



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ  
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΜΕΤΑΛΛΕΙΩΝ-ΜΕΤΑΛΛΟΥΡΓΩΝ  
ΤΟΜΕΑΣ ΜΕΤΑΛΛΕΥΤΙΚΗΣ  
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΗΣ ΓΕΩΦΥΣΙΚΗΣ

## ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

«Γεωφυσική Έρευνα για τον Εντοπισμό της  
Στρωματογραφίας και της Τεκτονικής στην περιοχή  
Κατοχωρίου νήσου Κεφαλληνίας»



**Μπουφίδης Χρήστος**

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ  
ΑΠΟΣΤΟΛΟΠΟΥΛΟΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ  
ΑΝΑΠΛΗΡΩΤΗΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ  
ΑΘΗΝΑ, ΙΟΥΛΙΟΣ 2019





ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ  
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΜΕΤΑΛΛΕΙΩΝ-ΜΕΤΑΛΛΟΥΡΓΩΝ  
ΤΟΜΕΑΣ ΜΕΤΑΛΛΕΥΤΙΚΗΣ  
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΗΣ ΓΕΩΦΥΣΙΚΗΣ

## ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**«Γεωφυσική Έρευνα για τον Εντοπισμό της  
Στρωματογραφίας και της Τεκτονικής στην περιοχή  
Κατοχωρίου νήσου Κεφαλληνίας»**

---

**Μπουφίδης Χρήστος**

Επιβλέπων: Αποστολόπουλος Γεώργιος  
Ιδιότητα: Αναπληρωτής Καθηγητής

Εγκρίθηκε από την τριμελή επιτροπή

.....  
Αποστολόπουλος Γεώργιος  
Αναπ. Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....  
Σταματάκη Σοφία  
Καθηγήτρια Ε.Μ.Π.

.....  
Αθανασάς Κωνσταντίνος  
Επικ. Καθηγητής Ε.Μ.Π.

ΑΘΗΝΑ, ΙΟΥΛΙΟΣ 2019

Copyright © Μπουφίδης Χρήστος, 2019  
Με επιφύλαξη κάθε δικαιώματος. All rights reserved.

## Ευχαριστίες

Η εκπόνηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας και το ενδιαφέρον για την περαιτέρω εμβάθυνση στην επιστήμη της Γεωφυσικής, ξεκινούν από το μάθημα της Εφαρμοσμένη Γεωφυσικής που διδάσκει ο επιβλέπων καθηγητής κ. Γεώργιος Αποστολόπουλος, μέσα από το οποίο ήρθα σε επαφή με το μεγάλο φάσμα εφαρμογών και δυνατοτήτων που παρέχει ο συγκεκριμένος κλάδος της επιστήμης.

Αποτέλεσε μεγάλο στοίχημα η υλοποίηση της παρούσας εργασίας, καθώς οι απαιτήσεις και οι δυσκολίες που εμφανίζονταν καθημερινά δεν διευκόλυναν την αφοσίωση σε αυτήν. Παρόλα αυτά, ολοκληρώνοντας την εργασία είμαι ευγνώμων για την αποκόμιση πολύ σημαντικής εμπειρίας, πρακτικής και θεωρητικής, κατά την πραγματοποίηση της έρευνας στην ύπαιθρο και κατά την συγγραφή της.

Για την δυνατότητα να συμμετέχω στην έρευνα του Εργαστηρίου Γεωφυσικής θέλω να εκφράσω τις ευχαριστίες μου πρωτίστως στον επιβλέποντα καθηγητή κ. Γεώργιο Αποστολόπουλο όπως επίσης και για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε και την συνεργασία όλο αυτό το διάστημα. Η καθοδήγηση και η μεταδοτικότητα της πείρας του αποτέλεσαν σημαντική πηγή γνώσεων και εμπειρίας για εμένα, κάτι για το οποίο είμαι ευγνώμων.

Θέλω να εκφράσω επίσης τις ευχαριστίες μου στον κ. Γεώργιο Αμολοχίτη που ήταν παρών και με βοήθησε σε όπι μικρό ή μεγάλο προέκυψε κατά την εκπόνηση και την συγγραφή της εργασίας.

Ακόμη, για την σημαντική συμβολή και βοήθεια κατά την πραγματοποίηση της έρευνας αλλά και για τις ωραίες στιγμές και την καλή παρέα που μας προσέφεραν κατά την διαμονή μας στην Κεφαλλονιά θέλω να ευχαριστήσω τον Μιχαλόπουλο Φώτη, συμφοιτητή και πλέον φίλο, την Γαρμπή Ευσταθία, συμφοιτήτρια και πολύ καλή φίλη, τον Λεονταράκη Κωνσταντίνο, Διδάκτωρ Μεταλλειολόγο-Μεταλλουργό, και τον Ορφανό Χρήστο, επίσης Διδάκτωρ Μεταλλειολόγο-Μεταλλουργό.

Θα ήθελα επίσης, να ευχαριστήσω το Odysseus Unbound Foundation και ιδιαιτέρως τον κ. John Crawshaw για την δυνατότητα πραγματοποίησης της παρούσας έρευνας, την συνεισφορά κατά την πραγματοποίηση της και την εγκάρδια φιλοξενία κατά την παραμονή μας στην Κεφαλλονιά.

Επιπρόσθετα, θέλω με κάθε τρόπο να εκφράσω την αμέριστη ευγνωμοσύνη και τον θαυμασμό μου στους γονείς μου, Θεόδωρο και Στέλλα, που δεν το έβαλαν κάτω στα δύσκολα και κατάφεραν να δώσουν την ευκαιρία σε μένα και στον αδερφό μου να κυνηγήσουμε τα όνειρά μας. Στον αδερφό μου Μάριο επίσης, για την συμπαράσταση και τη στήριξη που μου δίνει παρά τις δυσκολίες που αντιμετωπίζει και ο ίδιος. Αποτελούν πρότυπο για μένα καθώς με το παράδειγμα και τη στάση τους με βοήθησαν να γίνω ο άνθρωπος που είμαι σήμερα, και τους ευχαριστώ.

Τέλος, θέλω να πω ένα πολύ μεγάλο ευχαριστώ στους ανθρώπους που ήταν και είναι δίπλα μου και ιδιαίτερα στους φίλους μου, για την στήριξη και την υπομονή που έχουν δείξει όλα αυτά τα χρόνια.

## Περίληψη

«Γεωφυσική έρευνα για την αποτύπωση της στρωματογραφίας και της τεκτονικής στην περιοχή Κατοχώρι, στην Κεφαλλονιά»

Στόχος της παρούσας εργασίας είναι η αποτύπωση της στρωματογραφίας στην αναφερθείσα περιοχή αποσκοπώντας στην διερεύνηση των τεκτονικών κινήσεων που ευθύνονται για την διαμόρφωση της περιοχής.

Η παρούσα διπλωματική εργασία δομείται από έξι κεφάλαια, τα οποία είναι τα εξής:

Στο 1<sup>ο</sup> κεφάλαιο γίνεται εισαγωγή στην επιστήμη της γεωφυσικής και στη συνέχεια στο αντικείμενο της παρούσας εργασίας.

Στο 2<sup>ο</sup> κεφάλαιο ακολουθεί η θεωρητική ανάλυση της μεθόδου που χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα διπλωματική. Γίνεται αναφορά στις διαφορετικές τεχνικές που την απαρτίζουν, στις διατάξεις και στον εξοπλισμό που απαιτείται για την εφαρμογή της.

Στο 3<sup>ο</sup> κεφάλαιο, παρουσιάζονται 4 παραδείγματα γεωφυσικής έρευνας, που αφορούν παρόμοιες έρευνες με την παρούσα, και ανήκουν στην διεθνή βιβλιογραφία.

Στο 4<sup>ο</sup> κεφάλαιο, αναφέρεται αρχικά η τοποθεσία όπου έλαβε χώρα η έρευνα και στην συνέχεια έπεται η περιγραφή της γεωλογίας της περιοχής. Ύστερα παρατίθενται τα στοιχεία για την μέθοδο που αξιοποιήθηκε, οι διατάξεις και ο εξοπλισμός για την λήψη δεδομένων από τις μετρήσεις και τέλος, τα αποτελέσματα των επεξεργασιών της γεωηλεκτρικής τομογραφίας. Στα παραπάνω περιλαμβάνονται και δεδομένα παλαιότερων μετρήσεων της εταιρείας Fugro, χάρις στα οποία δίνεται η δυνατότητα απεικόνισης της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης και συνεπώς της στρωματογραφίας για μεγαλύτερο τμήμα της περιοχής.

Στο 5<sup>ο</sup> κεφάλαιο, ολοκληρώνεται η εργασία, με την αποτίμηση των αποτελεσμάτων της έρευνας και την εκτίμηση για την αποτελεσματικότητα της μεθόδου.

Στο 6<sup>ο</sup> κεφάλαιο βρίσκεται η βιβλιογραφία που αξιοποιήθηκε για τη συγγραφή της παρούσας εργασίας.

# Abstract

“Geophysical survey for stratigraphy display and identification of tectonic movements’ in Katochori area, in Kefallonia Island”

The present thesis aims to illustrate the stratigraphy of the area for the purpose of explaining the consequences of tectonic movements to stratigraphy of Katochori area.

The structure of the thesis consists of six chapters:

The 1<sup>st</sup> chapter begins with an introduction to the science of geophysics and continues with the subject of the present thesis.

In the 2<sup>nd</sup> chapter a theoretical analysis for the method applied in the present thesis follows. The different techniques which constitute the selected method are stated, including necessary instruments and procedure.

In the 3<sup>rd</sup> chapter, four case studies from around the world are being display, deriving from geophysical surveys similar to the present.

In the 4<sup>th</sup> chapter, the location of the survey is mentioned and the description of the geological features of the area follows. Information concerning the method used, the devices and equipment for obtaining data from the measurements and finally the results of the ERT profiles are presented. Part of the above data has been obtained from previous measurements of Fugro, which allow the display of special electrical resistance and therefore stratigraphy of a larger part of the area.

In the 5<sup>th</sup> chapter, the present thesis is completed by evaluating the results of the research and assessing the effectiveness of the method.

In the 6<sup>th</sup> chapter there is the bibliography used for the present thesis.



# Ευρετήριο Εικόνων

Εικόνα 1: Σχηματική απεικόνιση της Ειδικής Ηλεκτρικής Αντίστασης	18
Εικόνα 2: Ηλεκτρικό ρεύμα σε άπειρο ομογενή χώρο	21
Εικόνα 3: Ηλεκτρικό ρεύμα σε ομογενή ημιχώρο	22
Εικόνα 4: Το ηλεκτρικό πεδίο όταν η ανομοιογένεια βρίσκεται στο πεδίο με μεγαλύτερη ειδική αντίσταση από τον περιβάλλοντα χώρο.	24
Εικόνα 5: Διατάξεις Ηλεκτροδίων	26
Εικόνα 6: Κατανομή ευαισθησίας της διάταξης Dipole-Dipole για $n=1,2,4,6$ (Loke, 2002)	27
Εικόνα 7: a) Κανονική Διάταξη pole-dipole και b) Αντίστροφη Διάταξη pole-dipole	28
Εικόνα 8: Κατανομή ευαισθησίας της διάταξης pole-dipole για $n=1,2,4,6$ (Loke, 2002)	28
Εικόνα 9: Κατανομή ευαισθησίας της διάταξης pole-pole	29
Εικόνα 10: Κατανομή ευαισθησίας της διάταξης Wenner (Loke, 2002)	30
Εικόνα 11: Κατανομή ευαισθησίας της διάταξης Schlumberger για $n=1,2,4,6$ (Loke, 2002)	31
Εικόνα 12: Εξοπλισμός & εγκατάσταση στην ύπαιθρο	32
Εικόνα 13: Γεωηλεκτρικές διασκοπήσεις με διαφορετικές αποστάσεις ηλεκτροδίων	33
Εικόνα 14: Μετατόπιση Διατάξεων	34
Εικόνα 15: Διάρθρωση της επιφάνειας του δισδιάστατου μοντέλου του υπεδάφους σε ορθογώνια πρίσματα με τη βοήθεια προεπιλεγμένου αλγόριθμου.	36
Εικόνα 16: Διάρθρωση της επιφάνειας του δισδιάστατου μοντέλου του υπεδάφους σε ορθογώνια πρίσματα, με περισσότερα κελιά από τα δεδομένα.	36
Εικόνα 17: Διάρθρωση της επιφάνειας του δισδιάστατου μοντέλου του υπεδάφους σε ορθογώνια πρίσματα, με επιμήκυνση στις άκρες των γραμμών των μετρήσεων.	37
Εικόνα 18: Διάρθρωση της επιφάνειας του δισδιάστατου μοντέλου του υπεδάφους σε ορθογώνια πρίσματα, με τις τιμές ευαισθησίας ενός μοντέλου ομογενούς γης.	37
Εικόνα 19: Μοντέλο απεικόνισης ειδικών ηλεκτρικών αντιστάσεων	38
Εικόνα 20: Απεικόνιση της περιοχής ερευνών	41
Εικόνα 21: Προφίλ τομογραφιών ειδικής αντίστασης	43
Εικόνα 22: Γεωλογικά προφίλ των τομογραφιών A-A, B-B & C-C	44
Εικόνα 23: Γεωλογικό προφίλ D-D'	44
Εικόνα 24: Χάρτης των ρηγμάτων στην περιοχή Caggiano, κοιλάδα Timpa del Vento	49
Εικόνα 25: ERT τομογραφία στην κοιλάδα Timpa del Vento	49
Εικόνα 26: Μετρητής Syscal R2-Iris Instruments	50
Εικόνα 27: (a) προφίλ τομογραφίας στην κοιλάδα Timpa del Vento, (b) παλαιο-σεισμολογικό προφίλ	51
Εικόνα 28: Γεωλογικός χάρτης της υπό έρευνας περιοχής, όπου (1) η τομογραφία ERT και (2) γεωλογική τομή.	52
Εικόνα 29: Προφίλ τομογραφίας κοιλάδα του ποταμού Ufita	53
Εικόνα 30: Σημείο ερευνών	54
Εικόνα 31: Τομές ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης	56
Εικόνα 32: Ερμηνεία της ERT	58
Εικόνα 33: περιοχή Basilicata	61
Εικόνα 34: περιοχή Altındağ	62
Εικόνα 35: Κατολίσθηση στο Malton στο North Yorkshire	63
Εικόνα 36: Η περιοχή Κατοχώρι στην Κεφαλονιά	66
Εικόνα 37: Η περιοχή της έρευνας	66
Εικόνα 38: Απλοποιημένος τεκτονοστρωματογραφικός χάρτης της νήσου Κεφαλονιάς (Underhill,1989). Thrusts: ανάστροφα ρήγματα Anticlines: αντίκλινα Synclines: σύγκλινα Normal Faults: κανονικά ρήγματα KAK: Κόλπος Αγίας Κυριακής K: Καταβόθρες KL: Κόλπος Λιβαδίου Cape	71
Εικόνα 39: Γεωλογική Δομή Κεφαλονιάς (Σχέσεις Και Αλληλεπιδράσεις Υπόγειων Νερών Και Φυσικών Καταστροφικών Φαινομένων, με Έμφαση στους Σεισμούς και στη Ρευστοποίηση Εδαφών, Μιχαλάκη Αικατερίνη, 2016)	72
Εικόνα 40: Νεοτεκτονικός Χάρτης της νήσου Κεφαλονιάς και Ιθάκης	75
Εικόνα 41: Γεωλογικός - Τεκτονικός χάρτης του βορειοδυτικού τμήματος της νήσου Κεφαλονιάς, στον οποίο απεικονίζονται οι κύριες αποθέσεις στον Όρμο Μύρτου και στον Κόλπο Αγίας Κυριακής	

(Τεκτονική Ανάλυση των δύο μεγάλων επωθήσεων στις περιοχές Όρμου Μύρτου και Κόλπου Αγίας Κυριακής στο Βόρειο τμήμα της νήσου Κεφαλονιάς, Άγγελου Καπατσώρη, 2012).	76
Εικόνα 42: Γεωλογική τομή AA' στην οποία φαίνονται οι δύο κλάδοι της απόθεσης της Αγίας Κυριακής, οι κλίσεις των στρωμάτων καθώς και λεπτομέρεια του ασβεστολιθικού σχηματισμού ο οποίος εμφανίζεται στην παραλία της Αγίας Κυριακής. (Τεκτονική Ανάλυση των δύο μεγάλων επωθήσεων στις περιοχές Όρμου Μύρτου και Κόλπου Αγίας Κυριακής στο Βόρειο τμήμα της νήσου Κεφαλονιάς, Άγγελου Καπατσώρη, 2012).	77
Εικόνα 43: Γεωηλεκτρική τομή Εργαστηρίου Γεωφυσικής-Κ1	78
Εικόνα 44: Γεωηλεκτρικές τομές Εργαστηρίου Γεωφυσικής & Fugro	79
Εικόνα 45: Γεωηλεκτρικές τομές Fugro & τοπογραφικό ανάγλυφο	80
Εικόνα 46: Γεωηλεκτρική τομή FR-LK1- <i>rev</i> , με διεύθυνση δυτικά-ανατολικά. Επάνω είναι η γεωηλεκτρική τομή με επεξεργασία Robust-Robust και κάτω η γεωηλεκτρική τομή με επεξεργασία Robust-Standard.	81
Εικόνα 47: Γεωηλεκτρική τομή FR-LK2- <i>rev</i> , με διεύθυνση δυτικά-ανατολικά. Επάνω είναι η γεωηλεκτρική τομή με επεξεργασία Robust-Robust και κάτω η γεωηλεκτρική τομή με επεξεργασία Robust-Standard.	82
Εικόνα 48: Γεωηλεκτρική τομή FR-LK3- <i>rev</i> , με διεύθυνση δυτικά-ανατολικά. Επάνω είναι η γεωηλεκτρική τομή με επεξεργασία Robust-Robust και κάτω η γεωηλεκτρική τομή με επεξεργασία Robust-Standard.	83
Εικόνα 49: Γεωηλεκτρική τομή FR-LK4- <i>rev</i> , με διεύθυνση δυτικά-ανατολικά. Επάνω είναι η γεωηλεκτρική τομή με επεξεργασία Robust-Robust και κάτω η γεωηλεκτρική τομή με επεξεργασία Robust-Standard.	84
Εικόνα 50: Γεωηλεκτρική τομή FR-LK5- <i>rev</i> , με διεύθυνση δυτικά-ανατολικά. Επάνω είναι η γεωηλεκτρική τομή με επεξεργασία Robust-Robust και κάτω η γεωηλεκτρική τομή με επεξεργασία Robust-Standard.	85
Εικόνα 51: Γεωηλεκτρική τομή FR-LK6- <i>rev</i> , με διεύθυνση βόρεια-νότια. Επάνω είναι η γεωηλεκτρική τομή με επεξεργασία Robust-Robust και κάτω η γεωηλεκτρική τομή με επεξεργασία Robust-Standard.	86
Εικόνα 52: Γεωηλεκτρική τομή FR-LK7- <i>rev</i> , με διεύθυνση βόρεια-νότια. Επάνω είναι η γεωηλεκτρική τομή με επεξεργασία Robust-Robust και κάτω η γεωηλεκτρική τομή με επεξεργασία Robust-Standard.	87
Εικόνα 53: Γεωηλεκτρικές τομές Εργαστηρίου Γεωφυσικής & τοπογραφικό ανάγλυφο	88
Εικόνα 54: Γεωηλεκτρική τομή Εργαστηρίου Γεωφυσικής-Κ2	88
Εικόνα 55: Γεωηλεκτρική τομή K1 Dipole-Dipole, με διεύθυνση βορειοδυτικά-νοτιοανατολικά. Επάνω είναι η γεωηλεκτρική τομή με επεξεργασία Robust-Robust και κάτω η γεωηλεκτρική τομή με επεξεργασία Robust-Standard.	90
Εικόνα 56: Γεωηλεκτρική τομή K1 Schlumberger, με διεύθυνση βορειοδυτικά-νοτιοανατολικά. Επάνω είναι η γεωηλεκτρική τομή με επεξεργασία Robust-Robust και κάτω η γεωηλεκτρική τομή με επεξεργασία Robust-Standard.	91
Εικόνα 57: Γεωηλεκτρική τομή K2 Dipole-Dipole, με διεύθυνση βορειοδυτικά-νοτιοανατολικά. Επάνω είναι η γεωηλεκτρική τομή με επεξεργασία Robust-Robust και κάτω η γεωηλεκτρική τομή με επεξεργασία Robust-Standard.	92
Εικόνα 58: Γεωηλεκτρική τομή K2 Schlumberger, με διεύθυνση βορειοδυτικά-νοτιοανατολικά. Επάνω είναι η γεωηλεκτρική τομή με επεξεργασία Robust-Robust και κάτω η γεωηλεκτρική τομή με επεξεργασία Robust-Standard.	93
Εικόνα 59: Γεωηλεκτρική τομή K3 Dipole-Dipole, με διεύθυνση βορειοανατολικά-νοτιοδυτικά. Επάνω είναι η γεωηλεκτρική τομή με επεξεργασία Robust-Robust και κάτω η γεωηλεκτρική τομή με επεξεργασία Robust-Standard.	94
Εικόνα 60: Γεωηλεκτρική τομή K3 Schlumberger, με διεύθυνση βορειοανατολικά-νοτιοδυτικά. Επάνω είναι η γεωηλεκτρική τομή με επεξεργασία Robust-Robust και κάτω η γεωηλεκτρική τομή με επεξεργασία Robust-Standard.	95
Εικόνα 61: Τρισδιάστατη Απεικόνιση Γεωηλεκτρικών Τομών Εργαστηρίου Γεωφυσικής & Fugro	97

## Ευρετήριο Πινάκων

Πίνακας 1: Γεωφυσικές Μέθοδοι - φυσικές ιδιότητες	13
Πίνακας 2: Τιμές ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης για χαρακτηριστικά πετρώματα	19
Πίνακας 3: Επίδραση γεωλογικών διεργασιών στην ειδική ηλεκτρική αντίσταση	20

# Πίνακας Περιεχομένων

Ευχαριστίες .....	1
Περίληψη .....	3
Abstract.....	4
Ευρετήριο Εικόνων .....	5
Ευρετήριο Πινάκων .....	7
1 <sup>ο</sup> ΚΕΦΑΛΑΙΟ .....	10
1. Εισαγωγή .....	10
1.1. Εισαγωγή .....	11
1.2. Αντικείμενο Διπλωματικής Εργασίας .....	13
2 <sup>ο</sup> ΚΕΦΑΛΑΙΟ .....	15
2. Θεωρητικό μέρος .....	15
2.1. Ηλεκτρική Μέθοδος .....	16
2.1.1. Γενικά .....	16
2.1.2. Ηλεκτρικές Μέθοδοι .....	16
2.1.3. Μέθοδος Ειδικής Ηλεκτρικής Αντίστασης .....	17
2.1.4. Φαινόμενη ειδική αντίσταση .....	24
2.2. Γεωηλεκτρικές Διασκοπήσεις .....	33
2.2.1. Ηλεκτρικές Βυθοσκοπήσεις .....	33
2.2.2. Οριζόντιες ηλεκτρικές χαρτογραφήσεις .....	34
2.3. Δισδιάστατες ηλεκτρικές τομογραφίες .....	35
2.3.1. Θετικά & Αρνητικά Ηλεκτρικής Μεθόδου .....	38
3 <sup>ο</sup> ΚΕΦΑΛΑΙΟ .....	39
3. Διεθνείς Εφαρμογές της Μεθόδου Ειδικής Αντίστασης (E.R.T.) για στρωματογραφική και τεκτονική απεικόνιση .....	39
3.1. Περιοχή Paganica - San Gregorio στην περιφέρεια L'Aquila: καταγραφή μετασεισμικών επιπτώσεων. ....	40
3.1.1. Γενικά .....	40
3.1.2. Γεωφυσικές Μέθοδοι-Απόκτηση Δεδομένων .....	41
3.1.3. Αποτελέσματα Δεδομένων .....	42
3.1.4. Συμπεράσματα .....	47
3.2. Περιοχή Caggiano & Irpinia: Συμπεράσματα από τη χρήση της μεθόδου ERT σε τεκτονικά ενεργές περιοχές. ....	48
3.2.1. Γενικά .....	48
3.2.2. Γεωφυσικές Μέθοδοι-Απόκτηση Δεδομένων .....	49
3.2.3. Αποτελέσματα Δεδομένων .....	50

3.2.4. Συμπεράσματα .....	53
3.3. Γεωφυσική μελέτη στην πεδιάδα Sibari, στο Δέλτα του Ποταμού Crati.....	54
3.3.1. Γενικά .....	54
3.3.2. Γεωφυσικές μέθοδοι-Απόκτηση δεδομένων .....	55
3.3.3. Αποτελέσματα και Ερμηνεία .....	56
3.3.4. Συμπεράσματα .....	58
3.4. Ηλεκτρικές τομογραφίες ειδικής αντίστασης για την ανίχνευση κατολισθήσεων: μια ανασκόπηση .....	59
3.4.1. Γενικά .....	59
3.4.2. Γεωφυσικές Μέθοδοι-Απόκτηση Δεδομένων .....	60
3.4.3. Συμπεράσματα .....	63
4 <sup>ο</sup> ΚΕΦΑΛΑΙΟ .....	65
4. Γεωφυσική Έρευνα για την στρωματογραφική και τεκτονική ανάλυση του υπεδάφους στην περιοχή Κατοχώρι στην Κεφαλλονιά .....	65
4.1. Γενικά.....	66
4.2. Γεωλογία της περιοχής .....	67
4.2.1. Γεωλογική δομή Κεφαλονιάς.....	67
4.2.2. Νεοτεκτονική Δομή των νήσων Κεφαλονιάς – Ιθάκης .....	72
4.2.3. Γεωλογική δομή κόλπου Ληξουρίου-Αγίας Κυριακής .....	75
4.3. Γεωφυσική Έρευνα.....	78
4.3.1. Μέθοδος γεωφυσικής έρευνας .....	78
4.3.2. Επεξεργασία μετρήσεων .....	79
4.3.3. Γεωφυσική έρευνα Fugro .....	80
4.3.4. Γεωφυσική έρευνα Εργαστηρίου Γεωφυσικής .....	88
5 <sup>ο</sup> ΚΕΦΑΛΑΙΟ .....	98
5. Συμπεράσματα-Σχολιασμός.....	98
5.1. Συμπεράσματα .....	99
5.2. Σχόλια .....	101
6 <sup>ο</sup> ΚΕΦΑΛΑΙΟ .....	102
6. Βιβλιογραφία.....	102
Βιβλιογραφία .....	103

# **1° ΚΕΦΑΛΑΙΟ**

## **1. Εισαγωγή**

## 1.1. Εισαγωγή

Η επιστήμη της γεωφυσικής βασίζεται στην σύγχρονη ανάγκη για μελέτη, ανάλυση και ερμηνεία των φυσικών φαινομένων που λαμβάνουν χώρα στη Γη μέσα από τους νόμους της Φυσικής.

Το αντικείμενο μελέτης της γεωφυσικής βασίζεται στις φυσικές ιδιότητες των στοιχείων, όπως είναι η πυκνότητα, η ηλεκτρική αγωγιμότητα, η μαγνητική επιδεκτικότητα, η ταχύτητα διάδοσης των σεισμικών κυμάτων κλπ. και πάνω στα αντίστοιχα φυσικά φαινόμενα που προκαλούν ή επηρεάζουν, όπως, η βαρύτητα, ο ηλεκτρισμός, ο μαγνητισμός, η διάδοση των σεισμικών κυμάτων κλπ.

Αποτελείται από τον κλάδο της Κλασικής Γεωφυσικής, ο οποίος αναπτύχθηκε πρώτος και αφορά κυρίως την μελέτη της εσωτερικής δομής και σύστασης της Γης, το πώς δημιουργείται το γεωμαγνητικό πεδίο, τις μεταβολές του βαρυτικού πεδίου και που αυτές οφείλονται, τους σεισμούς κλπ. (Σεισμολογία, Γεωδυναμική, Γεωμαγνητισμός κλπ.). Η συμβολή της κλασικής Γεωφυσικής στην προσπάθεια εμπλουτισμού της γνώσης σε ότι αφορά την δομή, την δημιουργία και την λειτουργία της Γης είναι τεράστια.

Αποτελείται επίσης και από τον κλάδο της Εφαρμοσμένης Γεωφυσικής, όπου αναπτύχθηκε μεταγενέστερα. Εφαρμόζει τις αρχές της Κλασικής Γεωφυσικής προκειμένου να αποτυπωθεί η γεωλογία του υπεδάφους και των φυσικών ιδιοτήτων που έχουν οι εν λόγω γεωλογικοί σχηματισμοί. Η συμβολή της Εφαρμοσμένης Γεωφυσικής στην έρευνα και τον εντοπισμό υπεδάφικων δομών/σχηματισμών είναι κι αυτή πολύ σημαντική.

Η έρευνα της Εφαρμοσμένης Γεωφυσικής μπορεί να προσφέρει σε έναν μηχανικό πολύτιμα συμπεράσματα. Στην περίπτωση της μελέτης του φλοιού της Γης και των επιφανειακών στρωμάτων μπορεί να δώσει στοιχεία για τον εντοπισμό μεταλλευμάτων ή δομών που σχετίζονται με την ύπαρξη κοιτασμάτων πετρελαίου και φυσικού αερίου. Αντίστοιχα δίνει τη δυνατότητα προσδιορισμού των μηχανικών ιδιοτήτων των επιφανειακών στρωμάτων της Γης, κάτι το οποίο είναι ιδιαίτερα χρήσιμο στον σχεδιασμό ή στην παρακολούθηση τεχνικών έργων.

Βασικό ζητούμενο της εφαρμοσμένης γεωφυσικής έρευνας είναι η καταμέτρηση της απόκρισης του υπεδάφους στα υφιστάμενα φυσικά πεδία της Γης, ή στα

εφαρμοζόμενα σε αυτό από τον άνθρωπο. Οι φυσικές ιδιότητες των υπεδάφικων σχηματισμών και η γεωμετρία τους στον χώρο καταγράφονται από την γεωφυσική διασκόπηση. Ο τελικός σκοπός της έρευνας είναι να αποκαλύψει την πραγματική κατανομή των υπεδάφικων δομών στην υπό μελέτη περιοχή.

Απαραίτητη προϋπόθεση για την επιτυχή εφαρμογή μιας γεωφυσικής διασκόπησης, είναι να υπάρχει διαφοροποίηση σε κάποια φυσική ιδιότητα των υπεδάφικων δομών. Μόνο όταν υπάρχει μεγάλη διαφοροποίηση στην τιμή κάποιας φυσικής ιδιότητας σε σύγκριση με τον περιβάλλοντα χώρο, είναι ικανές οι γεωφυσικές μέθοδοι να εντοπίσουν την εν λόγω «ανωμαλία». Η ύπαρξη «ανωμαλίας» υποδηλώνει κάποια ασυνέχεια στην περιοχή που μελετάται και δίνει την δυνατότητα εκτίμησης της κατανομής των δομών.

Για την διασκόπηση του υπεδάφους χρησιμοποιείται ένα μεγάλο εύρος γεωφυσικών μεθόδων. Για την επιλογή της κατάλληλης μεθόδου, πρέπει να λαμβάνονται υπόψη οι εξής παράγοντες:

- Τα χαρακτηριστικά του σχηματισμού που θέλουμε να προσδιορίσουμε και τη φύση του περιβάλλοντός του.
  - ❖ Είναι σημαντικό να διερευνείται αυτός ο παράγοντας, για να εντοπιστεί η φυσική ιδιότητα που μπορεί να προσφέρει μεγαλύτερη διαφοροποίηση στις τιμές μεταξύ του σχηματισμού και του περιβάλλοντος του και ανάλογα να επιλεγθεί η αντίστοιχη μέθοδος.
- Το σημείο της έρευνας στο οποίο βρίσκεται η γεωφυσική μελέτη.
  - ❖ Στα αρχικά στάδια μιας έρευνας, όπου συνήθως δεν απαιτείται ιδιαίτερη ακρίβεια αλλά ένας γενικότερος προσδιορισμός, μπορεί να αξιοποιηθεί μια πιο γρήγορη και οικονομική μέθοδος που να ανταποκρίνεται παράλληλα στην κάλυψη μεγάλης έκτασης. Σε πιο προχωρημένα στάδια, η έρευνα θα επικεντρωθεί σε συγκεκριμένες περιοχές και η διασκόπηση θα γίνει με μεθόδους μεγαλύτερης ακρίβειας. Επίσης, για μεγαλύτερη ακρίβεια στα αποτελέσματα της έρευνας, συνηθίζεται η εφαρμογή περισσότερων από μια μεθόδων.

Παράλληλα, είναι απαραίτητο να αξιοποιούνται γεωλογικά στοιχεία για την περιοχή των μετρήσεων, δεδομένα από γεωτρήσεις στην περιοχή, αποτελέσματα παλιότερων μελετών και οπδήποτε βοηθάει στην επαλήθευση των αποτελεσμάτων



της γεωφυσικής μεθόδου που χρησιμοποιήθηκε, διότι είναι πολλοί οι συνδυασμοί των γεωλογικών σχηματισμών που μπορούν να δώσουν το ίδιο αποτέλεσμα μέτρησης.

Στον παρακάτω πίνακα, παρατίθενται οι πιο σημαντικές γεωφυσικές μέθοδοι μαζί με τις φυσικές ιδιότητες που εκμεταλλεύεται η κάθε μία.

<b>ΜΕΘΟΔΟΣ</b>	<b>ΜΕΤΡΟΥΜΕΝΗ ΦΥΣΙΚΗ ΠΟΣΟΤΗΤΑ</b>	<b>ΣΤΟΧΟΣ</b>
Βαρυτική Μέθοδος	Ένταση πεδίου βαρύτητας	Προσδιορισμός κατανομής της πυκνότητας των πετρωμάτων
Μαγνητική Μέθοδος	Ένταση γεωμαγνητικού πεδίου	Αξιοποίηση μαγνητικής επιδεκτικότητας & παραμένουσας μαγνήτισης, για τον εντοπισμό μαγνητισμένων πετρωμάτων
Ηλεκτρική Μέθοδος	Ειδική ηλεκτρική αντίσταση της γης Ηλεκτρικά δυναμικά	Αξιοποίηση ηλεκτρικής αγωγιμότητας & ηλεκτροχωρητικότητας, για τον προσδιορισμό της γεωηλεκτρικής δομής των επιφανειακών στρωμάτων του φλοιού
Ηλεκτρομαγνητική Μέθοδος	Αντίδραση σε ηλεκτρομαγνητική διέγερση	Αξιοποίηση ηλεκτρικής αγωγιμότητας & επαγωγής, για τον καθορισμό της γεωηλεκτρικής δομής των επιφανειακών στρωμάτων του φλοιού
Σεισμική Μέθοδος	Χρόνοι διαδρομής σεισμικών κυμάτων περίοδοι σεισμικών κυμάτων πλάτη σεισμικών κυμάτων	Μέσω των ελαστικών ιδιοτήτων των πετρωμάτων, καθορισμός της δομής των επιφανειακών στρωμάτων του φλοιού
Ραδιομετρική Μέθοδος	Φυσική ραδιενέργεια	Προσδιορισμός της φυσικής ραδιενέργειας των πετρωμάτων
Θερμική Μέθοδος	Ροή θερμότητας από το εσωτερικό της γης	Προσδιορισμός της θερμοκρασίας των πετρωμάτων

*Πίνακας 1: Γεωφυσικές Μέθοδοι - φυσικές ιδιότητες*

## 1.2. Αντικείμενο Διπλωματικής Εργασίας

Η παρούσα Διπλωματική Εργασία έχει ως αντικείμενο την πραγματοποίηση γεωφυσικής έρευνας στην περιοχή Κατοχώρι στην Παλική, στο νησί της Κεφαλλονιάς.

Σκοπός της έρευνας ήταν η αποτύπωση της στρωματογραφίας των σχηματισμών και της τεκτονικής της περιοχής. Βασικό ζητούμενο επίσης ήταν η γεωφυσική διασκόπηση να φτάσει σε ικανό βάθος, έτσι ώστε να είναι δυνατή η αποτύπωση της

στρωματογραφίας και αντίστοιχα η συσχέτιση της με τεκτονικές κινήσεις στην περιοχή.

Σύμφωνα λοιπόν με τις απαιτήσεις της έρευνας, την τοπογραφία της περιοχής και μελετώντας την διεθνή πείρα για παρόμοιες έρευνες, η μέθοδος που κρίθηκε ως κατάλληλη για την πραγματοποίηση των μετρήσεων ήταν της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης (Electrical Resistivity Tomography-ERT).

Για τις ανάγκες της έρευνας έγινε χρήση του εξοπλισμού του εργαστηρίου Γεωφυσικής της Σχολής Μηχανικών Μεταλλείων & Μεταλλουργών, ενώ στο εν λόγω εργαστήριο ακολούθησε η επεξεργασία των δεδομένων.

Η έρευνα ολοκληρώθηκε με την δημιουργία των γεωηλεκτρικών τομών ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης, από τις οποίες προκύπτει σε καλό βαθμό η απεικόνιση της στρωματογραφίας της περιοχής και τα αντίστοιχα συμπεράσματα.

# **2° ΚΕΦΑΛΑΙΟ**

## **2. Θεωρητικό μέρος**

## 2.1. Ηλεκτρική Μέθοδος

### 2.1.1. Γενικά

Η ηλεκτρική μέθοδος χρησιμοποιείται για την ανίχνευση φυσικών φαινομένων σε επιφανειακούς και υπεδιαφικούς γεωλογικούς σχηματισμούς μέσα από την παροχή και ροή ηλεκτρικού ρεύματος σε αυτούς. Βασικές παράμετροι που καταγράφονται είναι η ηλεκτρική αγωγιμότητα  $\sigma$  και η ηλεκτρική αντίσταση  $\rho$ . Παρέχει επίσης την δυνατότητα επιλογής κατάλληλης τεχνικής από μια μεγάλη γκάμα τεχνικών εφαρμογής, κάτι το οποίο εξυπηρετεί τις σύγχρονες απαιτήσεις της έρευνας (π.χ. μεγαλύτερα βάθη διασκόπησης) μαζί με τις δυσκολίες που ήδη υφίστανται (π.χ. δύσβατο πεδίο).

Εφαρμόστηκε για πρώτη φορά στις αρχές του 20<sup>ου</sup> αιώνα, το 1923 στη Ρουμανία σε έρευνες για τον εντοπισμό φυσικού αερίου και το 1926 στη Γαλλία για δομές άλατος. Μέχρι και την δεκαετία του '70 δεν παρουσίασε κάποια ιδιαίτερη ανάπτυξη, σε αντίθεση με την μετέπειτα περίοδο. Η εξέλιξη της τεχνολογίας, και πιο συγκεκριμένα των ηλεκτρονικών υπολογιστών, έδωσε σημαντική ώθηση στην ανάπτυξη και εφαρμογή της ηλεκτρικής μεθόδου.

### 2.1.2. Ηλεκτρικές Μέθοδοι

Οι ηλεκτρικές μέθοδοι χωρίζονται από τη χρησιμοποίηση φυσικών ή τεχνικών πεδίων σε παθητικές ή ενεργητικές.

#### 2.1.2.1. Παθητικές Μέθοδοι

**Μέθοδος Φυσικού Δυναμικού (Self Potential Method):** Αξιοποιεί τις μετρήσεις των φυσικών ηλεκτρικών δυναμικών, τα οποία συνδέονται με την αποσάθρωση κοιπασμάτων σουλφιδίων, ή έχουν ηλεκτροκινητική ή γεωθερμική προέλευση.

**Μαγνητοτελλουρική Μέθοδος (Magnetotelluric Method):** Αξιοποιεί τις μετρήσεις φυσικών τελλουρικών ρευμάτων, τα οποία προκαλούνται από τη μαγνητική επαγωγή ηλεκτρικών ρευμάτων στην ιονόσφαιρα. Αξιοποιείται για τον καθορισμό των ηλεκτρικών ιδιοτήτων διαφόρων υλικών, τα οποία βρίσκονται σε σχετικά μεγάλα βάθη μέσα στη Γη.

#### 2.1.2.2. Ενεργητικές Μέθοδοι

**Μέθοδος της Ειδικής Ηλεκτρικής Αντίστασης (Resistivity Method):** Αξιοποιεί το ηλεκτρικό δυναμικό που συνδέεται με την υπόγεια ροή ηλεκτρικού ρεύματος. Εφαρμόζεται ευρέως σε υδρογεωλογικές, περιβαλλοντικές και γεωτεχνικές μελέτες, με μέσα βάθης διασκόπησης.

**Μέθοδος της Επαγόμενης Πολικότητας (Induced Polarization Method):** Εφαρμόζεται παράλληλα και σε συνεργασία με την μέθοδο της Ειδικής Ηλεκτρικής Αντίστασης. Αξιοποιεί μετρήσεις των παροδικών (βραχύβιων) χρονικών μεταβολών του δυναμικού όταν το παρεχόμενο ρεύμα που αρχικά μεταφέρεται, παύει να διοχετεύεται. Είναι χρήσιμη για τον εντοπισμό ηλεκτρικά αγώγιμων κόκκων μεταλλικών ορυκτών και συγκεντρώσεων αργίλων.

#### 2.1.3. Μέθοδος Ειδικής Ηλεκτρικής Αντίστασης

##### 2.1.3.1. Ορισμός Ειδικής Ηλεκτρικής Αντίστασης $\rho$ & Ηλεκτρικής Αγωγιμότητας $\sigma$

Οι τρόποι διάδοσης του ηλεκτρικού ρεύματος στα πετρώματα και στα ορυκτά είναι οι εξής:

- **Ηλεκτρικά (ωμικά):** Το ηλεκτρικό ρεύμα ρέει σε υλικά που έχουν ελεύθερα ηλεκτρόνια, όπως είναι τα μέταλλα.
- **Ηλεκτρολυτικά:** Τα ιόντα που μετατοπίζονται με χαμηλή ταχύτητα δημιουργούν ηλεκτρικό ρεύμα.
- **Διηλεκτρική Μετάδοση:** Πραγματοποιείται σε υλικά με χαμηλή αγωγιμότητα ή μονωτές, όπου υπάρχουν πολύ λίγα έως κανένα ελεύθερα ηλεκτρόνια. Η επίδραση ενός εξωτερικού μεταβαλλόμενου ηλεκτρικού πεδίου, αναγκάζει τα ηλεκτρόνια να μετατοπίζονται ελαφρώς σε σχέση με τον πυρήνα τους. Το αποτέλεσμα είναι να δημιουργείται ένας σχετικός διαχωρισμός αρνητικών και θετικών φορτίων που είναι γνωστό ως διηλεκτρική πόλωση του υλικού. Ιονική και μοριακή πόλωση εμφανίζονται σε υλικά με ιονικούς ή μοριακούς δεσμούς. Το ρεύμα μεταδίδεται λόγω της αλλαγής της ιονικής ή μοριακής πόλωσης, που επηρεάζεται από το εξωτερικό μεταβαλλόμενο ηλεκτρικό πεδίο.

