

## THE LAGOON OF VENICE: ΔΙΑΧΡΟΝΙΚΗ ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΩΝ ΥΔΡΟ-ΓΕΩΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΩΝ ΔΙΕΡΓΑΣΙΩΝ, ΣΤΑ ΥΔΑΤΟΡΕΜΜΑΤΑ ΚΑΙ ΤΗ ΛΙΜΝΟΘΑΛΑΣΣΑ ΤΗΣ ΒΕΝΕΤΙΑΣ (ΙΤΑΛΙΑ)

Marabini F.<sup>1</sup>, και Μερτζάνης Α.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> *Consiglio Nazionale delle Ricerche, Istituto di Geologia Marina, Via P. Gobetti 101, 40129 Bologna, Italy, franco.marabini@bo.ismar.cnr.it*

<sup>2</sup> *T.E.I. Λαμίας, Παράρτημα Καρπενησίου, Τμήμα Δασοπονίας, 36100, Καρπενήσι, amertz@hol.gr*

### ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στα πλαίσια της εργασίας αυτής αποτυπώνεται η διαχρονική εξέλιξη των υδρογεωμορφολογικών διεργασιών και των ανθρωπογενών επεμβάσεων, που από τους ιστορικούς χρόνους, έχουν συμβάλει, στη σημερινή διαμόρφωση της λιμνοθάλασσας της Βενετίας (βορειοδυτική Αδριατική θάλασσα). Οι φυσικές αυτές υδρο-γεωμορφολογικές διεργασίες σε συνδυασμό με τις εντατικές ανθρωπογενείς επεμβάσεις, οδήγησαν στην αύξηση της συχνότητας εμφάνισης του φαινομένου της υψηλής στυλμης της παλίρροιας, το επονομαζόμενο «*acqua alte*», το οποίο αντιμετωπίζουν σήμερα, η προαναφερόμενη λιμνοθάλασσα και το σύμπλεγμα των αμμονησίδων, που αναπτύσσονται στο εσωτερικό της. Αναφέρονται επίσης, τα μέτρα που προβλέπονται και έχουν τεθεί σε εφαρμογή, σύμφωνα με το πρόγραμμα περιβαλλοντικής προστασίας (Mose), για την αποτελεσματικότερη αντιμετώπιση της δυσμενούς αυτής εξελικτικής πορείας των υδρο-γεωμορφολογικών διεργασιών στην περιοχή της λιμνοθάλασσας της Βενετίας.

### 1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στις χαμηλές παράκτιες περιοχές της Emilia-Romagna και της Venezia (Βενετία -Ιταλίας), δημιουργήθηκε, περί τα 6.000 χρόνια πριν, ένα δαιδαλώδες σύμπλεγμα λιμνοθαλασσών. Σήμερα, σημαντικό τμήμα των λιμνοθαλασσών αυτών, έχει εξαφανιστεί, μετά τις έντονες ανθρωπογενείς επεμβάσεις (εκτροπή υδατορεμμάτων, διάνοιξη και εκβάθυνση καναλιών ναυσιπλοΐας, κλπ), τόσο κατά τη διάρκεια των ιστορικών χρόνων, όσο και κατά τη σύγχρονη εποχή (Marabini και Mertzanis, 2003). Έχουν παραμείνει σαφώς ευδιάκριτα, αξιόλογα τμήματα του ιδιαίτερου αυτού περιβάλλοντος, μεταξύ των οποίων και η λιμνοθάλασσα της Βενετίας (Laguna di Venezia).

Σήμερα, σε σχέση με το παρελθόν, έχουν μεταβληθεί τα μορφολογικά χαρακτηριστικά της λιμνοθάλασσας της Βενετίας, ενώ έχει αυξηθεί σημαντικά και η συχνότητα εμφάνισης του φαινομένου της υψηλής στάθμης της παλίρροιας «*acqua alte*», ιδιαίτερα κατά τη διάρκεια των θυελλωδών κυμάτων της χειμερινής περιόδου, με αποτέλεσμα τη συχνότερη κατάκλυση των κατοικημένων νησίδων, συμπεριλαμβανομένης και της πόλης της Βενετίας. Ταυτόχρονα και η λεπτή άμμο-λωρίδα η οποία παρεμβάλλεται μεταξύ της λιμνοθάλασσας της Βενετίας και της Αδριατικής θάλασσας, παρ'ότι ενισχυμένη με ειδικά έργα προστασίας, δεν είναι ικανή να προστατεύσει τη λιμνοθάλασσα, από τον κίνδυνο κατάκλυσης.

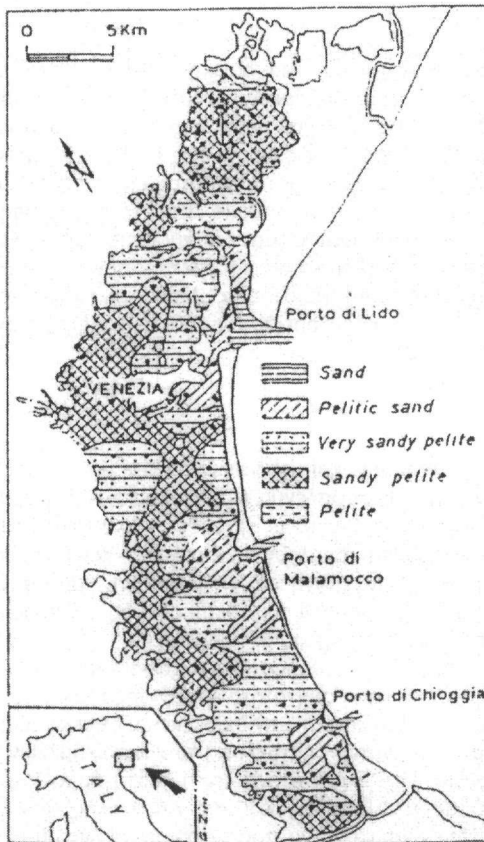
Για την αποτελεσματικότερη αντιμετώπιση της δυσμενούς αυτής εξελικτικής πορείας των υδρογεωμορφολογικών διεργασιών και των επιπτώσεών τους, στην περιοχή της λιμνοθάλασσας και την πόλη της Βενετίας, ήδη εφαρμόζεται ένα εκτεταμένο πρόγραμμα προστασίας της (πρόγραμμα Mose), το οποίο εκτός της ανύψωσης των πεζοδρομίων, η οποία προβλέπεται, ως αντιστάθμισμα της καθίζησης, προβλέπει την τοποθέτηση «κινητών θυρο-φραγμάτων», για το ελεγχόμενο κλείσιμο των τριών φυσικών ανοιγμάτων-διάυλων επικοινωνίας της λιμνοθάλασσας, με την Αδριατική θάλασσα, κατά τη διάρκεια θυελλωδών κυμάτων.

