

**ΔΡΑΣΗ ΕΘΝΙΚΗΣ ΕΜΒΕΛΕΙΑΣ  
« ΑΝΑΠΤΥΞΙΑΚΕΣ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΩΝ ΦΟΡΕΩΝ- ΚΡΗΠΙΣ»**



**ΙΔΡΥΜΑ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΕΡΕΥΝΑΣ**  
**Έργο ΠΕΦΥΚΑ: Περιβάλλον και Φυσικές Καταστροφές: Νέες μέθοδοι για τη μέτρηση και βελτίωση της ποιότητας του περιβάλλοντος και για την αντιμετώπιση φυσικών καταστροφών**

**ΠΑΡΑΔΟΤΕΟ Π2.2.2.1**

**Τίτλος: Τεχνικές εκθέσεις εφαρμογής της γεωηλεκτρικής τομογραφίας σε 4-5 διαφορετικές θέσεις, προμήθεια εξοπλισμού, μεθοδολογία, εξοπλισμός, αποτελέσματα και ερμηνεία. Δημιουργία GIS projects για την διαχείριση της πληροφορίας..**

**Υπεύθυνος Φορέας/Ινστιτούτο: ΙΜΣ**

**Ονόματα συμμετεχόντων: Κλεάνθης Σιμυρδάνης, Νίκος Παπαδόπουλος**

**Ημερομηνία: 30/09/2015**



Ευρωπαϊκή Ένωση  
Ευρωπαϊκό Ταμείο Περιφερειακής Ανάπτυξης



ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ

Υπουργείο Παιδείας & Θρησκευμάτων  
Γενική Γραμματεία Έρευνας & Τεχνολογίας



ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ

ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ & ΑΝΤΑΓΩΝΙΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ



**η περιφέρεια στο επίκεντρο της ανάπτυξης**

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης - Ευρωπαϊκό Ταμείο Περιφερειακής Ανάπτυξης (ΕΤΠΑ), στο πλαίσιο του Ε.Π. Ανταγωνιστικότητα και Επιχειρηματικότητα (ΕΠΑΝ II) και των Π.Ε.Π. Αττικής, Π.Ε.Π. Μακεδονίας - Θράκης

## Περιεχόμενα

ΕΙΣΑΓΩΓΗ .....	3
ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ.....	5
ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΑ .....	10
Λογισμικά – Επεξεργασία δεδομένων.....	12
ΚΟΚΚΙΝΗ ΧΑΝΙ - Άγιοι Θεόδωροι .....	18
Ίστρο (Καλό Χωριό).....	40
Καραβοστάσι (Καλό Χωριό).....	46
ΕΛΟΥΝΤΑ .....	50
Λιμάνι Κάτω Πάφου .....	64
Βιβλιογραφία .....	69

GeosSat Research  
IMS-FORTH

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η μέθοδος της ηλεκτρικής αντίστασης, χρησιμοποιείται τόσο στην στεριά όσο και στην θάλασσα για τη μελέτη κυρίως των επιφανειακών στρωμάτων της γης. Τα τελευταία χρόνια η εφαρμογή της μεθόδου έχει επεκταθεί στο θαλάσσιο περιβάλλον με ολοένα και περισσότερες εφαρμογές. Ενδεικτικά μερικές από αυτές είναι η μελέτη τεκτονικών δομών (π.χ. ρήγματα) ικανές να επηρεάσουν την ευστάθεια κατασκευών όπως είναι γέφυρες και τα τούνελ (Kwon et al. 2005, Kim et al. 2002), η επίδραση χειμάρρων στη μορφολογία παράκτιων περιβάλλοντων (Crook et al., 2008), μελέτη υποθαλάσσιας στρωματογραφίας (Orlando, 2013) και παλιρροιακών εκβολών (Snyder, 2002). Επιπλέον, με τη μέθοδο των ηλεκτρικών τομογραφιών είναι εφικτή η υδρογεωλογική μελέτη ανάμιξης θαλάσσιου νερού με επιφανειακό γλυκό νερό (Krantz, 2006, Manheim et al 2006).

Εκτός από τη μελέτη της υποθαλάσσιας στρωματογραφίας, οι γεωφυσικές μέθοδοι χρησιμοποιούνται για την ανίχνευση ναυαγίων (Mattei et al., 2015, Giordano, 2013, Lee H-Y et al. 2004, Bull 1998, Paoletti 2003, Passaro, 2009, 2010) και αρχαιολογικών κτισμάτων (Σιμυρδάνης κ.α., 2015). Η χρήση των μεθόδων αυτών επιτρέπει την ανίχνευση των αρχαιολογικών ευρημάτων χωρίς την καταστροφή ή την μετακίνησή τους από την αρχική τους θέση.

Κατά την λήψη των δεδομένων σε θαλάσσιο περιβάλλον, το ύψος της στήλης του νερού είναι ένας από τους καθοριστικούς παράγοντες ο οποίος επηρεάζει σημαντικά την διακριτική ικανότητα της μεθόδου. Το θαλάσσιο νερό (ως μέσο διάδοσης του ηλεκτρικού ρεύματος) είναι ιδιαίτερα αγωγίμο με αποτέλεσμα να «απορροφάει» το ηλεκτρικό ρεύμα που διοχετεύεται. Για να ξεπεραστεί αυτό το μειονέκτημα, η δειγματοληψία γίνεται με τους αισθητήρες είτε τοποθετημένους στον πυθμένα της θάλασσας (submerged) είτε στην επιφάνεια αυτής (floating) όταν είναι μικρό το βάθος του νερού (λιγότερο από ένα μέτρο) (Simyrdanis et al 2015). Επιπλέον η συλλογή των δεδομένων είναι εφικτό να γίνει όχι μόνο έχοντας σταθερούς τους αισθητήρες σε συγκεκριμένη θέση αλλά και μετακινούμενους μέσα στη θάλασσα καθώς μεταφέρονται με τη βοήθεια πλεούμενου (Chiang, 2011, 2012). Η διαρκή μετακίνηση των αισθητήρων κατά τη διάρκεια της δειγματοληψίας μειώνει την διακριτική ικανότητα της μεθόδου, ωστόσο είναι απαραίτητη όταν εφαρμόζεται η μέθοδος σε μεγάλη έκταση.

Λόγω της ολοένα αυξανόμενης χρήσης της ηλεκτρικής μεθόδου σε θαλάσσια περιβάλλοντα, αντίστοιχα έχουν εξελιχθεί και προσαρμοσθεί ανάλογα και οι αλγόριθμοι επεξεργασίας των τομογραφικών δεδομένων (Loke 2004) οι οποίοι και διαχειρίζονται καλύτερα τις ιδιαιτερότητες των θαλάσσιων περιβάλλοντων (ανάγλυφο πυθμένα, χαμηλή αντίσταση θαλάσσιου νερού κλπ). Το ύψος της στάθμης του νερού και η τιμή αγωγιμότητας αυτού είναι δύο βασικοί παράμετροι που χρησιμοποιούνται κατά την επεξεργασία των δεδομένων ('a priori'). Με τον τρόπο αυτό «περιορίζεται» το μοντέλο της αντιστροφής κατά την επαναληπτική διαδικασία του αλγορίθμου επίλυσης των δεδομένων. Όσον αφορά την χρήση των κατάλληλων πρωτοκόλλων για την λήψη των δεδομένων, μπορούν να χρησιμοποιηθούν τα ίδια πρωτόκολλα που χρησιμοποιούνται και στη

στεριά (dipole-dipole, pole-dipole και gradient) όταν τα ηλεκτρόδια παραμένουν ακίνητα ή να γίνουν μικρές τροποποιήσεις στα ήδη υπάρχοντα πρωτόκολλα όταν τα ηλεκτρόδια μετακινούνται.

Η εφαρμογή της μεθόδου ηλεκτρικών τομογραφιών σε θαλάσσιο περιβάλλον εμπειρίχει ορισμένα μειονεκτήματα τα οποία κρίνεται αναγκαίο να αναφερθούν. Αρχικά, λόγω της παρουσίας του θαλάσσιου νερού το περιβάλλον έρευνας είναι πολύ αγώγιμο απαιτώντας σημαντική ένταση ηλεκτρικού ρεύματος το οποίο θα διοχετευτεί στο υποθαλάσσιο πυθμένα. Για το λόγο αυτό κρίνεται απαραίτητη η χρήση εξωτερικής τροφοδοσίας είτε με τη χρήση επιπρόσθετης εξωτερικής μπαταρίας είτε με απευθείας σύνδεση του εξοπλισμού με σταθερό ρεύμα όπου αυτό είναι εφικτό (όταν τα ηλεκτρόδια παραμένουν ακίνητα). Επιπλέον, η τιμή της ειδικής αντίστασης του στόχου είναι μικρότερη από αυτή που θα είχε ο ίδιος στόχος στη στεριά λόγω ακριβώς της ροής του ιδιαίτερα αγώγιμου θαλασσινού νερού. Ο στόχος εξαιτίας της παραμονής του μέσα στο θαλάσσιο περιβάλλον για μεγάλο χρονικό διάστημα έχει μικρότερη τιμή αντίστασης καθώς εμποτίζεται με το αγώγιμο θαλασσινό νερό. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την μείωση της αντίθεσης στις τιμές αντίστασης μεταξύ στόχου και περιβάλλοντος, μία ιδιότητα η οποία είναι απαραίτητη για την ποιοτική και ποσοτική ανάλυση των εικόνων αντιστροφής. Πρέπει να επισημανθεί ότι η συγκεκριμένη γεωφυσική μέθοδος είναι ικανή να ανιχνεύσει σχετικά μεγάλες αρχαιολογικές δομές (θεμέλια κτιρίων, ναυάγια πλοίων) και γενικά ογκώδη αντικείμενα και όχι «δρόμους» οι οποίοι κατασκευάστηκαν στην αρχαιότητα, λόγω εν γένει περιορισμένης διακριτικής ικανότητας.

Μία επιπλέον δυσκολία έγκειται στη δημιουργία του καννάβου μέτρησης (ιδιαίτερα όταν το ύψος της στήλης του νερού ξεπερνάει τα δύο μέτρα). Τα όρια του καννάβου πρέπει παραμένουν σταθερά κατά την διάρκεια των μετρήσεων. Για την επίλυση αυτού του προβλήματος συνήθως χρησιμοποιούνται σημαδούρες που σταθεροποιούνται με «άγκυρες» τριών σημείων (από την βάση της σημαδούρας δένονται τρία σκοινιά που καταλήγουν στον πυθμένα σε τριγωνική βάση). Μεταξύ τους οι σημαδούρες (που ορίζουν τις γωνίες του καννάβου) ενώνονται με μετροταινίες ώστε αφενός να είναι ορατά τα όρια του καννάβου και αφετέρου να είναι εύκολη η μετακίνηση των ταινιών «οδηγών» πάνω στις οποίες αντίστοιχα μεταφέρεται το καλώδιο με τους αισθητήρες κατά την διάρκεια των μετρήσεων.

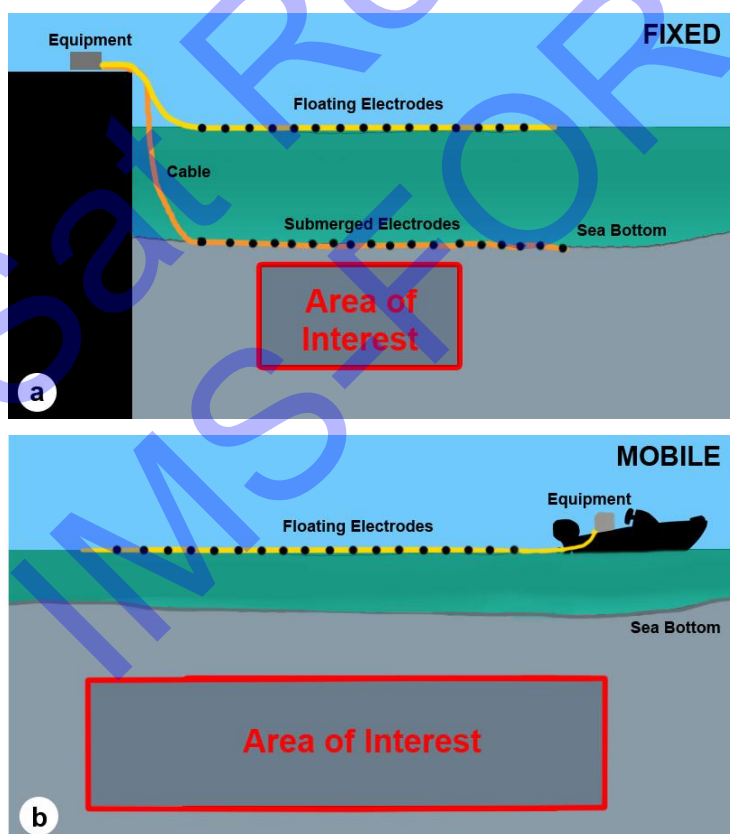
Γενικά, θα πρέπει να σημειωθεί ότι η ερμηνεία των γεωφυσικών ανωμαλιών εξαρτάται από εμπειρικές γνώσεις και θεωρητικές υποθέσεις (μοντέλα). Τα αποτελέσματα της ερμηνείας δεν μπορούν να θεωρηθούν πάντα αδιάψευστα. Επίσης θα πρέπει να είναι κατανοητός ο περιορισμός των δυνατοτήτων των γεωφυσικών μεθόδων σε σχέση με την διακριτική τους ικανότητα (εντοπισμό και διάκριση αντικειμένων συγκεκριμένων διαστάσεων, συνήθως μικρότερων της δειγματοληψίας των μετρήσεων), το βάθος διασκόπησης (το οποίο έχει μία αντιστρόφως αναλογική σχέση με την χωρική ευκρίνεια των μεθόδων: δηλαδή μείωση της ανάλυσης με αυξανόμενο βάθος έρευνας), τις εδαφικές συνθήκες (ανάγκη καλού διαχωρισμού του αντικειμένου από το περιβάλλον εδαφικό πλαίσιο στο οποίο ανήκει) κ.α.



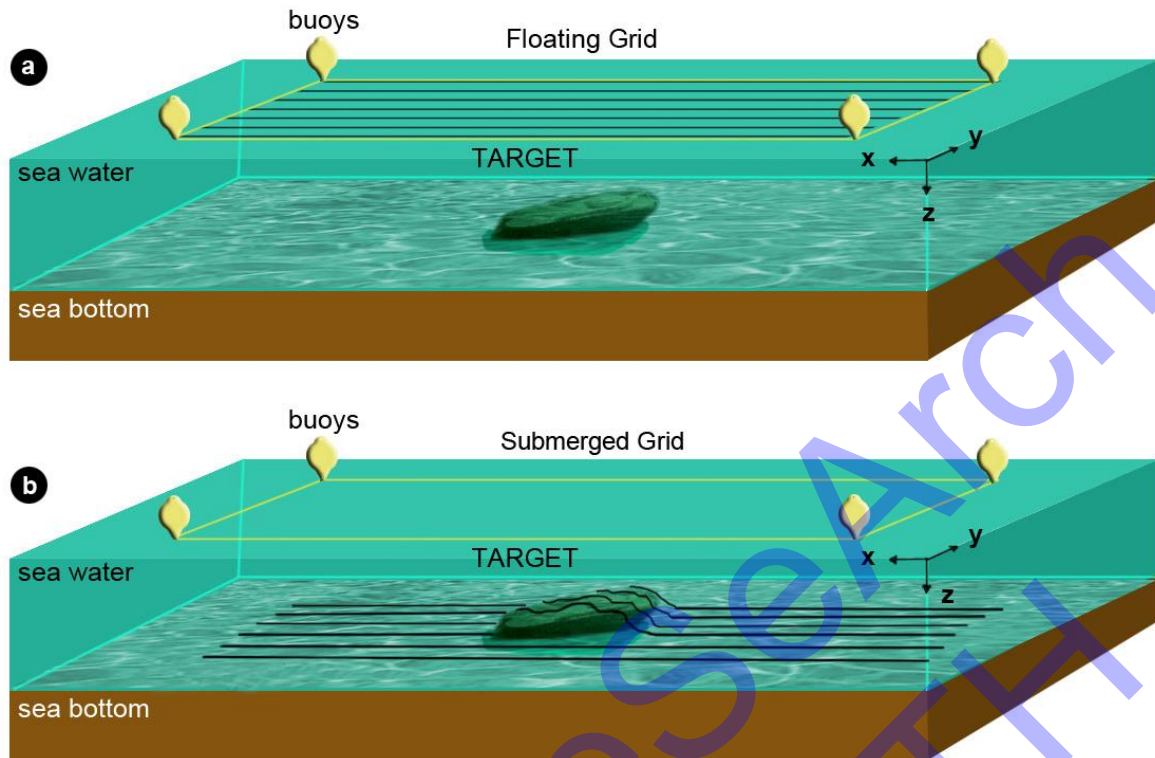
## ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Στις τομογραφίες δύο διαστάσεων (μήκος  $x$ , βάθος  $z$ ), η δειγματοληψία των μετρήσεων μπορεί να πραγματοποιηθεί είτε με αισθητήρες σταθερά τοποθετημένους (fixed) στον πυθμένα (όπου και λόγω βάρους του καλωδίου παραμένουν στον πυθμένα καθόλη την διάρκεια των μετρήσεων) ή στην επιφάνεια της θάλασσας (floating) με τη βοήθεια «σημαδούρων» (Σχήμα 1α). Σε αυτήν την περίπτωση οι αισθητήρες παραμένουν ακίνητοι (fixed) καθόλη την διάρκεια των μετρήσεων. Ένα άλλος τρόπος μέτρησης είναι με τη βοήθεια πλεύμενου οχήματος όπου και λαμβάνονται μετρήσεις με τους αισθητήρες καθώς μετακινούνται (mobile) πάνω στην επιφάνεια της θάλασσας (ή στον πυθμένα). Μαζί με τους αισθητήρες μετακινείται ταυτόχρονα και ο υπόλοιπος εξοπλισμός ο οποίος τοποθετείται μέσα στο πλεύμενο (Σχήμα 1b).

Εκτός από τις τομογραφίες δύο διαστάσεων είναι εφικτή η δημιουργία τρισδιάστατων μοντέλων με τη χρήση πολλαπλών δισδιάστατων τομογραφιών που ισπαύχουν μεταξύ τους (παράλληλα σε έναν κοινό κάθετο άξονα) (Σχήμα 2). Ωστόσο, για να εξαχθούν ασφαλή συμπεράσματα συνίσταται οι γραμμές όδευσης να πραγματοποιούνται και στις δύο κατευθύνσεις, τόσο ως προς την  $x$  αλλά και ως προς την  $y$  κατεύθυνση του καννάβου.



Σχήμα 1. (α) Θέση σταθερών αισθητήρων σε θαλάσσιο περιβάλλον, (β) «κινητοί» αισθητήρες από πλεύμενο όχημα.

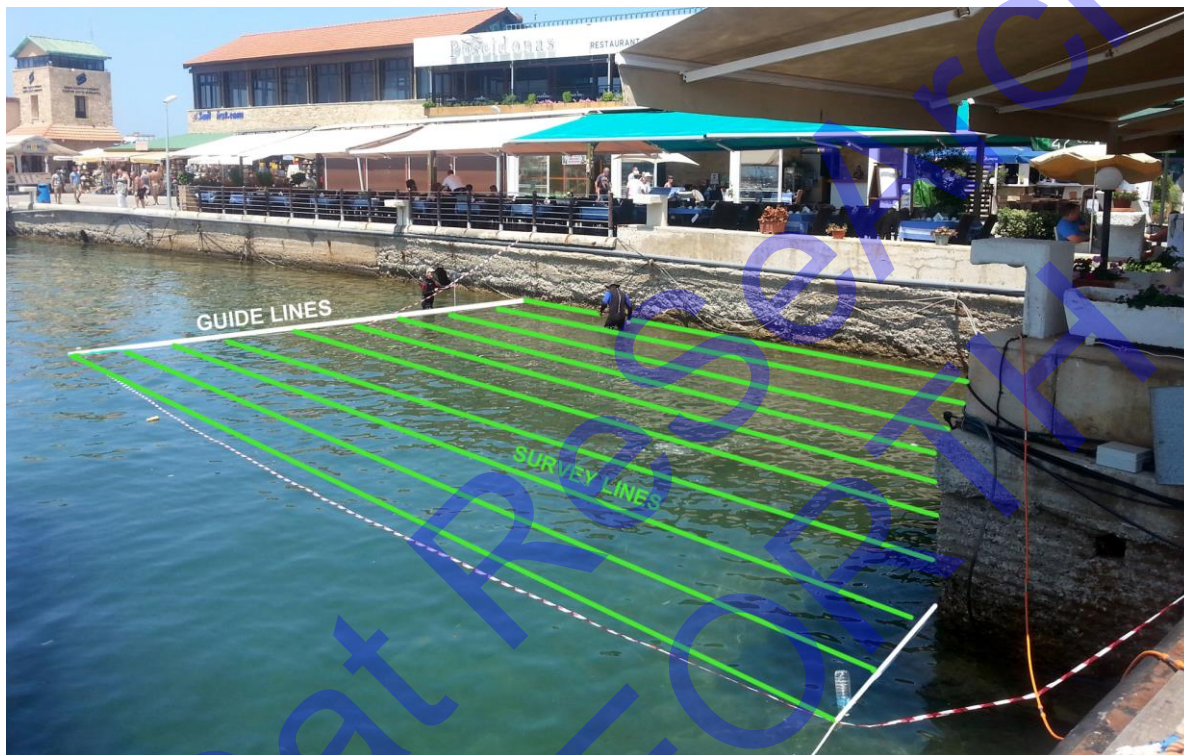


Σχήμα 2. Κάνναβος για τη λήψη δεδομένων και την απεικόνιση της περιοχής ενδιαφέροντος σε τρεις διαστάσεις είτε με ηλεκτρόδια τοποθετημένα σταθερά στην επιφάνεια της θάλασσας (α) είτε στον πυθμένα αυτής (β).

Η επιλογή της θέσης των αισθητήρων (επιφάνεια ή πυθμένα) και η μετακίνηση ή όχι αυτών καθόλη τη διάρκεια των μετρήσεων εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά και τις ιδιαιτερότητες της περιοχής ενδιαφέροντος. Για ύψος νερού μεγαλύτερο του 1 μέτρου συνίσταται η τοποθέτηση των αισθητήρων στον πυθμένα της θάλασσας επειδή το «στρώμα» του νερού λόγω υψηλής αγωγιμότητας «απορροφάει» μεγάλο μέρος της ενέργειας που διοχετεύεται και δεν επιτρέπει στο ρεύμα να παρέχει αρκετή πληροφορία για την δομή κάτω από τον πυθμένα της θάλασσας. Επιπλέον, η τοποθέτηση των αισθητήρων στην επιφάνεια της θάλασσας (όπου αυτό είναι εφικτό) κρίνεται καλύτερη επιλογή για χαρτογράφηση μεγαλύτερης επιφάνειας του υπεδάφους επειδή η μετακίνηση του καλωδίου στην επιφάνεια με τη χρήση σηματοδύρων είναι πιο εύκολη. Η μετακίνηση των αισθητήρων κατά την διάρκεια των μετρήσεων (mobile) συνίσταται για εξοικονόμηση χρόνου όταν πρέπει να καλυφθεί σχετικά μεγαλύτερη περιοχή ενδιαφέροντος.

Η απόσταση των αισθητήρων επιλέγεται βάσει της επιθυμητής διακριτική ικανότητας της διασκόπησης και αυτό εξαρτάται αρχικά από τις διαστάσεις του στόχου. Ένας εμπειρικός κανόνας για την κατάλληλη επιλογή της απόστασης μεταξύ των αισθητήρων είναι να «χωράνε» τρεις αισθητήρες στην μικρότερη διάσταση του στόχου (π.χ. πάχος τοίχου). Για παράδειγμα, εάν ο σκοπός της διασκόπησης είναι να ανιχνευθεί θεμέλιο τοίχου πάχους μισού μέτρου, η απόσταση των αισθητήρων θα επιλεγεί στα 0.25 μέτρα έτσι ώστε καθώς θα περνάει το καλώδιο κάθετα πάνω από τον τοίχο τρεις αισθητήρες να εμπεριέχονται στην μικρότερη αυτή διάσταση του τοίχου.

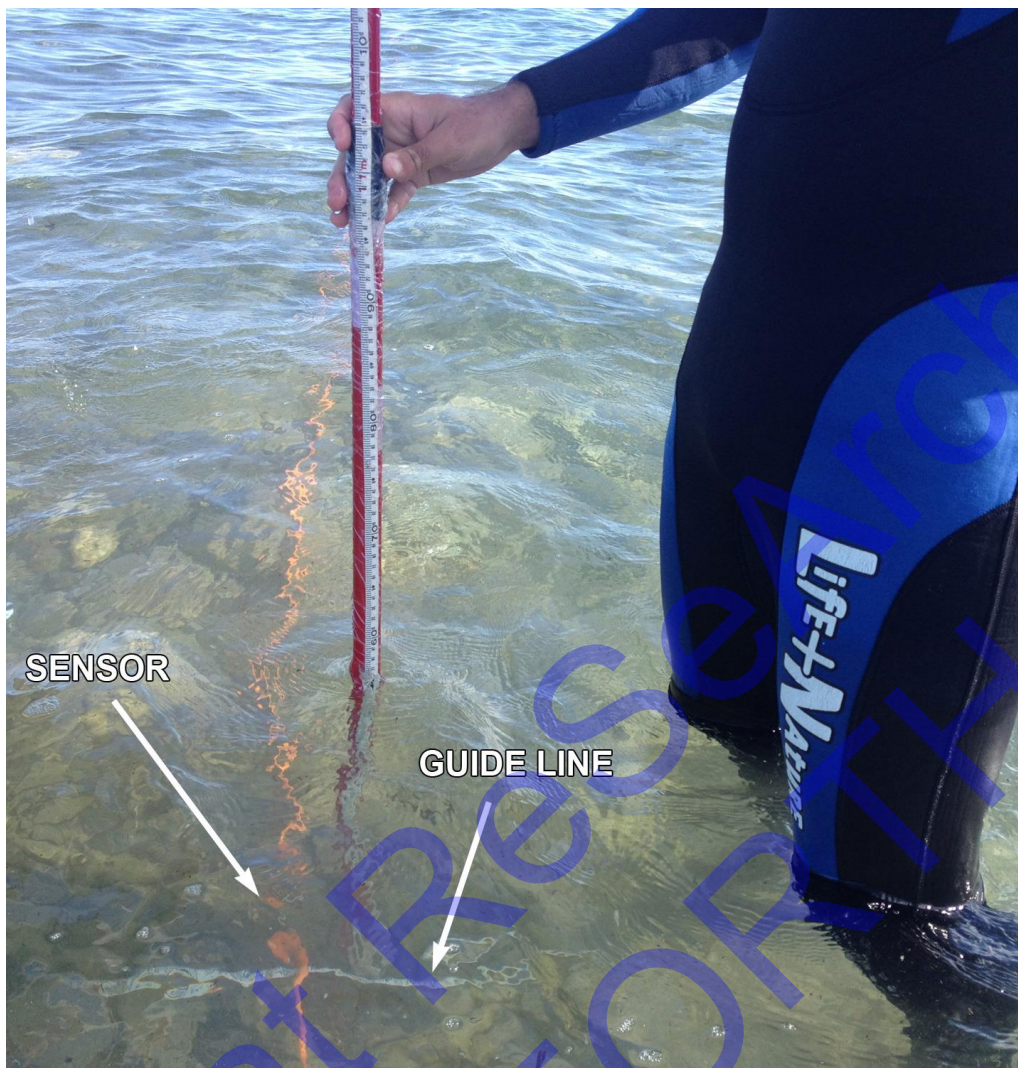
Αφού εντοπισθεί η περιοχή ενδιαφέροντος (βάσει του στόχου που πρόκειται να ανιχνευθεί-μελετηθεί), καθορίζεται η θέση του καννάβου. Για να γίνει αυτό ορίζονται τα τέσσερα σημεία του καννάβου (είτε με τη χρήση μετροταινίων, είτε με GPS). Στο εσωτερικό του καννάβου χρησιμοποιούνται παράλληλες νοητές γραμμές (survey lines) πάνω στις οποίες μετακινείται σταδιακά και παράλληλα το καλώδιο που φέρει τους αισθητήρες. Η ακριβής θέση του καλωδίου σε κάθε μετακίνηση προσδιορίζεται με την βοήθεια δύο παράλληλων γραμμών «οδηγών» (guide lines) του καννάβου που στήνονται μόνιμα στις δύο πλευρές του καννάβου (Σχήμα 3).



Σχήμα 3. Καννάβος για την εφαρμογή τομογραφιών για την συλλογή παράλληλων τομογραφικών δεδομένων.

Για την επεξεργασία των δεδομένων από θαλάσσιο περιβάλλον πρέπει να ληφθεί υπόψη το ύψος της στήλης του νερού. Η πληροφορία αυτή είναι χρήσιμη είτε οι αισθητήρες βρίσκονται στην επιφάνεια είτε στον πυθμένα της θάλασσας. Για τον λόγο αυτό υπολογίζεται το πάχος του θαλάσσιου «στρώματος» στην θέση των αισθητήρων. Επειδή η συγκεκριμένη μέθοδος εφαρμόζεται σε παραθαλάσσια και κοντά στην ακτή περιβάλλοντα (δηλαδή το ύψος της στήλης του νερού είναι μικρό) η μέτρηση της στήλης του νερού γίνεται με μετροταινία η οποία προσαρμόζεται σταθερά πάνω σε μία βέργα ύψους λιγότερο από δύο μέτρα. Η μέτρηση του ύψους γίνεται κατά την διάρκεια των μετρήσεων έτσι ώστε να τοποθετείται η μετροταινία ακριβώς στη θέση των αισθητήρων (Σχήμα 4).



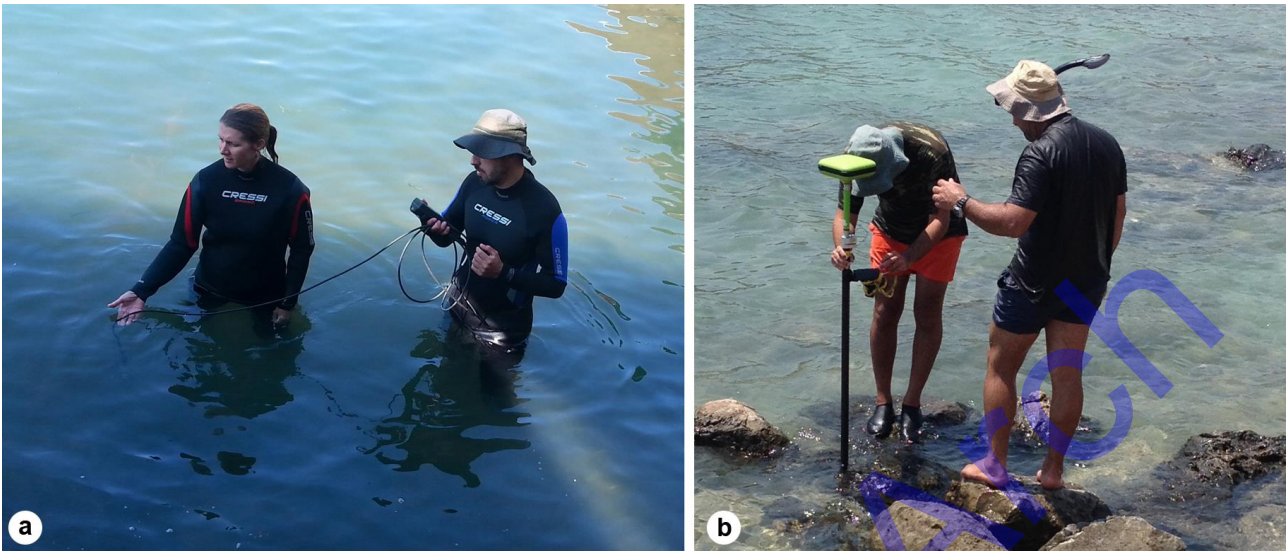


Σχήμα 4. Μέτρηση ύψους στήλης θαλάσσιου νερού με τη χρήση μετροταινίας εφαρμοσμένης πάνω σε πλαστική βέργα.

Εκτός από την καταγραφή του ύψους της στάθμης της θάλασσας, για την επεξεργασία των δεδομένων είναι απαραίτητο να μετρηθεί και η αγωγιμότητα του θαλάσσιου νερού. Για το λόγο αυτό χρησιμοποιείται ειδικό αγωγιμόμετρο (Σχήμα 5α) το οποίο ανάγει την τιμή της αγωγιμότητας στην θερμοκρασία των 25 °C (θερμοκρασία αναφοράς). Η τιμή αντίστασης γενικά του θαλάσσιου νερού κυμαίνεται από 0.15 έως 0.20 Ohm-m.

Τα αποτελέσματα των μετρήσεων μετά από επεξεργασία απεικονίζουν την ηλεκτρική υπογραφή τόσο του περιβάλλοντος όσο και του στόχου που μελετάται. Οι εικόνες αυτές (ηλεκτρικές τομογραφίες) όσο και η πραγματική θέση των στόχων (όσοι από αυτούς διακρίνονται μέσα στον πυθμένα από in situ αναγνώριση ή από αεροφωτογραφίες) γεωαναφέρονται και τοποθετούνται σε λεπτομερείς χάρτες της περιοχής. Για τον λόγο αυτό είναι απαραίτητο να καταγραφούν με την μέγιστη δυνατή ακρίβεια η θέση των αισθητήρων του καλωδίου, η θέση του καννάβου αλλά και τμήματα του στόχου που είναι ορατά στον πυθμένα για να γίνει οπτικός συσχετισμός μεταξύ των εικόνων αντιστροφής και της θέσης των στόχων. Η αποτύπωση όλων των στοιχείων αυτών γίνεται με διαφορικό GPS (Σχήμα 5b).





