

2. VARIAZIONI TEMPORALI DELLE AREE DI BARENA

Le barene sono strutture essenzialmente piatte e la loro dimensione principale è quella relativa all'estensione della loro superficie, caratteristica che può essere misurata attraverso le immagini. La sovrapposizione di immagini raccolte in tempi diversi descrive inoltre l'evoluzione degli oggetti e permette di valutare i fenomeni attraverso elementi dinamici difficili da riconoscere altrimenti.

In questo capitolo, dopo una sommaria descrizione delle trasformazioni e delle tendenze evolutive che caratterizzano, in generale, le barene della laguna di Venezia, si riportano i risultati ottenuti studiando i cambiamenti morfologici della barena S.Lorenzo (laguna nord), tramite il raffronto diretto delle variazioni di estensione areale nel periodo compreso tra il 1968 e il 1998. Lo studio è stato condotto confrontando una carta topografica ed una foto aerea¹.

2.1 Tendenze evolutive delle barene in laguna di Venezia

L'attuale conformazione della laguna di Venezia, è il risultato di un complesso insieme di fattori naturali che ne hanno determinato la formazione ed un succedersi d'interventi antropici che ne hanno modificato la naturale tendenza evolutiva.

¹ Le fotografie aeree sono effettuate mediante l'utilizzo di camere fotografiche molto complesse e di notevoli dimensioni, montate su un aereo. In generale tali foto vengono realizzate per uso fotogrammetrico, tecnica che consente, attraverso due immagini riprese da due punti diversi, di ricostruire la forma e le dimensioni della porzione di terreno ripresa e di passare attraverso la proiezione ortogonale alla sua rappresentazione cartografica. Le foto sono, dal punto di vista geometrico, una proiezione centrale (i raggi che generano sulla fotografia le immagini del terreno, passano tutti per uno stesso punto che è il centro dell'obiettivo) e sono metricamente corrette poiché la distorsione dell'obiettivo è trascurabile.

Gli interventi di diversione dei fiumi, la costruzione dei moli foranei, lo scavo di nuovi e profondi canali portuali e la sottrazione d'aree all'espansione di marea, hanno ridotto drasticamente l'apporto di sedimenti in laguna ed hanno innescato i processi erosivi che sono evidenti soprattutto nella rapida regressione degli apparati intertidali.

È indicativo di queste trasformazioni, un confronto tra i rilievi del 1912 ed i rilievi effettuati attorno al 1930 (Albani et al., 1984), che indica una riduzione delle aree a barena di 58 km² (da 149 a 91 km²).

Un altro riferimento, si ottiene dal confronto delle carte idrografiche in scala 1:500 realizzate rispettivamente nel 1930 e nel 1970 dall'Ufficio Idrografico del Magistrato alle Acque (Rusconi, 1987) che mostra una riduzione complessiva delle aree di barena di circa il 40% (da 72 a 47 km²).

Verifiche più recenti, eseguite nel 1994 mediante rilievi batimetrici, riportano una superficie di barena pari a 37 km² (Consorzio Venezia Nuova, 1994).

A conclusione, nonostante i risultati dei diversi autori non concordino perfettamente, si può stimare per il secolo, una riduzione delle aree a barena di circa il 70% (Adami et al., 1992).

Tra le cause principali della costante e rapida riduzione delle superfici di barena, vi è il bilancio fortemente deficitario tra sedimenti uscenti ed entranti in laguna, unitamente al fenomeno di subsidenza, che interessa il territorio veneziano e l'innalzamento del livello del mare.

Uno studio promosso dal Consorzio Venezia Nuova (1996), evidenzia come ogni anno si depositano sulle barene circa 160 mila m³ di sedimento con un valore medio di accrescimento (spessore di sedimenti che si deposita sulla superficie della barena) pari a circa 0,4 cm/anno. Nonostante questi volumi siano complessivamente ragguardevoli, non sono sufficienti a compensare la naturale perdita di quota delle superfici barenali e quindi a mantenere le barene allo stesso livello rispetto al mare. È inoltre necessario ricordare che, se da un lato vi è sedimentazione superficiale, dall'altro è noto che ingenti volumi di sedimento vengono persi per erosione dai margini delle barene stesse. Il bilancio netto consiste in una perdita di circa 70 mila m³ di sedimento l'anno e con questo ritmo entro il 2050 le barene potrebbero essere completamente scomparse (Consorzio Venezia Nuova, 1996).

La *subsidenza* naturale, è causata dalla progressiva compattazione dei sedimenti ed in parte dalle deformazioni tettoniche del substrato. Il territorio veneziano è interessato da questo fenomeno in misura modesta quindi la subsidenza naturale ha un'evoluzione temporale lenta, avvertibile solo in tempi storici o geologici. Al contrario la subsidenza indotta dalle attività antropiche si esplica nell'arco di una o due generazioni con effetti avvertibili in tempi brevi. Uno

studio effettuato nell'ambito del Progetto "Sistema lagunare Veneziano" ha evidenziato come negli ultimi decenni, cessata l'attività estrattiva dalle falde acquifere, la velocità di abbassamento del suolo sia in media di 0,4 mm/anno (Co.Ri.La., 1999).

L'*eustatismo*, fenomeno di variazione del livello del mare, è indotto da variazioni climatiche che influenzano la massa e il volume degli oceani; esso risulta quindi positivo nei periodi caldi, durante i quali il livello del mare aumenta, negativo nei periodi freddi con un conseguente abbassamento del livello del mare. Entro le fluttuazioni climatiche a "grande scala" (dell'ordine delle centinaia di anni) si ha un'alternanza di cicli freddo-umido e caldo-secco (cicli di Brückner) dell'ordine delle decine di anni. Nel periodo 1950-1970, freddo-umido, le forti mareggiate hanno concorso sensibilmente a fare arretrare la linea dei litorali in quanto la mancanza di materiali a mare non ha controbilanciato l'azione erosiva del moto ondoso. È seguito per tutti gli anni '80 un periodo caldo-secco, caratterizzato da scarsa piovosità e scarsa frequenza di forti mareggiate. Dai primi anni '90 sembrerebbe essere iniziato un nuovo ciclo freddo-umido, testimoniato dalla maggior frequenza delle piene dei fiumi e dalla ripresa di forti mareggiate lungo le coste adriatiche (Marabini, 2000). Analisi recenti in diverse località indicano che il livello medio del mare è cresciuto mediamente dall'inizio del secolo di circa 1,5-2 mm/anno (Co.Ri.La., 1999).

Nel corso dell'ultimo secolo, l'abbassamento del suolo e l'innalzamento del mare hanno prodotto una perdita di quota di 25 cm (Consorzio Venezia Nuova, 1996).

Le ampie estensioni di barena tuttora esistenti hanno altimetria estremamente ridotta e ciò rappresenta un ulteriore problema se messo in relazione con il paventato innalzamento del livello marino dovuto a cambiamenti climatici su scala globale, dell'ordine di diverse decine di centimetri entro il 2100 (Sestini, 1992; Co.Ri.La., 1999). È evidente, infatti, che queste aree potranno continuare ad esistere solo se la loro quota si accresce in misura superiore od uguale all'aumento del livello marino. In caso contrario, le superfici barenali saranno sempre più frequentemente sommerse, con profonde modifiche della loro morfologia e della copertura vegetale fino ad arrivare ad una totale scomparsa. Molto grave inoltre, appare l'estensione dei processi di erosione frontale delle barene, che prevedibilmente porterà ad una loro netta riduzione nel prossimo futuro.