**Ειδική ηλεκτρική αντίσταση  $\rho$ :** ορίζεται ως η ηλεκτρική ιδιότητα των πετρωμάτων που αξιοποιείται στις μεθόδους ηλεκτρικής διασκόπησης. Σύμφωνα με τον νόμο του Ohm, υπολογίζεται ως εξής:

$$V = I R, \text{ όπου,}$$

V: η διαφορά δυναμικού που εφαρμόζεται στα άκρα κυλινδρικής αντίστασης (Volt),

I: η ένταση του ρεύματος που διαπερνά την αντίσταση (Ampere)

R: η ηλεκτρική της αντίσταση ( $\Omega m$ )

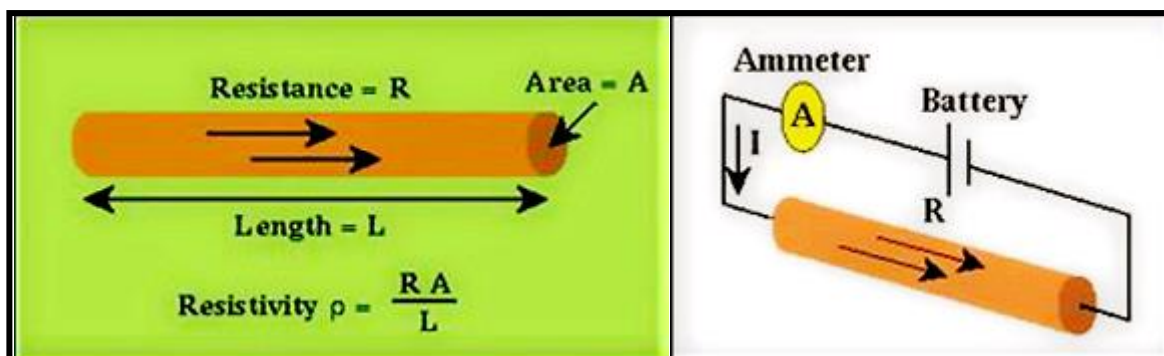
Συνεπώς, η ειδική ηλεκτρική αντίσταση  $\rho$  προκύπτει από την παρακάτω σχέση:

$$\rho = \frac{R A}{L}, \text{ όπου}$$

R: ηλεκτρική αντίσταση ( $\Omega m$ )

A: εμβαδό διατομής κυλίνδρου ( $m^2$ )

L: μήκος του κυλίνδρου (m)



*Εικόνα 1: Σχηματική απεικόνιση της Ειδικής Ηλεκτρικής Αντίστασης*

Όπως προκύπτει και από τον παραπάνω τύπο, η μονάδα μέτρησης της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης  $\rho$  στο S.I. είναι το  $\Omega m$ .

Αντιστοίχως, η ειδική ηλεκτρική αγωγιμότητα του πετρώματος  $\sigma$ , ορίζεται ως:

$$\sigma = \frac{1}{\rho}, \text{ με μονάδες μέτρησης στο S.I. το siemens/m.}$$

### 2.1.3.2. Ηλεκτρική αντίσταση & παράγοντες επηρεασμού

Οι πμές της ηλεκτρικής αντίστασης επηρεάζονται από ορισμένους παράγοντες, οι οποίοι παρατίθενται παρακάτω:

**Είδος ορυκτού ή πετρώματος:** Ανάλογα με το είδος του ορυκτού ή του πετρώματος παρουσιάζονται αλλαγές στις τιμές της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης. Είναι χαρακτηριστικό το γεγονός ότι τα ιζηματογενή πετρώματα έχουν τα χαμηλότερα εύρη τιμών (λόγω της μεγάλης περιεκτικότητας σε ρευστά), ενώ ανθράκω, τα πυριγενή παρουσιάζουν τις υψηλότερες τιμές ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης. Στην ενδιάμεση περιοχή βρίσκονται τα μεταμορφωμένα πετρώματα, τα οποία έχουν έντονες τάσεις επικάλυψης. Παρατίθενται πιο αναλυτικά στον πίνακα.

ΥΛΙΚΟ	ΕΙΔΙΚΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ (Ohm m)
<b>Αέρας</b>	$\infty$
<b>Μαρμαρυγίας</b>	$9 \cdot 10^{12} - 1 \cdot 10^{14}$
<b>Χαλαζίας</b>	$4 \cdot 10^{10} - 2 \cdot 10^{14}$
<b>Ασβεσπίτης</b>	$1 \cdot 10^{12} - 1 \cdot 10^{13}$
<b>Ορυκτό Άλας</b>	$30 - 1 \cdot 10^{13}$
<b>Σιδηροπυρίτης</b>	$3 \cdot 10^{-1}$
<b>Γαληνίτης</b>	$2 \cdot 10^{-3}$
<b>Γάββρος</b>	$1 \cdot 10^3 - 1 \cdot 10^6$
<b>Συμπαγής Γρανίτης</b>	$1 \cdot 10^2 - 1 \cdot 10^6$
<b>Αποσαθρωμένος Γρανίτης</b>	$1 - 1 \cdot 10^2$
<b>Ασβεστόλιθος</b>	$50 - 1 \cdot 10^7$
<b>Βασάλτης</b>	$10 - 1 \cdot 10^7$
<b>Ψαμμίτης</b>	$1 - 1 \cdot 10^8$
<b>Σχιστόλιθος</b>	$20 - 2 \cdot 10^3$
<b>Δολομίτης</b>	$1 \cdot 10^2 - 1 \cdot 10^4$
<b>Άμμος</b>	$1 - 1 \cdot 10^3$
<b>Άργιλος</b>	$1 - 1 \cdot 10^2$
<b>Εδαφικό Νερό</b>	0,5-300
<b>Θαλασσινό Νερό</b>	0,2

*Πίνακας 2: Τιμές ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης για χαρακτηριστικά πετρώματα*

**Δομή και Πορώδες:** Η ειδική αντίσταση είναι αντιστρόφως ανάλογη με το πορώδες, συνεπώς, όσο μικρότερο είναι το πορώδες τόσο μεγαλύτερη είναι η ειδική ηλεκτρική αντίσταση.

**Περιεκτικότητα σε άλατα:** Παρομοίως με το πορώδες, έτσι και η περιεκτικότητα σε άλατα, είναι αντιστρόφως ανάλογη της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης. Δηλαδή, για δεδομένο πορώδες, όσο μικρότερη είναι η περιεκτικότητα του ρευστού πλήρωσης των πόρων σε άλατα, τόσο μεγαλύτερη είναι η ειδική ηλεκτρική αντίσταση του πετρώματος.

**Επιδράσεις γεωλογικών διεργασιών:** Στις περισσότερες των περιπτώσεων, οι γεωλογικές διεργασίες μειώνουν την ειδική ηλεκτρική αντίσταση, ωστόσο υπάρχουν και ορισμένες εξαιρέσεις. Στον παρακάτω πίνακα, παρουσιάζονται οι μεταβολές της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης ύστερα από την επίδραση γεωλογικών διεργασιών.

<b>ΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΔΙΕΡΓΑΣΙΑ</b>	<b>ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΕΙΔΙΚΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ</b>
Αργιλική Εξαλλοίωση	Ελάττωση
Διάλυση	Ελάττωση
Ρηγμάτωση	Ελάττωση
Εισροή θαλασσινού νερού	Ελάττωση
Διάτμηση	Ελάττωση
Αποσάθρωση	Ελάττωση
Σκλήρυνση	Αύξηση
Ιζηματοποίηση	Αύξηση
Απολίθωση	Αύξηση
Μεταμόρφωση	Ελάττωση ή Αύξηση

*Πίνακας 3: Επίδραση γεωλογικών διεργασιών στην ειδική ηλεκτρική αντίσταση*

**Βαθμός κορεσμού:** Αντιστρόφως ανάλογη σχέση με την ειδική ηλεκτρική αντίσταση, όσο δηλαδή ο βαθμός κορεσμού ενός πετρώματος αυξάνεται, τόσο η ειδική ηλεκτρική αντίσταση μειώνεται.

**Επιδράσεις αργιλικών ορυκτών:** Η αυξημένη αγωγιμότητα των αργιλικών ορυκτών οδηγεί στην δημιουργία χαμηλών τιμών επιφανειακής ειδικής αντίστασης.

**Θερμοκρασία:** Επίσης αντιστρόφως ανάλογη σχέση, καθώς όσο μεγαλύτερη είναι η θερμοκρασία τόσο μικρότερη είναι η ειδική ηλεκτρική αντίσταση του πετρώματος. Βέβαια, η επίδραση της θερμοκρασίας είναι πολύ μικρή για να μεταβληθεί κατά πολύ



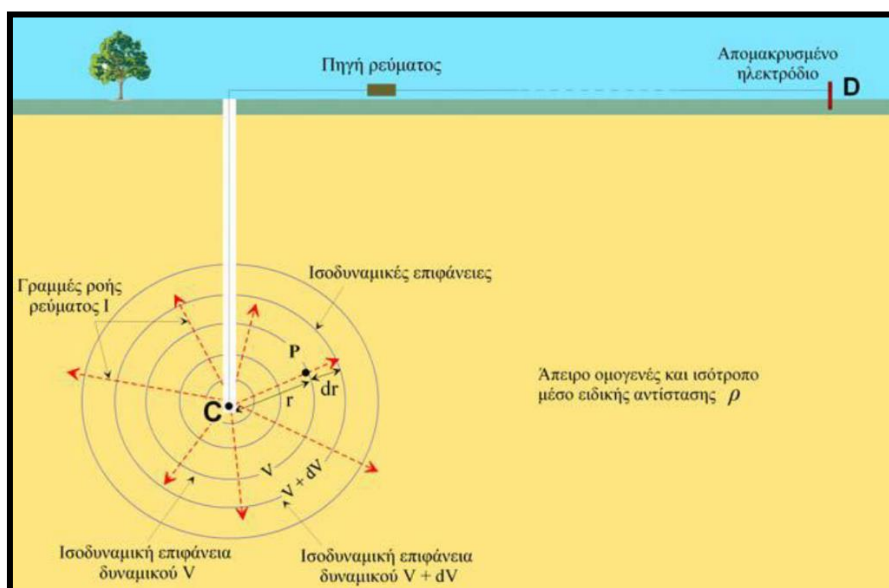
η ειδική ηλεκτρική αντίσταση, και γι' αυτό μπορεί να έχει ουσιαστικό ρόλο μόνο σε γεωθερμικά πεδία και όχι σε γεωτεχνικές ή περιβαλλοντικές μελέτες.

### 2.1.3.3. Μετάδοση ηλεκτρικού ρεύματος σε εδαφικό ομογενή χώρο

Από τις ιδιαιτερότητες και τις διαφοροποιήσεις που χαρακτηρίζουν τις μετρήσεις ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης σε εδαφικό χώρο, προέκυψε η ανάγκη να γίνουν συγκεκριμένες παραδοχές. Η μέχρι στιγμής αποτύπωση του ηλεκτρικού ρεύματος φτάνει έως το σημείο που είναι συγκεκριμένες οι διαστάσεις του μέσου διάδοσης, οι αντιστάσεις και η διαφορά δυναμικού. Ωστόσο, στα τρισδιάστατα σώματα, όπως το έδαφος, η ροή του ηλεκτρικού ρεύματος δεν αρκείται σε μια συγκεκριμένη διαδρομή όπως γίνεται στο καλώδιο, αλλά διαχέεται προς όλες τις κατευθύνσεις. Αντίστοιχες παραδοχές έχουν υπάρξει και για την ειδική αντίσταση, όπου σε ορισμένες περιπτώσεις θεωρείται ότι είναι ενιαία σε όλη τη μάζα της γης.

#### 2.1.3.3.1. Ηλεκτρικό ρεύμα από μοναδική σημειακή πηγή σε άπειρο ομογενή χώρο

Η δημιουργία συνθηκών άπειρου ομογενή χώρου προκύπτει από την τοποθέτηση ενός ηλεκτροδίου (C) μικρών διαστάσεων (μοναδική σημειακή πηγή ρεύματος) σε μεγάλο βάθος σε ομογενές και ισότροπο έδαφος. Στη συνέχεια συνδέεται με την πηγή που τροφοδοτεί με ρεύμα το ηλεκτρόδιο (συσσωρευτής), και ύστερα το κύκλωμα κλείνει με την τοποθέτηση δεύτερου ηλεκτροδίου (D), το οποίο συνήθως τοποθετείται σε μακρινή απόσταση για να έχει αμελητέα επίδραση στη διαμόρφωση του δυναμικού.



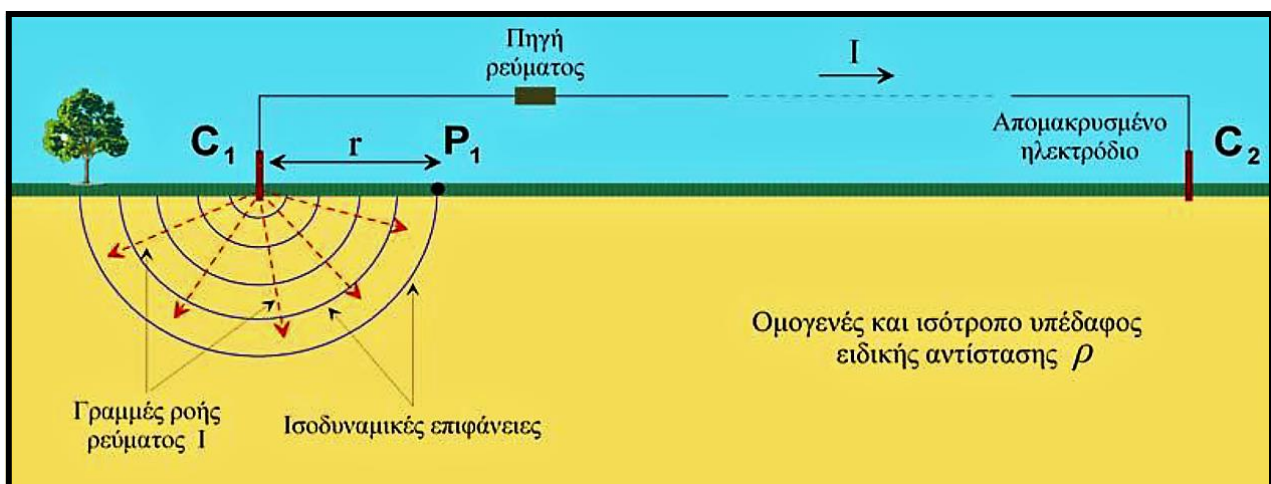
Εικόνα 2: Ηλεκτρικό ρεύμα σε άπειρο ομογενή χώρο

Το ρεύμα ξεκινάει από το ηλεκτρόδιο C και διαχέεται στο έδαφος με ευθείες ακτινικές γραμμές. Καθώς το ρεύμα απομακρύνεται από το ηλεκτρόδιο, η διαφορά δυναμικού (τάση) ελαττώνεται με τον ίδιο σταθερό ρυθμό προς όλες τις κατευθύνσεις, λόγω της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης του ομογενούς χώρου. Δημιουργούνται έτσι ομόκεντροι κύκλοι, όπου στην ουσία πρόκειται για τις ισοδυναμικές γραμμές (equipotentials), οι οποίες στον εδαφικό χώρο σχηματίζουν ομόκεντρες σφαιρικές επιφάνειες με κέντρο το ηλεκτρόδιο.

Τα εδαφικά σημεία από τα οποία διέρχεται η ίδια ισοδυναμική γραμμή έχουν μηδενική διαφορά δυναμικού, ενώ αντίστοιχα δυο διαφορετικά σημεία που ανήκουν σε διαφορετικές ισοδυναμικές γραμμές έχουν διαφορά δυναμικού ίση με τη διαφορά των ισοδυναμικών γραμμών που διέρχεται από αυτά. Επίσης, όσο απομακρυνόμαστε από το ηλεκτρόδιο, τόσο αυξάνεται η διαφορά δυναμικού, επειδή το ρεύμα ρέει σε μεγαλύτερη απόσταση στο έδαφος, οπότε αυξάνεται η ειδική αντίσταση με αποτέλεσμα να αυξηθεί και η τάση.

#### 2.1.3.3.2. Ηλεκτρικό ρεύμα από μοναδική σημειακή πηγή σε ομογενή ημιχώρο

Για τη δημιουργία συνθηκών ομογενούς ημιχώρου απαιτείται η τοποθέτηση ηλεκτροδίου ( $C_1$ ) μικρών διαστάσεων (μοναδική σημειακή πηγή ρεύματος) στην επιφάνεια ομογενούς και ισότροπου εδάφους. Όπως στην προηγούμενη περίπτωση, το ηλεκτρόδιο (συσσωρευτής) συνδέεται με πηγή που το τροφοδοτεί με ρεύμα και ύστερα το κύκλωμα κλείνει με την τοποθέτηση δεύτερου ηλεκτροδίου ( $C_2$ ), το οποίο τοποθετείται σε μακρινή απόσταση για να έχει αμελητέα επίδραση στη διαμόρφωση του δυναμικού.



Εικόνα 3: Ηλεκτρικό ρεύμα σε ομογενή ημιχώρο

Το ρεύμα διαχέεται προς τον ημιχώρο με ευθείες ακτινικές γραμμές, ενώ οι ισοδυναμικές γραμμές θα σχηματίζουν πλέον ημισφαιρικές επιφάνειες.

#### 2.1.3.3.3. Ηλεκτρικό ρεύμα δυο σημειακών πηγών σε ομογενή ημιχώρο

Στις προηγούμενες περιπτώσεις τα δυο ηλεκτρόδια τοποθετούνταν με μεγάλη απόσταση μεταξύ τους, προκειμένου να μην επηρεάζεται το δυναμικό του ενός από το άλλο. Ωστόσο, όταν τα ηλεκτρόδια τοποθετούνται σε κοντινές αποστάσεις μεταξύ τους, τότε η διαφορά δυναμικού σε επιφανειακό εδαφικό σημείο επηρεάζεται από τα δυο ηλεκτρόδια.

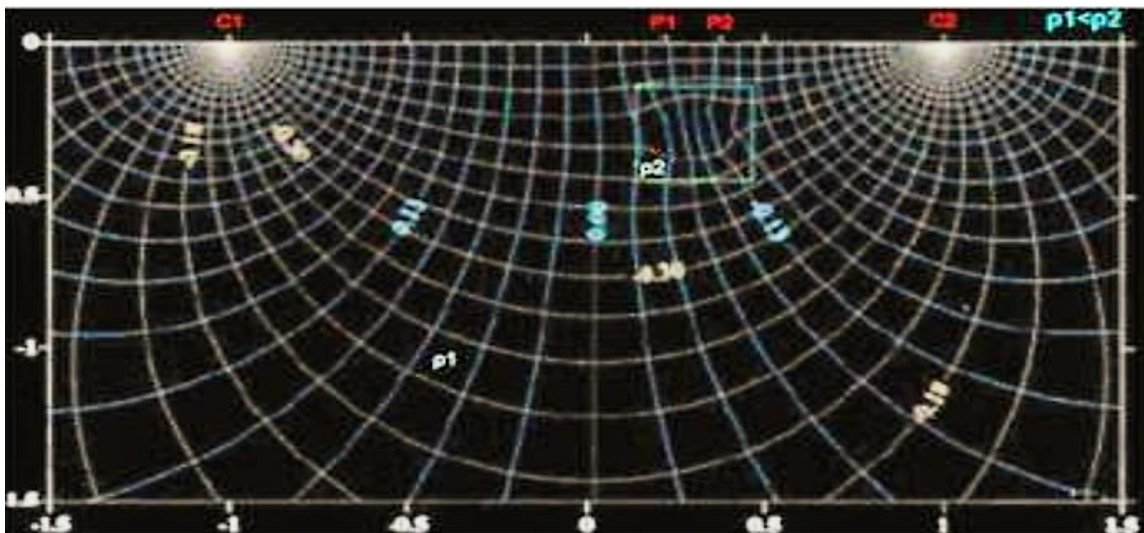
#### 2.1.4. Φαινόμενη ειδική αντίσταση

Σε ομογενές και ισότροπο μέσο η υπολογιζόμενη ειδική αντίσταση είναι σταθερή, ανεξάρτητη από τις θέσεις των τεσσάρων ηλεκτροδίων και ισούται με την ειδική αντίσταση του μέσου.

Σε ανομοιογενές μέσο ωστόσο, η υπολογιζόμενη ειδική αντίσταση είναι εξαρτώμενη από τις σχετικές θέσεις των ηλεκτροδίων και ονομάζεται *φαινόμενη ειδική αντίσταση*.

Οι τιμές της φαινόμενης ειδικής αντίστασης μεταβάλλονται σύμφωνα με τις ειδικές αντιστάσεις των εδαφικών στρωμάτων που διαρρέουν οι ρευματικές γραμμές και ανάλογα με την γεωηλεκτρική τομή και κατανομή των ηλεκτροδίων που πραγματοποιείται στο έδαφος. Έχει αντιπροσωπευτικές τιμές για ορισμένα στρώματα του υπεδάφους και των αγώγιμων ή μη ανομοιογενών. Παρόλα αυτά, δεν είναι αντιπροσωπευτική της πραγματικής ειδικής αντίστασης, ούτε του μέσου όρου των πραγματικών ειδικών αντιστάσεων των εδαφικών στρωμάτων που διαρρέει.

Συνεπώς, η φαινόμενη ειδική αντίσταση δεν είναι σταθερή, αλλά εξαρτάται από τη θέση της διάταξης στον χώρο και από τις σχετικές θέσεις των ηλεκτροδίων. Στην ουσία, αυτό που αποτυπώνεται στα ηλεκτρόδια δυναμικού, είναι η διαφορά δυναμικού της ροής του ρεύματος, η οποία εξαρτάται μόνο από την υπεδαφική κατανομή της πραγματικής ειδικής αντίστασης.



Εικόνα 4: Το ηλεκτρικό πεδίο όταν η ανομοιογένεια βρίσκεται στο πεδίο με μεγαλύτερη ειδική αντίσταση από τον περιβάλλοντα χώρο.

Ας λάβουμε ως υπόθεση την ύπαρξη υπεδαφικής ανομοιογένειας ορισμένων διαστάσεων και με ειδική αντίσταση μεγαλύτερη από τον περιβάλλοντα χώρο, η οποία βρίσκεται κάτωθεν των ηλεκτροδίων δυναμικού. Αυτό που παρατηρείται είναι πως επειδή το ρεύμα τείνει να ακολουθεί την ευκολότερη διαδρομή, έχει ως αποτέλεσμα οι ρευματικές γραμμές που διέρχονται από την λιγότερο αγώγιμη ανομοιογένεια να παραμορφωθούν, αφού “προτιμούν” να μην διέλθουν μέσα από αυτήν. Έτσι, διαρρέει μεγαλύτερο ποσοστό ρεύματος στην περιοχή που βρίσκεται πάνω από την ανομοιογένεια, σε σχέση με αυτό που θα διέρρεε αν ο ημιχώρος ήταν τελείως ομογενής. Στην περιοχή αυτή, όμως, η πραγματική ειδική αντίσταση δεν έχει αλλάξει ενώ αντίστοιχα, στα ηλεκτρόδια δυναμικού, τα οποία είναι σε σταθερές θέσεις, η πτώση της τάσης θα είναι μεγαλύτερη. Συνεπώς, η μετρούμενη ειδική αντίσταση θα είναι μεγαλύτερη από αυτή του ομογενούς χώρου.

Θα συνέβαινε ακριβώς το αντίστροφο στην περίπτωση όπου η ανομοιογένεια είχε μικρότερη ειδική αντίσταση από τον περιβάλλοντα χώρο. Επίσης, η μετρούμενη αντίσταση θα ήταν διαφορετική, αν γινόταν χρήση άλλης διάταξης ηλεκτροδίων.

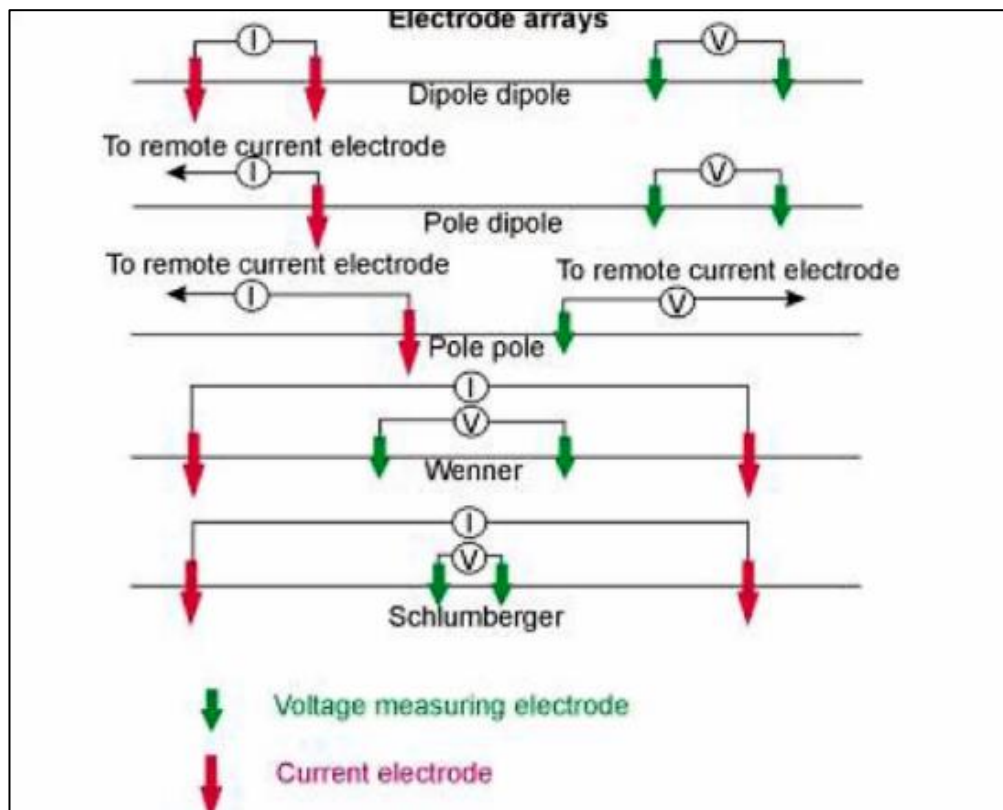
Γενικότερα, όσο πιο κοντά βρίσκεται η ανομοιογένεια στα ηλεκτρόδια δυναμικού, τόσο εντονότερη είναι και η αντίστοιχη επιρροή της στη μετρούμενη αντίσταση. Το ίδιο συμβαίνει και όσο μεγαλύτερο είναι το μέγεθος της και η αντίθεση της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης.

Η τιμή που προκύπτει κάθε φορά όμως, δεν αντιπροσωπεύει ούτε την ειδική αντίσταση του ημιχώρου, ούτε της ανομοιογένειας και γι’ αυτό το λόγο ονομάζεται φαινόμενη ειδική αντίσταση.

### 2.1.4.1. Διατάξεις ηλεκτροδίων

Κατά την γεωφυσική μέτρηση στο πεδίο, ακολουθούνται συγκεκριμένες διατάξεις ηλεκτροδίων ρεύματος και δυναμικού με συγκεκριμένες αποστάσεις μεταξύ τους, που αναλογούν με τις αντίστοιχες φαινόμενες ειδικές αντιστάσεις. Αυτές οι διατάξεις είναι οι παρακάτω:

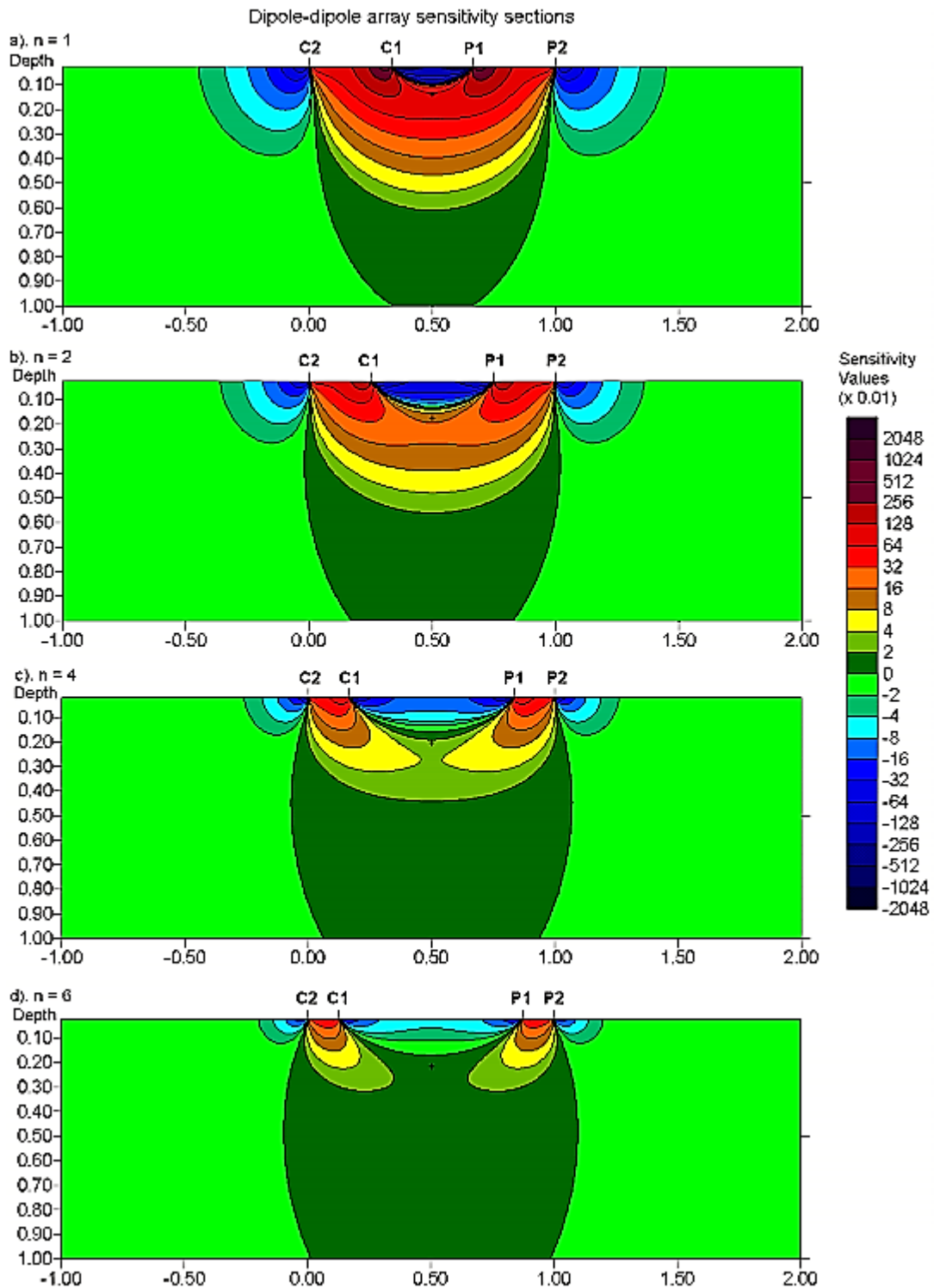
1. Διάταξη Dipole-dipole.
2. Διάταξη Pole-dipole.
3. Διάταξη Pole-pole.
4. Διάταξη Wenner.
5. Διάταξη Schlumberger.



Εικόνα 5: Διατάξεις Ηλεκτροδίων

**1. Διάταξη Dipole-Dipole:** Τα ηλεκτρόδια ρεύματος και δυναμικού απέχουν απόσταση  $a$ , ενώ τα δίπολα (ζεύγη) μεταξύ τους απέχουν απόσταση πολλαπλάσια της απόστασης  $a$  ( $na$ ). Η φαινόμενη ειδική αντίσταση δίνεται από την σχέση:

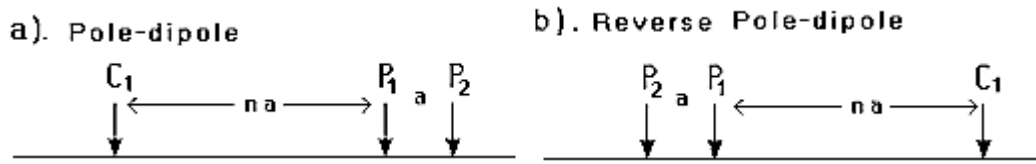
$$\rho_a = \frac{\Delta V}{I} * \pi * n * (n + 1)(n + 2) a$$



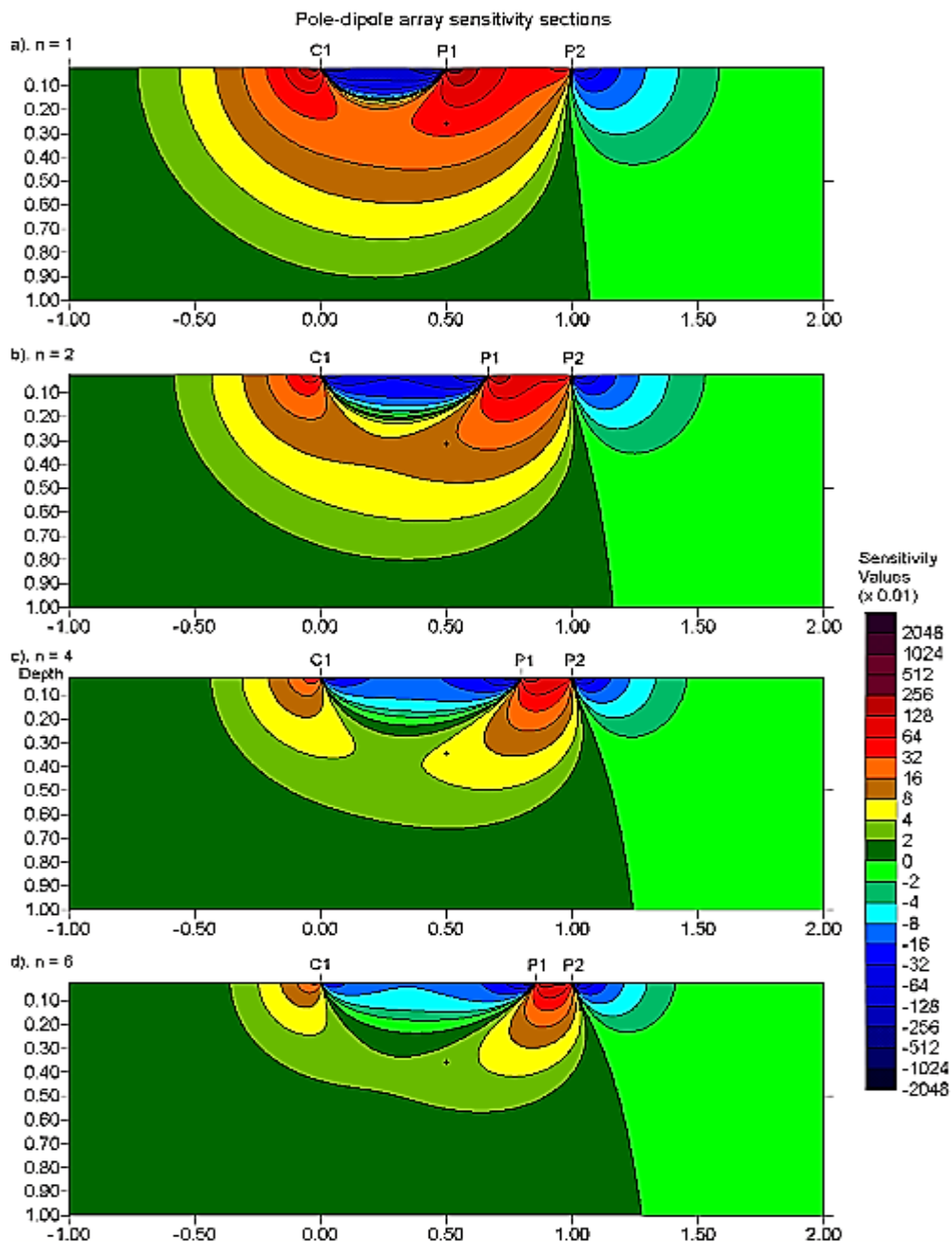
Εικόνα 6: Κατανομή ευαισθησίας της διάταξης Dipole-Dipole για  $n=1,2,4,6$  (Loke, 2002)

**2. Διάταξη Pole-Dipole:** Μια μη συμμετρική διάταξη, κάτι το οποίο σημαίνει πως η κατανομή των πιμών της ευαισθησίας θα είναι επίσης μη συμμετρική. Το γεγονός αυτό ενδέχεται να επηρεάσει αρνητικά την ερμηνεία, ακόμα και μετά την επεξεργασία των φαινομένων ανιστάσεων με την μέθοδο της αντιστροφής. Η

ασύμμετρη ευαισθησία περιορίζεται με την τεχνική της επανάληψης κάθε μέτρησης, με τη διάταξη αναπτυγμένη σε αντίστροφη σειρά.



