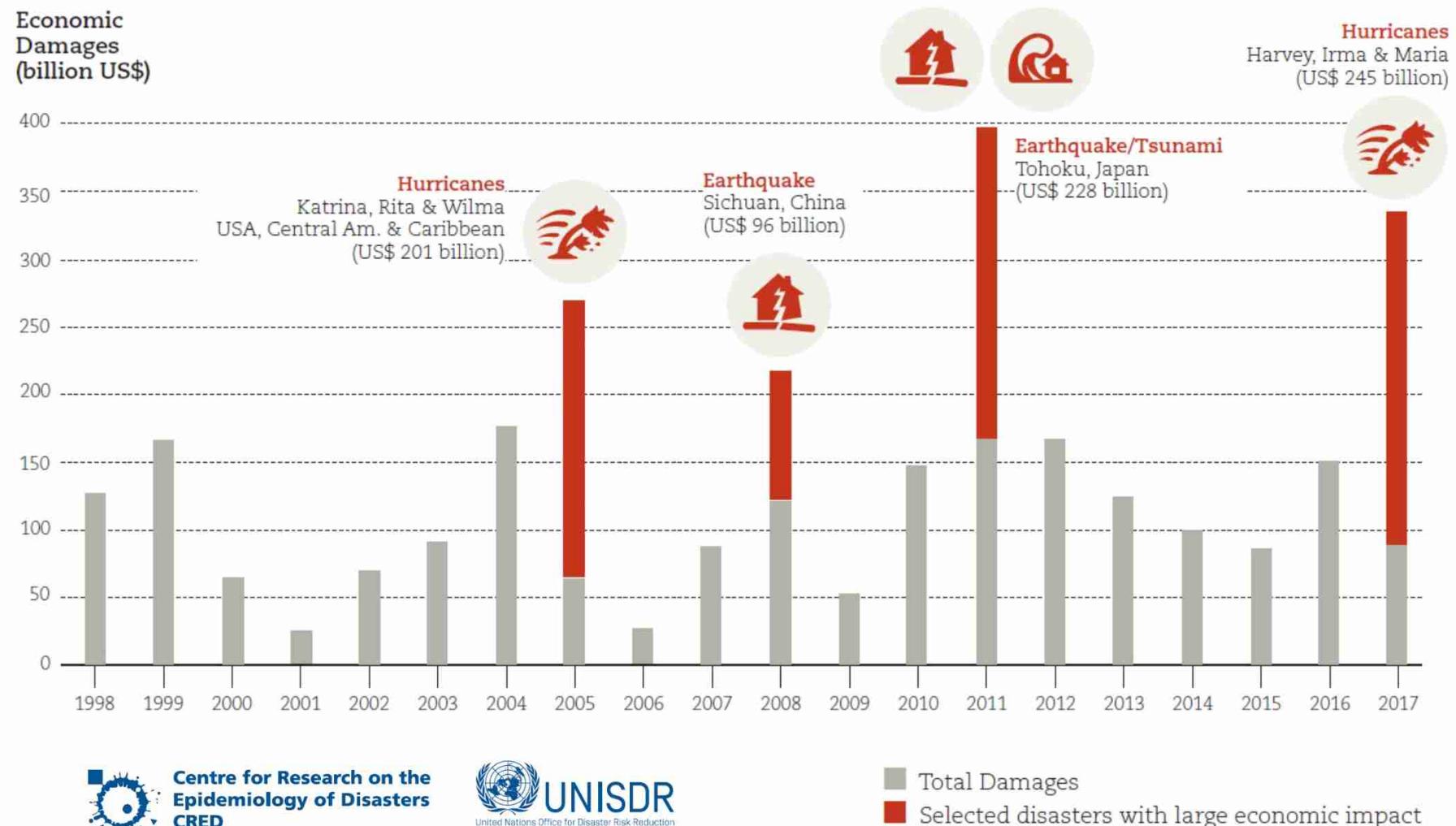
Παρατηρείται **διπλασιασμός** καταστροφών σχετιζόμενων με κλιματική αλλαγή.



# 1. Επιπτώσεις

Total reported economic losses per year,  
with major events highlighted 1998-2017

Οι οικονομικές  
επιπτώσεις των  
καταστροφών  
τείνουν να γίνουν  
δυσβάστακτες,  
οικονομικά και  
κοινωνικά.



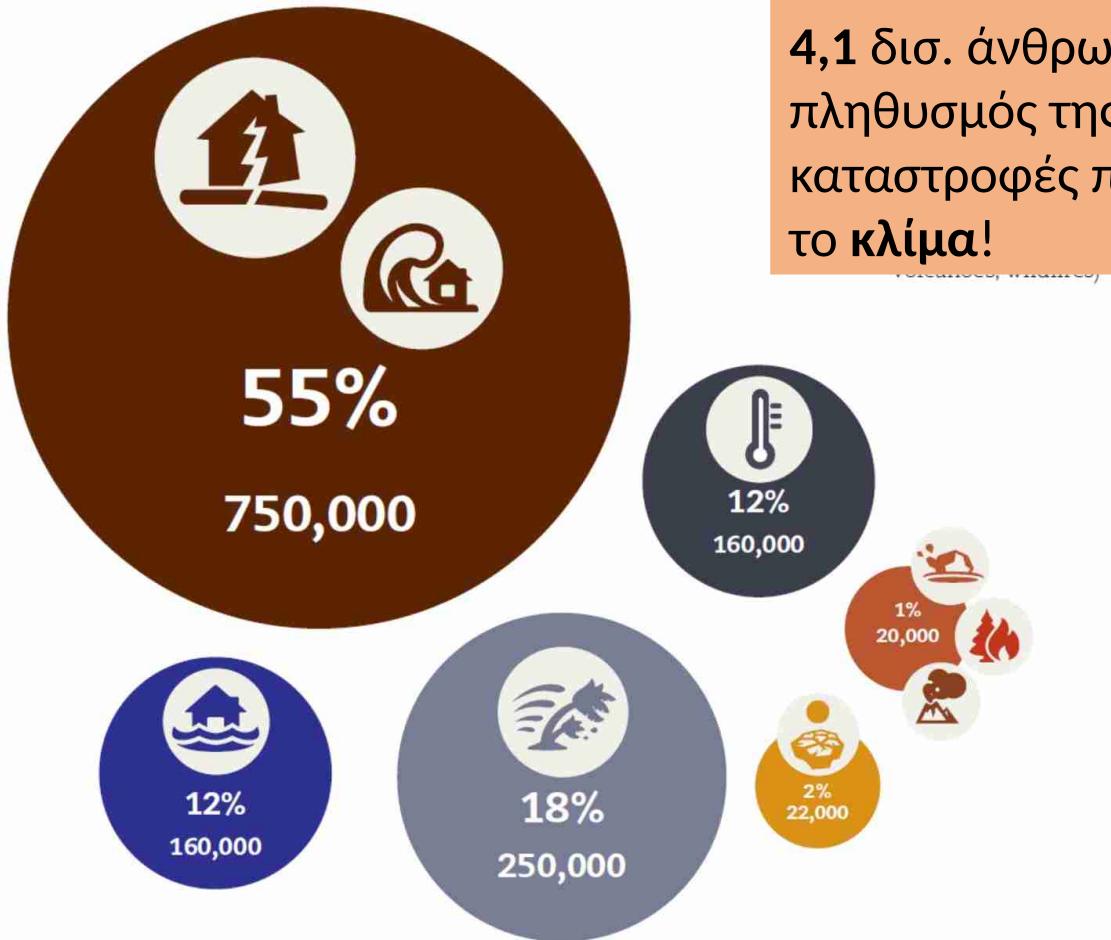
Centre for Research on the  
Epidemiology of Disasters  
CRED



United Nations Office for Disaster Risk Reduction

# 1. Επιπτώσεις

Number of deaths by disaster type (1994-2013)



Pascaline & Debarati 2017



Université  
catholique  
de Louvain

Institute of  
Health and  
Society (IRSS)



USAID  
FROM THE AMERICAN PEOPLE



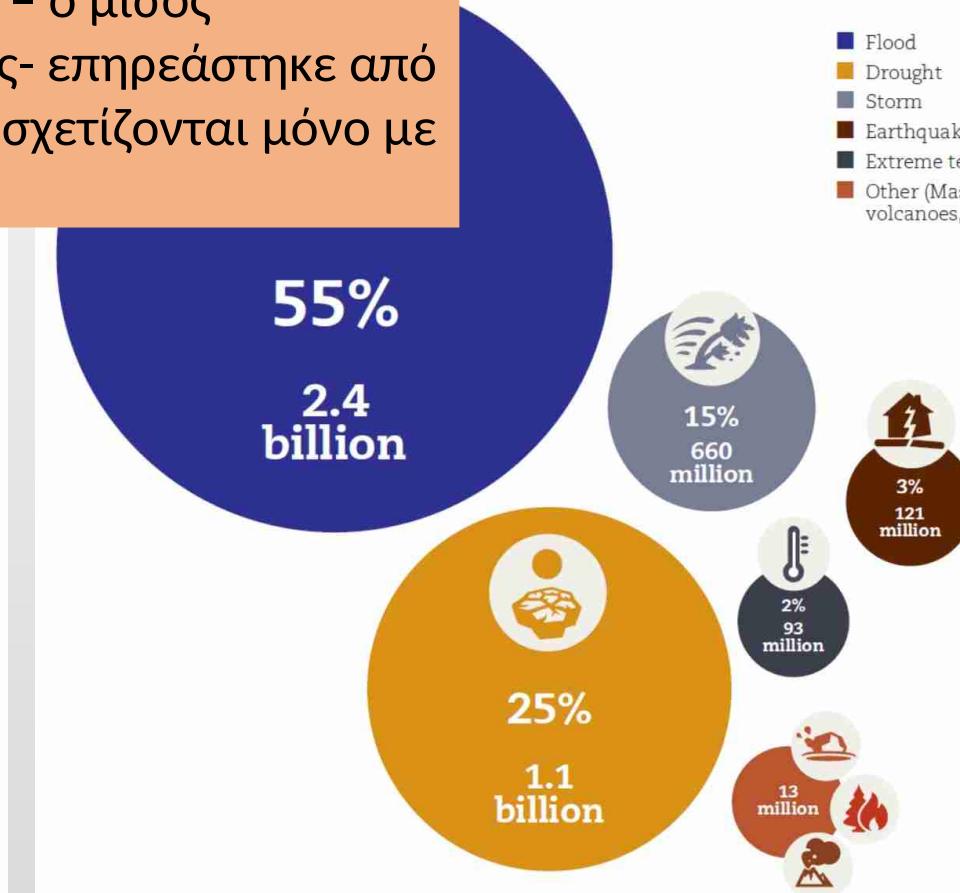
The United Nations Office for Disaster Risk Reduction

1,5 εκ. θάνατοι από τις καταστροφές,  
ενώ

4,1 δισ. άνθρωποι – ο μισός  
πληθυσμός της Γης - επηρεάστηκε από  
καταστροφές που σχετίζονται μόνο με  
το κλίμα!

Number of people affected by disaster type (1994-2013)  
(total affected)

- Flood
- Drought
- Storm
- Earthquake
- Extreme temperature
- Other (Mass movement, volcanoes, wildfires)



Pascaline & Debarati 2017



Université  
catholique  
de Louvain

USAID  
FROM THE AMERICAN PEOPLE

UNISDR  
The United Nations Office for Disaster Risk Reduction

# 1. Αίτια

- Βασικές αιτίες είναι η **άγνοια**, η **αστυφιλία** και η εξάρτηση από **υποδομές** που αυξάνει την τρωτότητα ανθρώπων και υποδομών (WB 2010)
- Μέχρι το 2050 οι μεγα-πόλεις αναμένεται να έχουν **διπλασιάσει** τον πληθυσμό τους!!!



# 1. Καταστροφές και άνθρωπος

Η άγνοια οδήγησε παλιά τους ανθρώπους να φτιάξουν μύθους για διάφορα καταστροφικά φαινόμενα

## Εγκέλαδος (Αρχαίοι Έλληνες)

Ο Τιτάνας Εγκέλαδος νικήθηκε από την θεά Αθηνά που τον πλάκωσε με τη Σικελία. Κάθε φορά που κουνιέται γίνονται σεισμοί ή εκρήξεις ηφαιστείων και τότε «κτυπά ο Εγκέλαδος».



# 1. Καταστροφές και άνθρωπος

Η άγνοια οδήγησε παλιά τους ανθρώπους να φτιάξουν μύθους για διάφορα καταστροφικά φαινόμενα

## ΓατόΦαρο (Γιαπωνέζοι)

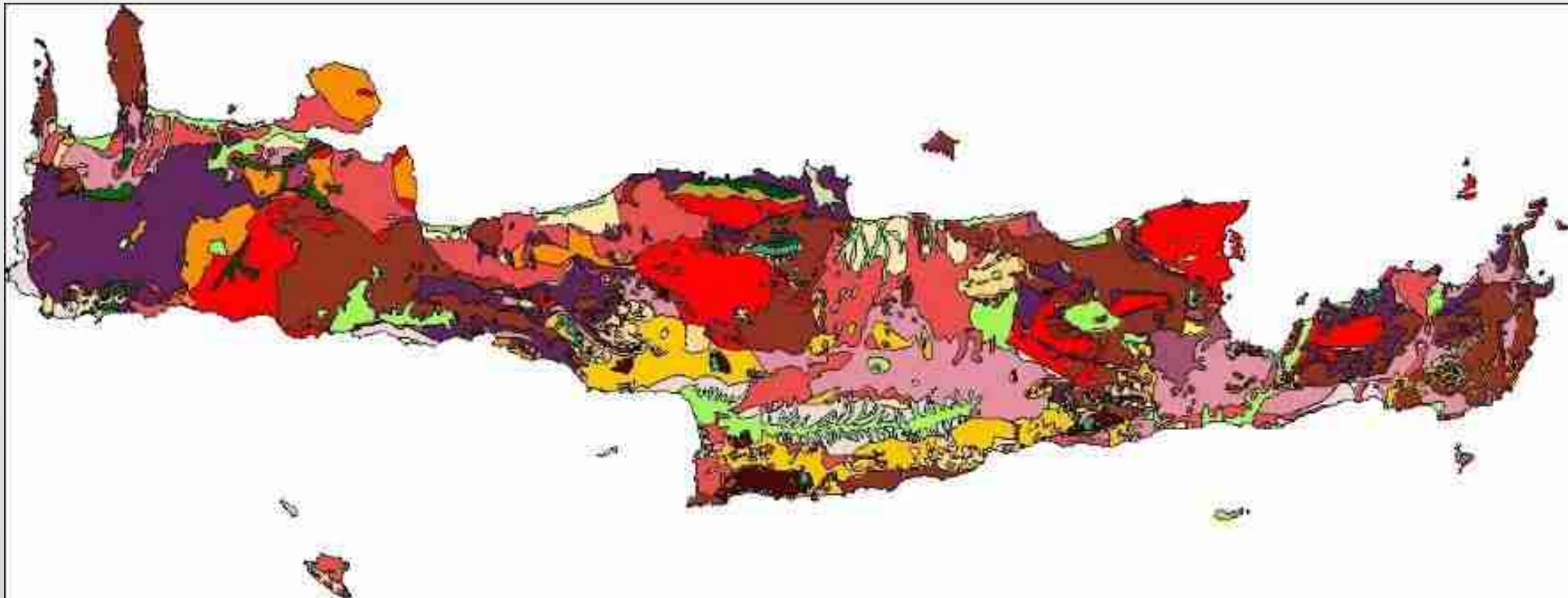
Ένα τεράστιο γατόΦαρο σήκωνε τη Γη. Ο θεός Κασίμα που προστάτευε την Ιαπωνία το είχε σκεπάσει με μια τεράστια πέτρα που ήλεγχε με μαγικές δυνάμεις. Όταν αυτό κουνιόταν τότε γινόταν οι σεισμοί.



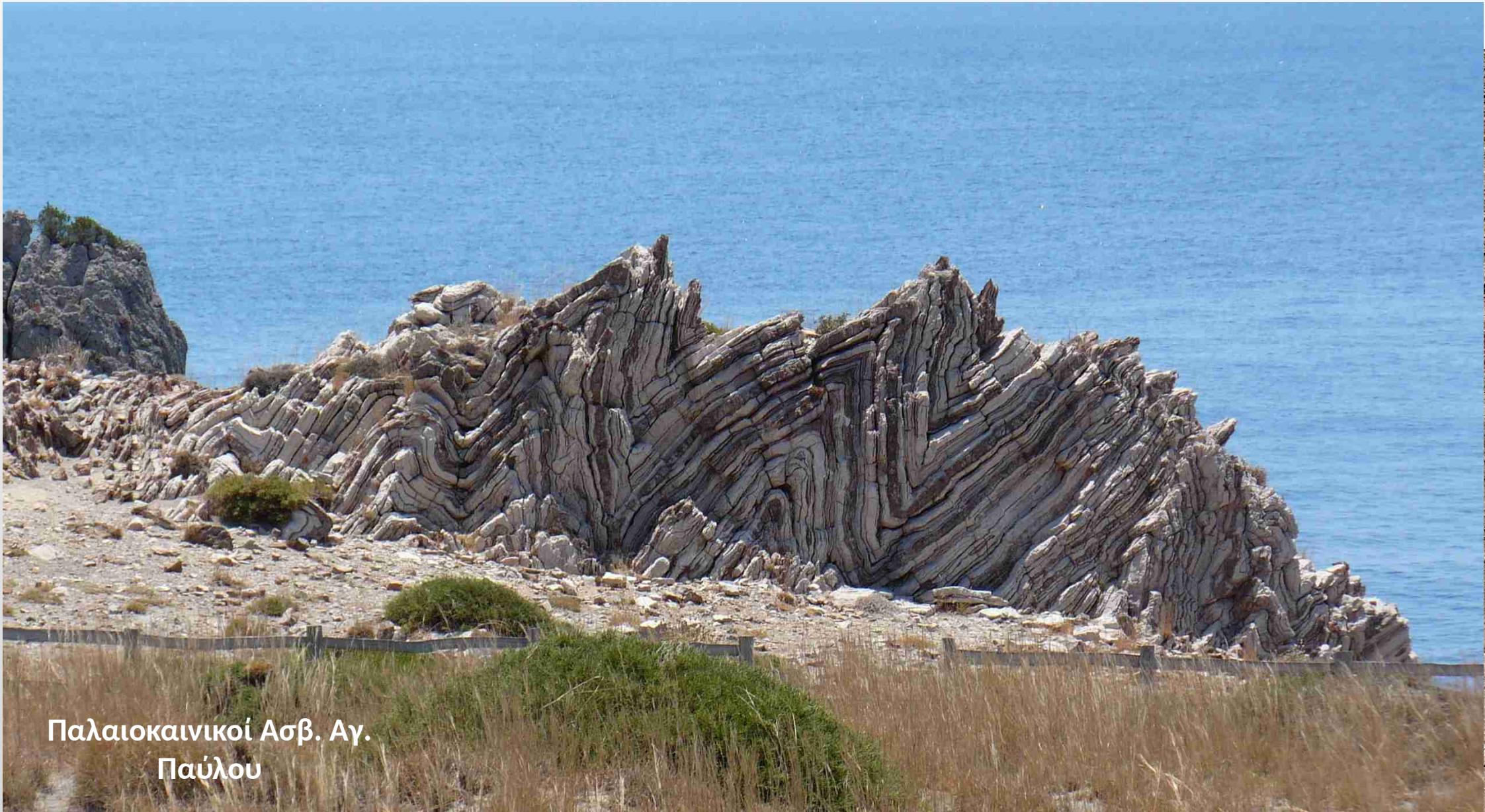
## 2. Η γεωποικιλότητα της Κρήτης

Η Κρήτη χαρακτηρίζεται από μια τεράστια ποικιλία πετρωμάτων, τόσο κατακερματισμένων, σαν ένα φυσικό μωσαϊκό!