Le osservazioni appena esposte si riferiscono all'intero bacino lagunare ed hanno valore generale poiché fenomeni come la subsidenza e l'aumento del livello del mare, interessano tutta l'area. Tuttavia l'effetto risultante, almeno per quanto riguarda i cambiamenti subiti dalla morfologia lagunare, è sensibilmente diverso da zona a zona, perché diversi sono i processi morfodinamici influenzati anche da altri fattori, come i ritmi di sedimentazione ed il

comportamento del substrato, generalmente legati ai processi che hanno portato alla formazione della morfologia lagunare (Favero, 1992). Ad esempio, in uno studio condotto per valutare la variazione delle superfici componenti il bacino lagunare tra il 1930 e il 1970, (Rusconi, 1987) si calcola un lieve incremento delle barene dislocate lungo il canale di Treporti indicando che esse ricevono ancora sedimenti in quantità sufficiente a compensare gli effetti di erosione e sommersione.

Inoltre, la scomparsa delle barene procede con ritmi assai diversi (Favero, 1992). Le barene formatesi al margine di zone continentali emerse, dove i terreni sono stati impregnati di acque salmastre, presentano un substrato piuttosto compatto, formato da sedimenti poco costipabili. Questa situazione è caratteristica lungo il margine continentale di Campalto dove la fascia di barene, pur risentendo del generale processo di sommersione, presenta una notevole stabilità. Assai vistoso e completamente irreversibile è stato il processo di scomparsa delle barene insediatesi nelle aree depresse un tempo occupate da paludi d'acqua dolce dove si erano depositati sedimenti ricchi di materiale organico e talora torbe. Situazioni ambientali di questo tipo erano presenti nel settore occidentale della laguna, dove si immettevano le acque del Brenta e di altri fiumi minori che hanno favorito la deposizione di estesi strati di torba e di limi palustri; simili sedimenti si trovano anche nel bacino settentrionale della laguna dove si immettevano le acque del Sile. Quando le acque dolci sono state allontanate dal bacino lagunare, le acque salmastre hanno favorito la comparsa di estese barene ma, contemporaneamente, è iniziato il processo di costipamento dei sedimenti che ha portato ad una rapida regressione delle barene. Resistono maggiormente a questo processo regressivo le barene insediatesi sugli argini naturali dei corsi d'acqua che sfociavano in laguna, argini formati da sedimenti a tessitura relativamente più grossolana, talora addirittura sabbiosa, con scarsi resti vegetali, così da costituire un substrato più resistente. Talora la scomparsa delle barene insediatesi nelle adiacenti paludi e la persistenza di quelle insediatesi sugli argini naturali, permettono di riconoscere il tracciato degli antichi corsi d'acqua.

In generale le barene sono fortemente sensibili alle variazioni che intervengono in tutta l'area lagunare e per questo motivo, vengono considerate tra gli indicatori naturali più significativi dello stato di salute dell'intero sistema. Inoltre, a differenza delle altre strutture che caratterizzano la morfologia lagunare (paludi, laghi, bassifondi, velme, canali, ghebi), esse offrono il vantaggio di essere più facilmente studiate essendo sommerse completamente dall'acqua solo durante le alte maree eccezionali ed essendo ricoperte da vegetazione alofila che ne disegna con buona approssimazione i contorni.

2.2 La barena S. Lorenzo

Lo studio ha interessato una barena situata all'interno del bacino del Lido (laguna nord), di fronte all'abitato di Treporti nota come barena San Lorenzo (*Fig.2.1*). Il bacino comprende la zona che va dal partiacque tra Lido e Malamocco all'argine del Sile (alveo Piave Vecchia). Si tratta di una zona, dell'intero bacino lagunare, che presenta una grande varietà di aspetti, essendo ancora interessata sia dal flusso e riflusso di marea che dall'apporto, talora cospicuo, di acque dolci ad opera dei canali Silone e Siloncello, del fiume Dese e del canale Osellino e mostra condizioni naturali che possono avvicinarsi a quelle primitive della laguna, precedenti cioè all'intervento di diversione dei fiumi.

La barena S.Lorenzo è delimitata a nord e ad ovest dal canale di S.Lorenzo e dal canale Gaggian, a sud dal canale S.Felice e ad est dalla Palude del Tralo.

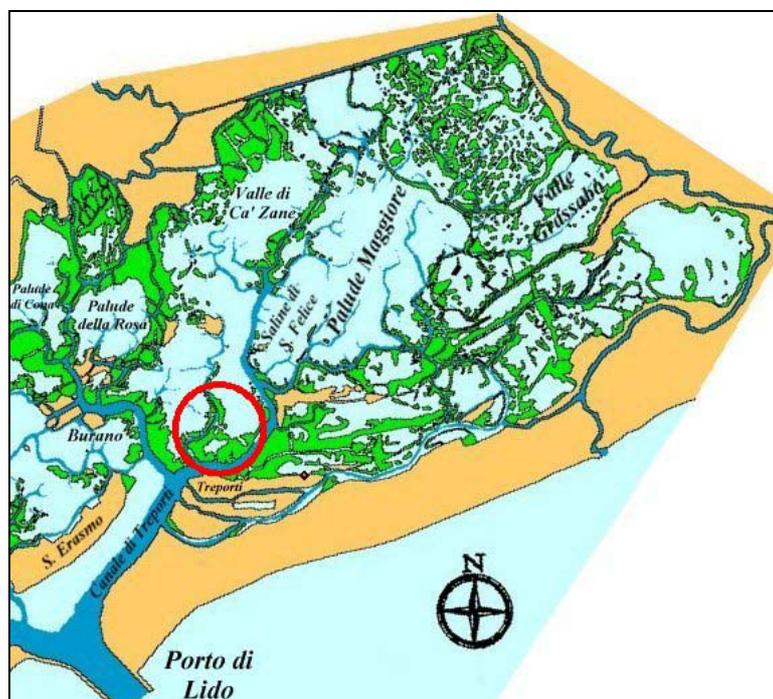


Fig.2.1 – Ubicazione della barena S.Lorenzo.

La morfologia di questa barena è caratterizzata da bordi rialzati presso i canali alimentatori e dalla superficie debolmente depressa verso le velme, che occupano la parte più interna. Ha una

quota media di 20 cm sul l.m.m. (Consorzio Venezia Nuova, 1991) e all'interno presenta ampie aree generalmente sommerse.

Studi condotti per definire il tasso di accrescimento o erosione delle barene (Consorzio Venezia Nuova, 1996), hanno indicato per la barena S.Lorenzo una riduzione della superficie associata ad una relativa stabilità della quota.

Nel passato (Consorzio Venezia Nuova, 1991) sono stati prelevati quattro campioni di terreno nei punti indicati in Fig.2.2 dei quali si riporta l'analisi granulometrica in Tab.2.I e alcuni risultati dell'analisi chimica in Tab.2.II.