Εικόνα 7: α) Κανονική Διάταξη pole-dipole και β) Αντίστροφη Διάταξη pole-dipole

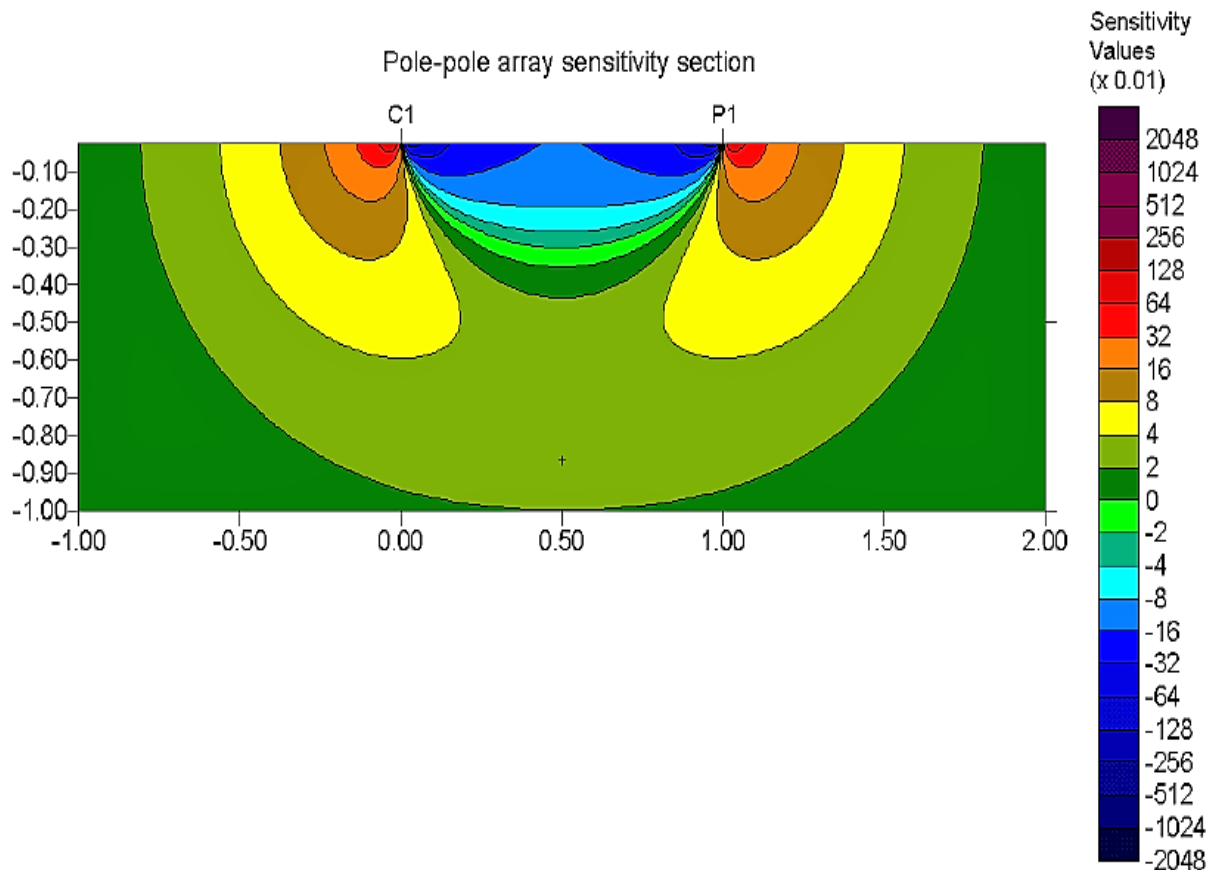


Εικόνα 8: Κατανομή ευαισθησίας της διάταξης pole-dipole για  $n=1,2,4,6$  (Loke, 2002)



**3. Διάταξη Pole-Pole:** Ένα ηλεκτρόδιο ρεύματος κι ένα ηλεκτρόδιο δυναμικού απέχουν απόσταση  $\alpha$ , ενώ τα άλλα δύο ηλεκτρόδια δυναμικού και ρεύματος αντίστοιχα απέχουν πολύ μεγάλη απόσταση από τα πρώτα. Η φαινόμενη ειδική αντίσταση δίνεται από τη σχέση:

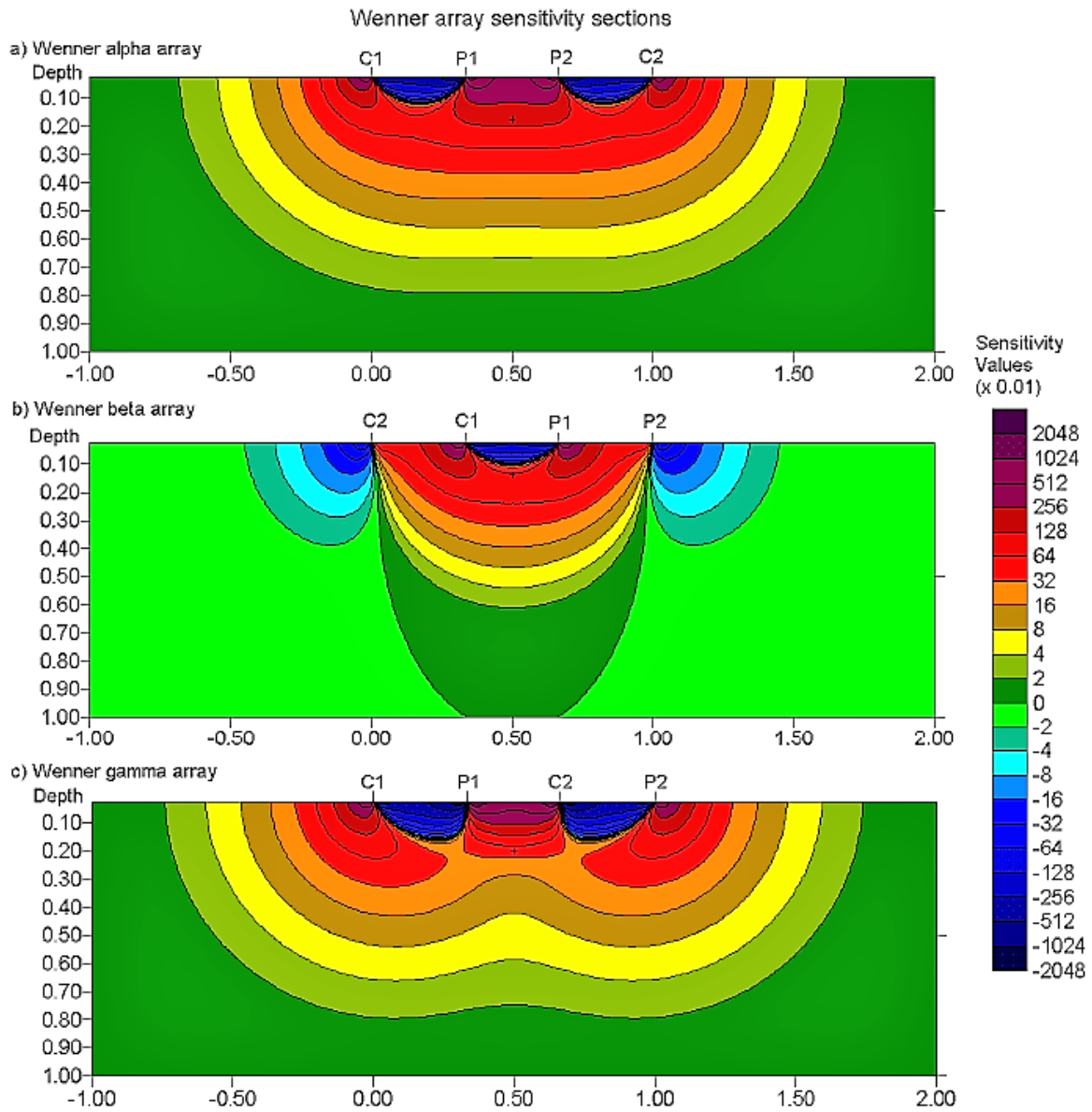
$$\rho_{\alpha} = \frac{\Delta V}{I} * 2\pi * \alpha$$



Εικόνα 9: Κατανομή ευαισθησίας της διάταξης pole-pole

**4. Διάταξη Wenner:** Τα ηλεκτρόδια ρεύματος και δυναμικού απέχουν μεταξύ τους απόσταση  $a$  και η φαινόμενη ειδική αντίσταση δίνεται από την σχέση:

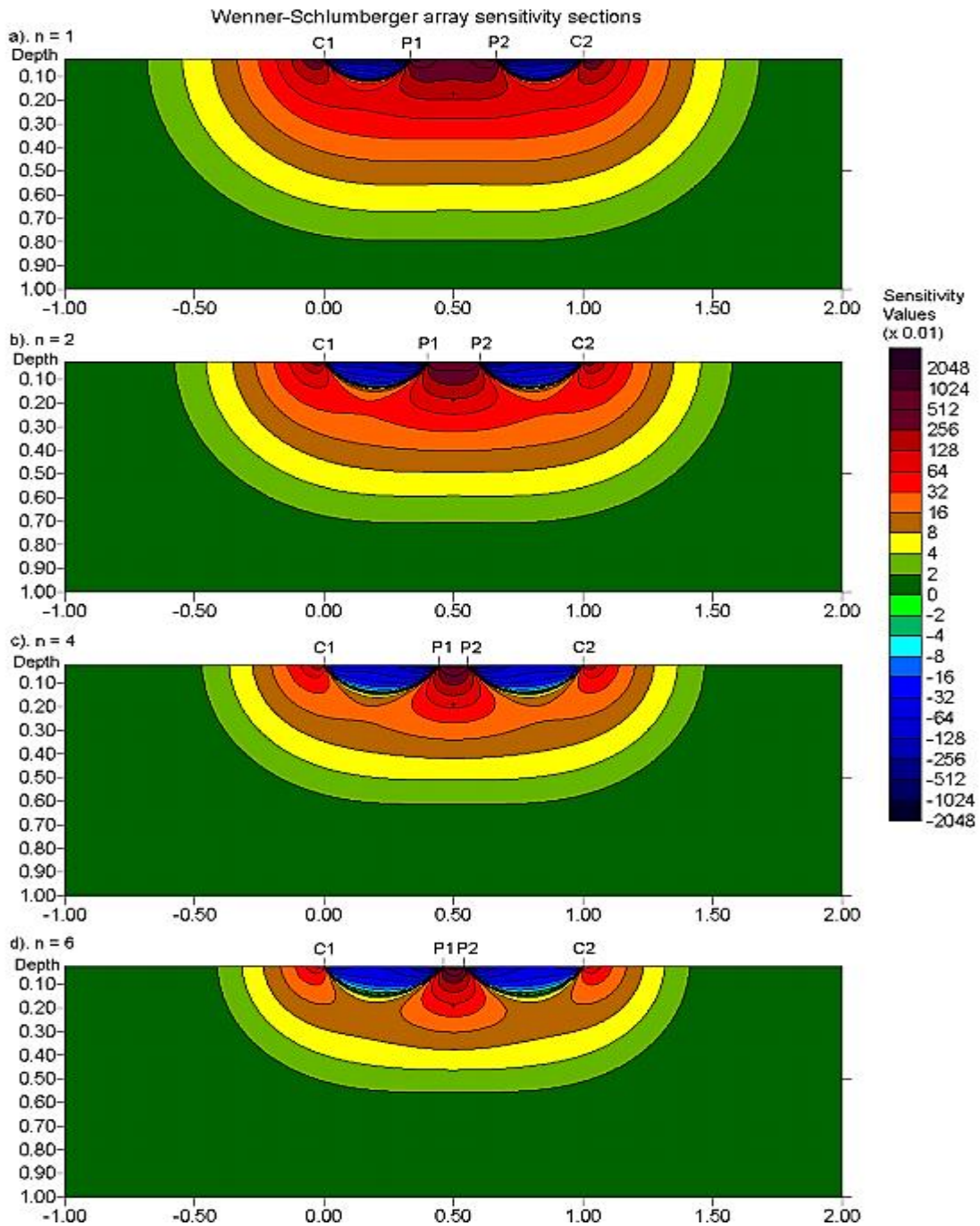
$$\rho_a = \frac{\Delta V}{I} * 2\pi * a$$



Εικόνα 10: Κατανομή ευαισθησίας της διάταξης Wenner (Loke, 2002)

**5. Διάταξη Schlumberger:** Τα ηλεκτρόδια ρεύματος και δυναμικού βρίσκονται συμμετρικά από το κέντρο της διάταξης στις αποστάσεις L και I αντίστοιχα. Η φαινόμενη ειδική αντίσταση δίνεται από την σχέση:

$$\rho_a = \frac{\Delta V}{I} * \frac{\pi * (L^2 - I^2)}{2I}$$

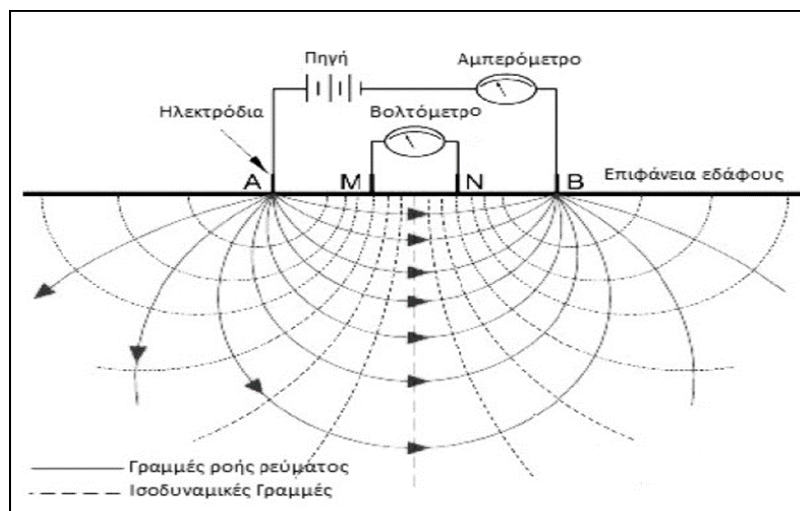


Εικόνα 11: Κατανομή ευαισθησίας της διάταξης Schlumberger για n=1,2,4,6 (Loke, 2002)

#### 2.1.4.2. Εξοπλισμός Υπαίθρου

Για να πάρουμε τις τιμές των  $\Delta V$  και  $I$ , απαιτείται ο παρακάτω εξοπλισμός:

1. **Πηγή ηλεκτρικού ρεύματος και αμπερόμετρο.** Χρησιμοποιούμε συσσωρευτές για ένταση μέχρι 1 Amπερε, ενώ για μεγαλύτερη ένταση γεννήτριες.
2. **Βολτόμετρο υψηλής αντίστασης** εισόδου ( $>10 \text{ M Ohm}$ ) για ακρίβειες από  $\mu\text{V}$  έως  $\text{V}$ . Τα δυο αυτά, συνυπάρχουν συνήθως στο ίδιο όργανο μέτρησης μαζί με ένα σύστημα ανιστάθμισης, το οποίο συνδέεται με το βολτόμετρο και αφαιρεί φυσικά δυναμικά.
3. **Όργανο για την επιλογή της κατάλληλης διάταξης.** Στην ουσία είναι το ενδιάμεσο όργανο, ανάμεσα στο γεωφυσικό όργανο και στα καλώδια ρεύματος και δυναμικού. Είναι υπεύθυνο για την ροή του ρεύματος (σήμα εξόδου) στα αντίστοιχα επιλεγμένα ηλεκτρόδια ρεύματος και για τον καθορισμό των ηλεκτροδίων δυναμικού, απ' όπου λαμβάνεται η κάθε μέτρηση (σήμα εισόδου). Παράλληλα, το όργανο ελέγχει κάθε φορά αν πραγματοποιείται η απαιτούμενη μέθοδος.
4. **Όργανο για τη ρύθμιση της απόστασης των ηλεκτροδίων δυναμικού.** Πρόκειται για έναν διακόπτη, ο οποίος παρεμβάλλεται μεταξύ των ηλεκτροδίων δυναμικού και του οργάνου επιλογής της κατάλληλης διάταξης και ρυθμίζει την απόσταση των ηλεκτροδίων δυναμικού για την εκάστωτε διάταξη που ακολουθείται στην μέτρηση.
5. **Καλώδια σε καρούλια.**
6. **Ηλεκτρόδια.**



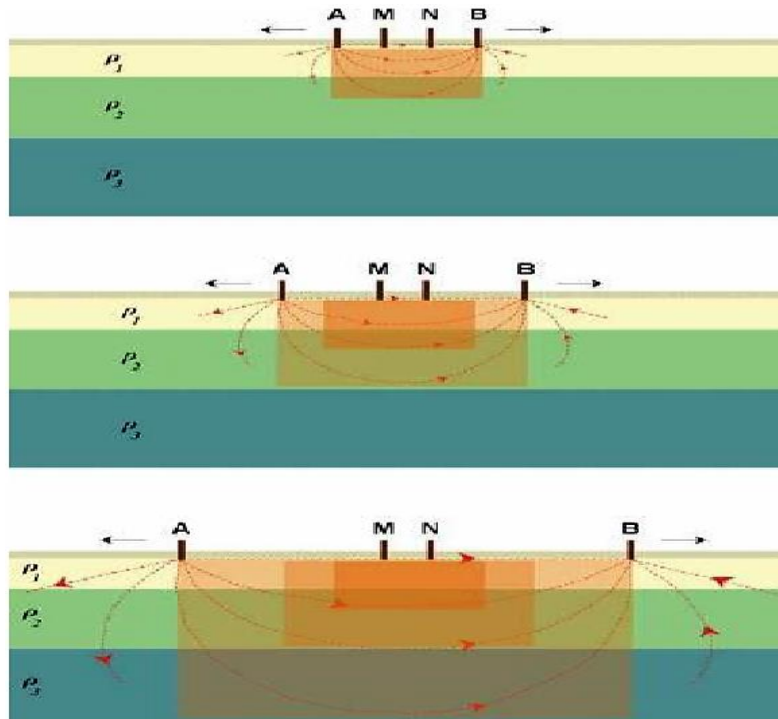
Εικόνα 12: Εξοπλισμός & εγκατάσταση στην ύπαιθρο

## 2.2. Γεωηλεκτρικές Διασκοπήσεις

Με τις γεωηλεκτρικές διασκοπήσεις επιτυγχάνεται η περιγραφή της δομής των υπεδαφικών σχηματισμών, ερμηνεύοντας την ροή και τον τρόπο διάδοσης του ηλεκτρικού ρεύματος στο έδαφος και μελετώντας την ειδική ηλεκτρική αντίσταση των πετρωμάτων. Χωρίζονται σε δυο κατηγορίες, τις ηλεκτρικές βυθοσκοπήσεις και τις οριζόντιες ηλεκτρικές χαρτογραφήσεις, ανάλογα με τον τρόπο που προσεγγίζεται ο προσδιορισμός της γεωλογικής δομής του υπεδάφους.

### 2.2.1. Ηλεκτρικές Βυθοσκοπήσεις

Η απόσταση των ηλεκτροδίων του ρεύματος αυξάνεται ενώ το κέντρο της διάταξης παραμένει σταθερό, με αποτέλεσμα την διασκόπηση του υπεδάφους σε όλο και μεγαλύτερο βάθος κάτω από το κέντρο της διάταξης. Από την μεταβολή των τιμών της φαινόμενης ειδικής αντίστασης, προκύπτει ένα πρώτο συμπέρασμα για την μεταβολή των ειδικών αντιστάσεων των διάφορων στρωμάτων. Αυτός ο τρόπος διασκόπησης έχει ως στόχο την δημιουργία ενός γεωηλεκτρικού μοντέλου για την περιοχή που μελετάται, μέσα από την ποιοτική ερμηνεία των τιμών της φαινόμενης ειδικής αντίστασης που λήφθηκαν στις διάφορες αποστάσεις των ηλεκτροδίων.



Εικόνα 13: Γεωηλεκτρικές διασκοπήσεις με διαφορετικές αποστάσεις ηλεκτροδίων

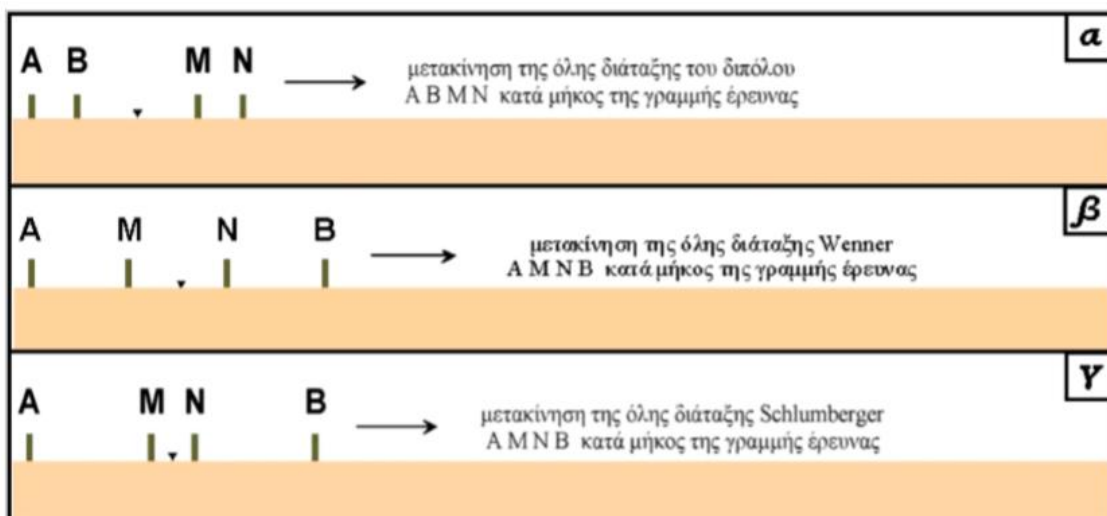
Με τις ηλεκτρικές βυθοσκοπήσεις δίνεται η ικανότητα να βρούμε τις εναλλαγές των στρωμάτων στο υπέδαφος στη νοητή κατακόρυφη ευθεία, κάτω από το κέντρο της διάταξης, μέσω της σταδιακής αύξησης της απόστασης των ηλεκτροδίων ρεύματος.

Η διάταξη που χρησιμοποιούμε στις περιπτώσεις που επιθυμούμε την εις βάθος διασκόπηση, είναι η διάταξη ηλεκτροδίων Schlumberger. Κρατώντας σταθερά τα ηλεκτρόδια δυναμικού, αυξάνουμε συμμετρικά την απόσταση των ηλεκτροδίων ρεύματος, μέχρι οι τιμές της διαφοράς δυναμικού να γίνουν πολύ μικρές, όπου τότε αυξάνουμε συμμετρικά την απόσταση των ηλεκτροδίων δυναμικού και ρεύματος.

### 2.2.2. Οριζόντιες ηλεκτρικές χαρτογραφήσεις

Σε διάφορα τεχνικά έργα και σε περιπτώσεις αναζήτησης μεταλλευμάτων ή αρχαιοτήτων, απαιτείται ο εντοπισμός ασυνεχειών κατά την οριζόντια ανάπτυξη των εδαφικών σχηματισμών. Στις περιπτώσεις αυτές αξιοποιείται η γεωηλεκτρική χαρτογράφηση, όπου περιγράφεται η γεωλογική δομή βασιζόμενη στις μεταβολές της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης κατά την οριζόντια διεύθυνση.

Αυτό είναι εφικτό με την μετατόπιση της διάταξης των ηλεκτροδίων σε διαφορετική θέση πάνω στην νοητή ευθεία της γεωλογικής τομής που μελετάται. Οι τιμές που λαμβάνονται από τις μετρήσεις τοποθετούνται σε χάρτη φαινόμενων ειδικών αντιστάσεων και στη συνέχεια επεξεργάζονται χρησιμοποιώντας υπολογιστικά προγράμματα για τον προσεγγιστικό υπολογισμό της πραγματικής ειδικής αντίστασης.



Εικόνα 14: Μετατόπιση Διατάξεων

### 2.3. Δισδιάστατες ηλεκτρικές τομογραφίες

Στις περιπτώσεις όπου για συγκεκριμένες θέσεις θέλουμε διασκοπήσεις μεγάλης ακρίβειας σε βάθος αλλά και πλευρικά, τότε χρησιμοποιείται η μέθοδος της δισδιάστατης ηλεκτρικής τομογραφίας. Επίσης, προτιμάτε όταν πολλές ηλεκτρικές βυθοσκοπήσεις είναι σε πολύ κονινή απόσταση μεταξύ τους. Οι αποστάσεις και οι θέσεις των ηλεκτροδίων και ο τρόπος μέτρησης, καθορίζονται από την επιλογή των διατάξεων που επιθυμούμε. Όλες οι τιμές που λαμβάνονται, χρησιμοποιούνται σε υπολογιστικά προγράμματα και έπειτα περνάνε από διαδικασία ερμηνείας, ενώ όλο αυτό έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία δισδιάστατης γεωηλεκτρικής τομής μεγάλης ακρίβειας, γεωηλεκτρικής τομογραφίας δηλαδή.

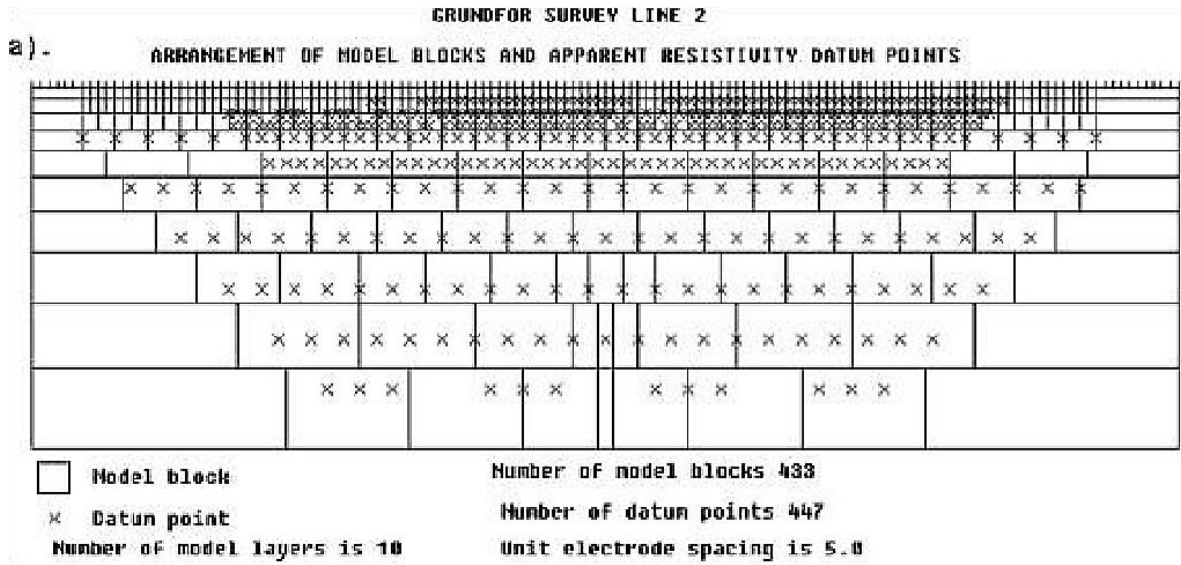
Χαρακτηρίζεται από την μεγάλη ώθηση που δίνει στην γεωλογική χαρτογράφηση μιας περιοχής, αφού αίρει την θεωρία για την οριζόντια στρωματωμένη γη και παράλληλα οδηγείται με ασφάλεια στην ποσοτική ερμηνεία των γεωηλεκτρικών μετρήσεων. Στις γεωηλεκτρικές τομογραφίες απεικονίζονται τομές βάθους, στις οποίες είναι αποτυπωμένες οι κατανομές της ειδικής αντίστασης των υπεδάφικων σχηματισμών τόσο κατακόρυφα όσο και πλευρικά. Τα τελευταία χρόνια καταγράφει μεγάλη πρόοδο στο κομμάτι της αυτοματοποιημένης λήψης γεωφυσικών δεδομένων και της ανιστροφής τους, και αυτό αποτυπώνεται στην δραστική αύξηση της εφαρμοσιμότητας της ηλεκτρικής τομογραφίας. Αξιοποιείται πλέον ευρέως σε περιβαλλοντικές και γεωτεχνικές εφαρμογές, στην αρχαιομετρία και σε πολλές χώρες στην υδρογεωλογία.

Για την δισδιάστατη ηλεκτρική τομογραφία απαιτείται η καταγραφή δεδομένων από πολλές και διαφορετικές αποστάσεις ηλεκτροδίων, κατά μήκος μιας γραμμής. Επίσης είναι σημαντικό να υπάρχει πυκνή πλευρική κάλυψη, από άποψη λήψης πληθώρας δεδομένων, ούτως ώστε να είναι εφικτή η ανίχνευση πολύπλοκων δομών στο υπέδαφος, κάτι το οποίο επιβάλλει τη χρησιμοποίηση τυποποιημένων πολύ-ηλεκτροδιακών συστημάτων λήψης δεδομένων.

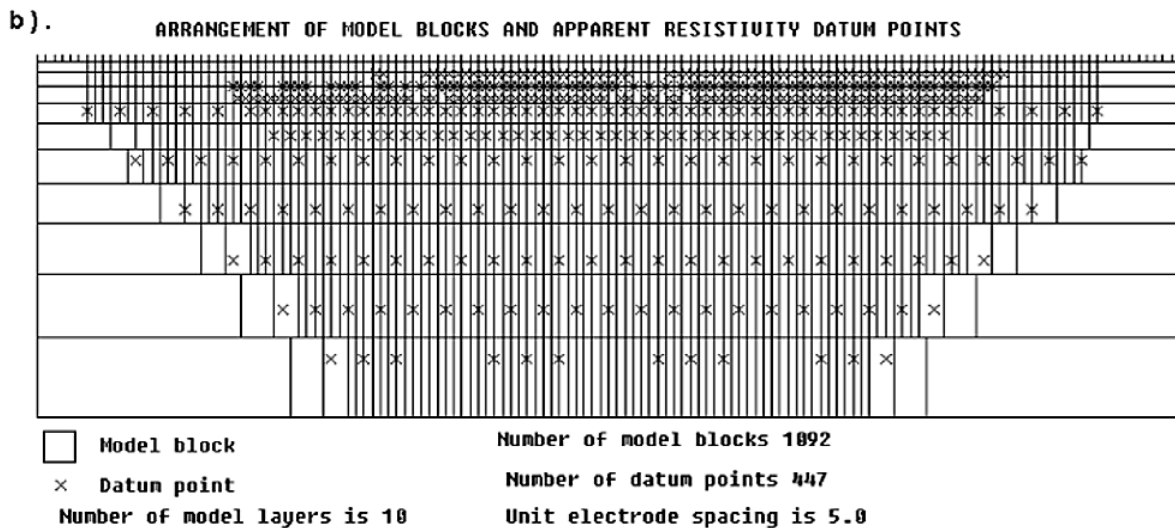
Η μεγάλη ποσότητα δεδομένων που παράγεται από αυτά τα συστήματα απαιτεί αυτοματοποιημένο χειρισμό και επεξεργασία δεδομένων. Οι αυτόματες τεχνικές ανιστροφής δημιουργίας μοντέλων έχουν αναπτυχθεί για να καλύψουν αυτήν την

ανάγκη και βασίζονται στη μέθοδο των πεπερασμένων στοιχείων για τους ευθείς υπολογισμούς τους.

Η μέθοδος αυτή χωρίζει το έδαφος σε κελιά σταθερών διαστάσεων, το μέγεθος των οποίων συνήθως αυξάνεται με το βάθος.



*Εικόνα 15: Διαίρεση της επιφάνειας του δισδιάστατου μοντέλου του υπεδάφους σε ορθογώνια πρίσματα με τη βοήθεια προεπιλεγμένου αλγόριθμου.*



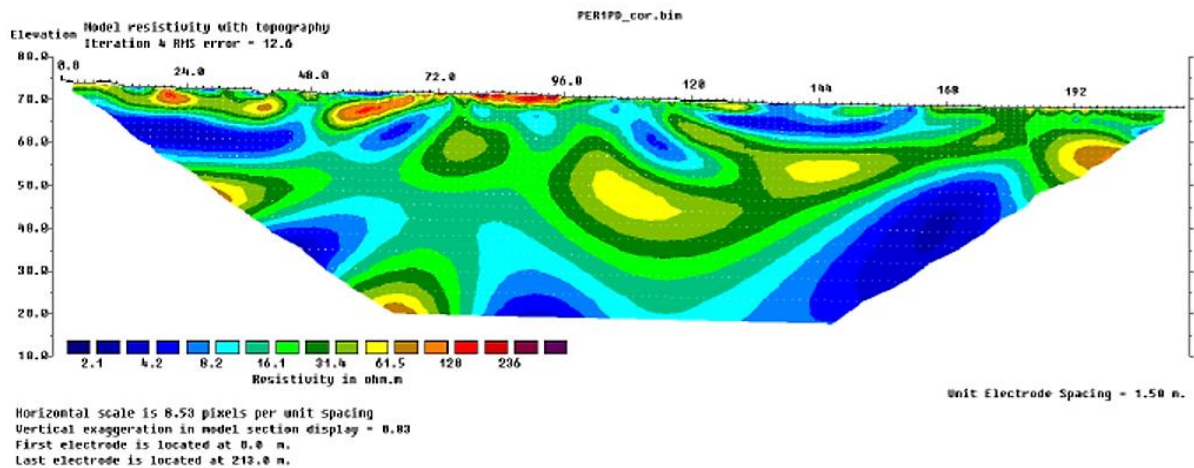
*Εικόνα 16: Διαίρεση της επιφάνειας του δισδιάστατου μοντέλου του υπεδάφους σε ορθογώνια πρίσματα, με περισσότερα κελιά από τα δεδομένα.*





μέθοδος Quasi – Newton, Loke και Barker, 1996). Παρόλα αυτά, οι μέθοδοι αυτές είναι κατάλληλες κυρίως για μικρές ανιθέσεις ειδικής αντίστασης.

Η τοπογραφία μπορεί να αντιμετωπιστεί είτε με την απευθείας εισαγωγή της στο πλέγμα, είτε με διορθώσεις, όπως η μετατροπή των δεδομένων πριν και μετά την αντιστροφή.



Εικόνα 19: Μοντέλο απεικόνισης ειδικών ηλεκτρικών αντιστάσεων

### 2.3.1. Θετικά & Αρνητικά Ηλεκτρικής Μεθόδου

Η τομογραφία ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης (ERT) είναι μια γεωφυσική μέθοδος ευρέως εφαρμοζόμενη για τη λήψη υψηλής ανάλυσης δισδιάστατων ή τρισδιάστατων μοντέλων της αντίστασης των υπεδαφικών στρωμάτων.

Η μέθοδος της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης έχει αποδειχθεί ότι είναι μια χρήσιμη μέθοδος σε μια ευρεία κατηγορία γεωλογικών, γεωτεχνικών, υδρολογικών και περιβαλλοντικών μελετών.

## **3° ΚΕΦΑΛΑΙΟ**

**3. Διεθνείς Εφαρμογές της Μεθόδου Ειδικής Αντίστασης (E.R.T.) για στρωματογραφική και τεκτονική απεικόνιση.**

### 3.1. Περιοχή Paganica - San Gregorio στην περιφέρεια L'Aquila: καταγραφή μετασεισμικών επιπτώσεων.

(P. Boncio, A. Pizzi, G. Cavuto, M. Mancini, T. Piacentini, E. Miccadei, G.P. Cavinato, S. Piscitelli, A. Giocoli, G. Ferretti, R. De Ferrari, M.R. Gallipoli, M. Mucciarelli, V. Di Fiore, A. Franceschini, F. Pergalani, G. Naso And Working Group Macroarea: B. Giaccio, M. Moscatelli, M. Spadoni, G. Romano, D. Spallarossa, M. Pasta, M. Pavan, D. Scafidi, S. Barani, C. Eva, M. Compagnoni, T. Campea, G.R. Di Bernardino, T. Mancini, A. Marino, R. Montefalcone, F. Mosca)

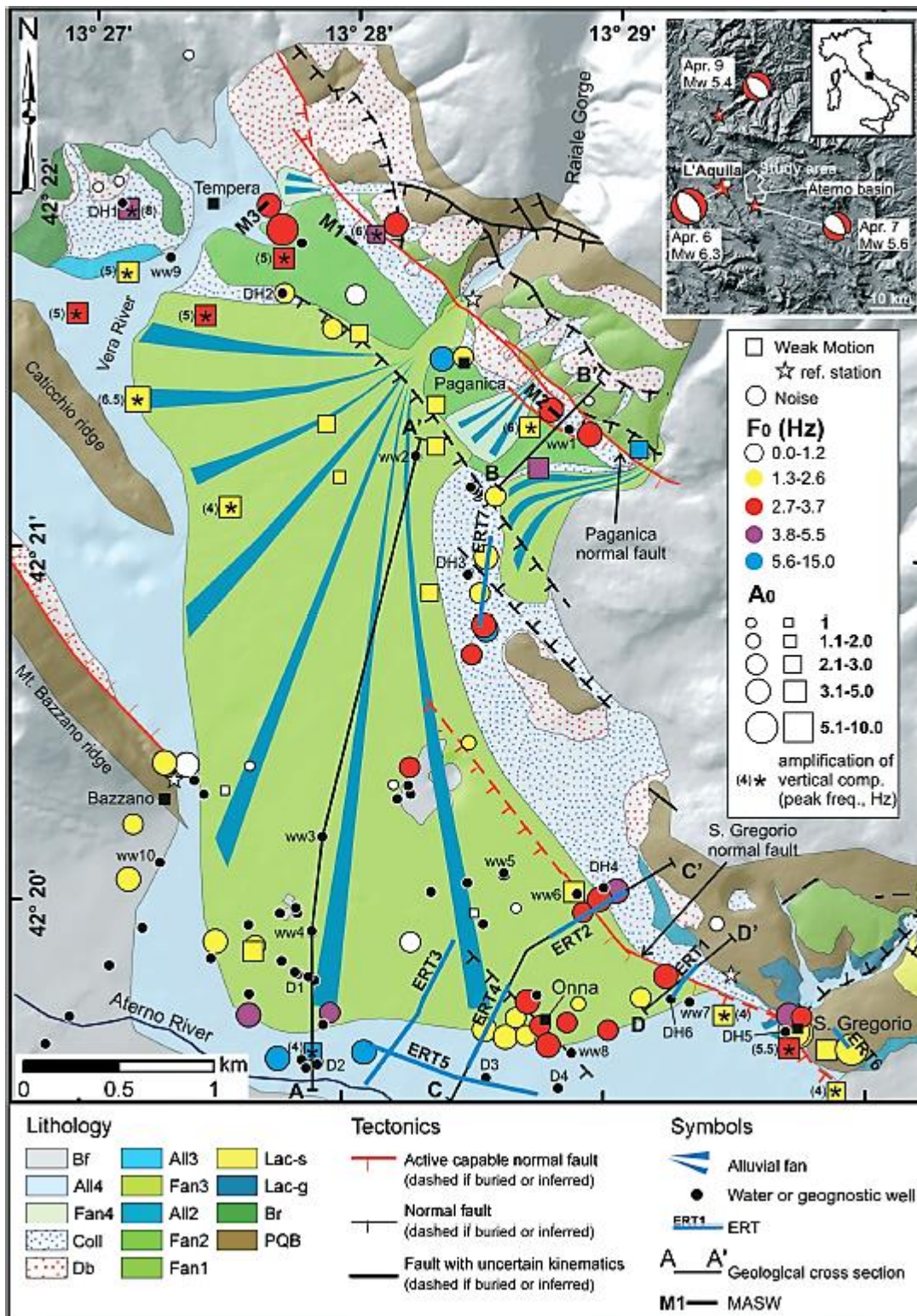
#### 3.1.1. Γενικά

Πραγματοποιήθηκε γεωφυσική έρευνα στις περιοχές San Gregorio και Paganica της περιφέρειας L'Aquila στην κεντρική Ιταλία, η οποία είχε υποστεί μεγάλες καταστροφές από τον σεισμό της 6<sup>ης</sup> Απριλίου 2009, που είχε μέγεθος 6,3 ρίχτερ. Σκοπός της έρευνας είναι ο εντοπισμός των συνεπειών του σεισμού στην περιοχή, με στόχο να συμβάλλει στην ανοικοδόμηση της περιοχής.

Η προαναφερθείσα περιοχή χαρακτηρίζεται από ένα παχύ στρώμα από λιμναίες και προσχωσιγενείς αποθέσεις (πάχους 190 μέτρων ή περισσότερα), συνεκτικά παρευρισκόμενες μέσα σε μια τεκτονική λεκάνη και επικαλύπτοντας ένα ανθρακικό υπόστρωμα.

Η περιοχή χωρίστηκε σε 12 επιμέρους τμήματα έρευνας ενώ στην παρούσα αναφορά παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που αφορούν τις περιοχές 3 και 5. Είναι οι περιοχές των Paganica, Tempere, Bazzano (βιομηχανική περιοχή), Onna και San Gregorio, της περιφέρειας L'Aquila και βρίσκονται 6 έως 10 χλμ. ανατολικά από το επίκεντρο του σεισμού της 6<sup>ης</sup> Απριλίου.

Για την γεωλογία της περιοχής, αξιοποιήθηκαν αποτελέσματα λεπτομερών γεωλογικών ερευνών, πρόσφατων αποκτηθέντων δεδομένων, ενώ πραγματοποιήθηκαν και 6 νέες δειγματοληπτικές γεωτρήσεις για τον στρωματογραφικό και μηχανικό χαρακτηρισμό των γεωλογικών στρωμάτων.



Εικόνα 20: Απεικόνιση της περιοχής ερευνών

### 3.1.2. Γεωφυσικές Μέθοδοι-Απόκτηση Δεδομένων

Έγιναν 7 τομογραφίες ηλεκτρικής ειδικής αντίστασης (ERT), 3 πολύ-καναλικές αναλύσεις επιφανειακών κυμάτων (MASW), 13 πειράματα σεισμικής διάθλασης με τη χρήση μικροδονήσεων (microtremors) και 6 δειγματοληπτικές γεωτρήσεις (DH)

στην εικόνα 20). Οι δειγματοληπτικές γεωτρήσεις σχεδιάστηκαν με στόχο τη βαθμονόμηση των γεωφυσικών αποτελεσμάτων.

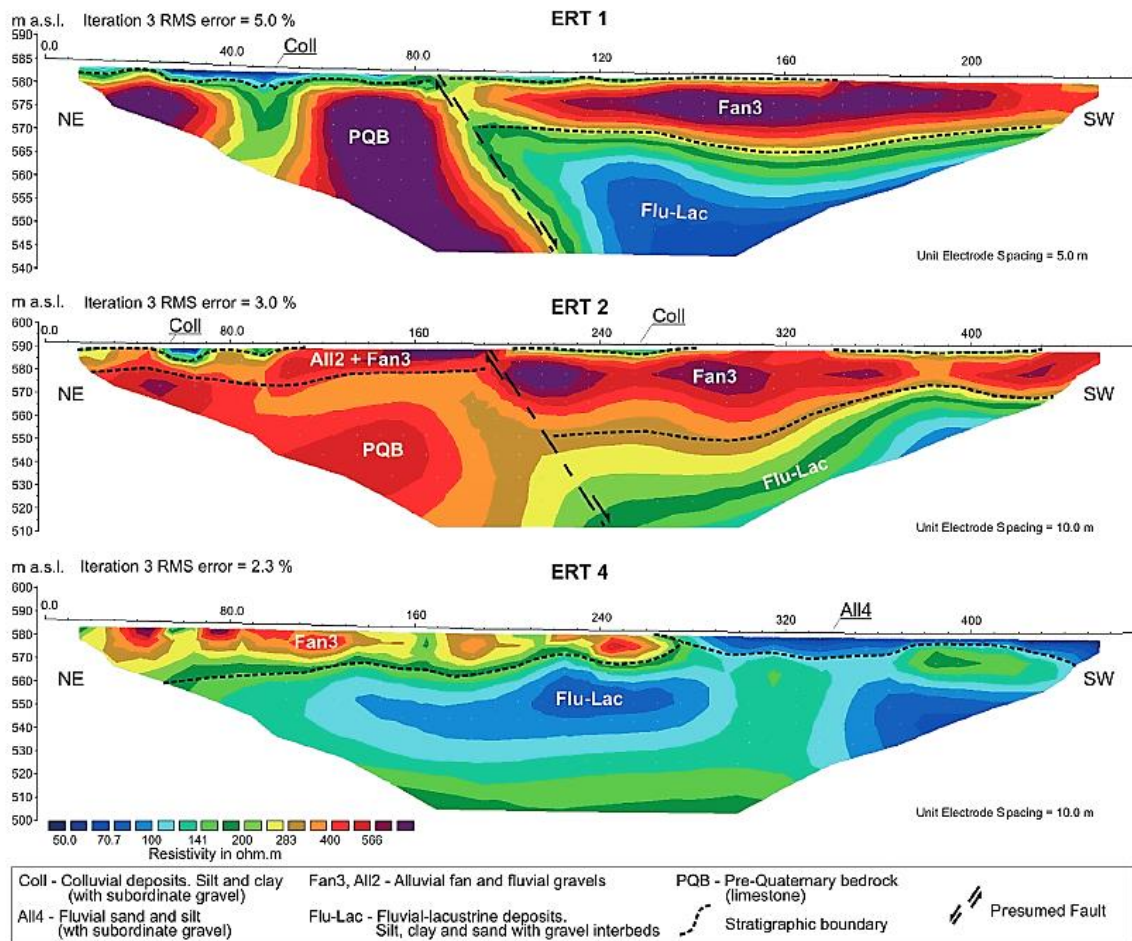
### 3.1.3. Αποτελέσματα Δεδομένων

Παρακάτω, περιγράφονται τρία προφίλ ERT που ελήφθησαν μεταξύ των χωριών San Gregorio και Oña, τα οποία θεωρούνται τα πιο αντιπροσωπευτικά προφίλ για την προσομοίωση του γεωλογικού υποβάθρου και την δημιουργία του γεωλογικού μοντέλου της περιοχής (ERT1, ERT2 και ERT4, εικόνα 20). Το προφίλ της τομογραφίας ERT1 βαθμονομήθηκε με τη γεώτρηση DH6, τα προφίλ των τομογραφιών ERT2 και ERT4 βαθμονομήθηκαν με τη γεώτρηση DH4 και από έναν αριθμό προ-υπαρχόντων γεωτρήσεων (στρωματογραφικών και δειγματοληπτικών γεωτρήσεων) που βρίσκονται σε απόσταση λίγων εκατοντάδων μέτρων από τις τομογραφίες ERT. Οι ERT2 και ERT4 χρησιμοποιήθηκαν για την κατασκευή του γεωλογικού τμήματος C-C' ενώ η ERT1 χρησιμοποιήθηκε για το γεωλογικό τμήμα D-D' (εικόνες 22 και 23).

Τα δεδομένα για την φαινόμενη ειδική αντίσταση συλλέχθηκαν με δύο διαφορετικές διατάξεις (Wenner-Schlumberger και Dipole-Dipole) χρησιμοποιώντας όργανο Syscal Pro (Iris instruments) με ένα σύστημα πολλαπλών ηλεκτροδίων (48 ηλεκτρόδια). Χρησιμοποιήθηκε απόσταση ηλεκτροδίων 5 έως 10 μέτρα, φτάνοντας σε βάθος έρευνας περίπου 40 και 80 μέτρα αντίστοιχα.