Σχήμα 5. (α) Μέτρηση της τιμής της αγωγιμότητας του θαλάσσιου νερού, (β) αποτύπωση της θέσης των εμφανών παράκτιων και βυθισμένων αρχαιολογικών ευρημάτων με δορυφορικό GPS.

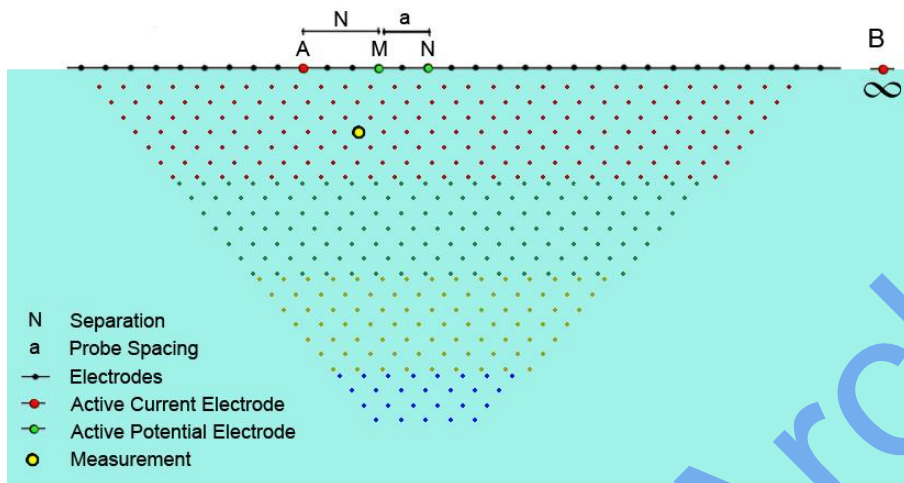
Οι αισθητήρες από όπου και διοχετεύεται το ρεύμα και μετράται η διαφορά δυναμικού είναι τοποθετημένοι σε ισαπέχοντες αποστάσεις του 1 μέτρου πάνω σε ένα καλώδιο συνολικού μήκους 47 μέτρων (Σχήμα 6α). Το καλώδιο αυτό συνδέεται με το βασικό όργανο μέτρησης ηλεκτρικής αντίστασης, το οποίο με τη σειρά του είναι υπεύθυνο για την επιλογή των «ενεργών» αισθητήρων της κάθε μέτρησης (δηλαδή των αισθητήρων που χρησιμοποιούνται ως ηλεκτρόδια ρεύματος A, B και δυναμικού M,N). Ο καθορισμός των ενεργών ηλεκτροδίων σε κάθε μέτρηση ορίζεται από αντίστοιχο πρωτόκολλο μετρήσεων το οποίο και μεταφέρεται στο βασικό όργανο με εξωτερικό υπολογιστή (laptop) (Σχήμα 6β).



Σχήμα 6. (α) Καλώδιο για θαλάσσιες μετρήσεις που φέρει τους αισθητήρες (επισημαίνονται με λευκό περιγράμμα), (β) εξοπλισμός με το βασικό όργανο μέτρησης της αντίστασης.

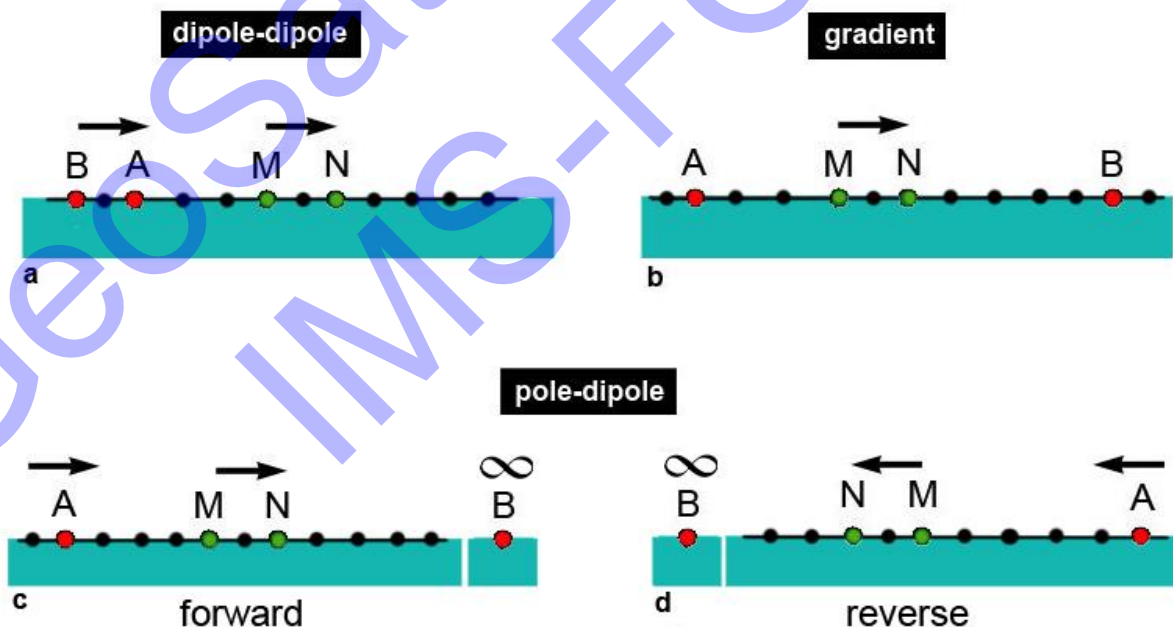






Σχήμα 8. Θέση μετρήσεων του πρωτοκόλλου pole-dipole για 31 ηλεκτρόδια.

Τα πρωτόκολλα τα οποία χρησιμοποιήθηκαν για την συλλογή των πραγματικών τομογραφικών δεδομένων ήταν τα: dipole-dipole, pole-dipole και gradient (Σχήμα 9). Η επιλογή των συγκεκριμένων διατάξεων βασίστηκε στη μελέτη αντίστοιχων αποτελεσμάτων που προήλθαν από συνθετική μοντελοποίηση του προβλήματος (Simyrdanis et al., 2015). Ανάλογα με την περιοχή ενδιαφέροντος χρησιμοποιήθηκαν είτε όλα τα πρωτόκολλα είτε μέρος αυτών. Η βασική απόσταση των ηλεκτροδίων “a” (spacing) και η παράμετρος “N” (separation) σε κάθε πρωτόκολλο επιλέχθηκε βάσει του συνολικού αριθμού των ηλεκτροδίων, του επιθυμητού βάθους διεξόδυσης και της διακριτικής ικανότητας του πρωτοκόλλου.



Σχήμα 9. Διατάξεις ηλεκτροδίων που χρησιμοποιήθηκαν για τη συλλογή δεδομένων σε θαλάσσιο περιβάλλον (dipole-dipole, gradient, pole-dipole). Τα «ενεργά» ηλεκτρόδια μίας τυχαίας μέτρησης απεικονίζονται με κόκκινο (ηλεκτρόδια ρεύματος) και πράσινο (ηλεκτρόδια δυναμικού) χρώμα.



Στο πρωτόκολλο role-dipole, το «άπειρο» ηλεκτρόδιο πρέπει να βρίσκεται σε μεγάλη απόσταση από τα υπόλοιπα και πρακτικά σε απόσταση μεγαλύτερη κατά 3 φορές από την μέγιστη απόσταση μεταξύ των δύο ακραίων ηλεκτροδίων. Το ηλεκτρόδιο αυτό τοποθετείται μέσα στη θάλασσα (π.χ. δεμένο σε κάποια πέτρα). Για το πρωτόκολλο role-dipole χρησιμοποιείται η “forward” και η “reverse” κατεύθυνση (Σχήμα 9c,d). Η διαφορά ανάμεσα τους είναι η φορά κατά την οποία λαμβάνονται οι μετρήσεις και η θέση του απομακρυσμένου ηλεκτροδίου (δεξιά ή αριστερά από την περιοχή ενδιαφέροντος). Η τελική επεξεργασία των δεδομένων από forward και reverse προκύπτει από τον συγκερασμό των δύο αυτών πρωτοκόλλων.

## ΛΟΓΙΣΜΙΚΑ – ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Μετά την ολοκλήρωση μετρήσεων από την ύπαιθρο, τα δεδομένα μεταφέρονται και αποθηκεύονται στον υπολογιστή με το πρόγραμμα “Prosys II” (Σχήμα 10a). Πριν την αντιστροφή των φαινομένων αντιστάσεων, πραγματοποιείται ένα πρώτο στάδιο επεξεργασίας των πρωτογενών δεδομένων το οποίο περιλαμβάνει την απόρριψη μεμονωμένων «προβληματικών» μετρήσεων (“outliers”, Σχήμα 10b), φιλτράρισμα εύρους μετρήσεων π.χ. με αρνητική φαινόμενη αντίσταση (Σχήμα 10d) και απεικόνιση των τελικών φαινομένων αντιστάσεων («ψευδοτομή») ώστε να εκτιμηθεί η συνολική εικόνα των δεδομένων (Σχήμα 10d).

Η επεξεργασία των δεδομένων πραγματοποιείται με τη χρήση εξειδικευμένων προγραμμάτων αντιστροφής, όπως: “Res2DInv” (Loke), “DC2D-Pro” (Kim) και “2D-InvCode” (Simyrdanis). Και τα τρία προγράμματα βασίζονται στην επίλυση των πεπερασμένων στοιχείων για την επίλυση του ευθέως προβλήματος (σε 2.5D διαστάσεις) και χρησιμοποιούν έναν επαναληπτικό αλγόριθμο ελαχίστων τετραγώνων για την ανακατασκευή των υπεδάφινων μοντέλων αντίστασης. Ο όρος “2.5D” διαστάσεις σημαίνει ότι ενώ απεικονίζουμε την τιμή της φαινόμενης αντίστασης σε δύο διαστάσεις (x, z) λαμβάνουμε υπόψη το γεγονός ότι το ρεύμα διαδίδεται στο χώρο, δηλαδή σε τρεις διαστάσεις (x, y, z). Τα προγράμματα “DC2D-Pro” και “2D-InvCode” χρησιμοποιήθηκαν για την επεξεργασία και απεικόνιση δεδομένων σε δύο διαστάσεις ενώ το πρόγραμμα “Res3DInv” χρησιμοποιήθηκε επιπλέον και για επεξεργασία δεδομένων τριών διαστάσεων.

Κάθε πρόγραμμα χρειάζεται συγκεκριμένο τύπο αρχείου για την αντιστροφή των δεδομένων (Σχήμα 11). Η ουσιαστική διαφορά μεταξύ των τριών τύπων αρχείων είναι ότι για το πρόγραμμα “DC2DPro” (Kim) ορίζεται αρχικά η ονομασία και οι συντεταγμένες της θέσης των ηλεκτροδίων και με βάση την ονομασία πλέον του ηλεκτροδίου το πρόγραμμα χρησιμοποιεί το σύνολο των δεδομένων. Αντίθετα στα προγράμματα “Res2DInv” και “2DInvCode” η ίδια η μέτρηση περιέχει και τις συντεταγμένες των «ενεργών» ηλεκτροδίων που χρησιμοποιούνται. Στο Σχήμα 12 απεικονίζονται ενδεικτικά εικόνες αντιστροφής δεδομένων από θαλάσσιο περιβάλλον με τα προγράμματα αντιστροφής που χρησιμοποιήθηκαν.

Όπως αναφέρθηκε και σε προηγούμενη ενότητα, κατά τη διαδικασία επεξεργασίας των δεδομένων εισάγεται η πληροφορία της τιμής της αντίστασης του θαλάσσιου νερού και το πάχος αυτού πάνω από τον πυθμένα. Η τιμή αυτή εισάγεται στο πρόγραμμα από τον χρήστη και αναφέρεται σε συγκεκριμένη περιοχή του μοντέλου (ανώτερο στρώμα του μοντέλου που απεικονίζει και το πάχος της θάλασσας).

Η πληροφορία από την τιμή αυτή και το πάχος του νερού που ορίζεται εκ των προτέρων βελτιώνει τα αποτελέσματα της επαναληπτικής διαδικασίας αντιστροφής και πρόκειται για πληροφορία που εύκολα μπορεί κάποιος να μετρήσει με τον κατάλληλο εξοπλισμό. Η πληροφορία αυτή μπορεί να εισαχθεί με δύο τρόπους: (α) με σταθερή (fixed) τιμή ή (β) με μεταβαλλόμενη (variable) τιμή μαζί με ένα «βάρος αξιοπιστίας». Όταν χρησιμοποιείται η fixed τιμή σε μία περιοχή του μοντέλου, καθόλη την διάρκεια αντιστροφής, παραμένει σταθερή και «αναγκάζει» το μοντέλο να υπολογίσει και τις υπόλοιπες τιμές αντίστασης διατηρώντας πάντα σταθερή την τιμή αυτή στην περιοχή όπου και έχει ορισθεί. Στην περίπτωση της μεταβαλλόμενης 'a priori' τιμής αντίστασης, ξεκινάει το μοντέλο με μία αρχική τιμή (την οποία ορίζει ο χρήστης) και λαμβάνοντας υπόψη τον βαθμό βαρύτητας λαμβάνεται υπόψη ή όχι στον υπολογισμό των υπολοίπων τιμών αντίστασης του τελικού μοντέλου. Ο βαθμός βαρύτητας κυμαίνεται από 0 έως 1, όπου με τιμή 0 δεν λαμβάνεται καθόλου υπόψη η τιμή αυτή και με τιμή 1 μετατρέπεται η τιμή σε σταθερή (fixed). Πρέπει να επισημανθεί ότι παρόλο που η 'a priori' πληροφορία βελτιώνει σημαντικά τα αποτελέσματα, η χρήση της μπορεί να γίνει μόνο όταν είναι αξιόπιστη η τιμή. Σε κάθε άλλη περίπτωση οδηγεί σε λανθασμένα συμπεράσματα και για το λόγο αυτό συνίσταται να αποφεύγεται.

Figure 10(a) displays the main data table in the "Prosys II" software. The table lists 42 electrode pairs (Spa 1 to Spa 10) and their corresponding measurements. The columns include: #, Electrode, Spa 1, Spa 2, Spa 3, Spa 4, Rho, Dev, M, Sp, Vp, In, Time, Spa 5, Spa 6, Spa 7, Spa 8, Spa 9, and Spa 10. The data shows various resistivity values and deviations for each electrode pair.

#	Electrode	Spa 1	Spa 2	Spa 3	Spa 4	Rho	Dev	M	Sp	Vp	In	Time	Spa 5	Spa 6	Spa 7	Spa 8	Spa 9	Spa 10
1	Pole Dipole	9999.99	39.00	38.00	37.00	0.88	0.8	0.00	57.6	-163.671	233.795	500	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	Pole Dipole	9999.99	39.00	37.00	36.00	1.10	0.2	0.00	15.9	-68.845	233.795	500	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3	Pole Dipole	9999.99	39.00	36.00	35.00	1.51	0.0	0.00	15.9	-66.465	233.795	500	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4	Pole Dipole	9999.99	39.00	34.00	33.00	2.31	0.3	0.00	-3.5	-42.863	233.795	500	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5	Pole Dipole	9999.99	39.00	34.00	32.00	2.42	0.1	0.00	11.8	-21.444	233.795	500	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
6	Pole Dipole	9999.99	39.00	32.00	31.00	2.95	0.4	0.00	-0.4	-18.882	233.795	500	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
7	Pole Dipole	9999.99	39.00	31.00	29.00	2.85	0.2	0.00	-13.9	-27.388	233.795	500	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
8	Pole Dipole	9999.99	39.00	29.00	27.00	3.27	0.2	0.00	-1.4	-20.271	233.795	500	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
9	Pole Dipole	9999.99	39.00	27.00	25.00	3.74	0.3	0.00	2.6	-16.953	233.795	500	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
10	Pole Dipole	9999.99	39.00	25.00	23.00	2.81	0.2	0.00	-7.1	-32.863	233.795	500	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
11	Pole Dipole	9999.99	39.00	23.00	21.00	2.40	0.0	0.00	-26.8	-23.327	233.795	500	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
12	Pole Dipole	9999.99	39.00	21.00	19.00	2.45	0.2	0.00	23.2	-17.687	233.795	500	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
13	Pole Dipole	9999.99	39.00	19.00	18.00	4.37	0.6	0.00	11.3	-16.517	233.795	500	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
14	Pole Dipole	9999.99	39.00	18.00	17.00	3.70	0.0	0.00	56.5	-15.165	233.795	500	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
15	Pole Dipole	9999.99	39.00	16.00	15.00	2.95	0.4	0.00	-6.3	-12.589	233.795	500	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
16	Pole Dipole	9999.99	39.00	14.00	14.00	5.43	0.1	0.00	-4.4	-15.236	233.795	500	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
17	Pole Dipole	9999.99	39.00	14.00	10.00	4.57	0.1	0.00	39.8	-9.288	233.795	500	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
18	Pole Dipole	9999.99	39.00	12.00	11.00	4.20	0.3	0.00	-29.0	-22.484	233.795	500	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
19	Pole Dipole	9999.99	39.00	11.00	10.00	3.78	0.1	0.00	-4.6	-13.779	233.795	500	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
20	Pole Dipole	9999.99	39.00	10.00	9.00	4.96	0.1	0.00	15.1	-13.122	233.795	500	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
21	Pole Dipole	9999.99	39.00	10.00	8.00	4.20	0.0	0.00	2.4	-12.517	233.795	500	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
22	Pole Dipole	9999.99	39.00	25.00	22.00	4.11	0.4	0.00	33.8	-19.075	234.520	500	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
23	Pole Dipole	9999.99	39.00	22.00	19.00	4.09	0.3	0.00	17.7	-13.807	234.520	500	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
24	Pole Dipole	9999.99	39.00	19.00	15.00	5.03	0.4	0.00	2.5	-15.426	234.520	500	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
25	Pole Dipole	9999.99	39.00	15.00	11.00	4.88	0.2	0.00	-8.6	-10.833	234.520	500	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
26	Pole Dipole	9999.99	39.00	10.00	8.00	4.98	0.1	0.00	41.2	-16.863	232.315	500	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
27	Pole Dipole	9999.99	39.00	12.00	11.00	5.18	0.1	0.00	-1.9	-12.363	232.315	500	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
28	Pole Dipole	9999.99	39.00	11.00	10.00	5.00	0.0	0.00	15.7	-10.924	234.487	500	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
29	Pole Dipole	9999.99	39.00	36.00	36.00	0.58	0.8	0.00	15.7	-10.924	234.487	500	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
30	Pole Dipole	9999.99	39.00	36.00	36.00	1.01	0.7	0.00	14.8	-11.771	234.487	500	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
31	Pole Dipole	9999.99	39.00	36.00	35.00	2.46	0.7	0.00	-4.1	-21.883	234.487	500	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
32	Pole Dipole	9999.99	39.00	36.00	34.00	3.03	0.7	0.00	-3.7	-16.286	234.487	500	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
33	Pole Dipole	9999.99	39.00	36.00	33.00	4.13	0.4	0.00	-27.5	-26.770	234.487	500	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
34	Pole Dipole	9999.99	39.00	36.00	32.00	2.96	0.6	0.00	-27.5	-26.770	234.487	500	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
35	Pole Dipole	9999.99	39.00	36.00	30.00	2.88	0.6	0.00	22.3	-19.832	234.487	500	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
36	Pole Dipole	9999.99	39.00	36.00	28.00	2.53	0.6	0.00	-12.1	-29.603	235.581	500	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
37	Pole Dipole	9999.99	39.00	36.00	26.00	2.96	0.7	0.00	-0.7	-22.073	235.581	500	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
38	Pole Dipole	9999.99	39.00	26.00	25.00	3.95	0.1	0.00	1.9	-18.288	235.581	500	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
39	Pole Dipole	9999.99	39.00	25.00	23.00	4.32	0.3	0.00	-29.0	-15.181	235.581	500	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
40	Pole Dipole	9999.99	39.00	23.00	20.00	3.60	0.1	0.00	-4.4	-14.760	235.581	500	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
41	Pole Dipole	9999.99	39.00	20.00	17.00	4.76	0.1	0.00	14.3	-13.891	235.581	500	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

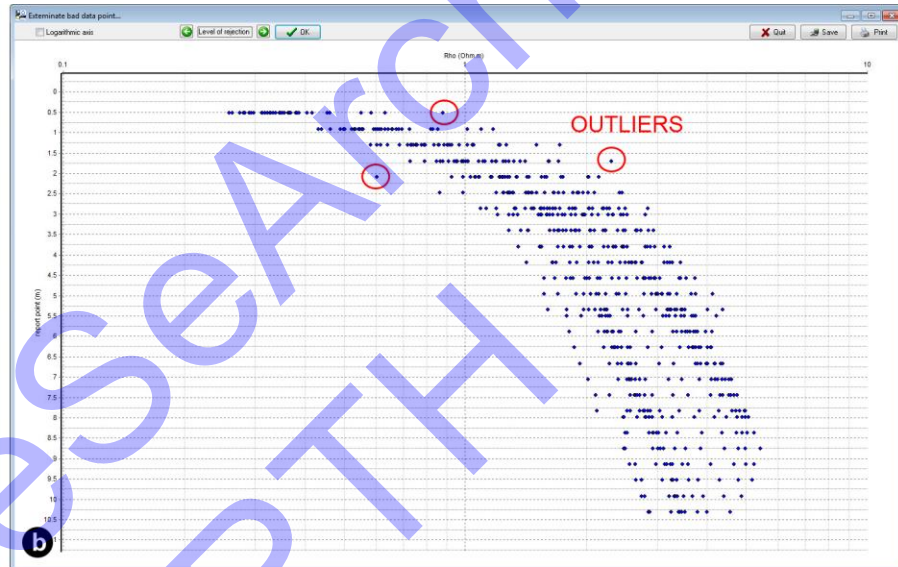
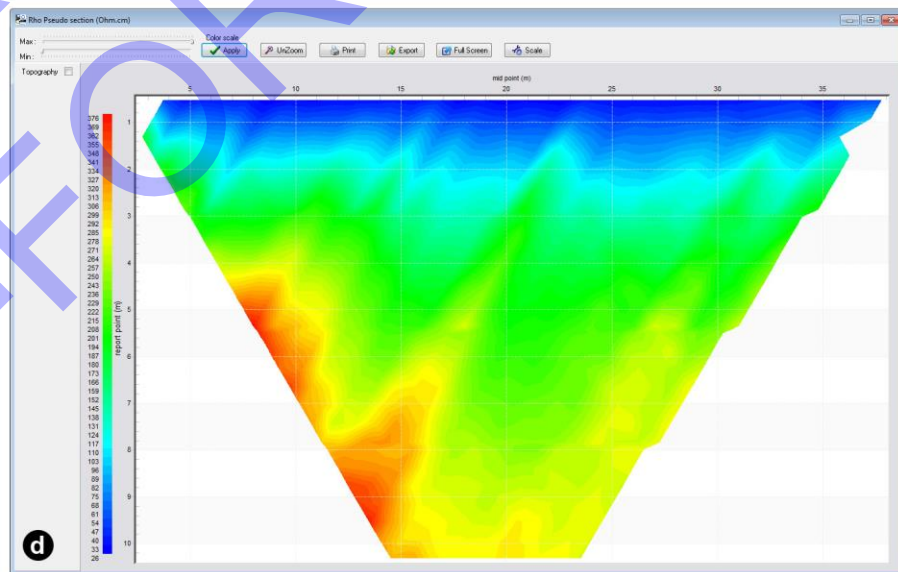
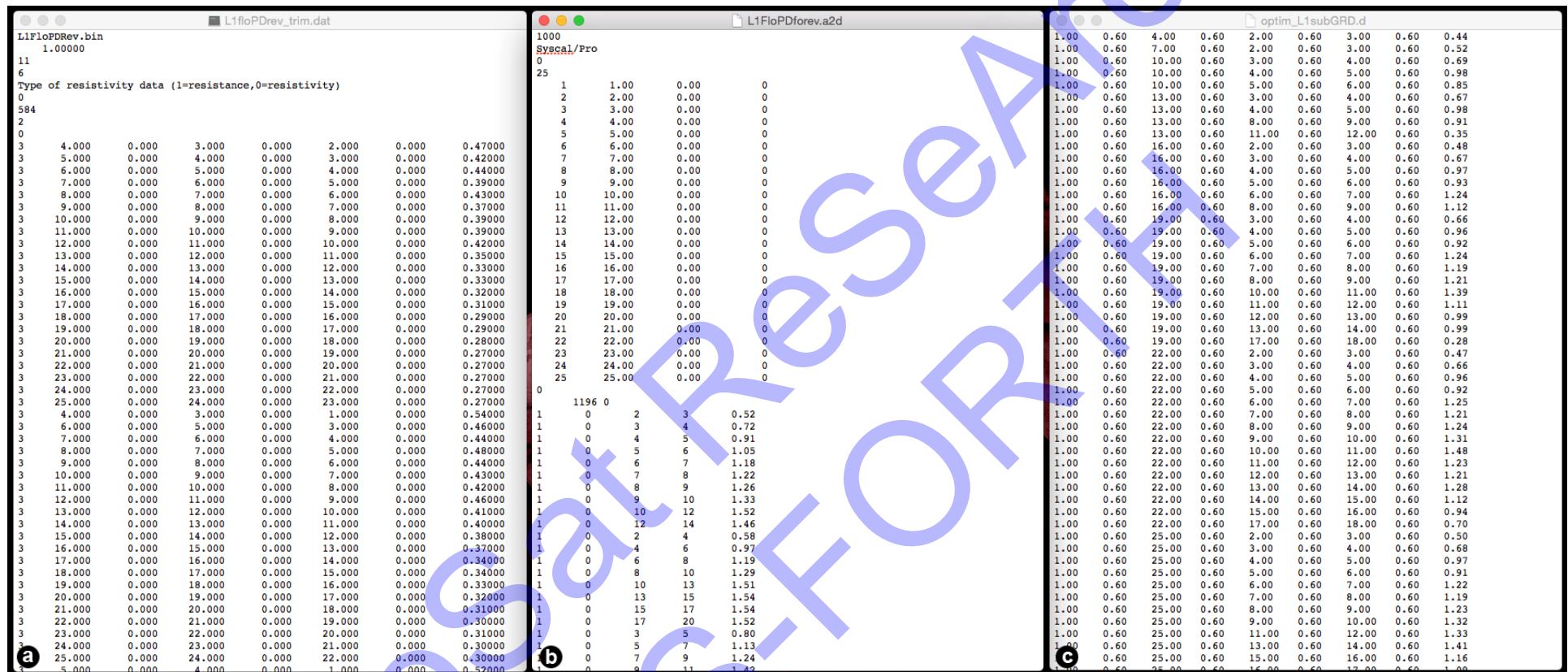


Figure 10(c) displays the main data table in the "Prosys II" software, identical to Figure 10(a). A "Filtering data" dialog box is overlaid on the table, showing the following values:

Filtering data	Min value	Max value
Rho	163.671	5.652
In	1980.560	2370.534
Rho	0.259	5.427
Dev	0.000	2.321
M	0.000	0.000

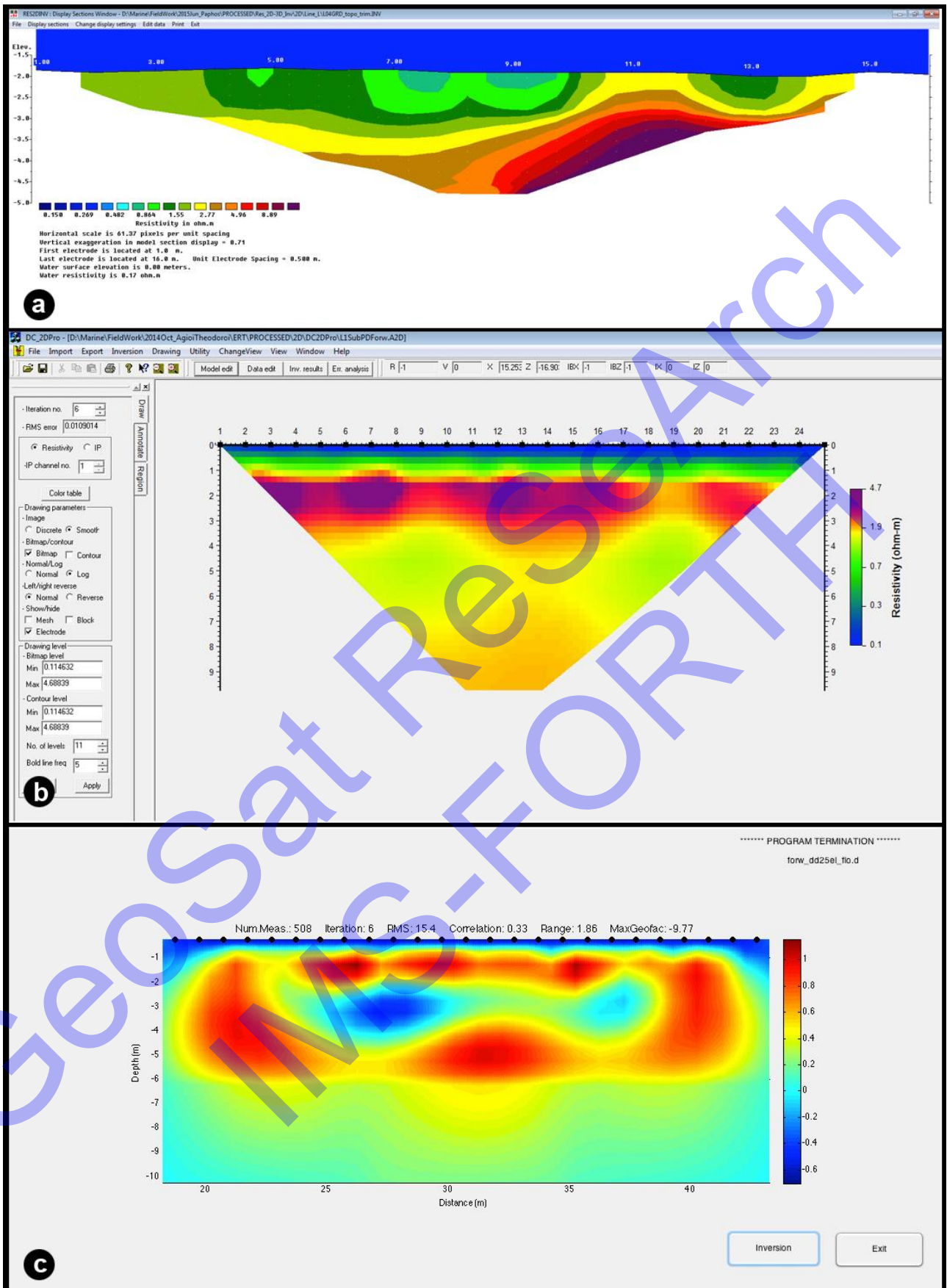


Σχήμα 10. (α) Πρόγραμμα "Prosys II" για την μεταφορά δεδομένων από το όργανο ηλεκτρικών τομογραφιών, (β) απόρριψη προβληματικών μετρήσεων, (γ) βασικό φιλτράρισμα αρνητικών φαινομένων αντιστάσεων ή τιμών με μεγάλη απόκλιση και (δ) ψευδοτομή όπου και προβάλλονται οι φαινόμενες αντιστάσεις μετά το φιλτράρισμα.



Σχήμα 11. Τύποι αρχείων που χρησιμοποιούνται για τα προγράμματα αντιστροφής (α) Res2Dinv (Loke), (b) DC2Dpro (kim) and (c) 2DInvCode (Simyrdanis).





Σχήμα 12. Προγράμματα Αντιστροφής για την επεξεργασία των δεδομένων από θαλάσσια περιβάλλοντα: (α) Res2DINV (Loke), (b) DC2DPro (kim) and (c) 2DInvCode (Simyrdanis).

## **ΘΕΣΕΙΣ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ (ΑΓΙΟΙ ΘΕΟΔΩΡΟΙ, ΚΑΛΟ ΧΩΡΙΟ, ΚΑΡΑΒΟΣΤΑΣΙ, ΕΛΟΥΝΤΑ, ΠΑΦΟΣ)**

Η μεθοδολογία των ηλεκτρικών τομογραφιών εφαρμόστηκε σε διαφορετικά θαλάσσια μέρη όπου και πληρούνταν κάποιες προϋποθέσεις για να γίνει αυτό. Η βασική προϋπόθεση για την εφαρμογή της μεθόδου είναι το ύψος της στήλης του νερού να μην υπερβαίνει τα δύο μέτρα. Με τον τρόπο αυτό είναι εφικτή η λήψη αξιόπιστων δεδομένων έχοντας τοποθετημένα τα ηλεκτρόδια όχι μόνο στον πυθμένα της θάλασσας αλλά και στην επιφάνεια αυτής. Επιπλέον, σε όλες τις υποψήφιες θέσεις οι αρχαιολογικοί στόχοι παρόλο που ήταν καλυμμένοι από τα ανώτερα στρώματα του πυθμένα, ένα μέρος αυτών ήταν εμφανές. Με τον τρόπο αυτό υπήρχε η δυνατότητα να επιλεγθούν οι θέσεις των γραμμών όδευσης των αισθητήρων ακριβώς πάνω από τον «στόχο» ώστε να επαληθευθεί έπειτα από τα αποτελέσματα των μετρήσεων η αξιοπιστία της μεθόδου. Αυτό είναι εφικτό από την στιγμή που είναι γνωστή η ακριβής θέση του στόχου (με τη χρήση GPS) και αντίστοιχα η θέση των αισθητήρων. Όσον αφορά τα χαρακτηριστικά των στόχων, πρόκειται κυρίως για αρχαία κατάλοιπα κτιρίων. Οι τοίχοι αυτών των κτιρίων είναι αρκετά ευμεγέθεις διευκολύνοντας με τον τρόπο αυτό τον εντοπισμό τους με τη μέθοδο της ηλεκτρικής τομογραφίας.

