

## Variazioni geomorfologiche nell'area centrale della Laguna di Venezia. Elaborazione di cartografia storica e foto aeree

Barbara Favaretto (\*), Federica Rizzetto (\*\*), Emanuela Molinaroli (\*\*\*)

(\*) Museo di Storia Naturale di Venezia, Santa Croce 1730, 30135 Venezia  
tel.: +39 041 2750206, fax +39 041 721000, e-mail: barfav80@gmail.com, barbara.favaretto@fmcvenezia.it  
(\*\*) Istituto di Scienze Marine, Consiglio Nazionale delle Ricerche, Arsenale - Tesa 104, Castello 2737/F  
30122 Venezia, tel.: +39 041 2407948, fax: +39 041 2407930, e-mail: federica.rizzetto@ismar.cnr.it  
(\*\*\*) Università Ca' Foscari, Dipartimento di Scienze Ambientali, Informatica e Statistica, Dorsoduro 2137  
30123 Venezia, tel.: +39 041 2348996, fax: faxdust@unive.it, e-mail: molinaro@unive.it

### Riassunto

Nel corso degli ultimi secoli l'evoluzione geomorfologica della Laguna di Venezia è stata notevolmente condizionata dai numerosi interventi antropici condotti in tutto il bacino e nelle zone limitrofe, i cui effetti si sono sommati a quelli indotti dai processi naturali costieri. L'analisi delle modificazioni avvenute nel settore centrale della laguna, particolarmente vulnerabile poiché sede della città di Venezia, del porto turistico e del polo industriale, è stata l'obiettivo di questo studio. A tal fine l'esame della cartografia storica (disponibile a partire dal 1500) ha assunto un ruolo fondamentale, fornendo informazioni uniche e precise sull'assetto passato del territorio, mentre le fotografie aeree (dal 1954) hanno reso un importante contributo al riconoscimento dei cambiamenti più recenti. L'interpretazione congiunta di dati preesistenti soprattutto di carattere geomorfologico e morfodinamico e di informazioni relative alle opere realizzate dall'uomo nei secoli ha permesso di ricostruire l'evoluzione dell'area e di conoscere i rapporti causa-effetto tra evoluzione del paesaggio e processi naturali e antropici. Lo studio è stato condotto con tecnologia GIS (*Geographic Information System*). Carte e immagini sono state quindi georeferenziate ed è stata creata una banca dati attraverso cui visualizzare ed elaborare diverse tipologie di informazioni geografiche all'interno di un unico progetto di analisi territoriale. Il lavoro ha permesso di mettere in evidenza: (a) i diversi tentativi di deviazione del tratto finale del Fiume Brenta per evitare che, con i suoi apparati deltizi endolagunari, potesse interrare la laguna centrale minacciando così l'integrità di Venezia, (b) gli effetti che tali diversioni hanno prodotto nella laguna stessa, (c) i processi erosivi intensificati dalla costruzione dei moli foranei alla bocca di Malamocco, (d) lo sviluppo del polo industriale di Porto Marghera, (e) lo scavo del canale Malamocco-Marghera, che ha incrementato l'energia e l'idrodinamicità dell'area, favorendo l'ulteriore erosione delle strutture morfologiche naturali e artificiali (barene e casse di colmata) adiacenti.

### Abstract

*During the last centuries, the geomorphological evolution of the Lagoon of Venice has been largely influenced by several human activities the effects of which have to be added to the ones induced by the natural coastal processes. Many interventions have been carried out in the central part of the basin, which is particularly vulnerable owing to the presence of the City of Venice, the touristic port, and the industrial centre. The aim of this study was the analysis of the modifications that occurred in the area. Historical maps, realized since the 1500s, have provided evidences for the evolution occurred in the last five centuries, whereas the aerial photographs (available since 1954) have given an important contribution to the identification of the most recent changes. The results from these geomorphological studies were interpreted in the light of the local morphodynamic processes and the major engineering works carried out in the lagoon over time. A Geographic*