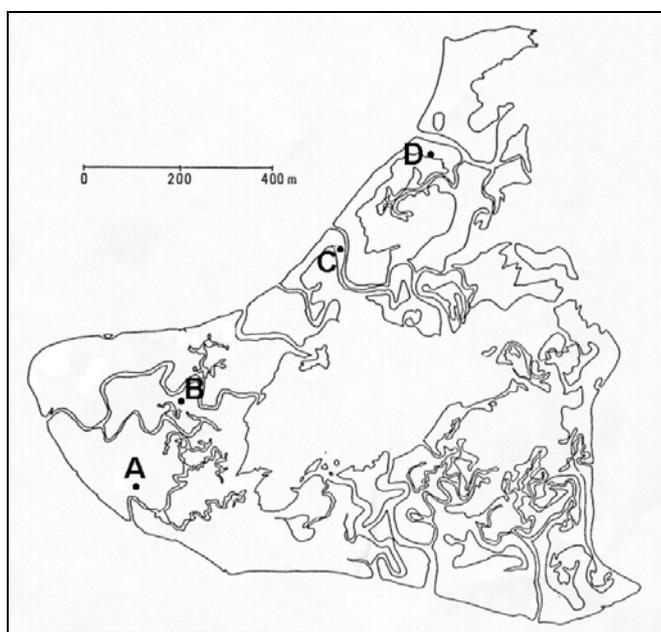


Fig.2.2 – Localizzazione dei campioni di suolo.

Tab.2.I – Analisi granulometrica (Consorzio Venezia Nuova, 1991).

STAZIONE	SABBIA (%) 0,05 ÷ 0,425	LIMO (%) 0,002 ÷ 0,05	ARGILLA (%) < 0,002
A	17,5	75,5	7,0
B	5,0	81,3	13,7
C	12,0	74,5	13,5
D	15,5	77,5	7,0

Tab.2.II – Valori di pH e sostanza organica per i quattro campioni di terreno (Consorzio Venezia Nuova, 1991).

STAZIONE	PH	SOSTANZA ORGANICA (%C ss)
A	8,35	3,12
B	7,70	5,94
C	8,45	3,40
D	8,20	2,90

Il valore più alto in sabbia si ha nel punto A, il più vicino al margine meridionale della barena, evidenziando chiaramente un ambiente di deposizione ad alta energia.

Il valore più basso si osserva invece nel punto B, in un'area depressa con terreni estremamente imbibiti d'acqua e ad alto tenore di sostanza organica. In quest'area si ha quindi una deposizione selettiva dei materiali più fini (limo e argilla). Valori elevati in sabbia, si hanno anche in corrispondenza del punto più vicino al margine settentrionale (D) e questo può essere spiegato con il fatto che il sito si trova in prossimità di un canale secondario.

L'esiguo numero di campioni non permette di fare delle considerazioni di carattere generale anche se la distribuzione dei sedimenti confermerebbe quanto detto sui meccanismi di genesi e di sviluppo delle barene (v. Cap.1) secondo i quali lungo i margini laterali e gli argini dei ghebi, dove si scarica la maggior parte dell'energia di marea, i sedimenti contengono un'elevata percentuale di sabbia rispetto alle zone più interne.

Il tenore in sostanza organica (valore medio pari al 3,8%) segue un andamento opposto a quello della sabbia e il valore medio di pH risulta essere pari a 8,1 indicando un ambiente a reazione alcalina.

2.3 Determinazione del trend evolutivo

Mediante l'utilizzo di un software commerciale per la visualizzazione e l'analisi di immagini (ENVI, *the Environment for Visualizing Images*), è stato possibile effettuare una stima non solo qualitativa ma anche quantitativa delle modificazioni areali occorse nella barena S.Lorenzo nel trentennio compreso tra il 1968 e il 1998. Lo studio si è avvalso di due immagini raster² ottenute, tramite scansione ad alta risoluzione, dalla Carta Tecnica Regionale Numerica (CTRN) del 1982 (basata su un rilievo aerofotogrammetrico del 1968) e da una foto aerea a colori

² In una rappresentazione di tipo raster l'immagine viene suddivisa in una griglia regolare di celle: ciascuna cella rappresenta l'elemento minimo dell'immagine e prende il nome di pixel (picture element).

effettuata durante un volo del 6 agosto 1998 (fornita dal Consorzio Venezia Nuova).

2.3.1 Procedura

Per poter effettuare il confronto tra le due immagini, è stato necessario riferire la foto aerea al sistema di coordinate Gauss-Boaga usato per la Carta Tecnica Regionale Numerica (CTRN). L'operazione di messa a registro deforma l'immagine in modo da ottimizzare la sovrapposizione di alcuni punti di riferimento.

La trasformazione si effettua scegliendo dei punti di controllo (GCP, Ground Control Points) che sono individuabili nell'immagine e dei quali si conoscono le coordinate geografiche. La trasformazione dell'immagine di partenza attraverso i GCP, avviene con l'utilizzo di polinomi di deformazione. In tal caso non si fa altro che eseguire un *best fit* tra immagine e sistema di riferimento sui GCP individuati.

Maggiore è l'ordine del polinomio, maggiore dovrà essere il numero totale di GCP. Perciò, di solito, si effettuano interpolazioni lineari (polinomio di primo ordine) poiché il numero di GCP che si riescono a riconoscere nell'immagine non è sufficiente per una interpolazione con polinomi di ordine superiore. Si procede con trasformazioni di ordine superiore solo se quella lineare non soddisfa.

L'RMS (*Root Mean Square*) dà un'indicazione sull'errore di posizionamento medio che ha l'immagine trasformata rispetto alle coordinate geografiche dell'immagine stessa e fornisce quindi un'indicazione sulla qualità della trasformazione. Con un'immagine avente una risoluzione spaziale di due metri, un RMS di due, indica un errore di posizionamento di quattro metri.

Una georeferenziazione perfetta dovrebbe avere logicamente, un RMS di 0,5 in quanto questo valore rappresenta la frequenza di taglio: per la teoria della misura, infatti, l'errore non può mai essere inferiore alla sensibilità dello strumento. Le misure su base pixel quindi, avranno al minimo un'incertezza di $\pm 0,5$ pixel.

Ogni volta che su un'immagine viene applicata una trasformazione geometrica, ad esempio in seguito a georeferenziazione, il risultato è che i pixel si trovano in una nuova posizione, più accurata ma la cui radiometria non rappresenta più i valori reali misurati sulla scena. Una stima dei nuovi valori di radianza e quindi dei nuovi numeri indice dei pixel, viene fatta mediante procedure di interpolazione che sono dette "tecniche di ricampionamento" (*resampling*).

Gli algoritmi di ricampionamento più diffusi sono tre:

- a) prossimo più vicino (*nearest neighbor*)

- b) bilineare
- c) bicubico (convoluzione cubica)

Con la tecnica del “prossimo più vicino” (*nearest neighbor*), che è un’approssimazione del primo ordine, il valore di radianza DN (X,Y) che viene attribuito al pixel di output, è il valore corrispondente al pixel che ha coordinate (R,C) più vicine alle coordinate (X,Y) ottenute dalla trasformazione (Fig.2.3). Le brusche variazioni nei valori dei pixel possono provocare sull’immagine così ricampionata un effetto di discontinuità apparente soprattutto nella rappresentazione di elementi lineari. Di contro, questo tipo d’interpolazione (i) mantiene inalterati i valori di radianza, (ii) è semplice da implementare e (iii) richiede tempi di calcolo limitati.