Εκτός από τις βασικές προϋποθέσεις για την εφαρμογή της μεθόδου (ύψος στήλης νερού, εμφανή αρχαιολογικά ευρήματα), ο ουσιαστικός λόγος για τον οποίο πραγματοποιείται η διασκόπηση των παράκτιων περιβαλλόντων είναι για να απαντηθούν βασικά αρχαιολογικά ερωτήματα. Τα ερωτήματα αυτά βασίζονται σε υπάρχοντα ιστορικά στοιχεία από προγενέστερες μελέτες και χάρτες της περιοχής όπου και περιγράφεται η δραστηριότητα από τον εγκατεστημένο στο παρελθόν πληθυσμό.

Οι περιοχές που επιλέχθηκαν είναι το Κοκκίνη Χάνι (Άγιοι Θεόδωροι), το Ίστρο και το Καραβοστάσι (Καλό Χωριό), η Ελούντα (Άγ. Νικόλαος) και η Πάφος (Κύπρος). Για κάθε μία περιοχή παρουσιάζονται οι αντίστοιχοι χάρτες πάνω στους οποίους επισημαίνεται η ακριβής θέση των στόχων (όπου αυτοί είναι εμφανείς) και η θέση όπου πραγματοποιήθηκαν οι διασκοπήσεις. Όλες οι γραμμές όδευσης στους χάρτες παρουσιάζονται με ένα βέλος, στην αρχή του οποίου βρίσκεται πάντα και το πρώτο ηλεκτρόδιο της τομογραφίας. Περιγράφεται αναλυτικά η μεθοδολογία που εφαρμόστηκε μαζί με τον εξοπλισμό που χρησιμοποιήθηκε. Τέλος, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα μετά από την επεξεργασία των δεδομένων με τις εικόνες των γεωηλεκτρικών μοντέλων που προέκυψαν και γίνεται και η ανάλογη ερμηνεία των αποτελεσμάτων.

## ΚΟΚΚΙΝΗ ΧΑΝΙ - ΑΓΙΟΙ ΘΕΟΔΩΡΟΙ

Το Κοκκίνη Χάνι (Αγ. Θεόδωροι) βρίσκεται 12 χιλιόμετρα ανατολικά του Ηρακλείου (στο βόρειο τμήμα της Κρήτης) στον Νομό Ηρακλείου (Σχήμα 13). Το 1926, μελετάται για πρώτη φορά η περιοχή των Αγ. Θεοδώρων του Νίρου Χάνι (ή Κοκκίνη Χάνι), από τον Σπυρίδων Μαρινάτο (1926, 141-147). Στην περιοχή βρίσκονται κατάλοιπα Υστερομινωικού Ι κτιρίου με φαρδείς τοίχους (~0.80μ.), πηγάδι και τοίχους γειτονικών κτιρίων που συνεχίζουν και μέσα στη θάλασσα. Η παραλία προστατεύεται βορείως από βραχώδες έξαρμα-ακρωτήριο, με τρεις συνεχόμενες βραχονησίδες, που παρουσιάζουν έντονα ίχνη λατόμησης. Στα δυτικά, στην περιοχή γένεσης του ακρωτηρίου, υπάρχει ορθογώνιο λάξευμα, το οποίο διαχωρίζεται σε δύο μέρη από λωρίδα αλάξευτου βράχου. Ο ανασκαφέας θεώρησε το ακρωτήριο ως τον καλύτερο φυσικό λιμενοβραχίονα της περιοχής και το μεγάλο λάξευμα είτε ως λιμάνι είτε ως νεώριο (Σχήμα 14).



Σχήμα 13. Χάρτης από το Κοκκίνη Χάνι ανατολικά του Ηρακλείου (βόρεια Κρήτη).

Στην περιοχή ενδιαφέροντος πραγματοποιήθηκε γεωφυσική διασκόπηση με την μέθοδο της ηλεκτρικής τομογραφία με σκοπό την χαρτογράφηση των υπεδάφινων και υποθαλάσσιων αρχιτεκτονικών δομών σε δύο και σε τρεις διαστάσεις. Οι μετρήσεις ελήφθησαν σε δύο διαφορετικές χρονικές φάσεις: (α) 23-24-25 Οκτωβρίου 2014 και (β) 21-22 Ιουλίου 2015. Στην πρώτη φάση πραγματοποιήθηκαν τομογραφίες για δύο διαστάσεις με τις γραμμές “L1” και “L2” και παράλληλες τομογραφίες για αποτελέσματα σε τρεις διαστάσεις με τους κάρναβους “D” (μέσα στη θάλασσα) και “F” (στην παραλία). Αναλυτικότερα, η γραμμή “L1” έχει μήκος  $l=26$  μέτρα (με 25 ηλεκτρόδια) και κατεύθυνση NNΔ προς BBD και η γραμμή “L2” μήκος  $l=32$  μέτρα (με 33 ηλεκτρόδια) και κατεύθυνση N προς BBD. Και στις δύο γραμμές η εσωτερική απόσταση των ηλεκτροδίων είναι  $a=1$  μέτρο.



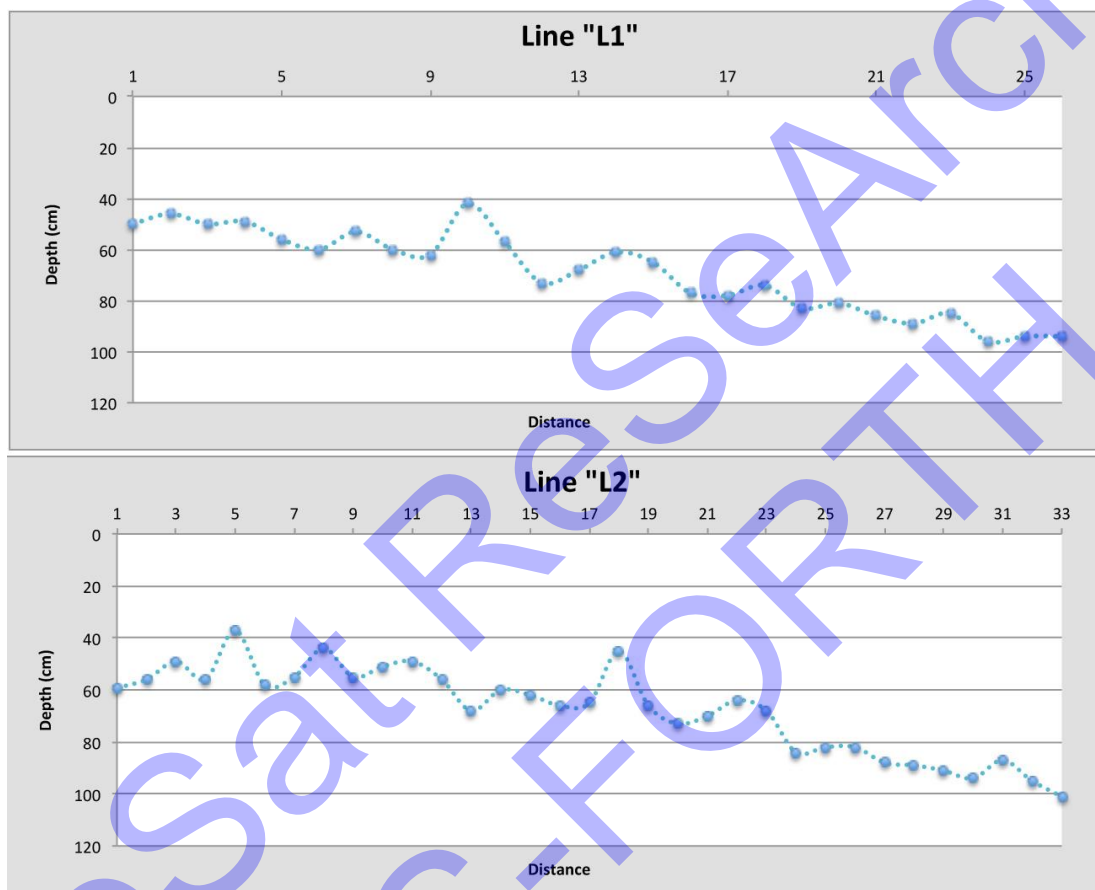


Σχήμα 14. Αρχαιολογικά ευρήματα της περιοχής από το Κοκκίνη Χάνι.

Η μέση τιμή αγωγιμότητας του θαλάσσιου νερού μετρήθηκε στα 0.2 ohm-m (στους 25°C) και το ύψος της στήλης του νερού δεν ξεπερνάει το D=1 μέτρο (Σχήμα 15). Στην γραμμή “L1” οι αισθητήρες τοποθετήθηκαν τόσο στην επιφάνεια της θάλασσας (floating) όσο και στον πυθμένα

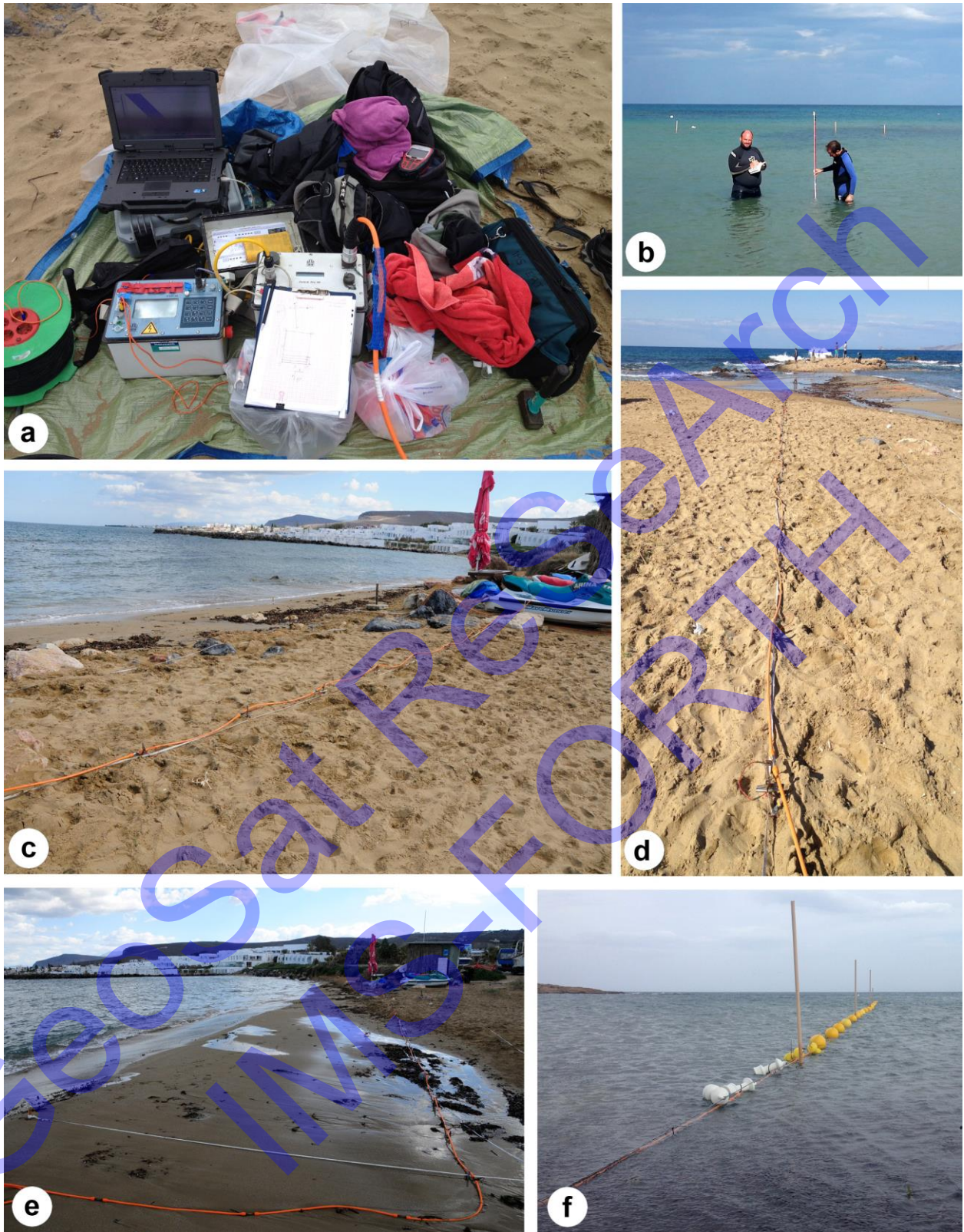


αυτής (submerged). Τα πρωτόκολλα που χρησιμοποιήθηκαν είναι: Dipole-dipole (#508), Pole-Dipole (#598) και Gradient (#860) ('#' ο αριθμός των μετρήσεων). Να επισημανθεί ότι το πρωτόκολλο Gradient δεν χρησιμοποιήθηκε στην γραμμή "L2" στα submerged ηλεκτρόδια. Εικόνες από την γενικότερη περιοχή μελέτης παρουσιάζονται στο Σχήμα 16, όπου και απεικονίζεται ο εξοπλισμός που χρησιμοποιήθηκε για την δειγματοληψία (π.χ. το καλώδιο με τους αισθητήρες) και για την καταμέτρηση του βάθους του νερού.



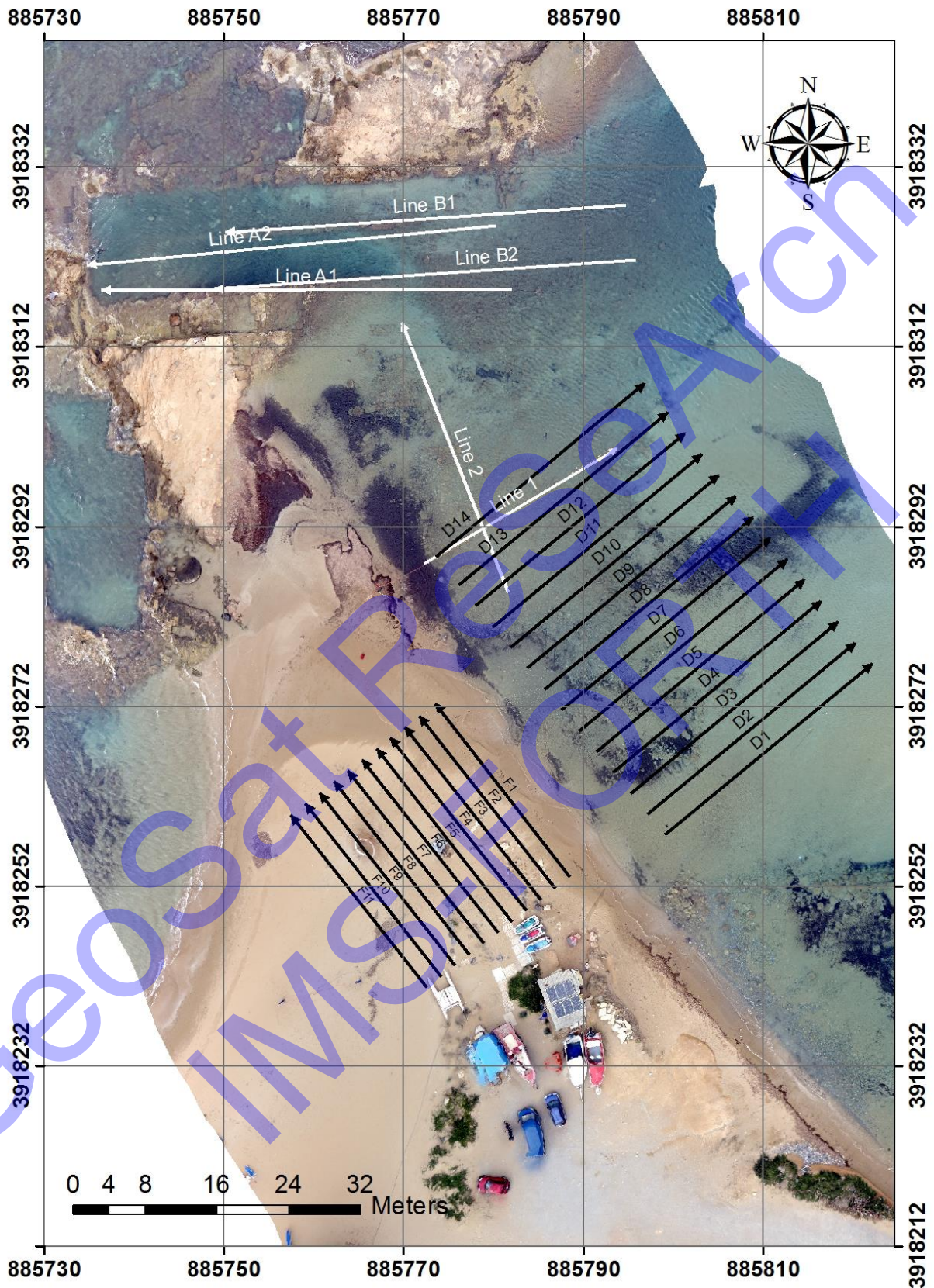
Σχήμα 15. Ύψος στήλης νερού στις γραμμές "L1" και "L2".

Δύο ορθογώνιοι περιοχές, μία στην ακτή και η άλλη μέσα στην θάλασσα διερευνήθηκαν μέσω των καννάβων ("D") και ("F") αντίστοιχα. Για τον κάνναβο "D" χρησιμοποιήθηκαν 14 ισομήκεις γραμμές παράλληλες μεταξύ τους μήκους 30 μέτρων (με 31 ηλεκτρόδια η κάθε μία). Η εσωτερική απόσταση των ηλεκτροδίων είναι  $a=1$  μέτρο και η απόσταση μεταξύ των γραμμών είναι  $d=3$  μέτρα. Η τελευταία μόνο γραμμή απέχει από την προηγούμενη  $d=4$  μέτρα. Για τον κάνναβο "F" χρησιμοποιήθηκαν 11 ισομήκεις γραμμές μήκους  $l=25$  μέτρων (με 26 ηλεκτρόδια). Η απόσταση των ηλεκτροδίων είναι  $a=1$  μέτρο και μεταξύ των παράλληλων γραμμών  $d=2$  μέτρα (Σχήμα 17).



Σχήμα 16. Διαδικασία δειγματοληψίας με ειδικό εξοπλισμό για την λήψη των τομογραφικών δεδομένων (a), την μέτρηση του ύψους της στήλης του νερού (b) με αισθητήρες τόσο στην ακτή (c,d) όσο και υποθαλάσσια (e,f).

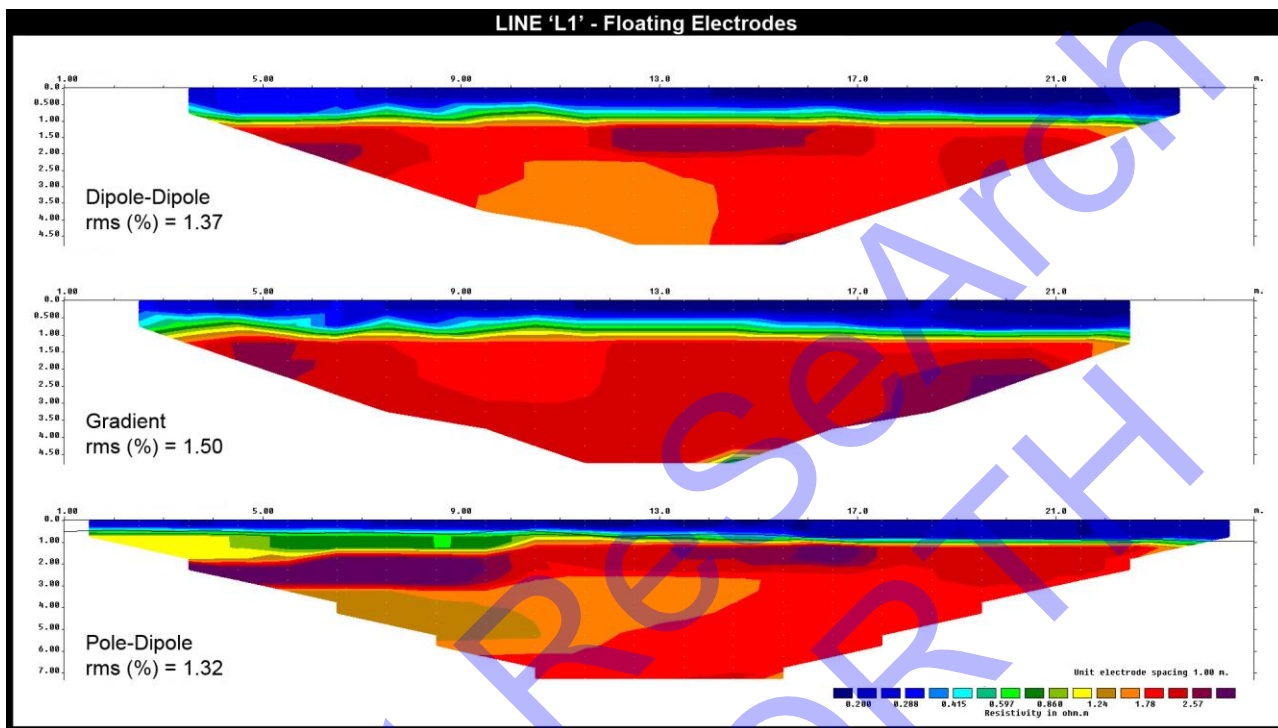




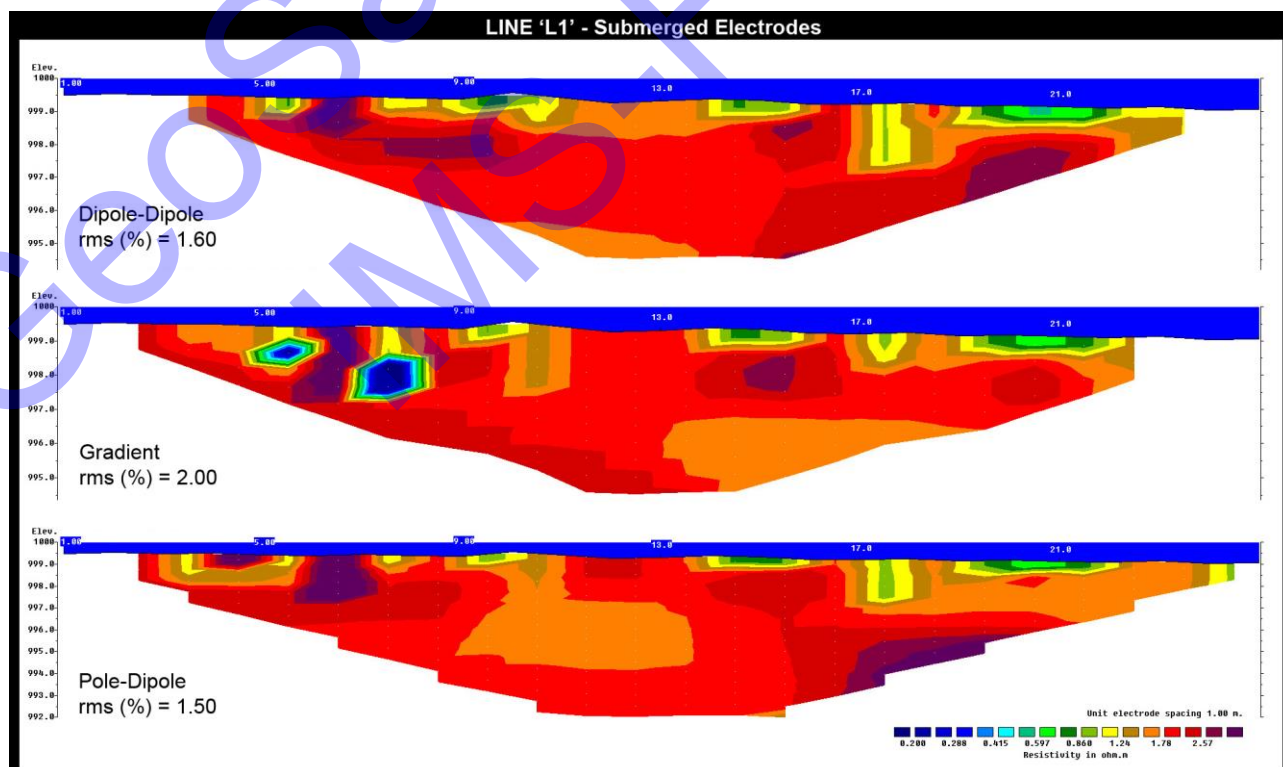
Σχήμα 17. Απεικόνιση θέσης γραμμών όδευσης με τη μέθοδο των ηλεκτρικών τομογραφιών στο Κοκκίνη Χάνι.

Τα αποτελέσματα των δεδομένων των γραμμών “L1” και “L2”, τόσο για τα floating όσο και για τα submerged ηλεκτρόδια μετά την επεξεργασία παρουσιάζονται στα Σχήμα 18, Σχήμα 19, Σχήμα 20

και Σχήμα 21. Όλες οι εικόνες αντιστροφής έχουν κοινή κλίμακα τιμών αντίστασης (για λόγους σύγκρισης) και κυμαίνεται από 0.2 ohm-m έως 3 ohm-m. Το % σφάλμα στα αποτελέσματα περιορίζεται από 1% έως 2% και κρίνεται αρκετά ικανοποιητικό για την εξαγωγή ασφαλών συμπερασμάτων.



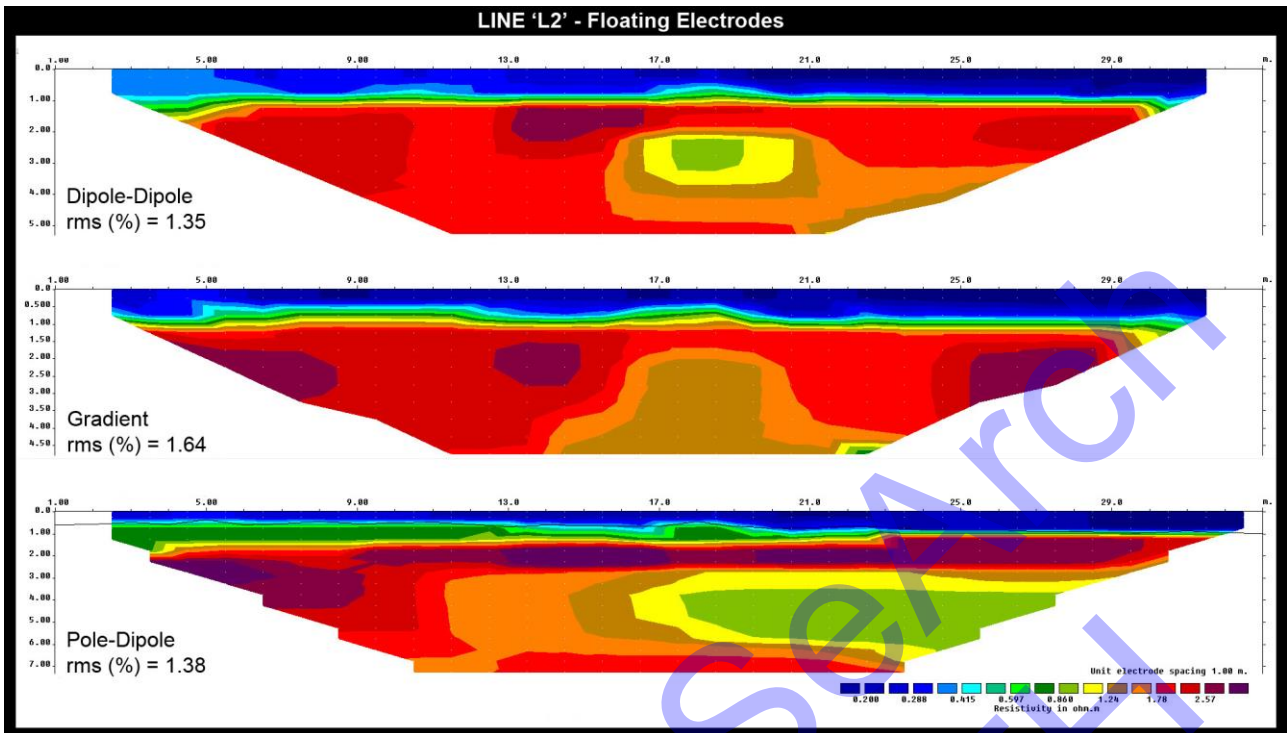
Σχήμα 18. Αποτελέσματα εικόνων αντιστροφής για τα πρωτόκολλα Dipole-dipole, Gradient και Pole-Dipole για τη γραμμή "L1" με τα ηλεκτρόδια τοποθετημένα σταθερά (fixed) στην επιφάνεια της θάλασσας (floating). Η κλίμακα τιμών αντίστασης είναι λογαριθμική και κοινή για όλες τις εικόνες.



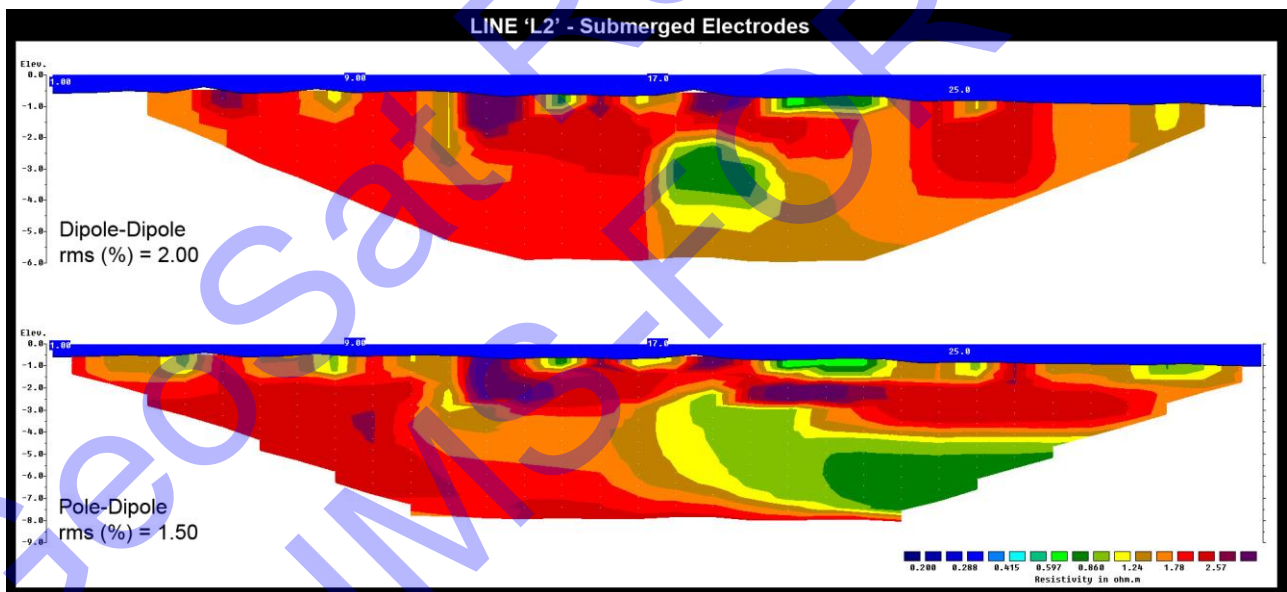
Σχήμα 19. Αποτελέσματα εικόνων αντιστροφής για τα πρωτόκολλα Dipole-dipole, Gradient και Pole-Dipole για τη γραμμή "L1" με τα ηλεκτρόδια τοποθετημένα σταθερά (fixed) στον πυθμένα της θάλασσας (submerged). Η κλίμακα τιμών αντίστασης είναι λογαριθμική και κοινή για όλες τις εικόνες.

GeosSat Research  
IMS-FORTH





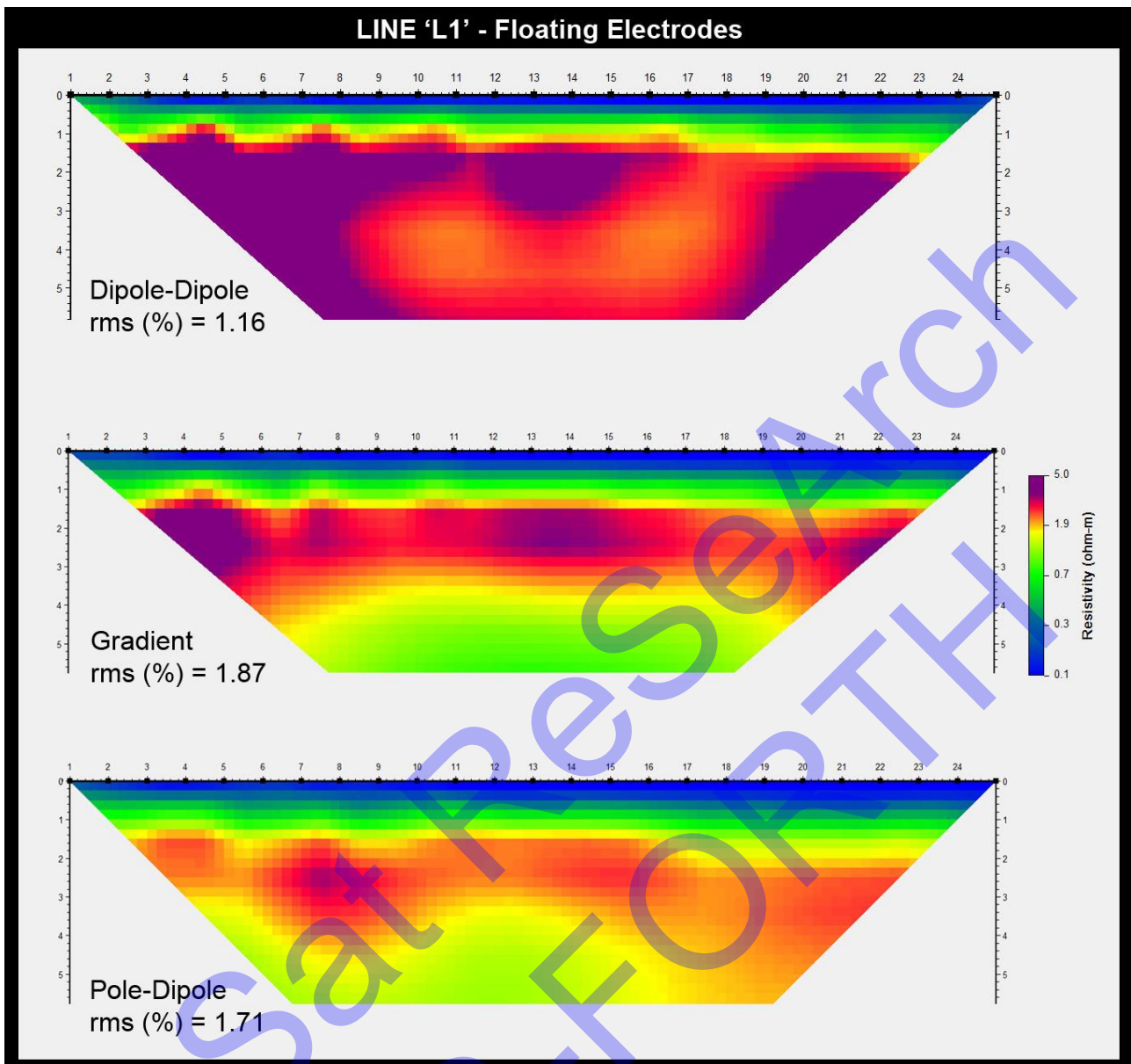
Σχήμα 20. Αποτελέσματα εικόνων αντιστροφής για τα πρωτόκολλα Dipole-dipole, Gradient και Pole-Dipole για τη γραμμή "L2" με τα ηλεκτρόδια τοποθετημένα σταθερά (fixed) στην επιφάνεια της θάλασσας (floating). Η κλίμακα τιμών αντίστασης είναι λογαριθμική και κοινή για όλες τις εικόνες.