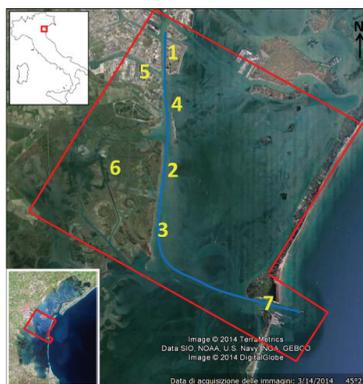
*Information System software was used to compare georeferenced data and to perform spatial analyses. This work has shown clearly: (a) the diversions of the lower course of the Brenta River aimed to protect Venice from the fluvial sediment discharges, (b) the effects of these diversions, (c) the erosion processes related to the construction of the two jetties at the Malamocco inlet, (c) the development of the Porto Marghera industrial centre, (e) the excavation of the Malamocco-Marghera Canal, which has modified the local hydrodynamic processes and favoured erosion of natural and anthropogenic morphological structures.*

## Introduzione

Nel corso di questo studio è stata effettuata la rielaborazione e l'analisi integrata di dati geomorfologici mediante l'applicazione di strumenti GIS (*Geographic Information System*) al fine di illustrare l'evoluzione storica della parte centrale della Laguna di Venezia, particolarmente vulnerabile in quanto sede della città stessa, del porto turistico e del polo industriale. In particolare l'area in esame comprende la zona industriale di Marghera, il canale Malamocco-Marghera (detto anche Canale dei Petroli) e la bocca di porto di Malamocco (Fig. 1). Negli ultimi secoli in questo settore è stato realizzato un elevato numero di interventi antropici che hanno indotto vistosi cambiamenti morfologici. L'evoluzione dell'area è stata significativamente influenzata dalle vicende legate alle deviazioni (naturali e artificiali) del fiume Brenta, i cui antichi percorsi hanno lasciato tracce morfologiche tuttora evidenti. Risalgono agli inizi del secondo millennio le prime importanti opere idrauliche che hanno modificato il tratto finale del fiume (soprattutto al fine di ridurre gli apporti solidi fluviali all'interno del bacino lagunare) con chiare conseguenze sull'assetto delle limitrofe aree di terraferma e laguna.

Negli ultimi decenni si è avuta un'inversione di tendenza; pertanto anche gli interventi sono stati finalizzati a ripristinare le terre erose e a contrastare la trasformazione in atto verso condizioni marine.

L'analisi della cartografia storica a partire dal '500 e delle foto aeree ha permesso di illustrare in maniera dettagliata l'evoluzione morfologica del territorio al fine di individuare i rapporti causa-effetto tra modificazione del paesaggio e processi naturali e antropici. La tecnologia GIS è stata uno strumento fondamentale per la creazione di una banca dati attraverso cui visualizzare ed elaborare diverse tipologie di informazioni geografiche all'interno di un unico progetto di analisi territoriale, fornendo così una chiave di lettura per la comprensione dei processi attuali e per la previsione di una possibile evoluzione futura.



*Figura 1 - Area di studio (in rosso) e indicazione delle foci storiche del Brenta: (1) Punta dei Lovi; (2) Motta di Volpego; (3) Canale Maggiore; (4) foce attuale del Brenta presso Fusina; (5) area industriale di Porto Marghera; (6) zona coperta dalle casse di colmata; (7) bocca di porto di Malamocco. In blu è segnato il percorso del Canale Malamocco Marghera.*

### Materiali e metodi

Per lo sviluppo di questa ricerca sono state analizzate e confrontate numerose carte storiche che hanno permesso di ricostruire l'evoluzione morfologica dell'area in esame a partire dal XVI secolo, periodo durante il quale è iniziata la realizzazione dei maggiori interventi antropici che hanno influito in modo più incisivo sullo sviluppo della laguna.

Dopo un'accurata ricerca, sono state scelte le mappe ritenute più significative per precisione e dovizia di dettagli. In particolare si tratta delle carte di: A. Minorelli (1695), Anonimo (XVII sec.), A. Emo (1762), A. Denaix (1809-1811), A. De Bernardi (1843-1844), Ufficio Tecnico di Stato Maggiore (XIX sec.), G. Lampugnani (1905), Magistrato alle Acque di Venezia (1931) e Istituto Geografico Militare (1970).