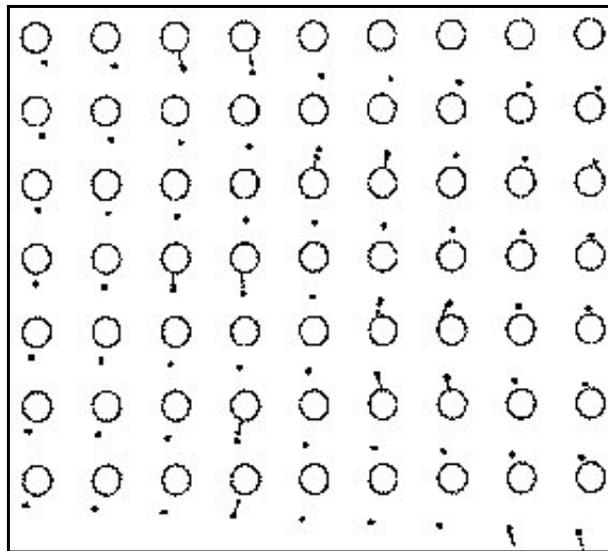


Fig.2.3 – Esempificazione della tecnica del “prossimo più vicino” (i cerchi vuoti rappresentano i pixel dell’immagine non corretta; i punti rappresentano i pixel dell’immagine corretta).

Nel caso di ricampionamento bilineare il nuovo valore di radianza DN (X,Y) viene definito mediante un’interpolazione che coinvolge i quattro pixel più vicini alle coordinate (X,Y) (Fig.2.4). I valori di radianza originali in questo caso vengono modificati e l’immagine che ne risulta presenta contrasti meno marcati con un passaggio più graduale tra gli elementi che presentavano differenti radianze.

Con il ricampionamento bicubico si ha un’interpolazione di ordine superiore; per il calcolo del nuovo valore di radianza da assegnare al pixel di coordinate (X,Y) vengono coinvolti i sedici pixel più vicini (Fig.2.5). Quest’ultimo metodo risulta quello in grado di fornire la maggiore accuratezza geometrica ma di contro il contenuto radiometrico dell’immagine viene fortemente

alterato e, di conseguenza, può creare problemi nel caso si voglia successivamente operare ad analisi strettamente radiometriche, quali ad esempio la classificazione. Inoltre questa tecnica comporta un onere di calcolo molto pesante ed è complessa da implementare.

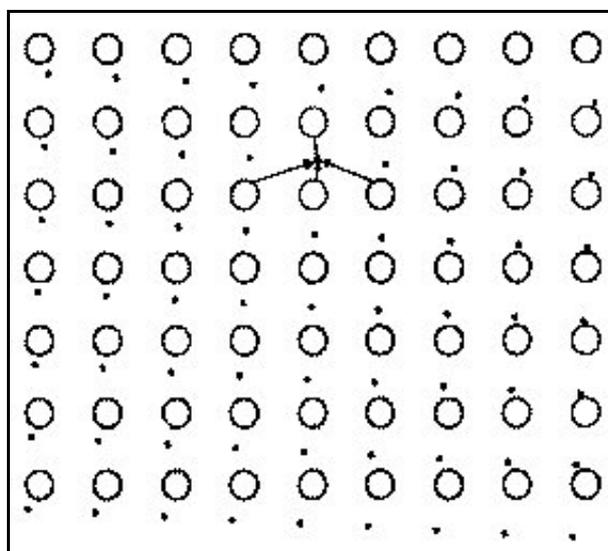


Fig.2.4 – Esempificazione della tecnica dell'interpolazione bilineare (i cerchi vuoti rappresentano i pixel dell'immagine non corretta; i punti rappresentano i pixel dell'immagine corretta).

I GCP possono essere desunti direttamente dalla cartografia oppure, come nel caso attuale, possono essere determinati topograficamente sul terreno. Durante un'uscita in barena S.Lorenzo nell'ottobre del 1999, i punti di controllo a terra sono stati scelti in modo da essere ben identificabili nell'immagine. Le coordinate geografiche di tali punti sono state misurate mediante l'impiego di un teodolite laser.

Attraverso i GCP scelti è possibile ricavare la risoluzione media dell'immagine stessa. Scelti ad esempio due GCP, si calcolando le distanze su base pixel e cartografica: il rapporto fornisce la dimensione di un pixel. Per l'immagine utilizzata si è trovata una risoluzione media spaziale di 1 m.

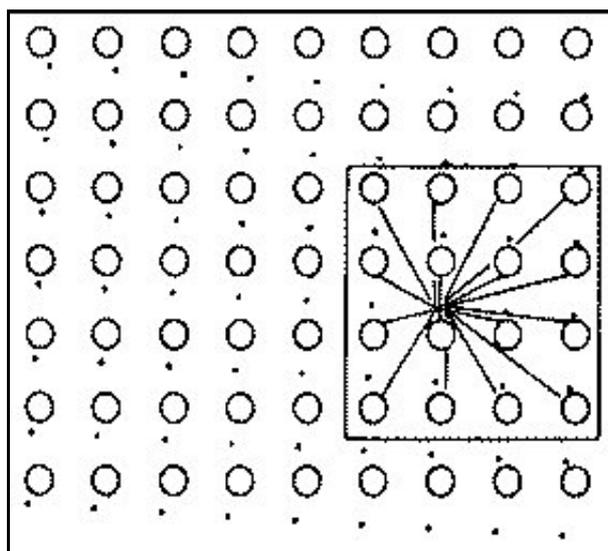


Fig.2.5 – Esempificazione della tecnica della convoluzione cubica. (i cerchi vuoti rappresentano i pixel dell'immagine non corretta; i punti rappresentano i pixel dell'immagine corretta).

Effettuati georeferenziazione e ricampionamento, è stata selezionata una zona della barena S.Lorenzo e si è proceduto a distinguere le zone d'acqua (ghebi, chiari e zone di velma) dalle zone di barena vera e propria. Nella CTRN questo è stato possibile utilizzando come indicatore il valore di quota riportato sulla carta stessa; nella foto aerea invece l'indicatore principale è stato il colore.

Le aree di barena sono state “disegnate” definendo delle ROI (*Region Of Interest*), le quali corrispondono a porzioni d'immagine selezionate manualmente con l'ausilio del mouse in modo che nella CTRN rappresentino l'estensione delle barene nel 1968 e nella foto aerea le barene del 1998. Una specifica funzione del software ENVI è in grado di contare il numero di pixel compresi all'interno di un poligono e di fornire una misura di superficie della ROI.

ENVI possiede anche una funzione (*Reconcile ROIs via Map*) che permette di sovrapporre ROI definite su immagini diverse a condizione che esse siano state georeferenziate.

Sovrapponendo la ROI definita sulla foto aerea (rappresentata con il colore verde) alla ROI definita sulla CTRN (rappresentata con il colore lilla), si possono visualizzare le aree di erosione (Fig.2.6) e con l'operazione inversa le aree di deposizione/accrecimento (Fig.2.7).

