

MAURIZIO BONARDI - LUIGI TOSI

**Rilevamento geomorfologico per progetti  
di gestione di lagune e stagni costieri.  
Due esempi di applicazione: la Laguna di Venezia  
e lo stagno costiero di Orbetello**

*Geomorphological survey for lagoon and coastal  
pond management projects: the Lagoon of Venice  
and the Orbetello coastal pond study cases*

*Estratto da:*

**GEOLOGIA TECNICA & AMBIENTALE**  
*Journal of technical & environmental geology*

Numero 1 - Gennaio/Marzo 2000

# Rilevamento geomorfologico per progetti di gestione di lagune e stagni costieri. Due esempi di applicazione: la Laguna di Venezia e lo stagno costiero di Orbetello\*

## *Geomorphological survey for lagoon and coastal pond management projects: the Lagoon of Venice and the Orbetello coastal pond study cases*

MAURIZIO BONARDI e LUIGI TOSI

Istituto per lo Studio della Dinamica delle Grandi Masse - CNR,

San Polo 1364, 30125, Venezia

---

(\*) Lavoro svolto nell'ambito dei progetti: "Sistema Lagunare Veneziano - II Fase"; "Habitat di *Numenius tenuirostris* e di altre specie ornitiche minacciate: progettazione ed esecuzione di interventi di ampliamento e gestione degli ambienti di palude salmastra della Laguna di Orbetello"; "Studio dei processi evolutivi di alcune barene della Laguna di Venezia, in relazione alle variazioni del livello marino".

---

### RIASSUNTO

Questo lavoro riporta l'applicazione del rilevamento geomorfologico attraverso misure plano-altimetriche e batimetriche ad alta risoluzione per differenti problematiche ambientali in due aree costiere: la Laguna di Venezia e lo stagno costiero di Orbetello. La programmazione di un piano di gestione e salvaguardia degli ecosistemi ha richiesto, per la laguna di Venezia, il monitoraggio delle tendenze evolutive dei principali elementi morfologici, mentre per Orbetello la naturalizzazione di alcune casse di colmata. I rilevamenti topografici e batimetrici di dettaglio sono stati effettuati sia mediante strumenti e metodologie tradizionali sia mediante GPS in modalità statica-differenziale e cinematica-differenziale che ha permesso la visualizzazione dei dati in tempo reale ottenendo un diretto controllo delle misure. Queste metodologie, per il rilevamento topografico di alcuni limiti ed elementi morfologici inaccessibili, sono state integrate dal telerilevamento con foto aeree mentre, per la progettazione degli interventi di modellamento delle casse di colmata, dalla mappatura dei sedimenti superficiali. Infine, la valutazione dei tassi erosivi e deposizionali, è stata effettuata sia con rilevamenti topografici stagionali sia con il confronto di una serie storica di cartografie e di foto aeree.

PAROLE CHIAVE: Rilevamento geomorfologico, GPS, Laguna di Venezia, Laguna di Orbetello.

### ABSTRACT

Environment management plans for lagoonal ecosystems require highly detailed geomorphological maps that cannot be obtained with the standard topographical survey.

High resolution topographic and bathymetric measurements were carried out in the Lagoon of Venice and in the Lagoon of Orbetello (Italy) both with traditional methods and instrumentation and with DGPS (Differential Global Positioning System) in static and kinematic differential modes, with the purpose of providing the ecosystem management plans for the two lagoons, with detailed geomorphological data.

For the Lagoon of Venice the detailed topographic and bathymetric surveys were required for the recognition and quantification of erosion and/or deposition processes active in the Venetian basin survey.

The comparison of topographic and bathymetric surveys, since 1931, of aerial photographs and of all available information on the morphology of the area, has allowed the recognition and quantification, on a decadal scale, of the rate and trend of erosion and sedimentation and has made it possible to define those morphological boundaries impossible to survey due to the inaccessible soft mud. Three field measurements done during the 1996-1997 period have made possible the quantification of the present erosion rate in a selected area of a salt marsh subjected to wave action.

For the Lagoon of Orbetello very low scale topographic measurements were needed for the "naturalization" of man made mud flats and salt marshes. The naturalization plan of five artificial islets, made with dredged sediments, required the detailed topographic measurements at very low scale of all the morphological elements in order to recreate a natural environment for a rich transitory, nesting or permanent bird life. In addition, several small creeks have been dredged to improve the hydrodynamics of the lagoon and the water exchange between shallows in the man made islets and the main channels and to protect the bird life by making it inaccessible to man and other predacious animals.

Overall the combination of traditional survey methods with DGPS and the use of an in house developed software has proved to be very efficient for producing the required detailed topographic and bathymetric maps of the two study areas. Furthermore the study has provided the management plans for the two different ecosystems with geomorphological data otherwise not available.

KEYWORDS: Geomorphological survey, GPS, Venice Lagoon, Orbetello Lagoon.

## Introduzione

I progetti di gestione degli ambienti lagunari spesso necessitano della conoscenza di dettagli morfologici ad alta risoluzione non ottenibili dalle cartografie tecniche commerciali o dai rilievi topografici tradizionali.

In questo lavoro si riportano due esempi di applicazione del rilevamento geomorfologico ad alta risoluzione per la gestione di due diverse problematiche ambientali nella laguna di Venezia e nello stagno costiero di Orbetello.

Lo studio nella Laguna di Venezia nasce dalla necessità di eseguire un monitoraggio delle tendenze evolutive dei principali elementi morfologici e di valutarne le componenti, naturale ed antropica, al fine di programmare un piano di gestione (traffico acqueo, pesca, interventi di ricostruzione e protezione, ecc.) per la salvaguardia dell'ecosistema lagunare [BONARDI et al., 1997; BONARDI et al., 1998; BONARDI & TOSI, 1999].

Negli ultimi anni si è spesso discusso sull'evoluzione morfologica della Laguna di Venezia: erosione e sedimentazione sono due fenomeni ben documentati in vari settori lagunari. Da un lato, sulla base della riduzione della superficie o della scomparsa di barene, è evidente che nel bacino lagunare è in atto il processo di erosione, dall'altro, considerando che alcuni canali necessitano di frequenti dragaggi è altrettanto evidente la deposizione dei sedimenti. Tuttavia non sono stati ancora sufficientemente valutati la risospensione e la redistribuzione in laguna o in mare aperto dei sedimenti erosi, nonché il bilancio di entrata ed uscita dei sedimenti alle bocche di porto.