La Carta Tecnica Regionale Numerica in formato vettoriale alla scala 1:5.000 (disponibile on-line all'indirizzo <http://idt.regione.veneto.it/app/metacatalog/>) è stata utilizzata come base per le successive elaborazioni.

Per l'analisi recente, a partire dal 1954, sono state considerate foto aeree. Si tratta in parte di scansioni ad alta risoluzione fornite dalla Cartoteca dell'Università IUAV di Venezia, in parte di fotogrammi acquisiti attraverso il servizio online dell'Aerofototeca di questa stessa università e resi disponibili dalla Regione del Veneto.

In particolare sono state utilizzate alcune immagini, in bianco e nero, tratte dai voli GAI del 1954 e REVEN del 1978 e, a colori, dei voli REVEN degli anni 1987, 1999, 2010. Nel complesso il materiale disponibile ha permesso di coprire un arco temporale esteso dal 1500 al 2010.

Il confronto di mappe storiche, carte recenti e foto aeree è stato eseguito mediante l'utilizzo di un software GIS, in particolare con l'applicazione GIS Open Source QGIS 2.4.0-Chugiak, che ha dato la possibilità di raccogliere, visualizzare, interrogare, elaborare diverse tipologie di dati geografici in un unico progetto di analisi territoriale. I dati, suddivisi in *layer* sovrapponibili, hanno permesso di comporre mappe tematiche personalizzabili in funzione delle esigenze di progetto.

La Carta Tecnica Regionale è stata inserita in formato .dxf, dopo avere impostato il Sistema di Riferimento locale Gauss-Boaga fuso Ovest, identificato con il codice 3003 secondo la codifica numerica EPSG (*European Petroleum Specialist Group*). Successivamente le immagini digitali *raster* in formato .tif o .jpg di foto aeree e carte storiche (ottenute in parte sottoponendo a scansione gli originali cartacei) sono state georeferenziate, eccetto la mappa di Minorelli (1695) a causa della sua bassa risoluzione e per l'approssimazione con cui in essa sono rappresentate le forme. La georeferenziazione delle carte dei primi del '900 è risultata assai precisa, così come quella delle foto aeree. Solo nelle immagini del 1954 non si sono raggiunti buoni risultati a causa di una marcata distorsione ai bordi. Inoltre, non conoscendo nella gran parte dei casi il giorno preciso e l'ora dello scatto, non è stato possibile effettuare la correzione di marea e quindi ridurre l'errore commesso durante la digitalizzazione delle forme, il cui contorno non risulta pertanto riferito allo zero mareografico. Successivamente le morfologie riconosciute su carte e foto sono state disegnate mediante procedure di *editing* e confrontate per individuare le modificazioni avvenute nel corso dei secoli.

Sono stati quindi costruiti due progetti in QGIS, uno per l'area delle attuali casse di colmata e della zona industriale e uno per l'area della bocca di porto di Malamocco.

### Evoluzione dell'attuale area industriale e delle casse di colmata

La carta di Minorelli del 1695 (Fig. 2) rappresenta la laguna del XVI sec. descritta da Cristoforo Sabbadino, uno dei più famosi ed autorevoli idraulici della Serenissima. Sono ben riconoscibili i delta fluviali formati dai diversi rami di foce del Brenta presso Punta dei Lovi, Motte di Volpego, Canale Maggiore e Fusina (attuale foce del Naviglio del Brenta).



Figura 2 - Particolare della carta di Minorelli (tratta da D'Alpaos, 2010). Foci del Brenta: (1) Punta dei Lovi; (2) Fusina; (3) Motte di Volpego; (4) Canale Maggiore; (5) bocca di porto di Malamocco.

Confronti e misure morfometriche, condotte utilizzando le carte e le foto sottoposte a georeferenziazione, hanno permesso di rilevare in dettaglio e quantificare le variazioni morfologiche avvenute nei secoli successivi.

Presso il delta di Punta dei Lovi si nota un arretramento medio del margine lagunare interno di circa 450 m dal 1750 al 1850 (Fig. 3a). A testimonianza della vecchia struttura deltizia rimangono due piccole isole presso Punta dei Lovi, ancora presenti nella carta del 1970, ma poco dopo sostituite dall'isola artificiale delle Tresse che negli ultimi decenni ha subito una notevole espansione (Fig. 3b): infatti la sua superficie, che nel 1978 era pari a 0,58 kmq, ora raggiunge 1,2 kmq (Fig. 3c).