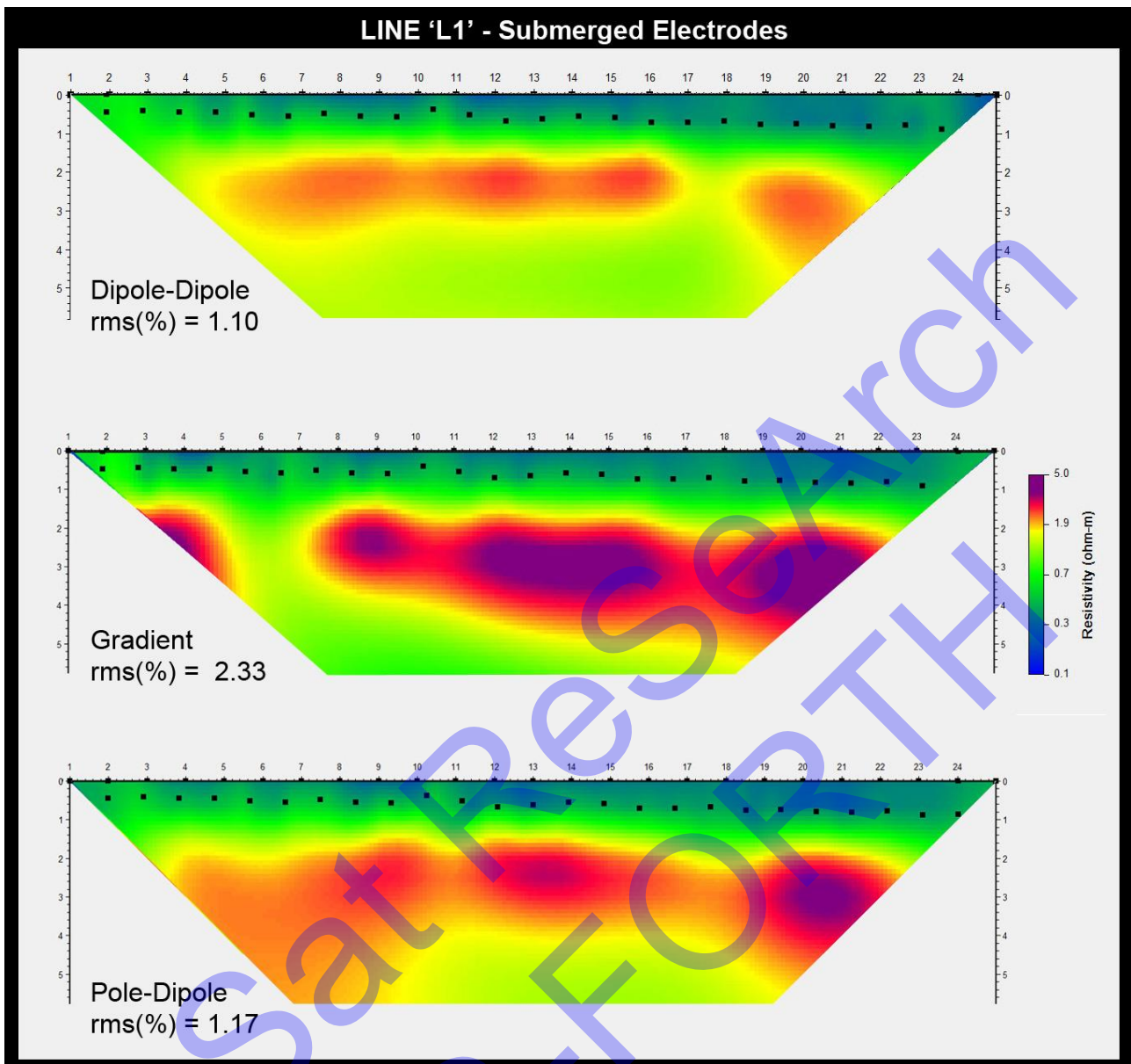
Σχήμα 21. Αποτελέσματα εικόνων αντιστροφής για τα πρωτόκολλα Dipole-dipole, Gradient και Pole-Dipole για τη γραμμή "L2" με τα ηλεκτρόδια τοποθετημένα σταθερά (fixed) στον πυθμένα της θάλασσας (submerged). Η κλίμακα τιμών αντίστασης είναι λογαριθμική και κοινή για όλες τις εικόνες.

Στα παρακάτω σχήματα (Σχήμα 22 έως και Σχήμα 29) απεικονίζονται τα αποτελέσματα χρησιμοποιώντας τον αλγόριθμο αντιστροφής από τα προγράμματα "2DInvCode" και "DC2DPro", τόσο για τα ηλεκτρόδια που βρίσκονται στην επιφάνεια της θάλασσας (floating) όσο και για ηλεκτρόδια που είναι βυθισμένα στον πυθμένα αυτής (submerged).

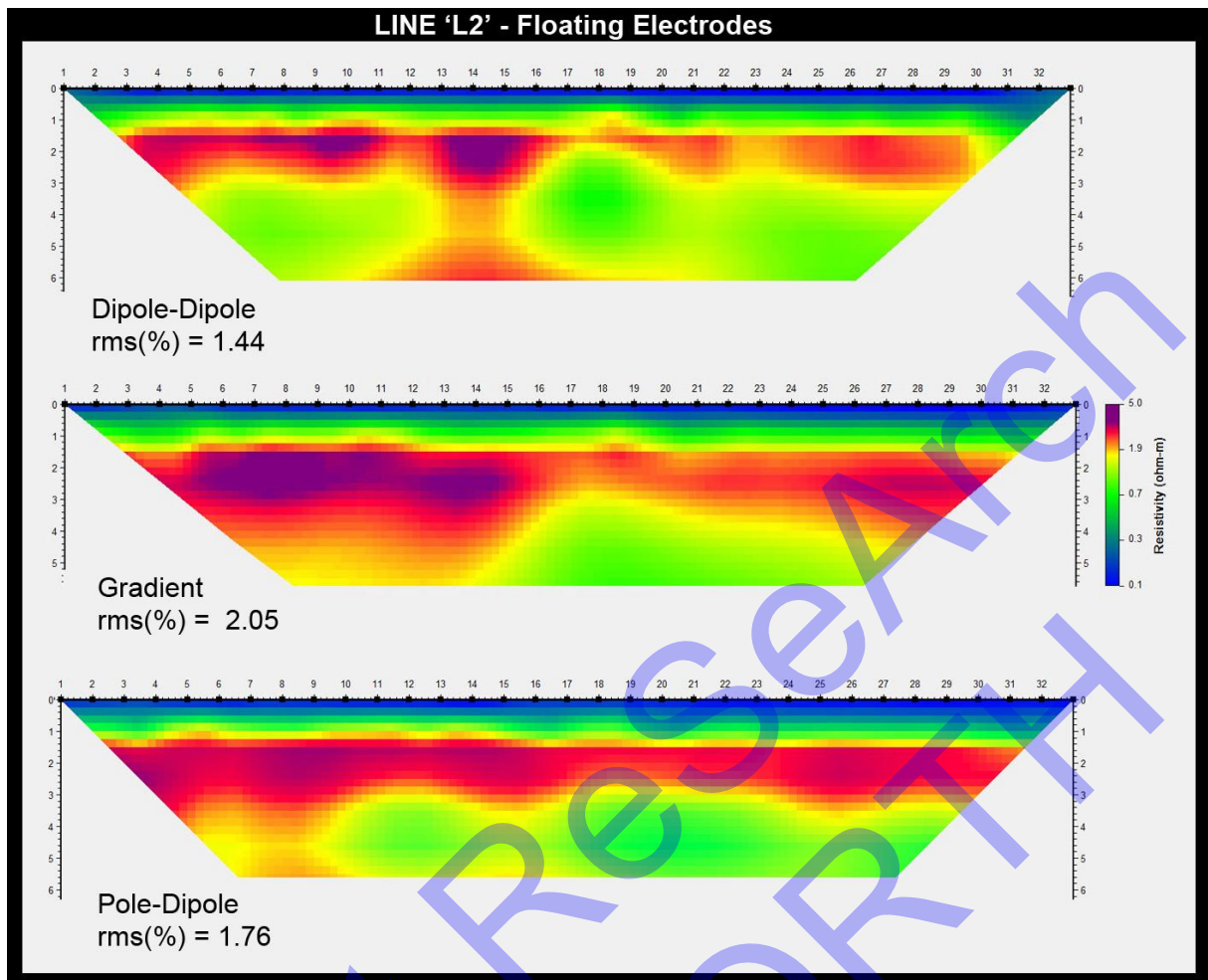




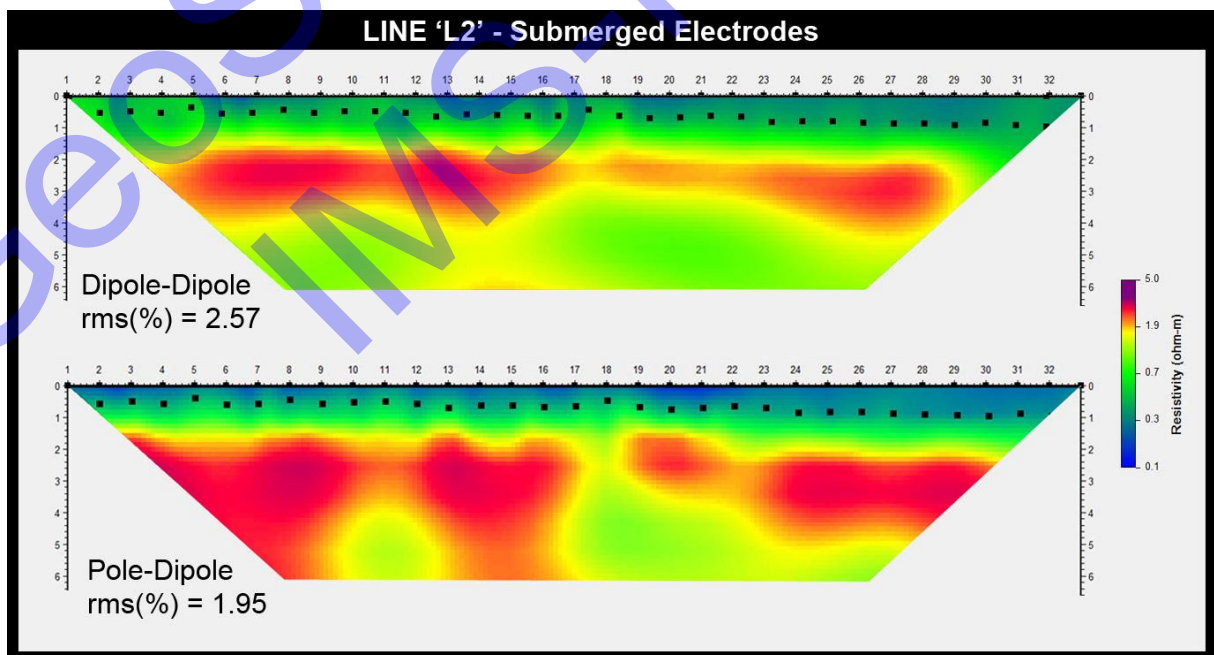
Σχήμα 22. Εικόνες αντιστροφής που προέκυψαν από το πρόγραμμα 'DC2DPro' (Kim) για τα πρωτόκολλα: Dipole-dipole, Gradient και Pole-Dipole για την γραμή "L1" με τα ηλεκτρόδια τοποθετημένα σταθερά (fixed) στην επιφάνεια του νερού (floating). Η κλίμακα των τιμών αντίστασης είναι κοινή για όλες τις εικόνες.



Σχήμα 23. Εικόνες αντιστροφής που προέκυψαν από το πρόγραμμα 'DC2DPro' (Kim) για τα πρωτόκολλα: Dipole-dipole, Gradient και Pole-Dipole για την γραμή "L1" με τα ηλεκτρόδια τοποθετημένα σταθερά (fixed) στον πυθμένα της θάλασσας (submerged). Η κλίμακα των τιμών αντίστασης είναι κοινή για όλες τις εικόνες.

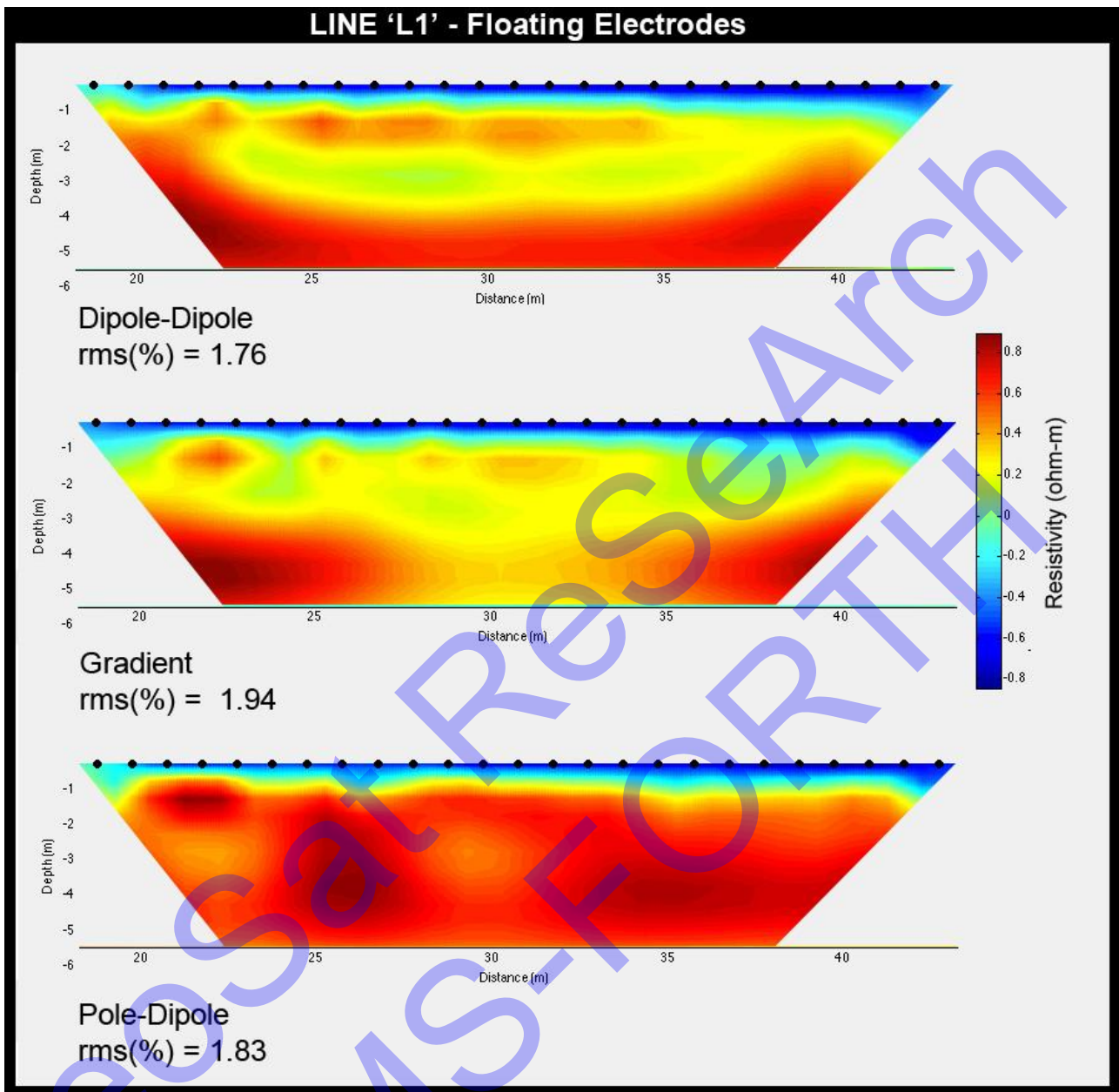


Σχήμα 24. Εικόνες αντιστροφής που προέκυψαν από το πρόγραμμα 'DC2DPro' (Kim) για τα πρωτόκολλα: Dipole-dipole, Gradient και Pole-Dipole για την γραμή "L2" με τα ηλεκτρόδια τοποθετημένα σταθερά (fixed) στην επιφάνεια του νερού (floating). Η κλίμακα των τιμών αντίστασης είναι κοινή για όλες τις εικόνες.



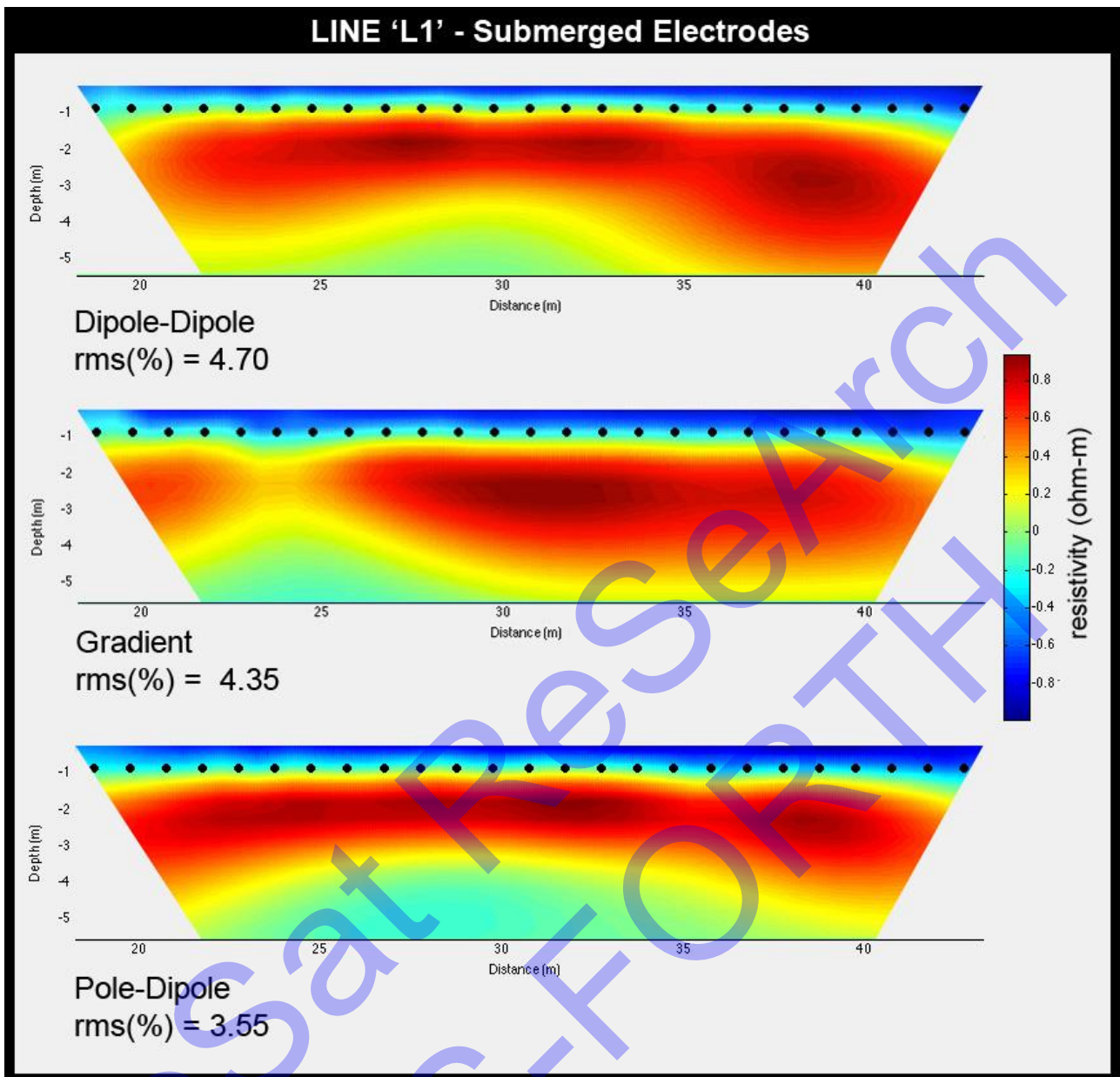
Σχήμα 25. Εικόνες αντιστροφής που προέκυψαν από το πρόγραμμα 'DC2DPro' (Kim) για τα πρωτόκολλα: Dipole-dipole, Gradient και Pole-Dipole για την γραμή "L2" με τα ηλεκτρόδια τοποθετημένα σταθερά (fixed) στον πυθμένα της θάλασσας (submerged). Η κλίμακα των τιμών αντίστασης είναι κοινή για όλες τις εικόνες.



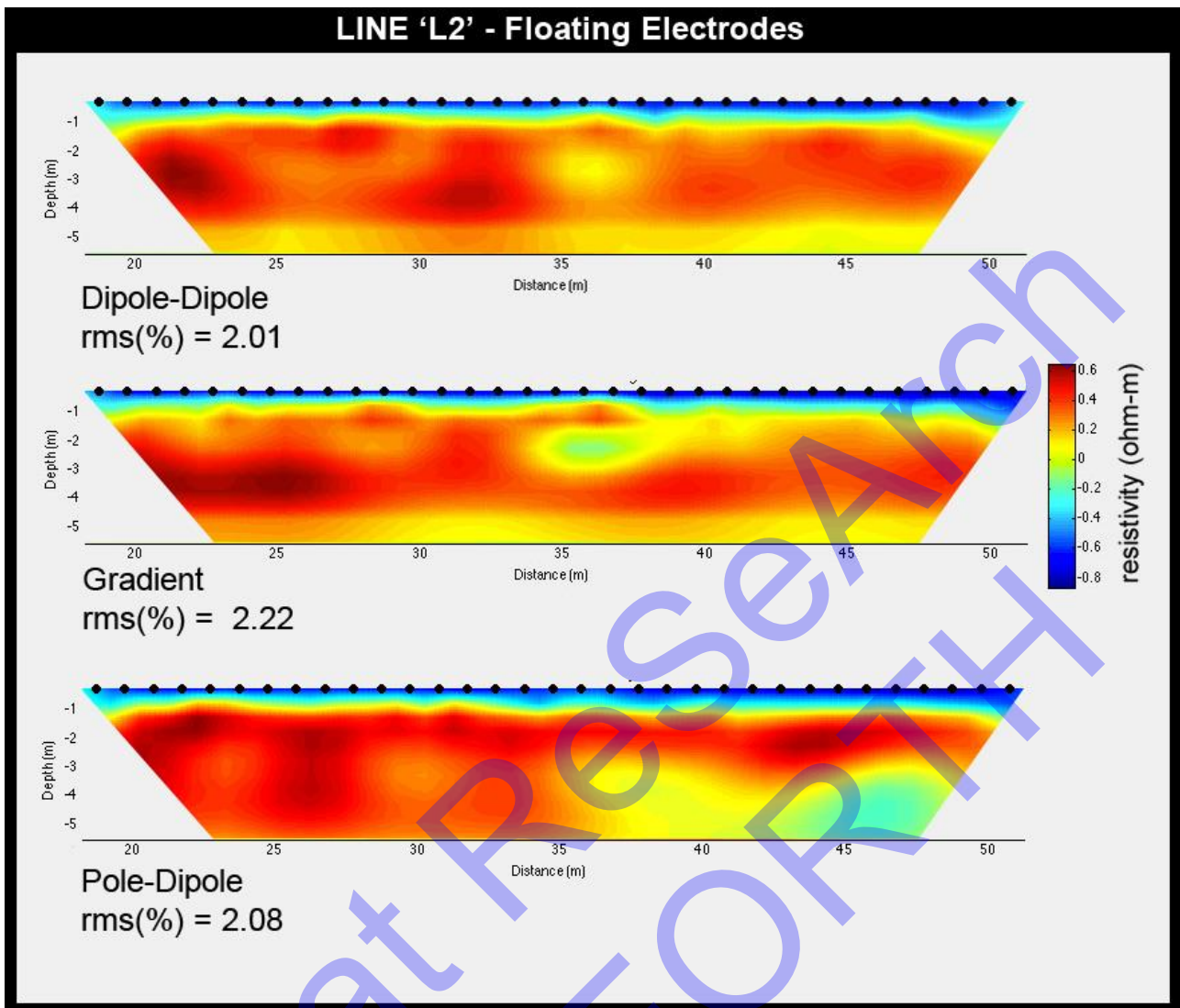


Σχήμα 26. Εικόνες αντιστροφής που προέκυψαν από το πρόγραμμα '2DInvCode' (Simyrdanis) για τα πρωτόκολλα: Dipole-dipole, Gradient και Pole-Dipole για την γραμμή "L1" με τα ηλεκτρόδια τοποθετημένα σταθερά (fixed) στην επιφάνεια της θάλασσας (floating). Η κλίμακα των τιμών αντίστασης είναι κοινή για όλες τις εικόνες.

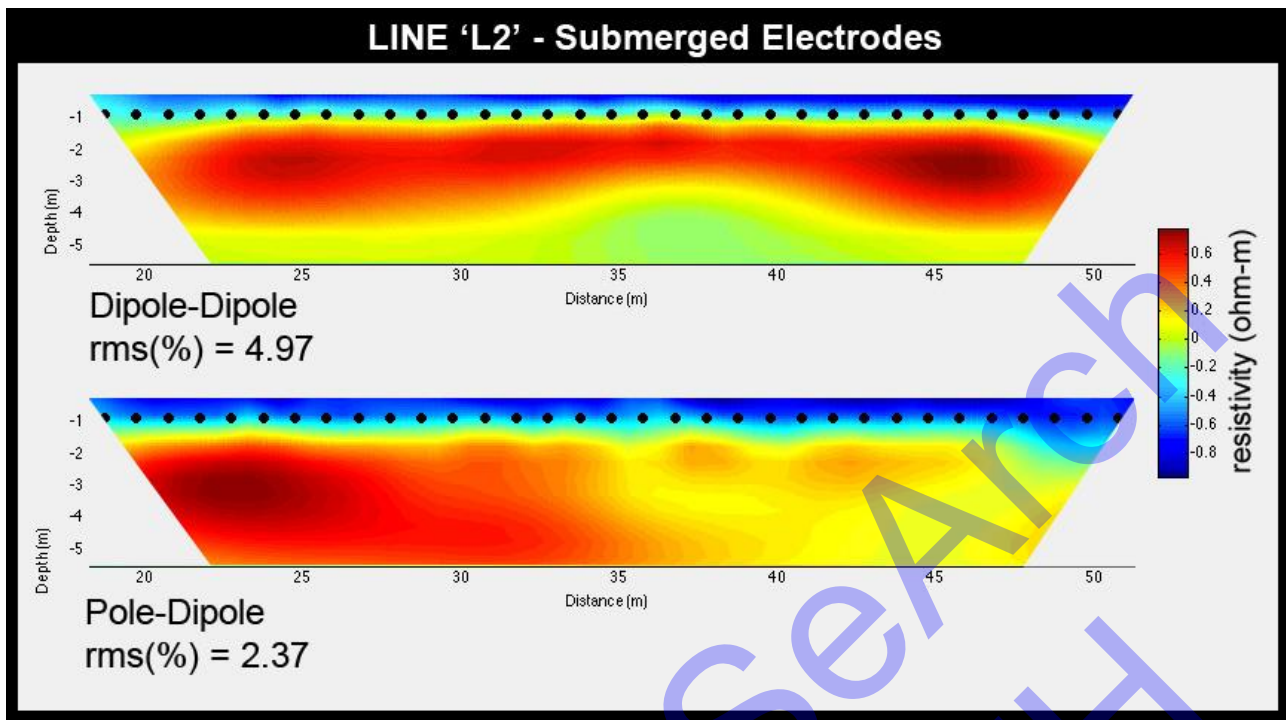




Σχήμα 27. Εικόνες αντιστροφής που προέκυψαν από το πρόγραμμα '2DInvCode' (Simyrdanis) για τα πρωτόκολλα: Dipole-dipole, Gradient και Pole-Dipole για την γραμή "L1" με τα ηλεκτρόδια τοποθετημένα σταθερά (fixed) στον πυθμένα της θάλασσας (submerged). Η κλίμακα των τιμών αντίστασης είναι κοινή για όλες τις εικόνες.



Σχήμα 28. Εικόνες αντιστροφής που προέκυψαν από το πρόγραμμα '2DInvCode' (Simyrdanis) για τα πρωτόκολλα: Dipole-dipole, Gradient και Pole-Dipole για την γραμμή "L2" με τα ηλεκτρόδια τοποθετημένα σταθερά (fixed) στην επιφάνεια της θάλασσας (floating). Η κλίμακα των τιμών αντίστασης είναι κοινή για όλες τις εικόνες.



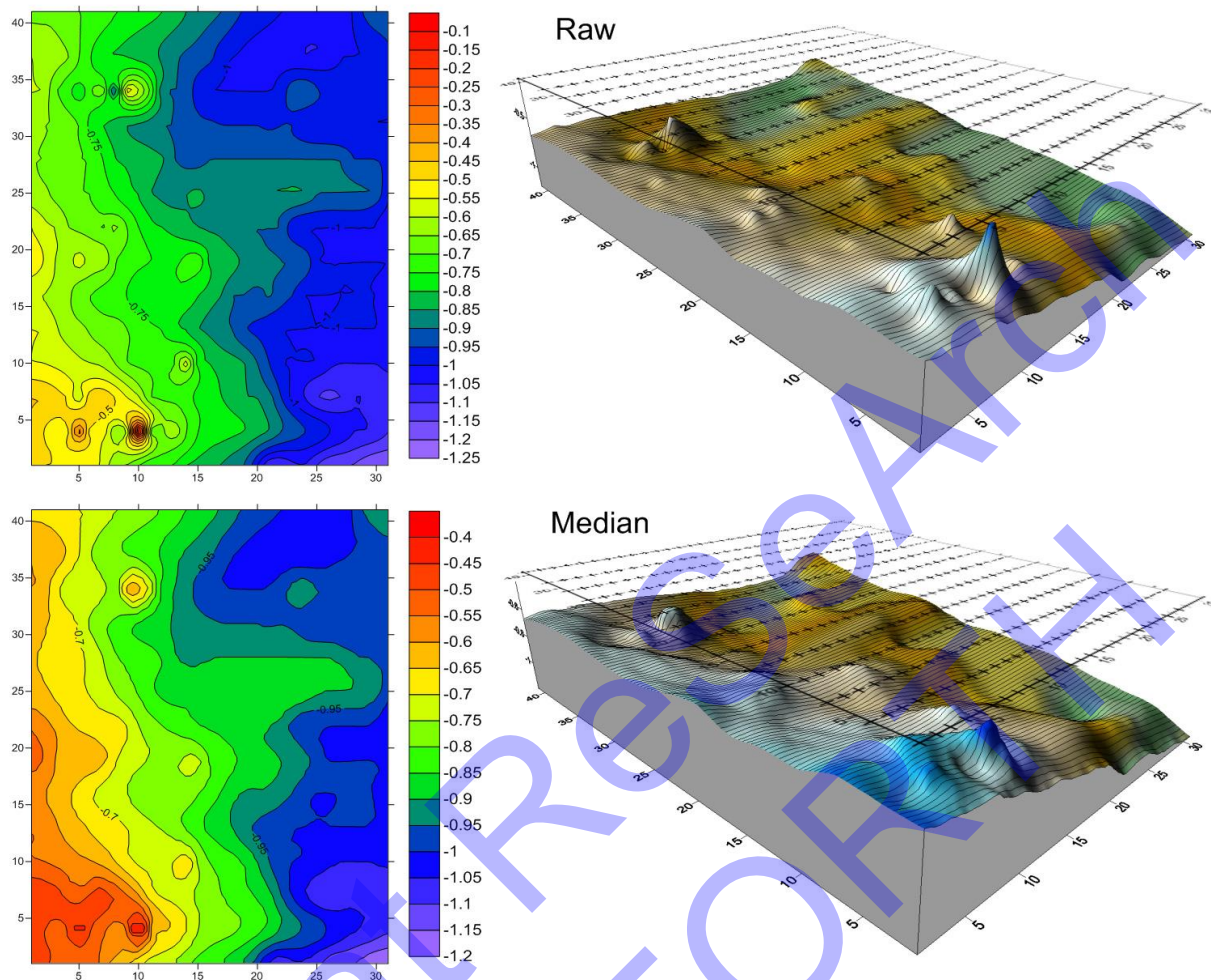
Σχήμα 29. Εικόνες αντιστροφής που προέκυψαν από το πρόγραμμα '2DInvCode' (Simyrdanis) για τα πρωτόκολλα: Dipole-dipole, Gradient και Pole-Dipole για την γραμμή "L2" με τα ηλεκτρόδια τοποθετημένα σταθερά (fixed) στον πυθμένα της θάλασσας (submerged). Η κλίμακα των τιμών αντίστασης είναι κοινή για όλες τις εικόνες.