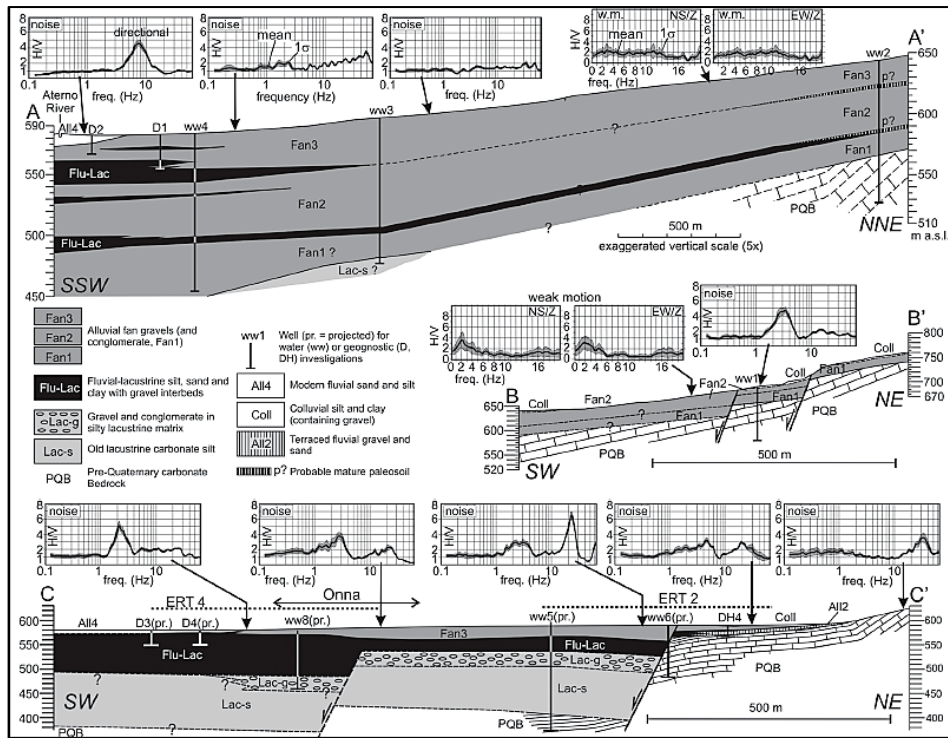
Η εικόνα 21 δείχνει τα προφίλ του αντίστροφου μοντέλου που έχουν σχέση με τις τομογραφίες ERT που αναφέρθηκαν. Συνολικά, οι απεικονίσεις της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης παρουσιάζουν σχετικά χαμηλά επίπεδα αντίστασης, από 50 έως 566  $\Omega \cdot m$ , και ένα μοτίβο που χαρακτηρίζεται από σχετικά ισχυρές πλευρικές και κάθετες κλίσεις (ιδιαίτερα στο ERT1). Με βάση τα γεωλογικά και δειγματοληπτικά δεδομένα, οι χαμηλές τιμές ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης (από 50 έως 140-170  $\Omega \cdot m$ ) μπορούν να δικαιολογηθούν λόγω της παρουσίας ιζηματογενών αποθέσεων (μονάδα Flu-Lac) και πιθανώς κολλοειδών-προσχωσιγενών αποθέσεων (Coll, All4 μονάδες) ενώ οι σχετικά υψηλές τιμές ηλεκτρικής ειδικής αντίστασης ( $> 170 \Omega \cdot m$ ) σχετίζονται με αποθέσεις χαλικιών (μονάδες Fan3, All2) και μάλλον με το προ-τεταρτογενές υπόβαθρο ανθρακικού άλατος (PBQ). Τέλος, η εμφάνιση ισχυρών πλευρικών ασυνεχειών στην ειδική αντίσταση στην κατανομή των ERT1 και ERT2

θα μπορούσε να οφείλεται στην παρουσία του ρήγματος San Gregorio, το οποίο έχει βορειοδυτική κατεύθυνση.



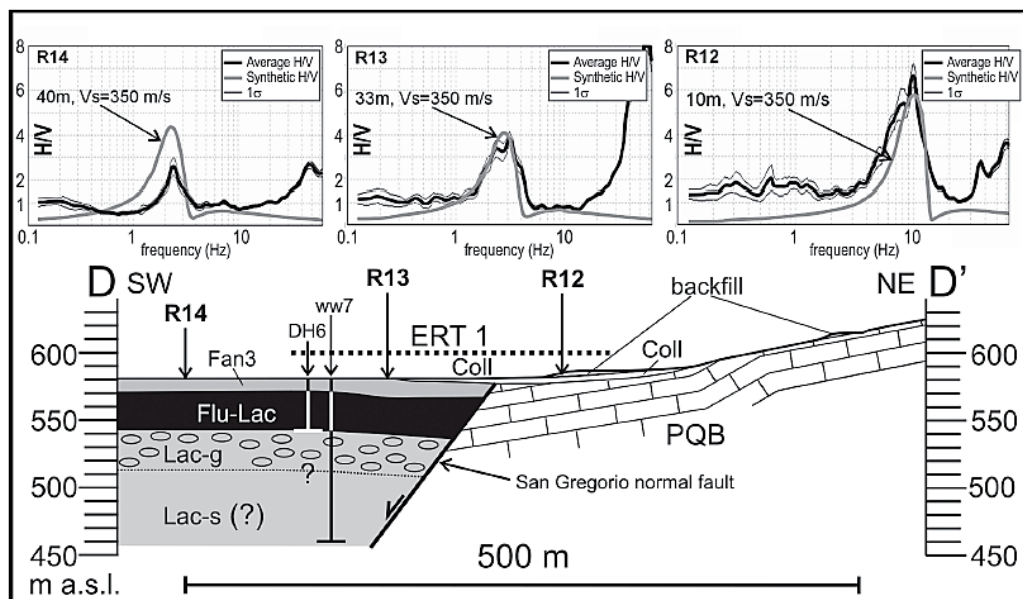
Εικόνα 21: Προφίλ τομογραφιών ειδικής αντίστασης

Τα υπεδαφικά γεωλογικά και γεωφυσικά δεδομένα έδωσαν την δυνατότητα να υπολογισθεί η γεωμετρία των ιζηματογενών στρωμάτων, που βρίσκονται στην λεκάνη και τις σχέσεις τους με το προ-τεταρτογενές υπόβαθρο. Η στρωματογραφία της περιοχής απαρτίζεται από τρία γεωλογικά τμήματα (Εικόνα 22).



Εικόνα 22: Γεωλογικά προφίλ των τομογραφιών A-A, B-B & C-C

Τα προφίλ A-A και B-B, διασχίζουν την κοιλάδα Aterno στην πόλη Paganica. Το προφίλ C-C, διασχίζει την επίπεδη προσχωσιγενή πεδιάδα κοντά στην Οππα, την κοιλάδα της Paganica προς το τέλος της και τα δυτικά σύνορα της ανθρακοφόρου κορυφογραμμής του San Gregorio. Το τμήμα D-D' (εικόνα 23) δείχνει λεπτομέρειες για το ρήγμα του San Gregorio.



Εικόνα 23: Γεωλογικό προφίλ D-D'



Οι τεταρτογενείς ηπειρωτικές αποθέσεις, προοδευτικά πυκνώνουν από βόρειο-βορειοδυτικά σε νότιο-νοτιοανατολικά, κυρίως λόγω των τεκτονικών συνθηκών. Στο τέλος του ρήγματος στην περιοχή Paganica (τμήμα Β-Β'), το ανώτερο στρώμα διαθέτει ένα εκπιμώμενο πάχος περίπου 20 μέτρα κοντά στο ρήγμα και μειώνεται σταδιακά προς την βορειοανατολική κατεύθυνση.

Στο μέτωπο του ρήγματος, η γεώτρηση (ww1 στις Εικόνες 20 και 22) έφθασε μέχρι το ανθρακικό υπόστρωμα σε βάθος 33 μέτρων, κάτω από ένα στρώμα από χαλίκια (μονάδες Fan1 και Fan2). Στα νοτιοδυτικά, υπάρχουν ρήγματα τα οποία μειώνουν το πάχος του στρώματος του υποβάθρου προς αυτή την κατεύθυνση, οδηγώντας σε παράλληλη αύξηση του πάχους των ανώτερων στρωμάτων. Κοντά στη νοτιοδυτική πλευρά της πόλης Paganica, στην κορυφή του ασβεστολιθικού βράχου διενεργήθηκε γεώτρηση σε βάθος 78 μέτρων (ww2 στις Εικόνες 20 και 22) φτάνοντας μέχρι το τεταρτογενές υπόβαθρο. Κατά μήκος του κεντρικού-νοτίου τμήματος του προφίλ Α-Α, οι γεωτρήσεις βοηθούν στην αποτύπωση της βύθισης της κορυφής του κατώτερου στρώματος, η οποία υπερβαίνει τα 120-130 μέτρα. Τα δείγματα των γεωτρήσεων παρουσιάζουν επίσης μια αύξηση των λεπτόκοκκων ιζημάτων (ως επί το πλείστον αμμώδη και αργιλώδη λάσπη), προς τα νότιο-νοτιοδυτικά, σχηματίζοντας ενδιάμεσα στρώματα εντός του στρώματος χαλικίων με πάχος μεγαλύτερο των 10 μέτρων. Αυτή η συνολική αύξηση των λεπτόκοκκων ιζημάτων προς τον ποταμό Aterno οδηγεί στο συμπέρασμα πως πρόκειται για μετάβαση από χονδρόκοκκα ιζήματα, προερχόμενα από περιοχές απομακρυσμένες από το γειτονικό ποτάμι.

Η στρωματογραφία της περιοχής μεταξύ Onna και San Gregorio έχει διατηρήσει λόγω της νοτιοδυτικής κλίσης του ρήγματος του San Gregorio (τμήμα C-C'). Το ρήγμα οριοθετεί το ανθρακικό άλας του San Gregorio στην κορυφή στα βορειοδυτικά. Στο τέλος του ρήγματος, το ανθρακικό υπόστρωμα θάβεται από ένα λεπτό κάλυμμα προσχωσιγενών, κολουβιακών και πλαγίων αποθέσεων. Στο προφίλ C-C', και συγκεκριμένα στη γεώτρηση DH4 το βάθος του ανθρακικού υποστρώματος εντοπίζεται περίπου στα 20 μέτρα (εικόνα 22) και ανέρχεται σταδιακά προς την επιφάνεια, στην βορειοδυτική πλευρά. Κατά μήκος του προφίλ ERT1, το υποκείμενο στρώμα στο τέλος του ρήγματος εκπιμάται ότι έχει βάθος περίπου 5 μέτρα (εικόνα 21 και 23). Στην επιφάνεια του ρήγματος, οι ηπειρωτικές αποθέσεις πυκνώνουν απότομα. Οι δειγματοληπτικές γεωτρήσεις δίνουν στοιχεία

για το μέγιστο βάθος στο οποίο εντοπίζεται το ανθρακικό υπόστρωμα, το οποίο φτάνει περίπου τα 190 μέτρα (γεώτρηση ww5 στο τμήμα C-C').

Πιο συγκεκριμένα, η στρωματογραφία των ηπειρωτικών κοιτασμάτων στην επιφάνεια του ρήγματος, που περιορίζεται τόσο από τα προϋπάρχοντα όσο και από τις πρόσφατες πραγματοποιηθέντες γεωτρήσεις, χαρακτηρίζεται από:

1. Ένα επιφανειακό στρώμα που αποτελείται από χαλίκια (μονάδα Fan3, πάχους 10-20 m) που γίνεται προοδευτικά λεπτότερη προς τα νότιο-νοτιοανατολικά. Κατά μήκος των προφίλ ERT, αυτές οι αποθέσεις χαρακτηρίζονται από υψηλές τιμές ειδικής αντίστασης ( $> 170 \Omega \cdot m$ , εικόνα 21).
2. Κάτω από τη μονάδα Fan3, υπάρχουν λεπτές κοιλότητες με αποθέσεις που προέρχονται από το ποτάμι, και αποτελούνται από άμμο και λάσπη, τα οποία με την σειρά τους περιέχουν άφθονο ηφαιστειακό υλικό με διαχωριστικές στρωματώσεις από χαλίκια (μονάδα Flu-Lac). Κατά μήκος των προφίλ ERT, οι αποθέσεις αυτές χαρακτηρίζονται από σχετικά χαμηλές τιμές ειδικής αντίστασης (από 50 έως  $140 \Omega \cdot m$ , εικόνα 21).
3. Κάτω από το στρώμα Flu-Lac, υπάρχει ένα επίπεδο που αποτελείται από χαλίκια, που μπορούν να συσχετιστούν με τα χαλίκια και συσσωματώματα που περικλείουν το San Gregorio (μονάδα Lac-g στην εικόνα 20). Σύμφωνα με τη γεώτρηση ww5, το συνολικό πάχος της μονάδας είναι περίπου 30 μέτρα.
4. Λαμβάνοντας υπόψη τόσο τη στρωματογραφία της γεώτρησης ww5 όσο και τη συνολική στρωματογραφική ρύθμιση της λεκάνης του Middle Aterno, είναι εύλογο να πιστεύουν ότι η μονάδα Lac-g ακολουθείται προς τα κάτω από τη μονάδα Lac-s (εικόνα 20). Ερμηνεύοντας τη στρωματογραφία της γεώτρησης ww5, το εκτιμώμενο πάχος της μονάδας Lac-s είναι περίπου 100 μέτρα, με αποτέλεσμα το συνολικό πάχος των ηπειρωτικών αποθέσεων που εμφανίζονται στο ρήγμα San Gregorio είναι περίπου 190 μέτρα.

Μεταξύ του τμήματος D-D' και του χωριού San Gregorio, η εκτιμώμενη μετατόπιση του βυθίσματος της κορυφή της μονάδας Lac-g στο ρήγμα του San Gregorio είναι περίπου 60 μέτρα.

Κάτω από το χωριό Onna και δυτικά, λόγω της έλλειψης λεπτομερών στρωματογραφικών αρχείων από τις γεωτρήσεις, υπάρχει δυσκολία στην αξιόπιστη γεωλογική απεικόνιση του υπεδάφους στην περιοχή. Η ερμηνεία του τμήματος C-

C' οφείλεται κυρίως στην παρεκβολή της στρωματογραφίας του ανατολικού τμήματος και στην συμπληρωματική βοήθεια των προφίλ ERT.

#### 3.1.4. Συμπεράσματα

Οι εκτεταμένες επικαλύψεις των ηπειρωτικών αποθέσεων δικαιολογούν την ευρέως διαδεδομένη τοπική στρωματογραφία που καταγράφηκε με την παθητική σεισμολογία. Παρ' όλα αυτά, εξετάζοντας την κυρίαρχη στρωματογραφία που υπάρχει κοντά στην επιφάνεια (αλλουβιακά χαλίκια), τις παρατηρούμενες πλευρικές διακυμάνσεις και στις δύο συχνότητες, το πλάτος των κορυφών ενίσχυσης που προέκυψαν από την ασθενή κίνηση, τα αποτελέσματα των μετρήσεων σεισμικού θορύβου, προκύπτει πως ενδεχομένως να φαίνονται ανεπαρκώς συσχετισμένες με τον γεωλογικό χάρτη.

Αυτή η αντίφαση μπορεί να λυθεί λαμβάνοντας υπόψη δύο βασικές πτυχές που πρέπει να αντιμετωπιστούν κατά τη διάρκεια γεωλογικών ερευνών σε περιοχή με σεισμική δραστηριότητα:

1. Ακριβής χαρακτηρισμός της στρωματογραφίας μπορεί να προκύψει μονάχα ύστερα από την διεξαγωγή πολύ προσεκτικών και λεπτομερών ερευνών στο πεδίο.
2. Η τρισδιάστατη προσομοίωση των ιζηματογενών στρωμάτων και οι πλευρικές τους συσχετίσεις είναι θεμελιώδης. Αυτό απαιτεί ολοκληρωμένη γεωλογική ανάλυση επιφανειακών και υπεδαφικών δεδομένων σε περιοχές με σημαντική πλευρική έκταση.

Τέλος, η τομογραφία ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης (ERT) απέδειξε πως αποτελεί ένα ισχυρό εργαλείο καθώς αποδίδει γρήγορα, μη διεισδυτικά και σχετικά με χαμηλό κόστος γεωφυσικές αναλύσεις και συμβάλλει στην απεικόνιση της γεωμετρίας των ιζηματογενών στρωμάτων. Η χρήση αυτών των αναλύσεων, σε συνδυασμό με τα δομικά και στρωματογραφικά δεδομένα, έπαιξε καθοριστικό ρόλο για τον σχεδιασμό των γεωγνωστικών γεωτρήσεων.

## 3.2. Περιοχή Caggiano & Irpinia: Συμπεράσματα από τη χρήση της μεθόδου ERT σε τεκτονικά ενεργές περιοχές.

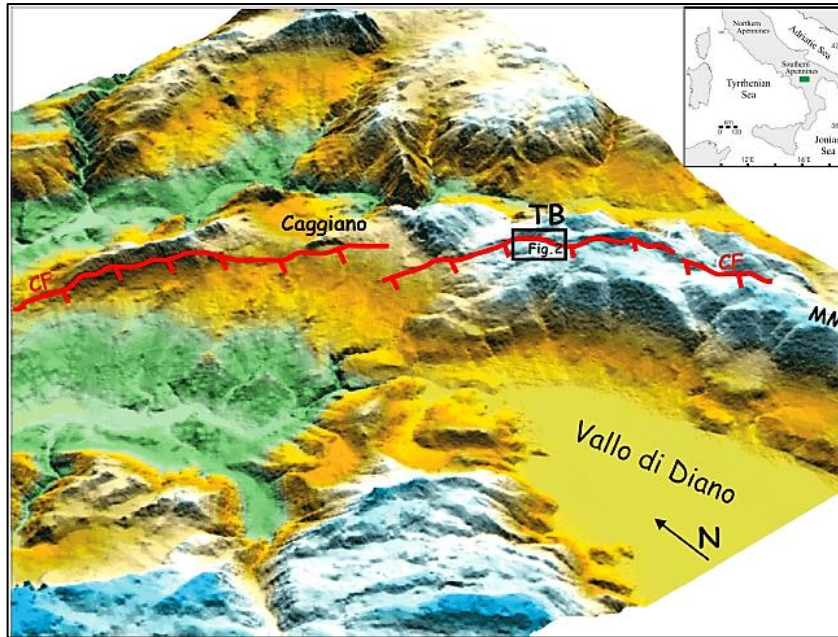
(A. Giocoli, P. Burrato, P. Galli, V. Lapenna, S. Piscitelli, E. Rizzo, G. Romano, A. Siniscalchi, C. Magrì, P. Vannoli)

### 3.2.1. Γενικά

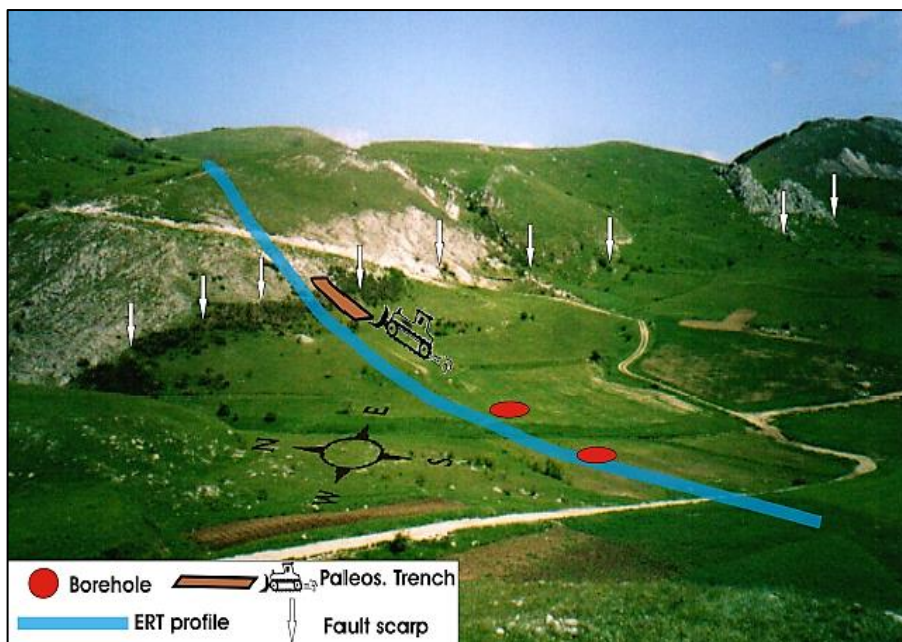
Η μέθοδος της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης (ERT) χρησιμοποιήθηκε για τη μελέτη δύο τεκτονικά ενεργών περιοχών στο νότιο τμήμα των Απέννινων Όρων (ρήγματα στην περιοχή Caggiano και η κοιλάδα του ποταμού Ufita). Ο κύριος σκοπός αυτής της εργασίας ήταν ο εντοπισμός των γεωλογικών στρωμάτων στο υπέδαφος, της θέσης των ενεργών ρηγμάτων στην επιφάνεια και ο γεωμετρικός τους χαρακτηρισμός. Η σύγκριση μεταξύ της μεθόδου ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης (ERT) και των γεωτρήσεων επέτρεψαν να αξιολογηθεί η αποτελεσματικότητα της μεθόδου ERT για τη μελέτη ενεργών ρηγμάτων και τη δομική ρύθμιση σεισμογενών περιοχών.

Στη κοιλάδα Timpa del Vento, πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις με την μέθοδο ERT κάθετα του ρήγματος της περιοχής Caggiano. Τα ληφθέντα μοντέλα της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης εντόπισαν τα επίπεδα των ρηγμάτων κατά μήκος του λόφου και συνέλεξαν πληροφορίες σε βάθος, τα οποία επαληθεύτηκαν αργότερα και από παλαιο-σεισμολογικές γεωτρήσεις που είχαν διανοιχτεί κατά μήκος του ρήγματος.

Στην κοιλάδα του ποταμού Ufita πραγματοποιήθηκε μια τομογραφία ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης μήκους 3.560 μέτρων, φτάνοντας έως έξω από τη κοιλάδα, με το σύστημα roll-along multi-channel, με απόσταση ηλεκτροδίων στα 20 μέτρα ενώ η έρευνα άγγιξε σε βάθος περίπου τα 170 μέτρα. Η χρήση της συγκεκριμένης μεθόδου έδωσε την δυνατότητα να ανακατασκευαστεί η γεωμετρία και το πάχος των τεταρτογενών αποθέσεων που πληρώνουν την κοιλάδα Ufita. Το γεωλογικό μοντέλο που προέκυψε είναι σύμφωνο με την γεωλογική περιγραφή που προέκυψε από τα δεδομένα των γεωτρήσεων.



Εικόνα 24: Χάρτης των ρηγμάτων στην περιοχή Caggiano, κοιλάδα Timpa del Vento



Εικόνα 25: ERT τομογραφία στην κοιλάδα Timpa del Vento

### 3.2.2. Γεωφυσικές Μέθοδοι-Απόκτηση Δεδομένων

Οι έρευνες με την μέθοδο της ειδικής ηλεκτρικής ειδικής αντίστασης διεξήχθησαν με τη βοήθεια του μετρητή Syscal R2 (της Iris Instruments), σε συνδυασμό με ένα σύστημα ηλεκτροδίων χρησιμοποιώντας διαφορετική διάταξη και απόσταση ηλεκτροδίων (Wenner- Schlumberger και Dipole-Dipole), φτάνοντας σε διαφορετικό βάθος κάθε φορά.



*Εικόνα 26: Μετρητής Syscal R2-Iris Instruments*

### 3.2.3. Αποτελέσματα Δεδομένων

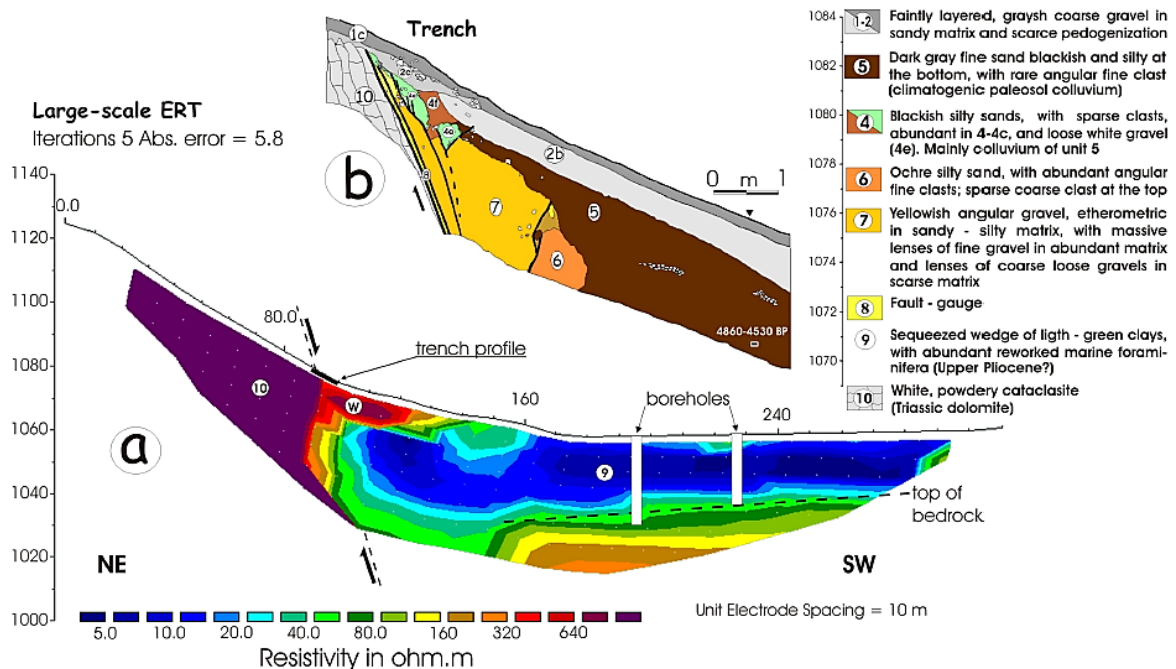
#### **Ρήγμα του Caggiano-κοιλιάδα Timpa del Vento**

Η μικρή κοιλιάδα Timpa del Vento βρίσκεται στο τμήμα του τομέα της Νότιας Καμπανίας- Λουκανίας στα νότια Απένινα στον βόρειο τομέα της Maddalena. Εκτείνεται από τα Β.Δ. έως τα Ν.Α., πάνω από 50 χιλιόμετρα, χωρίζοντας την τεταρτογενές κοιλιάδα της Valmore di Diano στα δυτικά από την ψηλή κοιλιάδα του ποταμού Agri στα ανατολικά. Αυτή η περιοχή έχει χτυπηθεί από δυο καταστροφικούς σεισμούς το 1561 και το 1857.

Κατά μήκος των δυτικών συνόρων της κοιλιάδας Timpe del Vento, το ρήγμα Caggiano έχει ερευνηθεί από μια μεγάλη μήκους τομογραφία ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης, με παράλληλες παλαιο-σεισμολογικές γεωτρήσεις. Η έρευνα διεξήχθη κάθετα στην διεύθυνση του ρήγματος, χρησιμοποιώντας 32 πολλαπλά κανάλια με απόσταση ηλεκτροδίων 10m και περίπου 50m το βάθους της έρευνας.

Η γεωηλεκτρική απεικόνιση του υπεδάφους έδειξε σχετικά ισχυρή μεταβλητότητα των πμών ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης, από περίπου 5 Ωm (Πλειόκαινη άμμος- άργιλος που βρέθηκε σε δεδομένα γεώτρησης, μονάδα 9) σε περισσότερο από 1000 Ωm (προ-τεταρτογενές ανθρακικό υπόβαθρο, μονάδα 10). Σε περίπου 90 μ. το γεωηλεκτρικό μοντέλο της τομογραφίας παρουσιάζει μια απότομη πλευρική διακύμανση της αντίστασης η οποία ταιριάζει με το επίπεδο του ρήγματος που παρατηρείται τόσο στις τομές όσο και στο πεδίο. Έτσι, το αποτέλεσμα της τομογραφίας επαληθεύει την κλίση του ρήγματος (75°), την σφήνα των πρόσφατων

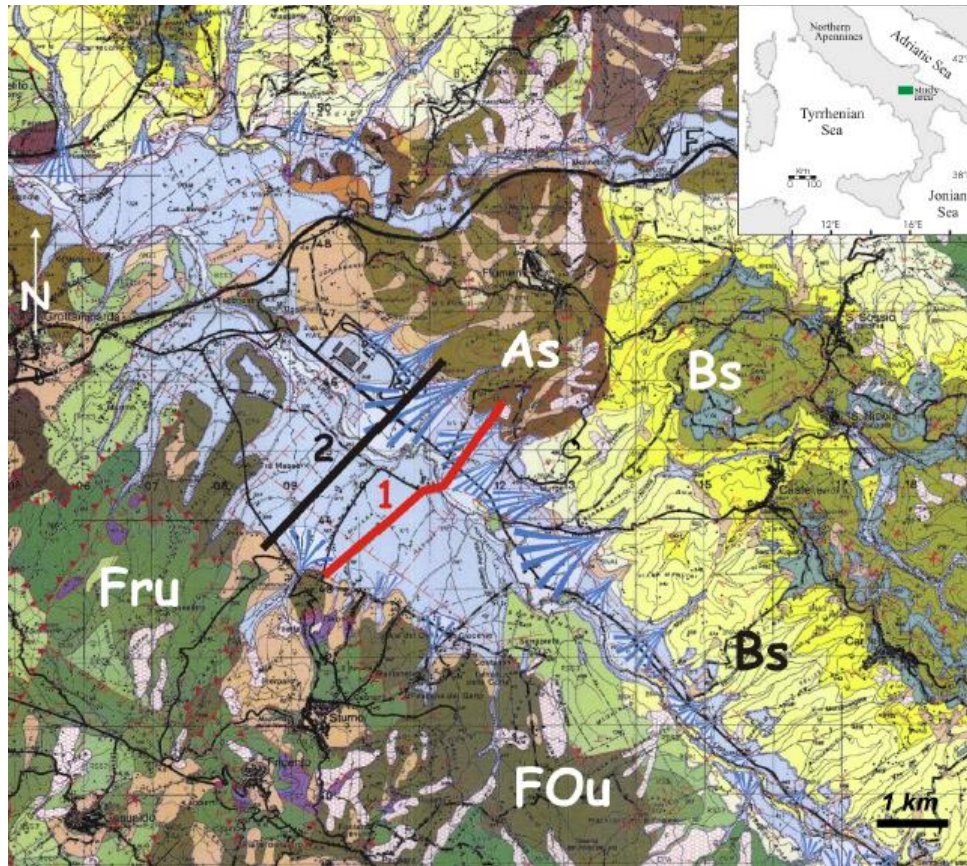
ιζημάτων (τομέας W με ειδική αντίσταση > 160 Ωm) και την μικρότερη κλίση της άνω επιφάνειας του ανθρακικού υποστρώματος προς το ρήγμα. Έτσι, επαληθεύτηκε η παλαιο-σεισμολογική ανάλυση για την πρόσφατη δραστηριότητα του ρήγματος της περιοχής Caggiano.



Εικόνα 27: (a) προφίλ τομογραφίας στην κοιλάδα Timpra del Vento, (b) παλαιο-σεισμολογικό προφίλ

### Κοιλάδα του ποταμού Ufita-Νότια Απέννινα

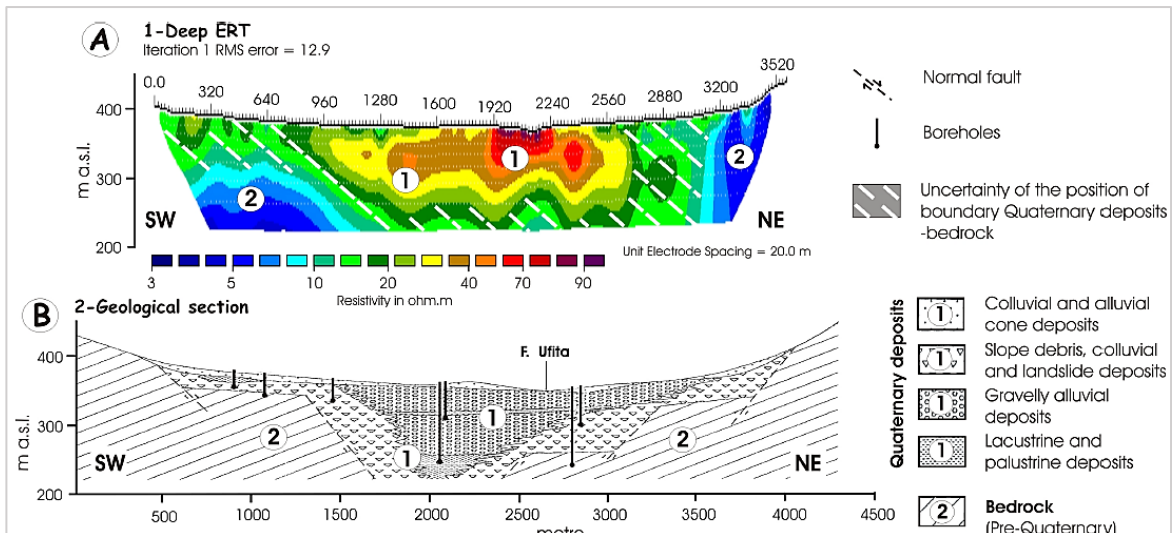
Η κοιλάδα του ποταμού Ufita βρίσκεται στην περιοχή Iripinia, στην ζώνη των νότιων Απέννινων. Η Iripinia είναι μια από όπως πιο ενεργές σεισμικές περιοχές της Ιταλίας έχοντας βιώσει αρκετούς καταστροφικούς σεισμούς. Η κοιλάδα του ποταμού Ufita βρίσκεται βορειοδυτικά της Iripinia που ήταν το επίκεντρο του σεισμού το 1980 (6.9 ρίχτερ), και το 1732 (6.6 ρίχτερ). Σύμφωνα με πολλούς συγγραφείς, στο βορειοανατολικό όριο της κοιλάδας βρίσκεται ένα ρήγμα με κατεύθυνση βορειοδυτικά-νοτιοανατολικά, το οποίο αποδεικνύεται και από ένα σειτ από τριγωνικές όψεις κατά μήκος της πλαγιάς, ενώ το μήκος του ρήγματος είναι 22 km. Θεωρείται επίσης πως το εν λόγω ρήγμα ήταν υπεύθυνο για κάποιους από τα μεγαλύτερους σεισμούς της περιοχής, όπως το 1694 (6.9 ρίχτερ) και το 1732 (6.6 ρίχτερ).



Εικόνα 28: Γεωλογικός χάρτης της υπό έρευνας περιοχής, όπου (1) η τομογραφία ERT και (2) γεωλογική τομή.

Στην κοιλάδα Ufita έλαβε χώρα μια τομογραφία ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης μήκους 3.560 μέτρων προκειμένου να διερευνηθεί η γεωμετρία του βαθύτερου στρώματος της κοιλάδας. Το μεγάλο βάθος του προφίλ της τομογραφίας προέκυψε από την χρήση του συστήματος roll-along multi-channel, χρησιμοποιώντας 48 κανάλια και 179 ηλεκτρόδια με ελάχιστη απόσταση μεταξύ των ηλεκτροδίων 20 μέτρα και μέγιστη 100 μέτρα, ενώ ελήφθησαν περίπου 5.000 δεδομένα. Η γεωηλεκτρική απεικόνιση της περιοχής παρουσιάζει μια μεταβλητότητα των πιμών της ειδικής αντίστασης, από 3 έως περισσότερο από 90 ( $\Omega m$ ). Η διαδικασία ερμηνείας των δεδομένων σταμάτησε ύστερα από το αποτέλεσμα της πρώτης επανάληψης, διότι το σφάλμα λάμβανε αμετάβλητες τιμές στις επόμενες επαναλήψεις.





Εικόνα 29: Προφίλ τομογραφίας κοιλάδα του ποταμού Ufita

Επομένως, οι τιμές της ειδικής αντίστασης κάτω από 20 Ωm είναι που σχετίζονται με το υπόβαθρο (αριθμός 2, εικόνα 29), ενώ η ειδική αντίσταση με τιμές υψηλότερες από 20 Ωm συνδέονται με τις τεταρτογενείς αποθέσεις του ποταμού (αριθμός 1, εικόνα 29). Έτσι, το μοντέλο αντιστάσεων που έχει ληφθεί στην κοιλάδα Ufita φανερώνει μια αύξηση του πάχους των τεταρτογενών αποθέσεων, περισσότερο από 150 μέτρα κάτω από την επιφάνεια του εδάφους. Το νοτιοδυτικό τμήμα του υποβάθρου φαίνεται πιο ομαλό συγκριτικά με το βορειοανατολικό.

### 3.2.4. Συμπεράσματα

Τα δισδιάστατα μοντέλα συσχετίστηκαν με δεδομένα που προέρχονται από γεωλογικές και γεωμορφολογικές έρευνες, δείχνοντας μια καλή ταύτιση.

Τα αποτελέσματα μας δείχνουν ότι η μέθοδος ERT μπορεί να είναι ένα χρήσιμο εργαλείο για την απεικόνιση ενεργού σφάλματος και γεωλογικών δεδομένων σε σεισμογενείς περιοχές με σύνθετη γεωλογία.

Συγκεκριμένα, λόγω της έλλειψης σαφούς μορφολογικής ένδειξης, η τομογραφία της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης δίνει την δυνατότητα του εντοπισμού της θέσης των ενεργών ρηγμάτων στην επιφάνεια, παρέχοντας επίσης πληροφορίες σχετικά με τη γεωμετρία του ρήγματος (κλίση, κατακόρυφη μετατόπιση).

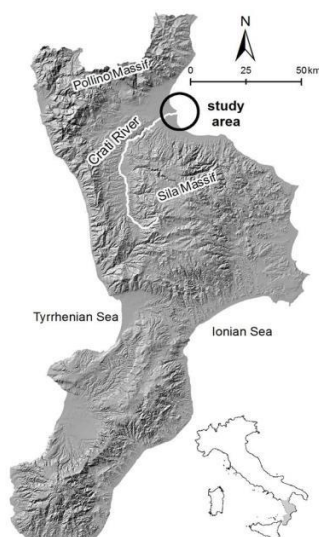
Στην υπόθεση της κοιλάδας Timpa del Vento, η ERT βοήθησε στο να διακριθούν ορισμένες ιζηματογενείς μονάδες που σχετίζονται με ρωγμές στην επιφάνεια, το σχήμα και το πάχος τους, δίνοντας μια πολύτιμη στήριξη για την επιλογή της καλύτερης θέσης για την παλαιο-σεισμολογική εκσκαφή.

### 3.3. Γεωφυσική μελέτη στην πεδιάδα Sibari, στο Δέλτα του Ποταμού Crati.

(Giuseppe Cianflone, Daniela Tarallo, Michele Punzo, Giuseppe Cavuoto, Rocco Dominici, Vincenzo Di Fiore, Maurizio Sonnino, Nicola Pelosi, Ennio Marsella, Rosanna De Rosa, Ines Alberico, Antimo Angelino & Laura Giordano)

#### 3.3.1. Γενικά

Η εφαρμογή της μεθόδου Ειδικής Ηλεκτρικής Αντίστασης (ERT) έγινε για την μελέτη της στρωματογραφίας στο δέλτα του ποταμού Κράτι, σε βάθος 100 μέτρων. Η περιοχή αυτή αποτελείται από πλειστοκαινικό χονδρόκοκκο στην παράκτια πεδιάδα, το οποίο διέρχεται προς τις θαλάσσιες αργιλώδεις κοιλότητες, οι οποίες είναι καλυμμένες από μεταβατικά και ηπειρωτικά ιζήματα που σχετίζονται με το ολόκαινο δέλτα που αναπτύσσεται. Αυτές οι τρεις κύριες μονάδες εναπόθεσης εμφανίζονται ως διαφορετικές φάσεις στην ηλεκτρική τομογραφία. Το χαμηλότερο αδρομερές χαρακτηρίζεται συνήθως από υψηλές τιμές ειδικής αντίστασης ή από χαμηλές τιμές αν είναι κορεσμένο, το μεσαίο αργιλοπυριπικό στρώμα αποτελείται από χαμηλές τιμές ειδικής αντίστασης και το ανώτερο στρώμα εμφανίζει τιμές μεσαίας/υψηλής αντίστασης και αποτελείται από φακοειδή σώματα αμμώδων ιζηματογενών ιζημάτων. Στην πεδιάδα του δέλτα του ποταμού, οι διάφορες αποθέσεις δεν παρουσιάζουν σημαντικές διακυμάνσεις στις τιμές της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης, λόγω των κορεσμένων συνθηκών που επικρατούν.