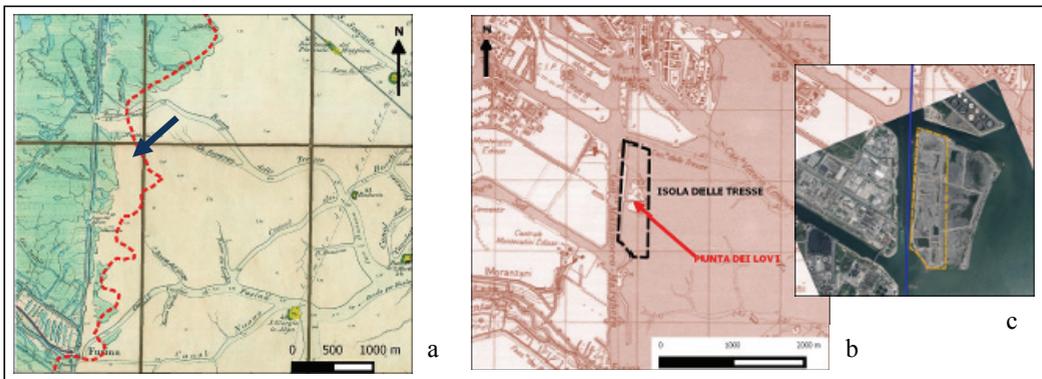


Figura 3 - Evoluzione del settore in cui sorgono le attuali casse di colmata. (a) Carta dell'Ufficio Tecnico di Stato Maggiore della metà dell'800 e margine lagunare del 1762 (tratteggiato rosso) presso Punta dei Lovi (indicata con la freccia blu); (b) carta del 1970 dove è ancora presente un residuo di Punta dei Lovi ed è stata evidenziata la superficie coperta dall'isola delle Tresse (rilevata dalle foto aeree del 1978); (c) foto aerea del 2010 dove è visibile la nuova isola delle Tresse (tratteggiato giallo: perimetro dell'isola nel 1978, linea blu: Canale dei Petroli).

Per quanto riguarda la foce di Motte di Volpego (Fig. 4) a partire dal 1800 si rileva una riduzione della superficie dell'isola che rappresentava la struttura deltizia, accompagnata da un notevole

arretramento del margine lagunare (stimato circa pari a 100 m tra il 1905 e il 1931), mentre presso il Canale Maggiore si osserva un generale diradamento delle barene con ampliamento degli specchi d'acqua.

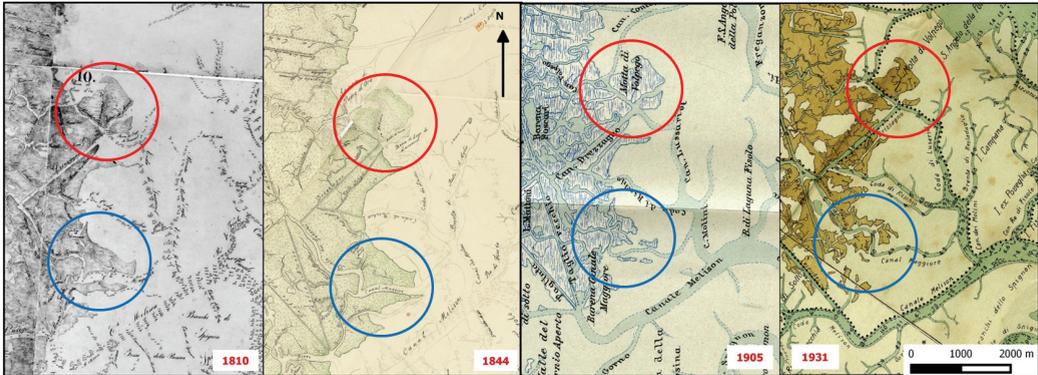


Figura 4 - Confronto tra le aree coperte da barene presso le foci del Brenta delle Motte di Volpego (cerchio rosso) e Canale Maggiore (cerchio blu) nel 1810 (Denaix), 1844 (De Bernardi), 1905 (Lampugnani) e 1931 (Magistrato alle Acque di Venezia).