Στην γραμμή "Line 1" με τη χρήση των submerged ηλεκτροδίων, περιοχές υψηλής αντίστασης παρουσιάζονται στο 6°, 9° και 15° μέτρο. Με τη χρήση των floating ηλεκτροδίων ένας αντιστατικός στόχος παρουσιάζεται στο 12° μέτρο. Στην γραμμή "Line 2" περιοχές υψηλής αντίστασης παρουσιάζονται στο 5°, 12° και 13° μέτρο. Σύμφωνα με την γεωαναφερμένη αεροφωτογραφία της περιοχής οι στόχοι αυτοί είναι ορατοί στην θέση που εμφανίζονται και οι περιοχές ηψηλής αντίστασης, γεγονός που επιβεβαιώνει την ορθότητα των αποτελεσμάτων από τις εικόνες αντιστροφής.

Για την απεικόνιση των αποτελεσμάτων σε 3D προηγήθηκε η χαρτογράφηση του ύψους της στήλης του νερού (βυθομέτρηση) όπως απεικονίζονται στο Σχήμα 30 (πάνω). Κατά την επεξεργασία των δεδομένων είναι απαραίτητο να εξομαλυνθούν οι «έντονες» υψομετρικές διαφορές μεταξύ των «γειτονικών» σημείων έτσι ώστε να λειτουργήσει ο αλγόριθμος αντιστροφής όταν εμπεριέχει την 'α priori' πληροφορία του βάθους. Στο Σχήμα 30 (κάτω) με εφαρμογή του φίλτρου "Median" έχουν εξομαλυνθεί τα «προβληματικά» σημεία λαμβάνοντας υπόψη την τοπογραφία σε ακτίνα 5 σημείων από το σημείο ενδιαφέροντος (δηλαδή υπολογίζεται ο μέσος όρος των γειτονικών σημείων και αυτός χρησιμοποιείται για το κεντρικό σημείο).

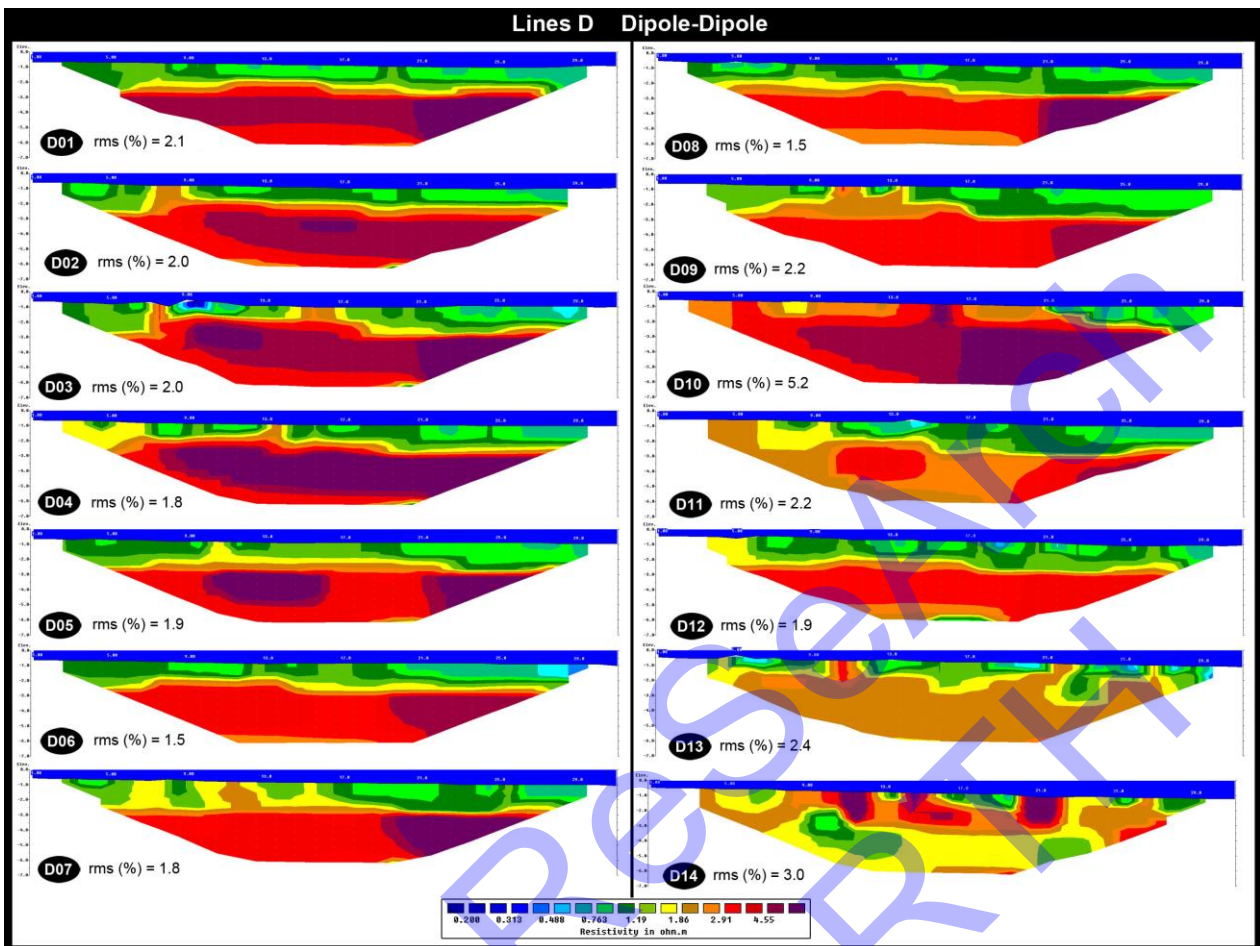
Στο Σχήμα 31 απεικονίζονται οι 2D τομογραφίες που ελήφθησαν για την επεξεργασία των δεδομένων για την 3D απεικόνιση της δομής κάτω από τον πυθμένα. Τα πρωτόκολλα που χρησιμοποιήθηκαν είναι το "dipole-dipole" και το "pole-dipole". Το σφάλμα σε όλες τις αντιστροφές είναι μικρό της τάξης του 2-3% εκτός από την τομή "D10" που είναι 5.2%. Οι τιμές των αντιστάσεων κυμαίνονται από 0.2 έως 5 ohm-m. Τα ηλεκτρόδια είναι τοποθετημένα στον πυθμένα της θάλασσας σε όλες τις τομογραφίες.



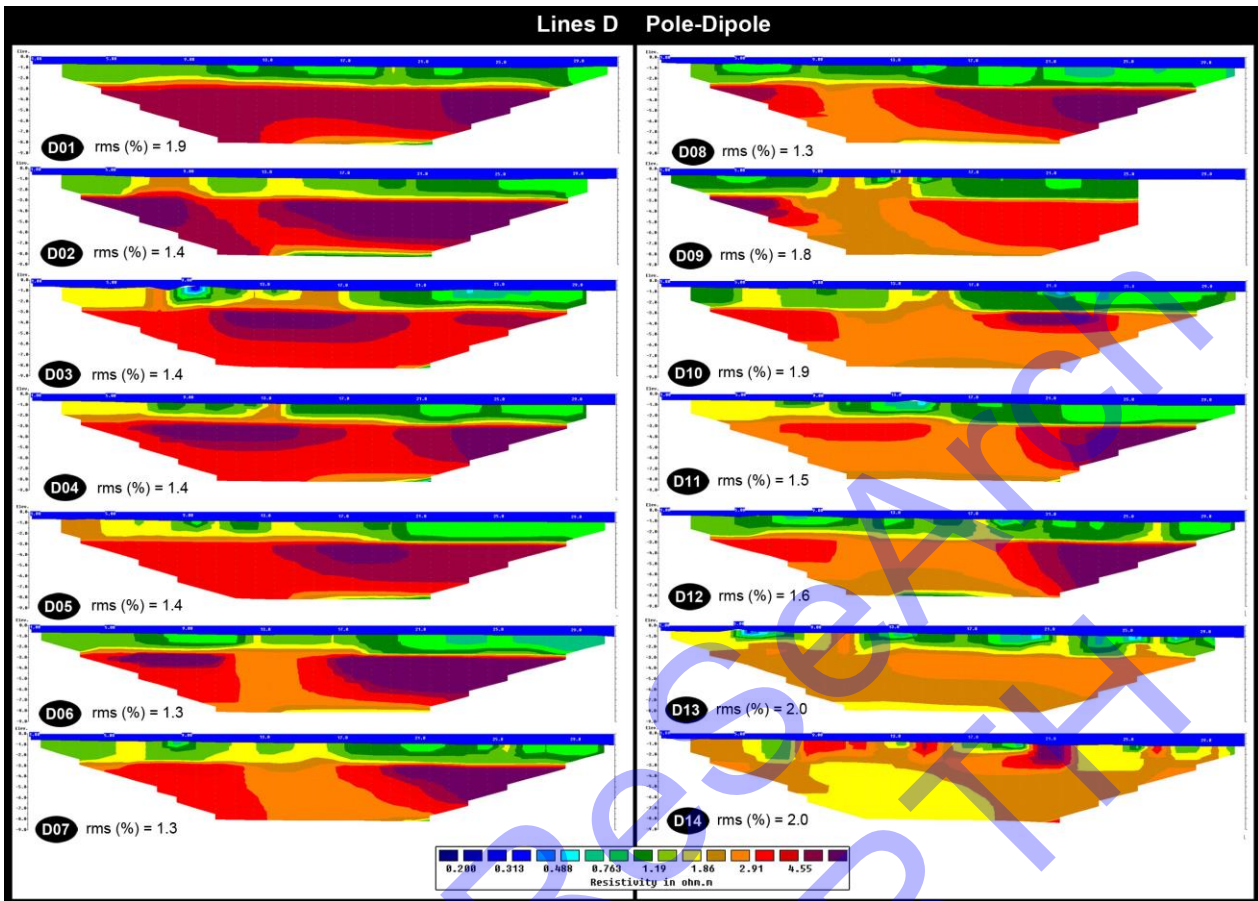


Σχήμα 30. Βαθυμετρική απεικόνιση του πυθμένα (σε μέτρα) με τα πρωτογενή δεδομένα (πάνω) και μετά από εξομάλυνση των δεδομένων με τη χρήση του φίλτρου "Median" (κάτω). Οι άξονες είναι σε μέτρα.

Οι τομές "D01"- "D14" αποτυπώνουν την δομή του θαλάσσιου υπεδάφους μέχρι βάθος περίπου οκτώ μέτρων από την επιφάνεια της θάλασσας. Οι εικόνες δείχνουν ότι η συγκεκριμένη θαλάσσια περιοχή αποτελείται από δύο οριζόντια στρώματα: Ένα πιο αγωγίμο πάχους περίπου 2 μέτρων με τιμές αντίστασης μικρότερες των 2 ohm-m και ένα υποκείμενο στρώμα με τιμές αντίστασης από 2 έως 7 ohm-m. Στις τομές D01,02, 03, 04, 06, 07, 09, 10, 12 και 13 εμφανίζονται μεμονωμένες περιοχές υψηλής αντίστασης ως εξάρματα του υποκείμενου στρώματος φτάνοντας μέχρι τον πυθμένα της θάλασσας. Οι περιοχές αυτές αποτελούν θέσεις που σχετίζονται με κτιριακά κατάλοιπα που βρίσκονται θαμμένα κάτω από τον πυθμένα της θάλασσας (Σχήμα 31, Σχήμα 32).



Σχήμα 31. Εικόνες αντιστροφής με το πρόγραμμα 'Res2DInv' (Loke) από τις τομές D01 έως D14 χρησιμοποιώντας το πρωτόκολλο Dipole-Dipole. Η κλίμακα των τιμών αντίστασης είναι κοινή για όλες τις εικόνες.

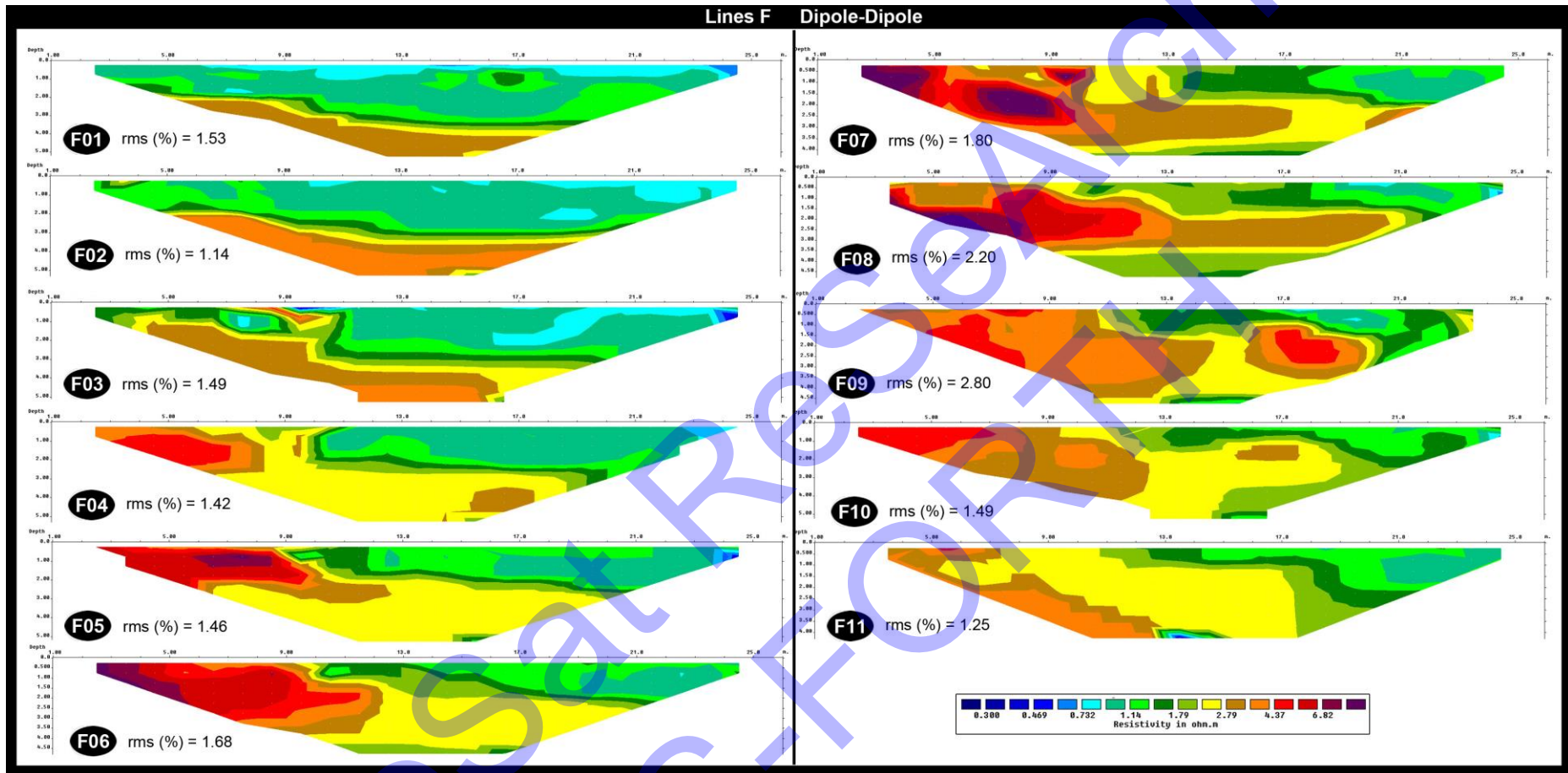


Σχήμα 32. Εικόνες αντιστροφής με το πρόγραμμα 'Res2DInv' (Loke) από τις τομές D01 έως D14 χρησιμοποιώντας το πρωτόκολλο Pole-Dipole. Η κλίμακα των τιμών αντίστασης είναι κοινή για όλες τις εικόνες.

Δεδομένα για τη δημιουργία 3D εικόνων αντιστροφής ελήφθησαν και από την παραλία της περιοχής. Στο Σχήμα 33 απεικονίζονται οι τομογραφίες από όλες τις γραμμές όδευσης που πραγματοποιήθηκαν. Το επί τοις εκατό (%) rms σφάλμα είναι λιγότερο από 3 και οι τιμές αντίστασης κυμαίνονται από 0.3 έως 7 ohm-m. Το βάθος διασκόπησης φτάνει τα 5 μέτρα. Υψηλές τιμές αντίστασης παρουσιάζονται στις περισσότερες τομές στα πρώτα ηλεκτρόδια (στο νοτιοανατολικό μέρος του καννάβου - Σχήμα 17). Τα κτιριακά αυτά κατάλοιπα εντοπίζονται μέχρι το βάθος των 2.5 μέτρων από την επιφάνεια της ακτής. Τα αποτελέσματα επιβεβαιώνονται από την εμφάνιση των δομών στην επιφάνεια του εδάφους.

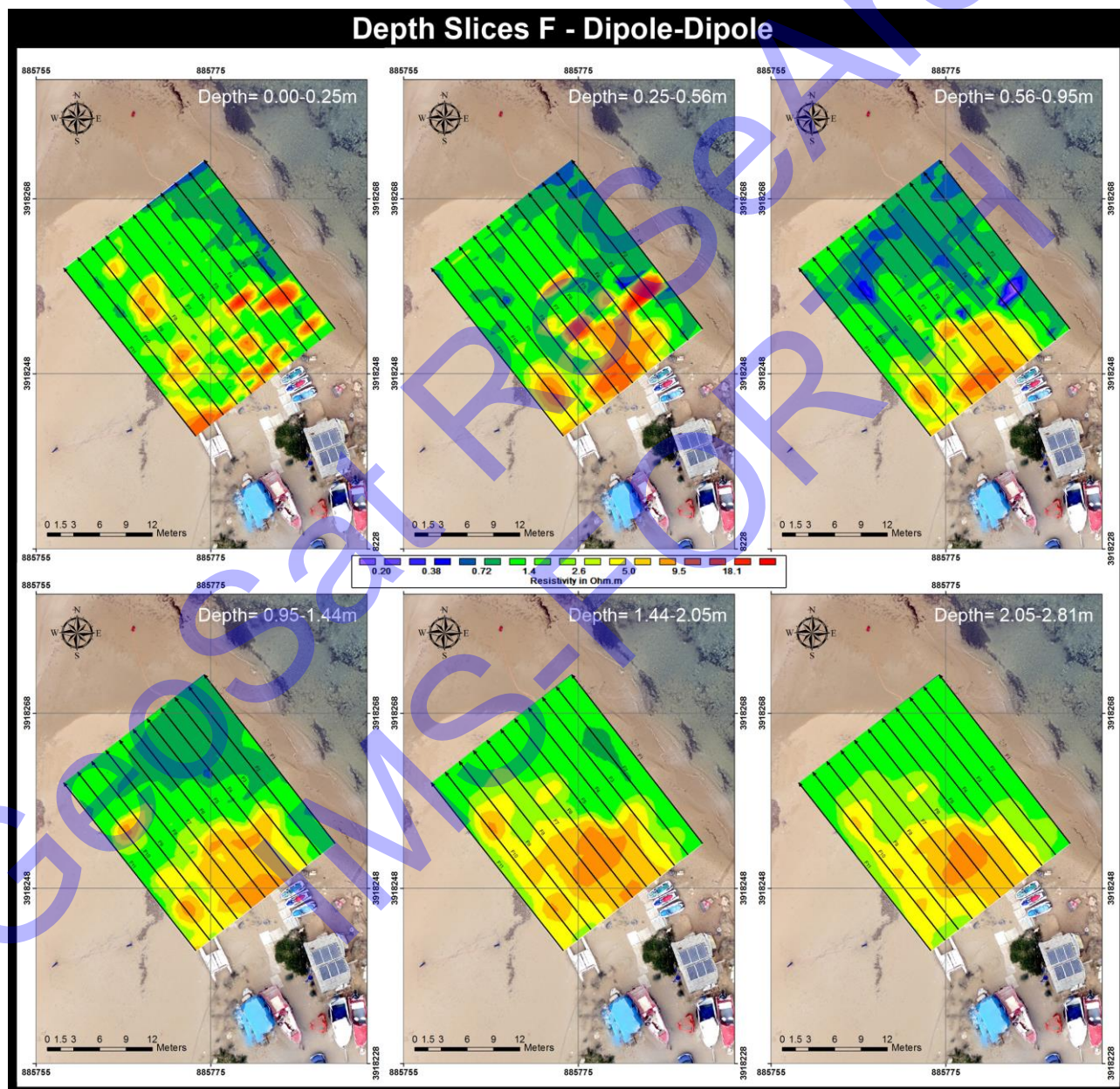
Να επισημανθεί ότι, στη γραμμή "F9" παρουσιάζεται μία μικρή περιοχή από το 15° έως το 18° μέτρο με υψηλές τιμές αντίστασης που ξεκινάνε σε βάθος λιγότερο του μέτρου. Επιφανειακά στο σημείο αυτό υπάρχει μία ανθρώπινη μεταλλική κατασκευή, της οποίας τα στηρίγματα εικάζεται ότι εδράζονται σε ένα συνεκτικό θεμέλιο. Πιθανολογείται ότι οι υψηλές τιμές αντίστασης οφείλονται στη παρουσία αυτού του θεμελίου.





Σχήμα 33. Εικόνες αντιστροφής με το πρόγραμμα 'Res2DInv' (Loke) από τις τομές F01 έως D11 χρησιμοποιώντας το πρωτόκολλο Dipole-Dipole. Η κλίμακα των τιμών αντίστασης είναι κοινή για όλες τις εικόνες.

Στο Σχήμα 34 απεικονίζονται οι οριζόντιες τομές μεταβολής της αντίστασης σε διάφορα βάθη (από 0.10 έως 2.5 μέτρα). Οι τιμές αντίστασης κυμαίνονται από 0.2 έως 20 ohm-m. Η χρωματική κλίμακα των τιμών αντίστασης είναι κοινή για όλες τις εικόνες. Όπως στις δισδιάστατες τομογραφίες έτσι και στις εικόνες των 3D προκύπτει ότι η περιοχή με τις υψηλές τιμές των αντιστάσεων περιορίζεται στην νοτιοανατολική περιοχή του καννάβου και φτάνει μέχρι το βάθος του 1.5 μέτρου. Μάλιστα η περιοχή αυτή υψηλής αντίστασης περιορίζεται μεταξύ των γραμμών "F9" και "F2" γεγονός που επιβεβαιώνεται από την εμφάνιση στην επιφάνεια της παραλίας κτιριακών δομών μεταξύ των γραμμών αυτών.



Σχήμα 34. Εικόνες αντιστροφής με το πρόγραμμα 'Res3DInv' (Loke) σε διαφορετικά βάθη (από 0.00 έως 2.81m) χρησιμοποιώντας το πρωτόκολλο Dipole-Dipole. Η κλίμακα των τιμών αντίστασης είναι κοινή για όλες τις εικόνες.

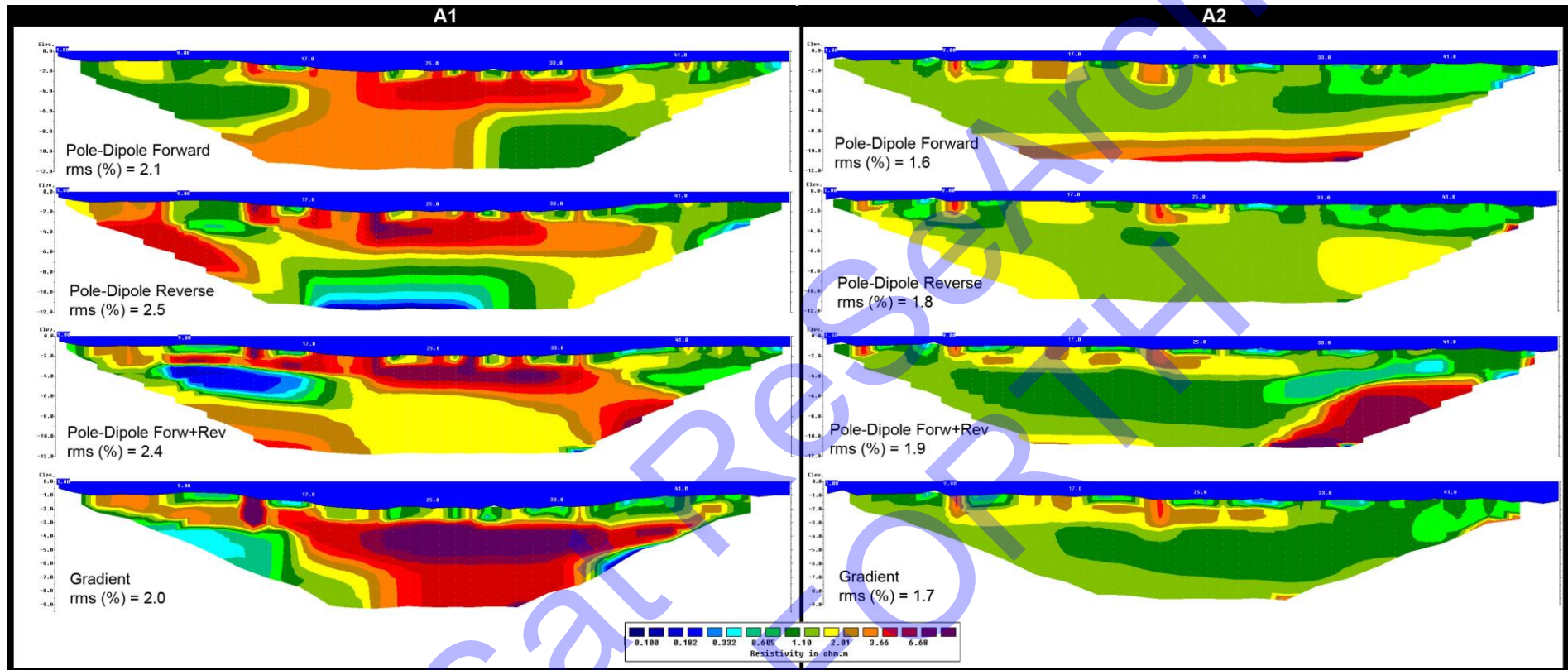
Στο Σχήμα 35 και Σχήμα 36 απεικονίζονται τα αποτελέσματα των εικόνων αντιστροφής από τις γραμμές “Line A1”, “Line A2” και “Line B1”, “Line B2” (από δεδομένα που συλλέχθηκαν στις 21-22 Ιουλίου 2015). Στις γραμμές αυτές εφαρμόστηκαν τα πρωτόκολλα “Pole-Dipole forward”, “Pole-Dipole reverse”, “Pole-Dipole forw+rev” και “Gradient”. Το σφάλμα στις εικόνες αντιστροφής περιορίζεται κάτω από 2.5% και οι τιμές αντίστασης κυμαίνονται από 0.1 έως 7 ohm-m.

Η συνδυαστική ερμηνεία όλων των γεωηλεκτρικών μοντέλων αντιστροφής της γραμμής “Line A1” επιτρέπει την διάκριση μεμονωμένων περιοχών υψηλών αντιστάσεων στο 12°, 20°, 23°, 25°, 28° και 32° μέτρο σε βάθος περίπου 2 μέτρα από την επιφάνεια της θάλασσας. Οι ανωμαλίες αυτές οφείλονται σε ορατές και θαμμένες αρχιτεκτονικές δομές. Όσον αφορά την γραμμή “Line A2” εμφανίζονται υψηλές αντιστάσεις στο 8°, 14° και 21° μέτρο από την αρχή της γραμμής (από Ανατολικά) και υποδηλώνουν την εμφάνιση υποθαλάσσιων δομών (τοιχοί).

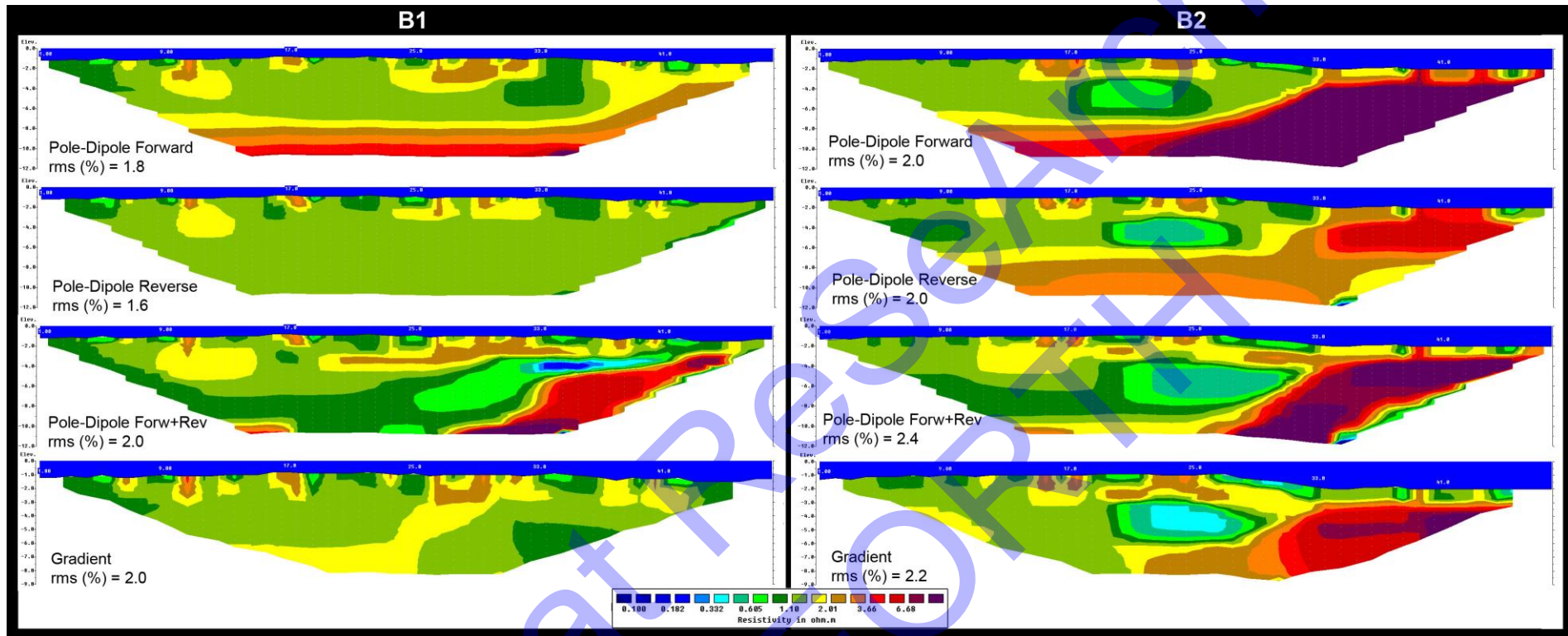
Το συνδυαστικό γεωηλεκτρικό μοντέλο αντιστροφής Pole-Dipole Forw+Rev για την τομή “Line A1” δείχνει μία περιοχή υψηλών αντιστάσεων από το 34° μέχρι το 41° μέτρο και σε βάθος 6 μέτρων περίπου από την επιφάνεια της θάλασσας. Μία παρόμοια περιοχή υψηλών αντιστάσεων φαίνεται στο αντίστοιχο μοντέλο αντιστροφής στην τομή “Line A2” σε παραπλήσια οριζόντια απόσταση και βάθος. Η δομή αυτή των υψηλών αντιστάσεων προκαλείται από πιο συνεκτικό υλικό (βράχος) και φαίνεται να έχει κλίση προς τα ανατολικά. Η μορφολογία της δομής κάτω από τον πυθμένα της θάλασσας, όπως αποτυπώνεται από την γεωηλεκτρική τομή, με την κλίση του βραχώδους υποβάθρου προς τα ανατολικά, ενισχύει την υπόθεση της ύπαρξης νεωρίου μέσα στο λάξευμα.

Στην γραμμή “Line B1” εμφανίζονται υψηλές τιμές αντιστάσεων στο 5°, 9°, 15°, 21°, 27°, 28°, 35° και 37° μέτρο που ερμηνεύονται από αρχιτεκτονικές δομές που εμφανίζονται στον πυθμένα της θάλασσας. Από το 25° μέτρο μέχρι το τέλος της γραμμής στα δυτικά και σε βάθος που φτάνει τα 12 μέτρα από την επιφάνεια της θάλασσας εμφανίζεται και σε αυτή την γραμμή μία κεκλιμένη προς τα ανατολικά περιοχή υψηλής αντίστασης που μπορεί να επιβεβαιώσει την θεωρία περί της ύπαρξης νεωρίου στο λάξευμα.. Στην γραμμή “Line B2”, υψηλές τιμές αντιστάσεων στον πυθμένα της θάλασσας παρουσιάζονται στο 15°, 17° και 23° μέτρο. Ομοίως και σε αυτή την γραμμή όδευσης εμφανίζεται μία περιοχή υψηλής αντίστασης η οποία ξεκινάει από βάθος 12 μέτρων (από το 25° μέτρο) και σταδιακά πλησιάζει στον πυθμένα μέχρι περίπου τα 2 μέτρα (στο 32° μέτρο) και επιβεβαιώνει τα ευρήματα των άλλων γραμμών.





Σχήμα 35. Εικόνες αντιστροφής με το πρόγραμμα “Res2DInv” (Loke) που προέκυψαν από τις γραμμές A1 (πάνω σειρά) και A2 (κάτω σειρά) με τα πρωτόκολλα: Pole-Dipole forward, Pole-Dipole reverse, Pole-dipole forward+reverse και Gradient. Η κλίμακα των τιμών αντίστασης είναι κοινή για όλες τις εικόνες. Η διεύθυνση των τομών είναι από Ανατολικά προς Δυτικά.