Nel caso dello stagno costiero di Orbetello, più comunemente noto come laguna, la gestione ambientale ha riguardato la naturalizzazione di alcuni siti utilizzati come deposito dei sedimenti (casse di colmata) provenienti dal dragaggio di alcuni canali, effettuato per migliorare la circolazione dell'acqua [DALLAPORTA et al., 1999].

Le casse di colmata, oltre ad arricchire con nuovi elementi morfologici la monotonia dell'ambiente lagunare di Orbetello, hanno fornito importanti siti potenzialmente adatti alla sosta ed alla nidificazione dell'avifauna acquatica. Infatti, la scarsa disponibilità di aree indisturbate, irraggiungibili dai predatori terrestri e poco frequentate dall'uomo, ha sempre limitato la formazione di colonie di nidificanti e di dormitori invernali per alcune specie particolarmente esigenti, quali i grossi limicoli (chiurli *Numenius* sp., verosimilmente incluso il Chiurlottello N. *tenuirostris*, pivieressa *Pluvialis squatarola*, pittime *Limosa* sp.).

## 2. Materiali e metodi

Lo studio geomorfologico si è avvalso di misure topografiche (plano altimetriche), di misure batimetriche, del rilevamento litologico e della restituzione cartografica da foto aeree dei principali elementi morfologici.

Le misure in situ sono state effettuate tenendo in considerazione l'esigenza di raggiungere la massima precisione possibile, compatibilmente con le condizioni operative tipiche dell'ambiente lagunare. Si è optato per l'impiego sia di strumenti e metodologie che appartengono alla topografia classica sia di misure GPS (Global Positioning System) in modalità statica-differenziale e cinematica-differenziale.

Le operazioni preliminari, ma di fondamentale importanza ai fini della precisione, sono consistite nella istituzione, nelle lagune di Venezia e di Orbetello, di una serie di

capisaldi nei siti da rilevare e nella determinazione delle loro coordinate planimetriche ed altimetriche.

Il calcolo delle coordinate planimetriche, facilitato in entrambe le lagune dalla presenza di numerosi vertici trigonometrici (campanili, mareografi, fari ecc.), è stato effettuato tramite intersezione inversa, compensata su più di tre vertici di riferimento.

Per la determinazione delle coordinate altimetriche, invece, sono state effettuate sessioni di misure statiche differenziali mediante due ricevitori GPS. Essendo la distanza tra le coppie di caposaldi costantemente inferiore ai 3 km, è stato considerato il dislivello determinato sull'ellissoide WGS84 pari al dislivello ortometrico e non si sono effettuate ulteriori correzioni.

Sui caposaldi istituiti nella precedente fase, è stata ubicata la stazione topografica totale dotata di computer portatile per la registrazione automatica dei dati, ed il GPS per monitorare in tempo reale la posizione dei punti di misura in modalità cinematica-differenziale.

Il rilevamento topografico è consistito nella determinazione delle coordinate plano-altimetriche, con stazione totale e GPS in modalità statica-differenziale, di centinaia di punti del perimetro e della superficie interna dei siti, con particolare dettaglio degli elementi morfologici principali (canali, *ghebi*, argini, *chiari*, ecc.).

Il rilevamento batimetrico dell'area di studio veneziana è stato effettuato in modalità automatica utilizzando due ricevitori GPS operanti in modalità cinematica-differenziale. Si è così ottenuta una precisione di posizionamento centimetrica difficilmente ottenibile con la strumentazione topografica classica, in quanto richiede la intervisibilità tra stazione totale e prisma, ed il continuo e veloce adeguamento degli strumenti alle variazioni di posizione del natante. La metodologia adottata ha permesso di determinare in tempo reale la posizione del natante, con approssimazione variabile da 1 m a qualche decimetro, controllando simultaneamente il percorso ed il profilo batimetrico sul video del computer, grazie alla connessione contemporanea di GPS ed ecoscandaglio al PC, coordinata e guidata da software dedicato.

A terra, in corrispondenza del caposaldo, è stata posta la stazione GPS principale, costituita da ricevitore con antenna geodetica, inizializzata con coordinate assegnate ed invarianti e collegata a radiomodem per inviare, in modo continuo alla stazione GPS mobile, le correzioni differenziali di pseudorange.

Al fine di limitare al massimo le deviazioni di percorso dovute alla corrente di marea, i rilievi batimetrici sono stati eseguiti in concomitanza con le maree di quadratura o nei momenti di massimo o minimo relativo, e con velocità media del natante di 1 m/s.

I dati di profondità rilevati dall'ecoscandaglio sono stati corretti per la variazione di marea rilevata attraverso letture sistematiche di un mareografo appositamente posizionato.

Lo studio per la Laguna di Venezia, si è avvalso anche di immagini raster, ottenute tramite scansione ad alta risoluzione della cartografia storica e di foto aeree, mentre gli elementi morfologici più significativi, quali *ghebi*, *chiari* margini barena-canale, sono stati vettorializzati manualmente. Questa procedura ha permesso di completare la carta morfologica anche per aree inaccessibili, a causa dei sedimenti non consolidati, quali *velme* e *chiari*, e con limiti morfologici di incerta definizione e variabili con le maree. Nel caso della laguna di Orbetello, ai fini della progettazione per la naturalizzazione dei siti il rilevamento plano-

altimetrico è stato integrato dal rilevamento litologico dei sedimenti superficiali. Si è provveduto in questo caso, a classificare, su base qualitativa, i materiali di riporto. La classificazione in situ, validata da un centinaio di analisi di laboratorio, ha interessato circa un migliaio di campioni prelevati negli stessi punti misurati durante il rilievo plano-altimetrico.