Στα φύλλα του ΙΓΜΕ περιγράφονται πάνω από 200 πετρολογικοί τύποι που αντιστοιχούν από το Δεβόνιο (~390 εκ.χρ.) μέχρι το Πλειστόκαινο!



## 2. Ιδιαίτερα πετρώματα



Παλαιοκαϊνικοί Ασβ. Αγ.  
Παύλου



## 2. Ιδιάτερα πετρώματα

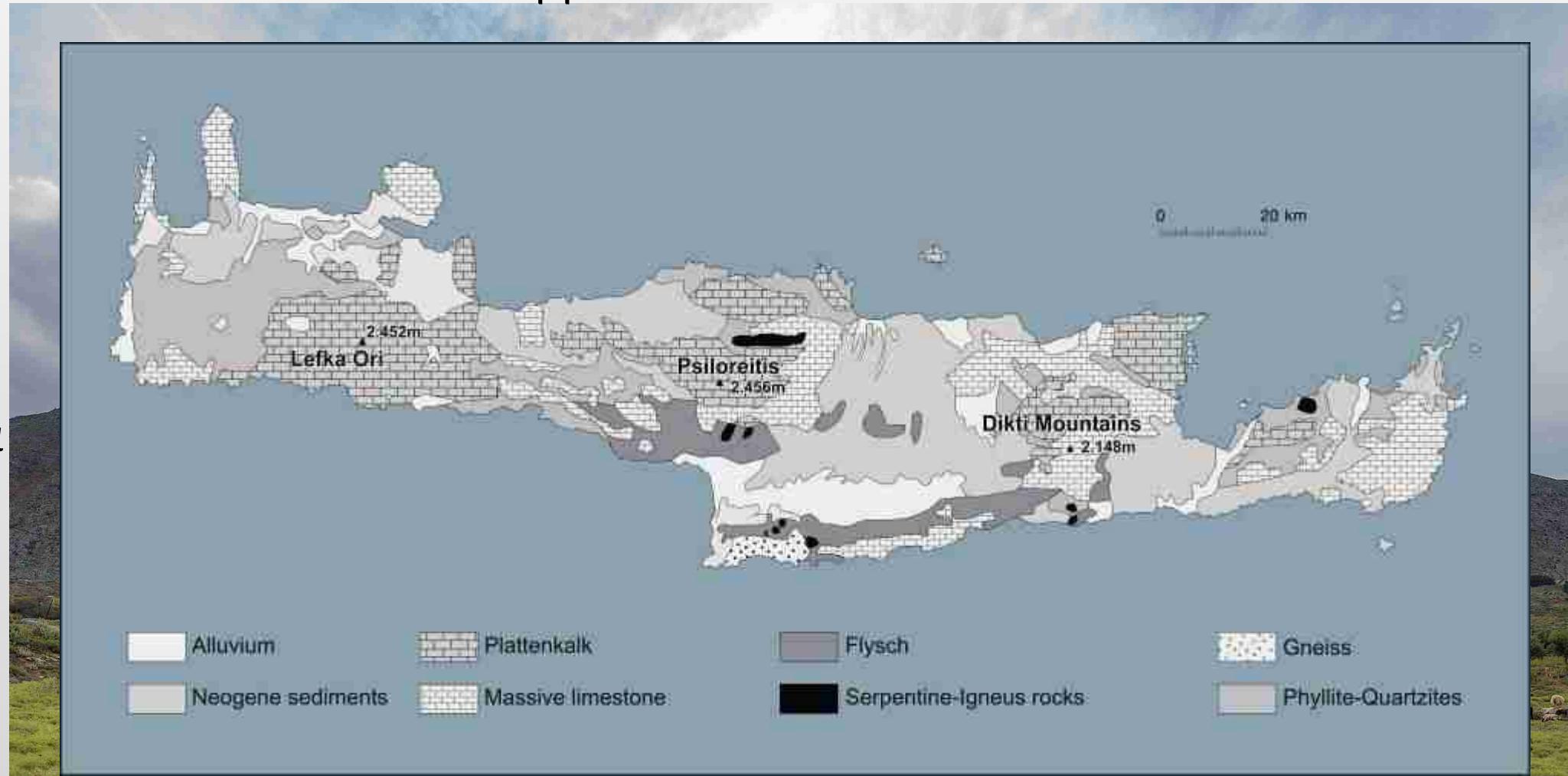
Ακόμα και ηφαιστειακά και άλλα πετρώματα από τα έγκατα της Γης!



## 2. Η σημερινή δομή των καλυμμάτων

Η ενότητα των Πλακωδών ασβεστολίθων αποτελεί τη ραχοκοκαλιά πάνω στην οποία τοποθετούνται τα υπόλοιπα καλύμματα.

Το 70% των πετρωμάτων της είναι ανθρακικής σύστασης και εμφανίζεται κυρίως στα βουνά.

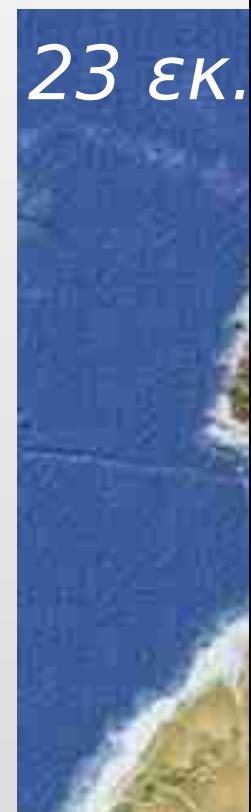


### 3. Η πρώτη «Κρητική Γη»

Η πρώτη ξηρά στην Κρήτη  
αποτελούσε μέρος της  
μεγάλης Αιγηίδας!

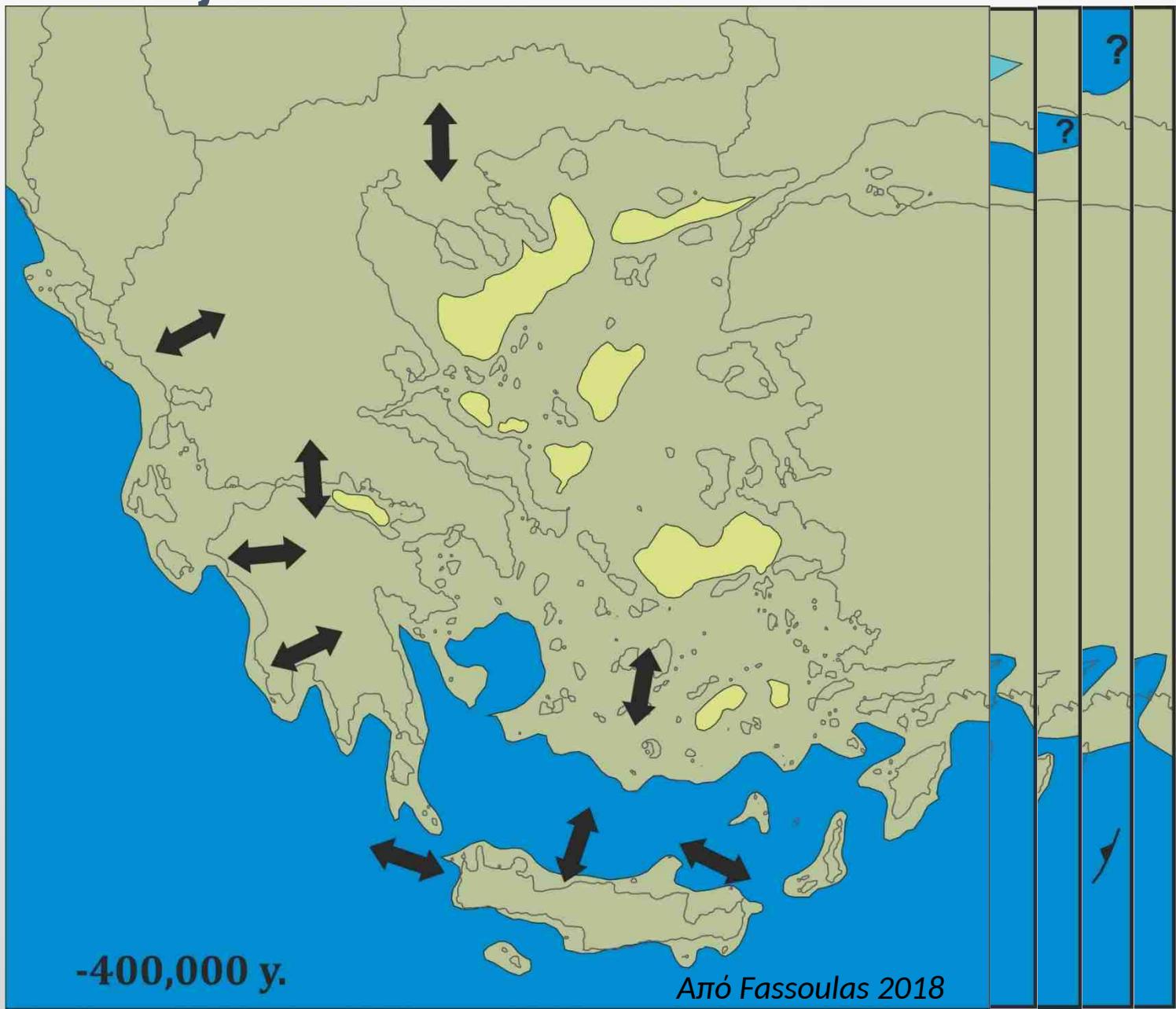
Όμως η κατάσταση αυτή  
δεν κράτησε πολύ. Πριν  
από 15 εκ.χρ. άρχισε η  
δημιουργία του  
αρχιπελάγους στο Αιγαίο  
εξαιτίας της έναρξης της  
σύγχρονης υποβύθισης  
νότια της Κρήτης και της  
διαφυγής της Ανατολίας.

23 εκ.



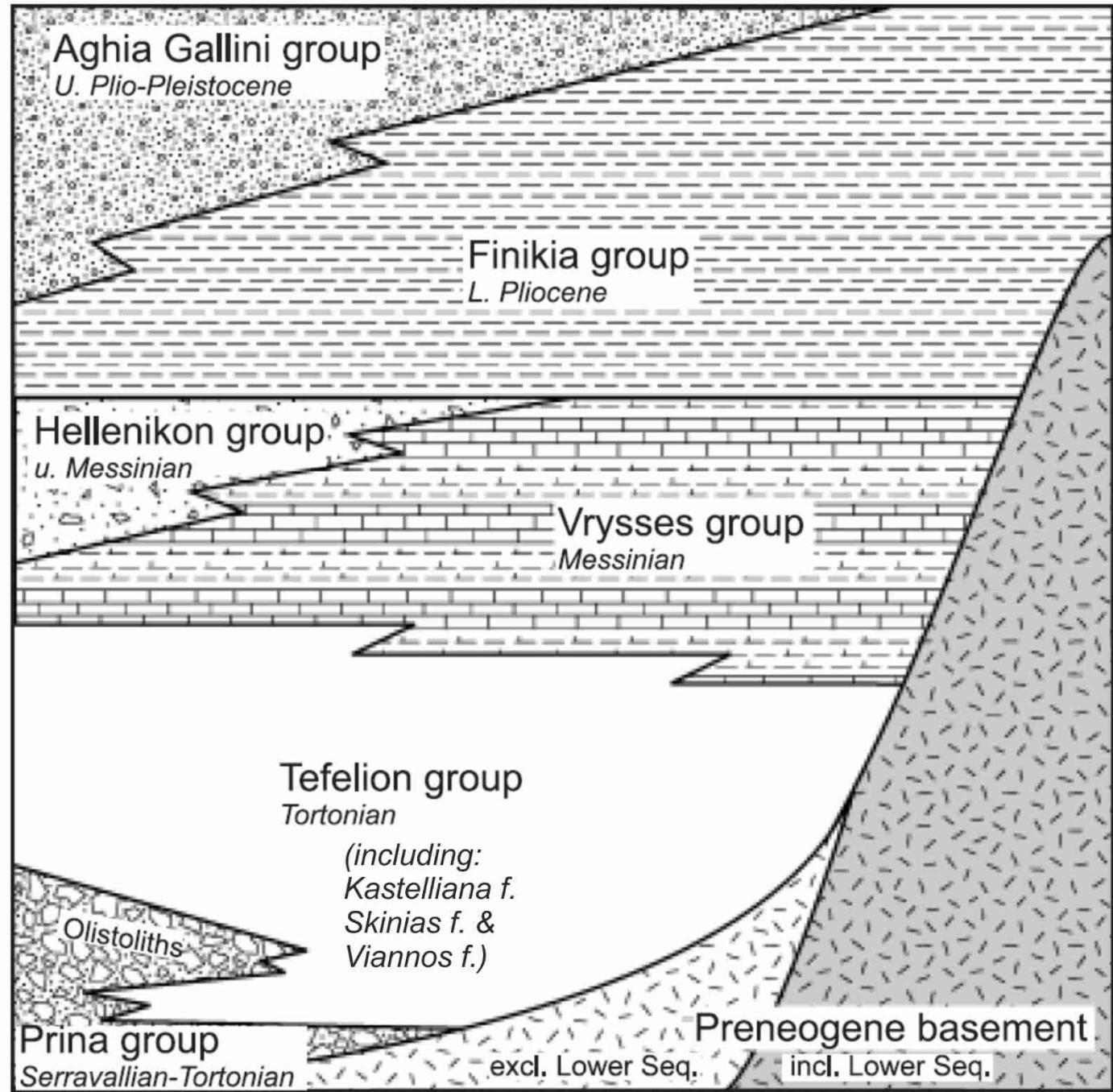
### 3. Η εξέλιξη του Νεογενούς

Την περίοδο αυτή το νότιο Αιγαίο βρέθηκε σε καθεστώς έντονης έκτασης και οριζόντιων και κατακόρυφων μετακινήσεων (μέσω ρηγμάτων) που διαμόρφωσαν τη σημερινή εικόνα.



### 3. Νεογενή πετρώματα

Τα νεογενή πετρώματα της Κρήτης ομαδοποιούνται σε 6 βασικές ομάδες με ποικιλία πετρολογικών τύπων και ιζηματολογικών χαρακτηριστικών.



# 3. Μειόκαινο: Η πλούσια πανίδα της Κρήτης

Κάπου στο Ανω Μειόκαινο (15-8 εκατ. χρόνια):



Κρήτη: Πικερμική «ισορροπημένη» ή «ηπειρωτική» πανίδα

## Β. Απολιθώματα Μειοκαίνου: Θαλάσσια (Σειρήνια)

1. Κοτσιανά
2. Στύλος
3. Πανασσός
4. Τρυπητός
5. Αφράτα
6. Κεφάλα Γέργερη
7. Αμπελούζος
8. Πανασσός Β
9. Βασιλική προς Λα
10. Φίλιππο
11. Γδόχια
12. Τύμπανα
13. Κεφάλα

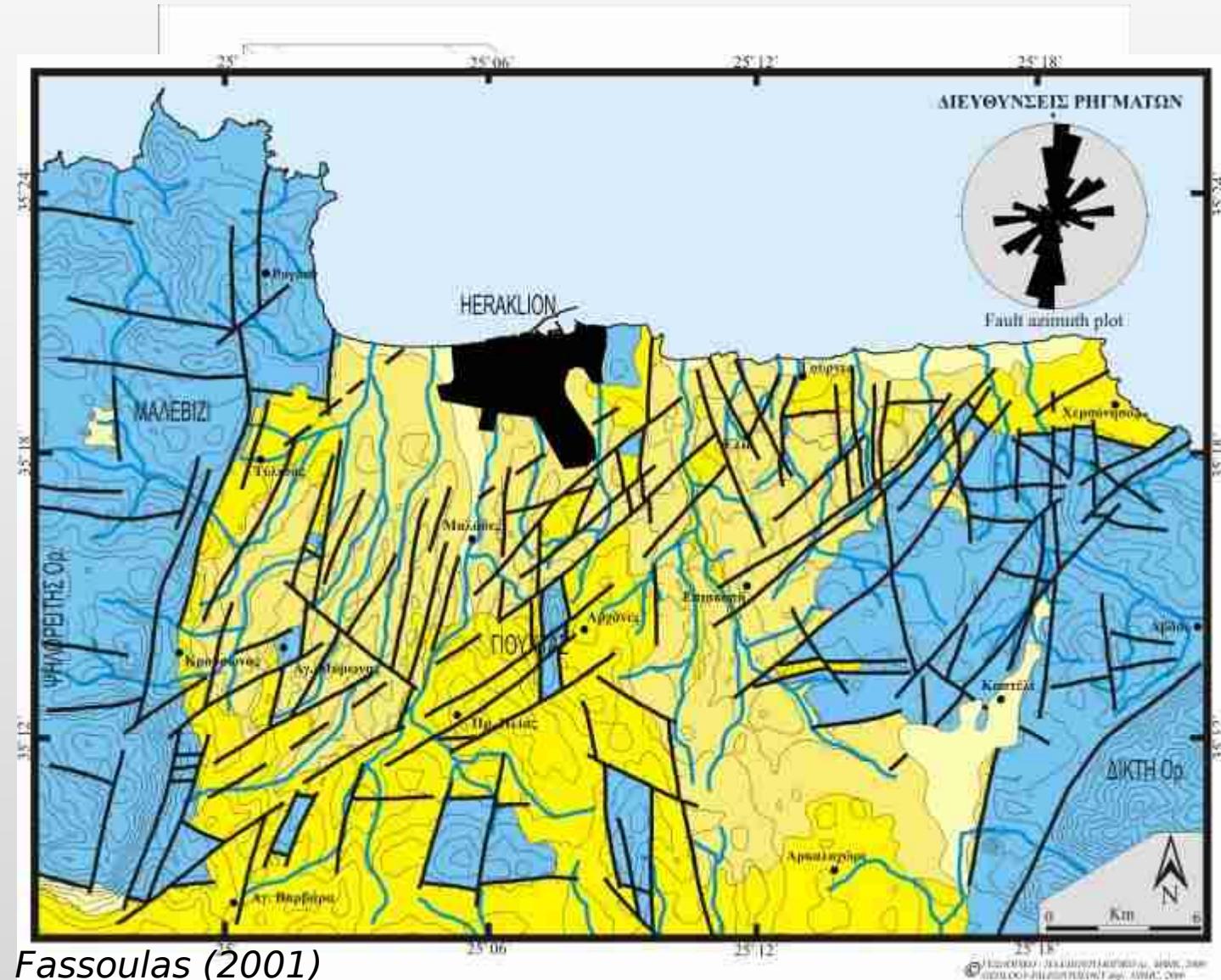


# 3. Η δημιουργία των τεκτονικών Λεκανών

Οι πρώτες λεκάνες αναπτύχθηκαν στην διεύθυνση Α-Δ ώς συνέπεια της εκταφής των κατωτέρων καλυμμάτων στο Ανω Μειόκαινο.

Στο Ανώτερο Μειόκαινο-Πλειόκαινο, εκτεταμένες βυθίσεις με λεκάνες στη διεύθυνση Β-Ν.

Από το Πλειστόκαινο ένα σύνθετο καθεστώς έκτασης λόγω του ενεργού γεωτεκτονικού πλαισίου.