## 2 ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

### 2.1 Γεωγραφική θέση - Γεωλογία περιοχής έρευνας

Η λιμνοθάλασσα της Βενετίας, εντοπίζεται γεωγραφικά, στο βορειοδυτικό τμήμα της Αδριατικής θάλασσας και εντάσσεται στην χερσαία περιοχή Veneto.

Γεωλογικά, συνίσταται από προσχωματικούς σχηματισμούς - ιζήματα και ειδικότερα από εναλλαγές άμμων, αμμοιλύων και ιλύων, ο βαθμός συμμετοχής των οποίων, καθορίζει και τα τεχνικογεωλογικά-εδαφομηχανικά και υδρογεωμορφολογικά χαρακτηριστικά του κάθε μέλους (Σχ. 1). Οι άμμοι εμφανίζονται κυρίως στις θέσεις Chioggia, Malamocco και Lido, στις οποίες αναπτύσσονται τα τρία φυσικά ανοίγματα-διάλκοι επικοινωνίας της λιμνοθάλασσας με την Αδριατική θάλασσα, γεγονός που οφείλεται στην κίνηση των παλιρροιών, που εμποδίζουν την παραμονή και εναπόθεση των λεπτομερέστερων υλικών. Στα εσωτερικά τμήματα της λιμνοθάλασσας, περιορίζεται το ποσοστό εμφάνισης των αμμωδών μελών και υπερισχύουν τα λεπτομερέστερα ιζήματα.



Σχήμα 1. Γεωγραφική τοποθέτηση της περιοχής και γεωλογικός χάρτης της λιμνοθάλασσας της Βενετίας (Enzi & Marabini 1992).

### 2.2 Υδρογεωμορφολογικά και Περιβαλλοντικά χαρακτηριστικά

Πρόκειται για επιμήκη, τοξοειδούς σχήματος, λιμνοθάλασσα, η οποία καταλαμβάνει έκταση 550 χλμ<sup>2</sup>. Το μήκος της φθάνει τα 50 χλμ και το πλάτος τα 8-14 χλμ. Στο εσωτερικό της περιλαμβάνει χαρακτηριστικές λιμνοθαλάσσιες γεωμορφές, που συνθέτουν ένα σύμπλεγμα αμμονησίδων, σε αβαθή υδατοσυλλογή, μεταξύ των οποίων, η Venezia, το Murano και το Burano. Το ιδιαίτερα ευαί-

σθητο, οικοσύστημα της λιμνοθάλασσας, το οποίο σήμερα ολοένα και συχνότερα κατακλύζεται από τα θαλάσσια ύδατα «acqua alte», χωρίζεται από την Αδριατική θάλασσα, με μια λεπτή άμμο-λωρίδα, η διατήρηση της οποίας, αποτελεί σημαντική προϋπόθεση για την προστασία της. Η παλίρροια είναι ημηνμερήσιου τύπου και η επικοινωνία της λιμνοθάλασσας με την Αδριατική θάλασσα γίνεται, σήμερα, μέσω τριών φυσικών ανοιγμάτων-διαύλων επικοινωνίας, στις θέσεις Chioggia, Malamocco και Lido, ανοίγματος πλάτους 380, 400 και 800 μέτρων αντίστοιχα (Σχ. 1).

Τα ποτάμια συστήματα Adige, Bacchiglione, Brenta, Sile και Piave, τα οποία κατά το παρελθόν, εκφορτίζονταν μέσα στη λιμνοθάλασσα της Βενετίας, έχουν εκτραπεί με την επέμβαση του ανθρώπου και εκφορτίζονται στην Αδριατική θάλασσα.

Η υπόγεια υδροφορία στην ευρύτερη περιοχή της λιμνοθάλασσας διακρίνεται: α. στον αβαθή φρεάτιο ορίζοντα, ο οποίος, ακολουθεί τη μορφολογία του ανάγλυφου και β. στην υπό πίεση, βαθιά υδροφορία, η οποία εντοπίζεται στα διαπερατά μέλη των γεωλογικών σχηματισμών. Σημαντικά είναι τα προβλήματα σχετικά με τις εντατικές αντλήσεις υπόγειων υδάτων, για την κάλυψη των αναγκών της βιομηχανίας, εξαιτίας των οποίων προκλήθηκε πτώση της πιεζομετρικής στάθμης, περί τα 15 μέτρα, για την περίοδο 1950-1970.

Επίσης σημαντικό είναι και το πρόβλημα της υποβάθμισης της ποιότητας των υδάτων της λιμνοθάλασσας, στην οποία καταλήγουν τα αστικά λύματα των πόλεων Mestre και Venezia καθώς και τα βιομηχανικά απόβλητα από την εκτεταμένη βιομηχανική ζώνη του Porto Marghera. Σημειώνεται ότι η περιβαλλοντική επιβάρυνση της λιμνοθάλασσας, επιδεινώνεται και από την τουριστική δραστηριότητα, η οποία ξεπερνάει τα 10.000.000 αφίξεων ετησίως.

### 2.3 Μέθοδος έρευνας

Για την καταγραφή και αποτύπωση της υφιστάμενης κατάστασης περιβάλλοντος και των υδρογεωμορφολογικών διεργασιών καθώς και της διαχρονικής εξέλιξής τους, στην εγγύς και την ευρύτερη περιοχή της λιμνοθάλασσας της Βενετίας, έγινε χρήση σύγχρονων και παλαιότερων τοπογραφικών χαρτών, γεωλογικών, γεωμορφολογικών και υκεανογραφικών χαρτών καθώς και ιστορικών στοιχείων σχετικών με την περιοχή. Έγινε επαλήθευση και επιβεβαίωση των αντληθέντων από την βιβλιογραφία, στοιχείων, σε συνδυασμό με επιτόπιες παρατηρήσεις καθώς και προσαρμογή και ομογενοποίηση των δεδομένων, με σκοπό την πολυκριτηριακή διαχρονική ανάλυσή τους, για την εξαγωγή αξιόπιστων συμπερασμάτων.