### 3. La Laguna di Venezia

La laguna di Venezia, copre un'area di circa 550 km<sup>2</sup> e comunica con il Mare Adriatico attraverso tre bocche di porto di profondità variabile da 10 a 20 m e larghezza da 500 a 1000 m. La sua conformazione attuale è il risultato di una serie di interventi antropici che, a partire dal XVI secolo, hanno drasticamente influito sull'evoluzione naturale. La deviazione dei maggiori tributari al di fuori della laguna, ha comportato una drastica riduzione dell'apporto di sedimenti in laguna. È stata stimata una riduzione dell'apporto solido da 700.000 m<sup>3</sup> l'anno nel XVI secolo, ai 30.000 m<sup>3</sup> attuali, che, se ha evitato l'interramento della laguna, ha tuttavia innescato una serie di processi erosivi.

L'area di studio è stata scelta in località Scanello, in prossimità dell'Isola di Burano, sulla base di evidenti processi erosivi (Foto 1) e deposizionali (Foto 2) in atto, e perché presenta, in pochi chilometri quadrati, gran parte degli elementi morfologici tipici dell'ambiente lagunare quali: canali, ghebi, chiari, barene, velme, paludi, ecc. In particolare lo studio ha interessato una barena, già ben evidente nella cartografia storica del 1931 ed un'altra formatasi negli ultimi 20 anni, qui rispettivamente indicate come Barena Vecchia e Barena Nuova.

#### 3.1. Rilevamenti topografici e batimetrici

Con stazione totale posizionata sul caposaldo GPS di Barena Scanello e orientamento al vertice IGM di primo ordine, materializzato dall'asse verticale della cuspide del campanile di San Marco, si è proceduto, alle operazioni di celerimensura. Sono state quindi determinate le coordinate plano-altimetriche del perimetro della Barena Vecchia e della Barena Nuova, nonché quelle del chiaro che comunica con la Palude della Centrega e la geometria dei principali ghebi.



Foto 1 - Barena Vecchia: esempio di erosione nel settore meridionale prospiciente il Canale di Burano; la microfolesia raggiunge un metro di altezza.

*Barena Vecchia: erosion in the southern section facing the Burano Canal; the escarpment is one meter high.*



Foto 2 - Barena Nuova: settore con tasso di accrescimento medio di 2.5 metri l'anno.

*Barena Nuova: area with an average 2.5 meter/year accretion rate.*

Oltre al perimetro delle due barene, sono state determinate le quote del piano campagna per circa 1200 punti complessivi.

Per completare la carta morfologica nelle aree non coperte dal rilevamento in situ, ci si è valse del supporto di levate aeree, dalle quali si sono prodotte immagini raster, tramite scansione ad alta risoluzione. Tali immagini sono state successivamente compensate sia utilizzando punti trigonometrici sia elementi morfologici quali ghebi e chiari facilmente identificabili e stabili nel tempo.

Il rilevamento plano-altimetrico di dettaglio ha evidenziato una notevole variabilità delle quote nei diversi settori delle barene. In generale le quote più elevate si trovano in corrispondenza di quei margini costituiti da microfolesie di circa 30-40 cm di altezza sul l.m.m. mentre le più basse sono quelle relative alle velme e ai settori centrali costituiti da zone depresse note come chiari. La morfologia dei margini è sostanzialmente di due tipi: quella a microfolesia, sempre prospiciente i canali e soggetta all'azione erosiva del moto ondoso e delle correnti di marea e quella degradante a velma in generale soggetta al ripascimento di sedimenti.

Il rilevamento batimetrico (Fig. 1), effettuato in Canale Scanello ed in alcuni rami secondari tra i quali quello che separa le due barene sopra citate, ha individuato irregolarità morfologiche che indicano una intensa azione erosiva delle correnti di marea; si tratta di alcune fosse con profondità anche superiori a 11 metri, decisamente anormali, soprattutto se rapportate alla lunghezza, larghezza e profondità media del canale, rispettivamente di circa 2 Km, di 80-100 metri e 4m.

#### 3.2. Determinazione dei trend evolutivi

La dinamicità delle strutture morfologiche emerse è stata valutata sia a scala decennale che stagionale, confrontando la cartografia storica, le foto aeree degli ultimi decenni ed una serie di rilevamenti recenti.

Le tendenze evolutive a scala decennale (Fig. 2) sono state valutate attraverso il confronto della cartografia storica del 1931, una serie di riprese aereo-fotografiche relative agli anni 1961, 1968, 1987 ed il rilevamento in situ del 1996.

Il trend evolutivo attuale invece, è stato quantificato mediante il confronto dei rilievi in situ del Luglio 1996, Aprile 1997 e Dicembre 1997.

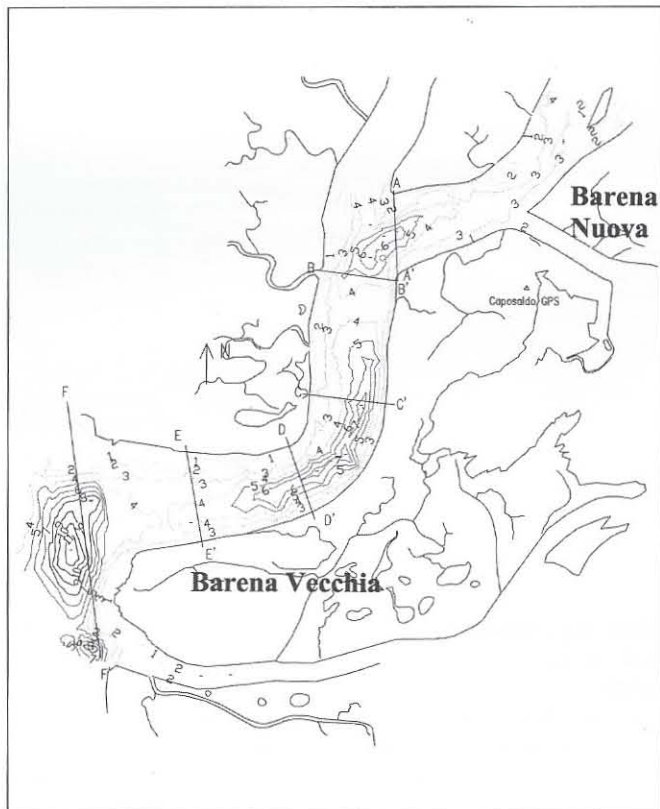


Fig. 1 - Carta batimetrica (isobate in metri) e tracce delle sezioni. Bathymetric map (isobaths in meters).