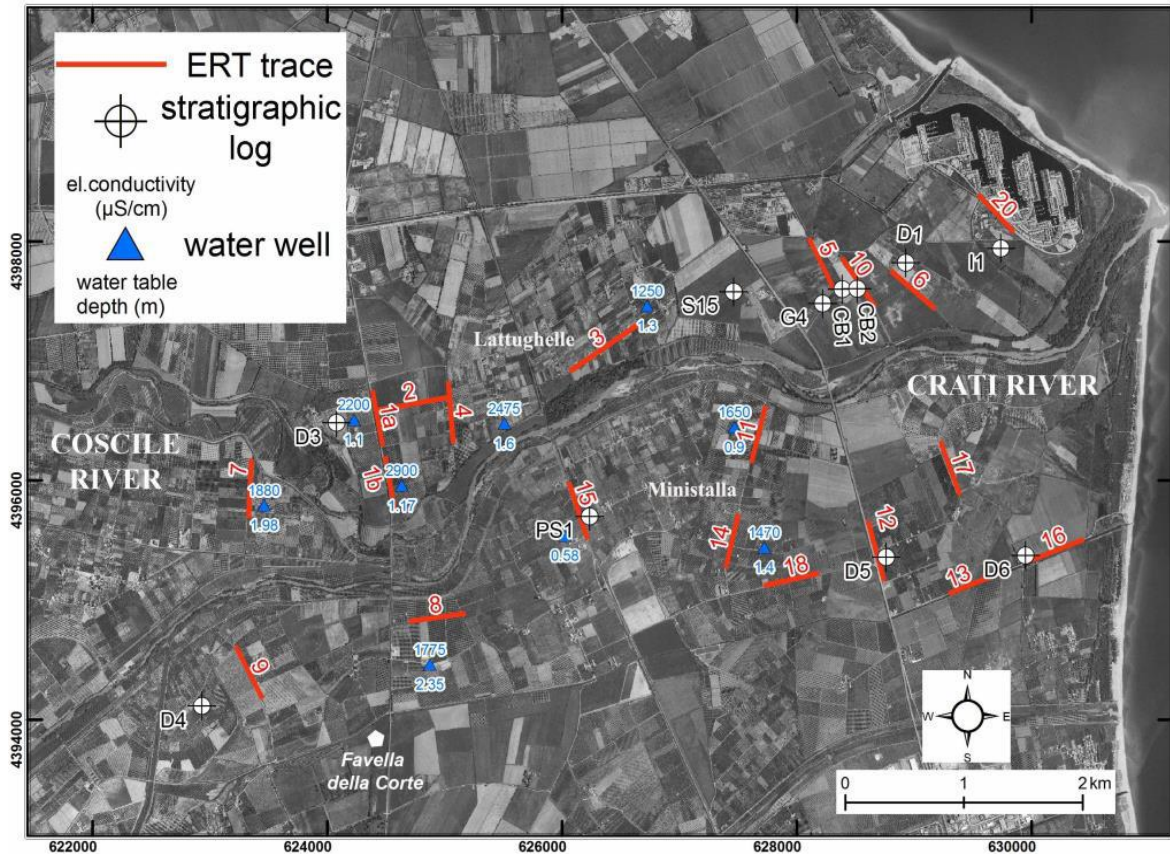
Εικόνα 30: Σημείο ερευνών

Η πεδιάδα Sibari βρίσκεται στη βορειοανατολική περιοχή της Καλαβρίας στην Νότια Ιταλία (εικόνα 30), σε αντιστοιχία με το όριο μεταξύ της αφίδας της Καλαβρίας

και των νότιων Απεννίνων. Η πεδιάδα ανιπροσωπεύει ένα σύστημα τεκτονικής θλίψης οριοθετημένη από το πλειόκαινο. Η εξέλιξή του στο ολόκαινο προέρχεται κυρίως από αλληλεπιδράσεις πολλών παραγόντων όπως η αύξηση της στάθμης της θάλασσας, προσφορά ιζημάτων του ποταμού Crati και άλλων ρευμάτων, τα οποία ρέουν στην πεδιάδα (π.χ., Coscile και Garda Rivers, Raganello και ρεύματα Satanasso), η τεκτονική δραστηριότητα και η ανθρώπινη δημιουργία. Το Δέλτα του Crati ανιπροσωπεύει σήμερα το κύριο μορφολογικό στοιχείο της πεδιάδας. Πρόκειται για ένα διπλό δέλτα και η μετανάστευση του προς την παρούσα θέση άρχισε στο τέλος της εποχής της αύξησης της στάθμης της θάλασσας όταν η απόληξή του βρισκόταν περίπου 4,5 χλμ. ανατολικά από τον αρχαιολογικό χώρο της Favella della Corte. Το δέλτα προέκυψε με την προσαύξηση της θάλασσας στην περιοχή. Η πεδιάδα και η εξέλιξη του δέλτα συνέβησαν σε ένα περιβάλλον που χαρακτηρίστηκε από ισχυρή υποχώρηση, η οποία υπάρχει μέχρι σήμερα. Η λεκάνη του δέλτα περιλαμβάνει: αποθέσεις πλειστοκαινικού χονδρόκοκκου στην παράκτια πεδιάδα που διέρχονται προς την θαλάσσια άργιλο ενώ το τελευταίο στρώμα είναι καλυμμένο με αμμώδη παραλία και εξελίσσεται προς τις ηπειρωτικές αποθέσεις, συμπεριλαμβανομένων των ποταμών και υδροτόπων

### 3.3.2. Γεωφυσικές μέθοδοι-Απόκτηση δεδομένων

Στην εξεταζόμενη περιοχή, πραγματοποιήθηκαν 20 τομές Ειδικής Ηλεκτρικής Ανίστασης με 96, 72 και 48 ηλεκτρόδια χρησιμοποιώντας την μέθοδο Schlumberger. Το προφίλ της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης αποκτήθηκε κατά τη διάρκεια 5 ερευνών και αποτελείται από 18 προφίλ μήκους 475 μέτρων, με απόσταση ηλεκτροδίων 5 μέτρα για τις 9 τομές και 10 μέτρα για τις υπόλοιπες 11, και 2 προφίλ μήκους 710 μέτρων με τα ηλεκτρόδια σε απόσταση 10 μέτρων.



Εικόνα 31: Τομές ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης

### 3.3.3. Αποτελέσματα και Ερμηνεία

Αξιοποιήθηκε η αντίθεση της ηλεκτρικής αντίστασης μεταξύ λεπτόκοκκων και χονδροειδών ιζημάτων για να αναγνωριστούν οι διαφορετικές αποθέσεις που αποτελούν τη στρωματογραφική αρχιτεκτονική του Δέλτα του Crati. Η εικόνα 33 δείχνει τρεις τομές ERT που απεικονίζουν τα κύρια αναγνωρισμένα στρωματογραφικά στοιχεία.

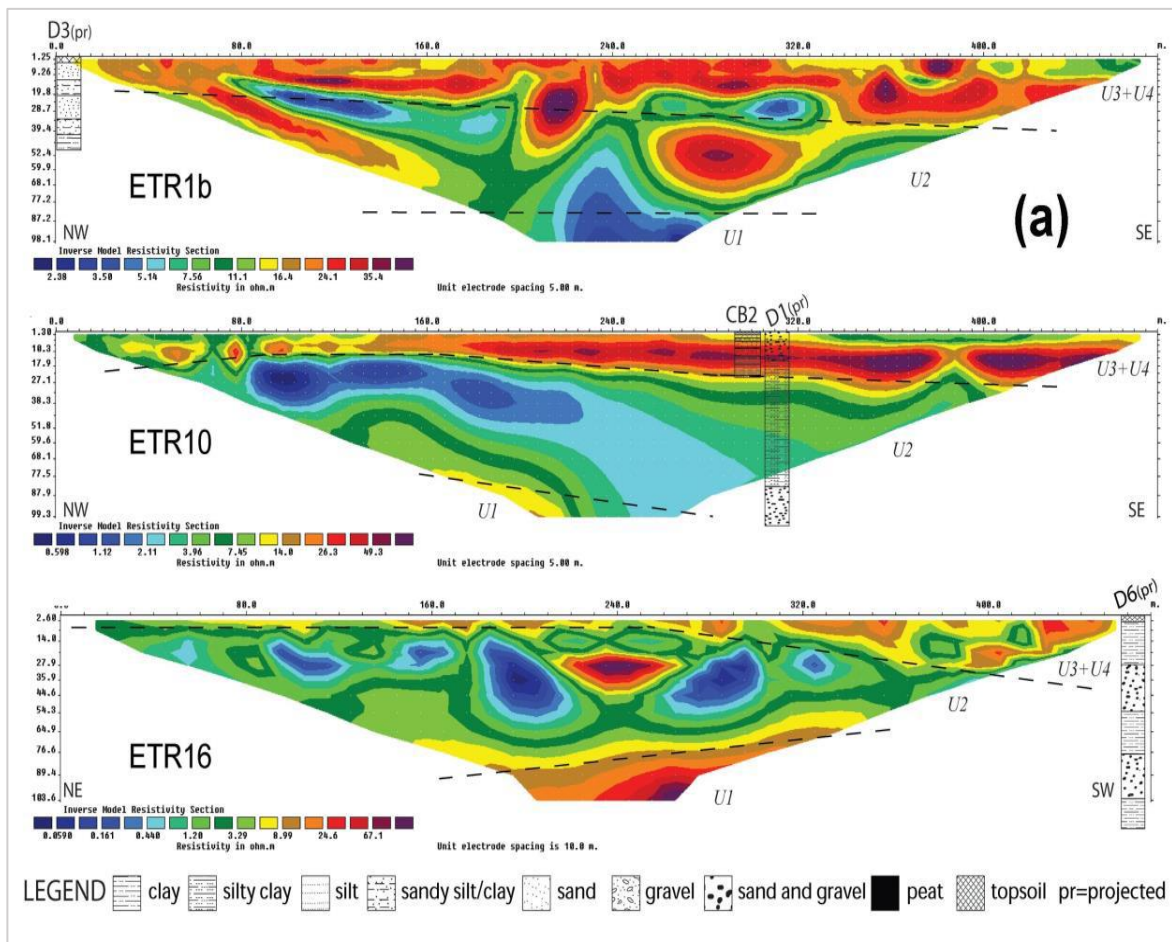
Στην ERT 1b, παρατηρούμε μια ρηχή στρώση, πάχους έως 40m, που χαρακτηρίζεται από υψηλή αντίσταση (>24 Ωm). Παρακάτω, ένα στρώμα χαμηλής αντίστασης (<15 Ωm), με ένα φακοειδές σώμα υψηλής αντίστασης, φθάνει περίπου 75 μέτρα βάθους και επικαλύπτει την χαμηλότερη ειδική αντίσταση (<7 Ωm). Οι υψηλές τιμές αντίστασης του ανώτερου στρώματος και των χαμηλών του μεσαίου στρώματος συνδέονται ανιστοίχως με τις αμμώδεις και αργιλικές αποθέσεις που καταγράφηκαν από τη δειγματοληπτική γεώτρηση D3 (490 μέτρα από την τομή ERT 1b). Η περιοχή πολύ χαμηλής ειδικής αντίστασης αναπτύσσεται προς τα βαθύτερα τμήματα του σημείου, και οφείλεται στα υπόγεια ύδατα και στον περιορισμένο υδροφόρο ορίζοντα που παράγεται από το χονδροειδές παλαιό-πλειστόκαινο.

Η ERT 10 χαρακτηρίζεται από ένα επιφανειακό στρώμα πάχους μέχρι 25-30 μέτρων, με υψηλή αντίσταση ( $>20 \Omega\text{m}$ ). Το επιφανειακό στρώμα ακολουθείται από ένα στρώμα χαμηλής αντίστασης ( $<10 \Omega\text{m}$ ) ενώ στο κάτω μέρος του προφίλ, η ειδική αντίσταση αυξάνεται μέχρι  $15 \Omega\text{m}$ . Στο επιφανειακό στρώμα, οι πιμές υψηλής ειδικής αντίστασης μπορούν να σχετίζονται με το χαλίκι των αποθέσεων που καταγράφονται από τη δειγματοληπτική γεώτρηση D1 (380 μ. προς Β.Α. από το ίχνος ERT 10) και την άμμο που καταγράφεται στη δειγματοληπτική γεώτρηση CB2 (35 μ. προς ΝΔ). Το υποκείμενο παχύ στρώμα χαμηλής ειδικής αντίστασης ανιπροσωπεύει αντίστοιχα τις αποθέσεις αργιλικής άμμου που καταγράφονται από τη D1. Η αντίσταση αυξάνεται προς τα κάτω ανιπροσωπεύοντας το χονδροειδές ίζημα που καταγράφεται στο τέλος της D1.

Η ERT 16 παρουσιάζει ένα επιφανειακό στρώμα, πάχους μέχρι 25 μέτρα, με υψηλές πιμές ειδικής αντίστασης ( $>10 \Omega\text{m}$ ). Παρακάτω, μέχρι 70-75 μέτρα βάθος, υπάρχει στρώμα χαμηλής ειδικής αντίστασης ( $<4 \Omega\text{m}$ ) που χαρακτηρίζεται από φακοειδούς σώματα υψηλής ειδικής αντίστασης μεταξύ 20 και 45 μέτρα βάθους στον μεσαίο τομέα της ERT. Προς το κάτω μέρος, ένα χαμηλότερο στρώμα με πιμές ειδικής αντίστασης  $>10 \Omega\text{m}$ . Το τελευταίο στρώμα μπορεί να σχετίζεται με τις αμμώδεις αποθέσεις από τη δειγματοληπτική γεώτρηση D6 (63 μέτρα Β.Δ από το ίχνος ERT 16) ξεκινώντας από 65 μέτρα βάθους, ενώ το μεσαίο στρώμα χαμηλής ειδικής αντίστασης ανιπροσωπεύει τα αργιλώδη ιζήματα που καταγράφηκαν. Τα σώματα υψηλής ειδικής αντίστασης του ανώτερου στρώματος σχετίζονται με το παλαιό υπόβαθρο του ποταμού Crati.

Σε γενικές γραμμές, η έρευνα με την μέθοδο της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης δίνει την δυνατότητα για την αναγνώριση της στρωματογραφίας και των αλληλοεπικαλύψεων στην περιοχή. Στρώματα που βρίσκονται στην κάτω περιοχή σε όλα τα προφίλ χαρακτηρίζονται γενικά από υψηλές έως πολύ υψηλές πιμές ειδικής αντίστασης ( $>10 \Omega\text{m}$ ) και ερμηνεύονται ως χονδροειδείς αποθέσεις. Μια μεσαία στρώση χαμηλής ειδικής αντίστασης που απεικονίζεται ως σώμα με

μεταβλητό πάχος σε όλα τα προφίλ, το οποίο ποικίλλει από ΒΑ σε ΝΔ, χαρακτηρίζεται από χαμηλές έως μέσες τιμές ειδικής αντίστασης.



Εικόνα 32: Ερμηνεία της ERT

### 3.3.4. Συμπεράσματα

Η μέθοδος της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης αναγνώρισε στην περιοχή του δέλτα του ποταμού Crati τρεις ηλεκτρικές φάσεις, που αντιστοιχούν και παρουσιάζουν την στρωματογραφία της περιοχής, συμφωνώντας με την γεωλογική εξέλιξη της περιοχής.

### 3.4. Ηλεκτρικές τομογραφίες ειδικής αντίστασης για την ανίχνευση κατολισθήσεων: μια ανασκόπηση

(Angela Perrone, Sabatino Piscitelli & Vincenzo Lapenna)

#### 3.4.1. Γενικά

Το έργο αυτό στοχεύει στη παρουσίαση τόσο της μεθόδου ηλεκτρικής ειδικής αντίστασης (ERT) για την παρακολούθηση κατολισθήσεων όσο και τις νέες αναδυόμενες εφαρμογές της που αναπτύσσονται σε αυτή την κατεύθυνση. Συγκεκριμένα, εξετάζει τα πιο αξιοσημείωτα αποτελέσματα που προκύπτουν από την εφαρμογή αυτής της μεθόδου σε διαφορετικές γεωγραφικές περιοχές που επηρεάζονται από φαινόμενα ευρείας και διάχυτης υδρογεωλογικής αστάθειας. Η προσοχή θα επικεντρωθεί στη συμβολή που μπορεί να προσφέρει αυτή η μέθοδος στις διάφορες φάσεις (πρόβλεψης, έκτακτης ανάγκης και μεταγενέστερης εκδήλωσης) ενός κύκλου καταστροφών από κατολισθήσεις. Η ανάλυση των αποτελεσμάτων επισημαίνει τα κύρια πλεονεκτήματα αυτής της μεθόδου και τις προσπάθειες που πρέπει να καταβληθούν για τη βελτίωση και επέκταση των πεδίων εφαρμογής της. Ιδιαίτερη προσοχή δίνεται στη χρήση της μεθόδου ERT όπου γίνεται λήψη πιμών ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης ανά διαφορετικές χρονικές στιγμές, ως ένα ελπιδοφόρο εργαλείο παρακολούθησης που θα χρησιμοποιηθεί κατά τη φάση έκτακτης ανάγκης.

Οι κατολισθήσεις είναι σύνθετα φαινόμενα των οποίων η μελέτη απαιτεί αναγκαστικά μια πολύ-επιστημονική προσέγγιση βασισμένη σε ένα ευρύ φάσμα παρατηρήσεων, όπως η γεωλογική και γεωμορφολογική χαρτογράφηση, οι γεωτεχνικές και γεωφυσικές έρευνες, οι γεωδεδετικές έρευνες, οι δορυφορικές παρατηρήσεις και η ανάλυση μετεωρολογικών δεδομένων. Η ενσωμάτωση διαφορετικών τεχνικών θα μας επιτρέψει να αποκτήσουμε χρήσιμες πληροφορίες για όλες τις φάσεις του κύκλου καταστροφών από κατολισθήσεις, ξεπερνώντας τα μειονεκτήματα κάθε εφαρμοζόμενης μεθόδου.

Οι διαφορετικές γεωφυσικές μέθοδοι (σεισμική, ηλεκτρική, μαγνητική, βαρυτική κλπ.), οδήγησαν σε σημαντικά αποτελέσματα και παρείχαν χρήσιμες πληροφορίες τόσο για την αναδημιουργία των γεωμετρικών μοντέλων κατολισθήσεων όσο και για τον υδρολογικό χαρακτηρισμό της περιοχής για την έρευνα των κατολισθήσεων. Μεταξύ αυτών, σημαντικότερο ρόλο διαδραματίζει η ηλεκτρική μέθοδος

(τομογραφία ηλεκτρικής ειδικής αντίστασης, αυτοδύναμη, προκαλούμενη πόλωση) και η σεισμική. Συγκεκριμένα, η μέθοδος της τομογραφίας της ηλεκτρικής αντίστασης (ERT), με βάση τη μέτρηση των τιμών της ηλεκτρικής ειδικής αντίστασης και την χωρική κατανομή τους στο υπέδαφος, εφαρμόστηκε σε μεγάλο βαθμό για να διερευνηθούν περιοχές κατολισθήσεων. Αυτή η μέθοδος παρέχει χρήσιμα δεδομένα που πρέπει να χρησιμοποιούνται κατά τη διάρκεια των φάσεων της κατολίθησης, χάρη στην ικανότητά της να παρέχει πληροφορίες τόσο για τις στρωματογραφικές αλληλουχίες όσο και για τη γεωμετρία του σώματος κατολίθησης, προσδιορίζοντας τις ολισθαίνουσες επιφάνειες μεταξύ του υλικού ολίθησης και του υποκείμενου στρώματος και τον εντοπισμό των περιοχών με υψηλή περιεκτικότητα σε νερό. Πράγματι, κατά τη φάση που προηγείται της εκδήλωσης, είναι πολύ σημαντικό να συγκεντρωθούν πληροφορίες τόσο για το γεωλογικό περιβάλλον της δυνητικά ασταθούς περιοχής (ηλεκτρο-στρωματογραφία, τεκτονικές γραμμές κ.λπ.) όσο και για την ύπαρξη ύδατος που θα μπορούσε να προκαλέσει αυτό το φαινόμενο. Μετά το συμβάν, είναι σημαντικό να γνωρίζουμε τη γεωμετρία του σώματος κατολίθησης και να υπολογίσουμε τον όγκο του υλικού διαφάνειας, προκειμένου να προγραμματίσουμε τις δραστηριότητες μετριάσμου και τις παρεμβάσεις (εγκατάσταση συστήματος αποστράγγισης, δομές σταθεροποίησης κ.λπ.). Η εφαρμογή των δισδιάστατων και τρισδιάστατων ERT, έστω και έμμεσα, μπορεί να παρέχει αυτές τις πληροφορίες.

Η ικανότητά της να παρακολουθεί τη δυναμική συμπεριφορά μιας φυσικής παραμέτρου που συνδέεται έμμεσα με τους παράγοντες ενεργοποίησης μιας κατολίθησης, βοηθάει έτσι ώστε να παρέχονται σημαντικές πληροφορίες κατά τη φάση έκτακτης ανάγκης. Σκοπός αυτής της εργασίας είναι να περιγράψει την εφαρμογή της μεθόδου ERT, με δισδιάστατες και τρισδιάστατες παρουσιάσεις των γεωηλεκτρικών τομών καθώς και την μεταβολή τους στον χρόνο.

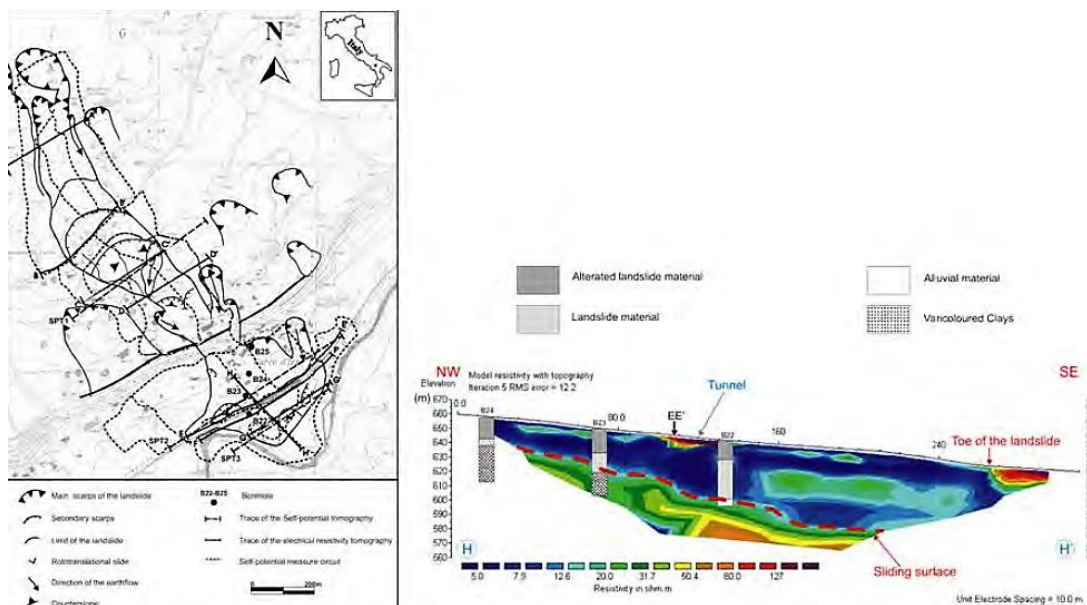
#### 3.4.2. Γεωφυσικές Μέθοδοι-Απόκτηση Δεδομένων

Το έργο αυτό αναφέρει μια ανασκόπηση των αποτελεσμάτων που προέκυψαν από την εφαρμογή της μεθόδου δισδιάστατης και τρισδιάστατης ERT κατά τη διάρκεια των εκδηλώσεων πριν και μετά την κατολίθηση με στόχο την ανασυγκρότηση της γεωμετρίας των ολισθαίνοντων στρωμάτων, την προσομοίωση της ολισθαίνουσας επιφάνειας, την εκτίμηση του πάχους του υλικού ολίθησης, του σώματος που ερευνήθηκε και τονίζοντας τις περιοχές όπου υπάρχει παρουσία νερού. Η ερμηνεία



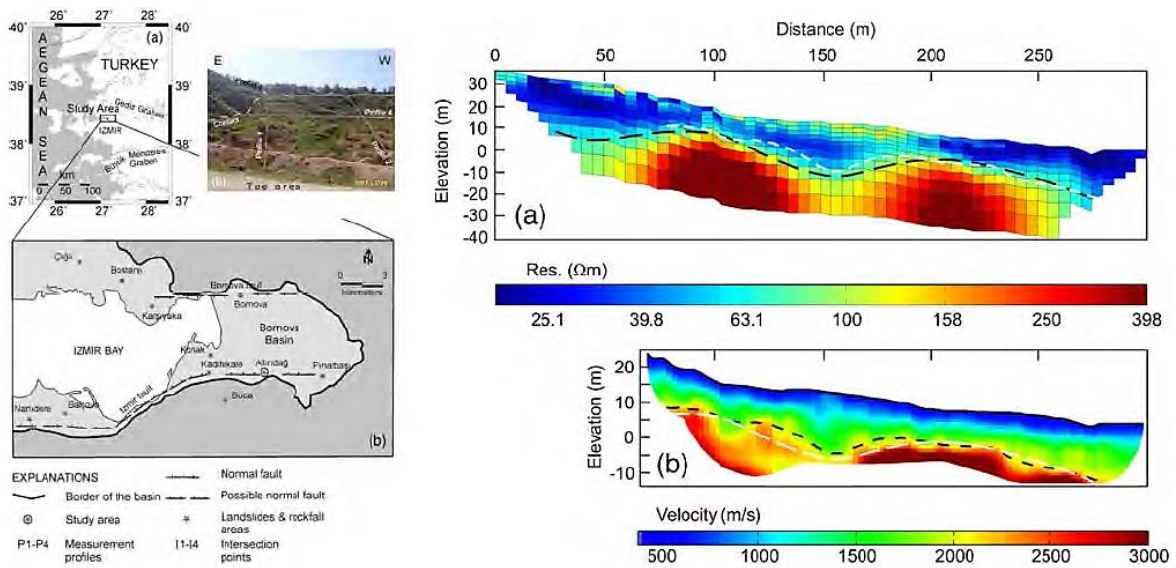
της ERT επαληθεύτηκε από τη σύγκριση με τα στρωματογραφικά δεδομένα από τις γεωπλάζουσες γεωτρήσεις που εκτελούνται στην ίδια περιοχή.

Η εικόνα 33 παρουσιάζει ένα παράδειγμα σύγκρισης μεταξύ της ERT που διεξάγεται κατά μήκος της ζώνης συσσώρευσης της κατολισθήσεως Varco d'Izzo στην περιοχή Basilicata, στην Ιταλία και των στρωματογραφιών από τρεις γεωπλάζουσες γεωτρήσεις. Υπάρχει σαφής αντίθεση αντίστασης μεταξύ μιας ζώνης χαμηλής ειδικής αντίστασης ( $\rho < 20 \Omega m$ ), που σχετίζεται με το κινούμενο σώμα και μιας ζώνης υψηλότερης ειδικής αντίστασης ( $\rho > 30 \Omega m$ ) που σχετίζεται με τις συμπαγείς αποθέσεις (αργιλώδες υλικό) και που δεν εμπλέκονται στην κατολίπηση. Αυτά τα αποτελέσματα είναι σύμφωνα με τα στρωματογραφικά δεδομένα από τις γεωτρήσεις B24, B23 και B22, οι οποίες παρουσιάζουν μια ολισθαίνουσα επιφάνεια σε βάθη περίπου 21, 30 και 32 μέτρα, αντίστοιχα. Η σχετικά υψηλή τιμή ειδικής αντίστασης ( $\rho > 50 \Omega m$ ) που βρίσκεται σε απόσταση περίπου 110 μέτρων από την αρχή της τομής οφείλεται σε σιδηροδρομική σήραγγα.



Εικόνα 33: περιοχή Basilicata

Η εικόνα 34 παρουσιάζει τη σύγκριση των αποτελεσμάτων της τομογραφίας ηλεκτρικής αντίστασης και σεισμικής διάθλασης που λαμβάνεται κατά μήκος της τομής 1 σε μια περιοχή κατολίπησης στην περιοχή Altındağ της İzmir στην Τουρκία.



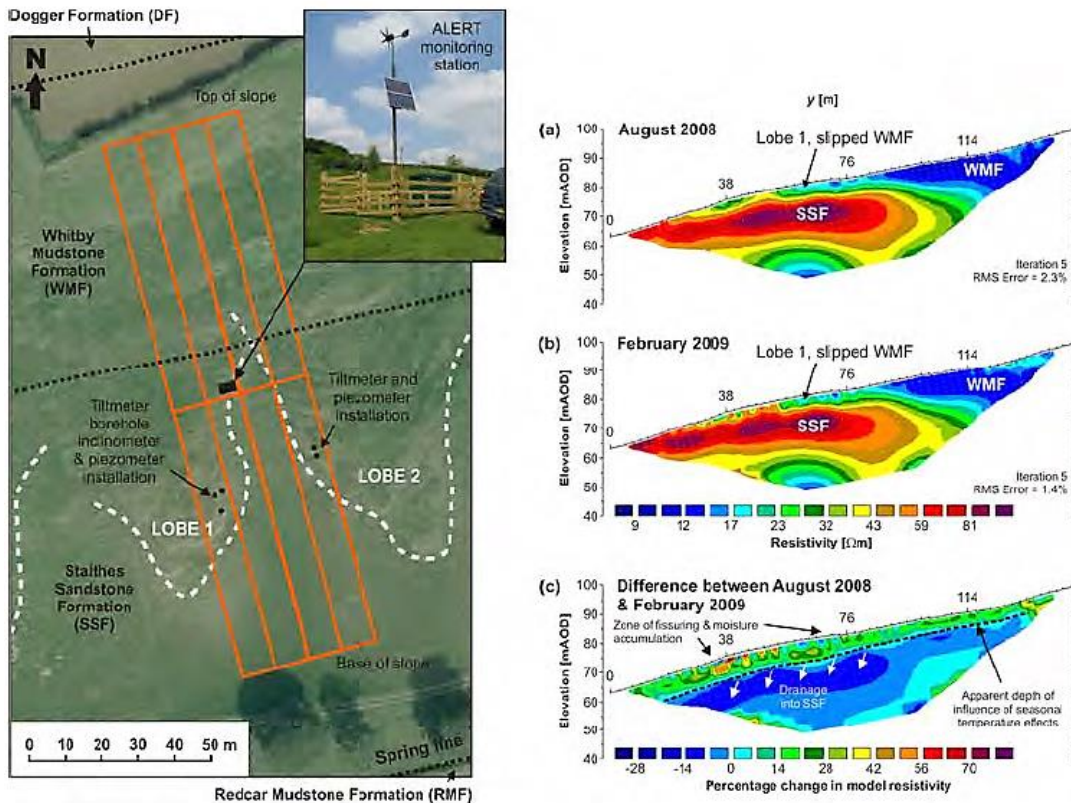
Εικόνα 34: περιοχή Altındağ

Τόσο η ηλεκτρική αντίσταση όσο και οι εικόνες ταχύτητας κυμάτων P δείχνουν πολύ παρόμοια αποτελέσματα και επισημαίνουν τη γεωμετρία της επιφάνειας αστοχίας. Οι χαμηλές πμές ειδικής αντίστασης ( $<100 \Omega m$ ) και οι χαμηλές ταχύτητες (400-1600 m/s) χαρακτηρίζουν το υλικό κατολίσθησης που αποτελείται κυρίως από αργιλικό υλικό με υψηλή περιεκτικότητα σε νερό. Και οι δύο εικόνες ορίζουν με σαφήνεια το στρώμα πάνω από οποίο πραγματοποιείται η κατολίσθηση, το οποίο χαρακτηρίζεται από σταθερές κλασικές πέτρες και από υψηλές αντιστάσεις (100-400  $\Omega m$ ) και υψηλές ταχύτητες (2.000-3.000 m/s).

Η διαδικασία απόκτησης γεωηλεκτρικών δεδομένων κατά διάρκεια του χρόνου ή σε διαφορετικές χρονικές στιγμές έχει πρόσφατα εφαρμοστεί σε περιοχές κατολισθήσεων με σκοπό να δοκιμαστεί ένα νέο ισχυρό εργαλείο για τη χαρτογράφηση των εξαρτώμενων από το χρόνο μεταβολών του περιεχομένου νερού στις ακόρεστες ζώνες. Πρόκειται για μια εξαιρετικά καινοτόμα εφαρμογή που θα μπορούσε να επιτρέψει την χρήση της ERT και κατά τη διάρκεια της φάσης έκτακτης ανάγκης ενός κύκλου καταστροφών λόγω κατολισθήσεων.

Η εικόνα 35 παρουσιάζει τα αρχικά αποτελέσματα του συστήματος ALERT που βρίσκεται σε ενεργή κατολίσθηση στο Malton στο North Yorkshire στο Ηνωμένο Βασίλειο. Συγκεκριμένα, οι μεταβολές της επιφανειακής ειδικής αντίστασης μεταξύ των στατικών συνθηκών που καταγράφηκαν επισημαίνονται προσδιορίζοντας τις αλλαγές των πιμών με το πέρασμα του χρόνου. Οι δύο φορές, τον Αύγουστο του 2008 (t1) και τον Φεβρουάριο του 2009 (t2) επελέγησαν επειδή ανιππροσωπεύουν

μία ξηρή περίοδο ( $t_1$ ) και μια υγρή περίοδο ( $t_2$ ) κατά την οποία σημειώθηκε κίνηση. Η έρευνα κατέληξε στο συμπέρασμα πως μόνο σε μικρά βάθη (5 έως 10 μέτρων) όπου η επίδραση των εποχιακών μεταβολών και της θερμοκρασίας του αέρα είναι ελάχιστη, οι μεταβολές της ειδικής αντίστασης θα μπορούσαν να αποδοθούν στις μεταβολές της περιεκτικότητας σε υγρασία.



Εικόνα 35: Κατολίσθηση στο Malton στο North Yorkshire

### 3.4.3. Συμπεράσματα

Τα αποτελέσματα που αναφέρθηκαν στη βιβλιογραφία και αποκτήθηκαν τα τελευταία δέκα χρόνια από την εφαρμογή της μεθόδου δισδιάστατης και τρισδιάστατης ERT για τη μελέτη αρκετών περιοχών κατολισθήσεων που βρίσκονται σε διαφορετικές περιοχές, μας κάνουν να θεωρήσουμε τη μέθοδο ERT ως ένα πολύ κατάλληλο εργαλείο για τη διερεύνηση κατολισθήσεων, κατά την περίοδο πριν την εκδήλωση του φαινομένου και μετά ενός κύκλου καταστροφών.

Πράγματι, κατά τη διάρκεια της φάσης πριν από την εκδήλωση, οι ανιθέσεις ανιστάσεων που χαρακτηρίζουν την δισδιάστατη ERT καθιστούν δυνατό τον προσδιορισμό της γεωλογικής ρύθμισης του υπεδάφους. Επιτρέπουν τον εντοπισμό μεγάλων περιοχών με παρουσία ύδατος που θα μπορούσαν να

ευθύνονται για γεγονότα επανενεργοποίησης. Στην φάση μετά την εκδήλωση, η δισδιάστατη και τρισδιάστατη ERT μας επιτρέπουν να εντοπίσουμε το σώμα κατολίσθησης παρέχοντας πληροφορίες και για τον όγκο του υλικού που εμπλέκεται στην κίνηση. Οι πληροφορίες αυτές μπορούν να συμβάλουν στον καλύτερο σχεδιασμό μελλοντικών δράσεων πρόληψης.

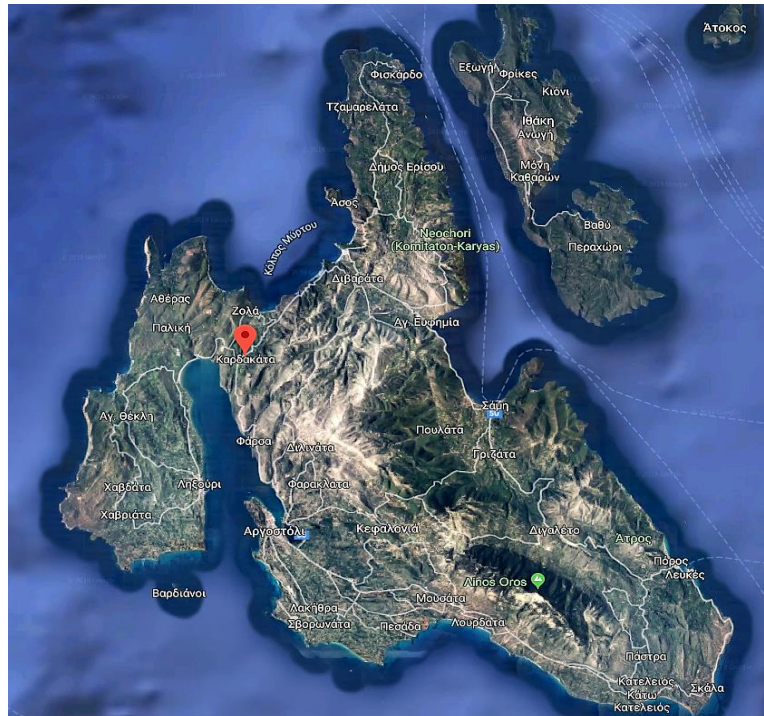
Το μεγαλύτερο μειονέκτημα αυτής της μεθόδου για την ανίχνευση κατολισθήσεων είναι το γεγονός ότι δεν παρέχει συνεχείς τιμές με αποτέλεσμα να την καθιστά ακατάλληλη για την μελέτη της δυναμικής της φύσης κατολισθήσεων. Αυτός είναι επίσης ο λόγος για τον οποίο δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί κατά τη διάρκεια της φάσης έκτακτης ανάγκης ενός κύκλου καταστροφών λόγω κατολισθήσεων. Ευτυχώς, η ανάπτυξη συστημάτων για τη συνεχή απόκτηση ηλεκτρικής αντίστασης και λογισμικού για την αναστροφή των δεδομένων και την απόκτηση τομογραφικών δεδομένων από το χρονοδιάγραμμα ανοίγει το δρόμο για τη δοκιμή αυτής της μεθόδου και κατά τη φάση έκτακτης ανάγκης. Η δυνατότητα χρήσης της ERT για την παρακολούθηση των αλλαγών του περιεχομένου του νερού στα πρώτα στρώματα μιας περιοχής κατολίσθησης θα προσθέσει σημαντικές πληροφορίες κατά τη φάση έκτακτης ανάγκης. Επί του παρόντος, τα προκαταρκτικά αποτελέσματα που ελήφθησαν κατά την εφαρμογή χρονομετρημένης ERT για το σκοπό αυτό είναι πολύ ενθαρρυντικά.

## **4° ΚΕΦΑΛΑΙΟ**

- 4. Γεωφυσική Έρευνα για την στρωματογραφική και τεκτονική ανάλυση του υπεδάφους στην περιοχή Κατοχώρι στην Κεφαλλονιά.**

#### 4.1. Γενικά

Η γεωφυσική έρευνα έλαβε χώρα στον κόλπο της Παλικής στην Κεφαλονιά, στην περιοχή Κατοχώρι. Στόχος των μετρήσεων ήταν η διερεύνηση της στρωματογραφίας και της τεκτονικής του υπεδάφους.



*Εικόνα 36: Η περιοχή Κατοχώρι στην Κεφαλονιά*



*Εικόνα 37: Η περιοχή της έρευνας*

## 4.2. Γεωλογία της περιοχής

### 4.2.1. Γεωλογική δομή Κεφαλονιάς

Στη γεωλογική δομή των νήσων Κεφαλλονιάς και Ιθάκης λαμβάνουν μέρος αλπικοί σχηματισμοί, καθώς και νεότεροι πλειοτεταρτογενείς (μεταλπικοί) σχηματισμοί, οι οποίοι επικάθονται ασύμφωνα στους πρώτους.

#### 1. Αλπικοί σχηματισμοί

Οι αλπικοί σχηματισμοί ανήκουν στις δύο πιο εξωτερικές ενότητες των Ελληνίδων, την ενότητα Παξών, η οποία καταλαμβάνει το μεγαλύτερο τμήμα της Κεφαλλονιάς και είναι σχετικά αυτόχθονη και την Ιόνια ενότητα, η οποία δομεί το νότιο-ανατολικό τμήμα της νήσου και ολόκληρη την νήσο Ιθάκη, είναι δε επωθημένη πάνω στην προηγούμενη.

##### I. Ενότητα Παξών

Στην Κεφαλλονιά εμφανίζονται τα ανώτερα μέλη της ανθρακικής σειράς που αντιστοιχούν στην περίοδο Ανώτερο Ιουρασικό - Κατώτερο Μειόκαινο, καθώς και η αργιλοκλαστική φλυσική σειρά που αποτελεί την προς τα πάνω στρωματογραφική εξέλιξη της ανθρακικής σειράς και καλύπτει το διάστημα Μέσο Μειόκαινο - Κατώτερο Πλειόκαινο.

- i. **Ανθρακική σειρά:** Η ανθρακική σειρά παρουσιάζει μια έντονη διαφοροποίηση στους ιζηματογενείς της χαρακτήρες κατά τη διάρκεια του Κρηδικού, η οποία υποχωρεί κατά το Τριτογενές. Ειδικότερα παρατηρούνται:

Στη χερσόνησο της Παλικής και στη χερσόνησο του Αργοστολίου χαρακτηριστικές φάσεις μιας ιδιαίτερα ρηχής νηρικής πλατφόρμας. Το πάχος των ιζημάτων ξεπερνά τα 1.000 μέτρα για το Άνω Κρηδικό – Παλαιόκαινο και αντιστοιχούν σε λευκούς εστρωμένους ασβεστόλιθους, δολομικούς ασβεστόλιθους, δολομίτες αποσαθρωμένους με όψη κιμωλίας και ίχνη ανάδυσης και βιογενείς - βιοκλαστικούς περιυφαλώδεις ασβεστόλιθους.

- Στο κεντρικό τμήμα της νήσου, φάσεις επίσης ρηχές, αλλά και βαθύτερες που χαρακτηρίζουν το περιθώριο μιας βραχύβιας κρηδικής πλατφόρμας με πάχος ιζημάτων πάνω από 1000 μέτρα μόνο για το Άνω Κρηδικό. Νηρικοί ασβεστόλιθοι, βιοκλαστικοί και μικρικοί ακολουθούμενοι από λευκούς μικρικούς και δολομικούς ασβεστόλιθους μέσο-άνω παλιρροιακής

πλατφόρμας με ίχνη ανάδυσσης και με ενδιαστρώσεις βιοκλαστικών οριζόντων με ρουδιστές και οριζόντων με γαστερόποδα.

- Στην περιοχή της χερσονήσου της Ερισσού και του όρους Καλού, στους βορειοδυτικούς πρόποδες της Αγίας Δυνατής και στις δυτικές πλαγιές του Αίνου επικρατούν πελαγικές φάσεις (της κατωφέρειας και του πυθμένα της υποθαλάσσιας λεκάνης) με πάχη που ξεπερνούν τα 1000 μέτρα για το Ανώτερο Ιουρασικό - Αλβιο. Αναπτύσσονται από εστρωμένους δολομίτες, ασβεστόλιθους και πυριπολίθους. Οι τελευταίοι μεταπίπτουν κατά τη διάρκεια του Αλβίου σε βιοκλαστικούς - λατυποπαγείς ασβεστόλιθους κλιτύς, ενώ κατά θέσεις αναπτύσσονται βιοκλαστικοί περιουφαλώδεις και μικρικκοί ασβεστόλιθοι ρηχής πλατφόρμας. Από το Τουρώνιο μέχρι το Ηώκαινο αναπτύσσονται πελαγικοί λατυποπαγείς και τουρβιδιτικοί ασβεστόλιθοι κλιτύς πάχους έως και 600 μέτρα. Ο πελαγικός χαρακτήρας των ιζημάτων εδραιώνεται κατά το Ανώτερο Ηώκαινο - Ολιγόκαινο.

- ii. **Αργιλο-κλαστική φλυσχική σειρά:** Αποτελεί την κανονική εξέλιξη της κυρίως ανθρακικής σειράς με πάχος που ανέρχεται σε μερικές εκατοντάδες μέτρα. Συμμετέχουν κυρίως μάργες με ενδιαστρώσεις ψαμμιτών, αργίλων, ολιγόμεικτων λατυποπαγών και κροκαλοπαγών. Η σειρά εμφανίζεται στη χερσόνησο Παλικής, στην περιοχή κόλπου Αργοστολίου και όρμου Κατελειού, Ηλικία Λάγγιο – Μεσσήνιο.

## II. **Ιόνιος Ενότητα**

Από το σύνολο των στρωματογραφικών οριζόντων της σειράς στη δομή των δύο νήσων συμμετέχουν μόνο οι ορίζοντες της μεσοζωικής ανθρακικής σειράς. Οι παλαιότεροι σχηματισμοί της ενότητας είναι τριαδικοί εβαπορίτες, υπολειμματικά άστρωτα λατυποπαγή ασβεστόλιθων και δολομιτών και άργιλοι διάλυσης. Πάνω από αυτούς αναπτύσσεται μια νηριπική ανθρακική σειρά που περιλαμβάνει δολομίτες, φυκώδεις ασβεστόλιθους και ασβεστόλιθους με πυριπόλιθους και συνιστά την φάση «Παντοκράτορα» ηλικίας Αν. Τριαδικό - Μέσο Λιάσιο. Ακολουθούν φάσεις "Ammonitico rosso" από ερυθρούς ασβεστόλιθους με αμμωνίτες του Τοαρσίου, ασβεστόλιθοι με πυριπόλιθους και σχιστόλιθοι με Ποσειδώνιες του Δογγερίου και τέλος ασβεστόλιθοι με ή χωρίς πυριπόλιθους, πελαγικοί οι οποίοι γίνονται λατυποπαγείς προς την κορυφή της σειράς, ηλικίας Κρηπιδικού. Σχηματισμοί νεότεροι του Μεσοζωϊκού ίσως να υπάρχουν με τη μορφή τεκτονικών ρακών.