In Fig.2.8 si è inoltre cercato di rendere evidente l'evoluzione dei margini perimetrali della barena, segnando in fuxia il contorno 1968 e in verde quello 1998.

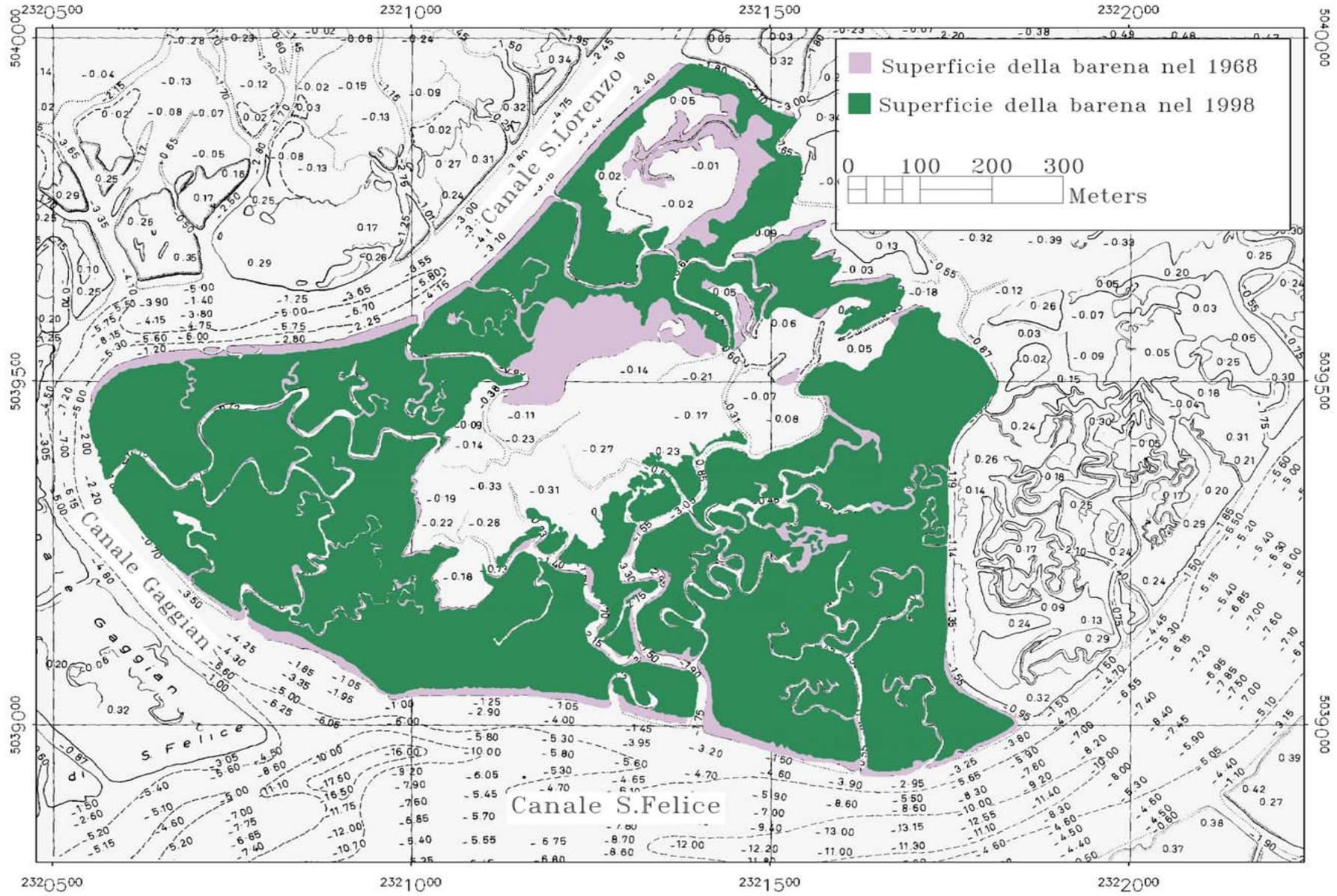


Fig.2.6 - Barena S.Lorenzo. Zone di erosione/arretramento

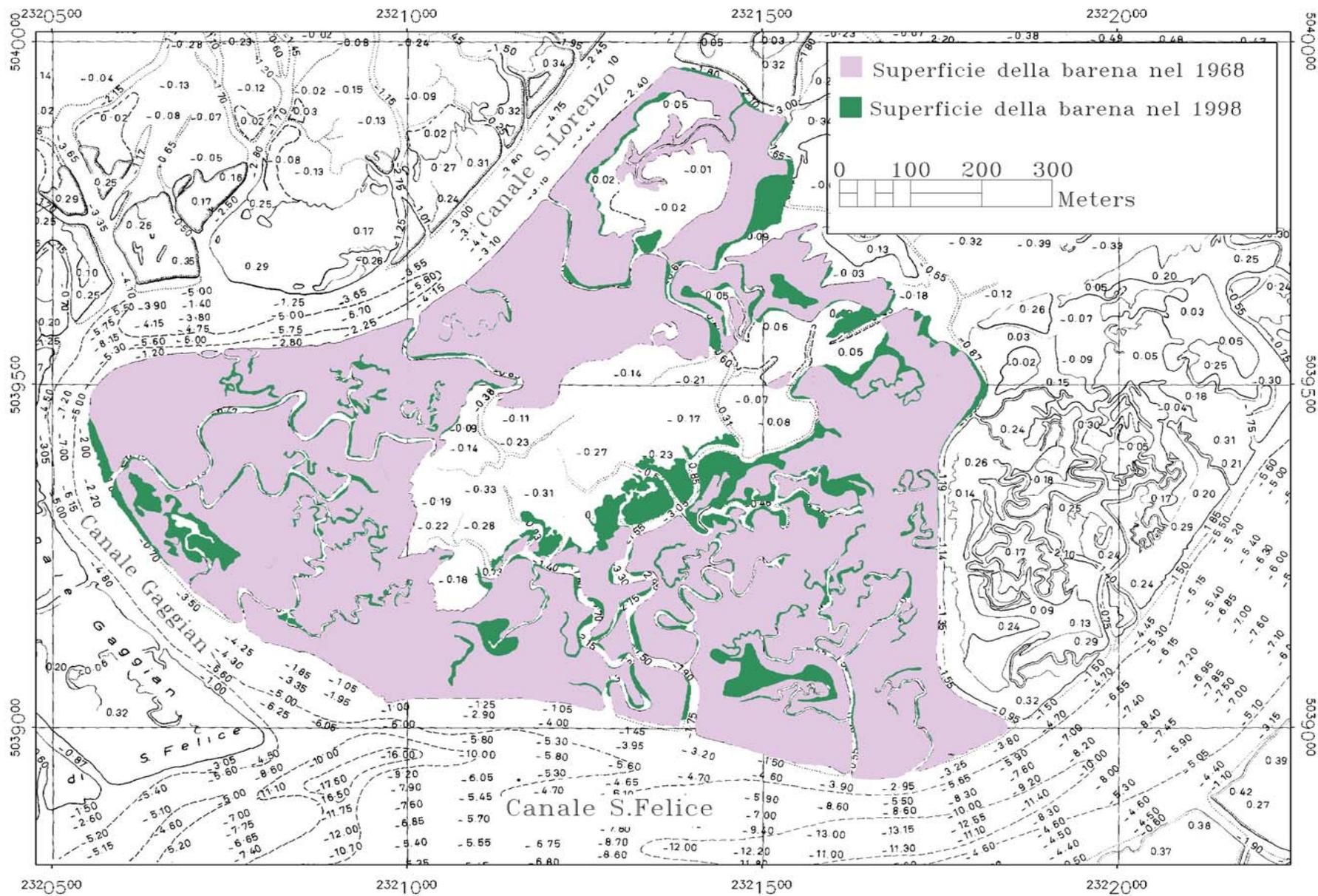


Fig. 2.7 - Barena S.Lorenzo. Zone di sedimentazione/accrecimento.