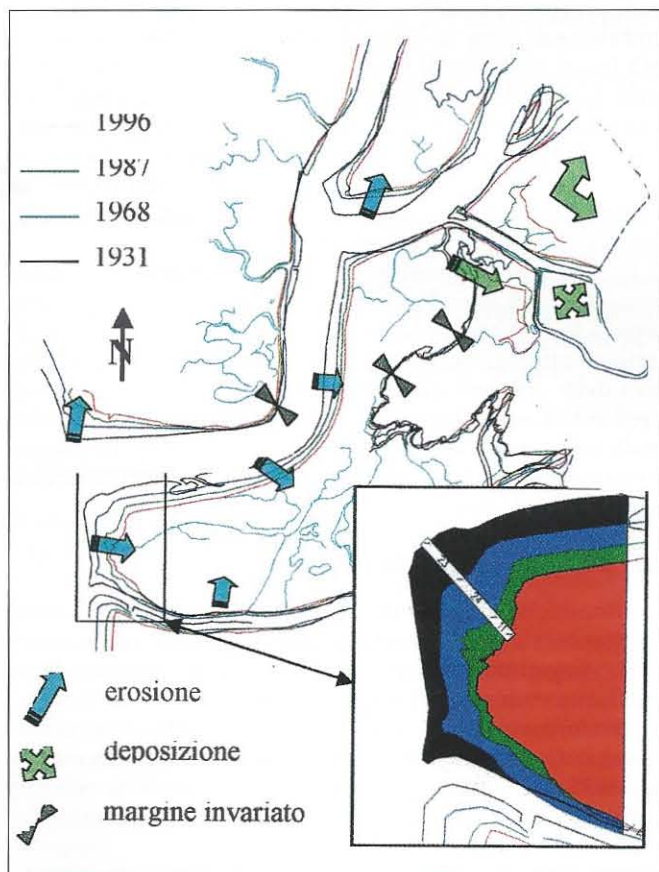


Fig. 2 - Evoluzione dei margini delle barene dal 1931 al 1996. Evolution of salt marsh edges (1931-1996).

In generale si sono potute constatare differenti condizioni evolutive: la variazione del margine perimetrale sia per erosione che per deposizione, la relativa stabilità di alcuni ghebi e di alcuni chiari ed il generale approfondimento dei canali ed in particolare delle fosse.

Nella punta Sud-Ovest della Barena Vecchia, prospiciente il Canale di Burano e lungo tutto il bordo esterno del meandro di canale Scanello, si nota una erosione molto consistente e continua dal 1931 al 1997. Nel lato settentrionale ed in quello orientale invece, si nota una erosione molto più ridotta ed in alcuni settori un ampliamento della superficie barenicola con riduzione del chiaro principale.

L'area che attualmente corrisponde alla Barena Nuova, nella cartografia del 1931 era sommersa. Dalle fotografie aeree del 1961 e del 1968 si intravede la formazione di una velma e, dai rilievi successivi, la trasformazione a barena a seguito di una continua progradazione areale con accrescimento verticale.

Il trend dei processi erosivi e deposizionali sui margini delle due barene è schematizzato nella tabella 1.

La tendenza evolutiva dei processi morfologici nei canali perimetrali delle barene è stata valutata confrontando i rilievi batimetrici attuali con quelli riportati nella carta storica del 1931 (Fig. 3).

In generale il Canale Scanello ha subito principalmente l'erosione delle sponde ed, in misura minore, l'approfondimento dell'alveo, quest'ultimo più marcato in corrispondenza di alcune fosse appena accennate dalla cartografia storica.

#### 4. Lo stagno costiero o Laguna di Orbetello

Lo stagno costiero o laguna di Orbetello copre un'area di circa 27 Km<sup>2</sup> ed è separato dal mare dal tombolo di Giannella e da quello di Feniglia che si protraggono dalla terraferma al Monte Argentario. Un terzo tombolo, sul quale è ubicata la città di Orbetello, con il suo prolungamento artificiale (Ponte Diga) divide la Laguna di Ponente da quella di Levante (Fig. 4).

L'interscambio bio-fisico mare/laguna, che avviene attraverso tre canali di limitate dimensioni (20-30 m di larghezza e 1,5-2,5 m di profondità), è molto ridotto. La mancanza di circolazione attiva, la profondità media inferiore al metro del fondale e le maree ridottissime hanno comportato una serie di gravi crisi ambientali con proliferazione di alghe, anossia e moria di pesce con gravi ripercussioni sull'itticoltura e sul turismo.

Tra gli interventi primari di salvaguardia si ricorda lo scavo e l'approfondimento di alcuni canali per aumentare l'idrodinamica locale.

Col materiale derivato dai dragaggi sono state costruite delle casse di colmata, alcune di queste con configurazione di vere e proprie isole.

L'esempio di applicazione del rilevamento geomorfologico di alta precisione qui riportato è riferito alla progettazione degli interventi per la naturalizzazione delle casse di colmata della Laguna di Ponente: "Isola 1, Isola 2, Isola 3, Cassa di Ponte Diga e Cassa degli Stretti".

Per le modalità di riempimento, effettuato mediante il refluito di una miscela di acqua e sedimento da un settore e la dispersione della stessa nel settore opposto, la superficie topografica e la distribuzione dei sedimenti risulta alquanto differenziata. In prossimità della bocca di refluito si sono accumulati i sedimenti più grossolani

Periodo	Anni	Arretramento massimo del margine di Barena Vecchia (m)	Tassi massimi di erosione (m/anno)
1931-1968	37	23	0,6
1968-1987	19	24	1,3
1987-1996	9	11	1,2
07/1996-12/1997	1,5	5,9	4,0

Periodo	Anni	Progradazione massima del margine di Barena Nuova (m)	Tassi di Progradazione (m/anno)
1931-1968	37	0	0
1968-1987	19	56	2,9
1987-1996	9	24	2,6
1931-1996	65	80	5,5

Tabella 1 - Valori di arretramento del margine della Barena Vecchia prospiciente il canale di Burano e valori di progradazione della Barena Nuova.