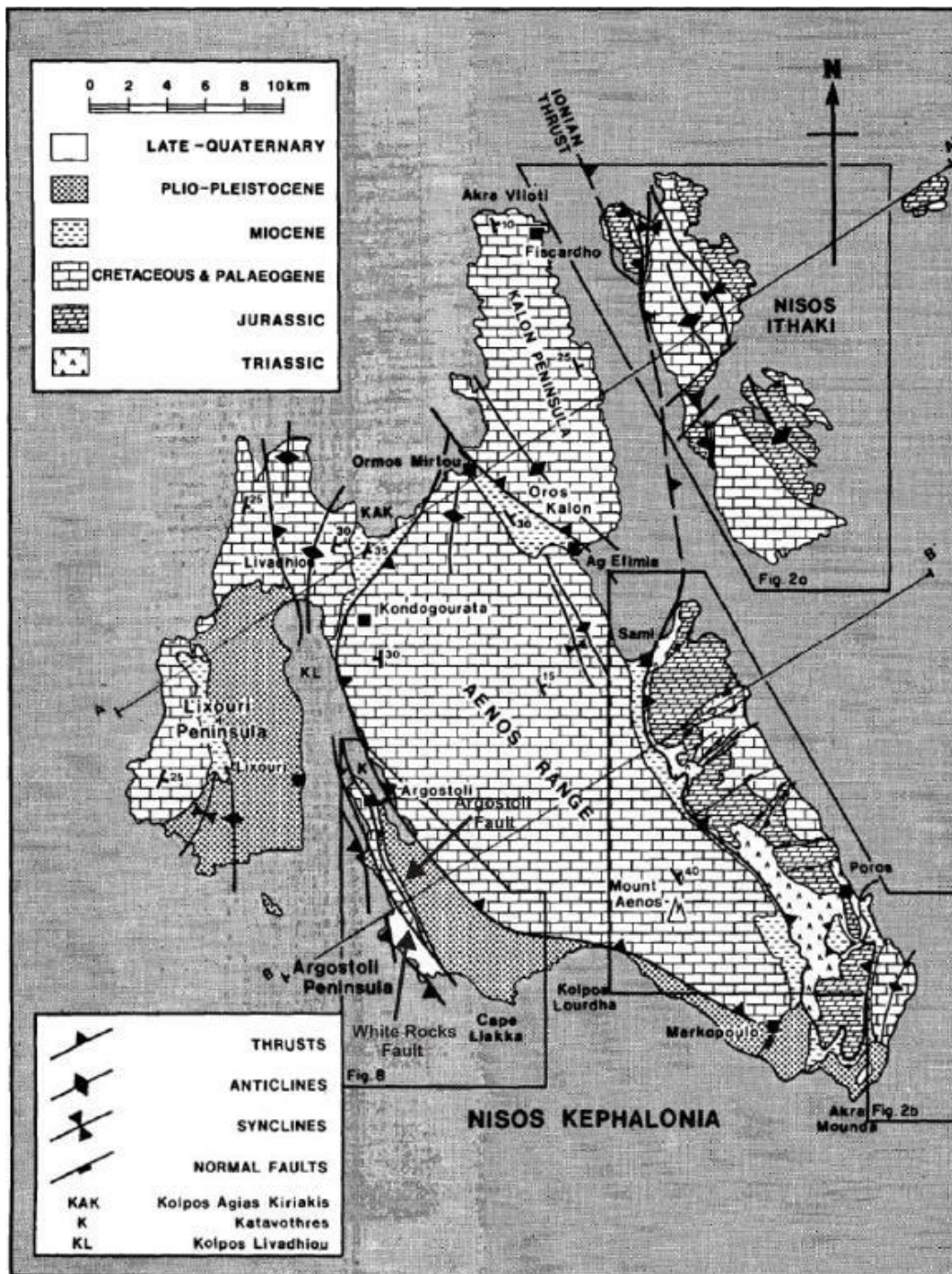
## **2. Μεταλπικοί σχηματισμοί**

Οι μεταλπικοί σχηματισμοί είναι ασύμφωνα τοποθετημένοι στους προγενέστερους αλπικούς σχηματισμούς. Διακρίνεται μια κατώτερη σειρά θαλάσσιων ιζημάτων ηλικίας Κατώτερου Πλειόκαινου - Κατώτερου Πλειστοκαίνου (ΓΕΩΡΓΙΑΔΟΥ-ΔΙΚΑΙΟΥΛΙΑ, 1965) και μια ανώτερη σειρά αποθέσεων ηπειρωτικού κυρίως χαρακτήρα, οι οποίες είναι ασύμφωνα τοποθετημένες πάνω στις προηγούμενες (Μέσο, Ανώτερο Πλειστόκαινο - Ολόκαινο) (BP Co. 1971, UNDERHILL 1985, 1989. κ.ά.).

- I. **Πλειο-Καλάβρια σειρά:** Πρόκειται για μια θαλάσσια σειρά που αναπτύσσεται επικλυσίγενώς επί των σχηματισμών της ενότητας Παξών. Το πλάτος εμφάνισης κυμαίνεται μεταξύ 2 και 10 χλμ. περίπου, ενώ το πάχος της μεταξύ 200 και 500 μέτρα. Η σειρά αυτή περιλαμβάνει στη βάση της (Κατ. Πλειόκαινο) ορίζοντες ολιγόμεικτων κροκαλοπαγών και λατυποπαγών, συμφυρματοπαγών ασβεστολίθων και συμπαγών ασβεσταρενίτων, στο ενδιάμεσο τμήμα της, ηλικίας Μέσου - Ανώτερου Πλειόκαινου, κυανές και κίτρινες μάργες με ιλυόλιθους, ενδιαστρώσεις ψαμμιτών, ασβεστολιθικών άμμων, κροκαλοπαγών και στο ανώτερο τμήμα της, ηλικίας Κατ. Πλειστοκαίνου - Καλαβρίου, επίσης μάργες μέσα στις οποίες παρεμβάλλονται ενδιαστρώσεις ασβεστολιθικών άμμων και στη συνέχεια χονδρόκοκκοι ασβεσταρενίτες απόσυρσης (BP Co., 1971).
- II. **Σχηματισμοί Μέσου-Ανώτερου Πλειστόκαινου-Ολόκαινου.** Εμφανίζονται κυρίως στη χερσόνησο του Αργοστολίου-αεροδρομίου. Πρόκειται για σχηματισμούς ηπειρωτικού, σπάνια θαλάσσιου χαρακτήρα. Διακρίνονται σε:
  - i. Λατυποπαγή πλαγιάς. Στις πλαγιές του βυθίσματος μεταξύ των χωριών Αγκώνα-Κοντογουράτα και Ζόλα καθώς και στον όρμο της Αγίας Κυριακής αναπτύσσονται, ασύμφωνα πάνω στις μειοκαινικές μάργες, λατυποπαγή του Μινδέλιου, που τα κατώτερα τους μέλη περικλείουν ασβεστολιθικά τεμάχια μέσα σε ένα κόκκινο ασβεστολιθικό ή ασβεσπικό συγκολλητικό υλικό.
  - ii. Θαλάσσιοι ασβεσταρενίτες. Εμφανίζονται σε πολλές παράκτιες κυρίως περιοχές του νησιού με τη μορφή μικρού πάχους θαλάσσιων ασβεσταρενιτών επίκλυσης με διασταυρωμένες στρώσεις και κατά τόπους βασικό κροκαλοπαγές. Η ηλικία τους είναι Παλαιο - Μιλάτσια (Μέσο Πλειστόκαινο).

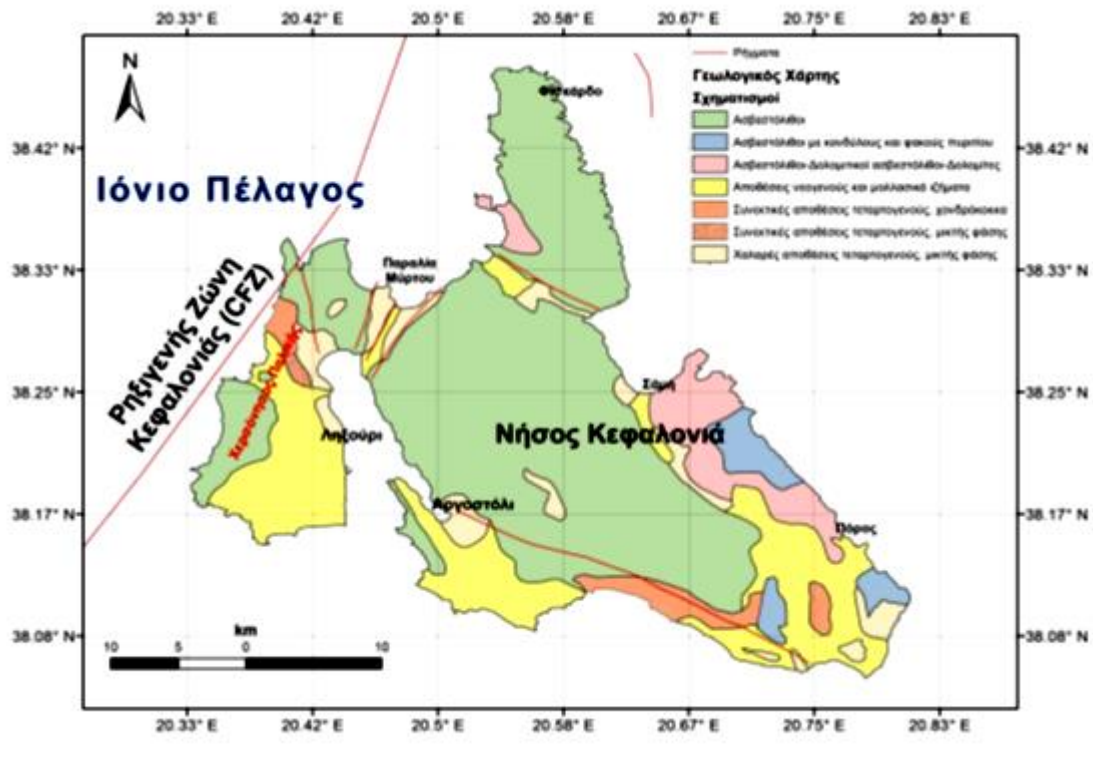
- iii. Μεσοπαγετώδεις αποθέσεις Μινδέλιου-Ρήσιου. Πρόκειται για προϊόντα καρσπικοποίησης και εξαλλοίωσης ασβεστόλιθων που εμφανίζονται με τη μορφή αργίλων απασβέσπωσης μέσα σε δολίνες.
- iv. Κώννοι κορημάτων Ρήσιου. Τυπικές αποθέσεις παγετώδους περιόδου, περιόδου ρηξιστασίας, που αποτίθενται λόγω διάβρωσης στους πρόποδες των πλαγιών. Η βάση αυτών των κώννων αποτελείται από κόκκινες αργίλους με πυρίτιο και τεμάχια των υποκείμενων εξαλλοιωμένων θαλάσσιων ασβεστοαρενετών.

Σύγχρονοι σχηματισμοί βρίσκονται διάσπαρτοι σε πολλά σημεία του νησιού. Στην περιοχή του αεροδρομίου και δυτικά-νοτιοδυτικά της Σκάλας απαντούν μικρού πάχους κόκκινοι αργιλικοί άμμοι ηπειρωτικής προέλευσης καθώς και παράκτια κροκαλοπαγή και κόκκινες ασβεστολιθικές κρούστες, που είναι πιθανώς Βούρμιας ηλικίας. Στους δυτικούς πρόποδες του Αίνου εμφανίζονται με τη μορφή πλευρικών κορημάτων και κώννων προσχώσεων χειμάρρων.



Εικόνα 38: Απλοποιημένος τεκτονοστρωματογραφικός χάρτης της νήσου Κεφαλονιάς (Underhill, 1989). Thrusts: ανάστροφα ρήγματα Anticlines: αντίκλινα Synclines: σύγκλινα Normal Faults: κανονικά ρήγματα KAK: Κόλπος Αγίας Κυριακής K: Καταβόθρες KL: Κόλπος Λιβαδίου Cape

#### 4.2.2. Νεοτεκτονική Δομή των νήσων Κεφαλονιάς – Ιθάκης



Εικόνα 39: Γεωλογική Δομή Κεφαλονιάς (Σχέσεις Και Αλληλεπιδράσεις Υπόγειων Νερών Και Φυσικών Καταστροφικών Φαινομένων, με Έμφαση στους Σεισμούς και στη Ρευστοποίηση Εδαφών, Μιχαλάκη Αικατερίνη, 2016)

Η δομή των νήσων Κεφαλονιάς και Ιθάκης είναι αποτέλεσμα της επίδρασης μιας σειράς διαδοχικών τεκτονικών παραμορφωτικών επεισοδίων κυρίως συμπιεστικού χαρακτήρα, τα οποία όμως έχουν διακοπεί από περιόδους κατά τις οποίες παρατηρείται μια αποσυμπίεση των πετρωμάτων και επίδραση της βαρύτητας, φαινόμενα που αντιστοιχούν σε ένα καθεστώς εφελκυσμού.

Οι κύριες τεκτονικές μορφές που δημιουργήθηκαν κατά τη φάση της αλπικής παραμόρφωσης των νήσων, συνδέονται γενετικά με την τοποθέτηση του καλύμματος της Ιόνιας ενότητας πάνω στην ενότητα Παξών κατά το Κατώτερο Πλειόκαινο και είναι:

- I. Ανάστροφα ρήγματα με διεύθυνση είτε ΒΔ-ΝΑ, είτε ΝΔ-ΒΑ και ανοικτές πτυχές με άξονες που παρουσιάζουν ίδιο προσανατολισμό μέσα στην ενότητα Παξών, τα οποία θεωρούνται ως παλαιότερες συζηματογενείς τεκτονικές δομές που κατά την περίοδο της ιζηματογένεσης καθόριζαν τις διάφορες παλαιογεωγραφικές περιοχές της Προαπούλιας πλατφόρμας. Σε ορισμένα από αυτά τα ρήγματα (ρήγμα Αγίας Ευφημίας ΝΔ του όρους Καλό,

ρήγμα Αίνου) παρατηρείται και μια οριζόντια συνιστώσα κίνησης εκτός από την αμιγώς εφιππευτική.

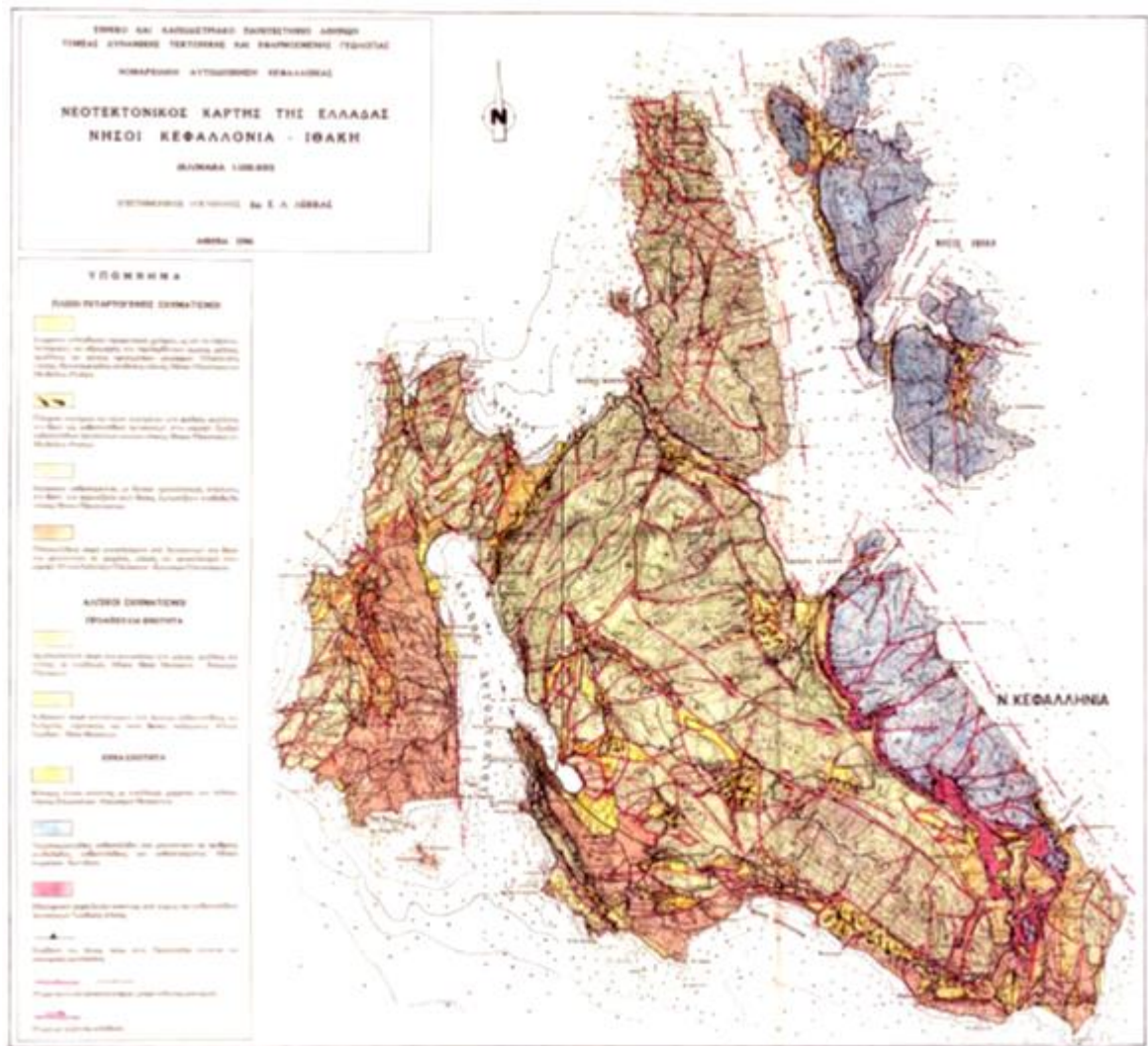
- II. Εφιππεύσεις, αντίκλινα εφιππευσης και ανικλινικά δίδυμα εφιππευσης με διεύθυνση ΒΔ-ΝΑ.
- III. Ρήγματα βαρύτητας με διευθύνσεις ΒΑ-ΝΔ και Α-Δ μέσα στην Ιόνια ενότητα. Αξονικά επίπεδα πτυχών και εφιππεύσεις είναι παράλληλα με την κύρια τεκτονική επαφή (επώθηση) της Ιόνιας ενότητας πάνω στην ενότητα Παξών. Στις προηγούμενες τεκτονικές δομές του Κατ. Πλειόκαινου προστίθενται στη συνέχεια οι νεότερες δομές που συνδέονται με τα παραμορφωτικά επεισόδια του Πλειο-Πλειστοκαίνου (νεοτεκτονικές δομές).

Οι νεοτεκτονικές δομές ανηπρωσώπυονται κυρίως από τα ρήγματα, τα οποία τέμνουν ή οριοθετούν όλους ανεξαιρέτως τους γεωλογικούς σχηματισμούς και τα και αλπικές δομές. Πρόκειται για μια μεγάλη ποικιλία ρηγμάτων με άλμα από μερικά μέτρα έως μερικές δεκάδες μέτρα τόσο με κατακόρυφη όσο και με οριζόντια συνιστώσα ολίσθησης.

Τα ρήγματα που αναγνωρίστηκαν και τα οποία αποδεικνύεται πως έχουν επαναδραστικοποιηθεί ή δημιουργηθεί κατά την Πλειο-Τεταρτογενή περίοδο κατατάσσονται κατά σειρά ενεργότητας σε εφιππεύσεις και ανάστροφα, οριζόντια ολίσθησης και τέλος κανονικά. Συγκεκριμένα παρατηρούνται:

- ❖ Αναζωπυρώσεις παλαιότερων σημαντικών τεκτονικών δομών, κυρίως εφιππεύσεων και ανάστροφων ρηγμάτων (Αίνου, Αργοστολίου, Κοντογουράτων Αγκώνα, Αγίας Ευφημίας, Ασπρογέρακα-Παλαιάς Σκάλας, Παλαιόκαστρο, περιθωρίου Ζακύνθου-Κεφαλλονιάς), αλλά και δημιουργία νεότερων, πολύ χαρακτηριστικών στη περιοχή κυρίως της χερσονήσου Αργοστολίου (Ακρωτήριο Λαρδηγός, Ξενοδοχείο Mediterranee, Ξενοδοχείο White Rocks, απόκρημνες παραλίες ΝΔ από το χωριό Μηνιές, περιοχή αεροδρομίου). Πολλά από τα παραπάνω ρήγματα, παλαιότερα και νεότερα, παρουσιάζουν και μία οριζόντια συνιστώσα κίνησης γεγονός που τα κατατάσσει στα πλαγιοανάστροφα και στις πλαγιοεφιππεύσεις (Αίνου, Αγίας Ευφημίας, Ζακύνθου-Κεφαλλονιάς). Ρήγματα με καθαρή οριζόντια ολίσθηση (strike slip) δρύνε αυτή τη περίοδο (Μηνιές, Φραγκάτα, Καμπούλια, Παλαιόκαστρο, χερσόνησος Παλικής) αλλά είναι μικρότερης σημασίας.

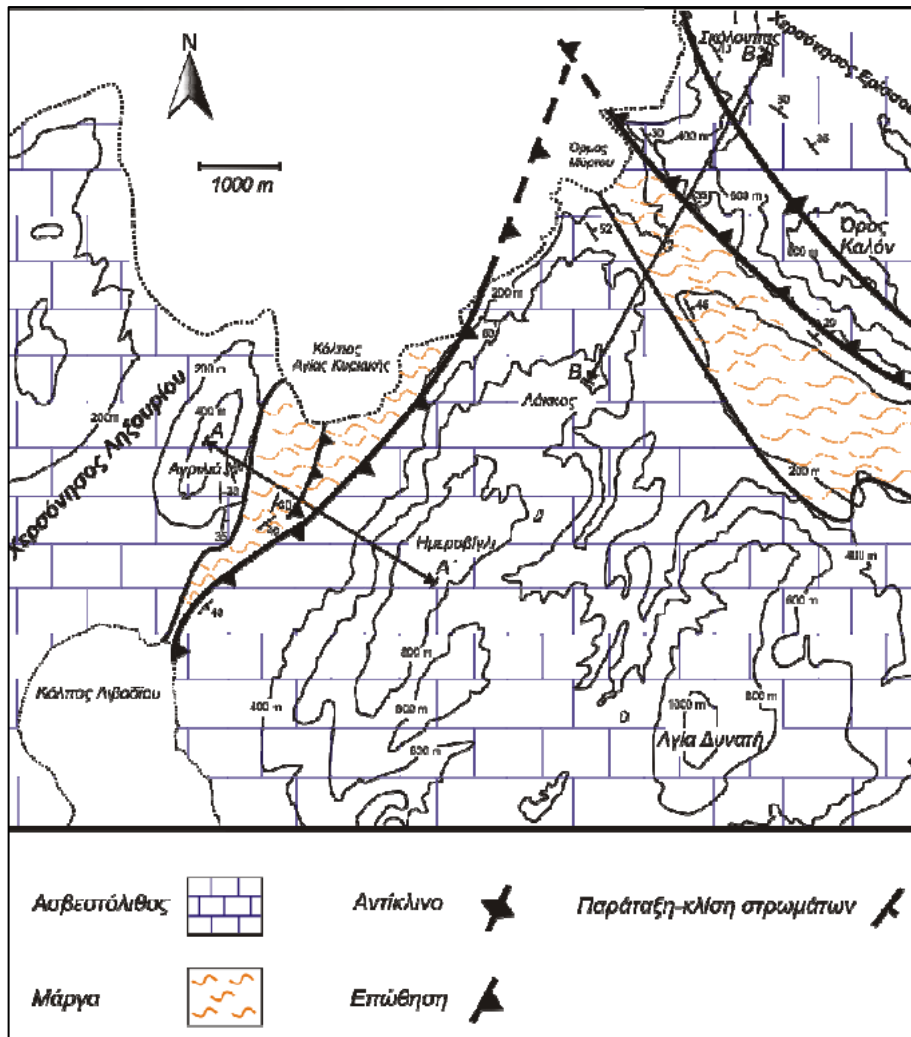
- Τέλος κανονικά ρήγματα, διαπιστώθηκε με βεβαιότητα ότι έδρασαν εκ νέου στη ΝΑ απόληξη του Αίνου (τεκτονικό βύθισμα στο χωριό Αργίνια) (Underhill 1989).
- ❖ Επαναδραστηριοποιήσεις και ανορθώσεις παλαιότερων κατωπλειοκαινικών πτυχώσεων (αντίκλινο Αίνου, Αργοστολίου-Μηνιών. Μεγάλης Ράχης, Κοντογουράτων, Καλού, χερσονήσου Παλικής) αλλά και δημιουργία νεότερων με κάποια απόκλιση από τις παλαιότερες διευθύνσεις (σύγκλινο κόλπου Αργοστολίου, Αηλιά - Κουσουμπάρδι, αεροδρομίου) (Underhill 1989).
  - ❖ Ανυψώσεις γραμμών ακτών που τοπικά μπορούν να φθάνουν ως και 100 μέτρα ύψος όπως παρατηρείται για την παλαιοακτή του Κατώτερου Πλειστοκαίνου στην χερσόνησο Αργοστολίου (Μηνιές).
  - ❖ Έντονη κατά βάθος διάβρωση των δομών που δημιούργησαν οι τεκτονικές παραμορφωτικές φάσεις του Κατώτερου Πλειόκαινου και Πλειστοκαίνου. Τα φαινόμενά της εντοπίζονται κυρίως στις Δ και ΝΔ πλευρές των μορφολογικών εξάρσεων (όρος Αίνος, όρος Καλό, Χερσόνησος Παλικής) εκεί όπου διέρχονται οι σημαντικές τεκτονικές δομές και εκτελείται η μεγαλύτερη κίνηση, παραμόρφωση και κατακερματισμός των πετρωμάτων.
  - ❖ Μετατοπίσεις του υδρογραφικού δικτύου, από τον νότο (περιοχή Πάστρα και Παλαιάς Σκάλας, βύθισμα Κατελειού) προς τα Α και ΒΑ (Πόρος), λόγω των σημαντικών κινήσεων που έλαβαν χώρα αυτή την περίοδο. Αυτό είχε σαν αποτέλεσμα επίσης την πλήρη διάβρωση των πλειοπλειστοκαινικών ιζημάτων προς τα βόρεια του νησιού έτσι ώστε να μην απαντώνται σήμερα βορειότερα του Ασπρογέρακα (ΝΑ Κεφαλλονιά).



Εικόνα 40: Νεοτεκτονικός Χάρτης της νήσου Κεφαλονιάς και Ιθάκης

#### 4.2.3. Γεωλογική δομή κόλπου Ληξουρίου-Αγίας Κυριακής

Η νεογενής απόθεση της Αγίας Κυριακής εμφανίζεται μεταξύ των βουνών Λάκκος και Ημεροβίγλι στα ανατολικά και Αγρίλια στα δυτικά. Με την απόθεση αυτή ενώνεται ο κύριος κορμός της Κεφαλονιάς με την χερσόνησο του Ληξουρίου. Η απόθεση έχει γενική διεύθυνση ΒΑ-ΝΔ και κλίση περί τις  $50^\circ$  και όπως φαίνεται στη γεωλογική τομή ΑΑ' (εικόνα 43) τοποθετεί τεκτονικά ασβεστόλιθους Κρηπιδικής –Παλαιογενούς ηλικίας επί των Μειοκαινικών μαργών. Στην οροφή της απόθεσης οι Κρηπιδικοί-Παλαιογενείς ασβεστόλιθοι παρουσιάζουν κλίσεις  $40^\circ$  έως  $50^\circ$  και διευθύνσεις κλίσεως που κυμαίνονται από ΝΑ έως ΝΝΑ (εικόνες 42 και 43). Στη βάση της απόθεσης οι Μειοκαινικές μάργες εμφανίζουν κλίσεις  $30^\circ$  έως  $40^\circ$  και διευθύνσεις κλίσεως που κυμαίνονται από ΝΑ έως ΑΝΑ (εικόνες 42 και 43).

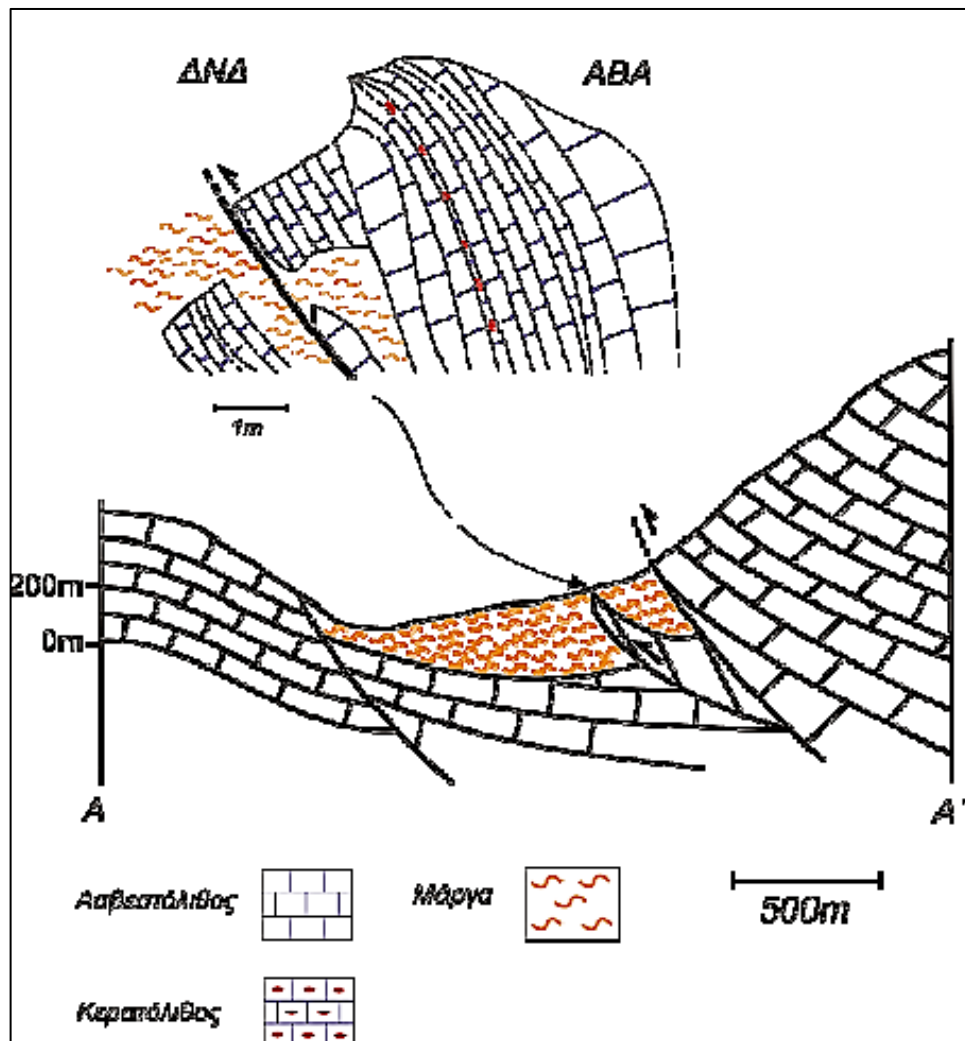


Εικόνα 41: Γεωλογικός - Τεκτονικός χάρτης του βορειοδυτικού τμήματος της νήσου Κεφαλονιάς, στον οποίο απεικονίζονται οι κύριες αποθέσεις στον Όρμο Μύρτου και στον Κόλπο Αγίας Κυριακής (Τεκτονική Ανάλυση των δύο μεγάλων επωθήσεων στις περιοχές Όρμου Μύρτου και Κόλπου Αγίας Κυριακής στο Βόρειο τμήμα της νήσου Κεφαλονιάς, Άγγελου Καπατσώρη, 2012).

Οι Μειοκαινικοί μαργαϊκοί σχηματισμοί στη βάση της επώθησης της Αγίας Κυριακής έχουν αποτεθεί σε μια επιμήκη λεκάνη ΒΑ-ΝΔ διεύθυνσης παράλληλα με την απόθεση. Η βάση της μαργαϊκής λεκάνης αποτελείται από ήπια κεκλιμένους ασβεστόλιθους Κρηπιδικής–Παλαιογενούς ηλικίας. Το πάχος των μαργαϊκών ιζημάτων κυμαίνεται από λίγα μέτρα στο ΝΔ τμήμα όπου η λεκάνη φαίνεται να αποσφηνώνεται (εικόνα 41) και φτάνει περίπου τα 250-300 μέτρα στο ΒΑ τμήμα στην ακτή του κόλπου (εικόνας 41 και 42). Φαίνεται επίσης ότι η λεκάνη εκτείνεται και στο θαλάσσιο χώρο του κόλπου της Αγίας Κυριακής και ως εκ' τούτου είναι πιθανό ότι το μέγιστο πάχος των ιζημάτων είναι μεγαλύτερο από το παρατηρούμενο πάχος των 250-300 μέτρων. Σύμφωνα με τη γεωλογική τομή ΑΑ' (εικόνα 42) η



απόθεση της Αγίας Κυριακής πιθανά φέρει δύο κλάδους, τον κύριο ο οποίος περιγράφηκε ήδη και έναν δευτερεύων ο οποίος φέρνει στην επιφάνεια ασβεστόλιθους μέσα στην μαργαϊκή λεκάνη. Η θέση του δεύτερου κλάδου, η ύπαρξη του οποίου πιστοποιείται με την παρατήρηση ασβεστολίθων στην παραλία της Αγίας Κυριακής, παρουσιάζεται ως λεπτομερής γεωλογική τομή στο επάνω μέρος της εικόνας 42. Στη θέση αυτή ο επωθούμενος σχηματισμός αποτελείται από ασβεστόλιθους με κερατολιθικές παρενστρώσεις και χαρακτηρίζεται από έντονες κλίσεις της τάξεως των 70-80°.



Εικόνα 42: Γεωλογική τομή AA' στην οποία φαίνονται οι δύο κλάδοι της απόθεσης της Αγίας Κυριακής, οι κλίσεις των στρωμάτων καθώς και λεπτομέρεια του ασβεστολιθικού σχηματισμού ο οποίος εμφανίζεται στην παραλία της Αγίας Κυριακής. (Τεκτονική Ανάλυση των δύο μεγάλων επωθήσεων στις περιοχές Όρμου Μύρτου και Κόλπου Αγίας Κυριακής στο Βόρειο τμήμα της νήσου Κεφαλονιάς, Άγγελου Καπατσώρη, 2012).

## 4.3. Γεωφυσική Έρευνα

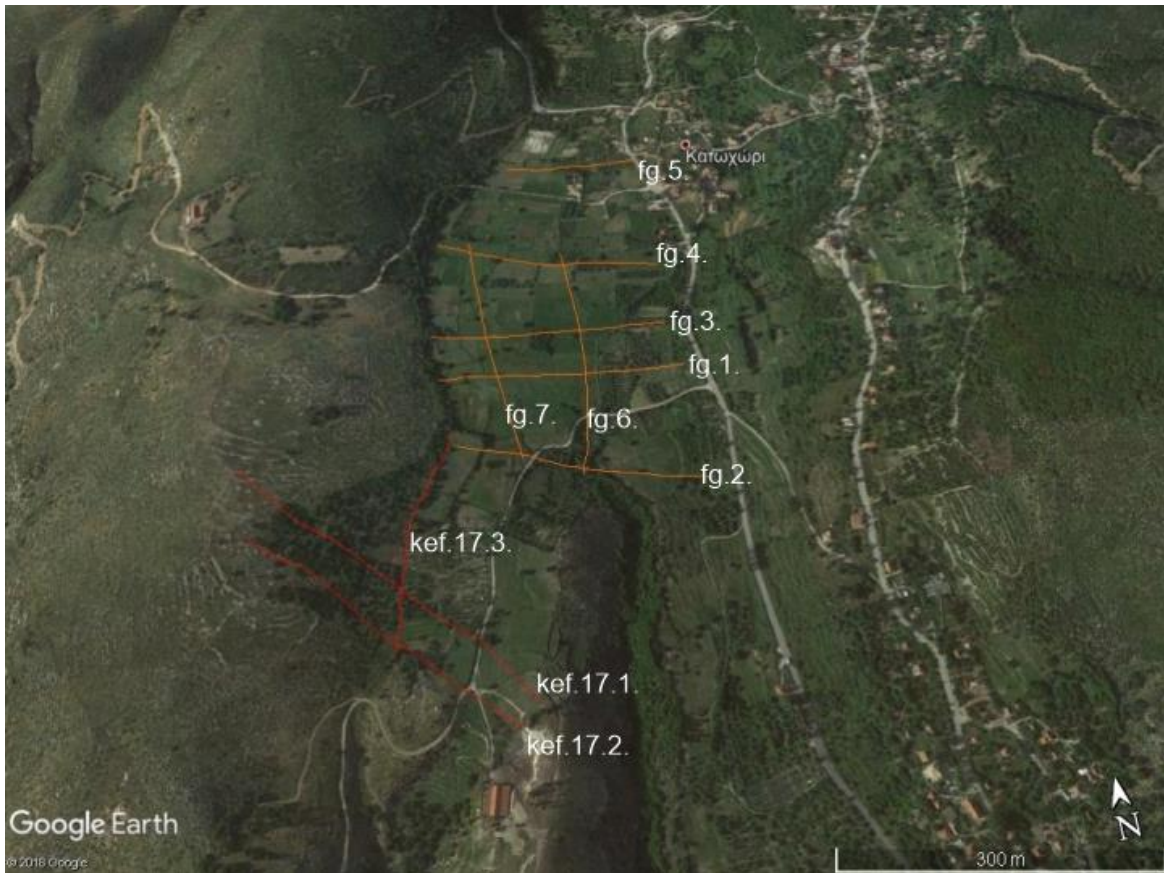
### 4.3.1. Μέθοδος γεωφυσικής έρευνας

Η μέθοδος της Ειδικής Ηλεκτρικής Αντίστασης επιλέχθηκε για την στρωματογραφική και τεκτονική έρευνα στην περιοχή, ακολουθώντας την πείρα από παρόμοιες περιπτώσεις της διεθνούς βιβλιογραφίας.

Το εργαστήριο της Γεωφυσικής πραγματοποίησε 3 γεωηλεκτρικές τομές, με διάταξη ηλεκτροδίων Dipole-Dipole και Schlumberger στην περιοχή Κατοχώρι, στον κόλπο της Παλικής στην Κεφαλλονιά. Παράλληλα, έγινε εκτίμηση αποτελεσμάτων από 7 γεωηλεκτρικές τομές που είχαν λάβει χώρα στην περιοχή από την εταιρεία Fugro σε προηγούμενο χρονικό διάστημα, με τη χρήση της διάταξης Wenner σε βορειότερο σημείο από τις γεωηλεκτρικές τομές του εργαστηρίου.



*Εικόνα 43: Γεωηλεκτρική τομή Εργαστηρίου Γεωφυσικής-Κ1*



Εικόνα 44: Γεωηλεκτρικές τομές Εργαστηρίου Γεωφυσικής & Fugro

#### 4.3.2. Επεξεργασία μετρήσεων

Αφού ολοκληρώθηκε η διαδικασία λήψης των μετρήσεων στην ύπαιθρο, τότε έγινε η ανάλυση και η επεξεργασία των μετρήσεων, δηλαδή των γεωηλεκτρικών τομών.

Για την ερμηνεία των μετρήσεων της γεωηλεκτρικής τομογραφίας χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα Res2dinv (Loke and Barker, 1996). Το πρόγραμμα αυτό μας δίνει τη δυνατότητα διαφόρων παραμέτρων ερμηνείας.

Για την επεξεργασία των αποτελεσμάτων επιλέξαμε την ρύθμιση «use model refinement» με την οποία το πρόγραμμα δημιουργεί επιπλέον μετρήσεις στο μέσο της απόστασης των ηλεκτροδίων. Αυτό συνεπάγεται πως το μοντέλο θα έχει ως απόσταση ηλεκτροδίων τα 2,5 μέτρα και θα μπορεί να διακρίνει με μεγαλύτερη λεπτομέρεια το υπέδαφος.

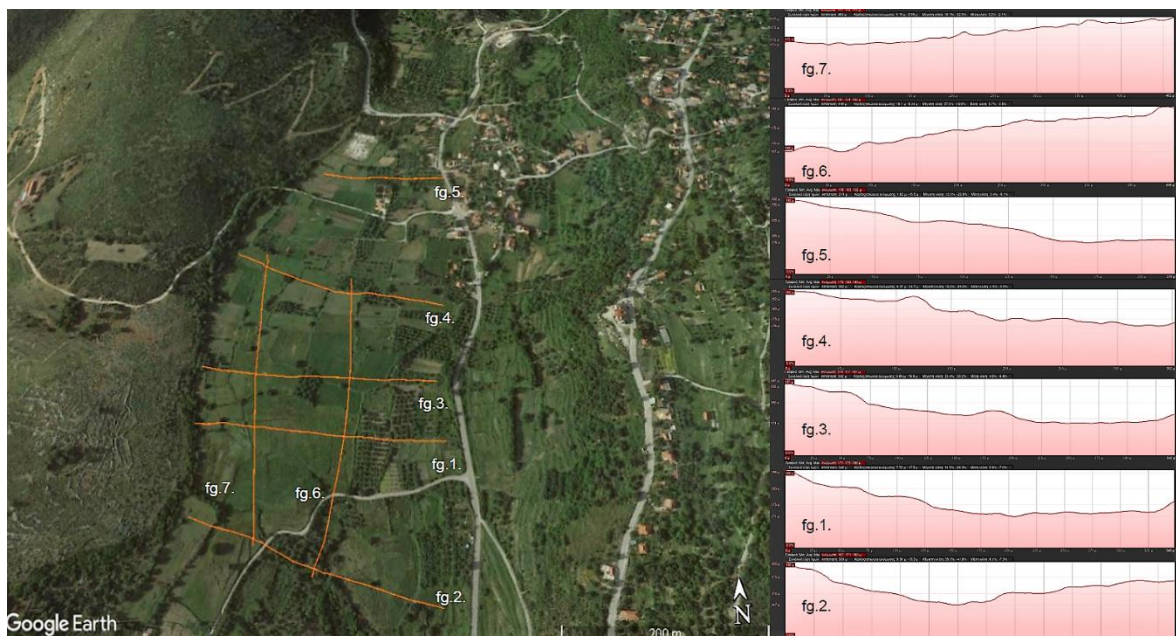
Για την δημιουργία του μοντέλου κατά την αντιστροφή των μετρήσεων (inversion) επιλέχθηκαν οι εξής διαδικασίες ερμηνείας:

- Robust-Robust (RR): Με αυτή την επιλογή έχουμε ερμηνεία μετρήσεων όπου οι παράμετροι του γεωηλεκτρικού μοντέλου μεταβάλλονται δίνοντας έμφαση σε απότομες αλλαγές στις τιμές της ειδικής αντίστασης και στην παρουσία «θορύβου» στις μετρήσεις.
- Robust-Standard (RS): Με αυτή την επιλογή έχουμε ερμηνεία όπου οι παράμετροι του γεωηλεκτρικού μοντέλου μεταβάλλονται δίνοντας έμφαση στην παρουσία «θορύβου» στις μετρήσεις.