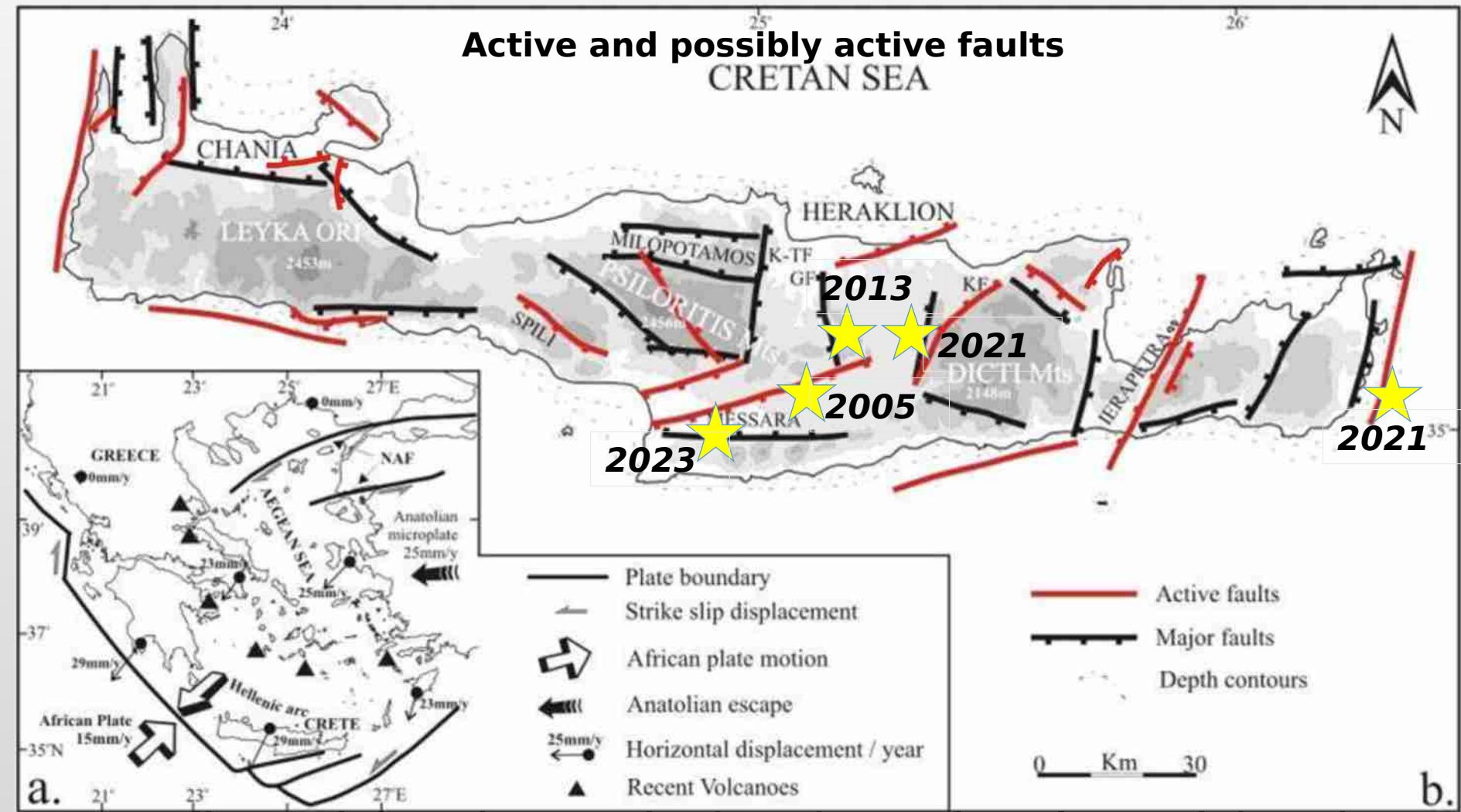
### 3. Η δημιουρ



### 3. Η κατάτμηση της Κρήτης

Από τα 13 εκ.χρ.  
μέχρι και σήμερα  
το Αιγαίο και  
ιδιαίτερα η Κρήτη  
συνεχώς  
τεμαχίζονται από  
ρήγματα κανονικά  
(έκτασης φλοιού)!  
Οι λεκάνες και τα  
βουνά  
οριοθετούνται από  
τα ρήγματα

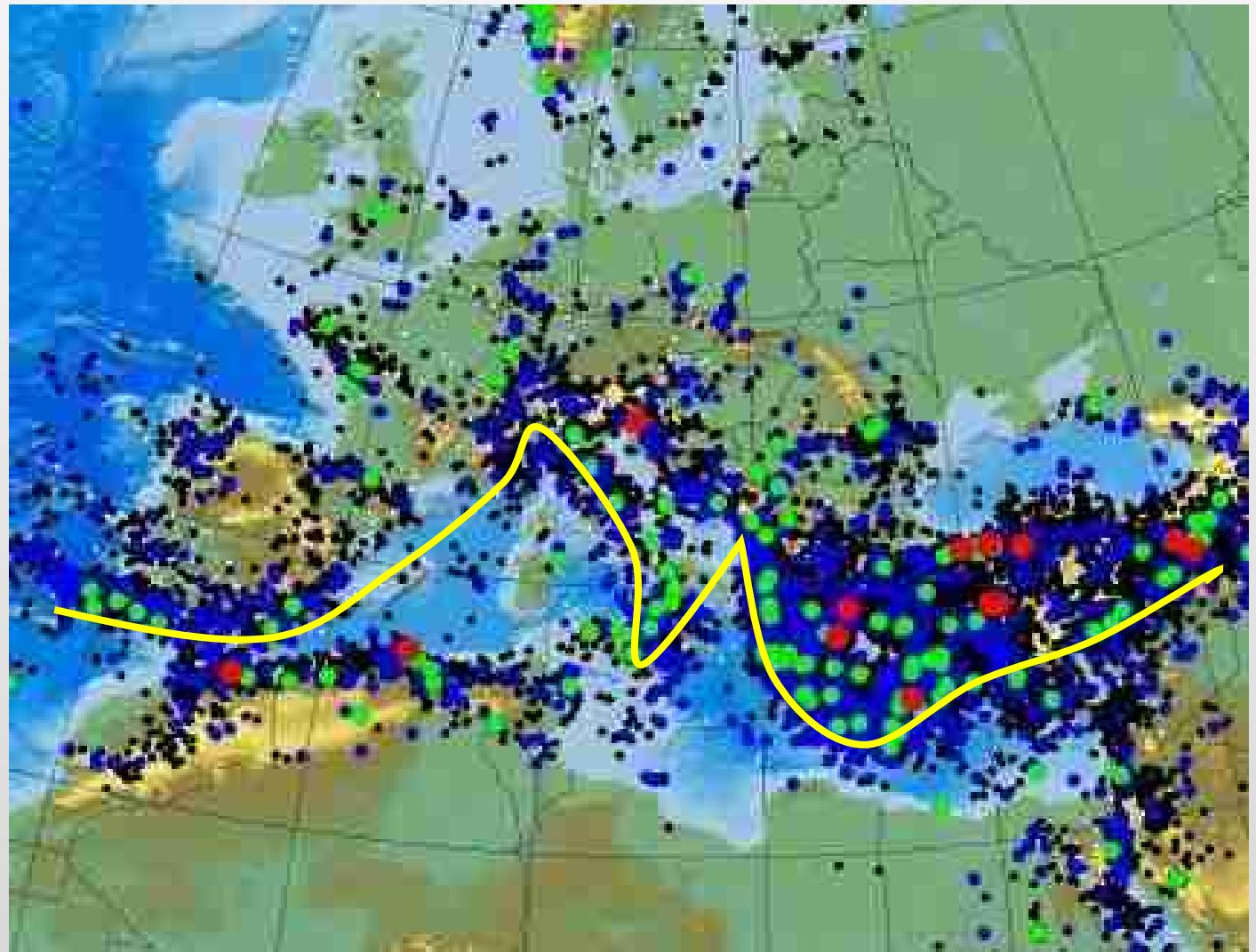
Μερικά απ αυτά  
είναι ενεργά!



From Angelier et al. (1979), Fassoulas (2001), Mouslopoulou et al. (2003), Peterek & Schwartze (2004), Caputo et al. (2006)

### 3. Το γεωδυναμικό καθεστώς

Στη χώρα μας συμβαίνουν  
**πολλοί σεισμοί** γιατί είμαστε  
**πάνω στο όριο δυο**  
λιθοσφαιρικών πλακών,  
Αφρικής και Ευρα-Ασίας!



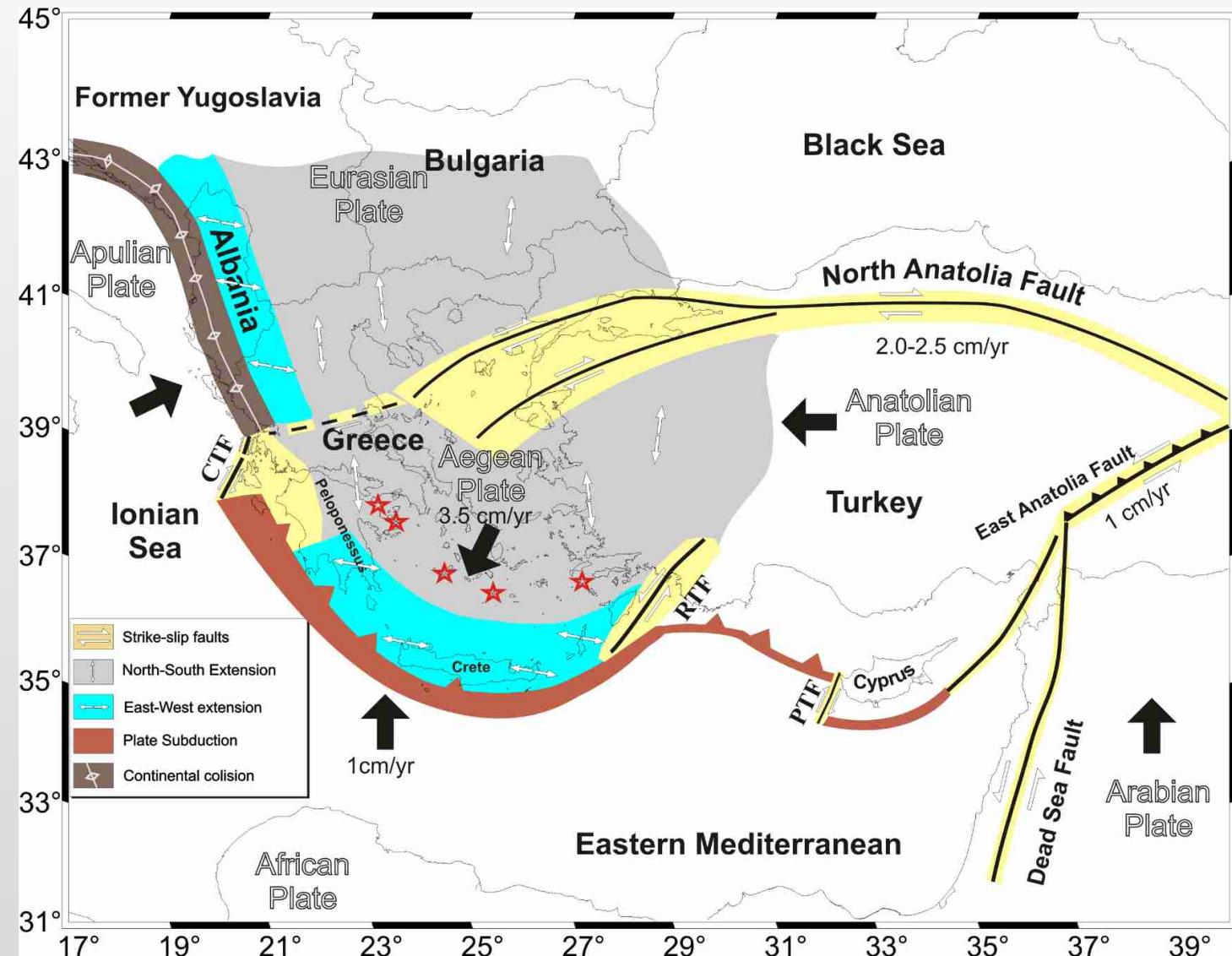
# 4. Το ταξίδι της Κρήτης

Οι κινήσεις των γειτονικών πλακών μετακινούν όλο το Ν. Αιγαίο προς την Αφρική κατά 3 εκ. το χρόνο!

Συνεπώς Κρήτη-Αφρική συγκλίνουν κατά 4 εκ./χρ.!

Κατά πολλούς το Ν. Αιγαίο είναι διακριτή μικροπλάκα.

Η Κρήτη-Ν. Αιγαίο ταξιδεύουν νότια και παράλληλα τεντώνονται

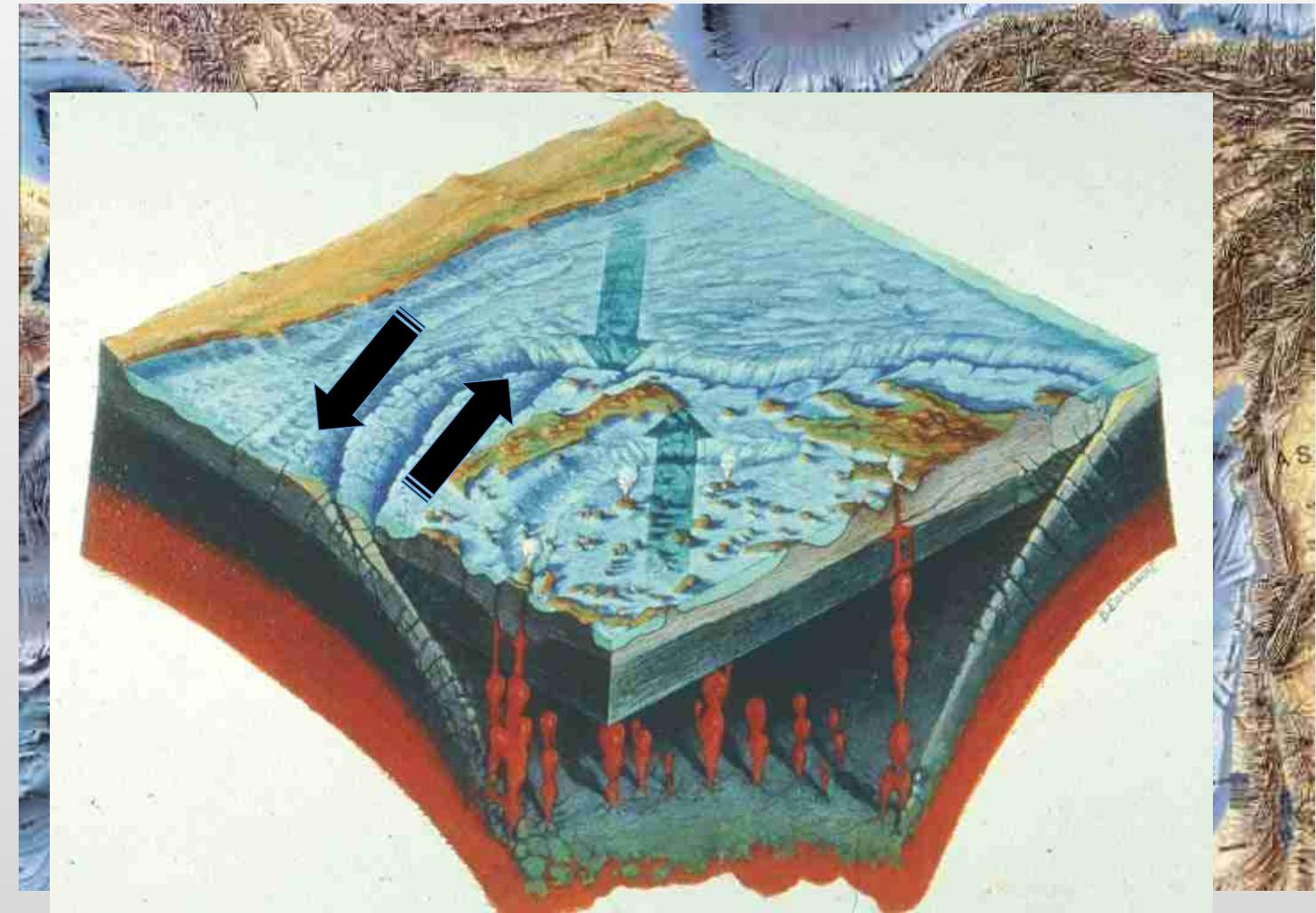


## 4. Το γεωδυναμικό καθεστώς

Η Κρήτη γεννήθηκε και εξελίσσεται ως αποτέλεσμα της σύγκλισης/σύγκρουσης Αφρικής και Ευρασίας.

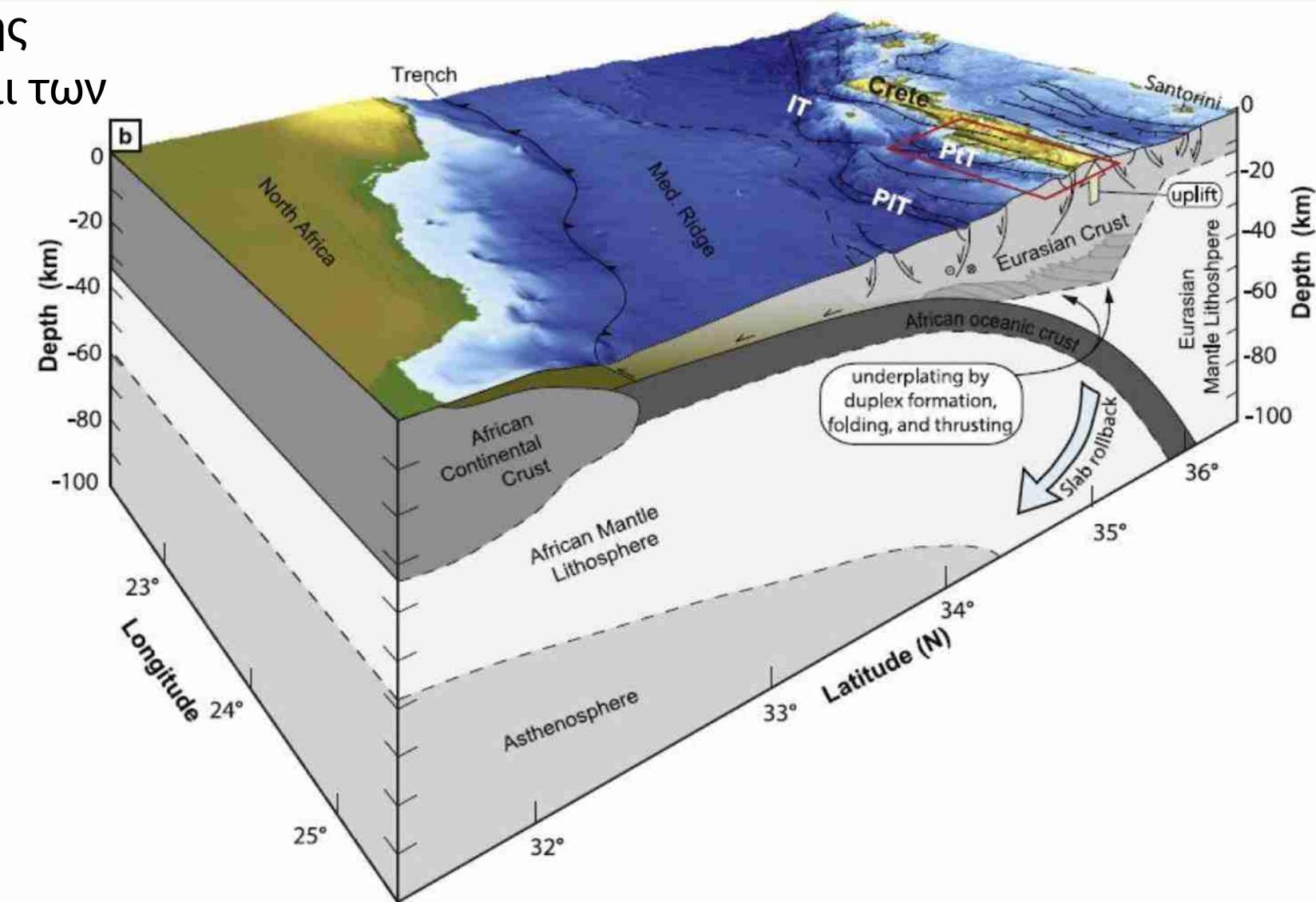
Αποτέλεσμα η ζώνη υποβύθισης της Αφρικανικής πλάκας, η οποία εδώ και 13 εκατ. οπισθοχωρεί νότια τεντώνοντας το Ν. Αιγαίο και την Κρήτη.