*Erosion and progradation rates for the Barena Vecchia and Barena Nuova.*

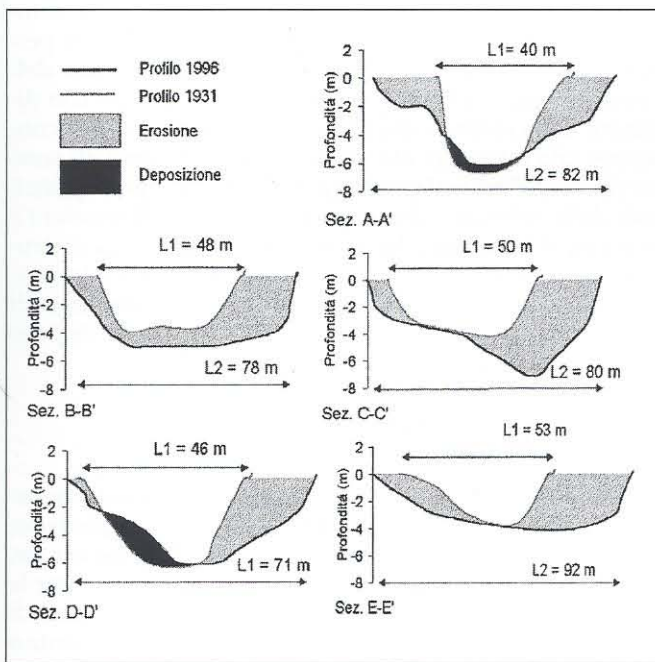


Fig. 3 - Variazioni morfologiche dal 1931 al 1996 nel Canale Scanello; ubicazione delle sezioni in figura 1.

*Cross sections of morphological variations along the Scanello Canal from 1931 to 1996.*



Fig. 4 - Area di studio e dettaglio dei siti rilevati nella Laguna di Orbetello: (Aut. SMA 240, 13.6.96). Elaborazione dei dati MIVIS a cura del Dott. Vittorio Brando.

*Study area and details of surveyed sites in the Orbetello Lagoon.*

quali le sabbie conchigliifere che hanno conferito a questo settore le quote altimetriche mediamente più elevate. Nel settore opposto invece, sono andati a depositarsi i materiali più fini e comprimibili, del tipo limoso argilloso. Si sono qui formate aree con morfologia depressa che spesso ospitano ampi specchi d'acqua meteorica o lagunare.

Il contenimento dei sedimenti è assicurato da una palificata perimetrale rivestita internamente di geotessile che evita la dispersione in laguna.

La naturalizzazione di questi siti ha avuto come scopo primario la realizzazione di aree adatte alla sosta e/o alla nidificazione della avifauna acquatica e alla colonizza-

zione di specie vegetali. Per questo, le casse di colmata hanno richiesto interventi finalizzati a recuperare o creare settori sia con vegetazione alofila e con superfici stagionalmente allagate, idonee per l'alimentazione di limicoli, anatidi, ecc. sia con vegetazione arborea e arbustiva per la nidificazione di Ardeidi in isole irraggiungibili da predatori terrestri.

Nella progettazione degli interventi di modellamento, si è tenuto conto anche degli aspetti estetici che, oltre ad essere in contrasto con l'ambiente naturale circostante costituiscono un forte ostacolo alla colonizzazione faunistica dei siti. In particolare si è provveduto alla riduzione delle palificate di difesa e contenimento del materiale re-

fluito che, con altezza ben superiore alla quota media dei sedimenti interni ed al livello della laguna, costituivano barriere fisiche e visive continue ed evidenti anche per la presenza del geotessuto nero, che, laddove risulta strap-pato o non ancorato alla palificata, muovendosi al vento, scoraggiava l'avvicinamento dell'avifauna.

In sintesi i principali interventi di naturalizzazione sono stati:

- il taglio delle palificate perimetrali a livello del sedimento interno o del fondo lagunare senza compromettere la stabilità del sito;
- il modellamento delle superfici e la stabilizzazione delle scarpate;
- l'apertura di canalette per lo scambio biofisico tra gli specchi d'acqua interni delle casse di colmata e la laguna;
- la realizzazione di isolotti per la creazione di siti mirati alla colonizzazione e nidificazione dei fenicotteri;
- la piantagione di alberi e arbusti.

Di seguito, come esempio, vengono illustrati i criteri di progettazione ed alcuni degli interventi effettuati in tre delle cinque casse di colmata.

#### 4.1. Cassa di colmata "Isola 2"

Dal rilevamento altimetrico e litologico si può notare la stretta relazione tra l'altimetria e la distribuzione dei sedimenti come conseguenza del refluitamento. Fanno eccezione le fasce a ridosso della palificata, ove, per facilitare le operazioni di infissione dei pali, è stato necessario dragare un canale a ridosso dell'isola accumulando il materiale di scavo all'interno, parallelamente alla palificata. Questo materiale eterogeneo forma un rialzo con una serie di creste continue e strette tra la palificata e la zona depressa centrale.

La depressione centrale o laghetto interno (Foto 3), costituita da sedimenti molto molli e non consolidati, si trova a quote più basse rispetto al livello medio della laguna con la quale comunica attraverso un canale parzialmente ostruito che si apre sul punto più a nord della palificata.

I principali interventi progettati sono stati: il taglio della palificata a quota media di +0.1 m rispetto al livello mare, il modellamento del canale settentrionale per favorire l'interscambio idrico tra le acque interne e la laguna e lo scavo di altri due canaletti, rispettivamente lungo il lato orientale e quello occidentale.



Foto 3 - Veduta aerea dell'Isola 2 (Foto Dott. M. Lenzi).  
Aerial view of Isola 2.

Nel settore meridionale inoltre, in una parcella di circa 1500 m<sup>2</sup>, localizzata nella porzione più rilevata dell'isola, dopo il modellamento della superficie, sono stati messi a dimora arbusti mediterranei (lentisco, fillirea e rosmarino) e tamerici.

#### 4.2. Cassa di colmata "Isola 3"

La presenza nelle vicinanze dell'Isola 3 di una colonia di fenicotteri, l'ubicazione e le ottimali caratteristiche morfologiche e litologiche di questo sito, sono state determinanti per favorire l'instaurarsi di un habitat adatto alla colonizzazione di questa specie di uccelli. Questo sito infatti, è l'unico con i requisiti morfologici richiesti e cioè essere irraggiungibile dai predatori terrestri con settori parzialmente emersi e sedimenti limo-argillosi privi di vegetazione. L'area più adatta a questo scopo è quella centro meridionale, mentre quella settentrionale, più elevata, maggiormente sabbiosa e con specie vegetali spontanee, è risultata più adatta alla colonizzazione da parte di altre specie ornitiche meno esigenti.