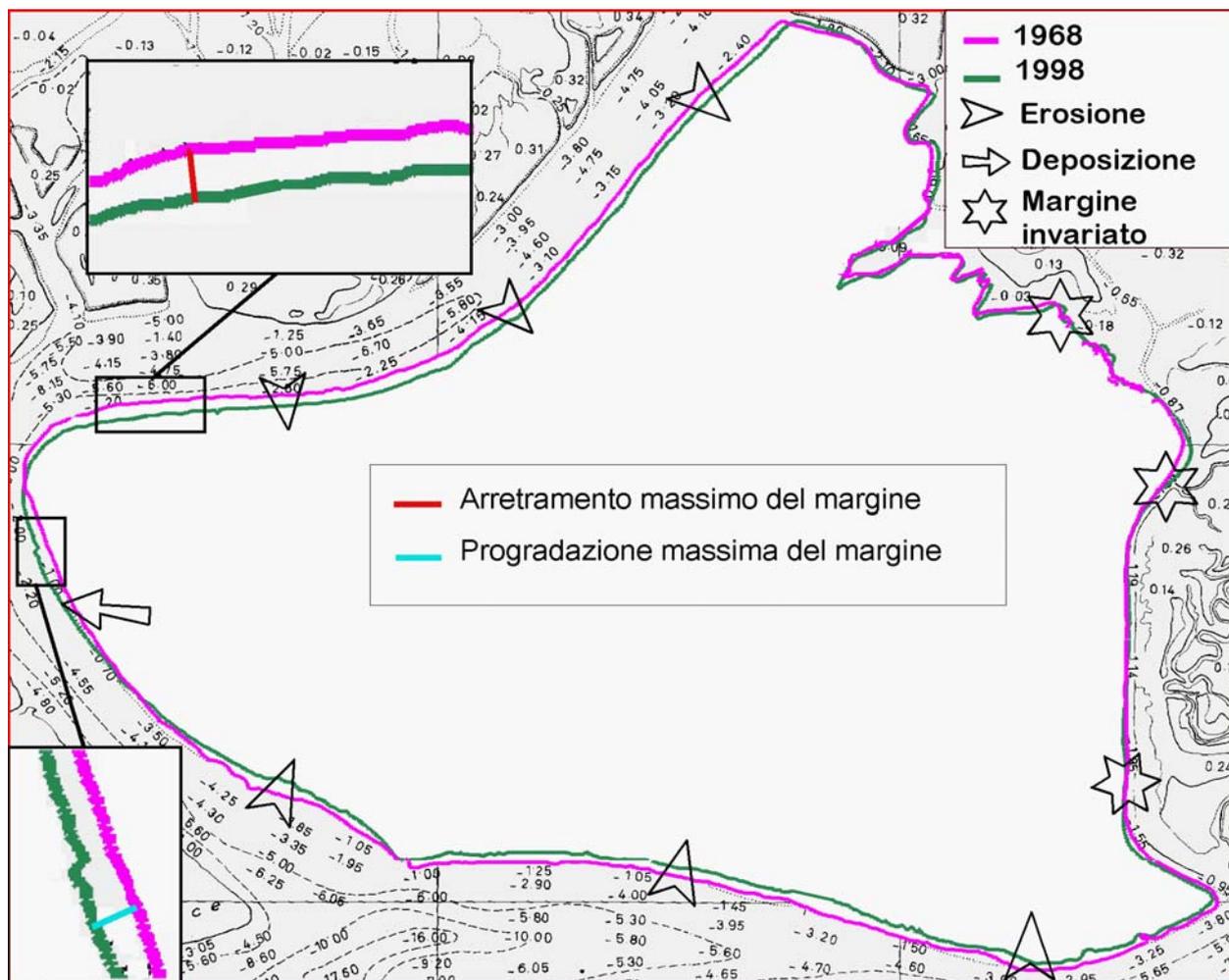


Fig.2.8 – Evoluzione del margine perimetrale della barena S.Lorenzo dal 1968 al 1998.

2.3.2 Risultati del confronto

Da una prima analisi delle carte ottenute, risulta evidente come il margine della barena prospiciente i canali S.Felice e S.Lorenzo abbia subito un arretramento, mentre quello in direzione nord, nord-est è rimasto sostanzialmente invariato (Figg.2.6, 2.7, 2.8).

Il ritiro del margine è dovuto, molto probabilmente, all'erosione indotta dalla corrente di marea che risulta essere elevata in questi canali e in particolare nel canale S.Felice, uno dei principali canali di alimentazione della laguna nord. Un'altra causa, non meno importante, è legata al moto ondoso generato dai natanti, vista l'elevata densità di traffico che caratterizza la zona. Durante le uscite in barena S.Lorenzo si è potuto osservare come il processo erosivo che interessa tali margini avvenga principalmente per scalzamento al piede e distacco di intere zolle.

Solo un tratto di margine prospiciente il canale Gaggian è stato interessato da un processo di accrescimento (*Figg.2.7 e 2.8*) dovuto probabilmente al rilascio di sedimenti in seguito alla diminuzione di velocità di corrente verso il lato interno della curva del canale ed erosione verso il lato esterno dove la velocità della corrente è maggiore.

Il trend dei processi di erosione e sedimentazione che interessano i margini è caratterizzato da una velocità massima di erosione pari a 0,6 m/anno e di progradazione di 0,5 m/anno.

All'interno dell'area considerata sono visibili due chiari di notevoli dimensioni: il chiaro centrale sembra essere migrato verso nord mantenendo pressoché inalterate le sue dimensioni. Di contro ad un processo erosivo che ha interessato il margine più settentrionale (*Fig.2.6*), si può osservare la comparsa di nuove aree barenicole a sud (*Fig.2.7*). Molto probabilmente esse si sono generate in seguito all'apporto di sedimenti ad opera del ghebo di modeste dimensioni posto a sud del chiaro, che trae origine dal canale S.Felice.

Il chiaro più piccolo, situato nella zona più settentrionale della barena, ha notevolmente aumentato la sua superficie tanto da far pensare che, in un prossimo futuro, andrà a costituire uno specchio d'acqua continuo con la palude del Tralo (*Figg.2.6 e 2.7*).

Nei trent'anni esaminati si osserva anche la scomparsa di tre chiari di piccole dimensioni posti nella zona più meridionale della barena (*Fig.2.9*). La trasformazione a barena di questi specchi d'acqua testimonia che in queste zone si verifica una continua progradazione areale con accrescimento verticale.