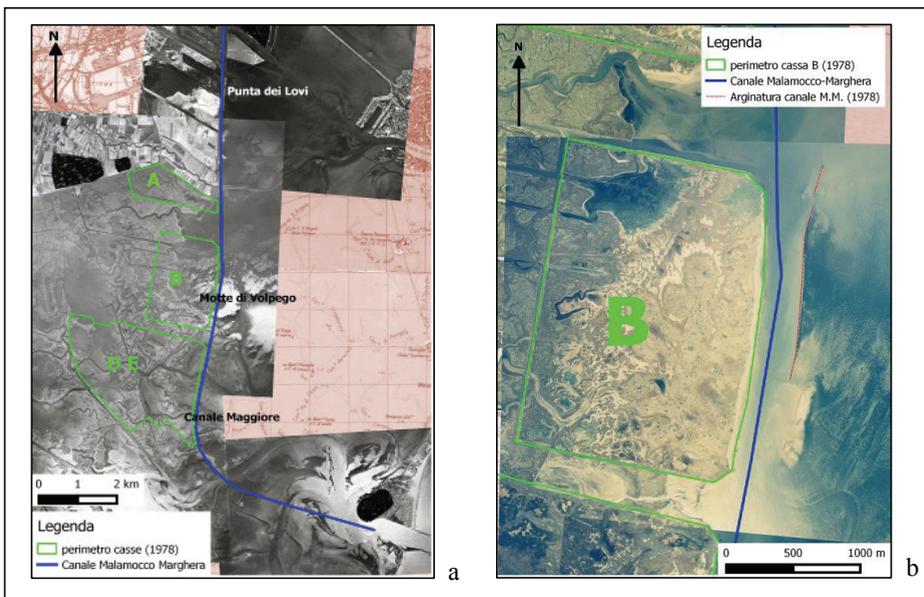


Figura 5 - Il percorso del canale Malamocco-Marghera ricavato dalla carta del 1970, (parzialmente visibile sullo sfondo) sovrapposto alle foto aeree del 1954. In evidenza la superficie delle casse di colmata, rilevata dalle foto aeree del 1978 (verde), e la posizione delle vecchie foci del Brenta presso Punta dei Lovi, Motte di Volpego, Canale Maggiore; (b) cassa di colmata B nella foto del 1987 (linea verde: margine rilevato nel 1978; linea rossa: arginatura del canale Malamocco-Marghera).

Sovrapponendo alle foto aeree del 1954 (Fig. 5a) il percorso del canale Malamocco-Marghera realizzato negli anni '60, si nota come esso tagli le barene che rappresentano l'ultima testimonianza delle foci del Brenta presso le Motte di Volpego e il Canale Maggiore. Queste sono state poi definitivamente coperte dalle casse di colmata, costruite nello stesso periodo con i fanghi

di risulta dallo scavo del canale stesso. In particolare si calcola che nel 1978 la superficie iniziale delle casse A, B e D-E fosse rispettivamente pari a 1,56 kmq, 3,8 kmq e 7,6 kmq.

Localmente, successivi processi erosivi tuttora in atto ne hanno lievemente modificato l'originale morfologia. Si noti ad esempio nelle foto a colori del 1987 (Fig. 5b) la formazione di una spiaggia al margine della cassa B. Rispetto all'arginatura perimetrale interna rilevata nelle foto del 1978 si osserva un arretramento medio di circa 70 m sul lato che costeggia il Canale Malamocco-Marghera.

### Evoluzione della bocca di porto di Malamocco

Testimonianze scritte del '700 indicano la presenza di scanni sabbiosi e insidiosi bassifondali presso la bocca di Malamocco che rendevano difficile la navigazione verso Venezia. Solo a partire dagli inizi dell'800, comunque, le bocche di porto vennero descritte e rappresentate con maggiore precisione. Nella carta di Denaix (1810) lo scanno sabbioso esterno si trovava alla profondità di 4 m, il canale di accesso era profondo 8 m e, appena entrati in laguna, il Canale Rocchetta, molto stretto e poco profondo, in prossimità della bocca di Malamocco presentava due scanni sabbiosi che ne riducevano la profondità ad appena 2 m. È stato possibile identificare la struttura di tali scanni anche nella carta di De Bernardi del 1843 (Fig. 6a).