Gli interventi progettati sono (Fig. 5): il taglio completo della palificata alla quota del sedimento di fondo laguna in modo da consentire un'evoluzione morfologica naturale del margine e lo scavo di quattro canaletti per permettere l'interscambio biofisico tra il lago interno dell'isola e la laguna. I canaletti sono stati progettati con direzioni coincidenti a quelle dei venti principali per consentire una maggiore idrodinamica. Questi canaletti sono serviti anche ad isolare maggiormente dal corpo principale della colmata i settori preposti per la nidificazione e in parte, il loro scavo ha fornito materiale per la costruzione di due isolotti per la nidificazione (Foto 4). Inoltre, nella parte settentrionale è stato progettato l'intervento di modellamento che ha riguardato una superficie di poco inferiore ad un ettaro.

#### 4.3. Cassa di colmata "Ponte Diga"

La Cassa di colmata di Ponte Diga è separata dalla terraferma da un canale di gronda che raccoglie le acque di deflusso superficiale del Monte Argentario. Questo canale, per i parziali interramenti agli sbocchi in laguna e per le brusche variazioni di direzione, durante il verificarsi di eventi climatici particolarmente intensi non è sufficiente a far defluire in laguna le acque meteoriche provocando allagamenti dell'adiacente strada. Il lato della colmata rivolto verso la laguna invece presenta una palificata lunga 620 metri.

In generale, i terreni prevalentemente sabbiosi (Tipo 1 e 2) costituiscono i settori con morfologia più elevata, mentre quelli argillosi (Tipo 5) sono caratteristici delle zone depresse, stagionalmente allagate dalle acque meteoriche e prive di interscambio con la laguna (Fig. 6).

Gli interventi di progetto previsti per la Cassa di Ponte Diga sono stati limitati al parziale taglio dei pali a livello del sedimento interno (Foto 5, 6), all'allargamento del canale di gronda in corrispondenza dello sbocco in laguna all'estremità nord occidentale della cassa ed allo scavo di un canale di comunicazione tra la depressione sudorientale e il canale di gronda.

Infine, nelle porzioni più elevate, inadatte alla vegetazione igro-alofila, è stata prevista la messa a dimora di arbusti mediterranei (lentisco, fillirea e rosmarino), per complessivi 500 m<sup>2</sup>.

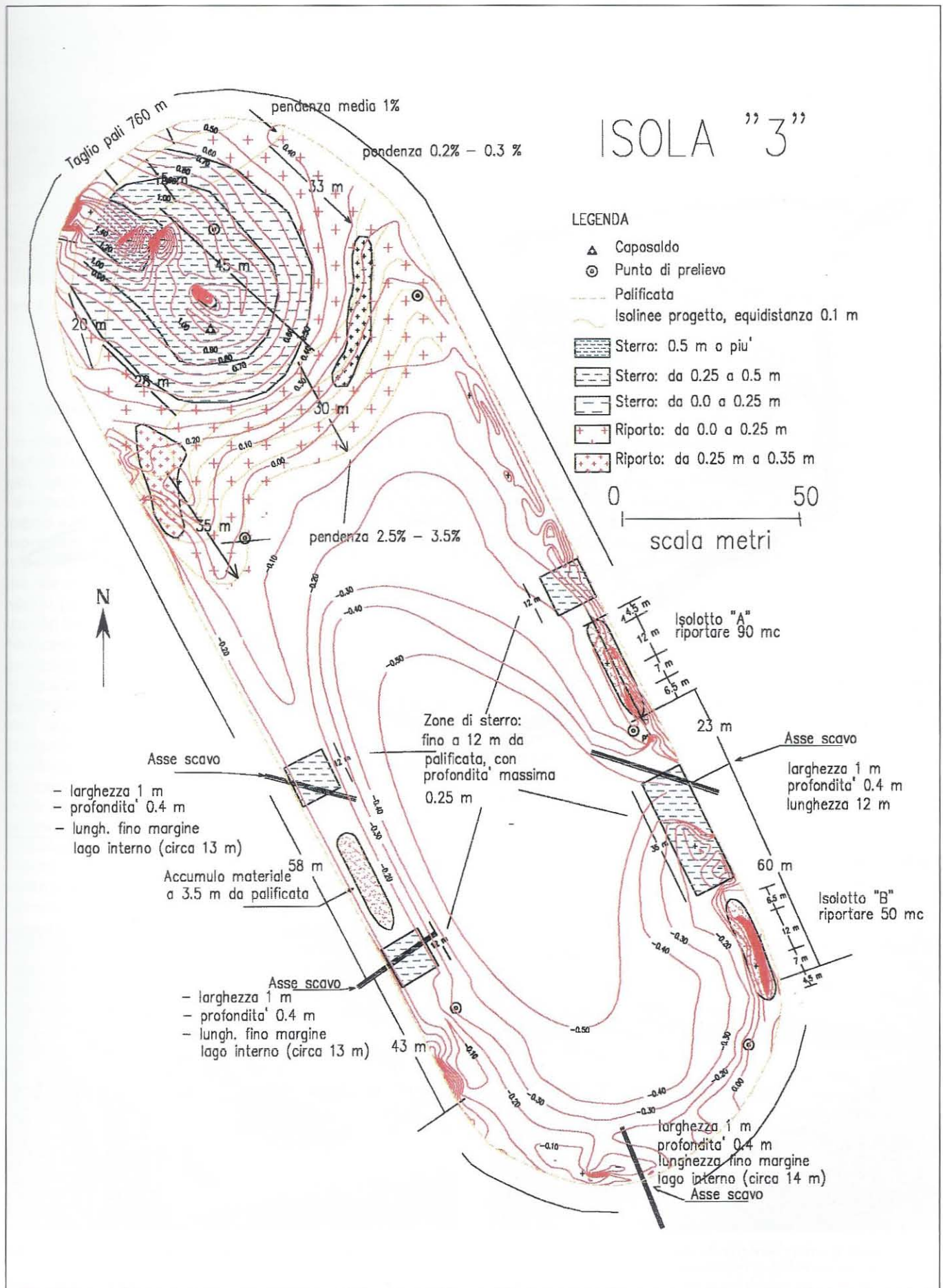


Fig. 5 - Isola 3: mappa altimetrica e interventi di modellamento morfologico.  
Isola 3: topographic map and morphological restoration plan.