In generale si osserva un certo dinamismo dei ghebi senza che si verificano sensibili variazioni della loro sezione trasversale. In analogia a quanto avviene per i corsi fluviali anche in questo caso avvengono dei salti di meandro con progressivo isolamento di un tratto di ghebo (*Figg.2.10a e 2.10b*).

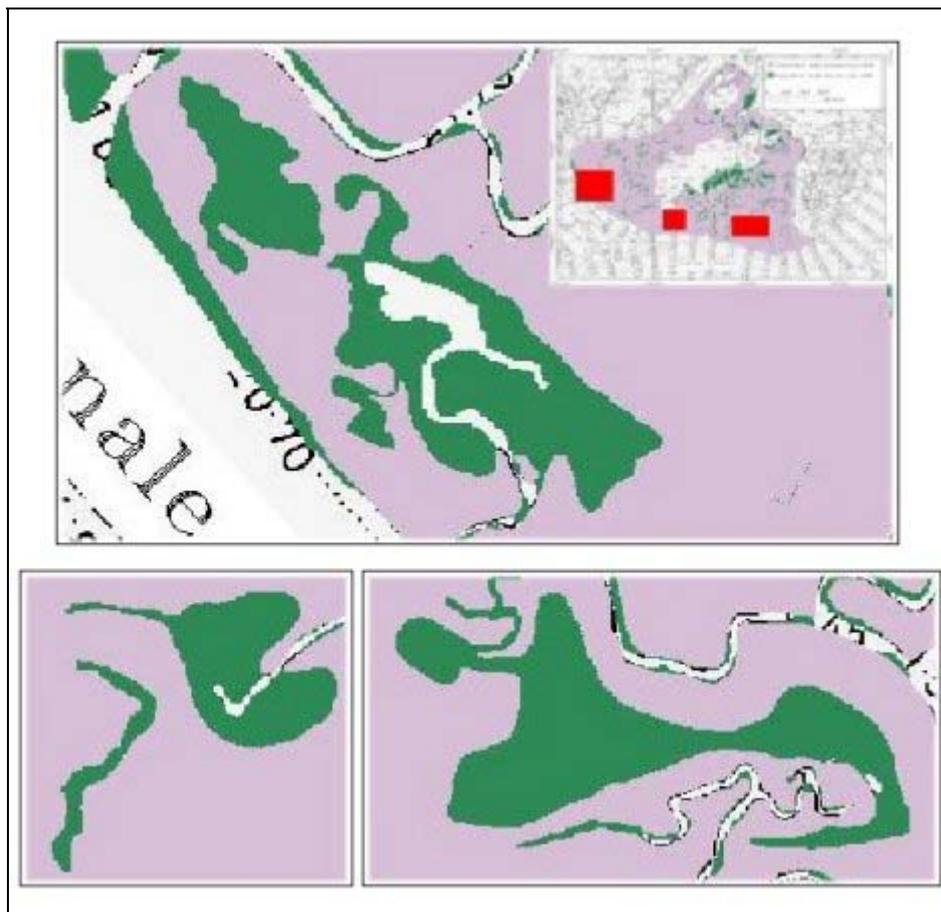


Fig.2.9 – Scomparsa dei chiari

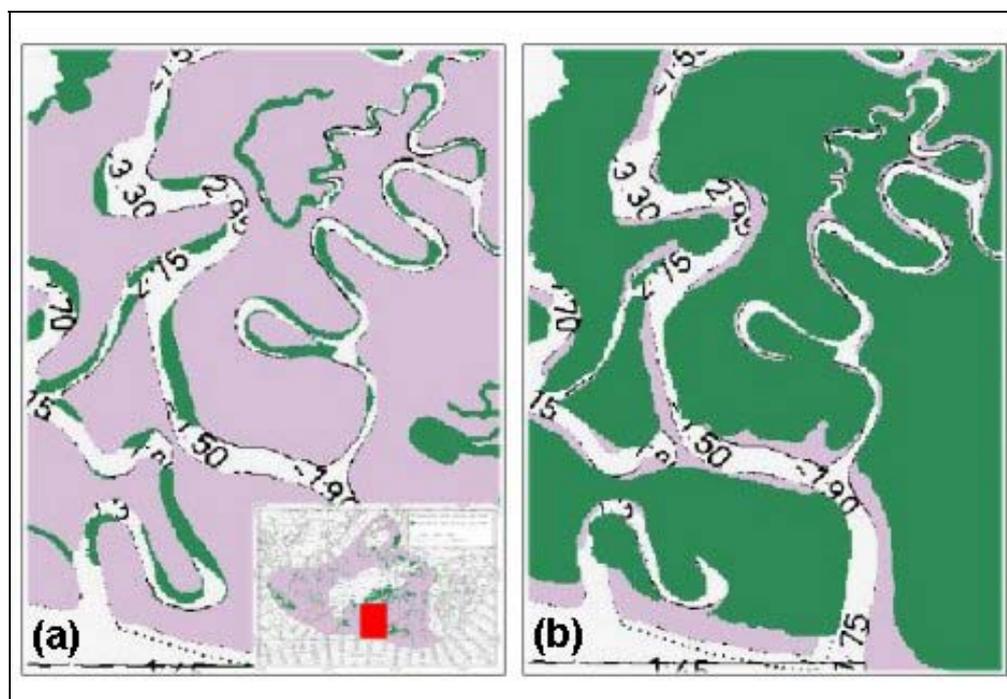


Fig.2.10 - Salto dei meandri: a) situazione nel 1968; b) situazione nel 1998.

Interessante poi, è la scomparsa delle ramificazioni terminali e più sottili dei ghebi (*Fig.2.11*). Qualcosa di analogo è riferito in alcuni studi sulle modificazioni batimetriche e morfologiche occorse nei canali della laguna di Venezia (Cavazzoni et Gottardo, 1983; Cavazzoni, 1982), nei quali si osserva appunto, la scomparsa delle ultime ramificazioni dei canali (*Fig.2.12*) e se ne attribuisce la causa ad una diminuzione della velocità dell'acqua che circola nei ghebi (Cavazzoni, 1982).