Decisiva è stata la costruzione dei moli foranei avvenuta tra il 1840 e il 1872. In particolare la diga nord ha favorito un miglioramento delle condizioni di accesso alle grandi imbarcazioni e un avanzamento della vicina linea di costa: già nel 1931 il canale presso la bocca aveva raggiunto la profondità media di 10-12 m, mentre il litorale appariva avanzato di circa 900 m a ridosso del molo stesso (Fig. 6b). Dal 1931 al 1987 è stata osservata un'ulteriore progredizione del litorale, localmente pari anche a 175 m.

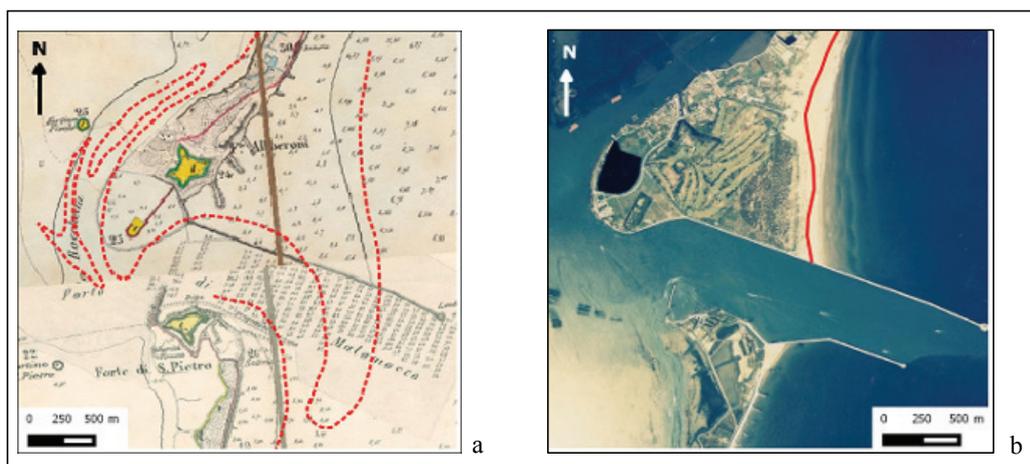


Figura 6 - Evoluzione della Bocca di Malamocco. (a) Situazione nella seconda metà dell'800 con il molo nord in costruzione e il profilo degli scanni sabbiosi rilevati dalla carta di De Bernardi del 1843. (b) Bocca di porto nelle foto aeree del 1987; in rosso è evidenziata la linea di costa del 1931.

### Discussione

Attraverso l'analisi della cartografia storica e delle fotografie aeree è stato possibile ricostruire in dettaglio l'assetto e l'evoluzione geomorfologica della parte centrale della Laguna di Venezia negli ultimi cinque secoli ed effettuare considerazioni di carattere morfometrico.

L'apporto sedimentario dei fiumi che sfociavano in laguna ha favorito l'avanzamento del margine interno, l'interrimento del bacino e l'ostruzione delle bocche di porto, in corrispondenza delle quali il materiale trasportato e rielaborato dalla corrente litoranea marina ha dato origine a imponenti scanni sabbiosi, ben rappresentati nelle carte dell'800. Questa naturale tendenza evolutiva è stata notevolmente modificata dagli interventi antropici condotti già dopo il Mille.

Anche le modificazioni indotte sul Fiume Brenta e le altre opere realizzate nel bacino hanno significativamente influenzato l'area esaminata. Con il convogliamento di gran parte delle acque del Brenta direttamente in mare, a sud di Chioggia, l'apporto sedimentario nella laguna centrale è stato notevolmente ridotto.

La vecchia foce presente presso Punta dei Lovi è stata chiusa nel 1191. Di conseguenza, l'antico delta fluviale ancora riconoscibile nel 1500 è stato progressivamente eroso. Tra la seconda metà del '700 e la seconda metà dell'800 il margine lagunare interno è arretrato di circa 450 m e il delta si è ridotto a due piccole isole, poi sostituite dall'isola artificiale delle Tresse.