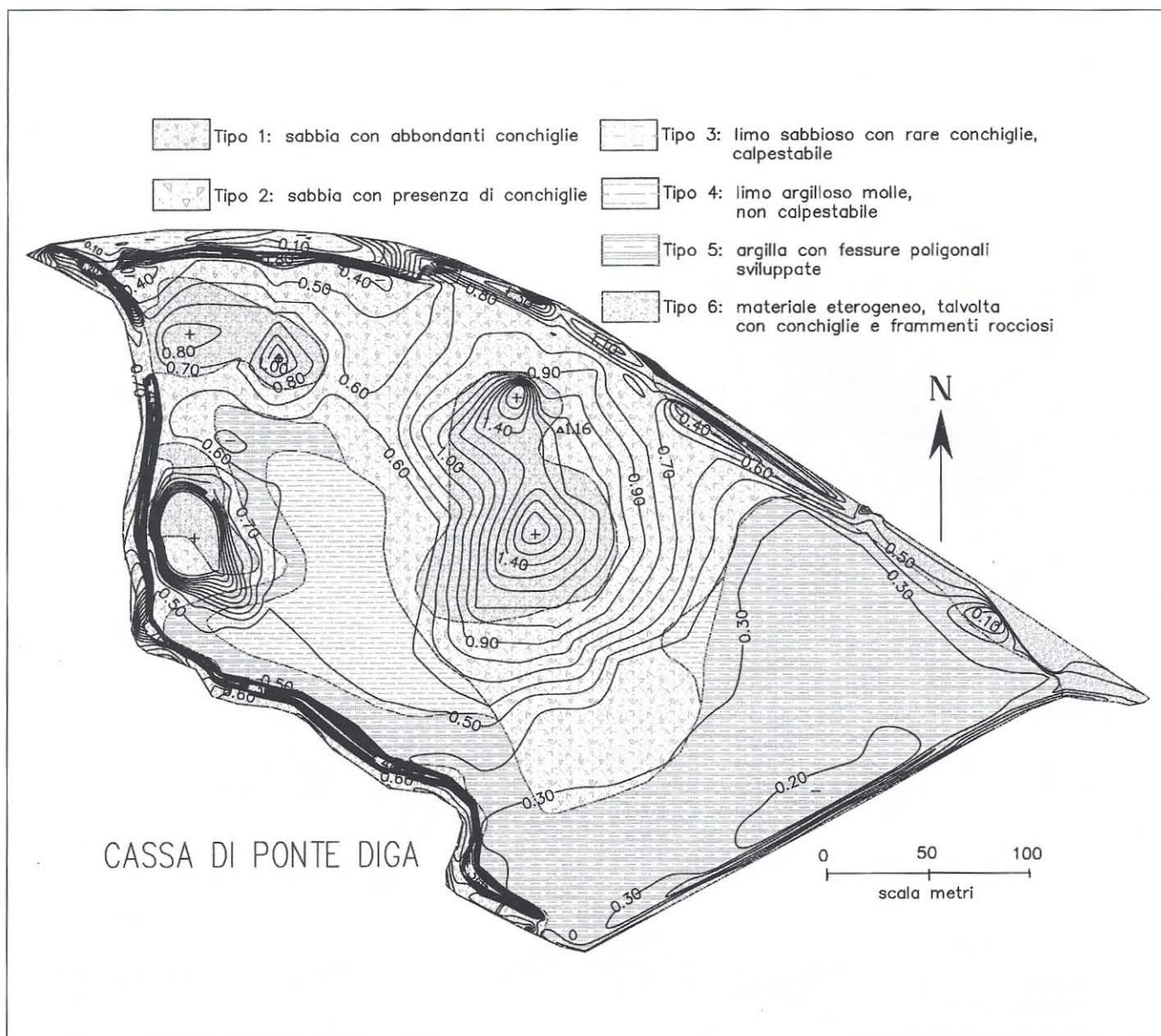


Fig. 6 - Cassa di Ponte Diga: mappa altimetrica e litologica.  
 Casse di Ponte Diga: lithological, topographic map.

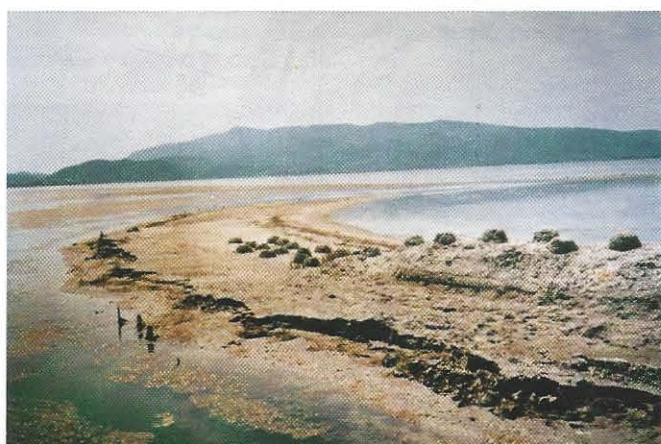


Foto 4 - Isola 3: settore meridionale dopo gli interventi di modellamento morfologico; in primo piano l'isolotto artificiale con i nidi di invito per i fenicotteri.  
 Isola 3: southern sector after geomorphological modelling showing the islet with man made nests for flamingos (*Phoenicopterus ruber*).



Foto 5 - Ponte Diga: settore orientale prima degli interventi di modellamento morfologico.  
 Ponte Diga: eastern sector before geomorphological modelling.



Foto 6 - Ponte Diga: settore orientale dopo gli interventi di modellamento morfologico.