Αν και η διαδικασία ξεκίνησε πριν 100 εκ. χρονια, μόνο στην Κρήτη είναι ακόμα ενεργή



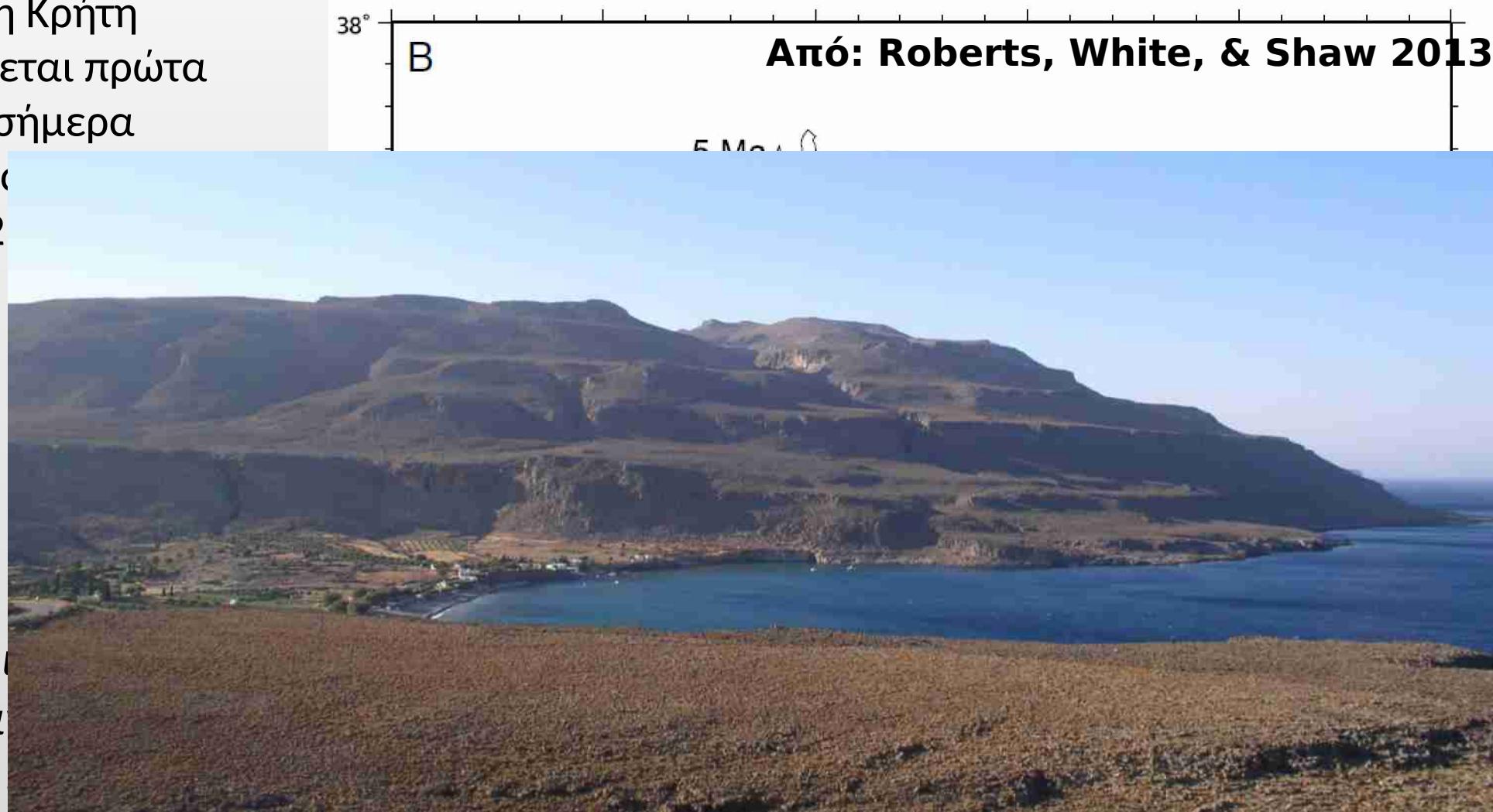
## 4. Ανύψωση της Κρήτης

Εδώ και 3,5 εχ. η Κρήτη ανυψώνεται λόγω της βύθισης Ιζημάτων της Μεσογείου κάτω απ' αυτήν και των νεοτεκτονικών ρηγμάτων



## 4. Οι πλειστοκαινικές ανυψώσεις της Κρήτης

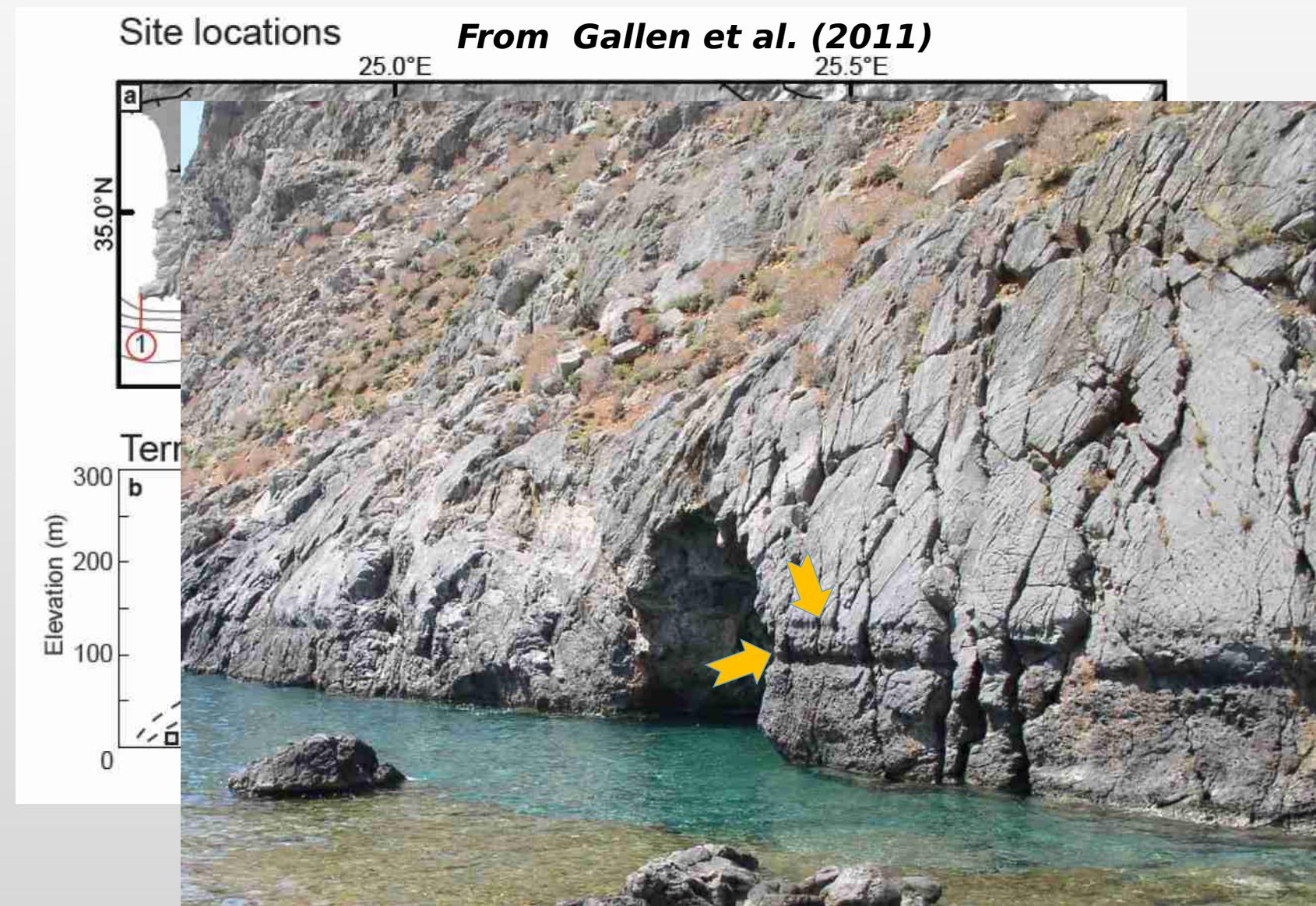
Εδώ και 3,5 εκ.χρ. η Κρήτη άρχισε να ανυψώνεται πρώτα από το κέντρο και σήμερα κυρίως από τα άκρα ρυθμούς από 1-1,2



Ο Ψηλορείτης και ορη ανυψώθηκαν τα τελευταία 1,8

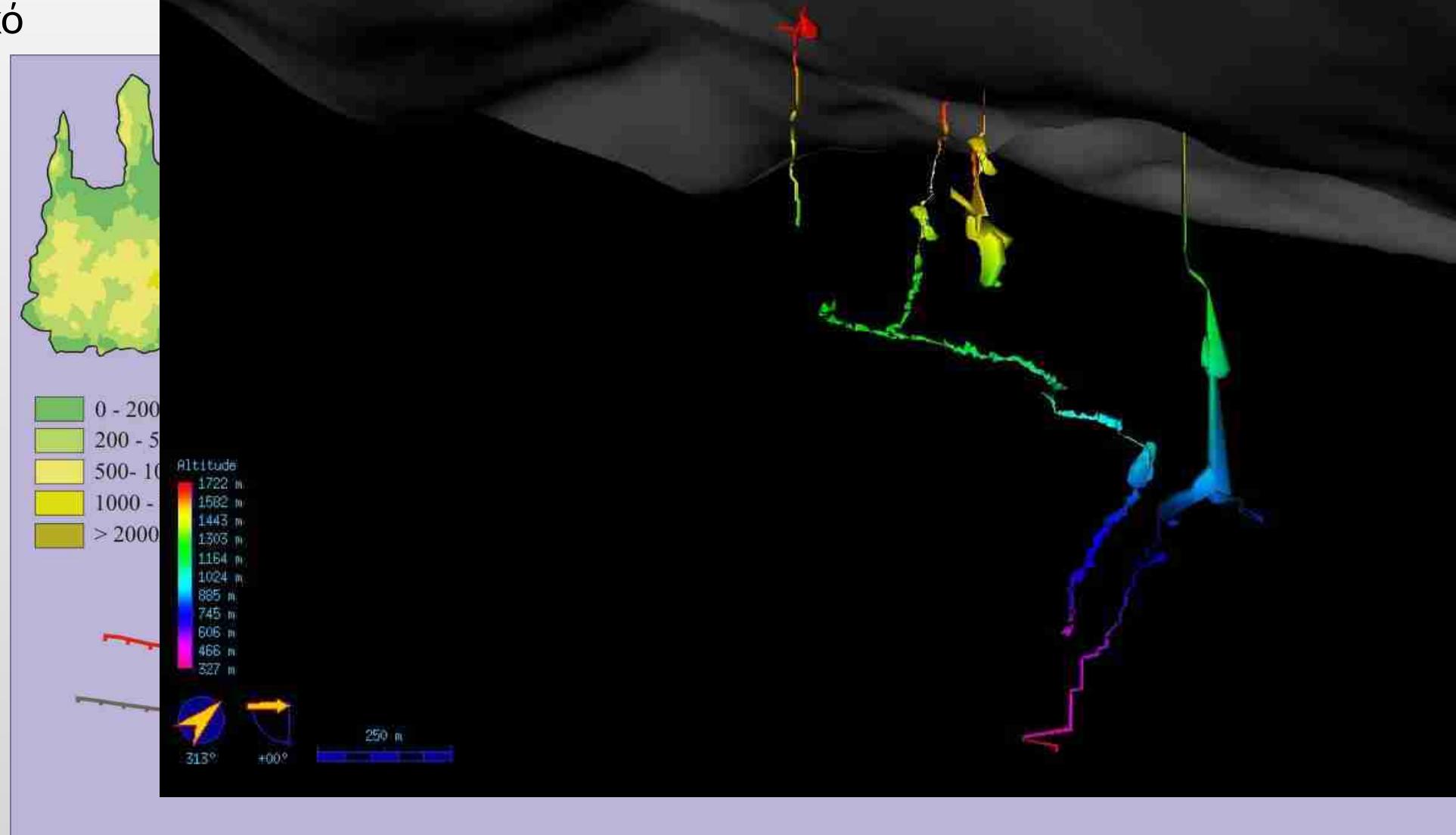
# 4. Οι Πλειστοκαϊνικές ανυψώσεις των Αστερουσίων

Σε αρκετές περιοχές όμως εμφανίζονται πρόσφατες ανυψώσεις που δεν μπορούμε να αποδώσουμε σε κάποιο γνωστό σεισμό ή ρήγμα. Π.χ. Τρυπητή Ηρακλείου +2μ.



## 4. Ανυψώσεις και ανάγλυφο: Φαράγγια & σπήλαια

Οσο η Γη ανυψώνεται  
τόσο το επιφανειακό  
νερό τη σκάβει πιο  
βαθιά!



Γι αυτό στην  
Κρήτη έχουμε  
τόσο βαθιά  
φαράγγια και  
σπήλαια!

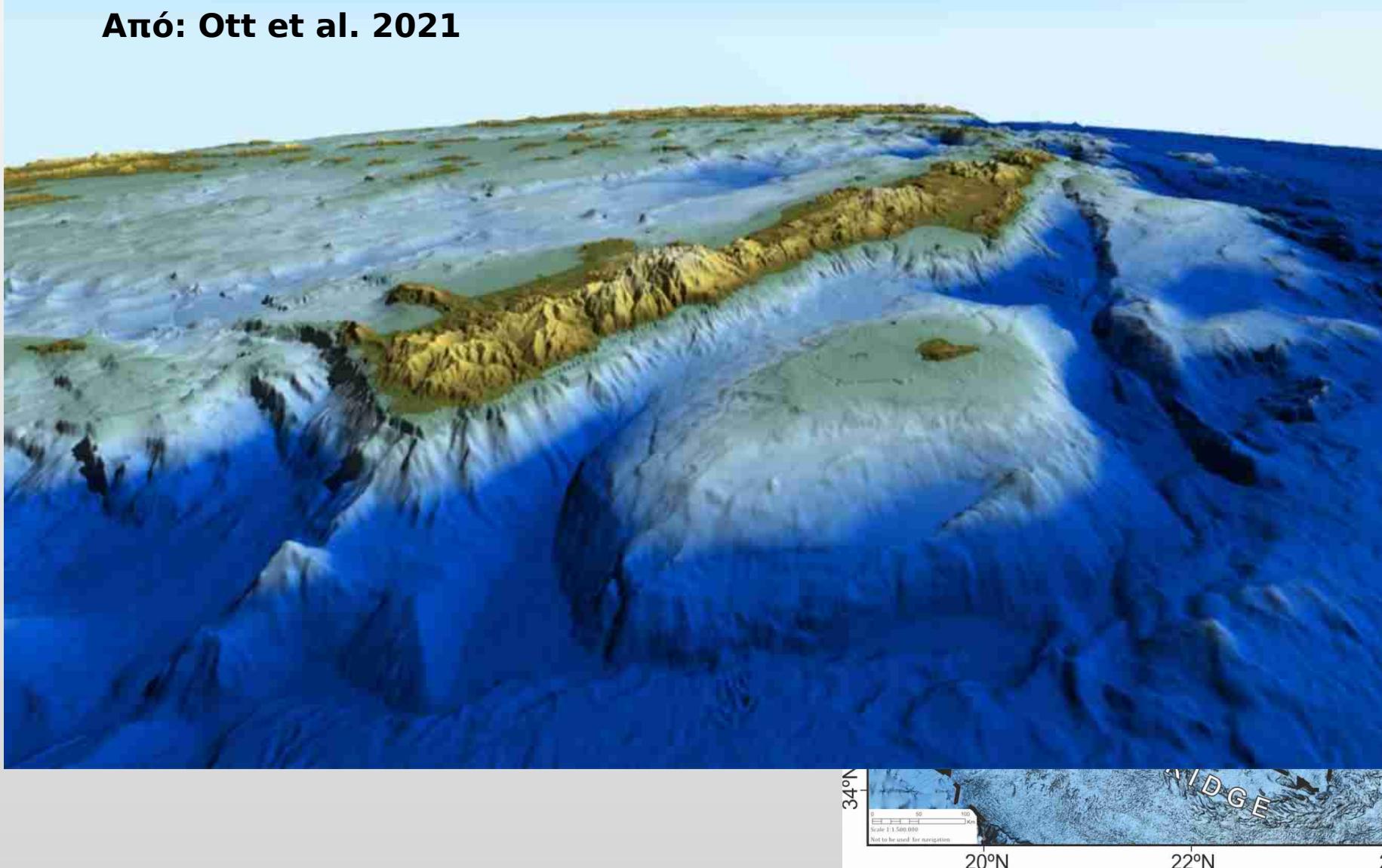
## 4. Ανυψώσεις και ανάγλυφο: Φαράγγια

Τα φαράγγια, όπως  
και τα σπήλαια  
σχηματίζονται σε  
ανθρακικά πετρώματα  
λόγω τεκτονικών  
ανυψώσεων.