## 3 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ - ΣΥΖΗΤΗΣΗ

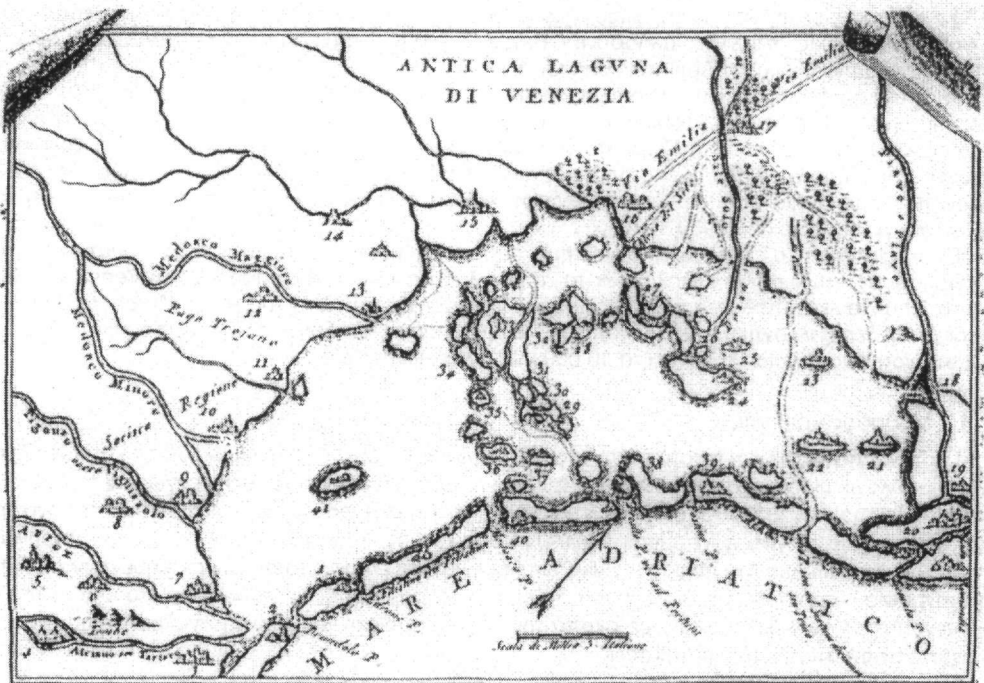
### 3.1 Διαχρονική εξέλιξη των υδρο-γεωμορφολογικών διεργασιών – Ανθρωπογενείς επεμβάσεις

Τα στοιχεία και οι αναφορές, από τους ιστορικούς χρόνους μέχρι σήμερα, σχετικά με τη διαχρονική εξέλιξη των υδρογεωμορφολογικών χαρακτηριστικών καθώς και τις ανθρωπογενείς επεμβάσεις, στα υδατορέμματα και τη λιμνοθάλασσα της Βενετίας, επιβεβαιώνουν και τον μηχανισμό λειτουργίας και ανάπτυξης του λιμνοθαλάσσιου οικοσυστήματος της Βενετίας, ενώ δίνουν σημαντικές ενδείξεις για την αναμενόμενη εξελικτική πορεία του.

Σύμφωνα με στοιχεία που προκύπτουν και απεικονίζονται στον χάρτη του Teodoro Viero (1799), η λιμνοθάλασσα της Βενετίας, κατά το έτος 1.000 μ.Χ., κατελάμβανε την ίδια τη σημερινή θέση, ενώ η κυκλοφορία των υδάτων πραγματοποιούνταν δια μέσου οκτώ, αντί των σημερινών τριών, φυσικών ανοιγμάτων, τα οποία εξασφάλιζαν την επικοινωνία με τη θάλασσα (Σχ. 2). Τα ποτάμια συστήματα Adige, Bacchiglione, Brenta, Sile και Piave, τα οποία εκφορτίζονταν μέσα στη λιμνοθάλασσα της Βενετίας, προσέφεραν, κατά το παρελθόν, σημαντικές ποσότητες γλυκών υδάτων και φερτών υλών, ιδιαίτερα κατά τις περιόδους πλημμυρικών παροχών. Οι αυξημένες ποσότητες φερτών υλών, οι οποίες είχαν αποτεθεί στο εσωτερικό της λιμνοθάλασσας, οδηγούσαν στην πλήρωση της με ιζήματα και κατά συνέπεια, στη μετατροπή της, σε έλος.

Οι πρώτες ιστορικές πληροφορίες προέρχονται από τον Paolo Diacono, στις οποίες περιγράφονται οι καταστροφικές πλημμύρες, που μετέβαλαν την ροή των ποταμών Brenta και Adige και κατέστρεψαν, το έτος 589 μ.Χ., την πόλη της Concordia, 30 χλμ βορειοανατολικά της Βενετίας (Magabini και Veggiani, 1991). Η λιμνοθάλασσα της Βενετίας, προσχώθηκε με σημαντικές ποσότητες ιζημάτων, ιδιαίτερα στο κεντρικό και νότιο τμήμα της. Το γεγονός αυτό δεν αποτελεί μεμονωμένη περίπτωση καθ'ότι, σύμφωνα πάντα με τις ίδιες ιστορικές πηγές, καθ'όλη τη διάρκεια της περιόδου

450-650 μ.Χ., ισχυρές βροχοπτώσεις έπλητταν, την ευρύτερη περιοχή της Βενετίας. Κατά συνέπεια, τα ιδιαίτερα έντονα φαινόμενα αυτού του τύπου, κατά τη διάρκεια ψυχρών-υγρών περιόδων, οδηγούσαν συστηματικά στη σταδιακή μετατροπή της λιμνοθάλασσας, σε έλος, περιορίζοντας το υγρό στοιχείο.