*Ponte Diga: eastern sector after geomorphological modelling.*

## 5. Considerazioni conclusive

Lo scopo di questo studio è stato quello di indicare una metodologia per il monitoraggio degli elementi morfologici, applicabile all'ambiente lagunare, che fosse speditiva e nello stesso tempo di precisione. A tal fine si sono messe a punto ed impiegate metodologie di rilevamento topografico e batimetrico che, integrando i rilevamenti con sistema tradizionale con l'utilizzo del GPS in modalità sia statica-differenziale che cinematica-differenziale, hanno permesso la visualizzazione dei risultati delle misure in tempo reale ed il controllo dei dati.

Nel caso della Laguna di Venezia, il rilevamento geomorfologico di dettaglio, eseguito su un'area campione, in località Scanello, nei pressi dell'Isola di Burano, rappresentativa dei processi erosivo-deposizionali del settore lagunare settentrionale, ha avuto lo scopo di approfondire le conoscenze delle tendenze evolutive della morfologia di alcuni canali e barene al fine di realizzare opportuni piani di gestione del traffico acqueo ed interventi di stabilizzazione e protezione dei vari elementi geomorfologici soggetti al degrado.

L'evoluzione geomorfologica passata, periodo 1931-1987, è stata dedotta dall'analisi delle immagini ottenute dalla restituzione digitale della cartografia storica e delle riprese fotografiche aeree opportunamente calibrate con punti georeferenziati e con elementi morfologici invariati nel tempo ed indipendenti dai livelli di marea.

Il trend evolutivo attuale (1996-1997) è stato quantificato attraverso il monitoraggio degli elementi più dinamici, con rilevamenti piano-altimetrico e batimetrico e con riprese fotografiche aeree. Anche in questo caso l'analisi delle immagini è stata preceduta da un'accurata calibrazione. I risultati ottenuti hanno evidenziato che il tasso medio di erosione, di circa 0,6 m/anno per il periodo 1931-1968, di 1,3-1,2 m/anno per i decenni successivi, ha raggiunto punte massime di 4 m nel periodo 1996-1997. Parallelamente il confronto tra le misure batimetriche del 1931 e quelle del 1996 ha evidenziato una accentuata erosione dei fianchi dei canali ed un generale approfondimento dei fondali. In particolare l'analisi dei profili morfologici dei canali e delle barene ha permesso di distinguere settori ove l'erosione è imputabile principalmente all'azione delle correnti ed altri in cui a questa si somma quella del moto ondoso.

Oltre all'azione erosiva, sono stati evidenziati anche processi di deposizione che hanno determinato l'accresci-

mento e la progradazione di alcuni settori delle barene e delle velme. Questo processo è particolarmente evidente nella barena nuova con un tasso di espansione di circa 2,6 m/anno per l'ultimo decennio.

Nella Laguna di Orbetello, la presenza di cinque casse di colmata, ottenute con il refluito del materiale proveniente dal dragaggio e scavo di alcuni canali, ha fornito la creazione di nuove aree indisturbate potenzialmente adatte alla formazione di colonie nidificanti e/o dormitori invernali.

Il rilevamento geomorfologico dettagliato delle casse di colmata ha fornito le basi cartografiche indispensabili per la corretta progettazione dei diversi interventi di naturalizzazione.

Il modellamento morfologico è stato effettuato attraverso operazioni di sterro e riporto, di taglio delle palificate di contermineazione e di scavo di canaletti per favorire l'interscambio bio-fisico tra gli specchi d'acqua interni delle colmate e la laguna. La creazione di aree indisturbate, adatte alla sosta e alla nidificazione delle varie specie ornitiche è stata effettuata con lo scavo o l'approfondimento di canaletti e la realizzazione di barriere vegetali (filari di tamerici) che hanno reso le colmate, completamente o in alcuni settori, inaccessibili ai predatori e all'uomo. In particolare, per soddisfare le esigenze del *Phoenicopertus ruber*, sono stati realizzati degli appositi isolotti aventi morfologia e litologia ben definita.

Infine sulla base del rilevamento litologico sono state identificate le diverse zone per la piantumazione delle varie specie arboree ed arbustive.

## RINGRAZIAMENTI

Le ricerche sono state finanziate da: CNR, Magistrato alle Acque di Venezia e Consorzio Venezia Nuova per l'area veneziana; dall'Unione Europea, Regione Toscana, Provincia di Grosseto e Comune di Orbetello (Progetto LIFE) per la Laguna di Orbetello. Gli Autori ringraziano i collaboratori: Dott.ri Nicola Baccetti (INFS), Paolo Sposimo (Nemo sas), Marco Giada (Morgan srl), Paolo Pelusi (WWF-Italia), Mauro Lenzi (Coop. La Peschereccia) e Antonio Galgaro (Università di Padova). Infine un particolare ringraziamento ai Sig.ri Ernesto Canal per le preziosissime informazioni storiche e geoarcheologiche, ad Armando Penzo e Narciso Zennaro per l'assistenza con i mezzi nautici ed al Dott. Vittorio Brando per l'elaborazione dei dati MIVIS.

## BIBLIOGRAFIA

- BONARDI M., CANAL E., CAVAZZONI S., SERANDREI BARBERO R., TOSI L., GALGARO A., GIADA M. (1997): *Sedimentological, Archaeological and Historical evidences of paleoclimatic changes during the Holocene in the Lagoon of Venice (Italy)*. World Resouce Review, 9, 4, 435-446.
- BONARDI M., TOSI L., GIADA M. (1998): *Evoluzione morfologica di un'area campione della laguna settentrionale di Venezia*. Istituto Veneto di Lettere Scienze ed Arti, (in stampa).
- BONARDI M., TOSI L. (1999): *Erosione e sedimentazione in un'area campione della laguna di Venezia*. Atti del Convegno "Conoscenza e Salvaguardia delle Aree di Pianura - Il contributo delle Scienze della Terra", Ferrara, 8-11 Novembre 1999 (in stampa).
- DALLAPORTA G., TOSI L., BACCETTI N., SPOSIMO P., GIADA M., PELUSI P., PETRETTI F., (1999): *Habitat di Numenius tenuirostris e di altre specie ornitiche minacciate: progettazione ed esecuzione di interventi di ampliamento e gestione degli ambienti di palude salmastra della Laguna di Orbetello*. Atti del Convegno "Conoscenza e Salvaguardia delle Aree di Pianura - Il contributo delle Scienze della Terra", Ferrara, 8-11 Novembre 1999 (in stampa).