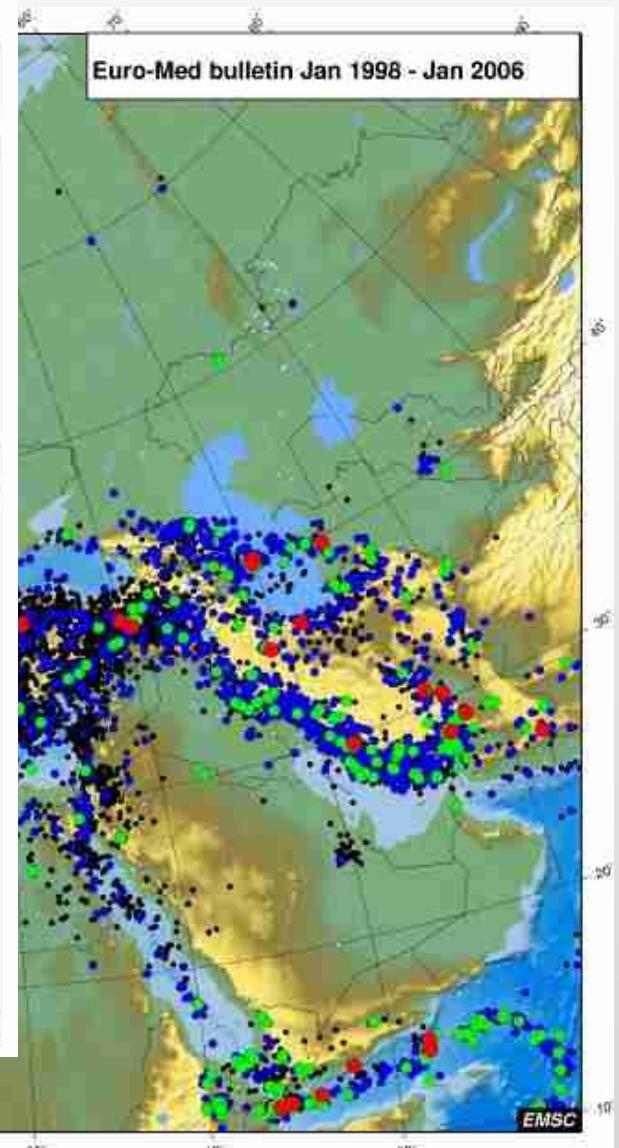
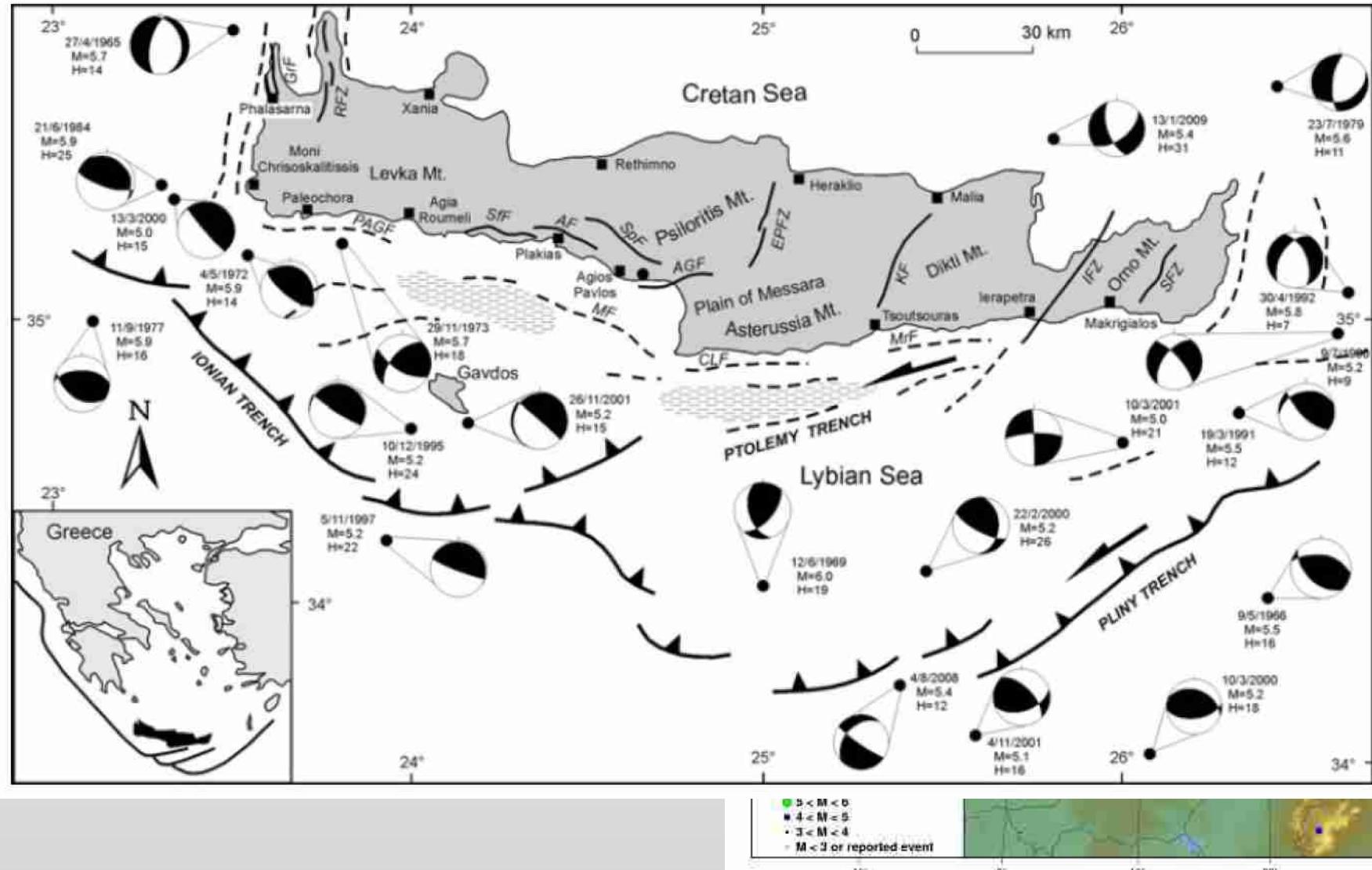
# 5. Τα ρήγματα και σεισμοί στο Αιγαίο

Από: Ott et al. 2021



# 5. Η σεισμικότητα του νησιού

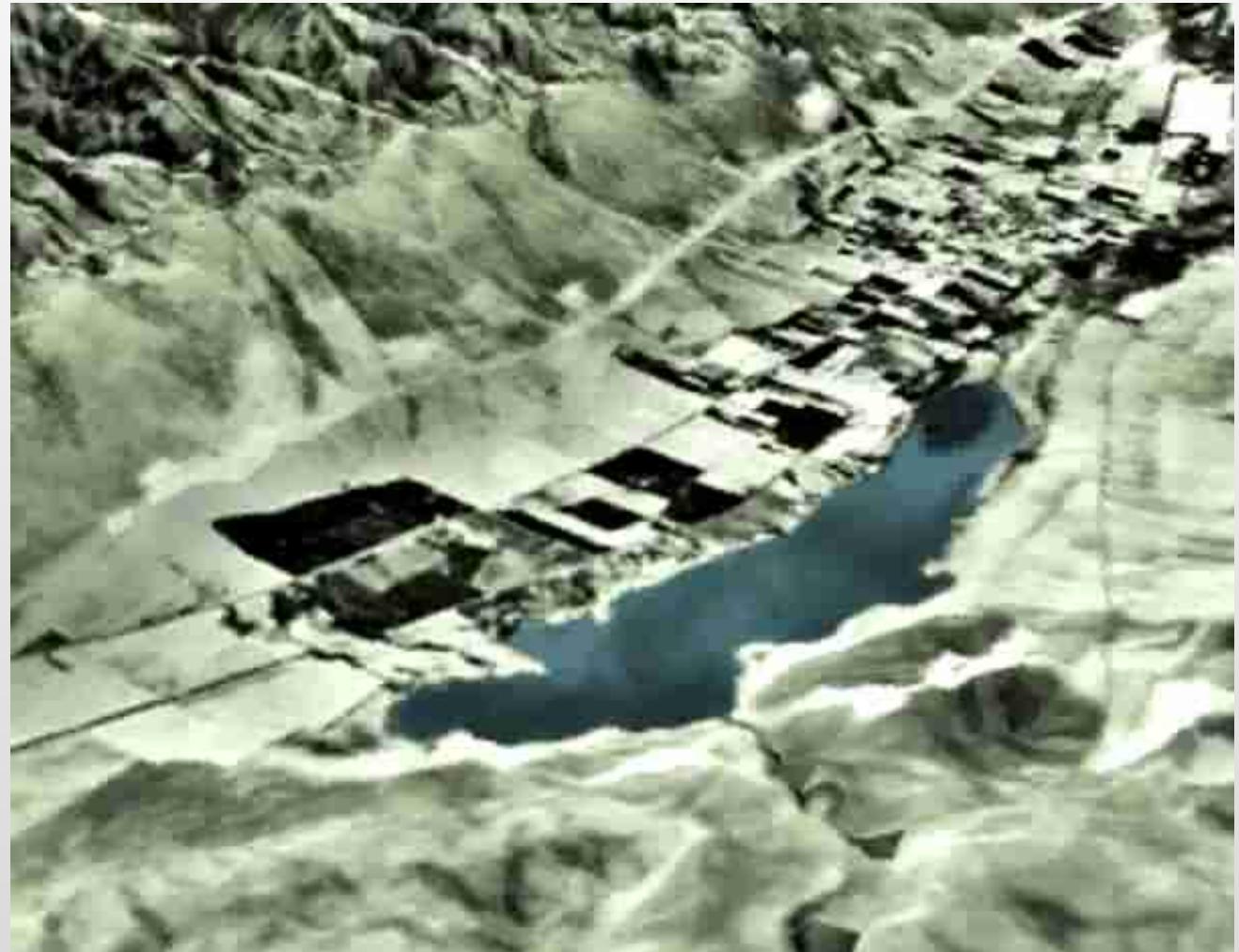
2 Caputo et al.



## 5. Τα ρήγματα και σεισμοί

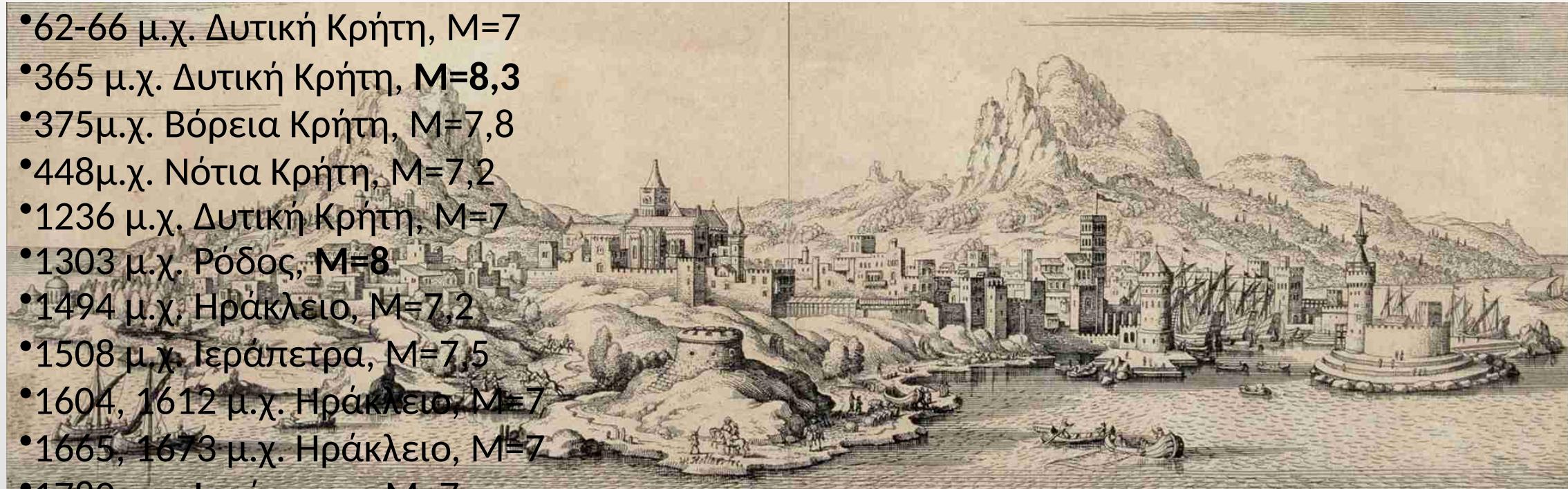
Για αιώνες πάνω στα ρήγματα συσσωρεύονται τάσεις οι οποίες όταν ξεπεράσουν ένα κρίσιμο όριο οδηγούν σε θραύση και μετατόπιση μεγάλες μάζες πετρωμάτων δημιουργώντας το σεισμό.

Σαν φαινόμενο είναι απρόσιτο στη παρατήρηση και πολυπαραγοντικό, για αυτό και αδύνατο να προβλεφθεί!



# 5. Το ιστορικό σεισμικό αρχείο της Κρήτης

- 62-66 μ.χ. Δυτική Κρήτη, M=7
- 365 μ.χ. Δυτική Κρήτη, **M=8,3**
- 375 μ.χ. Βόρεια Κρήτη, M=7,8
- 448 μ.χ. Νότια Κρήτη, M=7,2
- 1236 μ.χ. Δυτική Κρήτη, M=7
- 1303 μ.χ. Ρόδος, **M=8**
- 1494 μ.χ. Ηράκλειο, M=7,2
- 1508 μ.χ. Ιεράπετρα, M=7,5
- 1604, 1612 μ.χ. Ηράκλειο, M=7
- 1665, 1673 μ.χ. Ηράκλειο, M=7
- 1780 μ.χ. Ιεράπετρα, M=7
- 1810 μ.χ. Ηράκλειο, M=7,1
- 1856 μ.χ. ΒΔ Κρήτη, M=7,8
- 1926 μ.χ. Ρόδος, **M=8**
- 1956 μ.χ. Αμοργός, M=7,5
- 1935 μ.χ. Κρητικό Πελ., M=7



## 5. Σχέση σεισμών με ρήγματα

Ακόμα και στις μέρες μας είναι δύσκολο να συνδεθούν ενεργά ρήγματα με σειμούς και καταστροφές σε αρχαιολογικούς χώρους

Η Φαιστός, Κνωσός, Ζώμινθος, Κυδωνία, Φαλάσαρνα και Ελεύθερνα δείχνουν ξεκάθαρες εικόνες σεισμικών καταστροφών, αλλά από ποια ρήγματα;

# 5. Ο σεισμός του 365 μ.Χ.

Η τελευταία έντονη ανύψωση συνδέεται με το σεισμό των 8,3R του 365μ.Χ. που ανύψωσε τη ΝΔ Κρήτη κατά 9μ.

Η Αρχαία Φαλάσαρνα ανυψώθηκε 6μ.

Είναι ο ισχυρότερος σεισμός της Μεσογείου και κατέστρεψε πολλές κλασικές πόλεις της Κρήτης και το φάρο της Αλεξάνδρειας επίσης



## 5. Το ρήγμα του Σπηλίου: σημείο αναφοράς

Η εκδήλωση σεισμών σε ένα ρήγμα εμφανίζει μια επαναληψημότητα όχι απόλυτα περιοδική, γεγονός που βοηθά σε μια πρωτογενή στατιστική πρόγνωση.



Μελέτες που πραγματοποιήσαμε το 2009 στο ρήγμα Σπηλίου στο Ρέθυμνο έδειξε 6 σεισμούς τα τελευταία 7500 χρόνια με μεγέθη ~6+R.

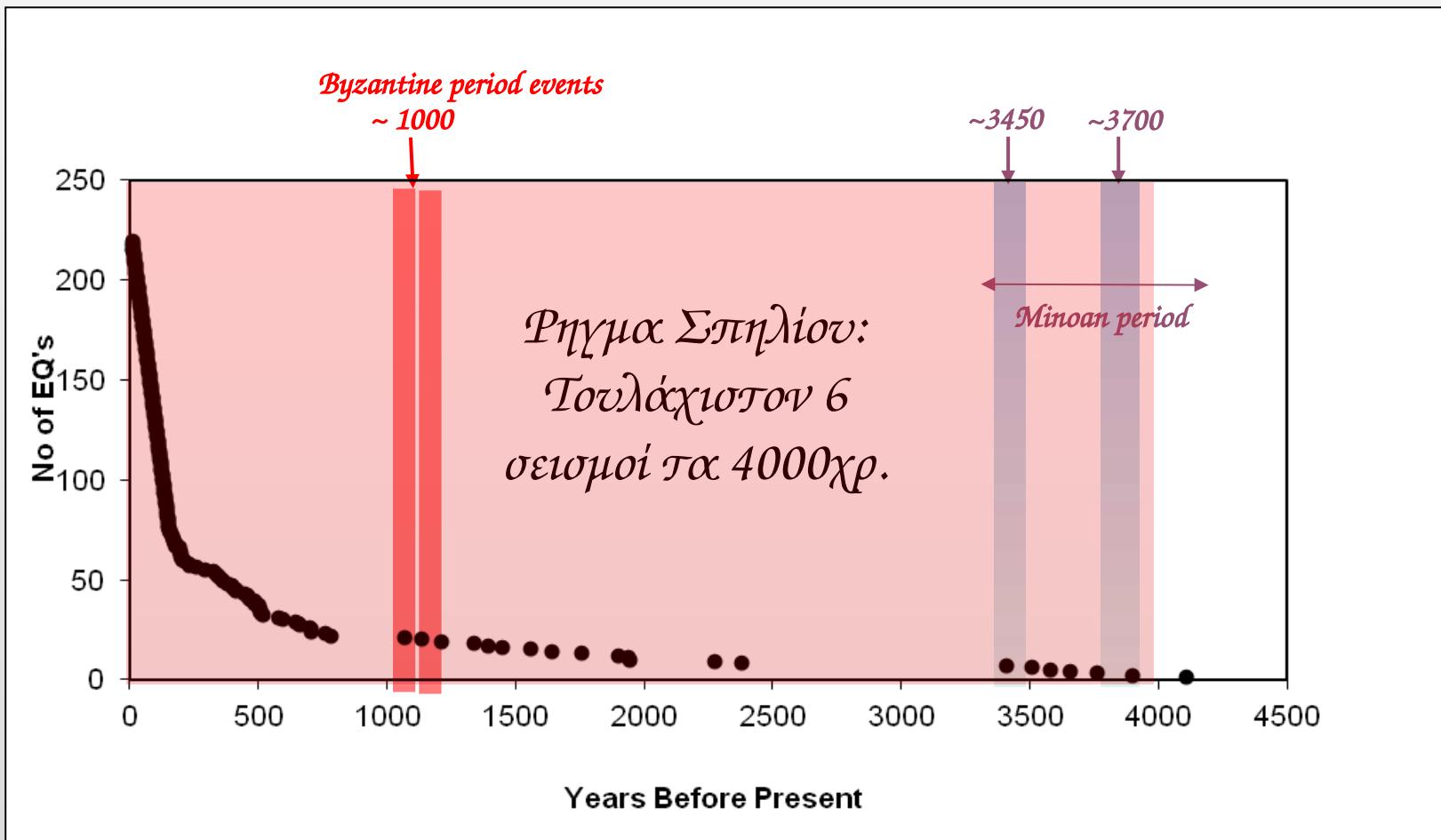
# 5. Τα ρήγματα και σεισμοί: Ρήγμα Σπηλίου



Τα δυο τελευταία  
γεγονότα  
καταγράφηκαν  
στις θέσεις 1 & 2  
(1 km apart).

Από Μουσλοπούλου κα. 2013.