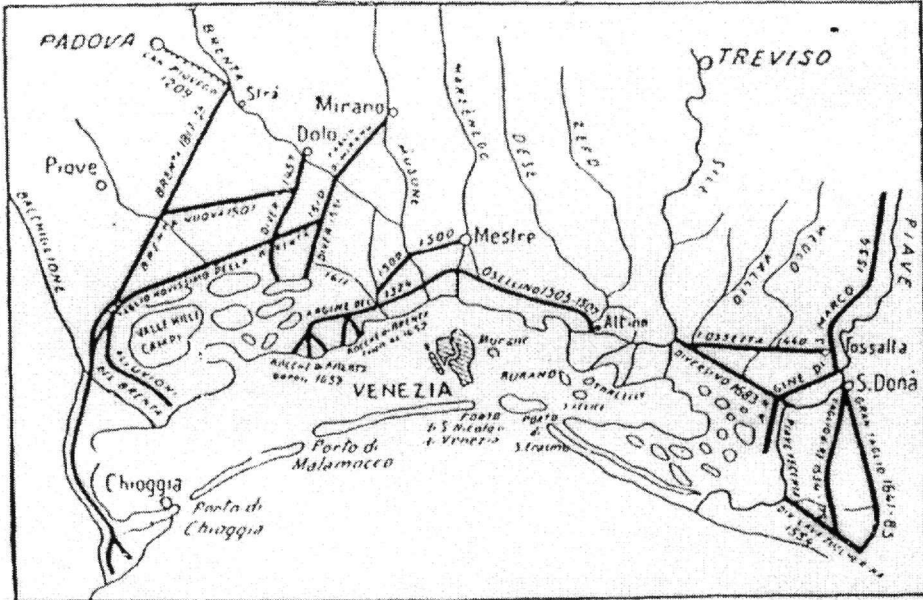


Σχήμα 2. Χάρτης της ευρύτερης περιοχής της λιμνοθάλασσας της Βενετίας, κατά το έτος 1.000 μ.Χ. Είναι ευδιάκριτα τα οκτώ φυσικά ανοίγματα, αντί των σημερινών τριών, τα οποία εξασφάλιζαν την επικοινωνία με την θάλασσα, καθώς και τα ποτάμια συστήματα, τα οποία εκφορτίζονταν μέσα στη λιμνοθάλασσα (Viero 1799).

Για αμυντικούς αλλά και εμπορικούς λόγους, η μετατροπή της λιμνοθάλασσας, σε έλος, αποτελούσε δυσμενή εξέλιξη. Για το λόγο αυτό, κρίθηκε σκόπιμη, από την τότε Γαληνοτάτη Δημοκρατία της Βενετίας «Serenissima», η αντιμετώπιση της κατάστασης (Pavanello, 1931). Κατά την περίοδο 1300-1800 μ.Χ., κατασκευάστηκαν έργα εκτροπής των υδατορευμάτων Adige, Bacchiglione, Brenta, Sile και Piave, με σκοπό την εκφόρτισή τους, έξω από την λιμνοθάλασσα και την αποφυγή της πλήρωσής της, με φερτές ύλες καθώς και έργα εκβάθυνσης των καναλιών ναυσιπλοΐας (Σχ. 3).

Στις αρχές της «μικρής παγετώδους περιόδου», το 1.600 μ.Χ. για να αποφευχθεί η πλήρωση της λιμνοθάλασσας της Βενετίας, από τις ιδιαίτερα ισχυρές στερεοπαροχές και την απόθεση των φερτών υλών του ποταμού Πάδου (Po), ο οποίος αποτελεί και τον μεγαλύτερο ποταμό της Ιταλίας, κατασκευάστηκε το έργο εκτροπής, της κύριας εκβολής του, προς τα νότια (Carbognin και Marabini, 1989).

Ανάλογες επεμβάσεις, έλαβαν χώρα μέχρι τον ΧΙΧ αιώνα και παρεμπόδισαν την πλήρωση της λιμνοθάλασσας, με ιζήματα και την συνένωση της πόλης-νησίδας της Βενετίας με την ενδοχώρα, αλλά διαμόρφωσαν καθεστώς κατάλληλο, στο οποίο υπερισχύουν οι θαλάσσιες διεργασίες σε σχέση με τις ποταμο-χερσαίες, με αποτέλεσμα την εντατικοποίηση των φαινομένων διάβρωσης του παράκτιου χώρου και ιδιαίτερα της λεπτής άμμο-λωρίδας, η οποία παρεμβάλλεται και χωρίζει τη λιμνοθάλασσα από την Αδριατική θάλασσα, και η οποία αποτελεί βασικό γεωμορφολογικό χαρακτηριστικό, απαραίτητο για την προστασία της.

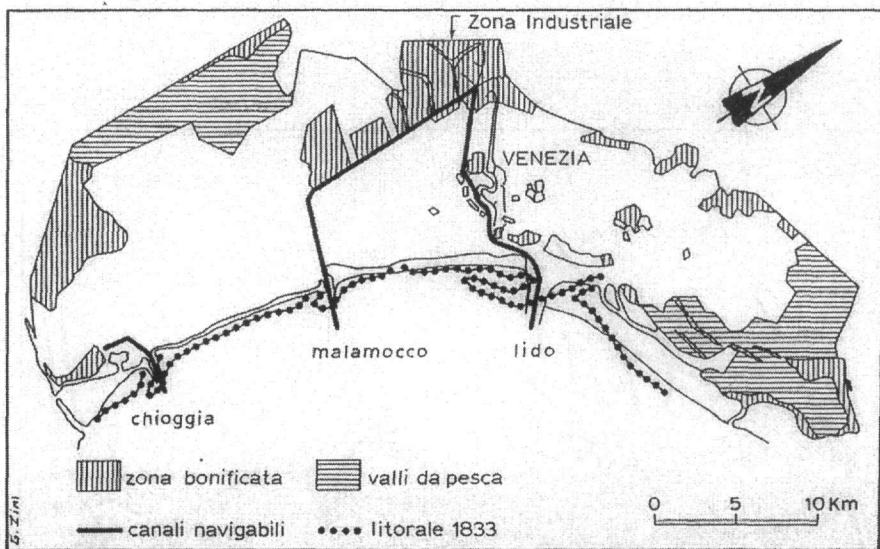


Σχήμα 3. Χάρτης - σκαρίφημα των έργων που κατασκευάστηκαν, κατά το παρελθόν, για την εκτροπή των υδατορευμάτων και την εκφόρτίσή τους, έξω από την λιμνοθάλασσα της Βενετίας, (Pavanello, 1931).