Σχήμα 36. Εικόνες αντιστροφής με το πρόγραμμα “Res2DInv” (Loke) που προέκυψαν από τις γραμμές B1 (πάνω σειρά) και B2 (κάτω σειρά) με τα πρωτόκολλα: Pole-Dipole forward, Pole-Dipole reverse, Pole-dipole forward+reverse και Gradient. Η κλίμακα των τιμών αντίστασης είναι κοινή για όλες τις εικόνες. Η διεύθυνση των τομών είναι από Ανατολικά προς Δυτικά.



## ΪΣΤΡΟ (ΚΑΛΟ ΧΩΡΙΟ)

Το Ϊστρον (Καλό Χωριό) βρίσκεται 11 χιλιόμετρα νότια του Αγίου Νικολάου στο Νομό Λασιθίου (Σχήμα 37). Σκοπός της γεωφυσικής έρευνας στην περιοχή ήταν η επιβεβαίωση της ύπαρξης νεώσοικου σύμφωνα με τις αρχικές εκτιμήσεις που είχαν γίνει από την επιτόπια πρωταρχική έρευνα από τον αρχαιολόγο Θεοτόκη Θεοδούλου. Στο Σχήμα 39 παρουσιάζονται εικόνες από την διαδικασία δειγματοληψίας με τον βασικό εξοπλισμό (Σχήμα 39a) την αποτύπωση των σημείων της ακτογραμμής (Σχήμα 39b) και των γραμμών όδευσης (Σχήμα 39c,d).



Σχήμα 37. Χάρτης τοποθεσίας Ϊστρου - Καλό Χωριό νότια του Αγ. Νικολάου (ανατολική Κρήτη).



Σχήμα 38. Περιοχή όπου πραγματοποιήθηκαν γεωφυσικές διασκοπήσεις στο Ϊστρον (Καλό Χωριό).



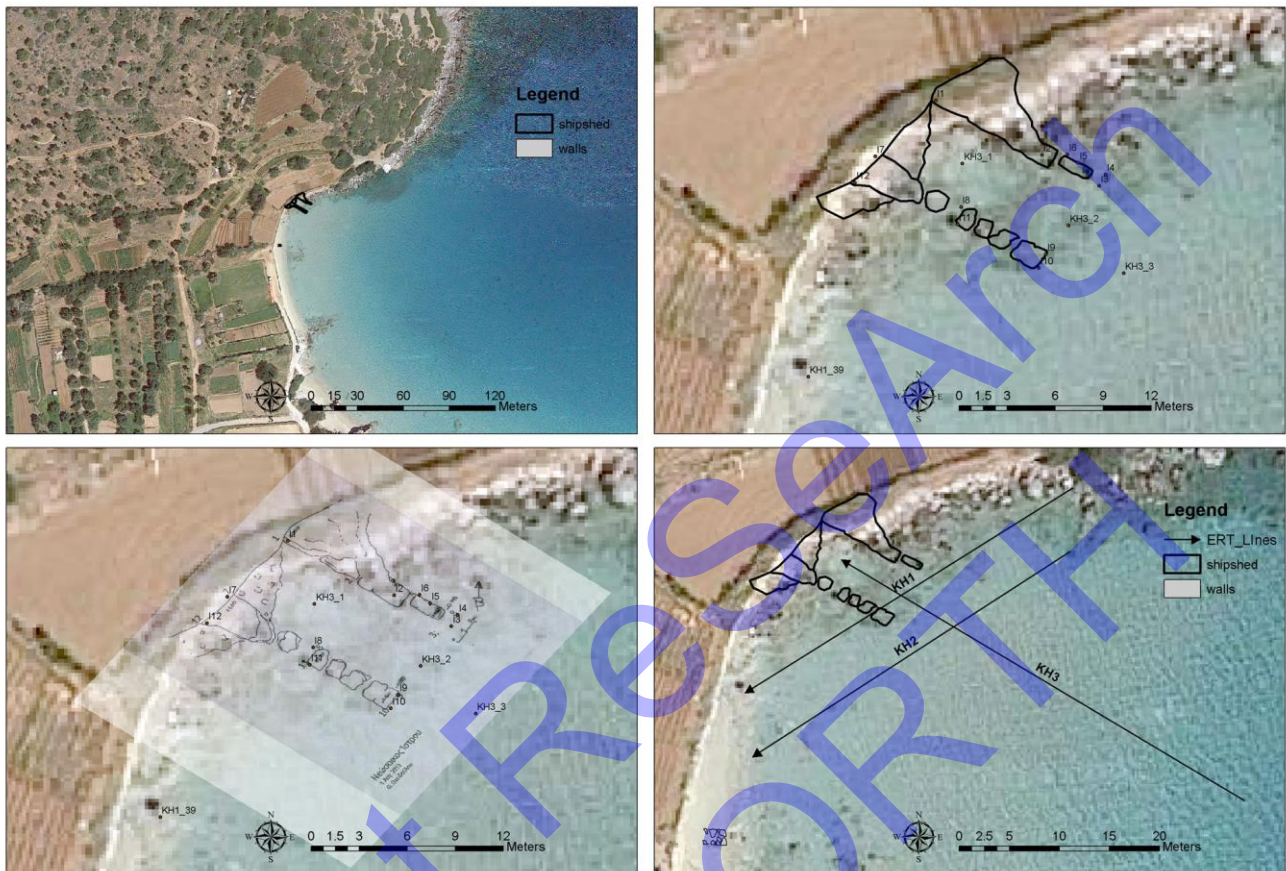


Σχήμα 39. Διαδικασία λήψης δεδομένων από το Ίστρον.

Για την μελέτη της συγκεκριμένης περιοχής αναπτύχθηκαν τρεις γραμμές όδευσης, δύο γραμμές παράλληλα με την ακτή (“ΚΗ1”, “ΚΗ2”) με μήκος 38 μέτρων η κάθε μία και μία γραμμή κάθετα στην ακτή (“ΚΗ3”) με μήκος 47 μέτρα (Σχήμα 40). Και στις τρεις γραμμές εφαρμόσθηκαν τα



πρωτόκολλα 'role-dipole' και 'gradient'. Για την λήψη των μετρήσεων τα ηλεκτρόδια τοποθετήθηκαν στον πυθμένα της θάλασσας. Η απόσταση μεταξύ των ηλεκτροδίων είναι  $a=1$  μέτρο.



Σχήμα 40. Απεικόνιση θέσης γραμμών όδευσης με τη μέθοδο των ηλεκτρικών τομογραφιών στο Ίστρο.

Το ύψος της στήλης του νερού κάτω από τις γραμμές όδευσης δεν υπερβαίνει τα 2 μέτρα (Σχήμα 41). Συγκεκριμένα στην αρχή και στο τέλος της γραμμής "KH1" το ύψος της στήλης του νερού είναι λιγότερο από 30 εκατοστά. Το ύψος της στήλης του νερού στην αρχή της γραμμής "KH2" (BA) μετρήθηκε σε 1.60 μέτρα και σταδιακά μειώνεται πλησιάζοντας προς το τέλος της γραμμής (κατεύθυνση ΝΔ) φτάνοντας στο 0.50 μέτρο. Η κάθετη στις προηγούμενες γραμμές γραμμή "KH3" ξεκινάει από βάθος σχεδόν 2 μέτρα, μειώνεται σταδιακά μέχρι το βάθος των 1.40 μέτρων (στο 35° μέτρο) και έπειτα μειώνεται απότομα μέχρι το βάθος του 0.5 μέτρου.



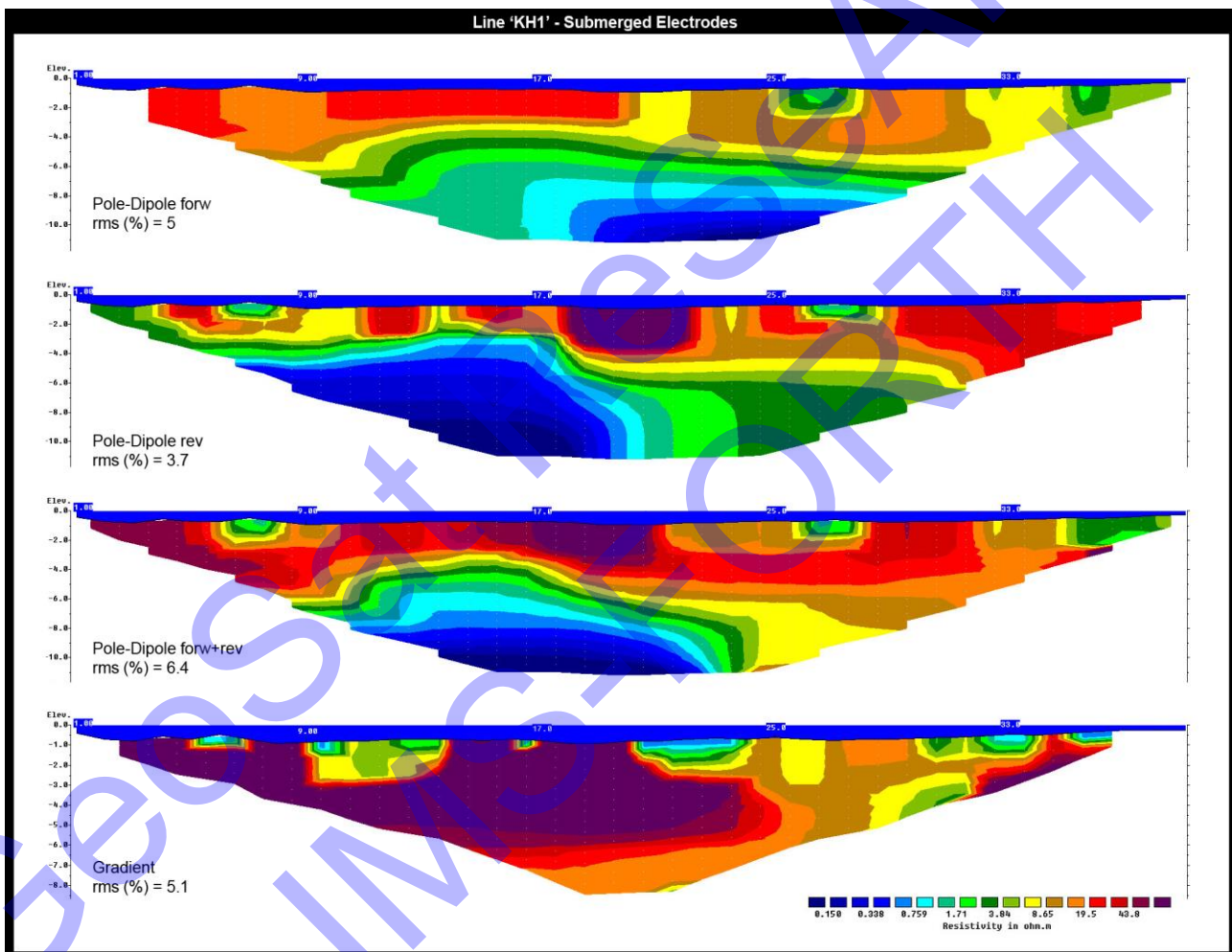
Σχήμα 41. Ύψος στήλης νερού στις γραμμές “KH1”, “KH2” και “KH3”.

Στο Σχήμα 42, Σχήμα 43 και Σχήμα 44 απεικονίζονται οι εικόνες αντιστροφής από τις τρεις γραμμές όδευσης. Το RMS σφάλμα είναι λιγότερο από 8.5% και οι τιμές αντίστασης κυμαίνονται από 0.15 έως 45 ohm-m. Από την γραμμή “KH1” προκύπτει ότι στο 4°, 11°, 14°, 19°, 24° και από το 28° έως το 33° μέτρο της γραμμής (ξεκινώντας από ανατολικά) έχουν εντοπιστεί περιοχές με υψηλή τιμή αντίστασης. Οι περιοχές αυτές βρίσκονται ακριβώς κάτω από τον πυθμένα της θάλασσας μέχρι βάθος 2-3 μέτρων από την επιφάνεια της θάλασσας. Ταυτόχρονα στις περιοχές αυτές είναι διακριτά τα ίχνη των αρχαιολογικών δομών γεγονός που επιβεβαιώνει την ορθότητα των μοντέλων αντιστροφής που προέκυψαν. Για την γραμμή “KH2”, περιοχές με υψηλές τιμές αντίστασης εμφανίζονται στο 5°, 12°, 19°, 30° και 33° μέτρο της γραμμής (από ανατολικά). Στην συγκεκριμένη

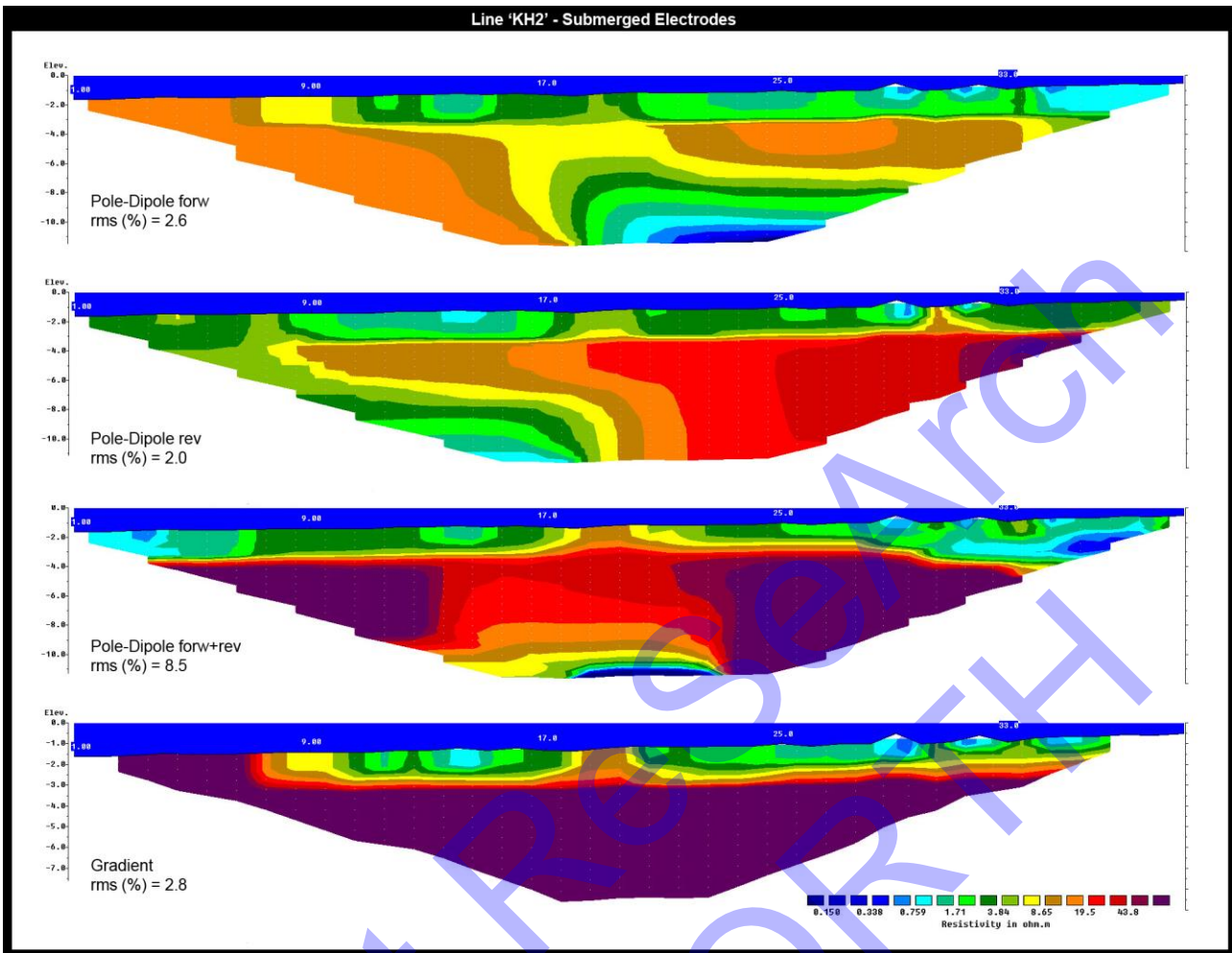


γραμμή μετά το βάθος των τριών μέτρων το μοντέλο αντιστροφής παρουσιάζει υψηλή περιοχή αντίστασης που επεκτείνεται σε όλη την τομή.

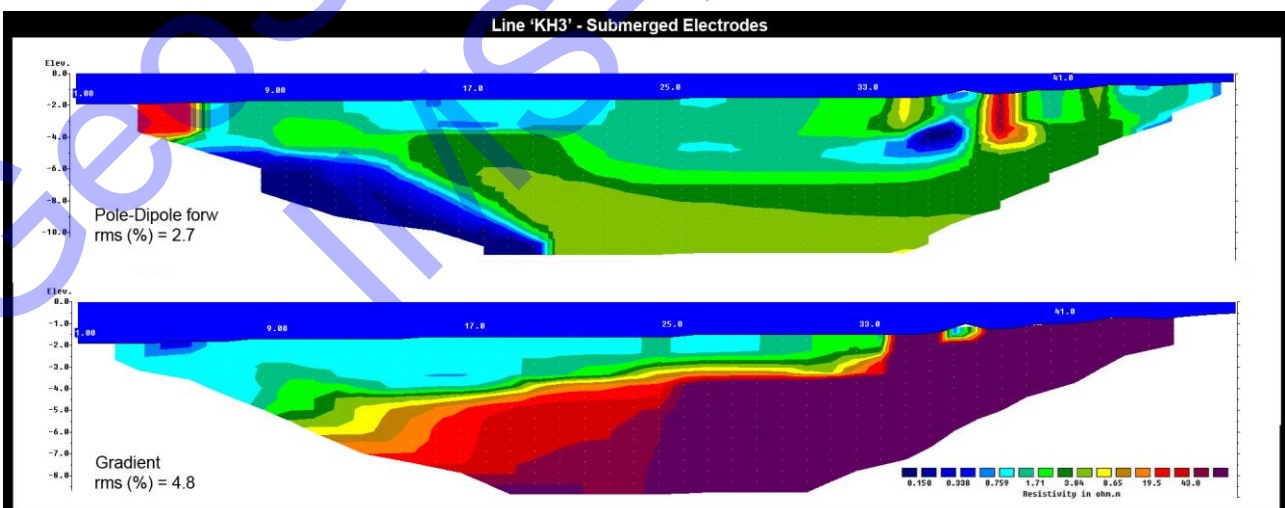
Στην γραμμή “KH3” στόχοι με υψηλές αντιστάσεις εντοπίζονται στο 6°, 25°, 36°, 39° και 44° μέτρο (ξεκινώντας από Νοτιοανατολικά της γραμμής). Και σε αυτή την γραμμή το μοντέλο αντιστροφής της διάταξης Gradient παρουσιάζει μία περιοχή υψηλής αντίστασης που ξεκινάει από το 18° μέτρο της γραμμής (σε βάθος 8 μέτρων) η οποία σταδιακά πλησιάζει στον πυθμένα της θάλασσας καθώς πλησιάζουμε στην ακτή. Η δομή αυτή λόγω της κλίσης προς τα νοτιοανατολικά θα μπορούσε να ερμηνευθεί λόγω της λειτουργίας του συγκεκριμένου σημείου της παραλίας ως νεώσοικος.



Σχήμα 42. Εικόνες αντιστροφής από το Ίστρον με το πρόγραμμα 'Res2DInv' (Loke) από την γραμμή “KH1” χρησιμοποιώντας τα πρωτόκολλα Pole-Dipole (forward, reverse και forw+rever) και Gradient. Η κλίμακα των τιμών αντίστασης είναι κοινή για όλες τις εικόνες.



Σχήμα 43. Εικόνες αντιστροφής από το Ίστρον με το πρόγραμμα 'Res2DInv' (Loke) από την γραμμή "KH2" χρησιμοποιώντας τα πρωτόκολλα Pole-Dipole (forward, reverse και forw+reverse) και Gradient. Η κλίμακα των τιμών αντίστασης είναι κοινή για όλες τις εικόνες.



Σχήμα 44. Εικόνες αντιστροφής από το Ίστρον με το πρόγραμμα 'Res2DInv' (Loke) από την γραμμή "KH3" χρησιμοποιώντας τα πρωτόκολλα Pole-Dipole (forward) και Gradient. Η κλίμακα των τιμών αντίστασης είναι κοινή για όλες τις εικόνες. Η διεύθυνση της τομής είναι από τα ΝΑ προς τα ΒΔ.



## ΚΑΡΑΒΟΣΤΑΣΙ (ΚΑΛΟ ΧΩΡΙΟ)

Το Καραβοστάσι (Καλό Χωριό) βρίσκεται 11,5 χιλιόμετρα νότια του Αγίου Νικολάου στο Νομό Λασιθίου (Σχήμα 45). Κλιμάκιο της Εφορείας Εναλίων Αρχαιοτήτων της Κρήτης εντόπισε ίχνη τοίχων στη δυτική πλευρά του κόλπου (Θεοδούλου, 2015). Είναι προφανές ότι και εδώ υπάρχει αλλοίωση της αρχαίας ακτογραμμής από τις επιχώσεις του ποταμού και απροσδιόριστης προς το παρόν αλλαγή της θαλάσσιας στάθμης, όπως συνάγεται από τα κατάλοιπα και τις μαρτυρίες για ποντισμένα κτιριακά λείψανα (Σχήμα 46). Στο Σχήμα 47 παρουσιάζονται εικόνες από την διαδικασία της λήψης των δεδομένων.



Σχήμα 45. Χάρτης τοποθεσίας Καραβοστάσι - Καλό Χωριό νότια του Αγ. Νικολάου (ανατολική Κρήτη).



Σχήμα 46. Περιοχή ενδιαφέροντος για τη λήψη δεδομένων από το Καραβοστάσι (Καλό Χωριό).





Σχήμα 47. Δειγματοληψία παράλληλα στην ακτή.

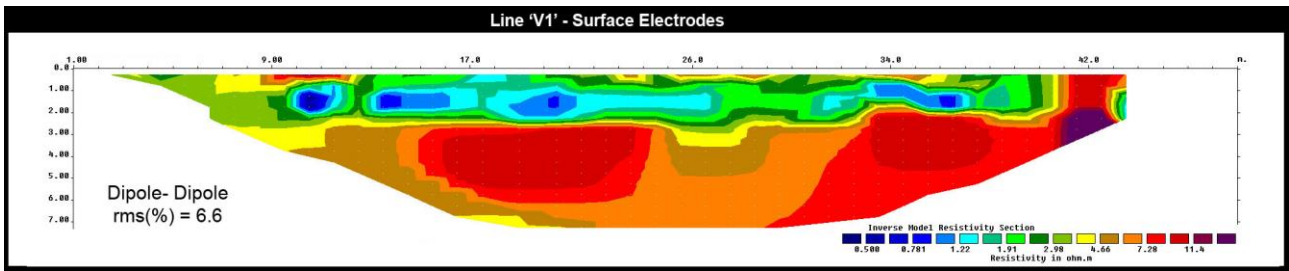
Στο Σχήμα 48 απεικονίζεται ο χάρτης της περιοχής μελέτης με την ακριβή θέση της ηλεκτρικής τομογραφίας παράλληλα με την ακτογραμμή. Η διεύθυνση της γραμμής είναι ΒΒΔυτικά προς τα ΝΝΑνατολικά. Το συνολικό μήκος της γραμμής είναι 47 μέτρα και τα ηλεκτρόδια είναι τοποθετημένα ανά ένα μέτρο. Το πρωτόκολλο που χρησιμοποιήθηκε στην συγκεκριμένη γραμμή είναι το “dipole-dipole”.





Σχήμα 48. Απεικόνιση θέσης της γραμμής όδευσης με τη μέθοδο των ηλεκτρικών τομογραφιών στο Καραβοστάσι.

Το RMS σφάλμα των μετρήσεων είναι 6.6% και οι τιμές των αντιστάσεων κυμαίνονται από 0.25 έως 9 ohm-m. Στη γραμμή “Line V1” επιφανειακοί στόχοι με υψηλές τιμές αντίστασης παρουσιάζονται στο 9°, 13°, 22°, 25°, 27°, 33° και 41° μέτρο (ξεκινώντας από το βόρειο τμήμα της γραμμής). Οι περισσότεροι από τους στόχους αυτούς που εμφανίσθηκαν κατά τη δημιουργία του μοντέλου αντιστροφής έχουν εντοπισθεί και in situ (Wall 1, 2, 3 και 4) (Σχήμα 48). Επιπλέον και σε μεγαλύτερο βάθος (μετά τα τρία μέτρα) έχουν εμφανισθεί στο μοντέλο στόχοι υψηλής αντίστασης μεγαλύτερου μεγέθους μεταξύ 14<sup>ου</sup> έως 23<sup>ου</sup> και 32<sup>ου</sup> έως 37<sup>ου</sup> μέτρου της γραμμής που σχετίζονται με την τοπική γεωλογία της περιοχής.



Σχήμα 49. Εικόνες αντιστροφής από το Καραβοστάσι (Καλό Χωριό) με το πρόγραμμα 'Res2DInv' (Loke) από την γραμμή "V1" χρησιμοποιώντας το πρωτόκολλο Dipole-Dipole.

Geosat Research  
IMS-FORTH



## ΕΛΟΥΝΤΑ

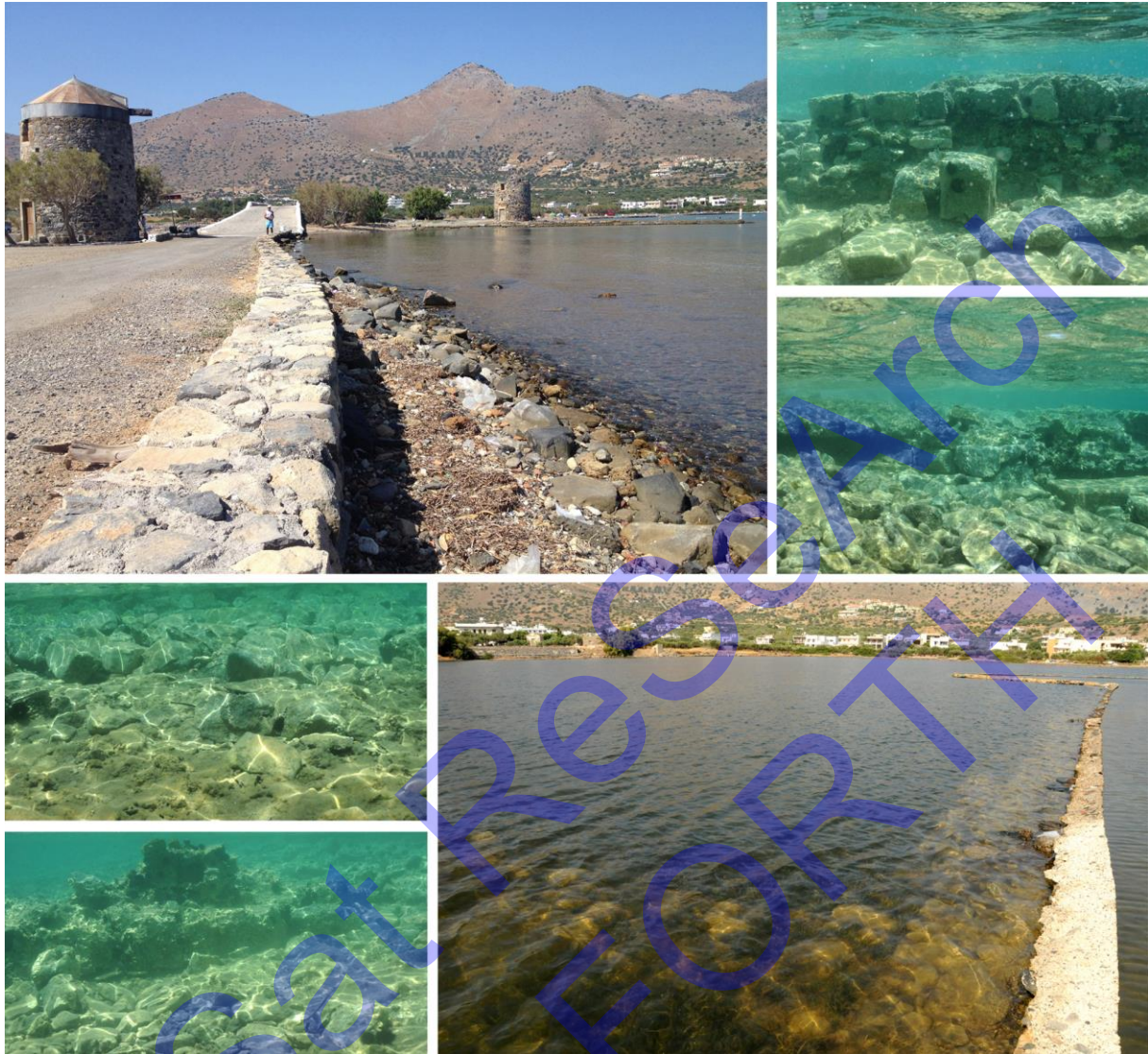
Η Ελούντα βρίσκεται 10 χιλιόμετρα βόρεια του Αγίου Νικολάου στο Νομό Λασιθίου (ανατολική Κρήτη) (Σχήμα 50). Ποντισμένα κατάλοιπα του αρχαίου Ολούντος εντοπίζονται στην περιοχή του Πόρου, όπου ενώνεται η χερσόνησος της Σπιναλόγκας με την Κρήτη. Τα κτιριακά κατάλοιπα είναι ορατά και στις δύο πλευρές του περάσματος ενώ προς τα νότια σε πρόσφατη αυτοψία στις Εφορείας Εναλίων Αρχαιοτήτων εντοπίστηκαν και τα κατάλοιπα πιθανότατα από το παράκτιο τείχος της πόλης. Ακριβείς μετρήσεις δεν κατέστη δυνατόν να γίνουν προς το παρόν, αλλά φαίνεται ότι αυτό εδράζεται σε βάθος πέραν του 1.5μ. γεγονός που το εντάσσει μάλλον στην προ-ρωμαϊκή αρχαιότητα. Είναι όμως φανερό και εδώ ότι το σημερινό στενό πέρασμα ήταν στην αρχαιότητα πολύ φαρδύτερο αποτελώντας το επίπεδο στο οποίο αναπτυσσόταν η κλασική πόλη (Σχήμα 51).



Σχήμα 50. Χάρτης Ελούντας βόρεια του Αγ. Νικολάου (Ανατολική Κρήτη).

Στην συγκεκριμένη περιοχή εφαρμόστηκε μία νέα μεθοδολογία λήψης των τομογραφικών δεδομένων. Τα δεδομένα λαμβάνονται καθώς μετακινείται ο εξοπλισμός (όργανο μέτρησης και καλλώδιο με αισθητήρες) πάνω από τα αρχαιολογικά κατάλοιπα. Το καλλώδιο με τους αισθητήρες είναι δεμένο σε ένα σχοινί το οποίο φέρει σημαδούρες ανά ισαπέχοντα διαστήματα. Το σχοινί με τη σειρά του είναι δεμένο σε μία αυτοσχέδια πλεούμενη κατασκευή μέσα στην οποία είναι τοποθετημένο το όργανο μέτρησης μαζί με μία εξωτερική μπαταρία για τροφοδοσία (Σχήμα 52). Η πλεούμενη κατασκευή φέρει στα άκρα τις σημαδούρες με τις οποίες εξασφαλίζεται η οριζοντιότητα του οργάνου και αποτρέπεται η πιθανότητα ανατροπής του κατά την μετακίνηση τού μέσα στο νερό. Στο όργανο μέτρησης συνδέεται ένας φορητός υπολογιστής απαραίτητος για την έναρξη και τον τερματισμό των μετρήσεων του πρωτοκόλλου. Το σχοινί στο οποίο είναι δεμένο το καλλώδιο εξασφαλίζει την ευθύγραμμη μετακίνηση των αισθητήρων επειδή λόγω των κυμάτων του νερού οι αισθητήρες τείνουν να αποκλίνουν από την ευθεία γραμμή καθώς αυτοί μετακινούνται στην επιφάνεια της θάλασσας.

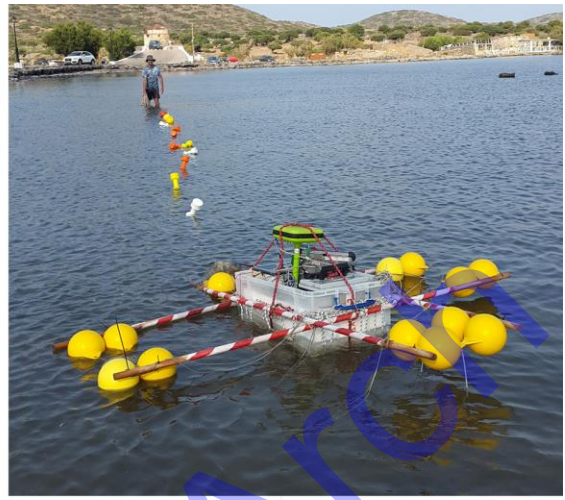




Σχήμα 51. Περιοχή Ελούντας όπου και βρέθηκαν βυθισμένα κτηριακά κατάλοιπα.