#### 4.3.3. Γεωφυσική έρευνα Fugro

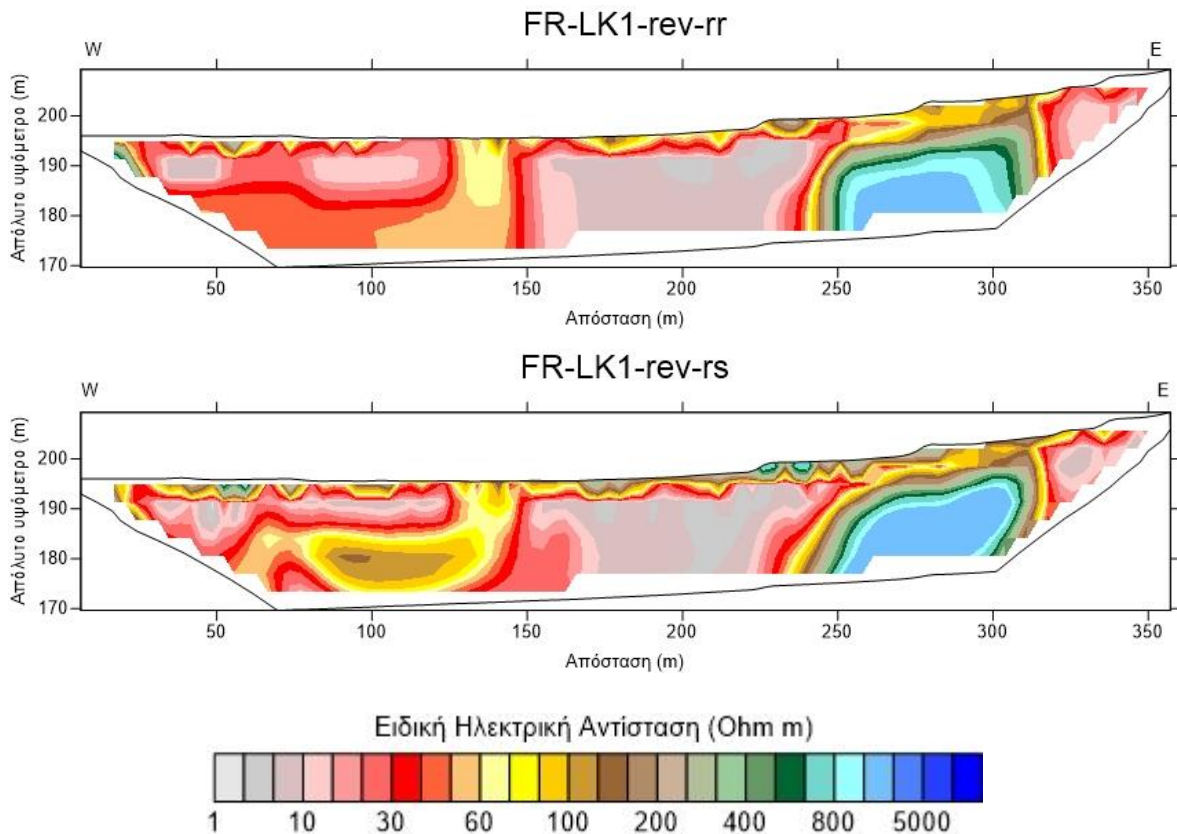
Η περιοχή στην οποία πραγματοποιήθηκαν οι μετρήσεις της Fugro βρίσκεται βορειότερα της περιοχής όπου έλαβαν χώρα οι γεωηλεκτρικές τομές του εργαστηρίου Γεωφυσικής. Στις μετρήσεις πραγματοποιήθηκε λήψη δεδομένων με την μέθοδο Wenner. Η απόσταση των ηλεκτροδίων σε όλες τις μετρήσεις ήταν 5 μέτρα.

Συνοπτικά, οι fg.1, fg.3 και fg.5 έχουν μήκος 370, 350 και 230 μέτρα αντίστοιχα με δυτικό-ανατολικό προσανατολισμό, η fg.2 και η fg.4 έχουν 375 και 385 μέτρα μήκος με βορειοδυτικό-νοτιοανατολικό προσανατολισμό και τέλος η fg.6 και η fg.7 έχουν μήκος 470 και 475 μέτρα με βόρειο-νότιο προσανατολισμό.



Εικόνα 45: Γεωηλεκτρικές τομές Fugro & τοπογραφικό ανάγλυφο

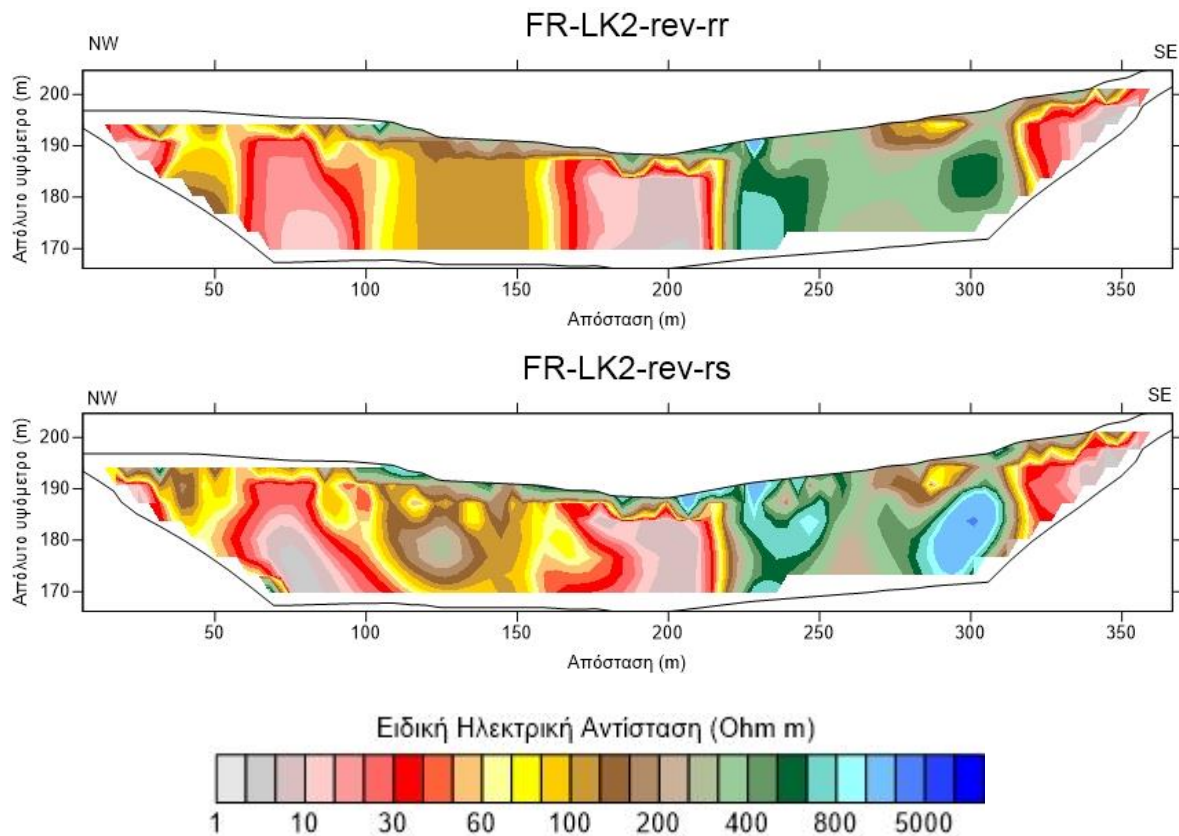
#### 4.3.3.1. Αποτελέσματα Μεθόδου Ειδικής Ηλεκτρικής Αντίστασης-Fugro



Εικόνα 46: Γεωηλεκτρική τομή FR-LK1-rev, με διεύθυνση δυτικά-ανατολικά. Επάνω είναι η γεωηλεκτρική τομή με επεξεργασία Robust-Robust και κάτω η γεωηλεκτρική τομή με επεξεργασία Robust-Standard.

#### Ερμηνεία-Σχόλια:

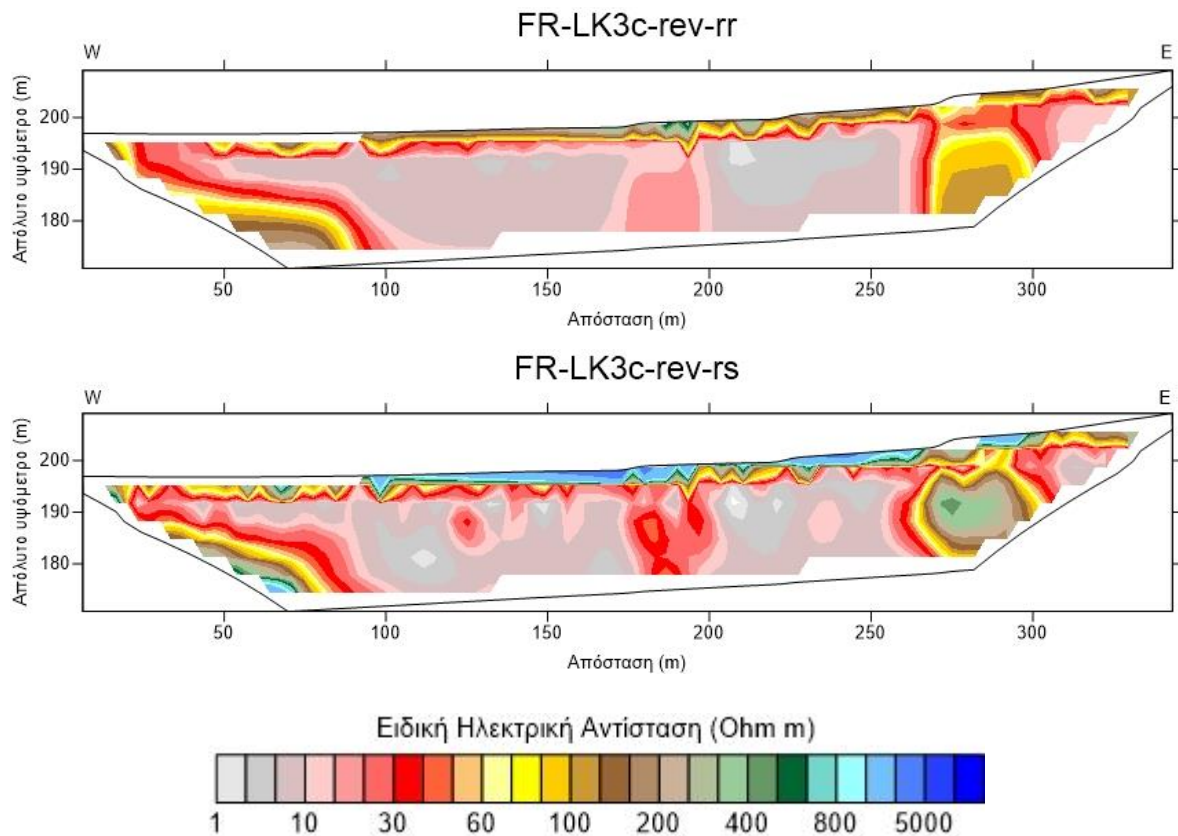
1. Ο ασβεστόλιθος (<1.000 Ohm) εμφανίζεται στο διάστημα 250-300 μέτρων από τα δυτικά και σε 20 μέτρα βάθος από την επιφάνεια του εδάφους.
2. Στο υπόλοιπο μέρος της τομογραφίας καταγράφονται μάργα, αργιλικά και λεπτόκοκκα υλικά (<50 Ohm), ενώ στο διάστημα 100-150 μέτρων παρατηρείται η ύπαρξη ψαμμίτη ή αδρομερών (<80-90 Ohm) όπου επεκτείνονται προς τα δυτικά κάτω από το στρώμα των αργιλικών. Το σημείο επαφής των παραπάνω υλικών με τον ασβεστόλιθο παρατηρείται πως είναι σχετικά κάθετο, πιθανόν ως αποτέλεσμα τεκτονικής δραστηριότητας.
3. Το επιφανειακό στρώμα αποτελείται κυρίως από αργιλικά, ενώ οι μεγαλύτερες πμές οφείλονται πιθανόν σε αδρομερή.
4. Σχετικά με τις επεξεργασίες της γεωηλεκτρικής τομής, προκύπτει πως η επεξεργασία rs αποτυπώνει πιο φυσικά την στρωματογραφία.



*Εικόνα 47: Γεωηλεκτρική τομή FR-LK2-rev, με διεύθυνση δυτικά-ανατολικά. Επάνω είναι η γεωηλεκτρική τομή με επεξεργασία Robust-Robust και κάτω η γεωηλεκτρική τομή με επεξεργασία Robust-Standard.*

#### Ερμηνεία-Σχόλια:

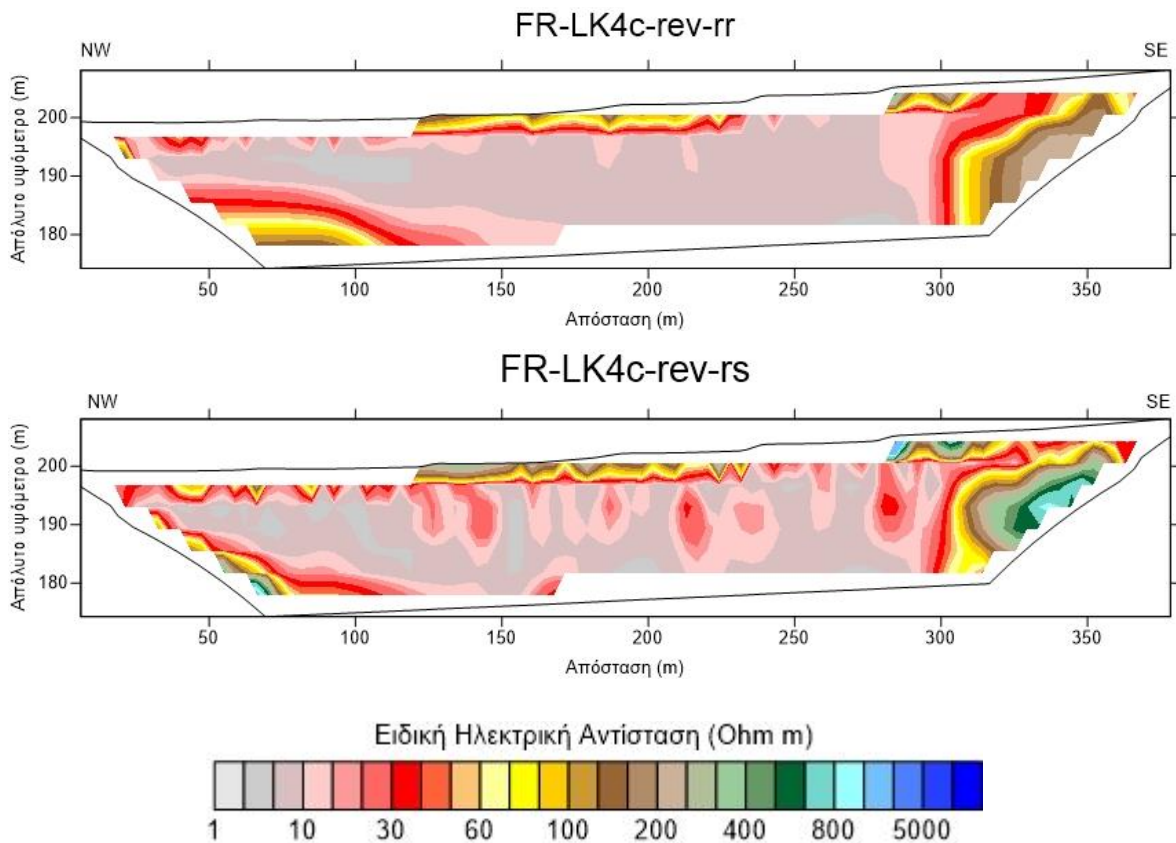
1. Στο διάστημα 60-100 και 160-220 μέτρων υπάρχει εναλλαγή στρωμάτων αργίλου, μάργας και λεπτόκοκκων υλικών (<50 Ωm), τα οποία στην συνέχεια συναντάνε κάθετα τον ασβεστόλιθο (220-320 μέτρα, <500-700 Ωm), πιθανόν λόγω ρήγματος και επανεμφανίζονται στο υπόλοιπο της τομογραφίας προς τα ανατολικά.
2. Οι ενδιάμεσες πμές ειδικής αντίστασης που εμφανίζονται στα διαστήματα 0-60 και 100-160 μέτρων οφείλονται στην ύπαρξη ψαμμίτη ή αδρομερών.
3. Τέλος, στο επιφανειακό στρώμα, υπάρχουν κατά κύριο λόγο αδρομερή υλικά (<600 Ωm).
4. Σχετικά με τις επεξεργασίες της γεωηλεκτρικής τομής, προκύπτει πως η επεξεργασία rs αποτυπώνει πιο φυσικά την στρωματογραφία.



Εικόνα 48: Γεωηλεκτρική τομή FR-LK3-rev, με διεύθυνση δυτικά-ανατολικά. Επάνω είναι η γεωηλεκτρική τομή με επεξεργασία Robust-Robust και κάτω η γεωηλεκτρική τομή με επεξεργασία Robust-Standard.

#### Ερμηνεία-Σχόλια:

1. Στο μεγαλύτερο μέρος της τομής παρατηρούμε πως υπάρχει μάργα σε συνδυασμό με αργιλικά και λεπτόκοκκα υλικά (διάστημα 0-270 μέτρα), ενώ ύστερα, έρχονται σε κάθετη επαφή (πιθανό ρήγμα) με στρώμα υψηλότερης ειδικής αντίστασης, αποτελούμενο πιθανόν από ψαμμίτη ή αδρομερή. Στο διάστημα 180-200 μέτρων, η αύξηση της πμής της ειδικής αντίστασης οφείλεται κατά πάσα πιθανότητα στο αργιλικό στρώμα που εντοπίστηκε στην προηγούμενη τομή.
2. Στο δυτικό τμήμα υπάρχει το ασβεστολιθικό υπόστρωμα (<800 Ohm) το οποίο φαίνεται πως βυθίζεται προς τα ανατολικά.
3. Τέλος, στο επιφανειακό στρώμα, υπάρχουν εναλλαγές αργιλικών (<50 Ohm) και αδρομερών υλικών (<600 Ohm).
4. Σχετικά με τις επεξεργασίες της γεωηλεκτρικής τομής, προκύπτει πως η επεξεργασία rr ομογενοποιεί σε μεγαλύτερο βαθμό τους εδαφικούς σχηματισμούς, αποδίδοντας έτσι καλύτερη γεωμετρία των σχηματισμών.

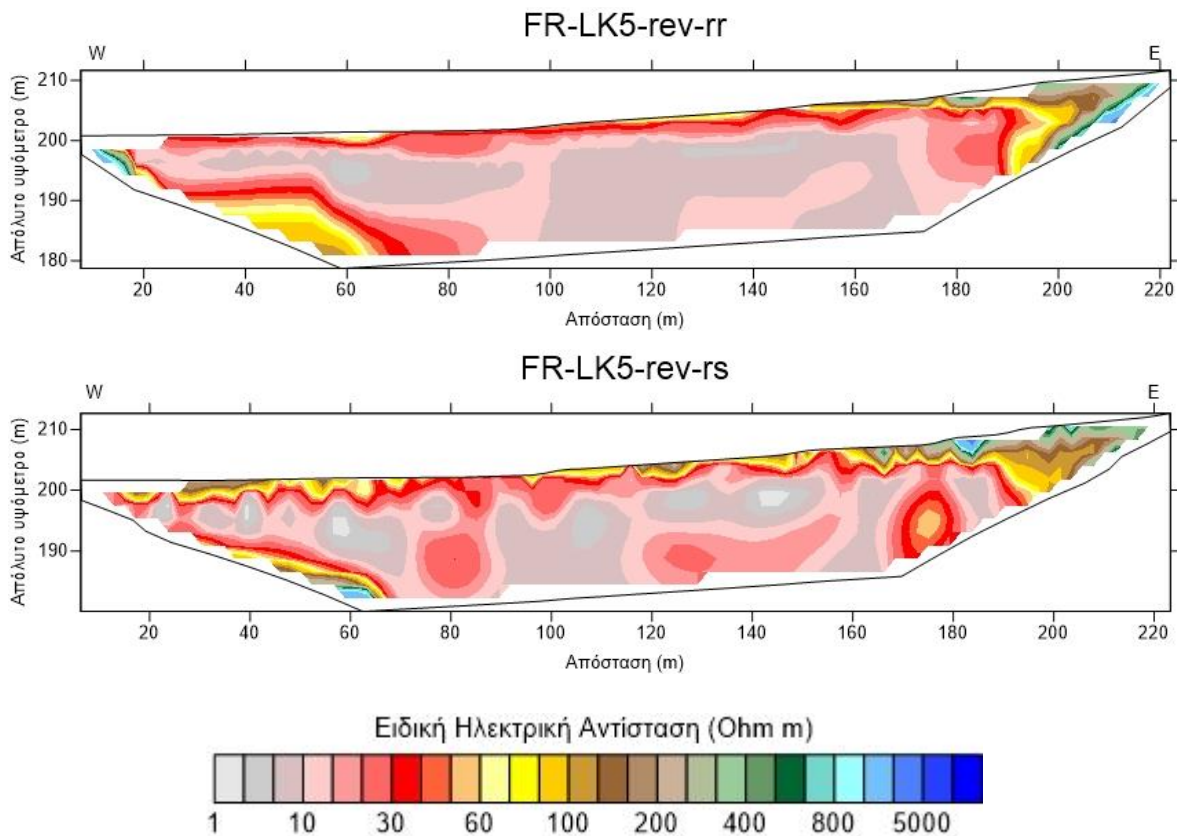


Εικόνα 49: Γεωηλεκτρική τομή FR-LK4-rev, με διεύθυνση δυτικά-ανατολικά. Επάνω είναι η γεωηλεκτρική τομή με επεξεργασία Robust-Robust και κάτω η γεωηλεκτρική τομή με επεξεργασία Robust-Standard.

#### Ερμηνεία-Σχόλια:

1. Οι χαμηλές τιμές ειδικής αντίστασης στο μεγαλύτερο μέρος της τομογραφίας μαρτυρούν την ύπαρξη μάργας, αργιλικών και λεπτόκοκκων υλικών (διάστημα 0-300 μέτρα), ενώ προς τα ανατολικά έρχονται σε κάθετη επαφή με στρώμα υψηλότερης ειδικής αντίστασης, τον ασβεστόλιθο.
2. Στη δυτική πλευρά της τομογραφίας βρίσκεται το ασβεστολιθικό υπόστρωμα, το οποίο βυθίζεται προς τα ανατολικά.
3. Στην επιφάνεια οι τιμές ειδικής αντίστασης υποδεικνύουν εναλλαγή από τα δυτικά προς τα ανατολικά αργιλικών και αδρομερών υλικών.
4. Σχετικά με τις επεξεργασίες της γεωηλεκτρικής τομής, προκύπτει πως η επεξεργασία rr ομογενοποιεί σε μεγαλύτερο βαθμό τους εδαφικούς σχηματισμούς, αποδίδοντας έτσι καλύτερη γεωμετρία των σχηματισμών.

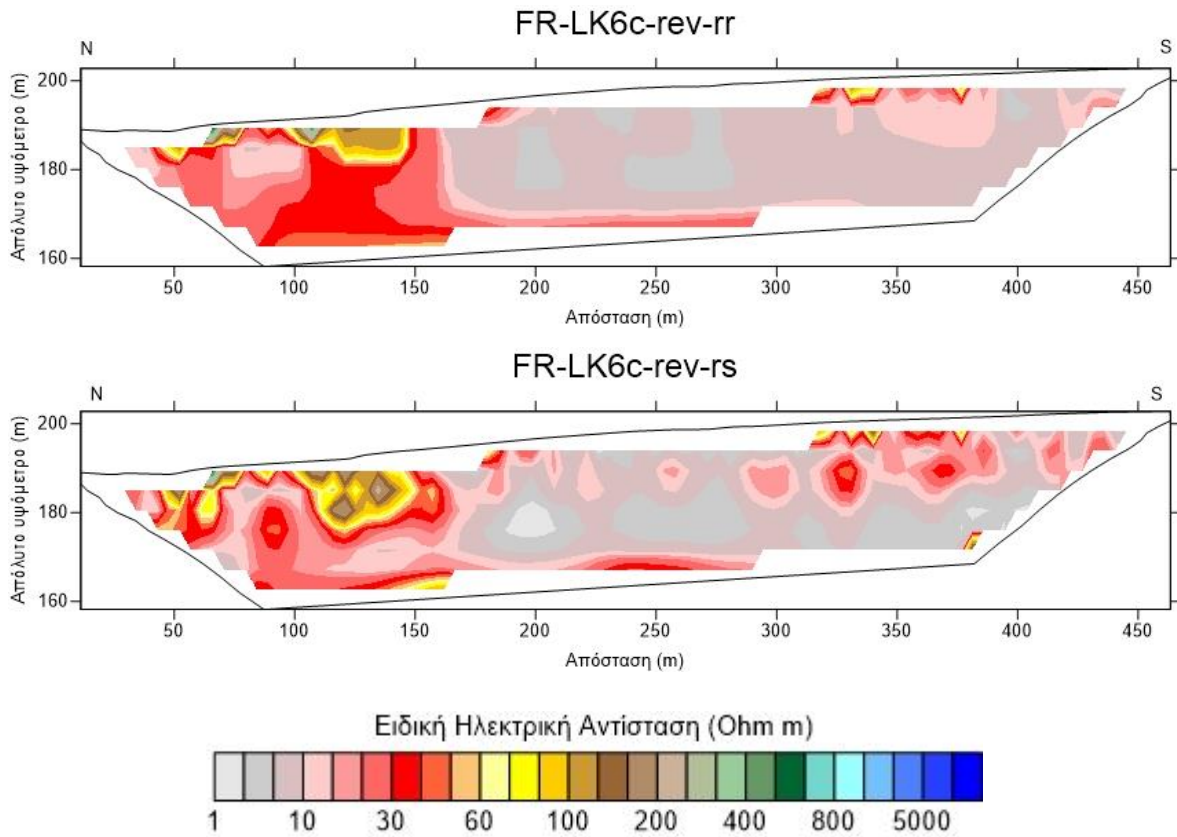




Εικόνα 50: Γεωηλεκτρική τομή FR-LK5-REV, με διεύθυνση δυτικά-ανατολικά. Επάνω είναι η γεωηλεκτρική τομή με επεξεργασία Robust-Robust και κάτω η γεωηλεκτρική τομή με επεξεργασία Robust-Standard.

#### Ερμηνεία-Σχόλια:

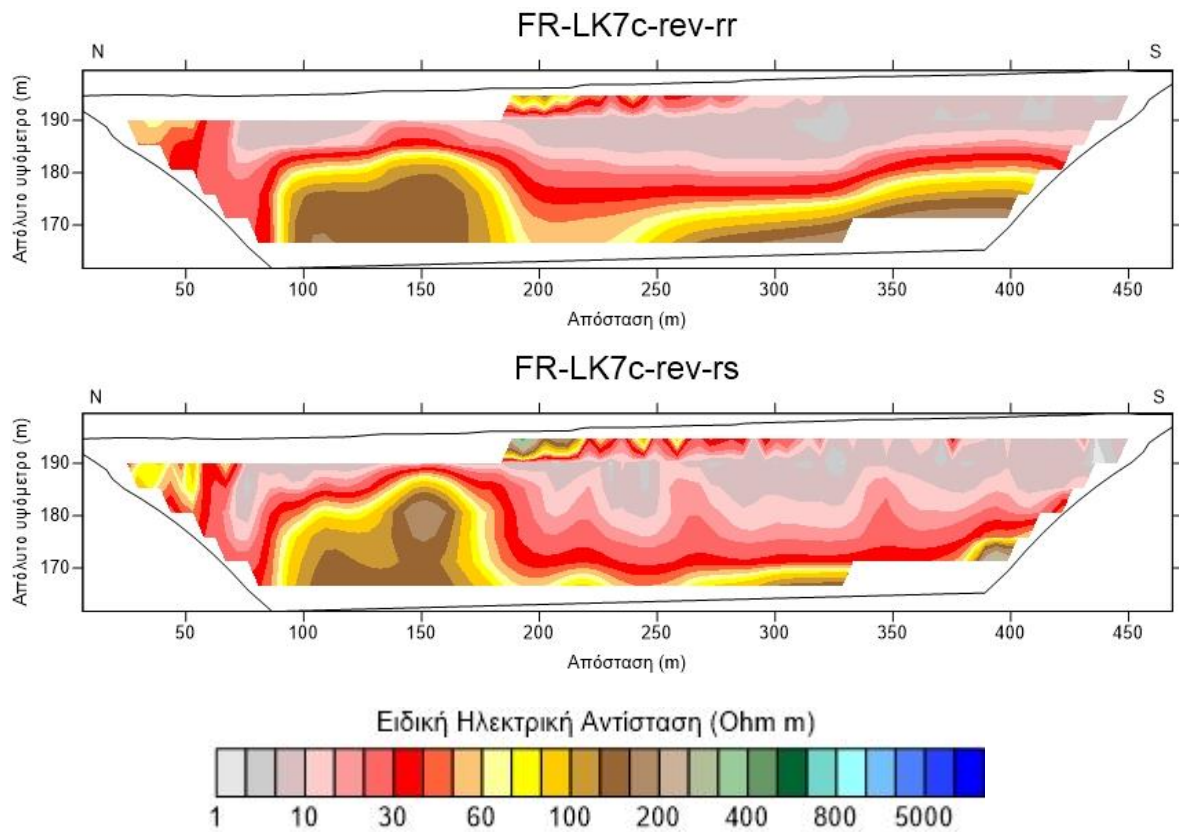
1. Διακρίνεται η ύπαρξη αργίλου, μάργας και λεπτόκοκκων υλικών (<50 Ohm) στο διάστημα έως τα 190 μέτρα, όπου ακολουθεί η κάθετη επαφή με υψηλότερες τιμές ειδικής αντίστασης, πιθανόν με τον ασβεστόλιθο.
2. Από την ύπαρξη και την κλίση των υψηλών τιμών ειδικής αντίστασης στο δυτικό τμήμα της τομογραφίας, προκύπτει πως υπάρχει ασβεστόλιθος ο οποίος βυθίζεται προς τα ανατολικά.
3. Επιφανειακά, από τα δυτικά προς τα ανατολικά παρατηρούνται εναλλαγές αργιλικών και αδρομερών υλικών.
4. Σχετικά με τις επεξεργασίες της γεωηλεκτρικής τομής, προκύπτει πως η επεξεργασία rr ομογενοποιεί σε μεγαλύτερο βαθμό τους εδαφικούς σχηματισμούς, αποδίδοντας έτσι καλύτερη γεωμετρία των σχηματισμών.



*Εικόνα 51: Γεωηλεκτρική τομή FR-LK6c-rev, με διεύθυνση βόρεια-νότια. Επάνω είναι η γεωηλεκτρική τομή με επεξεργασία Robust-Robust και κάτω η γεωηλεκτρική τομή με επεξεργασία Robust-Standard.*

**Ερμηνεία-Σχόλια:**

1. Από το βόρειο τμήμα και έως τα 160 μέτρα παρατηρούνται στην επιφάνεια μεσαίες πμές ειδικής αντίστασης (80-150 Ohm), οι οποίες μπορούν να μεταφραστούν σε αδρομερή ή φαμμίπη. Υποκείμενα αυτών βρίσκεται μάργα ενώ στη συνέχεια ακολουθεί κάθετη επαφή με αργιλικά και λεπτόκοκκα υλικά, τα οποία διατηρούνται προς τα νότια.
2. Σχετικά με τις επεξεργασίες της γεωηλεκτρικής τομής, προκύπτει πως η επεξεργασία rr ομογενοποιεί σε μεγαλύτερο βαθμό τους εδαφικούς σχηματισμούς, αποδίδοντας έτσι καλύτερη γεωμετρία των σχηματισμών.



*Εικόνα 52: Γεωηλεκτρική τομή FR-LK7-REV, με διεύθυνση βόρεια-νότια. Επάνω είναι η γεωηλεκτρική τομή με επεξεργασία Robust-Robust και κάτω η γεωηλεκτρική τομή με επεξεργασία Robust-Standard.*

**Ερμηνεία-Σχόλια:**

1. Οι υπερκείμενες πιμές της ειδικής αντίστασης οφείλονται στην ύπαρξη αργίλου, μάργας και λεπτόκοκκων υλικών (<50 Ohm), ενώ για την αύξηση των πιμών της ειδικής αντίστασης στα υποκείμενα στρώματα ευθύνεται η ύπαρξη αδρομερών υλικών ή ψαμμίτη.
2. Σχετικά με τις επεξεργασίες της γεωηλεκτρικής τομής, προκύπτει πως η επεξεργασία rr ομογενοποιεί σε μεγαλύτερο βαθμό τους εδαφικούς σχηματισμούς, αποδίδοντας έτσι καλύτερη γεωμετρία των σχηματισμών.

#### 4.3.4. Γεωφυσική έρευνα Εργαστηρίου Γεωφυσικής

Στην περιοχή πραγματοποιήθηκαν 3 γεωηλεκτρικές τομές (Kef17-K1, Kef17-K2, Kef17-K3), εκ των οποίων οι δύο είχαν βορειοδυτική-νοτιοανατολική κατεύθυνση (K1, K2) ενώ η τρίτη βορειοανατολική-νοτιοδυτική (K3), τέμνοντάς τις πρώτες δύο. Σε όλες τις τομογραφίες πραγματοποιήθηκε λήψη δεδομένων με τις μεθόδους Dipole-Dipole και Schlumberger. Η απόσταση των ηλεκτροδίων σε όλες τις μετρήσεις ήταν 5 μέτρα.

Στις δυο πρώτες αποφασίστηκε η προέκταση του μήκους της τομογραφίας (roll-along), προσδοκώντας στην καλύτερη απεικόνιση της στρωματογραφίας μεταξύ των δύο μικρών λόφων στην περιοχή. Έτσι, το μήκος της K1 ήταν 534 μέτρα, της K2 442 μέτρα και της K3 351 μέτρα.



Εικόνα 53: Γεωηλεκτρικές τομές Εργαστηρίου Γεωφυσικής & τοπογραφικό ανάγλυφο



Εικόνα 54: Γεωηλεκτρική τομή Εργαστηρίου Γεωφυσικής-K2

#### 4.3.4.1. Εξοπλισμός

##### 4.3.4.1.1. Όργανο μέτρησης Ειδικής Ηλεκτρικής Αντίστασης

Το όργανο μέτρησης που χρησιμοποιήθηκε για τις μετρήσεις των πιμών της ηλεκτρικής αντίστασης είναι το SYSCAL Pro. Πρόκειται για διάταξη με ένα διαβιβαστή ρεύματος, ο οποίος στέλνει ρεύμα στο υπέδαφος μέσω των ηλεκτροδίων ρεύματος και στη συνέχεια μετράει την τάση που αναπτύσσεται στα ηλεκτρόδια δυναμικού. Ο μετρητής SYSCAL Pro αποτελείται από 10 ταυτόχρονα κανάλια λήψης δεδομένων, είναι 1000 V – 250 W – 2.5 A. Έχει τη δυνατότητα αυτόματου injection ranging και έχει την επιλογή αλλαγής των ηλεκτροδίων. Είναι ένα νέο σύστημα σχεδιασμένο για υψηλή ανάλυση στις μετρήσεις ειδικής αντίστασης και IP. Περιλαμβάνει αρκετές επιλογές δίνοντας τη δυνατότητα εργασίας σε κάθε είδους συνθήκες και πεδία. Δηλαδή έχει την προοπτική για εξερεύνηση υπογείων νερών, για γεωτεχνικές μελέτες των πολιτικών μηχανικών ή για διάφορες περιβαλλοντικές εφαρμογές.

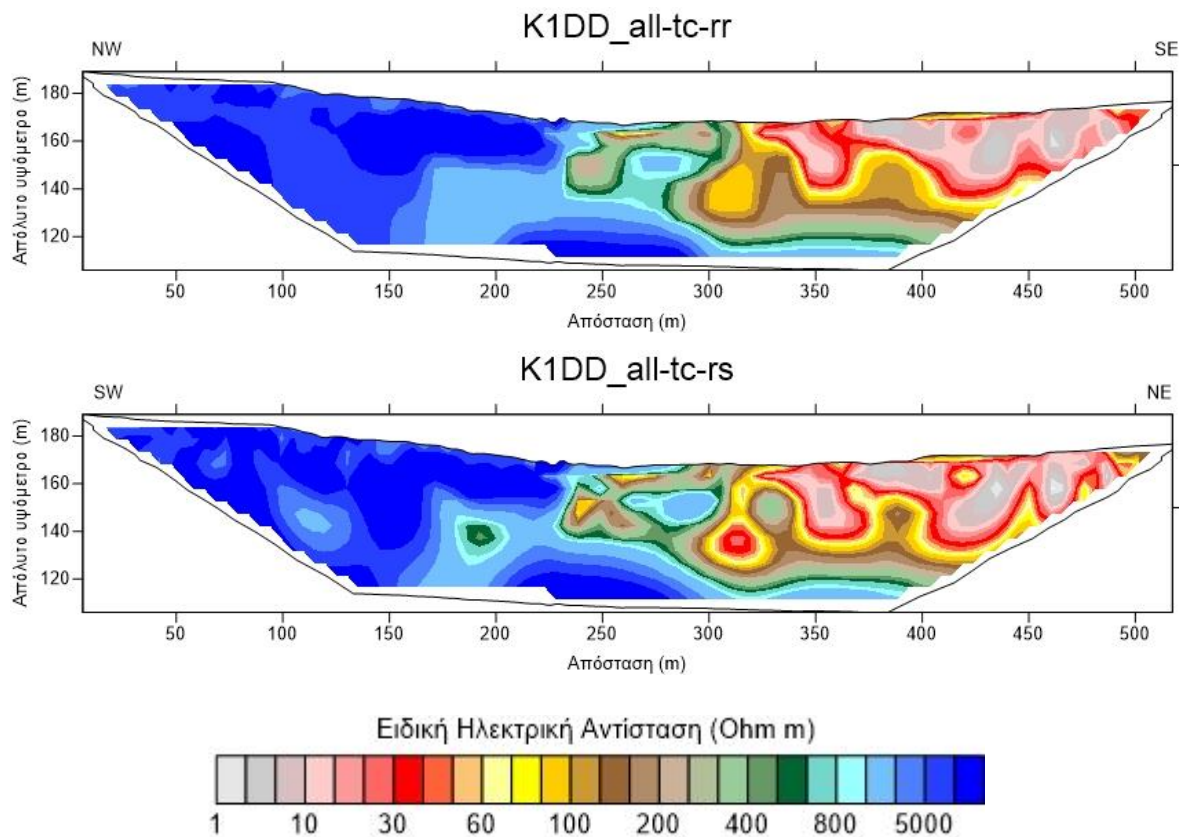
Γενικά Χαρακτηριστικά του μηχανήματος:

- Μπορούν να χρησιμοποιηθούν έως 4.000 ηλεκτρόδια.
- Μνήμη flash Δεδομένων: πάνω από 21.000 αναγνώσεις.
- Τροφοδοσία: δύο εσωτερικές επαναφορτιζόμενες 12 V, 7.2 A μπαταρίες, προαιρετική εξωτερική μπαταρία 12 V του αυτοκινήτου μπορεί να συνδέεται με το τμήμα πομπού.
- Λειτουργία επί παντός καιρού.
- Θερμοκρασία λειτουργίας: min: -20 °C, max: +70 °C.

##### 4.3.4.1.2. Εξοπλισμός εντοπισμού γεωγραφικής θέσης-GPS

Οι θέσεις των ηλεκτροδίων και επομένως των τομών ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης, χαρτογραφήθηκαν με το σύστημα Differential GPS System Leica and the Metrica Reference Wireless Network, με ακρίβεια  $\pm 5$  εκατοστών.