Εκτός των προαναφερόμενων έργων εκτροπής στα ποτάμια συστήματα, η «Γαληνότατη» Δημοκρατία της Βενετίας, υλοποίησε τις απαραίτητες επεμβάσεις ενίσχυσης, τις επονομαζόμενες «murazzi», για την προστασία και διατήρηση της προαναφερόμενης άμμο-λωρίδας, η οποία υπόκειται στην καταστροφική δράση των θεελλωδών κυμάτων της Αδριατικής θάλασσας. Μεταξύ των καταστροφικών επεισοδίων, από τα οποία, τα νοτιοανατολικά θεελλωδή κύματα, έπληξαν στο παρελθόν, τον παράκτιο χώρο, στο εξωτερικό της λιμνοθάλασσας της Βενετίας, σημαντική αναφορά γίνεται για όσα αναφέρονται στα έτη: α. 1102, κατά το οποίο καταστράφηκε περίπου ολοκληρωτικά το Malamocco, β. 1543 κατά το οποίο υπήρξαν σημαντικές ζημιές στην άμμο-λωρίδα Lido di Caroman, γ. 1686 όπου τα κύματα, υπερπήδησαν σε δύο θέσεις την άμμο-λωρίδα Lido di Caroman και δ. 1691 κατά το οποίο καταστράφηκαν περίπου ολοκληρωτικά η άμμο-λωρίδα Lido di Malamocco, σε μήκος 1400 μέτρων, η άμμο-λωρίδα Lido di Pellestrina σε μήκος 7000 μέτρων και η άμμο-λωρίδα Lido di Chioggia σε μήκος 2000 μέτρων (Pavanello, 1931). Σημειώνεται ότι τα καταστροφικά αυτά φαινόμενα, που έπληξαν τον παράκτιο χώρο της Βενετίας κατά το παρελθόν, παρουσιάζουν ταυτόσημα χαρακτηριστικά με την καταστροφική δράση των θεελλωδών κυμάτων, που το 1966, καταστρέφοντας τα έργα ενίσχυσης «murazzi», υπερπήδησαν σε αρκετές θέσεις την άμμο-λωρίδα, η οποία προστατεύει τη λιμνοθάλασσα της Βενετίας.

Επίσης, οι ανθρωπογενείς επεμβάσεις, που έλαβαν χώρα κυρίως κατά τον XX αιώνα (Σχ. 4), με κύριο σκοπό την οικονομική ανάπτυξη, (βιομηχανικές εγκαταστάσεις στο Porto Marghera, διάνοιξη και εκβάθυνση των καναλιών ναυσιπλοΐας) και ιδιαίτερα η υπεράντληση των υπόγειων υδάτων της περιοχής, για βιομηχανική χρήση, που είχε ως αποτέλεσμα την αύξηση του ρυθμού καθίζησης των κοκκωδών σχηματισμών του υποβάθρου, οδηγούν την εξελικτική πορεία της λιμνοθάλασσας, προς την κατεύθυνση της πλήρους κατάκλισης της και τη μετατροπή της σε θάλασσα (Carbognin et. al., 1985).





Σχήμα 4. Χάρτης των σύγχρονων ανθρωπογενών επεμβάσεων (XX αιώνας). Διακρίνονται οι περιοχές που έχουν αποδοθεί για διάφορες χρήσεις (βιομηχανικές εγκαταστάσεις, ιχθυοκαλλιέργειες, κλπ) και τα κύρια κανάλια ναυσιπλοΐας (Carbognin et. al., 1985).

Σύμφωνα με όσα προαναφέρθηκαν, γίνεται εμφανές ότι η σημερινή κατάσταση της λιμνοθάλασσας της Βενετίας, η οποία θεωρείται επισφαλής για την διατήρησή της, δεν οφείλεται μόνο στις επεμβάσεις του ανθρώπου, οι οποίες διαμόρφωσαν κατά περίπτωση και ανάλογα με τις διαμορφούμενες ανάγκες, τη μορφή και το περιβάλλον της, αλλά είναι το αποτέλεσμα ενός πολυπαραγοντικού συστήματος διεργασιών, στο οποίο επικαλύπτονται και αλληλοδιαδέχονται οι φυσικές διεργασίες (κλιματικές μεταβολές) τις τεχνητές (ανθρωπογενείς επεμβάσεις).

Η φυσιολογική διαχρονική εξέλιξη «trend», της λιμνοθάλασσας της Βενετίας, χωρίς την ανθρώπινη επέμβαση, εκτιμάται ότι θα ήταν η ακόλουθη: Τα ποτάμια συστήματα, τα οποία εκφορτίζονταν μέσα στη λιμνοθάλασσα της Βενετίας και πρόσφεραν, κατά το παρελθόν, σημαντικές ποσότητες γλυκών υδάτων και φερτών υλών, θα πρόσχωναν σταδιακά αλλά σε διαφορετικές φάσεις και ταχύτητες, τη λιμνοθάλασσα, η οποία θα μετατρέπονταν σε ενιαίο χερσαίο σύστημα με την ενδοχώρα.

Η φυσιολογική αυτή εξέλιξη, της λιμνοθάλασσας της Βενετίας, η οποία προαναφέρθηκε, μεταβλήθηκε, από την επέμβαση του ανθρώπου, ο οποίος κατασκεύασε έργα εκτροπής των υδατορευμάτων Adige, Bacchiglione, Brenta, Sile και Piave, για την εκφόρτισή τους, έξω από την λιμνοθάλασσα και την αποφυγή της πλήρωσής της, με φερτές ύλες (Σχ. 3) καθώς και επεμβάσεις ενίσχυσης, για την προστασία και διατήρηση της άμμο-λωρίδας η οποία χωρίζει τη λιμνοθάλασσα από την Αδριατική θάλασσα, με αποτέλεσμα τη διαμόρφωση ενός τεχνητού περιβάλλοντος λιμνοθάλασσας, ελεγχόμενο κατά το δυνατόν από τον άνθρωπο.

Η περαιτέρω διαφοροποίηση των φυσιολογικών συνθηκών εξέλιξης της περιοχής της λιμνοθάλασσας, προκλήθηκε, κατά το δεύτερο ήμισυ του προηγούμενου αιώνα (XX), από τις έντονες ανθρωπογενείς επεμβάσεις (βιομηχανικές εγκαταστάσεις, υπεράντληση υπόγειων υδάτων, εκβάθυνση καναλιών ναυσιπλοΐας), η οποία, ενώ κατά τις θερμές-ξηρές περιόδους δεν αναδεικνύει ιδιαίτερα προβλήματα, αντίθετα, κατά τη διάρκεια ψυχρών-υγρών περιόδων, η βιωσιμότητα προσβολής των θελλωδών κυμάτων, ταυτόχρονα με την απουσία φερτών υλών από τους ποταμούς, τείνουν να καταστρέψουν τις οχυρώσεις – προστατευτικά έργα της άμμο-λωρίδας, στο εξωτερικό της λιμνοθάλασσας και να οδηγήσουν την περιοχή στην πλήρη κατάκλιση της και τη μετατροπή της σε θάλασσα (Carbognin et. al., 1985).