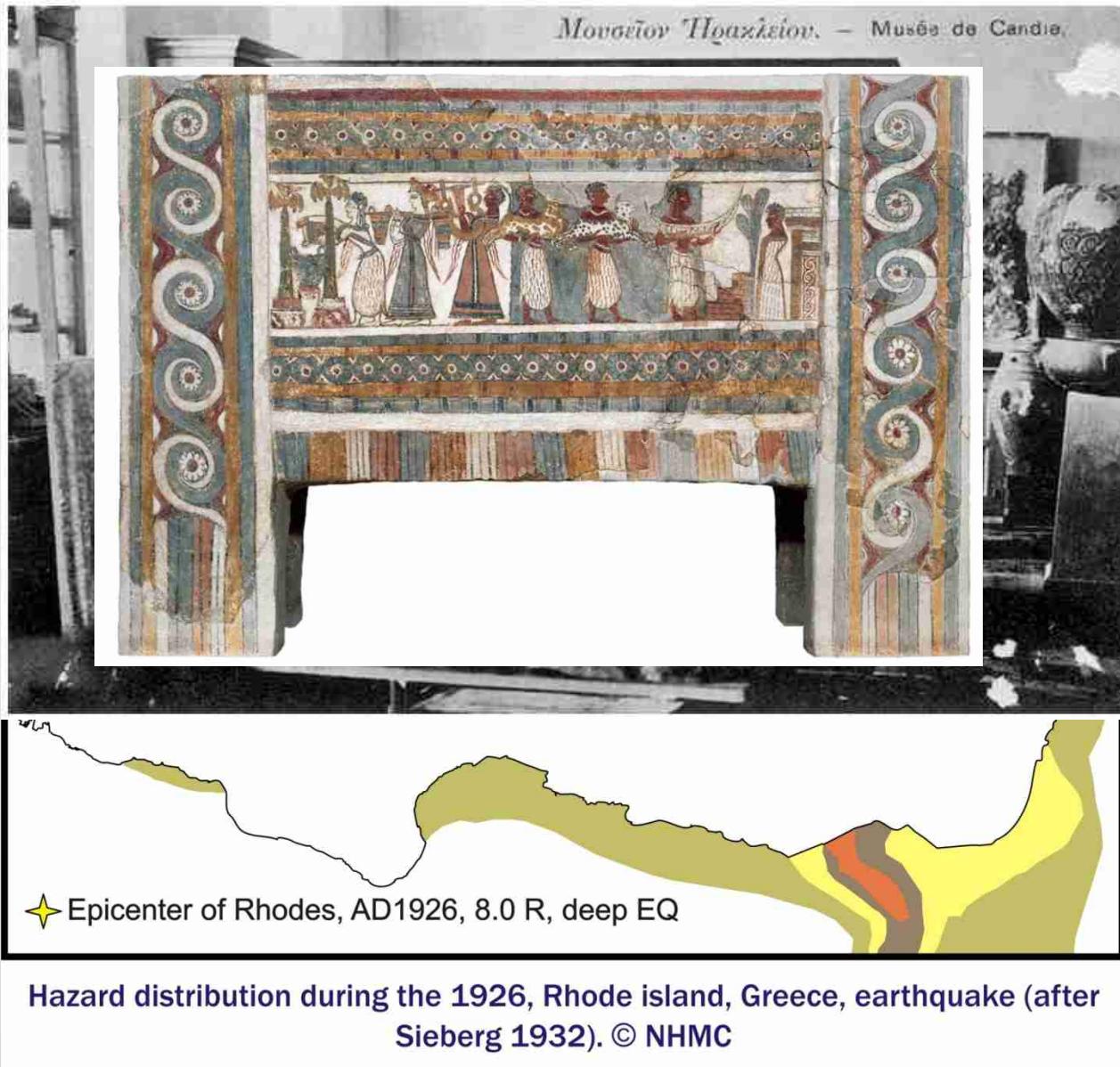
# 5. Τα ρήγματα και σεισμοί: Ρήγμα Σπηλίου



Από Μουσλοπούλου κα. 2013. Earthquake data from G. Papadopoulos (2011): A seismic history of Crete

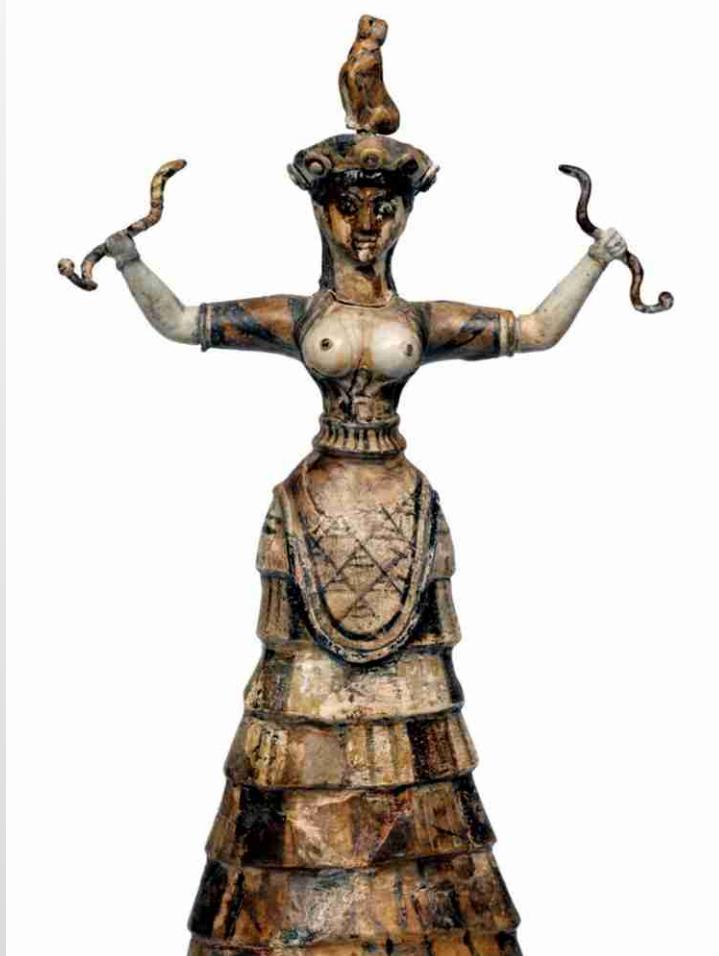
Ίσως λοιπόν το ρήγμα του Σπηλίου να προκάλεσε την καταστροφή της Φαιστού

# 5. Σεισμός 26/6/1926μ.χ., 8R, Ν. Ρόδου



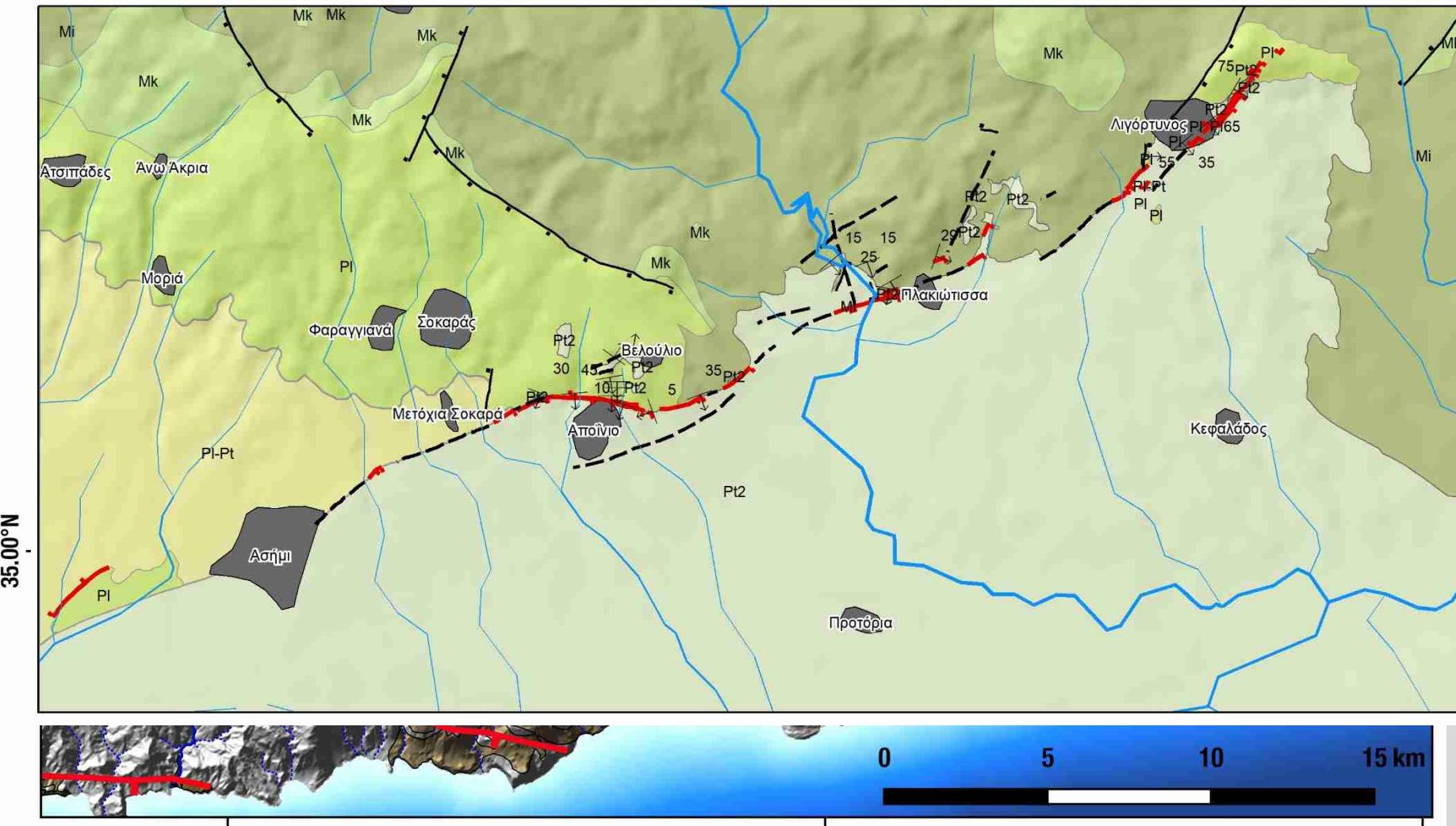
Ισχυρότατος σεισμός ισοπέδωσε τη Ρόδο και έπληξε όλη την αν. Μεσόγειο με λίγα θύματα (~15). Στο Ηράκλειο 200 σπίτια καταστράφηκαν, ενώ ζημιές έπαθε και το αρχαιολογικό μουσείο με αρκετά εκθέματα! Ο Άγιος Μηνάς, ο Άγιος Τίτος, το μικρό κάστρο απέναντι από τον Κούλε κα. έπαθαν σοβαρές ζημιές.

# . Σεισμός 25/2/1935μ.χ., 7R, Κρητικό Πελ.



Ισχυρός σεισμός  
έπληξε κυρίως την  
βόρεια Κρήτη. Ζημιές  
στην Ηλεκτρική, σε  
πολλά σχολεία, στον  
Άγιο Μηνά και στο  
Αρχαιολογικό  
Μουσείο. Τα χωριά  
Σκαλάνι, Ανώπολη,  
Επισκοπή, Ανω  
Βάθια, Γούρνες  
καταστράφηκαν.

# 5. Ο σεισμός στο Ασήμι, 25/11/2005, 5,1 R



Ο σεισμός στο Ασήμι είναι ο πρώτος πρόσφατος ισχυρός με επίκεντρο πάνω στο νησί.

# 5. Ο σεισμός του Αρκαλοχωρίου 27/9/2021, 6R

Έγινε πάνω στο ένα από τα δυο γνωστά ρήγματα του Καστελίου που οριοθετούν την Πεδιάδα με τα Λασιθιώτικα βουνά.

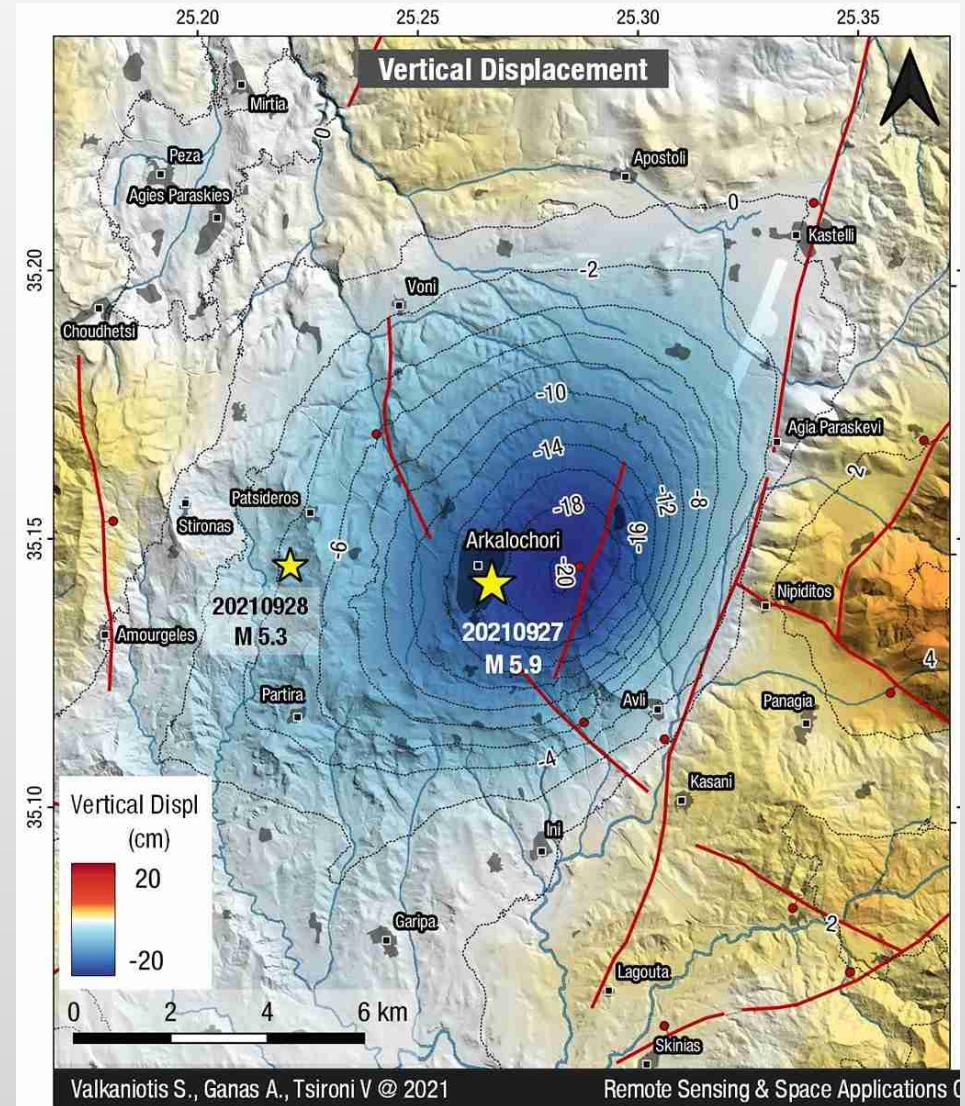
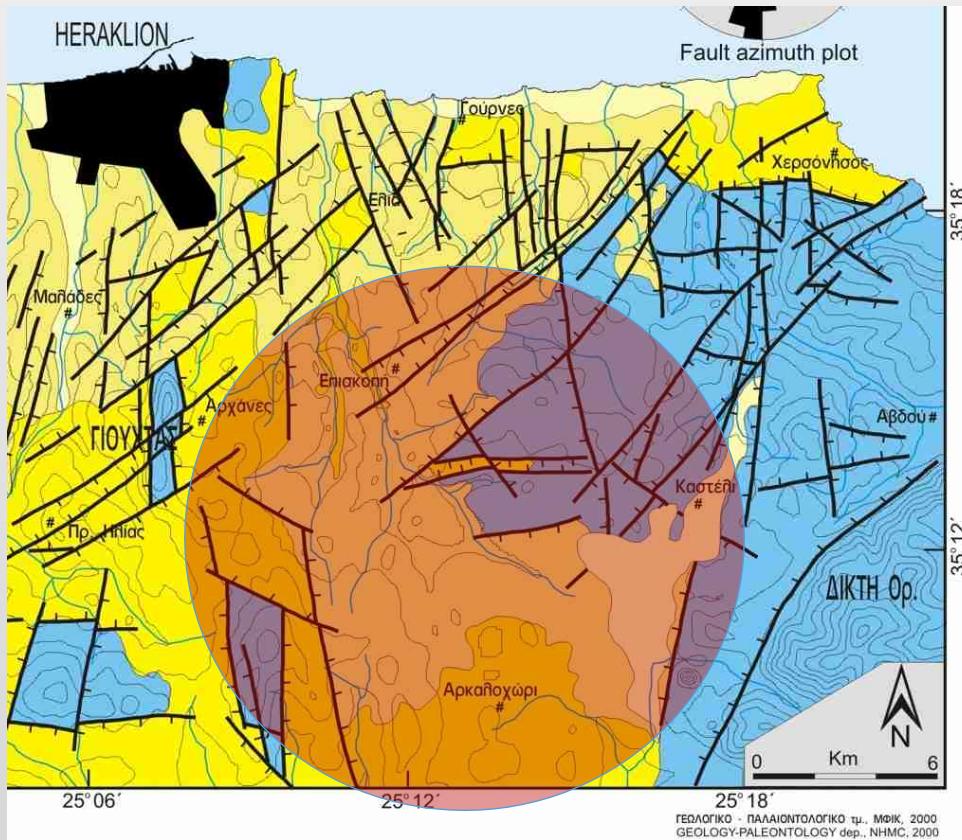
Το καλοκαίρι του 1995 στην ίδια περιοχή καταγράφηκαν πάνω 300 μικροσεισμοί μέχρι 4R (Delibasis et al. 1999)



# 5. Ο σεισμός του Αρκαλοχωρίου 27/9/2021, 6R

Η Πεδιάδα είναι μια πολύπλοκη γεωλογικά περιοχή με πολλά ρήγματα και κυρίως πρόσφατα και μαλακά πετρώματα.

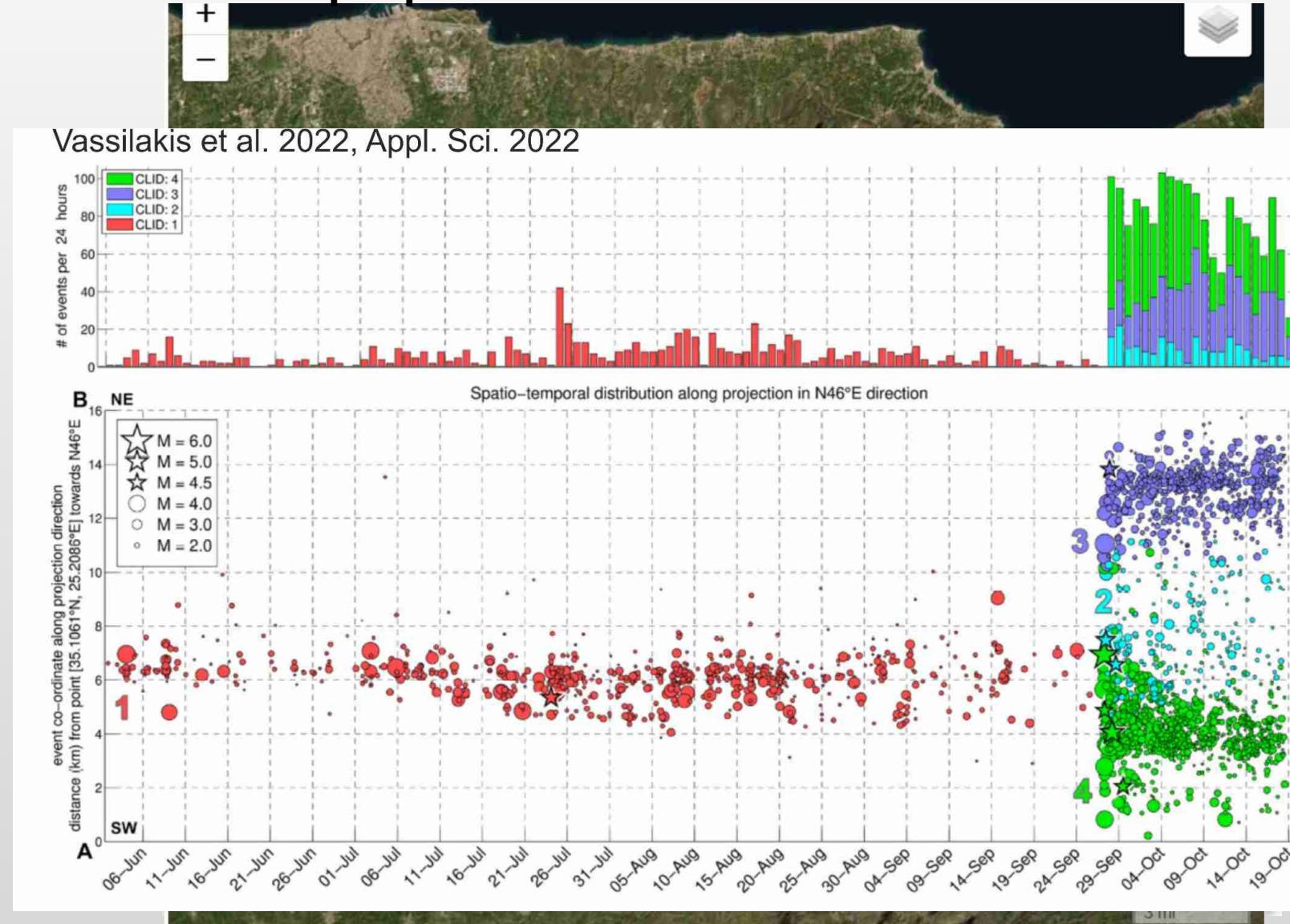
Ο σεισμός έπληξε κυρίως την περιοχή του Αρκαλοχωρίου καταβυθίζοντάς την μέχρι και 20 εκ.!