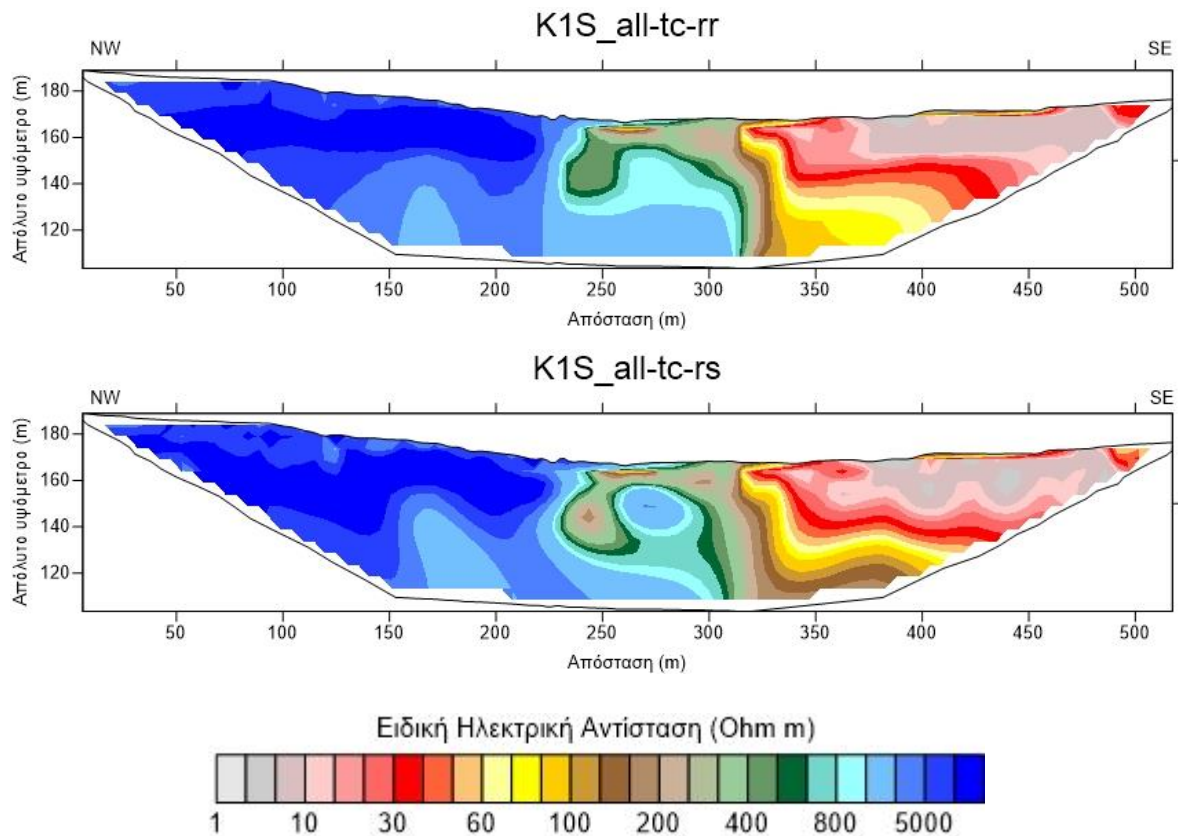
#### 4.3.4.2. Αποτελέσματα Μεθόδου Ειδικής Ηλεκτρικής Αντίστασης-Εργαστήριο Γεωφυσικής



*Εικόνα 55: Γεωηλεκτρική τομή K1 Dipole-Dipole, με διεύθυνση βορειοδυτικά-νοτιοανατολικά. Επάνω είναι η γεωηλεκτρική τομή με επεξεργασία Robust-Robust και κάτω η γεωηλεκτρική τομή με επεξεργασία Robust-Standard.*

#### Ερμηνεία-Σχόλια:

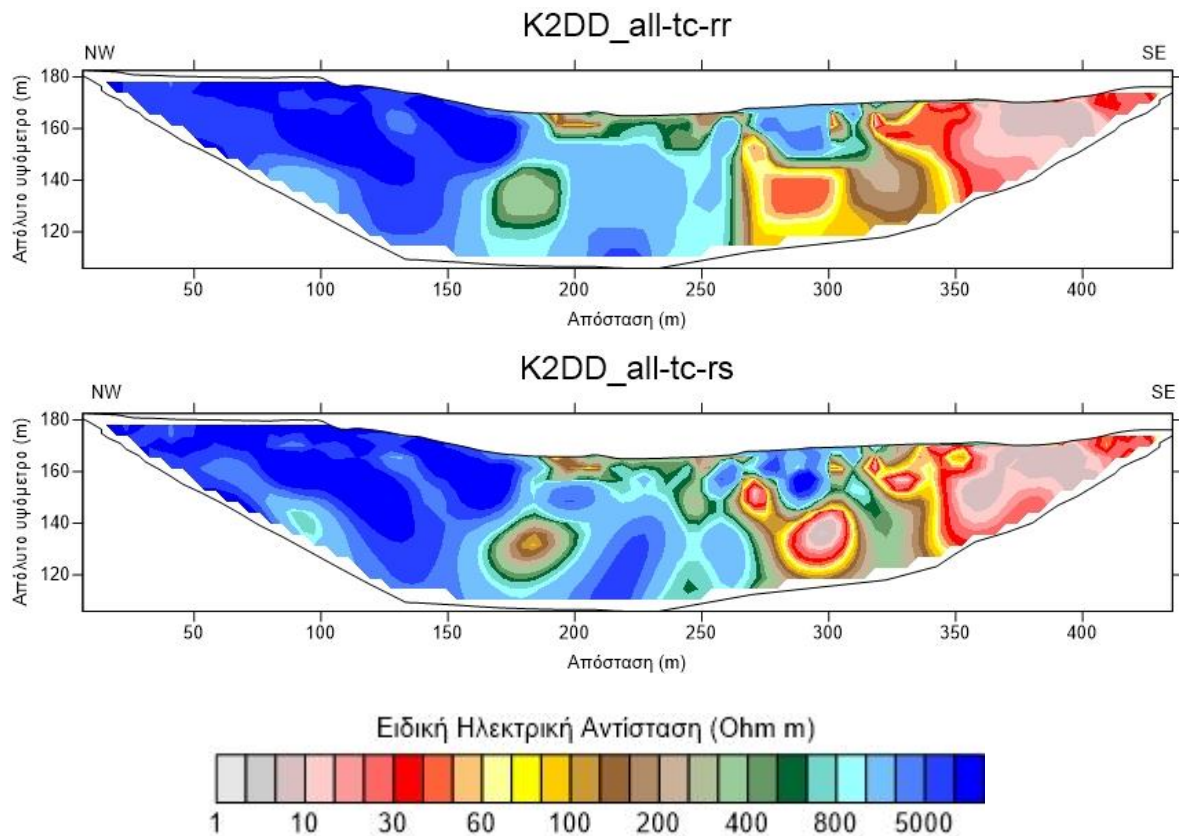
1. Διακρίνεται το ασβεστολιθικό στρώμα στην δυτική πλευρά της γεωηλεκτρικής τομής (<5.000 Ohm), το οποίο από τα 230 μέτρα βυθίζεται απότομα προς τα ανατολικά.
2. Σε απόσταση 310 μέτρων από βορειοδυτικά γίνεται εμφανής μια κάθετη μετάβαση από τον ασβεστόλιθο σε αδρομερή υλικά ή ψαμμίτη (150 Ohm), η οποία συνδέεται ενδεχομένως με κάποιο ρήγμα. Έως το νοτιοανατολικό τμήμα της τομογραφίας ακολουθούν εναλλαγές αργιλικών, λεπτόκοκκων υλικών και μάργας.
3. Σχετικά με τις επεξεργασίες της γεωηλεκτρικής τομής, προκύπτει πως η επεξεργασία rr ομογενοποιεί σε μεγαλύτερο βαθμό τους εδαφικούς σχηματισμούς, αποδίδοντας έτσι καλύτερη γεωμετρία των σχηματισμών.



*Εικόνα 56: Γεωηλεκτρική τομή K1 Schlumberger, με διεύθυνση βορειοδυτικά-νοτιοανατολικά. Επάνω είναι η γεωηλεκτρική τομή με επεξεργασία Robust-Robust και κάτω η γεωηλεκτρική τομή με επεξεργασία Robust-Standard.*

Ερμηνεία-Σχόλια:

1. Παρουσιάζεται πολύ μεγάλη ομοιότητα μεταξύ των διατάξεων Schlumberger και Dipole-Dipole.
2. Αντιστοίχως, γίνεται διακριτό το ασβεστολιθικό υπόστρωμα στο δυτικό τμήμα της τομής, χωρίς ωστόσο να υπάρχει η τόσο μεγάλη ανάλυση μεταξύ των εναλλαγών των υπολοίπων σχηματισμών σε σχέση με την Dipole-Dipole.
3. Σχετικά με τις επεξεργασίες της γεωηλεκτρικής τομής, προκύπτει πως η επεξεργασία rr ομογενοποιεί σε μεγαλύτερο βαθμό τους εδαφικούς σχηματισμούς, αποδίδοντας έτσι καλύτερη γεωμετρία των σχηματισμών.

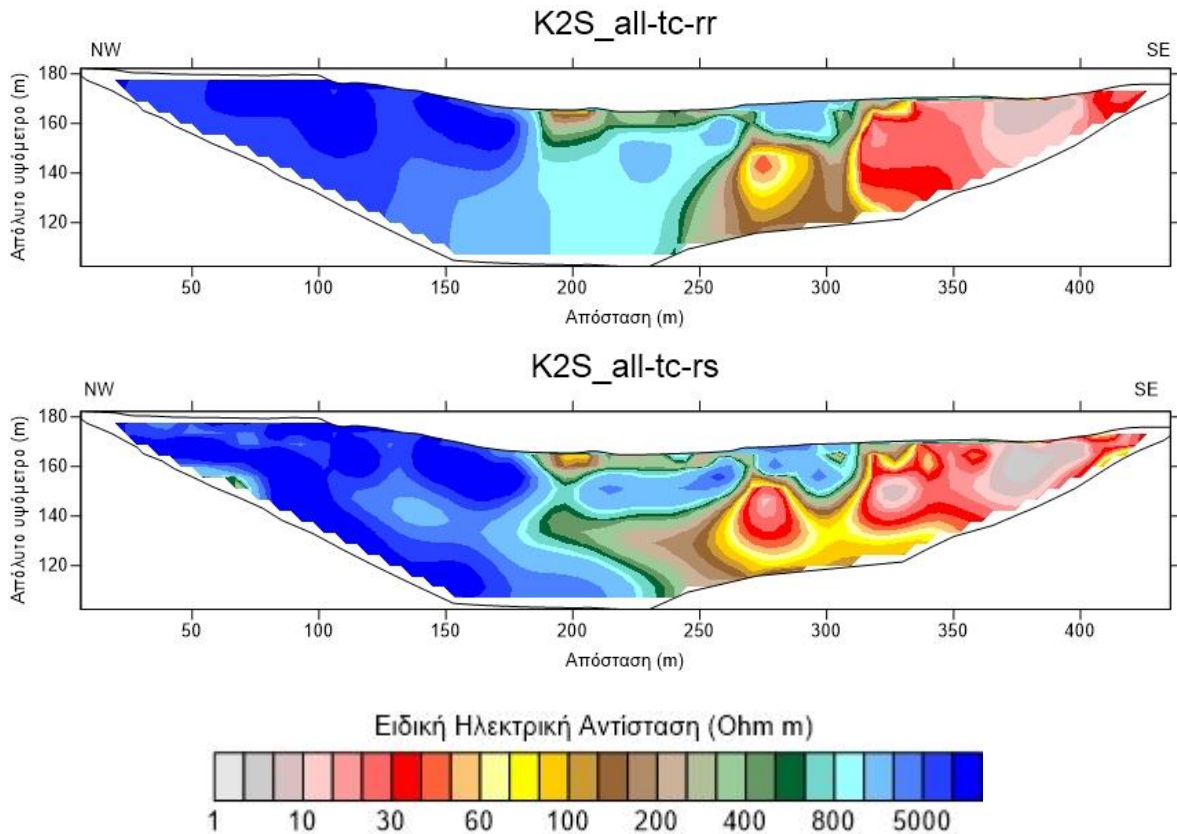


Εικόνα 57: Γεωηλεκτρική τομή K2 Dipole-Dipole, με διεύθυνση βορειοδυτικά-νοτιοανατολικά. Επάνω είναι η γεωηλεκτρική τομή με επεξεργασία Robust-Robust και κάτω η γεωηλεκτρική τομή με επεξεργασία Robust-Standard.

#### Ερμηνεία-Σχόλια:

1. Το ασβεστολιθικό υπόστρωμα χαρακτηρίζεται από υψηλές τιμές ειδικής αντίστασης ( $< 5.000 \text{ Ohm}$ ) και παραμένει συνεκτικό έως τα 175 μέτρα από το βορειοδυτικό άκρο. Ύστερα καταβυθίζεται και μέχρι τα 260 μέτρα μειώνονται οι τιμές της ειδικής αντίστασης ( $800 \text{ Ohm}$ ). Έπειτα έρχεται σε κάθετη επαφή, πιθανόν ρήγμα, με στρώμα αδρομερών υλικών-ψαμμίτη ή λιγότερο συνεκτικού ασβεστόλιθου ( $150-80 \text{ Ohm}$ ).
2. Στο διάστημα 260-320 μέτρων εμφανίζεται επιφανειακά ένα μικρού πάχους στρώμα ασβεστόλιθου ενώ υποκείμενα από αυτό και από το διάστημα των 260 μέτρων και προς τα νοτιοανατολικά παρατηρείται ύπαρξη αργίλου, μάργας και λεπτόκοκκων σχηματισμών σε εναλλαγή.
3. Σχετικά με τις επεξεργασίες της γεωηλεκτρικής τομής, προκύπτει πως η επεξεργασία rr ομογενοποιεί σε μεγαλύτερο βαθμό τους εδαφικούς σχηματισμούς, αποδίδοντας έτσι καλύτερη γεωμετρία των σχηματισμών.

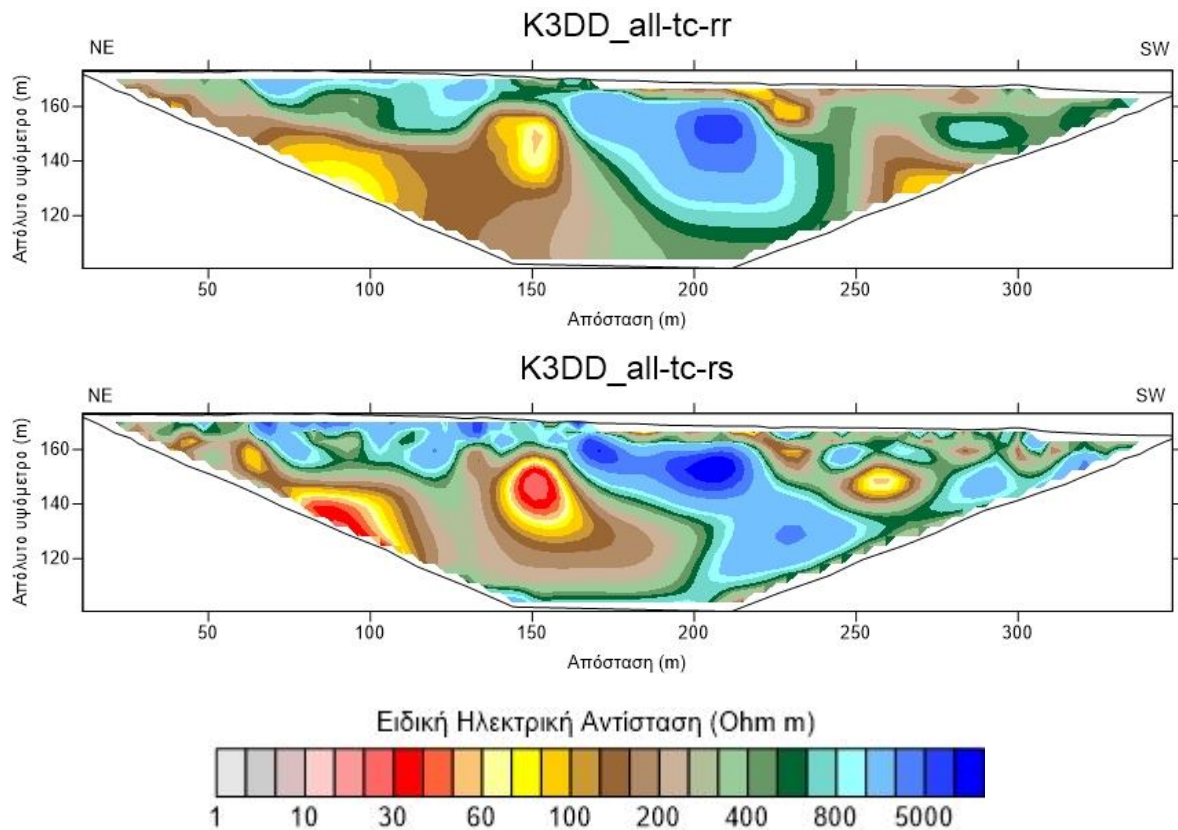




*Εικόνα 58: Γεωηλεκτρική τομή K2 Schlumberger, με διεύθυνση βορειοδυτικά-νοτιοανατολικά. Επάνω είναι η γεωηλεκτρική τομή με επεξεργασία Robust-Robust και κάτω η γεωηλεκτρική τομή με επεξεργασία Robust-Standard.*

#### Ερμηνεία-Σχόλια:

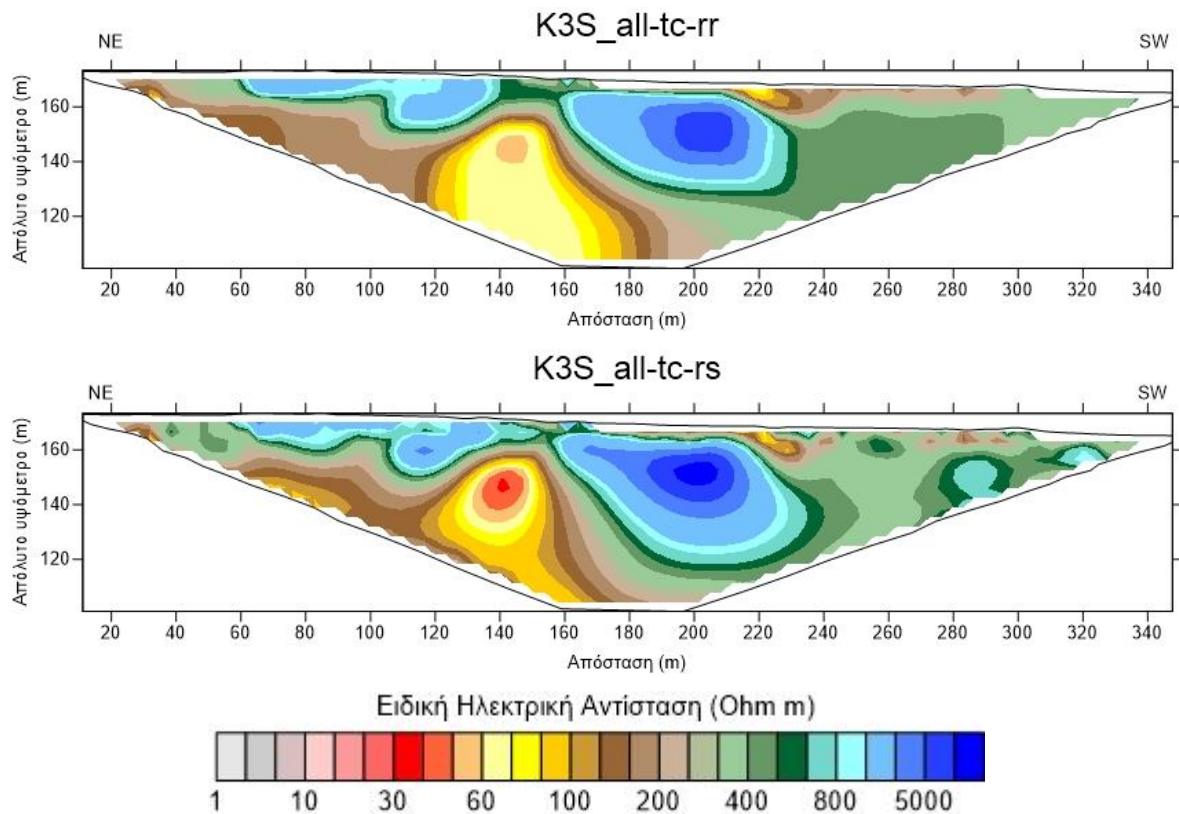
1. Είναι εμφανής η συμφωνία της Schlumberger στην αποτύπωση του ασβεστολιθικού υποστρώματος, ωστόσο εμφανίζεται πιο απλοποιημένη η μετάβαση στα αργιλικά-μαργαϊκά και αδρομερή ή ψαμμίτη σε σχέση με την Dipole-Dipole.
2. Παρατηρούμε καλύτερα την μείωση των πιμών της ειδικής αντίστασης του ασβεστολίθου προς τα νοτιοανατολικά, την επιφανειακή επανεμφάνιση του ασβεστολίθου στο διάστημα των 260-320 μέτρων και τέλος την ύπαρξη των λεπτόκοκκων στο ανατολικό τμήμα της τομής.
3. Σχετικά με τις επεξεργασίες της γεωηλεκτρικής τομής, προκύπτει πως η επεξεργασία rr ομογενοποιεί σε μεγαλύτερο βαθμό τους εδαφικούς σχηματισμούς, αποδίδοντας έτσι καλύτερη γεωμετρία των σχηματισμών.



Εικόνα 59: Γεωηλεκτρική τομή K3 Dipole-Dipole, με διεύθυνση βορειοανατολικά-νοτιοδυτικά. Επάνω είναι η γεωηλεκτρική τομή με επεξεργασία Robust-Robust και κάτω η γεωηλεκτρική τομή με επεξεργασία Robust-Standard.

#### Ερμηνεία-Σχόλια:

1. Από την παραπάνω γεωηλεκτρική τομή προκύπτει πως από το βορειοανατολικό τμήμα και μέχρι τα 160 μέτρα ο ασβεστόλιθος αποτελεί ένα λεπτό επιφανειακό στρώμα, ύστερα βυθίζεται προς τα νοτιοδυτικά και μέχρι τα 240 μέτρα αποτελεί έναν πιο παχύ υπεδαφικό σχηματισμό.
2. Οι χαμηλότερες τιμές ειδικής αντίστασης, ευρισκόμενες κάτω από το λεπτό ασβεστολιθικό στρώμα έως τα 160 μέτρα αλλά και για το διάστημα από τα 240 μέτρα μέχρι το νοτιοδυτικό άκρο οφείλονται σε λιγότερο συνεκτικό ασβεστόλιθο ή σε συνδυασμό ψαμμίτη με αδρομερή.
3. Σχετικά με τις επεξεργασίες της γεωηλεκτρικής τομής, προκύπτει πως η επεξεργασία rr ομογενοποιεί σε μεγαλύτερο βαθμό τους εδαφικούς σχηματισμούς, αποδίδοντας έτσι καλύτερη γεωμετρία των σχηματισμών.



*Εικόνα 60: Γεωηλεκτρική τομή K3 Schlumberger, με διεύθυνση βορειοανατολικά-νοτιοδυτικά. Επάνω είναι η γεωηλεκτρική τομή με επεξεργασία Robust-Robust και κάτω η γεωηλεκτρική τομή με επεξεργασία Robust-Standard.*

#### Ερμηνεία-Σχόλια:

1. Παρατηρείται αρκετά όμοια απεικόνιση μεταξύ Dipole-Dipole και Schlumberger, με την δεύτερη να δίνει πιο αρμονικά την ύπαρξη των σχηματισμών. Σε καλή αναλογία επίσης αποτυπώνεται η μείωση της συνεκτικότητας του ασβεστολίθου.
2. Σχετικά με τις επεξεργασίες της γεωηλεκτρικής τομής, προκύπτει πως η επεξεργασία rr ομογενοποιεί σε μεγαλύτερο βαθμό τους εδαφικούς σχηματισμούς, αποδίδοντας έτσι καλύτερη γεωμετρία των σχηματισμών.

#### 4.3.4.3. Σύνοψη αποτελεσμάτων Εργαστηρίου Γεωφυσικής

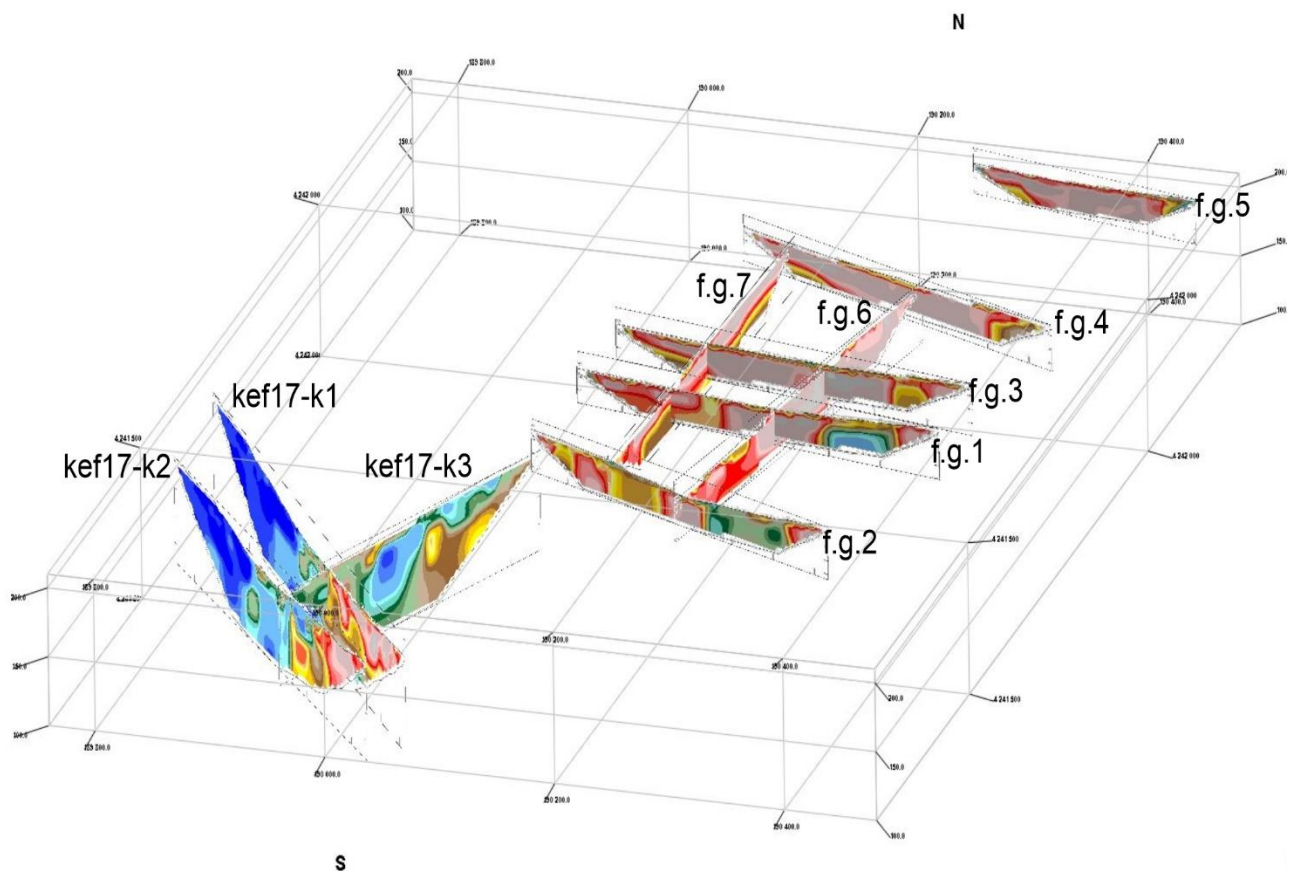
Εξετάζοντας τα προφίλ των γεωηλεκτρικών τομών στην συνδυαστική τρισδιάστατη απεικόνιση καθίσταται δυνατή η εξαγωγή πιο ολοκληρωμένων συμπερασμάτων. Επίσης, η γεωλογία της περιοχής και οι γεωλογικοί σχηματισμοί που αναφέρθηκαν στο Κεφάλαιο 4.2., και πιο συγκεκριμένα σε ό,τι αφορά τον κόλπο της Παλικής (Κεφ. 4.2.3.) φαίνεται πως συμπίπτουν με τα προφίλ των ειδικών αντιστάσεων των γεωηλεκτρικών τομών. Αναλυτικότερα:

- 1) Παρατηρείται η ύπαρξη ασβεστολίθου τόσο στα δυτικά όσο και στα ανατολικά.
  - i) Από την μία, είναι χαρακτηριστικό πως η εμφάνιση του ασβεστολίθου στο δυτικό τμήμα των γεωηλεκτρικών τομών της Fugro και οι ενδείξεις καταβύθισής του συνδέονται αφενός με το όρος Αγρίλια, το οποίο αποτελείται από ασβεστόλιθο και αφετέρου επειδή οι τομές πραγματοποιήθηκαν στους πρόποδες του.
  - ii) Από την άλλη, η εμφάνιση του ασβεστολιθικού στρώματος στο ανατολικό τμήμα των τομών της Fugro δεν συνδέεται με το προαναφερθέν ασβεστολιθικό στρώμα. Η ύπαρξη του σε αυτό το σημείο, καθώς και η γεωμετρία του, δικαιολογούνται από τεκτονική δραστηριότητα στην δυτική επαφή του με τα αργιλικά, ενώ στα ανατολικά υπάρχει μείωση του πάχους του λόγω διαβρώσεων.
  - iii) Στις γεωηλεκτρικές τομές του εργαστηρίου Γεωφυσικής έχουμε ασβεστόλιθο μόνο στο δυτικό τμήμα, ενώ είναι εμφανές σε μεγάλο βαθμό η κάθετη καταβύθιση και επαφή του με τους υπόλοιπους σχηματισμούς, πιθανόν λόγω ρήγματος.
- 2) Παρατηρείται επίσης μεγάλο ποσοστό αργίλου, σε συνδυασμό με μάργα και λεπτόκοκκα υλικά.
  - i) Αποτελούν τα υλικά πλήρωσης της πεδιάδας στην περιοχή και είναι πιθανόν να πρόκειται για προϊόν μεταγενέστερων αποθέσεων από το όρος Αγρίλια στα δυτικά και Ημεροβίγλι στα ανατολικά. Το πάχος του εν λόγω εδαφικού σχηματισμού μειώνεται προς τον νότο, ενώ στην νοτιότερη γεωηλεκτρική τομή (K2) φαίνεται να βρίσκεται μόνο στο ανατολικό τμήμα. Ακόμη, από το μέσο της περιοχής της έρευνας μέχρι το νότιο πέρας αυτής, συνυπάρχει με το παρακάτω σχηματισμό, των αδρομερών ή ψαμμίτη.

3) Τέλος, μεταξύ των γεωηλεκτρικών τομών της Fugro και του εργαστηρίου γεωφυσικής παρατηρείται η ύπαρξη αδρομερών υλικών ή ψαμμίτη.

i) Εμφανίζονται στην γεωηλεκτρική τομή της Fugro f.g.1 και συνεχίζουν προς τον νότο (K2). Είναι ομοίως προερχόμενο με το προαναφερθέν στρώμα της αργίλου, με το οποίο συνυπάρχει και εναλλάσσεται στην περιοχή. Αποτελεί τον σχημασμό που αναδύεται στο νότιο τμήμα των τομών και είναι στην ουσία ο λόφος που συναντήσαμε στην περιοχή, ενώ φαίνεται πως βυθίζεται προς τα βόρεια. Σχετικά με το πάχος φαίνεται πως αγγίζει το μέγιστο των 60-70 μέτρων.

Τέλος, από την επεξεργασία των γεωηλεκτρικών τομών προκύπτει πως στις τομές f.g.1. και f.g.2 είναι προτιμότερη η Robust-Standard, καθώς αποτυπώνει σε πολύ καλό βαθμό τους υπεδαφικούς σχηματισμούς χωρίς ιδιαίτερη αλλοίωση, ενώ στις υπόλοιπες τομές λαμβάνεται υπόψιν η επεξεργασία Robust-Robust διότι η ομογενοποίηση που πραγματοποιεί εξυπηρετεί καλύτερα την εξαγωγή συμπερασμάτων.



Εικόνα 61: Τρισδιάστατη Απεικόνιση Γεωηλεκτρικών Τομών Εργαστηρίου Γεωφυσικής & Fugro

# **5° ΚΕΦΑΛΑΙΟ**

## **5. Συμπεράσματα-Σχολιασμός**

## 5.1. Συμπεράσματα

Όπως αναφέρεται και στην εισαγωγή της εργασίας, ο σκοπός της παρούσας μελέτης αφορούσε την αποτύπωση της στρωματογραφίας και της τεκτονικής στην περιοχή Κατοχώρι, της νήσου Κεφαλλονιάς, με τη χρήση γεωφυσικής μεθόδου.

Η μέθοδος που επιλέχθηκε ήταν η μέθοδος της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης (E.R.T), καθώς ανταποκρινόταν στις απαιτήσεις της έρευνας, σύμφωνα και με παρόμοιες έρευνες που έχουν πραγματοποιηθεί ανά τον κόσμο. Ενδεικτικά, αναφέρονται 4 τέτοιες περιπτώσεις (case studies), από τις οποίες ανλήθηκαν χρήσιμες πληροφορίες σχετικά με την διάταξη των ηλεκτροδίων, την επεξήγηση των αποτελεσμάτων και την σύνδεση της μεθόδου ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης με την καταγεγραμμένη γεωλογία της περιοχής.

Χαρακτηριστικά, από τη χρήση της μεθόδου ERT σε τεκτονικά ενεργές περιοχές, Paganica-San Gregorio στην περιφέρεια L'Aquila και στις περιοχές Caggiano & Iprinia προέκυψε η εκτίμηση πως για την αποτύπωση της στρωματογραφίας εξυπηρετεί η χρήση των διατάξεων Schlumberger και Dipole-Dipole. Η απεικόνιση των σχηματισμών έδωσε πολλές σημαντικές πληροφορίες για την επίδραση των τεκτονικών κινήσεων στη διαμόρφωση της περιοχής.

Από την γεωφυσική μελέτη στην πεδιάδα Sibari, στο Δέλτα του Ποταμού Crati, επαληθεύεται η δυνατότητα της μεθόδου της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης να απεικονίζει την πολυπλοκότητα και τις εναλλαγές των σχηματισμών στο υπέδαφος, χωρίς να δημιουργεί συγχύσεις στα γεωηλεκτρικά προφίλ. Σε συνδυασμό με τις δειγματοληπτικές γεωτρήσεις η μέθοδος της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης δίνει ακόμα καλύτερα αποτελέσματα, κάτι το οποίο αποτυπώθηκε στην μελέτη στην προαναφερθείσα πεδιάδα.

Από την ανασκόπηση των ηλεκτρικών τομογραφιών ειδικής αντίστασης για την ανίχνευση κατολισθήσεων μπορούμε να εξάγουμε το συμπέρασμα πως η μέθοδος της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης είναι ικανή να παρέχει πληροφορίες με σχετικά μεγάλη αμεσότητα για τεκτονικές κινήσεις που λαμβάνουν χώρα σε τρέχουσα χρονική στιγμή.

Καταλήγοντας, η μέθοδος της ειδικής αντίστασης αποτέλεσε ορθή επιλογή για την γεωφυσική έρευνα του Εργαστηρίου στην περιοχή Κατοχώρι. Η αξιοποίηση των

διατάξεων Dipole-Dipole και Schlumberger, η χρήση του συστήματος roll-along και σε συνδυασμό με το μεγάλο βάθος διασκόπησης των γεωηλεκτρικών τομογραφιών οδήγησαν σε λεπτομερή αποτύπωση της στρωματογραφίας στα προφίλ των ειδικών αντιστάσεων:

1. Ύπαρξη ασβεστολίθου στα δυτικά, απότομη βύθιση του προς τα ανατολικά και κάθετη επαφή με τους υπόλοιπους σχηματισμούς, που πιθανό να οφείλεται σε ρήγμα.
2. Ύστερα, προς τα ανατολικά ο ασβεστόλιθος βρίσκεται σε βάθος 40-60 μέτρων από την επιφάνεια, με ήπια κλίση.
3. Οι σχηματισμοί που ακολουθούν προς τα ανατολικά και βρίσκονται υπερκείμενα του ασβεστολίθου είναι ψαμμίτης ή στρώμα αδρομερών υλικών (μεσαίες τιμές ειδικής αντίστασης) και στη συνέχεια συνδυασμός μάργας-αργίλου και λεπτόκοκκων υλικών (χαμηλές τιμές ειδικής αντίστασης).



## 5.2. Σχόλια

Ως σχόλια, μπορούν να παρατεθούν ορισμένες εκτιμήσεις που προέκυψαν από την αξιολόγηση της επιλογής της μεθόδου, της εφαρμογής της, της διαδικασίας λήψης και επεξεργασίας των δεδομένων και από τα αποτελέσματα που προέκυψαν, συγκρινόμενα με τους αρχικούς στόχους που τέθηκαν κατά την έναρξη της έρευνας.

Αναφορικά με τα αποτελέσματα της παρούσας έρευνας, μπορούμε να εκτιμήσουμε πως οι διατάξεις που επιλέχθηκαν για την λήψη των δεδομένων, η προέκταση του μήκους των γεωηλεκτρικών προφίλ (roll-along) και συνολικά ο σχεδιασμός εφαρμογής της μεθόδου της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης βοήθησε στο να δημιουργηθεί αρκετά ικανοποιητική απεικόνιση της στρωματογραφίας της περιοχής.

Τα προφίλ των ειδικών ανιστάσεων από τις γεωηλεκτρικές τομές του εργαστηρίου Γεωφυσικής αποτυπώνουν με λεπτομέρεια την διάταξη των υπεδάφικων σχηματισμών ενώ ταυτόχρονα επαληθεύουν με τις γεωλογικές εκτιμήσεις. Αποτελεί έτσι σημαντική παρακαταθήκη για μελλοντικές έρευνες στην περιοχή.

Η επιλογή της μεθόδου ειδικής αντίστασης αποτέλεσε ορθή επιλογή για την παρούσα έρευνα ενώ αντίστοιχα μπορεί να εφαρμοστεί εξίσου αποτελεσματικά σε παρόμοιες μελέτες καθώς παρά την επίπονη διαδικασία που συνοδεύει την εφαρμογή της, τα αποτελέσματα είναι σημαντικά πιο λεπτομερή και δίνουν τη δυνατότητα για διασκόπηση σε μεγαλύτερο βάθος.

# **6° ΚΕΦΑΛΑΙΟ**

## **6. Βιβλιογραφία**

## Βιβλιογραφία

- Αποστολόπουλος, Γ. (2008). *Σημειώσεις Εφαρμοσμένης Γεωφυσικής*. Αθήνα: Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.
- Αποστολόπουλος, Γ. (2013). *Σημειώσεις Εφαρμοσμένης Γεωφυσικής*. Αθήνα: Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.
- ΛΕΚΚΑΣ, Ε., ΔΑΝΑΜΟΣ, Γ., & ΜΑΥΡΙΚΑΣ, Γ. (2001, Σεπτέμβριος 11-17). Γεωλογική Δομή και Εξέλιξη των Νήσων Κεφαλονιάς και Ιθάκης. *Δελτίο της Ελληνικής και Γεωλογικής Εταιρίας*.
- Πτυχιακή Εργασία του Άγγελου Καπατσώρη με θέμα: *Τεκτονική ανάλυση των δύο μεγάλων επωθήσεων στις περιοχές όρμου μύρτου και κόλπου Αγίας Κυριακής στο βόρειο τμήμα της νήσου Κεφαλονιάς, 2012*, Πανεπιστήμιο Πατρών, Τμήμα Γεωλογίας τομέας Γενικής Θαλάσσιας Γεωλογίας και Γεωδυναμικής.
- Μεταπτυχιακή Εργασία της Μιχαλάκη Αικατερίνη με θέμα: *Σχέσεις και αλληλεπιδράσεις υπόγειων νερών και φυσικών καταστροφικών φαινομένων, με έμφαση στους σεισμούς και στη ρευστοποίηση εδαφών*, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.
- Διδακτορική Διατριβή του Λεονταράκη Κωνσταντίνου με θέμα: *Γεωφυσικές Διασκοπήσεις εντός Γεωτρήσεων και Σηράγγων*, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.
- *Tutorial: 2D and 3D electrical imaging surveys*, by Dr. M.H.Loke (2002).
- *May 01, 1989. Late Cenozoic deformation of the hellenide foreland, western Greece*, John R. Underhill
- Διπλωματική Εργασία της Παπαδοπούλου Μυρτώ με θέμα: *Γεωφυσική Έρευνα στη Μονή Καισαριανής για την επίλυση γεωτεχνικών προβλημάτων*. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.
- Γεωργιάδου-Δικαιουλία 1965, Βρ Co. 1971, Βρ Co Et ΑΙ 1985, Σταυρόπουλος 1991.
- Storz et al., 2000, Suzuki et al., 2000, Demanet et al., 2001, Caputo et al., 2003; Nguyen et al., 2003, 2005; Wise et al., 2003, Galli et al., 2006.
- Oldenburg & Li. 1994, Tsourlos. 1995, Loke & Barker. 1996.
- Diaferia et al, 2006, Diaferia I, Barchi, M., Loddo, M., Schiavone, D., and Siniscalchi, A.: Detailed imaging of tectonic structures by multiscale earth resistivity tomographies: the Colfiorito normal faults (Central Italy), *Geophys. Res. Lett.*, 33, L09305, 2006.

- Rizzo, E., Colella, A., Lapenna, V., and Piscitelli, S.: High resolution images of the fault-controlled High Agri Valley basin (Southern Italy) with deep and shallow electrical resistivity tomographies, *Phys. Chem. Earth*, 29, 321–327, 2004.
- Bosi και Bertini, 1970: Geologia della media valle dell’Aterno. *Mem. Soc. Geol. It.*, 9, 719–777.
- Limi di San Nicandro των Bertini και Bosi 1993, La tettonica quaternaria della conca di Fossa (L’Aquila). *Il Quaternario*, 6, 293–314.
- Galli et al., P., Bosi V., Piscitelli S., Giocoli A. and Scionti V.; 2006: Late Holocene earthquakes in southern Apennines: paleoseismology of the Caggiano fault. *Int. J. Earth Sci.*, 95, 855-870.
- Giocoli A., Magri C., Vannoli P., Piscitelli S., Rizzo E., Siniscalchi A., Burrato P., Basso C. and Di Nocera S., 2008: Electrical Resistivity Tomography investigations in the Ufita Valley (Southern Italy). *Annals of Geophysics*, 51, 213-223.
- Perrone Et Al., 2006, Castellanos Abella Και Van Westen, 2008, Kawabata & Bandibas, 2009, De Bari Et Al., 2011.
- Jongmans and Garambois, 2007.
- Lapenna, V., Lorenzo, P., Perrone, A., Piscitelli, S., Rizzo, E. And Sdao, F., 2005: Case History: 2d Electrical Resistivity Imaging Of Some Complex Landslides in Lucanian Apennine (Southern Italy). – *Geophysics*, B11–B18.
- Godio, A., Strobbia, C. And De Bacco, G., 2006: Geophysical Characterisation of a Rockslide in an Alpine Region. – *Engineering Geology*, 273–86.
- Perrone, A., Iannuzzi, A., Lapenna, V., Lorenzo, P., Piscitelli, S., Rizzo, E. And Sdao, F., 2004: High-Resolution Electrical Imaging of the Varco D’izzo Earthflow (Southern Italy). – *Journal of Applied Geophysics*, 17-29.
- Göktürkler, G., Balkaya, C. And Erhan, Z., 2008: Geophysical Investigation of a Landslide: The Altındağ Landslide Site, İzmir (Western Turkey). – *Journal of Applied Geophysics*, 84-96.
- Chambers, J.E., Meldrum, P.I., Gunn, D.A., Wilkinson, P.B., Kuras, O., Weller, A.L. And Ogilvy, R.D., 2009: Hydrogeophysical Monitoring Of Landslide Processes Using Automated Time-Lapse Electrical Resistivity Tomography (Alert). – Near Surface – 15th European Meeting Of Environmental And Engineering Geophysics Dublin, Ireland, 7.–9. September 2009.