Η καταστροφική δράση των θελλωδών κυμάτων, η οποία το 1966, κατέστρεψε τα έργα ενίσχυσης «mugazzi», σε αρκετές θέσεις της άμμο-λωρίδας, που προστατεύει τη λιμνοθάλασσα της Βενετίας, επήλθε κατά τη διάρκεια μιας 20ετούς ψυχρής-υγρής περιόδου, η οποία χαρακτηρίστηκε από τη συχνή εμφάνιση του φαινομένου της υψηλής στάθμης της παλίρροιας «acqua alta» και διήρκεσε περίπου μέχρι το δεύτερο ήμισυ της 10ετίας του '70. Για ολόκληρη την 10ετία του '80 μέ-

χρησιμότητα, οι χαμηλές και αραιές βροχοπτώσεις και τα περιορισμένες έντασης θεαλλώδη κύματα, τα οποία χαρακτηρίζουν μια θερμή-ξηρή περίοδο, πρόσδωσαν μια περίοδο σχετικής ηρεμίας στη λιμνοθάλασσα, την οποία όμως διαδέχεται μια ψυχρή-υγρή περίοδος με νέες θαλάσσιες – μετεωρολογικές συνθήκες, δυσμενείς για τη διατήρηση και προστασία της περιοχής της λιμνοθάλασσας της Βενετίας (Lamb 1977, Lamb 1982, Camuffo 1987).

### 3.2 Το φαινόμενο της υψηλής στάθμης της παλίρροιας «acque alte»

Σήμερα, σε σχέση με το παρελθόν, η λιμνοθάλασσα της Βενετίας είναι πιο μικρή σε έκταση και βαθύτερη. Ταυτόχρονα, απειλείται σοβαρά από το φαινόμενο της υψηλής στάθμης της παλίρροιας, το επονομαζόμενο «acque alte», το οποίο, καταγράφεται από τις αρχές του 1900 και το οποίο, μετά το έτος 1950, έχει αυξηθεί σημαντικά, ως προς τη συχνότητα εμφάνισής του, ιδιαίτερα κατά τη διάρκεια των θεαλλωδών κυμάτων της χειμερινής περιόδου, με αποτέλεσμα τη συχνότερη κατάκλυση των κατοικημένων νησίδων, συμπεριλαμβανομένης και της πόλης της Βενετίας (Σχ. 5, 6 & 7). Επίσης, η άμμο-λωρίδα, η οποία χωρίζει τη λιμνοθάλασσα από την Αδριατική θάλασσα, παρ' ότι ενισχυμένη με ειδικά έργα προστασίας, αντιμετωπίζει σημαντικά προβλήματα ως προς τη διατήρησή της και πλέον δεν είναι ικανή να προστατεύσει την περιοχή της λιμνοθάλασσας, από τον κίνδυνο κατάκλυσης.



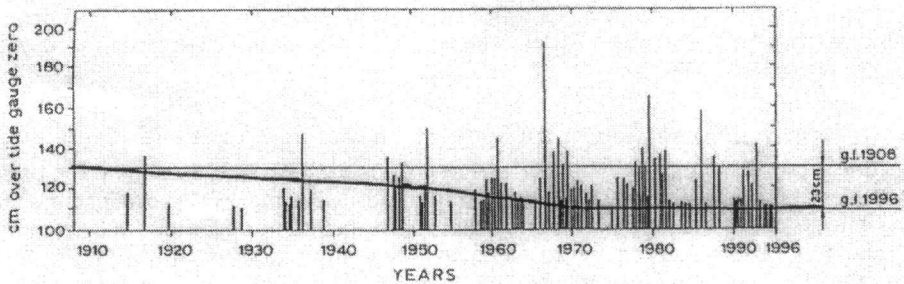
Σχήμα 5. Έναρξη του φαινομένου της υψηλής στάθμης της παλίρροιας «acque alte», (< +1.00 μέτρο), στην πλατεία San Marco (Βενετία)



Σχήμα 6. Πλήρης κατάκλυση της πλατείας San Marco, εξαιτίας της υψηλής στάθμης της παλίρροιας (> +1.00 μέτρο)

Οι αιτίες πρόκλησης του φαινομένου «acque alte», είναι: α. η ταπείνωση της επιφάνειας του εδάφους της περιοχής της λιμνοθάλασσας και των αμμονησίδων, λόγω της καθίζησης «subsidenza», β. η αύξηση της στάθμης θάλασσας «ευστατισμός» σε συνδυασμό με την αύξηση της στάθμης εξ' αιτίας του «φαινομένου του θερμοκηπίου», και γ. οι θεαλλώδεις νοτιοανατολικοί άνεμοι «Scirocco», που σε συνδυασμό με υψηλές τιμές παλίρροιας (πλημμυρίδας), οδηγούν τα θαλάσσια ύδατα και τα ύδατα της λιμνοθάλασσας, σε επίπεδα ανώτερα της σημερινής ταπεινωμένης επιφάνειας του εδάφους.

Ειδικότερα, η ταπείνωση της επιφάνειας του εδάφους, η οποία τα τελευταία 100 χρόνια, έχει σημειώσει καθίζηση, που ξεπερνάει κατά μέσο όρο τα 20 εκατοστά και φθάνει σε αρκετά σημεία τα 23 εκατοστά (Σχ. 7), οφείλεται στις εντατικές αντλήσεις υπόγειων υδάτων, για την κάλυψη των αναγκών της βιομηχανίας, εξαιτίας των οποίων, κατά την περίοδο 1950-1970, προκλήθηκε πτώση της πιεζομετρικής στάθμης, περί τα 15 μέτρα. Στην καθίζηση η οποία έχει προκληθεί από τις αντλήσεις υπόγειων υδάτων, αθροίζονται και η φυσιολογικά αναμενόμενη καθίζηση των κοκκωδών σχηματισμών του υπεδάφους «φυσική καθίζηση» καθώς και ο «ευστατισμός», ο οποίος για την περιοχή της βόρειας Αδριατικής θάλασσας και της λιμνοθάλασσας της Βενετίας, προσδίδει αύξηση της στάθμης θάλασσας περί τα 1.27 χιλιοστά/έτος (Carbognin et. al., 1984).