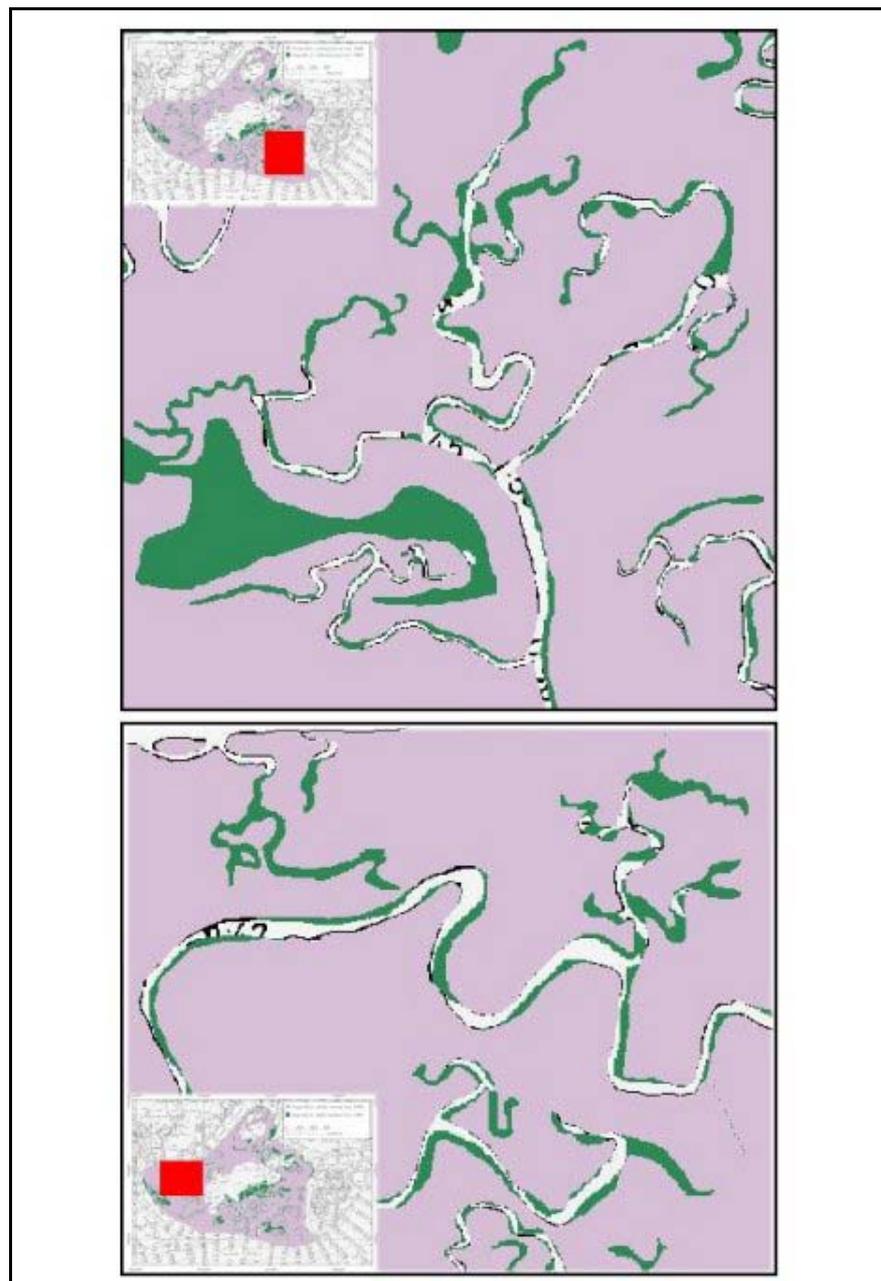


Fig.2.11 – Scomparsa delle ramificazioni terminali dei ghebi.



Fig.2.12 – Scomparsa delle ultime ramificazioni dei canali nella zona tra Venezia e il porto di Malamocco (Cavazzoni et Gottardo, 1983).

Il fenomeno può però avvenire anche in seguito al progressivo incremento della quota della barena, la quale può provocare un approfondimento dei ghebi così che il volume totale della marea può essere trasportato da canali di lunghezza inferiore (Pethick, 1984). Questa ipotesi potrebbe essere plausibile dato che numerosi studi condotti in barena S.Lorenzo confermerebbero, a fronte di una perdita netta di estensione barenale, un aumento della quota, dovuto alla deposizione sulla superficie dei sedimenti erosi dai margini (Consorzio Venezia Nuova, 1996).

In *Tab.2.III* si nota che nel trentennio '68-'98 la barena S.Lorenzo ha diminuito la sua superficie totale di circa il 2,2% confermando il trend negativo che in generale, sta interessando tutta l'area lagunare. Eseguendo, per ciascun anno (1968 e 1998), il rapporto tra la superficie delle aree occupate dall'acqua (chiari + ghebi) e la superficie totale (zone d'acqua + barene), emerge che tale rapporto si è mantenuto pressoché costante nel tempo (*Tab.2.III*).

Di fronte a questo risultato, sembra possibile formulare una terza ipotesi relativa alla causa che avrebbe determinato la scomparsa delle ultime ramificazioni dei ghebi. Infatti, se si assume che il rapporto tra superficie d'acqua e superficie della barena si mantenga costante nel tempo, è ovvio pensare che ad una diminuzione della superficie da drenare segua una corrispondente diminuzione della superficie dei chiari e dei ghebi, con conseguente riduzione nella lunghezza di

quest'ultimi. Si potrebbe affermare dunque che nel tempo il sistema tende a mantenere la stessa efficienza.

Tab.2.III – Stima della variazione areale occorsa nel trentennio 1968-1998 in barena S.Lorenzo.

ANNO	SUPERFICIE TOTALE (S _T)	SUPERFICIE BARENA (S _B)	SUPERFICIE ACQUA (S _A = S _T - S _B)	(S _A / S _T) * 100
1968	75,54 ha	50,10 ha	25,44 ha	≅ 33,7 %
1998	73,87 ha	49,15 ha	24,72 ha	≅ 33,5 %
ΔS=S('98)-S('68)	-1,67 ha	-0,95 ha	-0,72 ha	
ΔS (%)	-2,2	-1,3	-0,9	

A conclusione di questa parte del lavoro si può confermare che le tecniche di telerilevamento e, in questo caso particolare la fotografia aerea, sono uno strumento prezioso per monitorare nel tempo le variazioni areali che interessano le superfici di barena, fornendo non solo delle informazioni di tipo qualitativo ma anche quantitativo.

2.3.3 Precisione dei risultati

Una misura dell'errore prodotto durante la georeferenziazione, è data dalla RMS che nel nostro caso era pari a 0,8 pixel cioè 0,8 m (la risoluzione è infatti pari ad 1 m).

Esiste anche un errore umano, legato alla digitalizzazione delle superfici a barena: durante questa fase alcuni pixel possono essere “sfuggiti” per eccesso e per difetto.

Non bisogna trascurare poi l'influenza del livello di marea per cui, a variazioni anche minime, corrisponde una certa modifica della fisiografia delle terre emerse. Un'indagine multitemporale quindi, deve tener conto di questo fattore per cui, o si dispone di un modello microtopografico del terreno che permetta di apportare le necessarie correzioni, oppure si utilizzano immagini riprese in condizioni particolari di marea che permettono un'analisi comparata. La soluzione ottimale è chiaramente quella per cui si ha la disponibilità di dati acquisiti nelle stesse condizioni di marea o comunque di livelli di marea tra loro confrontabili.

Grazie ai dati forniti dall'Ufficio Idrografico del Magistrato alle Acque di Venezia, relativi al mareografo di Treporti, sappiamo che durante il volo eseguito il 6 agosto 1998 alle ore 10,15 la quota media della marea in tale stazione era pari a 52 cm.

Il volo sulla laguna di Venezia del 1968 (dal quale è stata restituita la Carta Tecnica Regionale del 1982) è stato eseguito nei giorni 15-16 e 17 maggio ed in particolare il fotogramma relativo alla barena S.Lorenzo è stato scattato il giorno 17 alle ore 8,50. Purtroppo i dati di marea relativi a questo giorno sono inesistenti a causa di malfunzionamenti nello strumento di misura.

Questa situazione rende le considerazioni svolte in precedenza non certificabili.