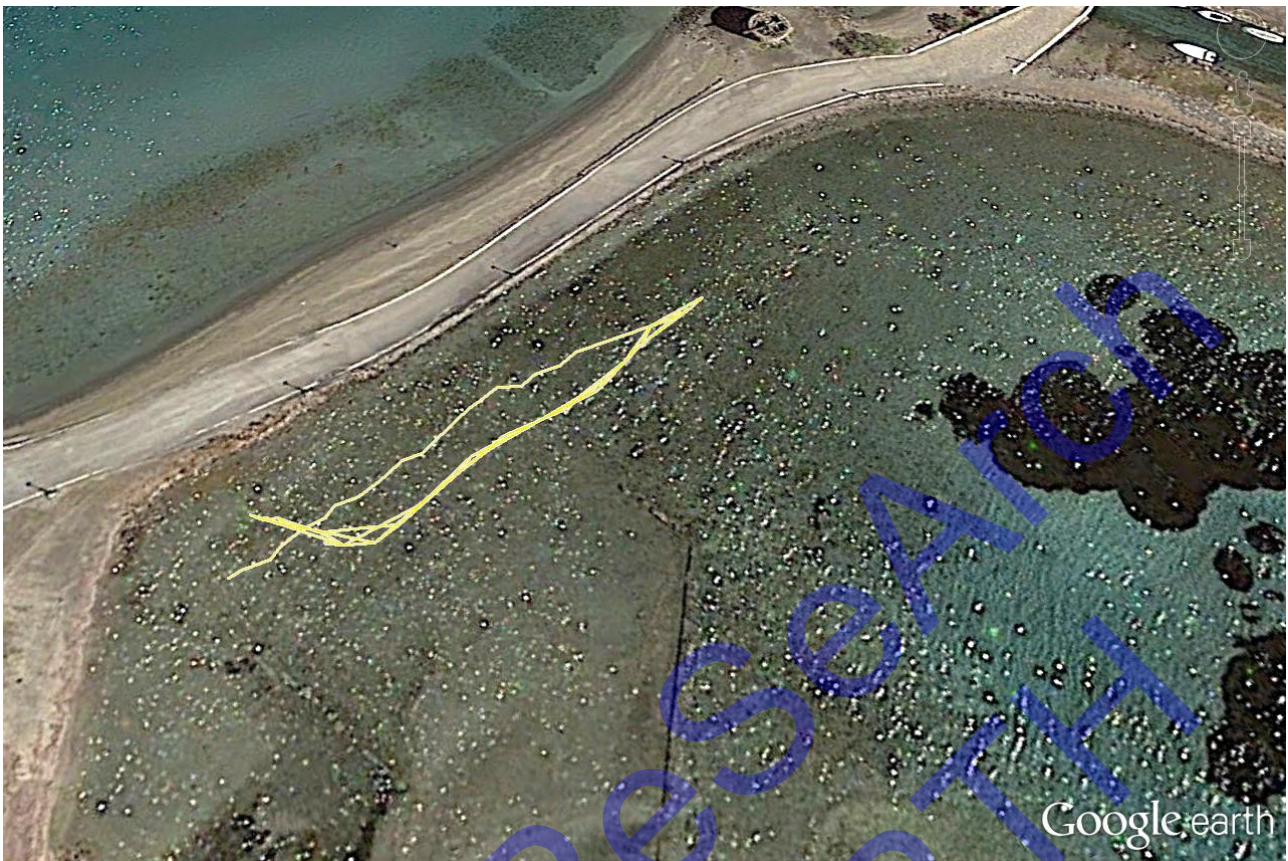
Η γνώση της ακριβούς θέσης των αισθητήρων είναι απαραίτητη για την επεξεργασία των δεδομένων. Για το λόγο αυτό, καθώς μετακινούνται οι αισθητήρες κατά τη διάρκεια των μετρήσεων ανιχνεύεται η θέση τους με τη χρήση ενός δορυφορικού GPS το οποίο είναι τοποθετημένο μέσα στο πλεούμενο. Με τον τρόπο αυτό, γνωρίζοντας τη θέση της κεραίας μπορεί αντίστοιχα να υπολογισθεί και η θέση των αισθητήρων σε κάθε χρονική στιγμή. Μία δοκιμαστική διαδρομή που ακολουθήθηκε στην περιοχή της Ελούντας φαίνεται στο Σχήμα 53.





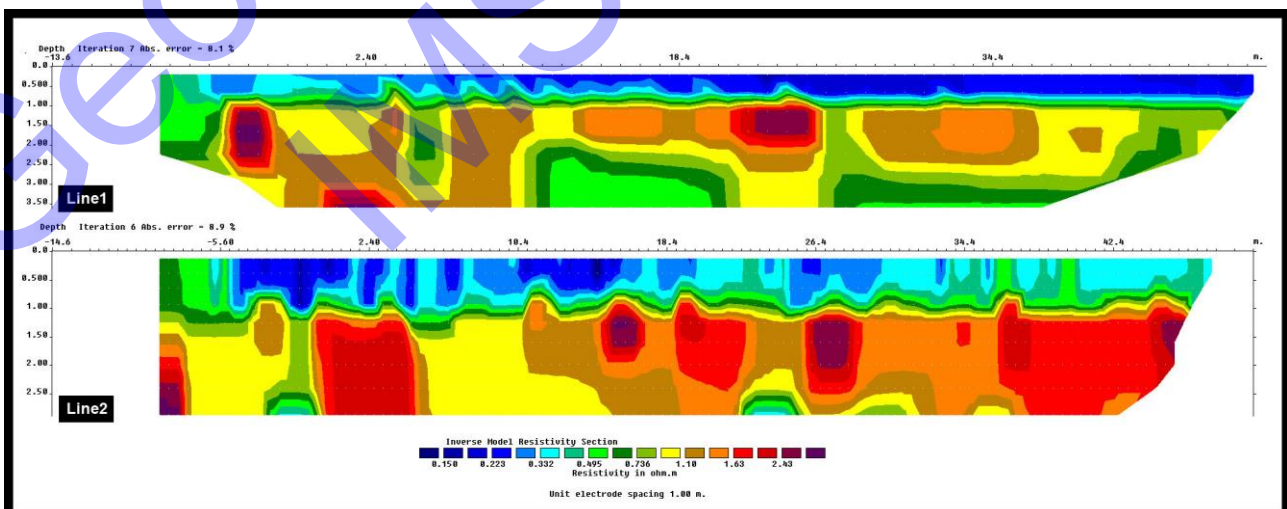
Σχήμα 52. Εξοπλισμός και διαδικασία μετακίνησης αυτού με την χρήση πλεούμενων αισθητήρων στην επιφάνεια της θάλασσας.





Σχήμα 53. Χάρτης όπου παρουσιάζεται μία δοκιμαστική διαδρομή που ακολουθήθηκε από το όργανο ηλεκτρικών τομογραφιών για τη λήψη μετρήσεων με αισθητήρες πλεύμενους στην επιφάνεια της θάλασσας.

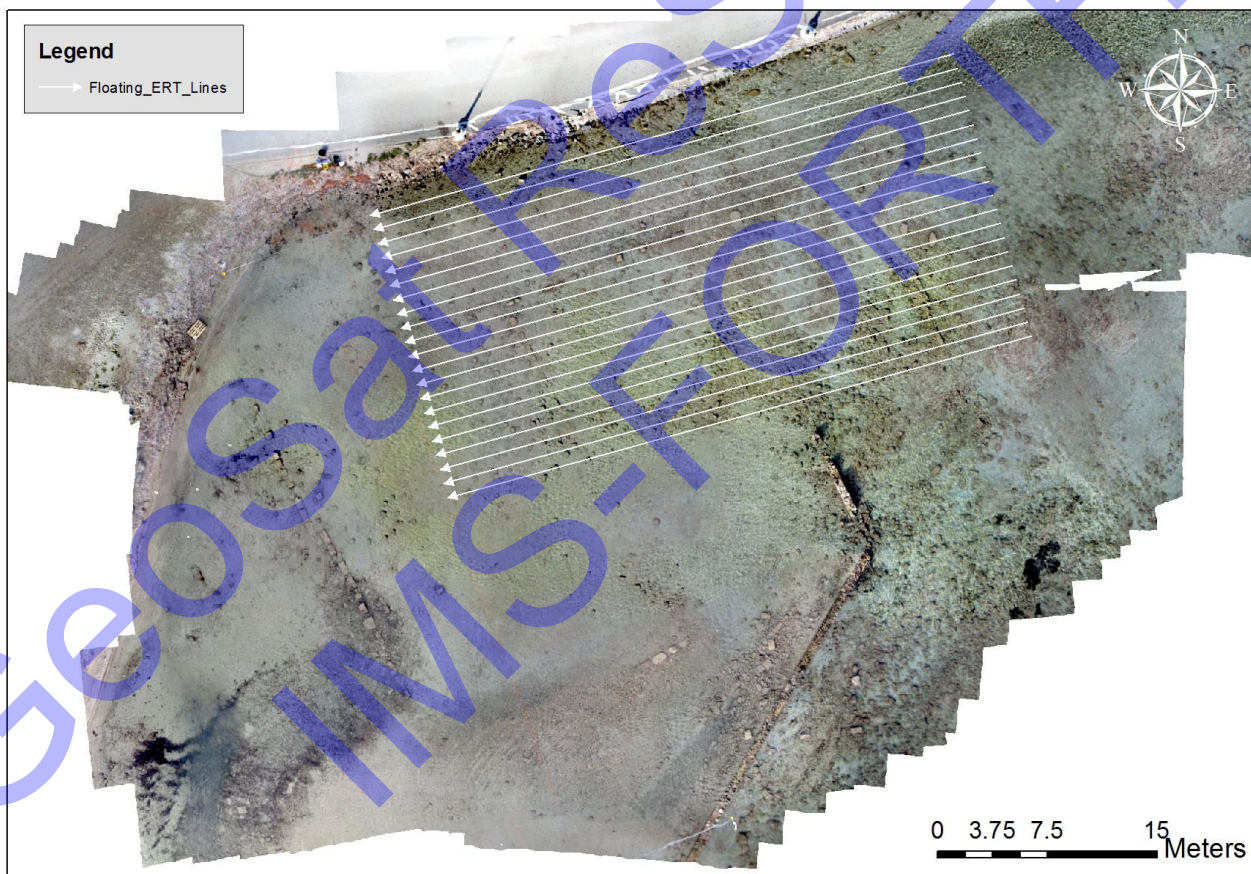
Τα αποτελέσματα των δεδομένων μετά από αντιστροφή από δύο τυχαίες διαδρομές (Line1, Line2) φαίνονται στο Σχήμα 54. Το RMS σφάλμα είναι λιγότερο από 9% και οι τιμές των αντιστάσεων κυμαίνονται από 0.15 έως 2.5 ohm-m. Και στις δύο διαδρομές τα αποτελέσματα είναι ενθαρρυντικά επειδή εντοπίζονται «ανωμαλίες» υψηλής αντίστασης που ερμηνεύονται ως αρχαιολογικά κατάλοιπα.



Σχήμα 54. Εικόνες αντιστροφής από δοκιμαστικές λήψεις δεδομένων σε τυχαίες διαδρομές του εξοπλισμού με τη χρήση GPS.

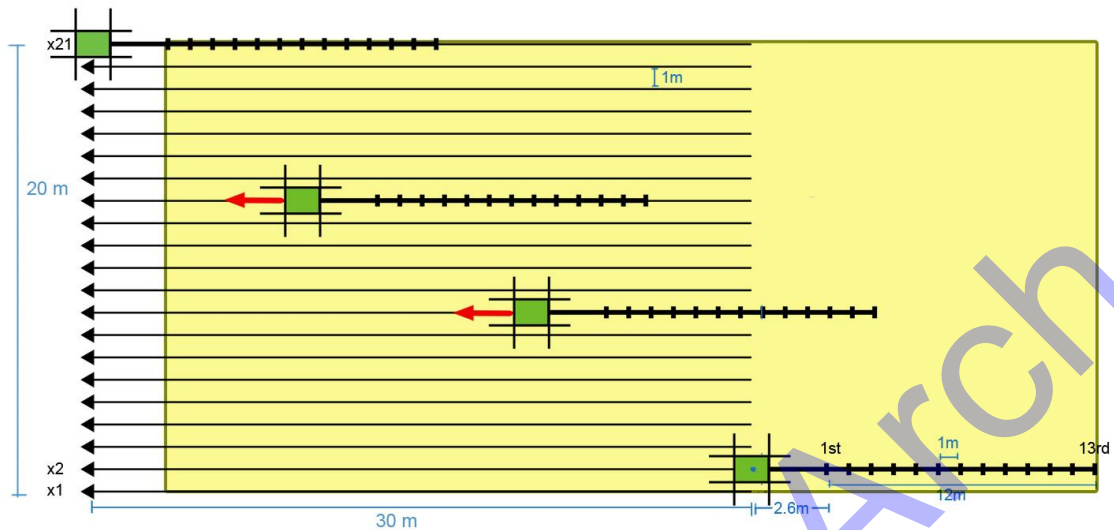


Έχοντας εξασφαλίσει την δυνατότητα να ληφθούν δεδομένα με τον τρόπο αυτό, οριοθετήθηκε μία περιοχή συνολικών διαστάσεων 20x30 μέτρα (Σχήμα 55). Συνολικά πραγματοποιήθηκαν 21 γραμμές όδευσης, μήκους  $l=30$  μέτρων και μεταξύ τους απόσταση  $d=1$  μέτρου. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι η αρχή και το τέλος της κάθε γραμμής απεικονίζει ουσιαστικά την θέση της κεραίας. Αυτό σημαίνει ότι η ακριβή θέση του πρώτου ηλεκτροδίου είναι μετατοπισμένη κατά 2.6 μέτρα από τη θέση της κεραίας (offset) και επειδή χρησιμοποιήθηκαν 13 ηλεκτρόδια το 13<sup>ο</sup> ηλεκτρόδιο αντίστοιχα απέχει ( $12+2,6 =$ ) 14,6 μέτρα από τη θέση της κεραίας. Επομένως η περιοχή η οποία τελικά χαρτογραφείται έχει «μετατοπισθεί» κατά 12 μέτρα από την περιοχή που ορίζουν οι γραμμές όδευσης (Σχήμα 56). Το πρωτόκολλο Διπόλου-Διπολου που χρησιμοποιήθηκε για τις μετρήσεις δημιουργήθηκε από την εφαρμογή “Sysmar” της Iris και οι παράμετροι φαίνονται στο Σχήμα 57. Η θέση όπου και υπολογίζεται η τιμή της αντίστασης καθώς μετακινείται ο εξοπλισμός απεικονίζεται στο Σχήμα 58. Στο σχήμα αυτό έχουν αφαιρεθεί οι προβληματικές μετρήσεις μετά από φιλτράρισμα.

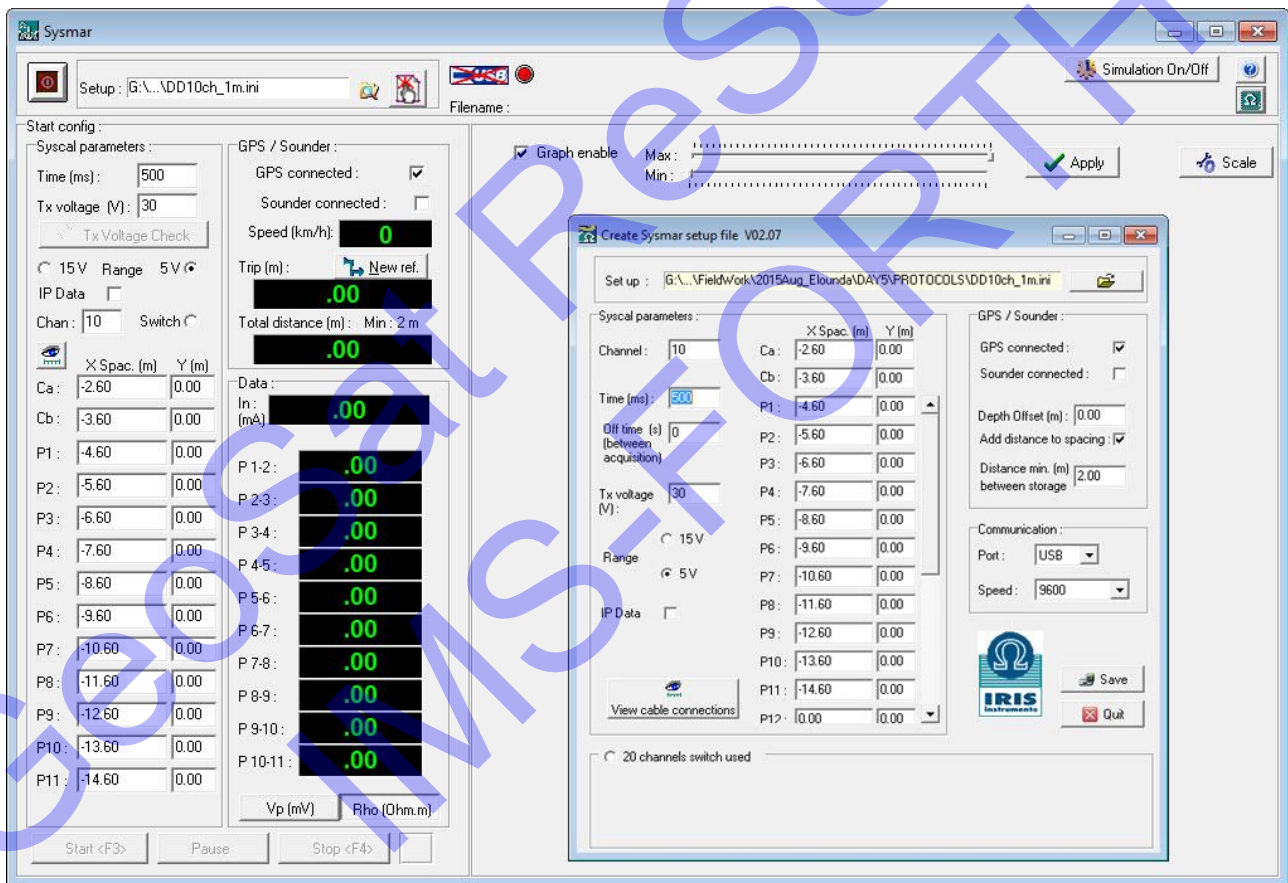


Σχήμα 55. Θέση παράλληλων γραμμών διασκόπησης για τη λήψη δεδομένων για τρισδιάστατη απεικόνιση του υπεδάφους στην Ελούντα.

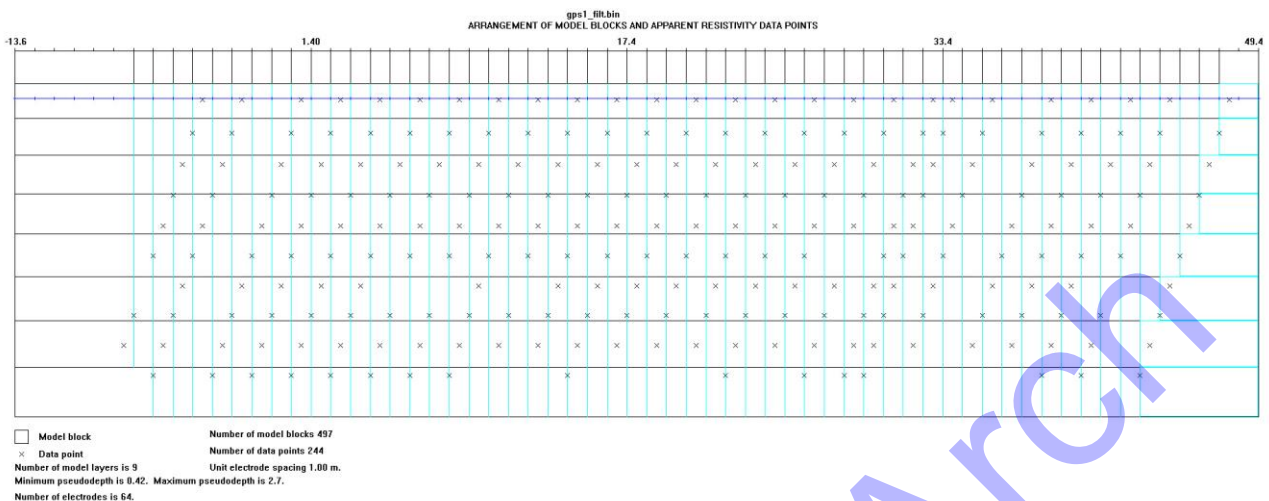




Σχήμα 56. Σχηματική απεικόνιση της μεθοδολογίας λήψης μετρήσεων με τη χρήση ηλεκτροδίων που επιπλέουν στην επιφάνεια της θάλασσας καθώς μετακινείται ο εξοπλισμός.



Σχήμα 57. Πρωτόκολλο για μετρήσεις σε θαλάσσιο περιβάλλον με κινούμενα επιπλέοντα ηλεκτρόδια.

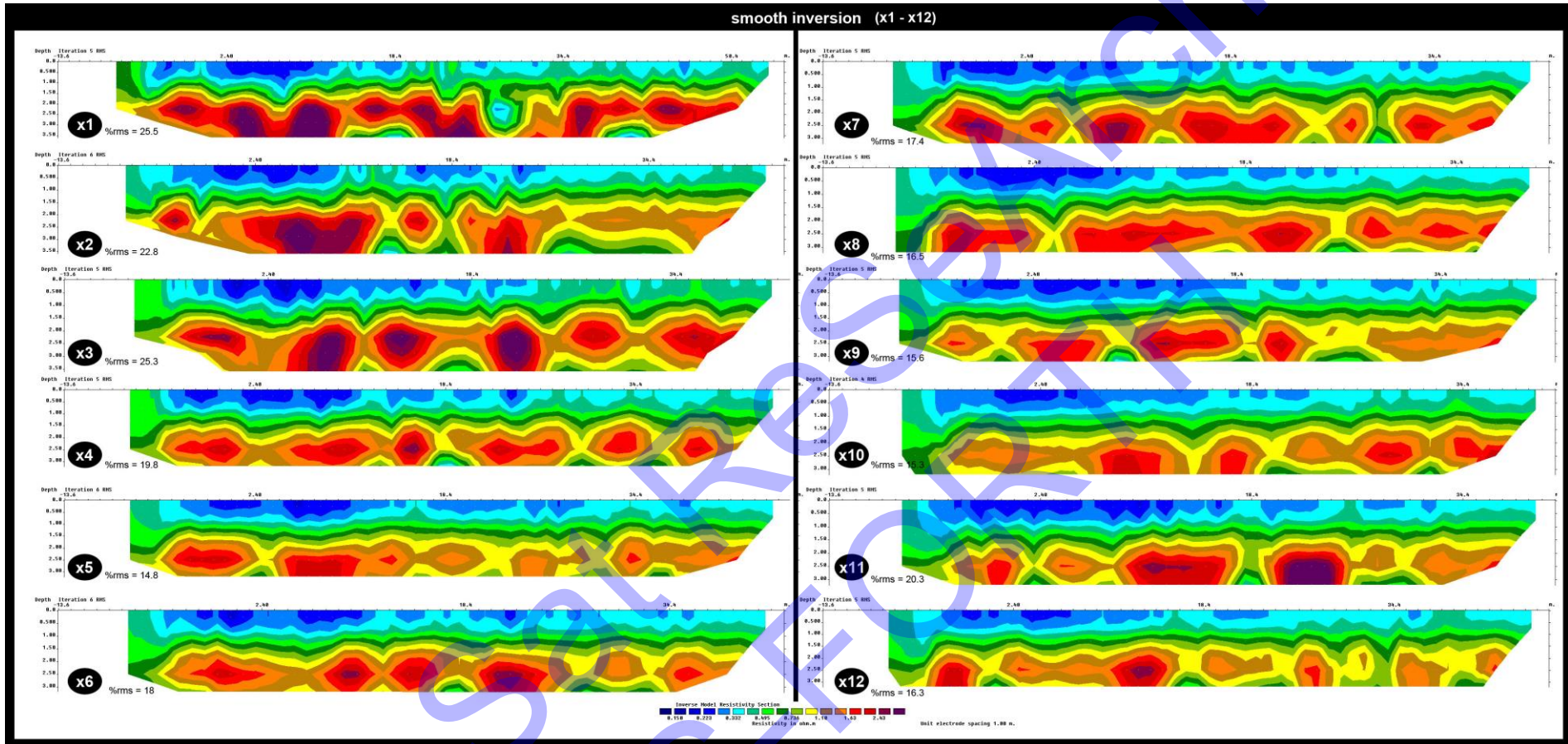


Σχήμα 58. Σχηματική αναπαράσταση της θέσης (x) όπου και υπολογίζεται η τιμή της αντίστασης καθώς μετακινείται ο εξοπλισμός.

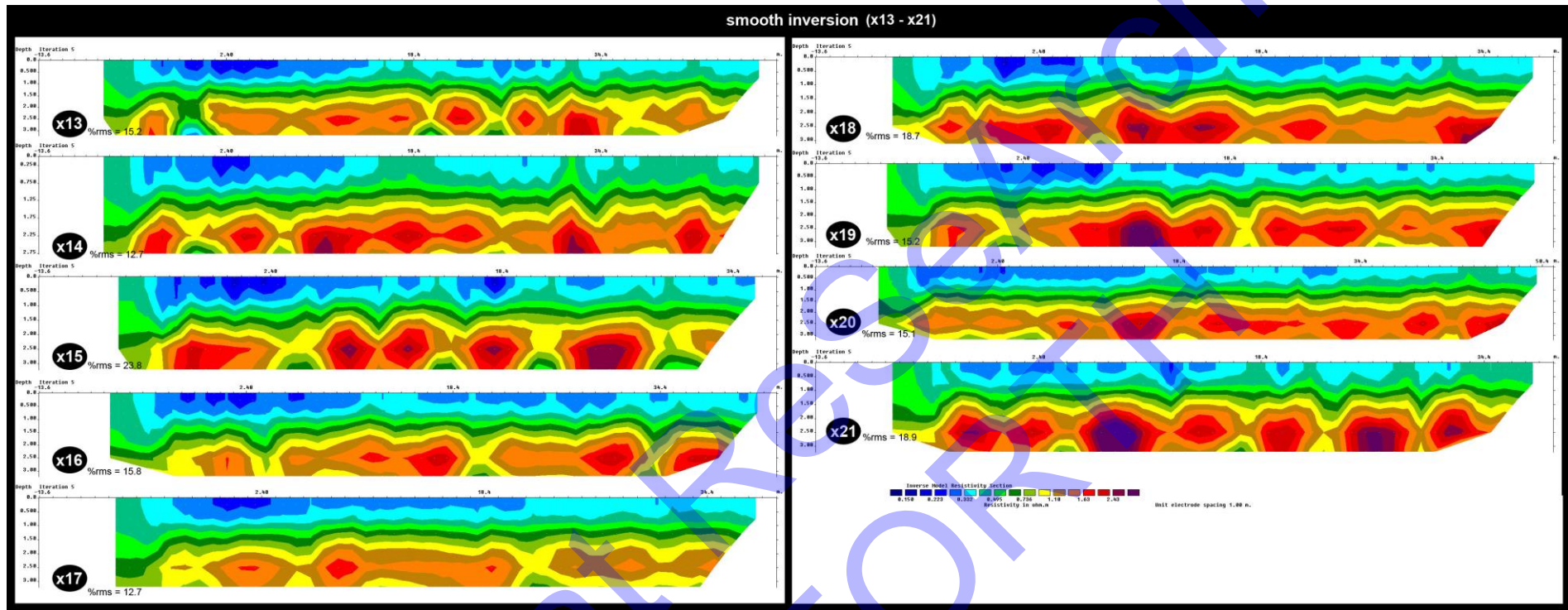
Στο Σχήμα 59, Σχήμα 60, Σχήμα 61 και Σχήμα 62 απεικονίζονται οι εικόνες αντιστροφής από τις γραμμές “x1”-“x21”. Τα δεδομένα έχουν αντιστραφεί τόσο με τη «εξομαλυσμένη» μέθοδο (“smoothness”) όσο και με τη «σταθερή» (“robust”) μέθοδο αντιστροφής. Οι τιμές αντίστασης κυμαίνονται από 0.15 έως 3 ohm-m. Με μία πρώτη εκτίμηση μεταξύ των δύο μεθόδων αντιστροφής μπορεί να ειπωθεί ότι τα αποτελέσματα με τη μέθοδο “smooth” εμφανίζουν μεγαλύτερο σφάλμα rms συγκριτικά με αυτά που προέκυψαν από τη μέθοδο “robust”. Επιπλέον, το ύψος της στήλης του νερού αναπαρίσταται με καλύτερη ακρίβεια όταν χρησιμοποιείται η μέθοδος αντιστροφής “robust”.

Στο Σχήμα 63, παρουσιάζονται οι 3D εικόνες αντιστροφής που προέκυψαν από τις 2D τομογραφίες που πραγματοποιήθηκαν με την μετακίνηση των ηλεκτροδίων στην επιφάνεια της θάλασσας. Κάθε εικόνα ανταποκρίνεται και σε διαφορετικό βάθος από την επιφάνεια της θάλασσας φτάνοντας τα 2.25 μέτρα από την επιφάνεια της θάλασσας. Κατά την διαδικασία της αντιστροφής μετά από 6 επαναλήψεις το σφάλμα έχει μειωθεί στο 6.9%. Από τα αποτελέσματα των εικόνων αντιστροφής με απευθείας υπέρθεση πάνω στις ορθοφωτογραφίες της υπο εξέτασης περιοχής προκύπτει ότι οι περιοχές υψηλής αντίστασης εμφανίζονται κοντά στην θέση των τοίχων που ανιχνεύθηκαν επί τόπου (Σχήμα 64, Σχήμα 65).



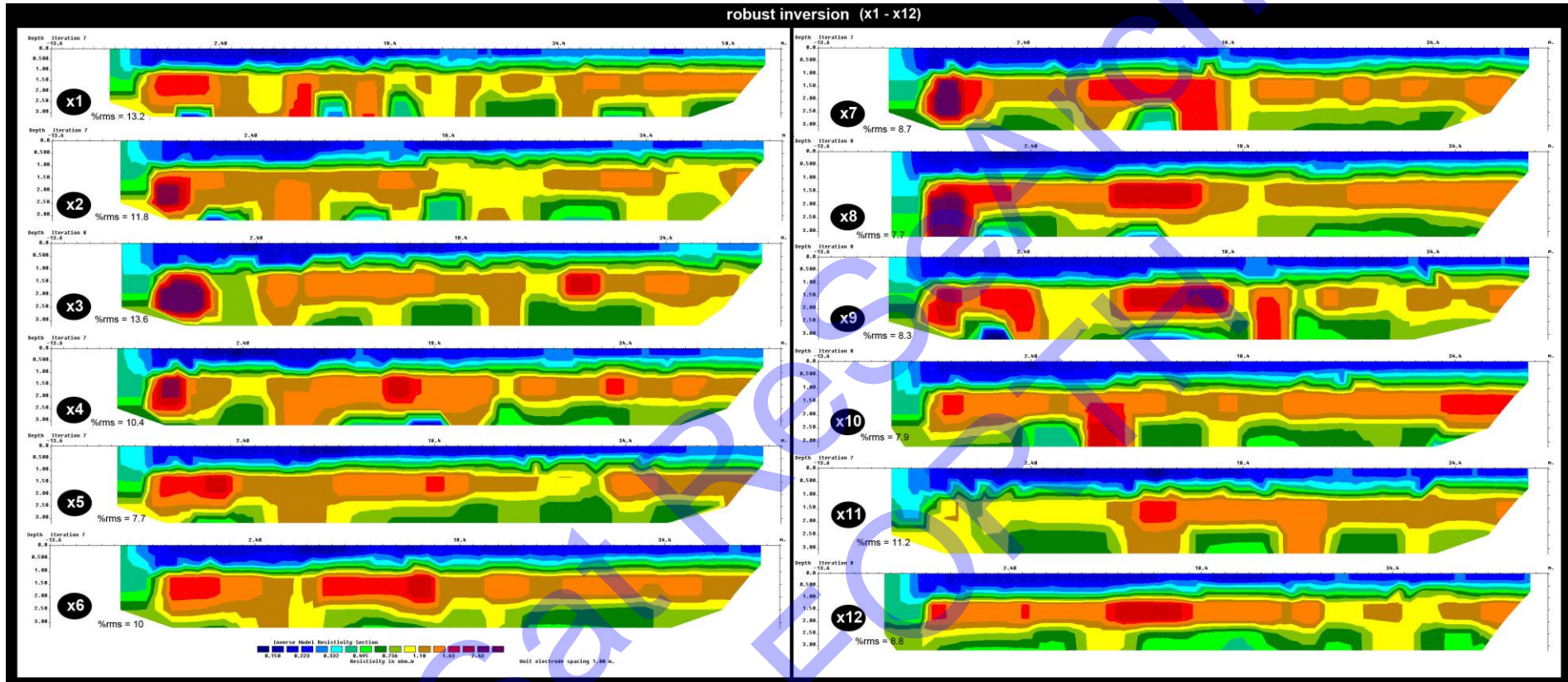


Σχήμα 59. Εικόνες αντιστροφής με smooth inversion από την γραμμή x1 έως x12.