Σχήμα 7. Αύξηση της συχνότητας εμφάνισης του φαινομένου της υψηλής στάθμης της παλίρροιας «*acqua alte*», σε συνδυασμό με την καθίζηση του εδάφους, από το έτος 1909 έως το 1996 (Carbognin et. al. 1984).

Το μέσο υψόμετρο του εδάφους στην πόλη της Βενετίας, σήμερα, είναι ίσο με 110 εκατοστά, περίπου, από τη μέση στάθμη θάλασσας, ενώ κατά το παρελθόν, στις αρχές του προηγούμενου αιώνα (περί το έτος 1900) έφθανε το υψόμετρο των 130 εκατοστών, περίπου. Αξιοσημείωτα είναι τα δέκα κυριότερα επεισόδια κατά τα οποία καταγράφηκε η υψηλότερη στάθμη παλίρροιας «*acqua alte*», στην πόλη της Βενετίας, από το έτος 1920 μέχρι σήμερα τα οποία ξεπερνούν κατά πολύ το μέσο υψόμετρο της πόλης και είναι: 16 Απριλίου 1936 (147 εκατοστά), 12 Νοεμβρίου 1951 (151 εκατοστά), 15 Οκτωβρίου 1960 (145 εκατοστά), 4 Νοεμβρίου 1966 (194 εκατοστά), 3 Νοεμβρίου 1968 (144 εκατοστά), 14 Φεβρουαρίου 1979 (140 εκατοστά), 22 Δεκεμβρίου 1979 (166 εκατοστά), 1 Φεβρουαρίου 1986 (19 εκατοστά), 8 Δεκεμβρίου 1992 (142 εκατοστά) και 6 Νοεμβρίου 2000 (144 εκατοστά).

Παλίρροιας «*acqua alte*», οι οποίες ξεπερνούν σε ύψος τα 100 εκατοστά, και οι οποίες εμφανίζονται κατά μέσο όρο, περί τις 7 φορές/έτος, προκαλούν εκτεταμένες πλημμύρες και ζημιές, που επιδεινώνονται με την περαιτέρω αύξηση της στάθμης των υδάτων. Η κατάκλυση η οποία προκαλείται, στην περίπτωση παλίρροιας, με στάθμη 120 και 130 εκατοστά, ξεπερνάει, αντίστοιχα, σε έκταση το 1/3 και τα 2/3 του ιστορικού κέντρου της πόλης της Βενετίας, ενώ στην ακραία περίπτωση στάθμης στα 194 εκατοστά (4 Νοεμβρίου 1966), κατακλύσθηκε η συνολική επιφάνεια της πόλης της Βενετίας και καλύφθηκε με στρώμα νερού, περί το ένα μέτρο.

### 3.3 Αντιμετώπιση του φαινομένου «*acqua alte*»

Για την αποτελεσματικότερη αντιμετώπιση της δυσμενούς αυτής εξελικτικής πορείας των υδρογεωμορφολογικών διεργασιών «*acqua alte*», στην περιοχή της λιμνοθάλασσας της Βενετίας, έχουν τεθεί σε εφαρμογή κατά το παρελθόν, μέτρα σχετικά με τον περιορισμό των αντλήσεων υπόγειων υδάτων, με αποτέλεσμα την ανακοπή της ταχύτητας καθίζησης του εδάφους «*subsidenza*» και την μικρή επαναφορά του (περί τα 2 εκατοστά), κατά το έτος 1975.

Σήμερα εφαρμόζεται εκτεταμένο πρόγραμμα προστασίας της λιμνοθάλασσας και της πόλης της Βενετίας, το αποκαλούμενο Mose (Modulo Sperimentale Ellettromeccanico), σύμφωνα με το οποίο προβλέπονται: α. για ύψος παλίρροιας μέχρι τα 100 εκατοστά, τοπικές παρεμβάσεις έργων προστασίας (ανύψωση των πεζοδρομίων, ενίσχυση και διαμόρφωση των δαπέδων στους δημοτικούς κοινόχρηστους χώρους και την άμμο-λωρίδα), ως αντιστάθμισμα της καθίζησης και β. για ύψος παλίρροιας μεγαλύτερο των 100 εκατοστών, την λειτουργία ειδικών «κινητών θυρο-φραγμάτων», για το ελεγχόμενο κλείσιμο των τριών φυσικών ανοιγμάτων-διαύλων επικοινωνίας της λιμνοθάλασσας με την Αδριατική θάλασσα, κατά τη διάρκεια θελλωδών κυμάτων. Ειδικότερα στις εισόδους της λιμνοθάλασσας, στις θέσεις Chioggia, Malamocco και Lido, προβλέπεται η κατασκευή ενός συστήματος «κινητών θυρο-φραγμάτων» τα οποία, σε περιόδους νηνεμίας, με τη χρήση νερού πλήρωσης, αυξάνουν το βάρος τους, και επικάθονται στον πυθμένα της λιμνοθάλασσας, όπου και προσδένονται με ειδικούς αρμούς. Στις περιπτώσεις κατά τις οποίες προβλέπεται αύξηση της ύψους της παλίρροιας, μεγαλύτερη των 100 εκατοστών «*acqua alte*», τα θυρο-φράγματα ανυψώνονται αυτόματα, μέσω ειδικής διάταξης (διοχέτευσης συμπιεσμένου αέρα στο εσωτερικό τους και αποβολής του ε-



γκλωβισμένου νερού) και παρεμποδίζουν την είσοδο των θαλάσσιων υδάτων στη λιμνοθάλασσα. Τα θυρο-φράγματα αυτά, έχουν σχεδιαστεί να ανταποκρίνονται αποτελεσματικά σε διαφορές μέχρι και 2 μέτρων ύψους, μεταξύ θάλασσας και λιμνοθάλασσας (Carbognin et. al., 1984).