# 5. Ο σεισμός του Αρκαλοχωρίου 27/9/2021, 6R

## Μετασεισμική ακολουθία

Από τις αρχές Ιούνη μέχρι τον κύριο σεισμό έγιναν 160 προσεισμοί  $>2R$ , με το μεγαλύτερο τέλη Ιούλη στα 4,8R. Με τον κύριο σεισμό φαίνεται ενεργοποιήθηκε το κεντρικό τμήμα του ρήγματος μήκους περίπου 7km. Μετά τον κύριο σεισμό ακολούθησαν περίπου 3000 μετασεισμοί μέχρι 5,3R. που εστιάζουν στα άκρα του ρήγματος.



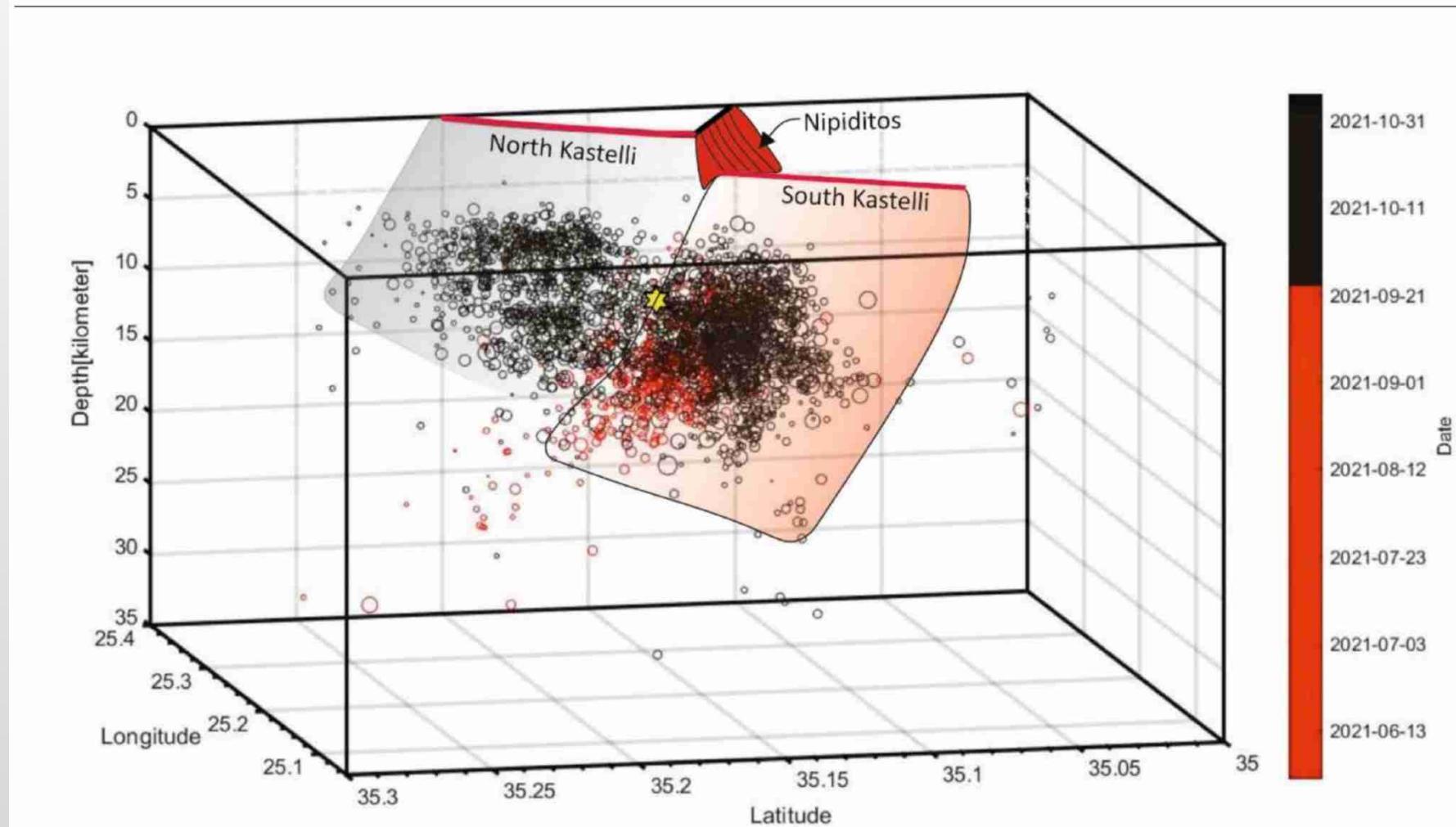
# 5. Ο σεισμός του Αρκαλοχωρίου 27/9/2021, 6R

Ολες οι δημοσιευμένες μελέτες υποστηρίζουν ότι λόγω της πολύπλοκης γεωλογίας της περιοχής το ρήγμα ενεργοποιήθηκε σταδιακά σε μήκος άνω των 16 km.

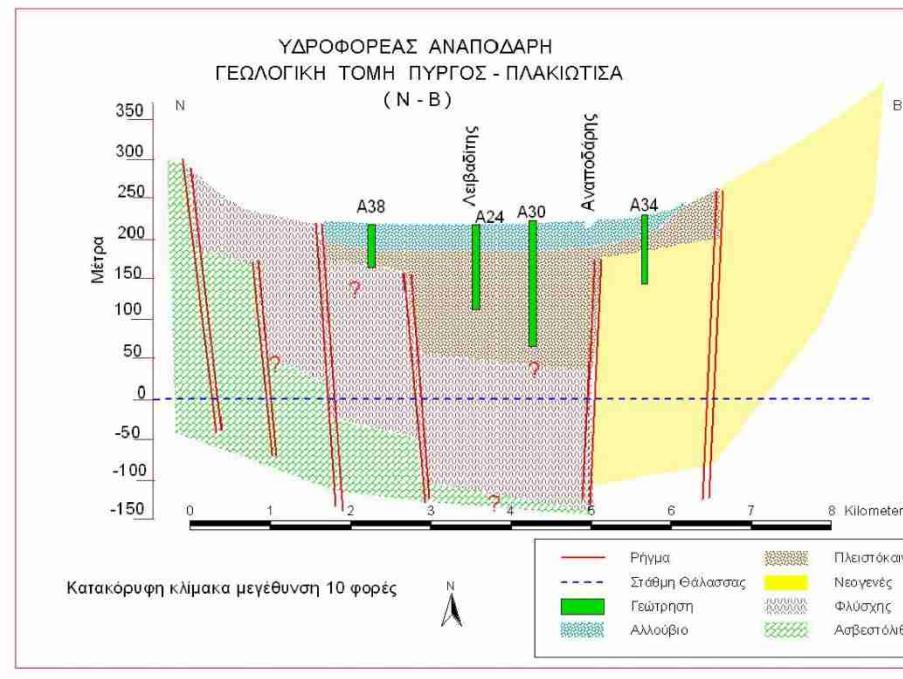
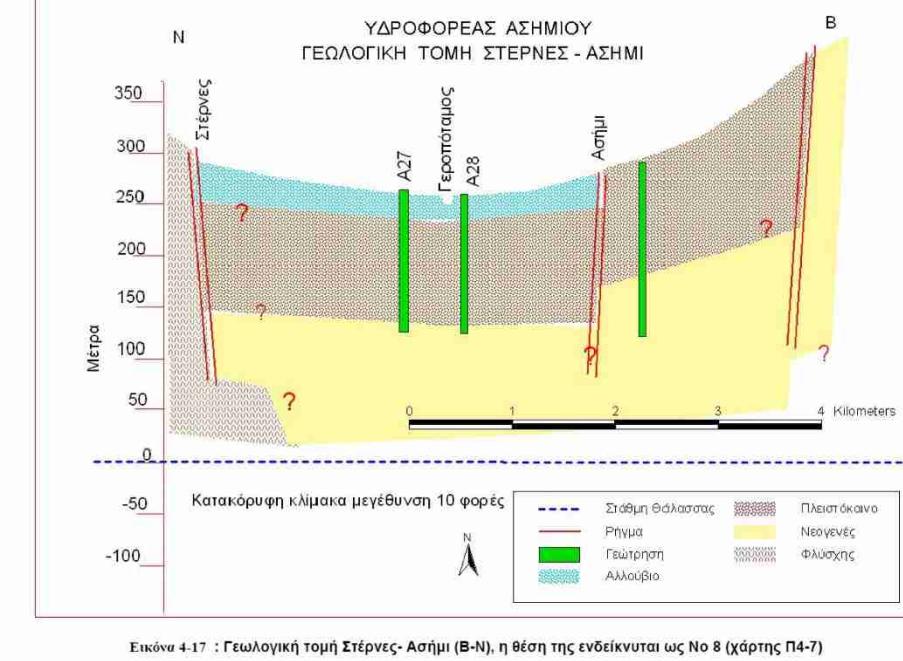
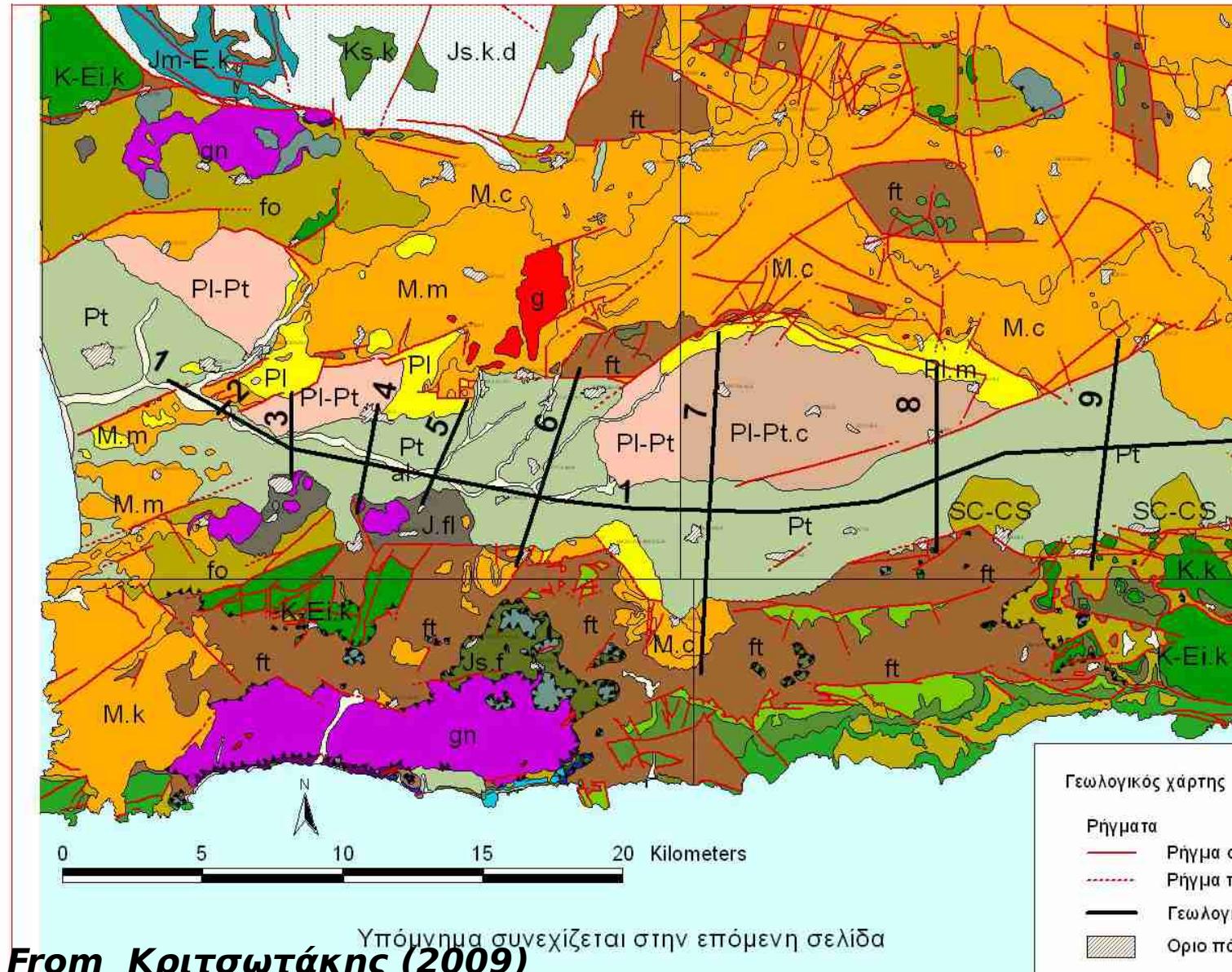
Μια πιθανή ενεργοποίηση συνολικού μήκους ~20 Km θα αντιστοιχούσε σε σεισμό ~6,6R.