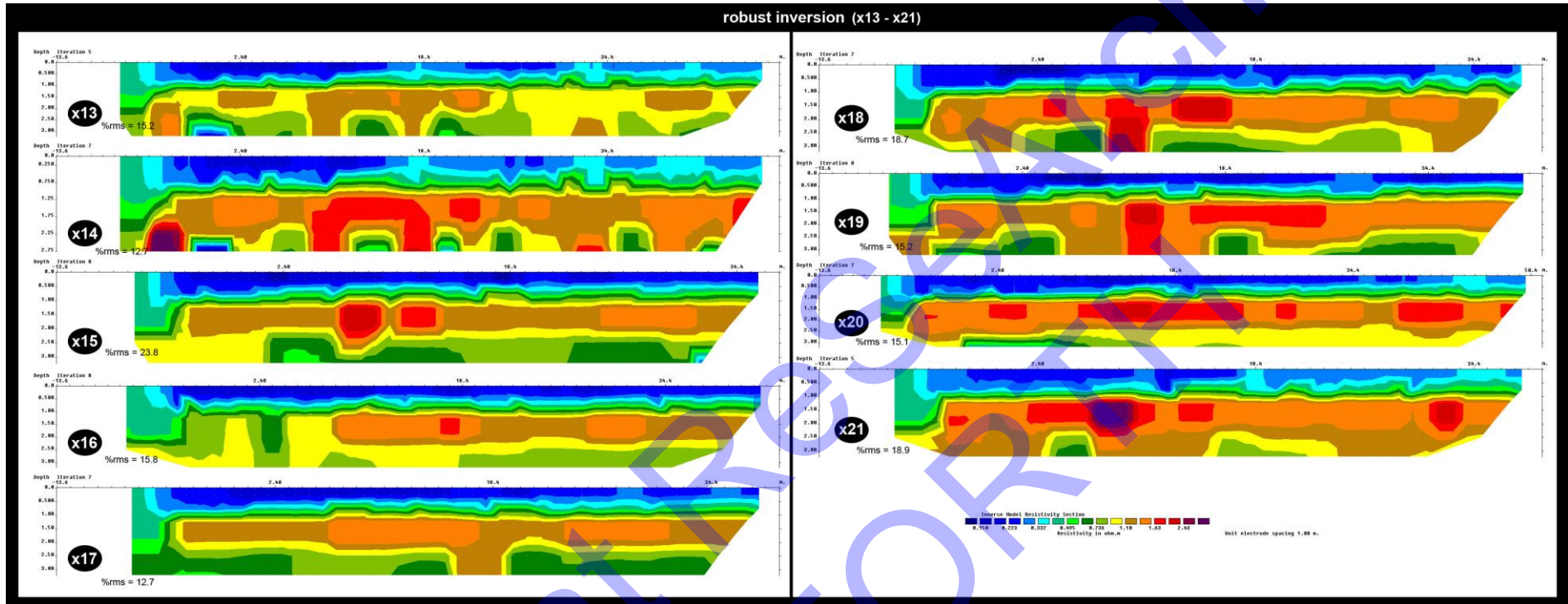


Σχήμα 60. Εικόνες αντιστροφής με smooth inversion από την γραμμή x13 έως x21.



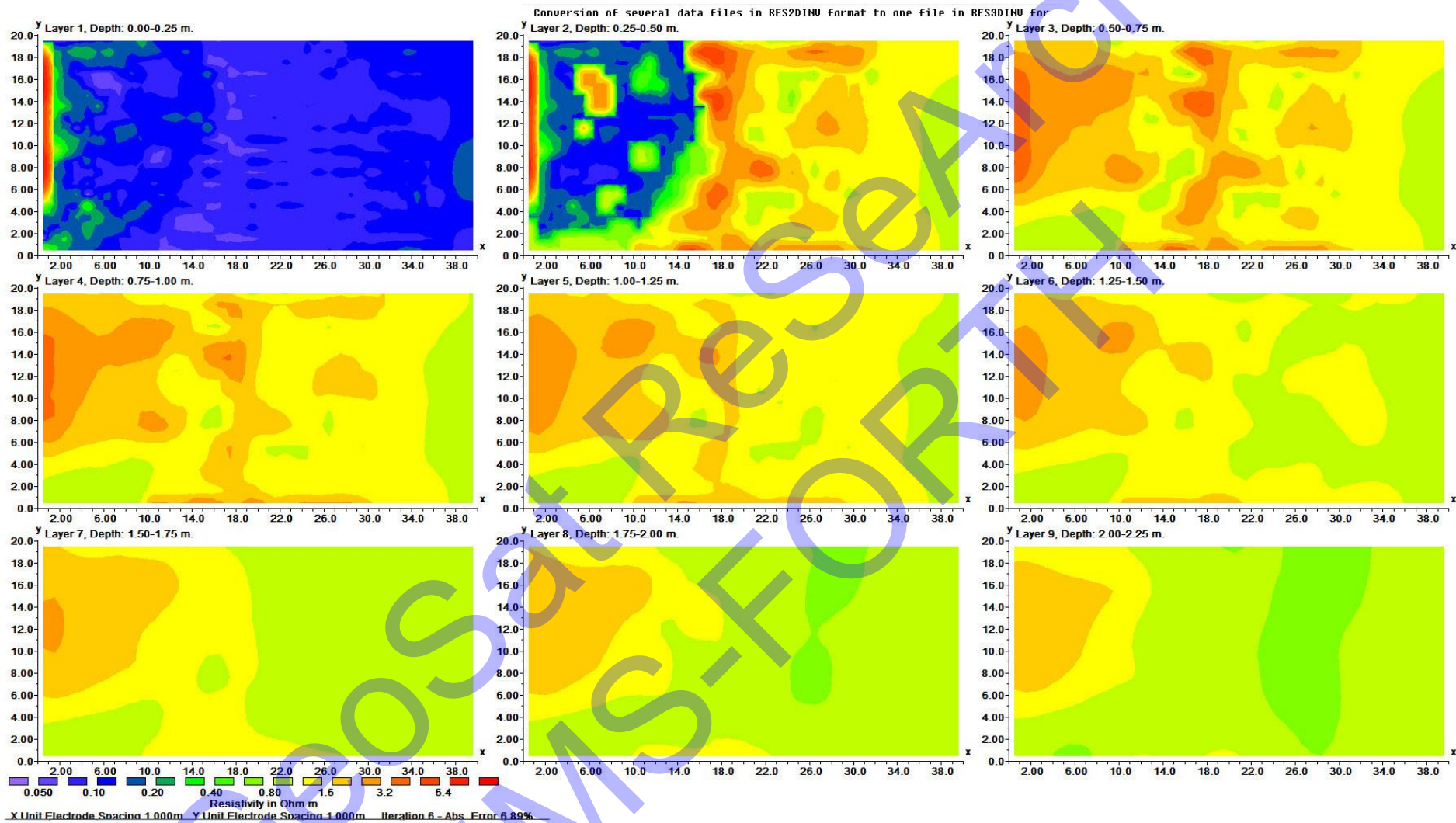


Σχήμα 61. Εικόνες αντιστροφής με robust inversion από την γραμμή x1 έως x12.



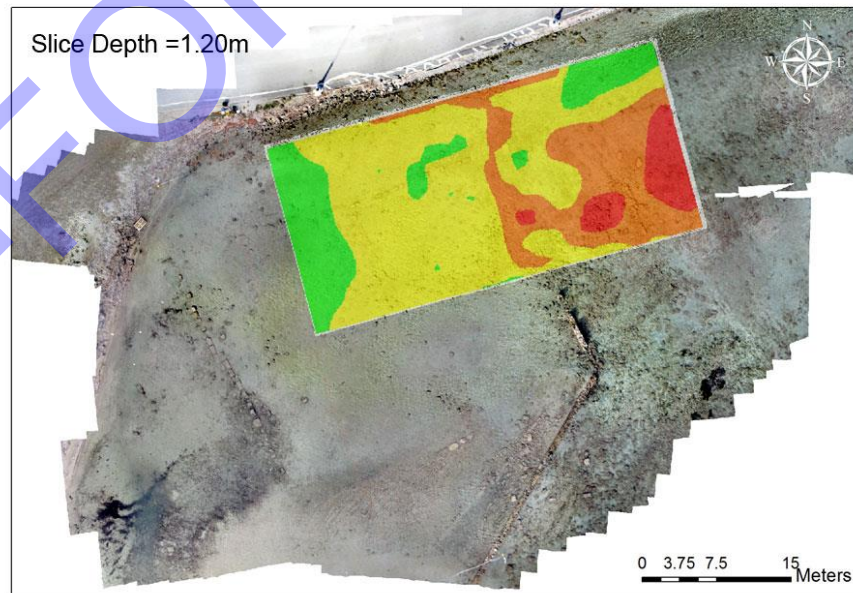
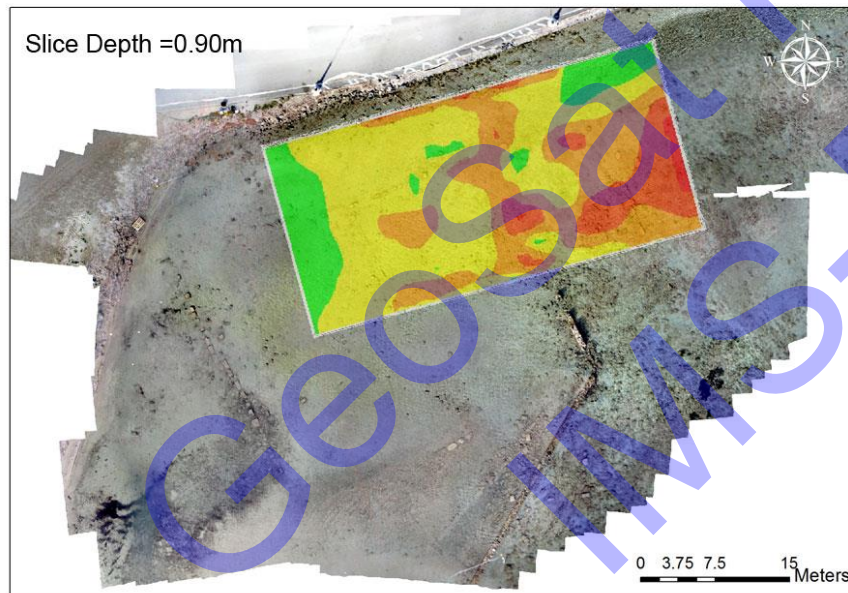
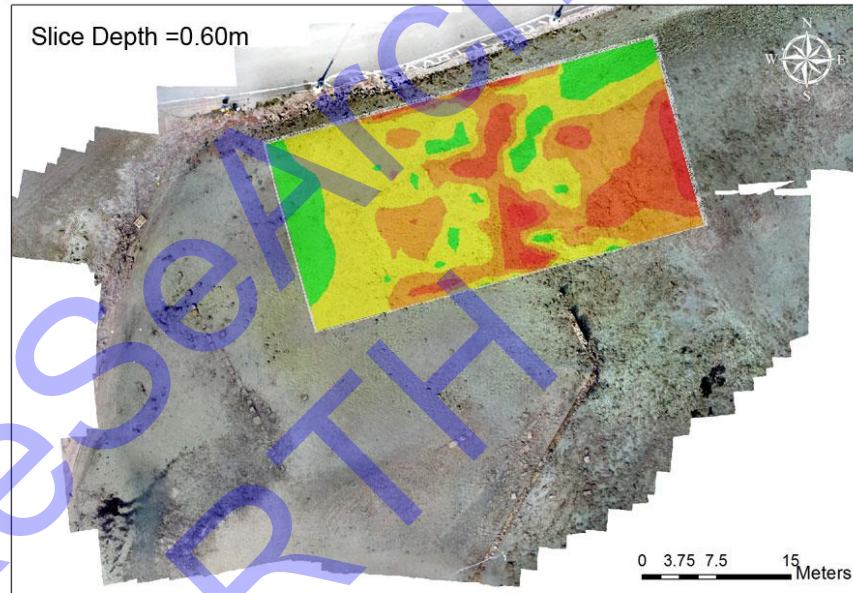
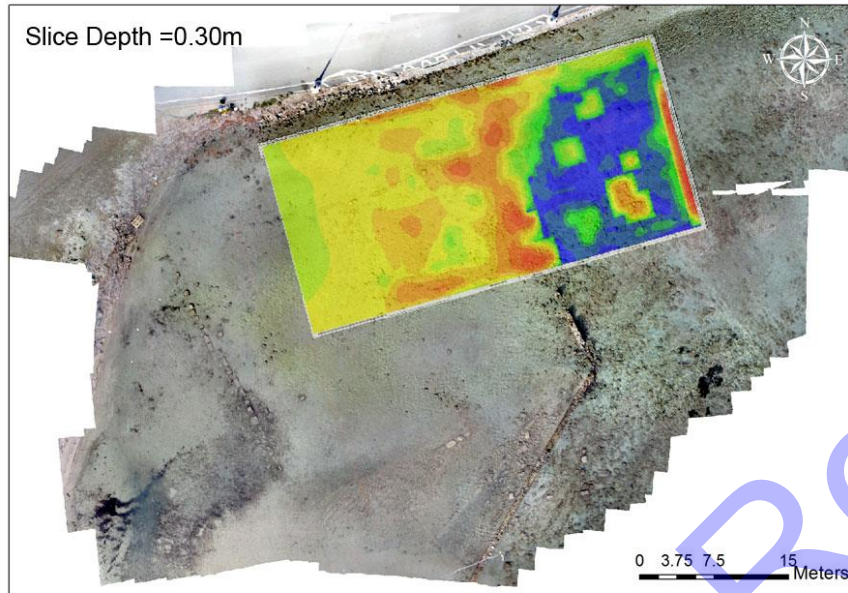
Σχήμα 62. Εικόνες αντιστροφής με robust inversion από την γραμμή x13 έως x21.





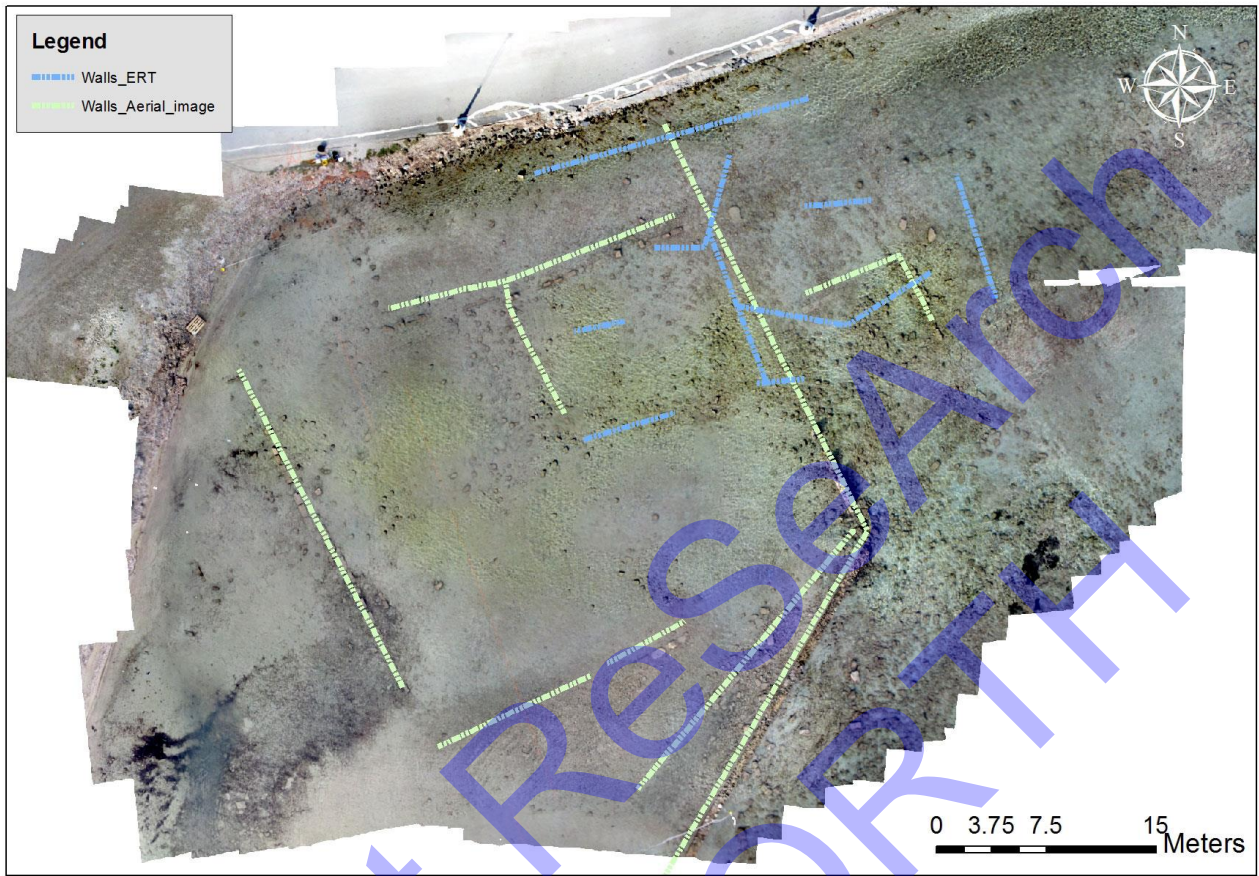
Σχήμα 63. Οριζόντιες τομές σε διαφορετικά βάθη (από 0.00 έως 2.25 μέτρα) που εξήχθησαν από το τρισδιάστατο μοντέλο αντιστροφής των τομογραφικών δεδομένων που συλλέχθηκαν στην Ελούντα. Η κλίμακα είναι λογαριθμική.





Σχήμα 64. Εικόνες αντιστροφής με επιφάνειες σε διαφορετικά βάθη από την επιφάνεια της θάλασσας.





Σχήμα 65. Αεροφωτογραφία με επισήμανση των εμφανών τοίχων αλλά και των απεικονιζόμενων τείχων από τις εικόνες αντιστροφής.

## ΛΙΜΑΝΙ ΚΑΤΩ ΠΑΦΟΥ

Το λιμάνι της Κάτω Πάφου βρίσκεται 70 χιλιόμετρα δυτικά της Λεμεσού στο νοτιοδυτικό άκρο της Κύπρου (Σχήμα 66).



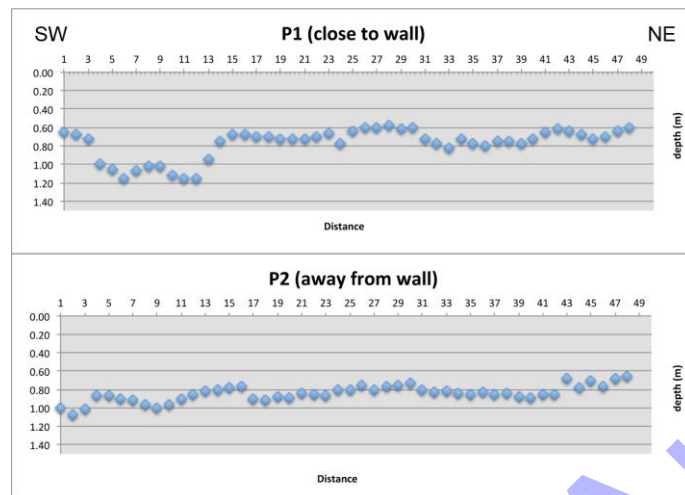
Σχήμα 66. Χάρτης λιμανιού Κάτω Πάφου στο νοτιοδυτικό άκρο της Κύπρου.



Σχήμα 67. Περιοχή μελέτης υποθαλάσσιων αρχαιολογικών ευρημάτων στο λιμάνι της Κάτω Πάφου.

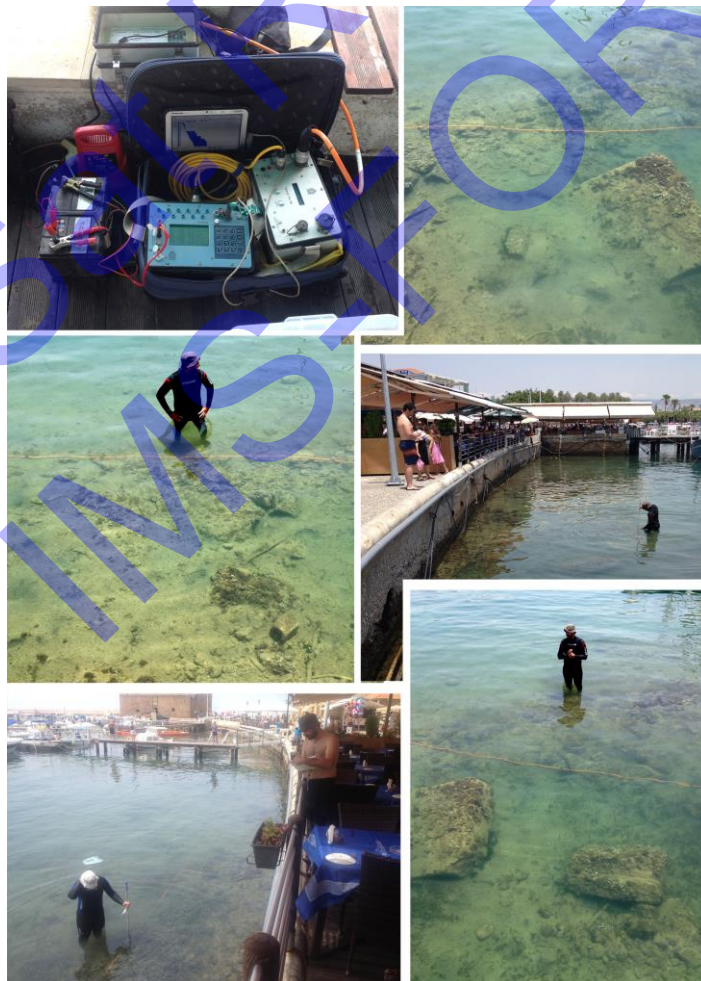
Πριν από τη λήψη των μετρήσεων ηλεκτρικής αντίστασης υπολογίστηκε το ύψος της στήλης του νερού. Το ύψος αυτό κυμαίνεται από 1.20 έως 0.5 μέτρο περίπου και για τις δύο γραμμές “P1” και “P2” (Σχήμα 68). Επιπλέον, υπολογίστηκε η αγωγιμότητα του θαλάσσιου νερού σε διαφορετικές θέσεις έτσι ώστε να χρησιμοποιηθεί ένας μέσος όρος για την επεξεργασία των δεδομένων. Η τιμή αυτή της αγωγιμότητας είναι 52 mS/cm (25°C) η οποία εάν αναχθεί σε αντίσταση γίνεται 0.17 ohm-m. Φωτογραφίες από την διαδικασία δειγματοληψίας φαίνονται στο Σχήμα 69.





Σχήμα 68. Ύψος στήλης νερού πάνω από τους αισθητήρες στις γραμμές όδευσης P1 και P2.

Η ακριβής θέση των γραμμών όδευσης παρουσιάζεται στο Σχήμα 70 με κατεύθυνση από ΝΔυτικά προς ΒΑνατολικά. Το συνολικό μήκος (ίδιο και στις δύο γραμμές) είναι 47 μέτρα όπου και έχουν χρησιμοποιηθεί 48 ηλεκτρόδια με απόσταση μεταξύ τους  $a=1$  μέτρο. Η απόσταση μεταξύ των γραμμών είναι περίπου  $d=2.5$  μέτρα. Τα πρωτόκολλα που χρησιμοποιήθηκαν είναι το Pole-Dipole (forward+reverse) και το Gradient με αριθμό μετρήσεων #2040 και #2180 αντίστοιχα.



Σχήμα 69. Διαδικασία μελέτης της περιοχής του λιμένα της Κάτω Πάφου.



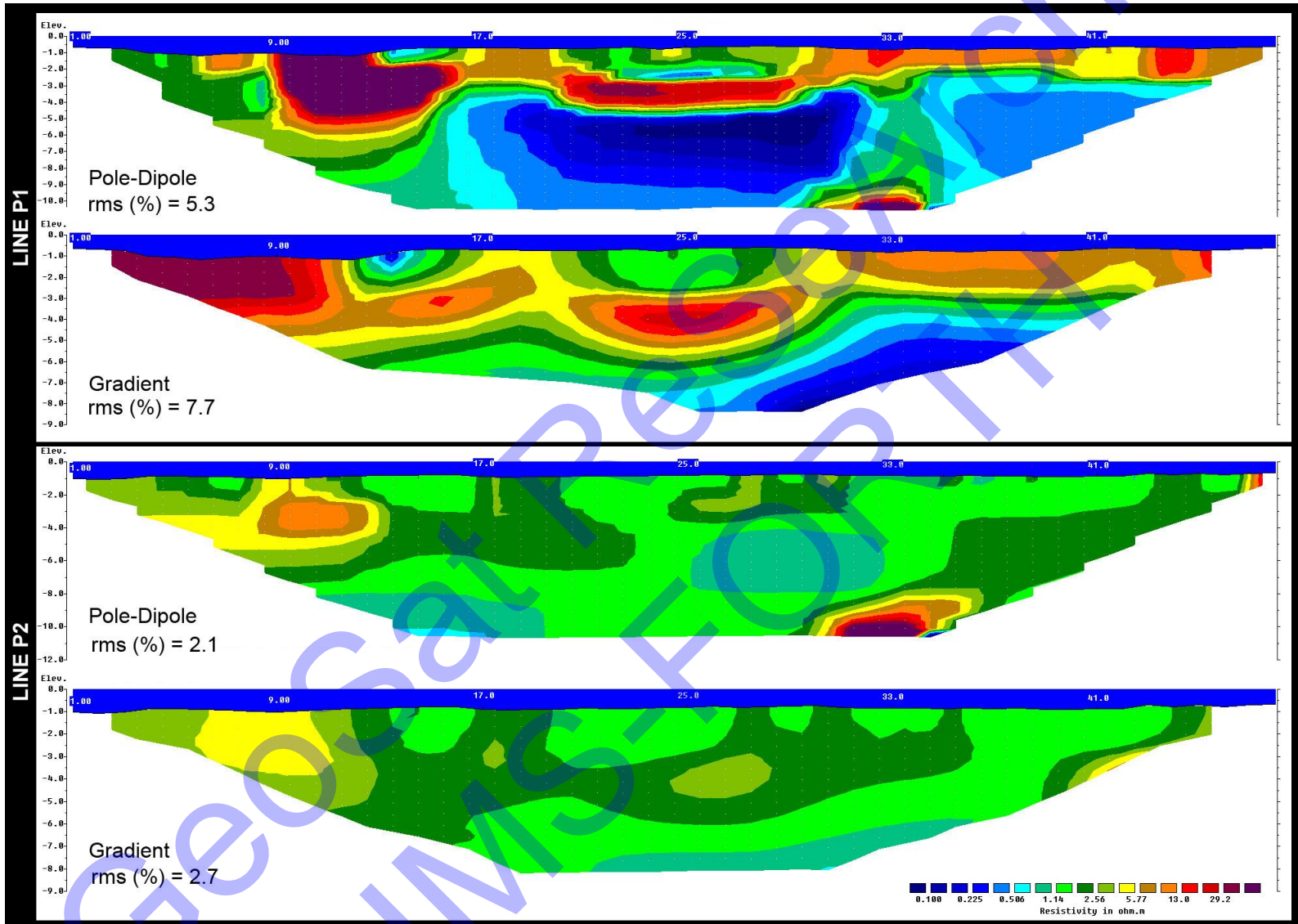
Σχήμα 70. Γραμμές όδευσης για τη λήψη δεδομένων για τη δημιουργία ηλεκτρικών τομογραφιών στο λιμάνι της Κάτω Πάφου (Κύπρος).

Στο Σχήμα 71 απεικονίζονται τα αποτελέσματα από τις εικόνες αντιστροφής για τις γραμμές P1 και P2 και για τα δύο πρωτόκολλα. Το εύρος της κλίμακας είναι από 0.1 μέχρι 50 ohm.m και είναι κοινό για όλες τις εικόνες αντιστροφής για λόγους σύγκρισης.



Το RMS σφάλμα στις μετρήσεις είναι μικρότερο στην γραμμή P2 (κυμαίνεται από 2.1% έως 2.7%) από αυτό της γραμμής P1 (κυμαίνεται από 5.3% έως 7.7%). Μεγαλύτερο σφάλμα παρουσιάζεται στα αποτελέσματα του πρωτοκόλλου Gradient και στις δύο γραμμές από αυτό των αποτελεσμάτων με πρωτόκολλο Pole-Dipole.

Η γραμμή "Line P1" βρίσκεται πλησιέστερα στην ακτή και εμφανίζονται περισσότεροι αντιστατικοί «στόχοι» από την γραμμή "Line P2" στην οποία μόνο ένας στόχος φαίνεται στο μοντέλο στο 9<sup>ο</sup> μέτρο. Στην γραμμή "Line P1" και κοντά στον πυθμένα περιοχές με υψηλές τιμές αντίστασης εμφανίζονται στο 6<sup>ο</sup>, 17<sup>ο</sup>, 23<sup>ο</sup>, 31<sup>ο</sup> και 42<sup>ο</sup> μέτρο. Επιπλέον στην ίδια γραμμή από το 8<sup>ο</sup> έως το 11<sup>ο</sup> μέτρο και μέχρι βάθος 6 μέτρων από την επιφάνεια της θάλασσας φαίνεται ένας στόχος αρκετά υψηλής αντίστασης. Ομοίως και από το 20<sup>ο</sup> έως το 29<sup>ο</sup> μέτρο και σε βάθος από 2.5 έως 4.5 μέτρα ένας επιμήκης αντιστατικός στόχος εκτείνεται κάτω από τον πυθμένα. Όλοι οι παραπάνω αντιστατικοί στόχοι στα μοντέλα αντιστροφής εκτιμάται ότι προέκυψαν από υποθαλάσσιες αρχαιολογικές δομές.



Σχήμα 71. Αποτελέσματα από εικόνες αντιστροφής.



## BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Bull, J.M., Quinn, R., Dix, J.K., (1998), Reflection coefficient calculation from marine high resolution seismic reflection (Chirp) data and application to an archaeological case study. *Mar. Geophys. Res.* 20 (1), 1–11.
- Chih-Wen Chiang, Tada-nori Goto, Hitoshi Mikada, Chien-Chih Chen, Shu-Kun Hsu (2012), Sensitivity of Deep-Towed Marine Electrical Resistivity Imaging Using Two-Dimensional Inversion: A Case Study on Methane Hydrate, *Terr. Atmos. Sci.* vol.23, no.6, p.725-732.
- Chih-Wen Chiang, Tada-nori Goto, Chien-Chih Chen, Shu-Kun Hsu, (2011), Efficiency of a Marine Towed Electrical Resistivity Method, *Terr. Atmos. Sci.* vol.22, no.4, p.443-446.
- Crook N., Binley A. Knight R., Robinson D.A., Zarnetske J., Haggert, (2008), Electrical resistivity imaging of the architecture of substream sediments, *Water Resources Research*, vol.44.
- Flemming N.C., (1978), "Holocene eustatic changes and coastal tectonics in the Northeast Mediterranean: Implications for models of crustal consumption", *Phil. Trans. of Royal Society*, A.289, 405-458
- Giordano Francesco, Mattei Gaia, (2013), Integrated geophysical methods applied to submerged archaeological remains detection, *Global Virtual Conference*, April 8-12 2013
- Kim, J.-H., Yi, M.-J., Song, Y., Cho, S.-J., Chung, S.-H. and Kim, K.-S., (2002), DC Resistivity Survey to Image Faults Beneath a Riverbed: *Symposium on the Application of Geophysics to Engineering and Environmental Problems (SAGEEP 2002)*, 13IDA10, Las Vegas, USA.
- Hyoung-Seok Kwon, Jung-Ho Kim, Hee-Yoo Ahn, Jin-Sung Yoon, Ki-Seog Kim, Chi-Kwang Jung, Seung-Bok Lee, Toshihiro Uchida, (2005), Delineation of a fault zone beneath a riverbed by an electrical resistivity survey using a floating streamer cable, *Exploration Geophysics*, vol.36, p. 50-58.
- Ho-Young Lee, Keun-Pil Park, Nam-Hyung Koo, Dong-Geun Yoo, Dong-Hyo Kang, Young-Gun Kim, Kyu-Duk Hwang, Jong-Chon Kim, (2004), High-resolution shallow marine seismic surveys off Busan and Pohang, Korea, using a small-scale multichannel system, *Journal of Applied Geophysics*, vol.56, p.1-5.
- Krantz David E., Manheim Frank. T., Bratton John F., Phelan Daniel J., (2006), Hydrogeologic Setting and Ground Water Flow Beneath a Section of Indian River Bay, Delaware, *National Groundwater Association*, vol.42, p.1035-1051
- Loke M.H., Lane J.W.L.Jr., (2004), Inversion of data from electrical resistivity imaging surveys in water-covered areas, *Exploration Geophysics* 35, p.266-271.
- Manheim Frank T., Krantz David E., Bratton John F., (2006), Studying Ground Water Under Delmarva Coastal Bays Using Electrical Resistivity, *National Groundwater Association*, vol.42, p.1052-1068
- Mattei G., Giordano F., (2015), Integrated geophysical research of Bourbonic shipwrecks sunk in the Gulf of Naples in 1799, *Journal of Archaeological Science*, p.64-72.

- Orlando, L., (2013), Some considerations on electrical resistivity imaging for characterization of waterbed sediments, *Journal of Applied Geophysics*, vol.95, p. 77-89.
- Paoletti, V., Secomandi, M., Piromallo, M., Giordano, F., Fedi, M., Rapolla, A., (2003) Magnetic survey at the submerged archaeological site of Baia, Naples, Southern Italy. *Archeol. Prospect.* 12 (1), 51–59.
- Passaro S., Budillon F., Ruggieri S., Bilotti G., Cipriani M., Di Maio R., D'Isanto C., Giordano F., Leggieri C., Marsella E., Soldovieri M.G. (2009) Integrated geophysical investigation applied to the definition of buried and outcropping targets of archaeological relevance in very shallow water, *Italian Journal of Quaternary Sciences*, 22(1), p.33-38.
- Passaro S., (2010), Marine electrical resistivity tomography for shipwreck detection in very shallow water: a case study from Agropoli (Salerno, southern Italy), *Journal of Archaeological Science*, p.1989-1998.
- Simyrdanis, K., Papadopoulos, N., Kim, J.H., Tsourlos, P., and Moffat, I., (2015). Archaeological Investigations in the Shallow Seawater Environment with Electrical Resistivity Tomography. *Journal of Near Surface Geophysics, Integrated geophysical Investigations for Archaeology*, 13, 601 – 611.
- Snyder D.D., MacInnes Scott C., Raymond M.J., Zonge Kenneth L., (2002) Continuous resistivity profiling in shallow marine and fresh water environments, *Environmental & Engineering Geophysical Society*
- Υλικά δομής των Αρχαίων και Γεωμορφολογική εξέλιξη της Δ. Κρήτης κατά τους Προϊστορικούς και Ιστορικούς χρόνους, Εθνικό Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Τμήμα Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος, Κίσαμος 2011, Θερινό Σχολείο
- Θεοδούλου Θ., 2015: “Σύνοψη της ενάλιας και παράκτιας αρχαιολογικής έρευνας στην Κρήτη μέχρι το 2014”.
- Μαρινάτος Σ., 1926: “Ανασκαφαί Νίρου Χάνι Κρήτη”, *Πρακτικά Αρχαιολογικής Εταιρείας*, 141-147.