#### 4 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Οι επεμβάσεις του ανθρώπου, στα υδατορέγματα και τη λιμνοθάλασσα της Βενετίας, οι οποίες έλαβαν χώρα από τους ιστορικούς χρόνους μέχρι σήμερα και εξυπηρετούσαν τις ανάγκες της κάθε εποχής (άμυνα, ναυσιπλοΐα, εμπόριο, βιομηχανία, τουρισμός), επέφεραν σημαντικές μεταβολές στα περιβαλλοντικά – υδρογεωμορφολογικά χαρακτηριστικά της περιοχής, με αποτέλεσμα, την ενίσχυση φαινομένων, που σήμερα, έχουν οδηγήσει το ιδιαίτερα ευαίσθητο, οικοσύστημα της λιμνοθάλασσας, σε έντονα προβλήματα υποβάθμισης της ποιότητας των νερών της και στην ολοένα συχνότερη κατάκλυση των χερσαίων τμημάτων της, από τα νερά της αυξημένης στάθμης της παλίρροιας «acqua alte».

Ειδικότερα, την τελευταία 50ετία, επιδεινώθηκε σημαντικά η περιβαλλοντική – υδρογεωμορφολογική ισορροπία της λιμνοθάλασσας, εξ' αιτίας της αύξησης του ρυθμού καθίζησης των κοκκωδών σχηματισμών του υποβάθρου, η οποία οφείλεται στην υπεράντληση των υπόγειων υδάτων της περιοχής Mestre - Porto Marghera, για βιομηχανική χρήση, καθώς και της αύξησης της συχνότητας εμφάνισης του φαινομένου της υψηλής στάθμης της παλίρροιας «acqua alte», κατά τη διάρκεια των θελλωδών κυμάτων της χειμερινής περιόδου, που κατακλύζει σημαντικό μέρος των χερσαίων τμημάτων και του συμπλέγματος των αμμονησίδων, συμπεριλαμβανομένης και της πόλης της Βενετίας.

Για την αποτελεσματικότερη αντιμετώπιση του φαινομένου της υψηλής στάθμης της παλίρροιας έχουν τεθεί σε εφαρμογή μέτρα (περιορισμός των αντλήσεων υπόγειων υδάτων, κλπ), σύμφωνα με τα οποία, αναμένεται να περιοριστούν τα προβλήματα που αντιμετωπίζουν η περιοχή της λιμνοθάλασσας και η πόλη της Βενετίας. Ταυτόχρονα εφαρμόζεται και ένα εκτεταμένο πρόγραμμα προστασίας της (πρόγραμμα Mose), το οποίο προβλέπει την ανύψωση των πεζοδρομίων, ως αντιστάθμισμα της καθίζησης και την τοποθέτηση «κινητών θυρο-φραγμάτων», για το ελεγχόμενο κλείσιμο των τριών φυσικών ανοιγμάτων–διαύλων επικοινωνίας της λιμνοθάλασσας με την Αδριατική θάλασσα, κατά τη διάρκεια θελλωδών κυμάτων.

#### ΑΝΑΦΟΡΕΣ

- Camuffo D., 1987. Freezing of the Venetian Lagoon since the 9<sup>th</sup> century A.D. in comparison to the climate of Western Europe and England, *Climatic Change*, 10, 43-46.
- Carbognin L., Gatto P., Marabini F., 1984. The city and the lagoon of Venice – a guidebook on the environment and land subsidence, *1<sup>o</sup> Congresso Internazionale sulla subsidenza, Venezia*, pp. 1-35.
- Carbognin L., Gatto P., Marabini F., 1985. Erosive processes in the littoral of the Venice lagoon, *Coastal zone 85, IV Symposium on coastal and ocean management, Baltimore, U.S.A.*, pp. 1587-1600.
- Carbognin L., Marabini F., 1989. Evolutional trend of the Po river delta (Adriatic sea, Italy), *Proc. of the 28<sup>th</sup> International Geological Congress, Washington D.C., U.S.A.*, pp. 238-239.
- Enzi S., Marabini F., 1992. Evoluzione della fascia costiera Adriatica e l'azione antropica, *Proc. of the Congress Associazione Italiana di Cartografia, Bolzano, Italy*.
- Lamb H. H., 1977. *Climate. Present, Past and Future*, London, Methuen, vol. 2.
- Lamb H. H., 1982. *Climate, history and the modern world*, London, Methuen.
- Marabini F., Veggiani A., 1991. Evolutional trend of the coastal zone and influence of the climatic fluctuations, *Proc. of the C.O.S.U., Il-Long Beach, U.S.A.*, 2-4 April.
- Marabini F., Mertzanis A., 2003. Η διαχείριση του παράκτιου χώρου και η εξέλιξη των ακτών της Μεσογείου, 4<sup>η</sup> Διεθνής Έκθεση και Συνέδριο για την Τεχνολογία Περιβάλλοντος - «Heleco 03», Αθήνα, 30 Ιανουαρίου - 1 Φεβρουαρίου, 529-535.
- Pavanello G., 1931. *La laguna veneta. Note illustrative e breve sommario storico*, Magistrato alle acque, Ufficio speciale idrografico, pp. 1-34.

ABSTRACT

**THE LAGOON OF VENICE : EVOLUTION IN TIME OF THE HYDROGEOMORPHOLOGICAL PROCESSES, IN THE WATERSTREAMS AND THE LAGOON OF VENICE (ITALY)**

Marabini F.<sup>1</sup> and Mertzanis A.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> *Consiglio Nazionale delle Ricerche, Istituto di Geologia Marina, Via P. Gobetti 101, 40129 Bologna, Italy, franco.marabini@bo.ismar.cnr.it*

<sup>2</sup> *Technological Educational Institute of Lamia, Annex of Karpenisi, Department of Forestry, 36100, Karpenisi, Greece, amertz@hol.gr*

This work depicts the evolution in time of the hydrogeomorphological processes and the human impact which from the historical era have contributed to the actual configuration of the Lagoon of Venice (northwestern Adriatic sea). Those natural hydrogeomorphological processes, in combination with the intense human interference, have led to the increase in the rate of occurrence of the phenomenon of the high level of tide, a phenomenon known as "acque alte", which is prominent today in the Lagoon area and the complex of the "sand islands" which are formed inside the Lagoon. This work also describes the measures prescribed and taken, according to environmental protection program (Mose), in order to deal more effectively with this undesirable hydrogeomorphological processes in the area of the Lagoon of Venice.