*GeoHazards 2022, 3 Triantafyllou et al. 2022*

1

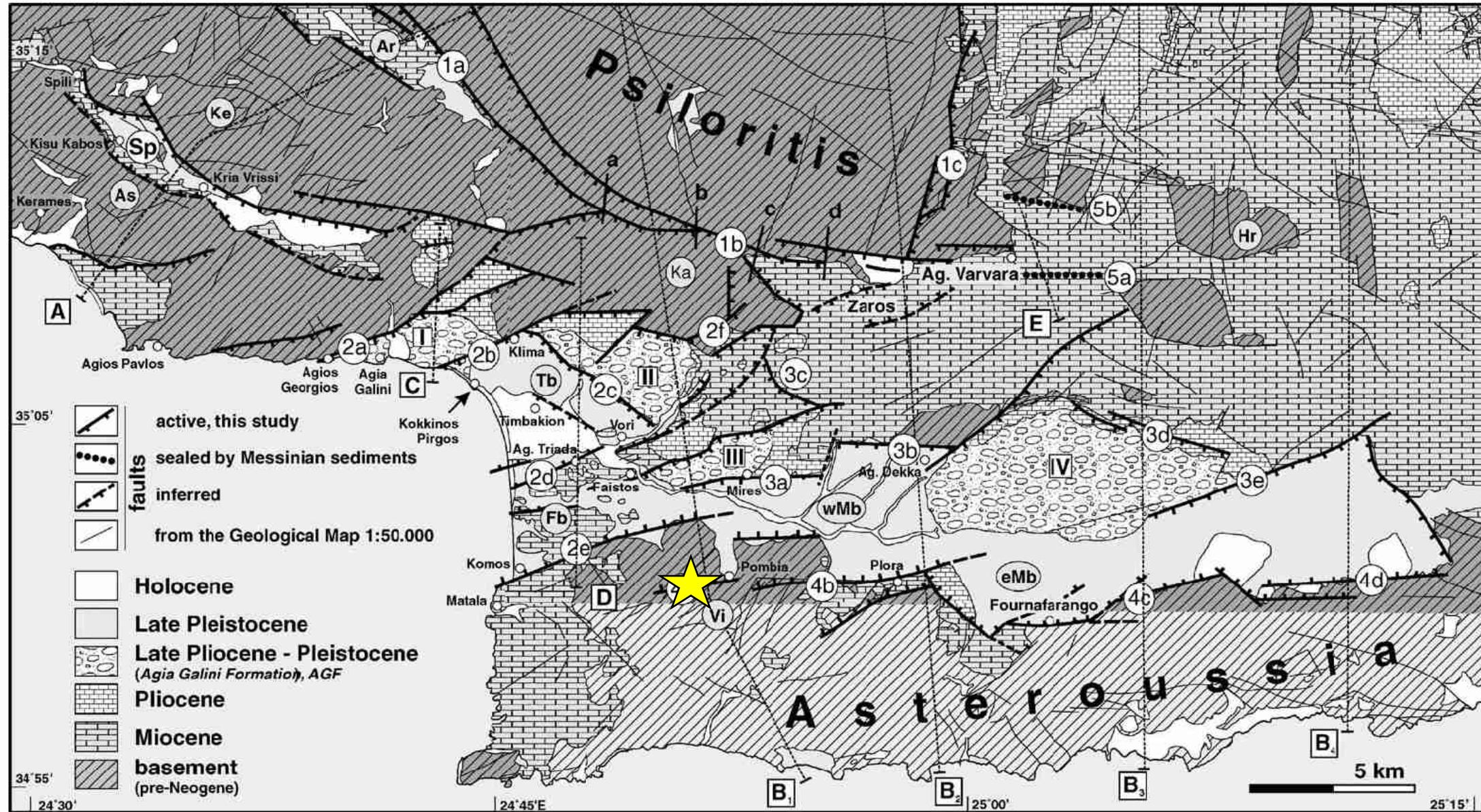


# 6. Νεοτεκτονική δομή Μεσαράς



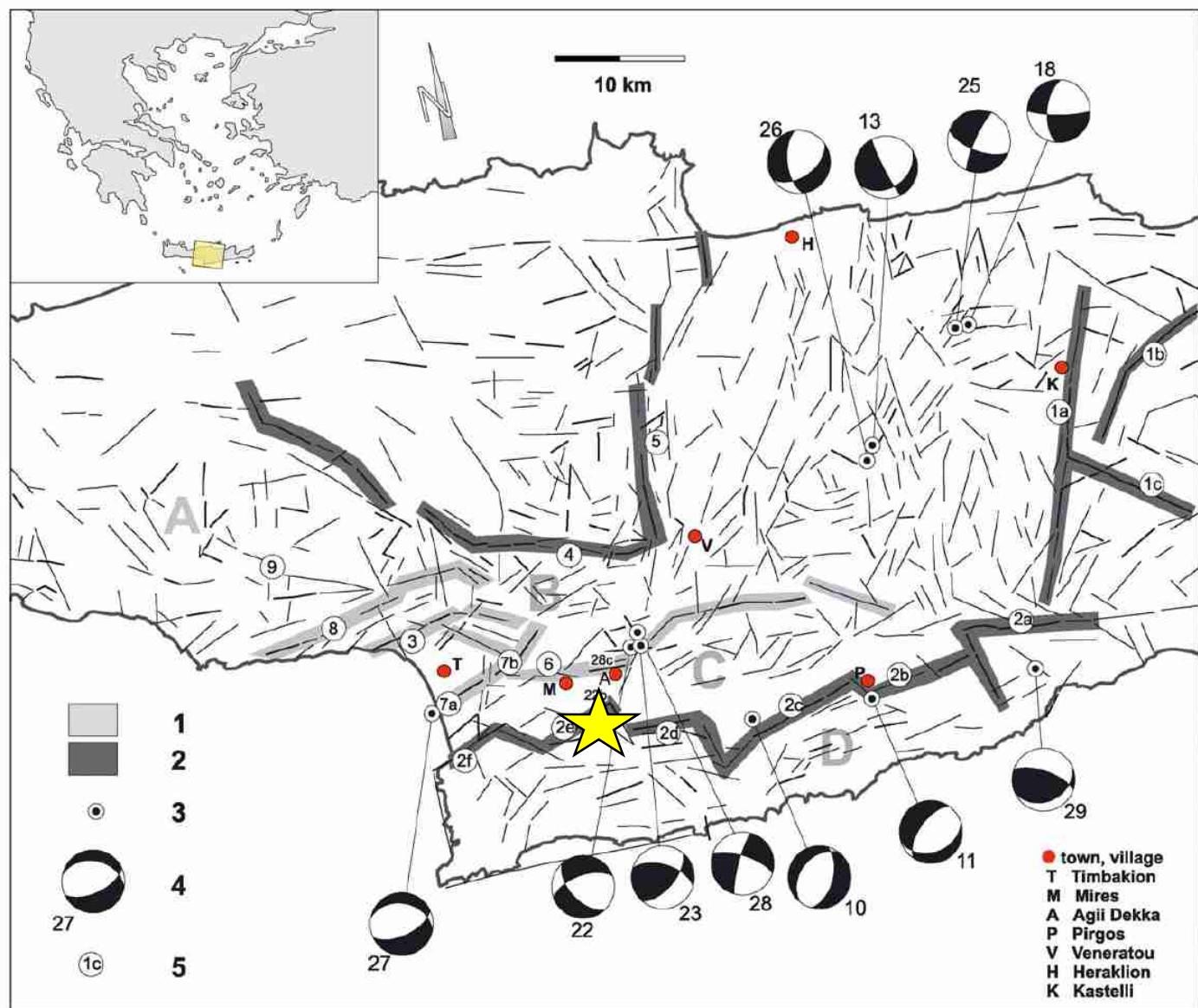
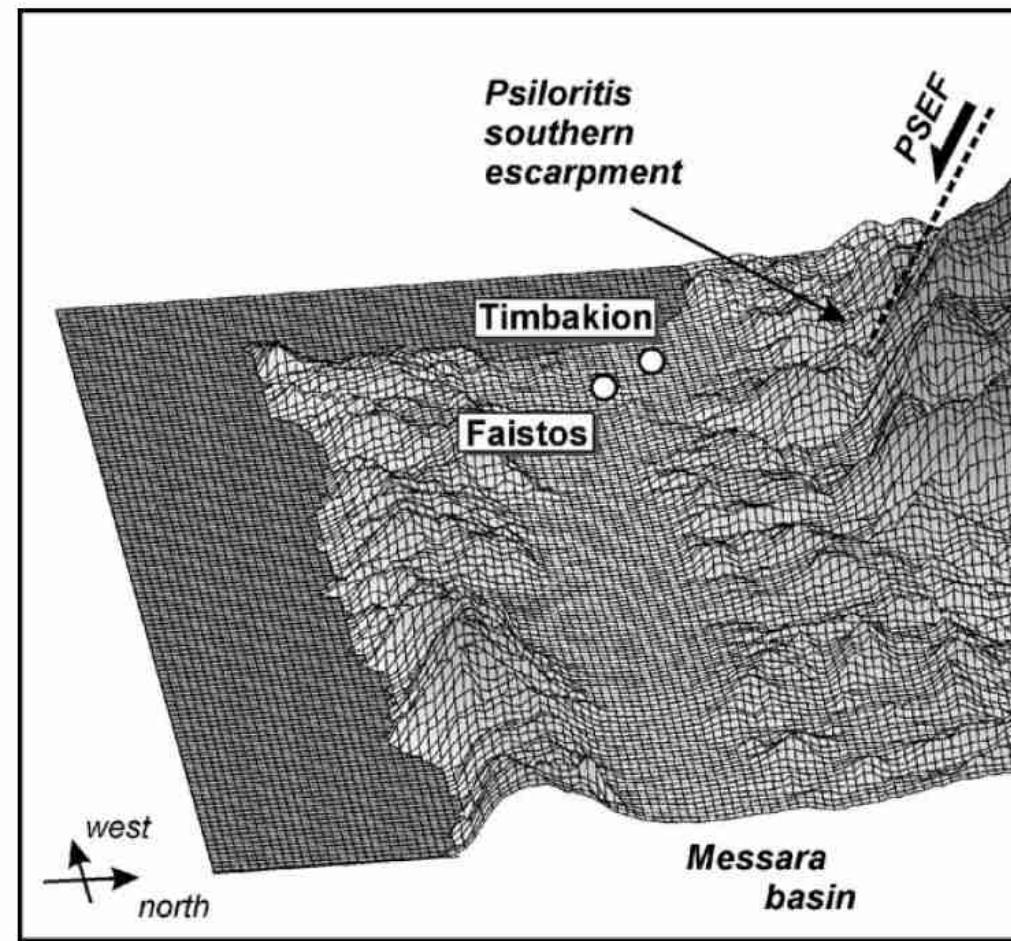
# 6. Νεοτεκτονική δομή Μεσαράς

2



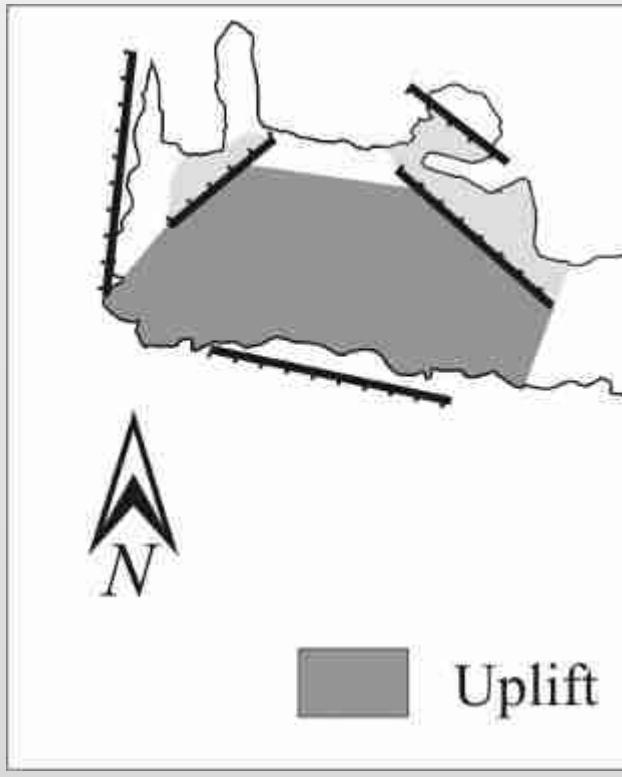
# 6. Νεοτεκτονική δομή Μεσαράς

A. Peterek, J. Schwarze / Journal of Structural Geology, 2005, v. 27, p. 113–130

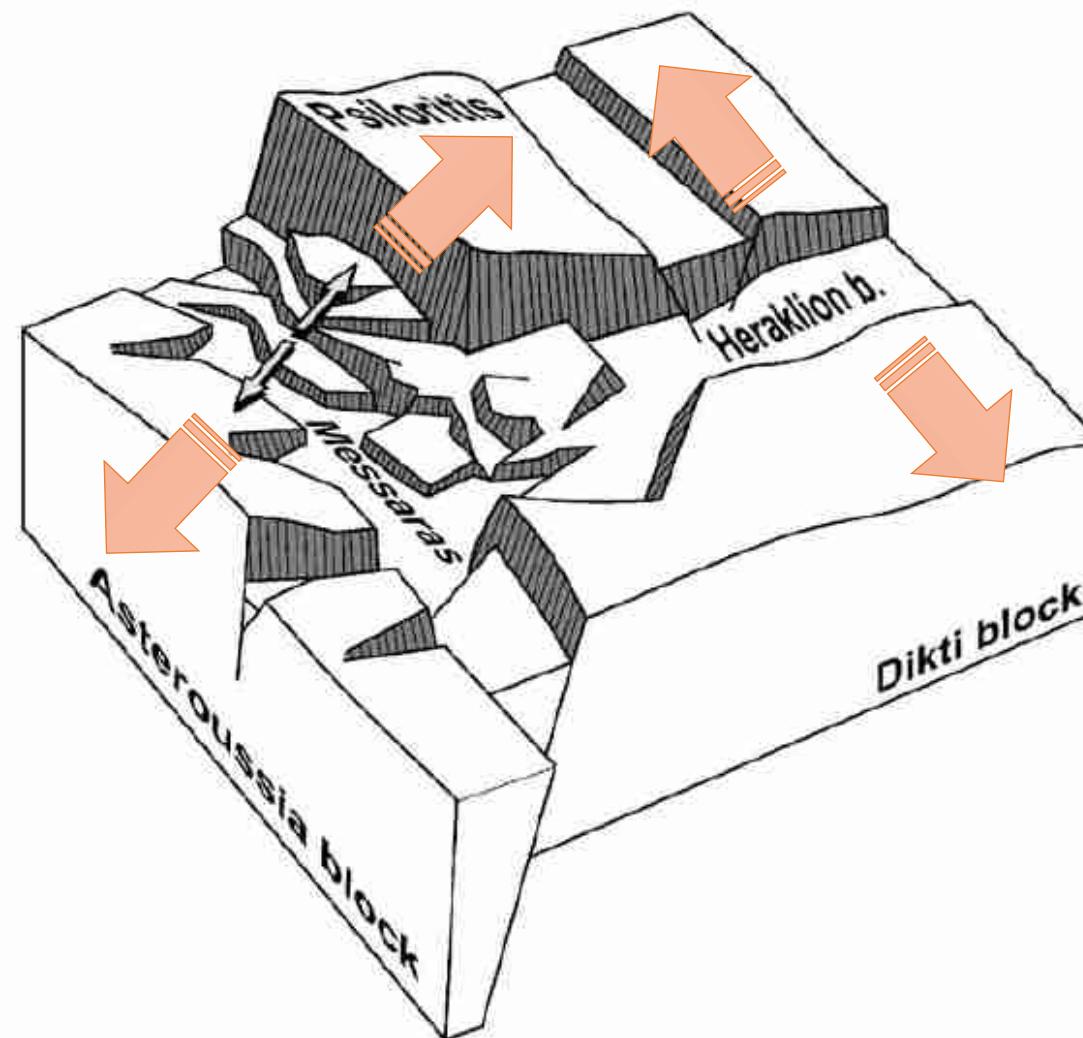


## 7. Συμπεράσματα

Τα ιστορικά και σεισμικά δεδο  
και τεντώνεται οριζόντια σε δι  
Τα δυο αυτά γεγονότα δεν συ<sup>ν</sup>  
όπου φαίνεται πολλοί σεισμοί  
Στο χώρο της Πεδιάδας και Με



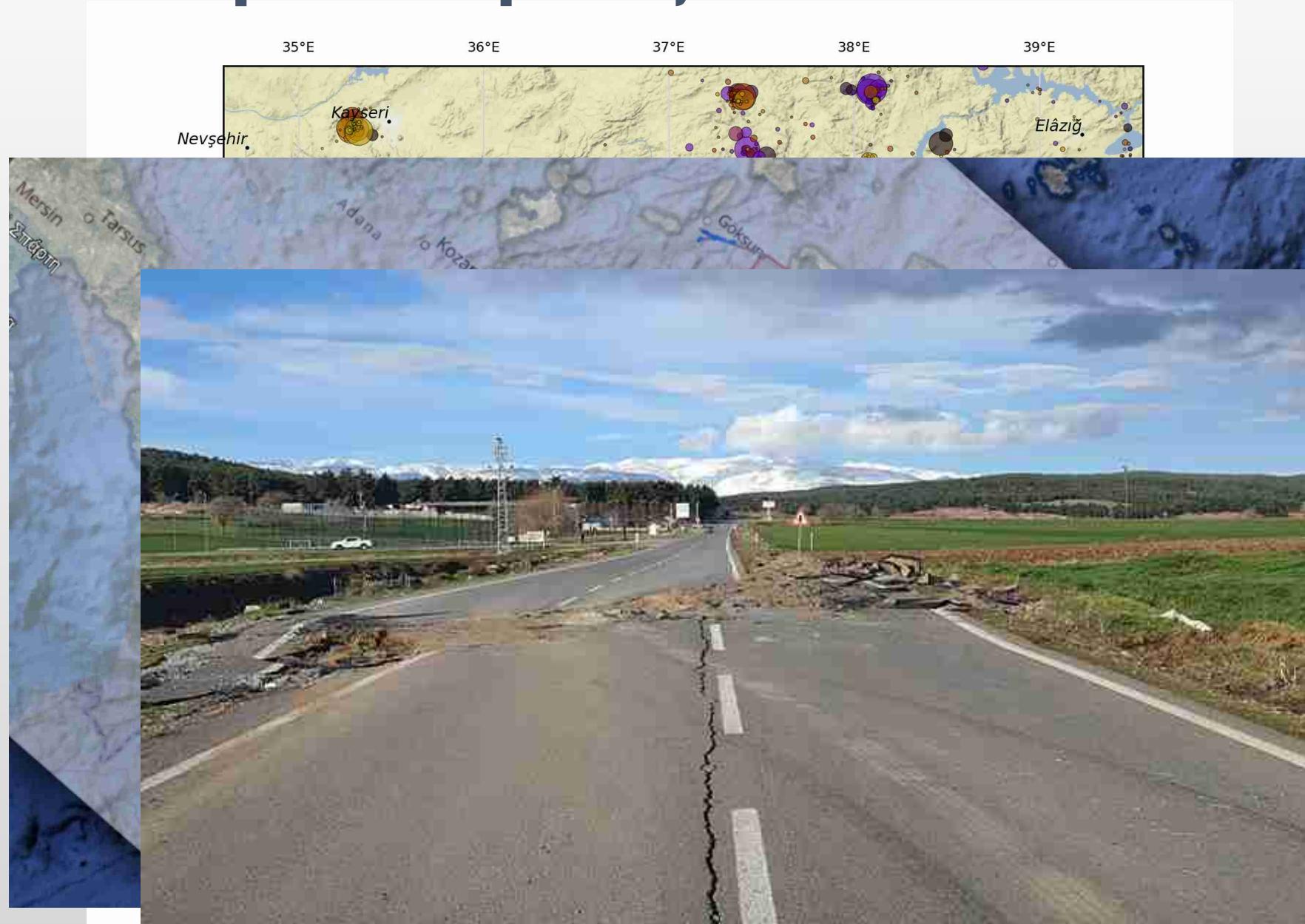
A. Peterek, J. Schwarze / Journal of Geodynamics 38 (2004) 19–55



# 7. Συμπεράσματα: Σεισμοί Τουρκίας

Οι σεισμοί της Τουρκίας ήταν ένα ξαφνικό, τραγικό και ιδιαίτερα **σπάνιο** γεγονός σε ρήγματα όμως που ήταν γνωστά για την επικινδυνότητα τους.

Τα ρήγματα που ενεργοποιήθηκαν είχαν μήκος περίπου 300χλμ!, ενώ μετατοπίστηκαν περιοχές μέχρι 8μ.!



## 7. Συμπεράσματα

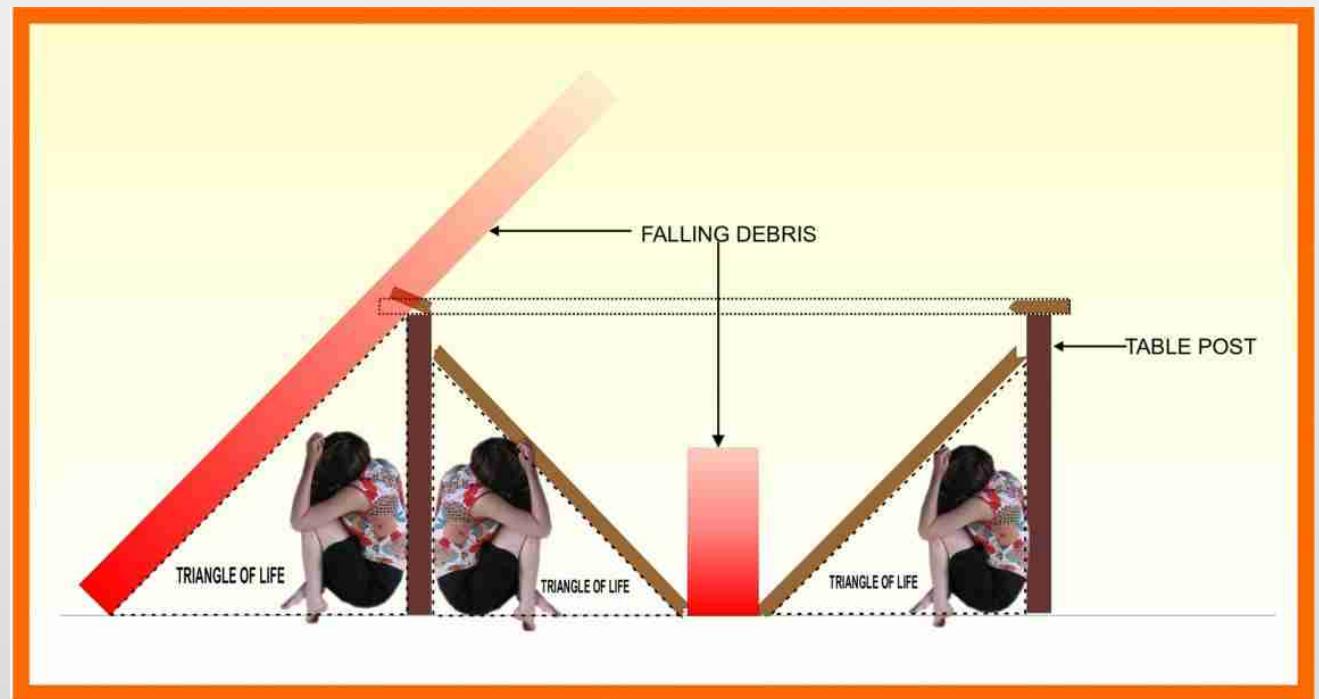
Δυστυχώς αν και  
ξέρουμε πολλά για τους  
σεισμούς, δεν  
μπορούμε να  
προβλέψουμε πότε θα  
συμβούν!

Το μόνο που  
μπορούμε να  
κάνουμε είναι να  
**προετοιμαστούμε**  
σωστά και να  
ενημερωνόμαστε  
από έγκυρες πηγές.



## 7. Συμπεράσματα

Πρόβλημα η διασπορά εσφαλμένων δεδομένων (τρίγωνο ζωής, σεισμός - ζέστη κλπ)



## 7. Συμπεράσματα

Πάντα την ώρα του σεισμού  
**προστατεύομε τον εαυτό μας**  
με κάθε τρόπο.

Πριν και μετά, ακολουθούμε τις  
οδηγίες που ξέρουμε.



## 7. Η φυσική κληρονομιά της Κρήτης

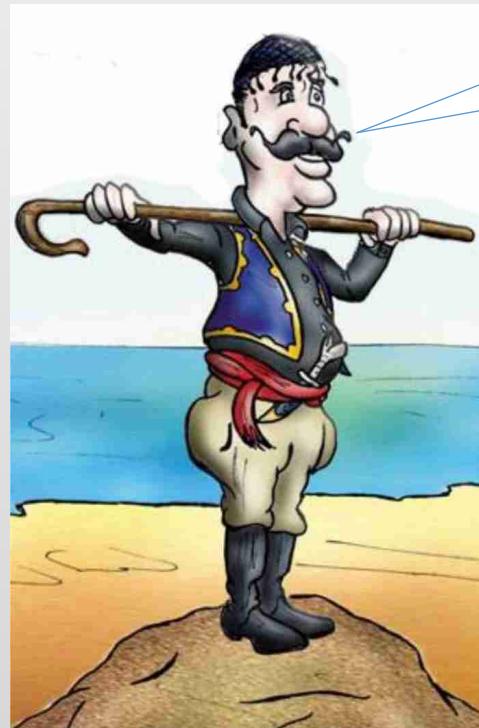
Η Φυσική κληρονομιά της Κρήτης έχει αναγνωριστεί από την UNESCO μέσω των δύο Παγκόσμιων Γεωπάρκων (UGGp) και των δύο Βιοσφαιρικών Αποθεμάτων (MAB), τις μόνες δυστυχώς αναγνωρισμένες περιοχές στο νησί.



# Εκπαίδευση και γνώση τα μόνα εργαλεία

Η γνώση, η εκπαίδευση και η προετοιμασία είναι το μόνο μας όπλο απέναντι στους σεισμούς.

Η μνήμη πολύτιμο εργαλείο γιατί μας κρατά σε εγρήγορση.



**“Η επόμενη  
καταστροφή θα έρθει  
μόλις ξεχάσουμε την  
προηγούμενη”**

**Ευχαριστώ!**