Le altre due foci storiche del Brenta, presso Motte di Volpego e Canale Maggiore, hanno subito una serie simile di eventi.

Le dinamiche legate alla bocca di Malamocco hanno reso il processo erosivo della zona del Canale Maggiore più lento rispetto a quello avvenuto presso le Motte di Volpego.

Dopo gli interventi alla bocca con la costruzione dei moli foranei (1840-1872) l'erosione si è accentuata e ha causato un ulteriore diradamento delle barene e un nuovo arretramento del margine lagunare interno. Tali interventi hanno portato ad un maggiore e più efficiente ricambio idrico tra mare e laguna e ad un cospicuo ripascimento del litorale a ridosso della diga nord dove, dalla sua costruzione ad oggi, si è riscontrato un avanzamento medio della spiaggia pari a 1050 m.

Negli anni '960 lo scavo del canale Malamocco-Marghera e la costruzione delle casse di colmata hanno alterato ulteriormente il processo morfologico dell'area. Queste ultime hanno di fatto cancellato i delta fluviali di Motte di Volpego (cassa B) e di Canale Maggiore (Cassa D-E) e tolto all'espansione di marea circa 13 kmq di laguna. Il canale Malamocco-Marghera, convogliando notevoli masse d'acqua all'interno del bacino, ha contribuito all'erosione delle casse stesse e delle barene a sud della cassa D-E.

## Conclusioni

Nel corso di questo studio è stata effettuata la rielaborazione e l'analisi integrata di dati geomorfologici mediante l'applicazione di strumenti GIS al fine di illustrare l'evoluzione storica della parte centrale della Laguna di Venezia, fornendo così una chiave di lettura per la comprensione dei processi attuali e per la previsione di una possibile evoluzione futura.

L'analisi della cartografia storica è stata di fondamentale rilevanza poiché ha fornito informazioni uniche e precise sull'assetto storico del territorio. I principali risultati possono essere così sintetizzati:

1. Da un trend evolutivo naturale, caratterizzato dall'avanzamento del margine lagunare e dall'interrimento del bacino e delle bocche di porto per il notevole apporto sedimentario da parte dei fiumi che sfociavano al suo interno, si è passati ad un regime erosivo e all'approfondimento dei fondali per effetto della deviazione della foce principale del Brenta all'esterno della laguna.
2. In concomitanza con la costruzione dei moli foranei alla bocca di Malamocco, si è assistito al ripascimento del litorale a ridosso della diga nord e contemporaneamente all'incremento dell'erosione dei delta fluviali endolagunari.
3. Lo scavo del Canale Malamocco-Marghera ha incrementato l'energia e l'idrodinamicità dell'area, favorendo l'erosione delle strutture morfologiche naturali e artificiali (barene e casse di colmata).

Interventi futuri, come lo scavo di nuovi canali o l'approfondimento di quelli esistenti, potrebbero accelerare il processo erosivo in atto, uniformando il fondale lagunare e portando alla scomparsa delle poche strutture morfologiche naturali rimaste.

### **Ringraziamenti**

Alcune delle carte storiche utilizzate per questo studio sono state gentilmente concesse dalla Fondazione Musei Civici di Venezia. Le foto aeree sono state rese disponibili dalla Regione del Veneto - L.R. n. 28/76 Formazione della Carta Tecnica Regionale presso il sito web [http://mapserver.iuav.it/website/foto\\_aeree](http://mapserver.iuav.it/website/foto_aeree).

### **Riferimenti bibliografici**

D'Alpaos L. (2010), *L'evoluzione morfologica della laguna di Venezia attraverso la lettura di alcune mappe storiche e delle sue mappe idrografiche*. Europrint, Quinto di Treviso, 110 pp.

### **Sitografia**

- <http://www.silvenezia.it>
- <http://idt.regione.veneto.it/app/metacatalog/>
- [http://mapserver.iuav.it/website/foto\\_aeree/](http://mapserver.iuav.it/website/foto_aeree/)