

# 1. MORFOLOGIA LAGUNARE

Le lagune sono aree di transizione tra terra e mare esposte a gradienti molto intensi che le rendono zone particolarmente instabili ma anche ricche di ambienti diversi. La loro complessa morfologia è determinata dalla relazione che si sviluppa tra accumulo di materiale solido, proveniente dal mare o dai fiumi, e asporto di sedimenti dovuto all'azione erosiva di onde e maree: l'evoluzione dei fondali dipende dal prevalere di una di queste forze, nel cui bilancio spesso interviene l'uomo con strumenti sempre più imponenti e con tempi sempre meno naturali.

Fra le lagune paradigmatica è quella di Venezia, sito di interesse civile, industriale, agricolo, turistico, artistico e storico, esposto alle forze della natura ed alle manomissioni dell'uomo. Gli effetti di queste interazioni sono particolarmente evidenti nelle *barene*<sup>1</sup>, che rispondono velocemente alle mutazioni del regime idrodinamico della laguna.

## 1.1 La laguna di Venezia

La laguna di Venezia è la maggiore laguna italiana, con una superficie di 550 Km<sup>2</sup> ed un bacino scolante di 1870 Km<sup>2</sup>; è situata nella costa nord del mare Adriatico, con l'asse maggiore orientato in direzione nord-est sud-ovest, la larghezza media è di 10 Km mentre la lunghezza media è di 50 Km. La sua superficie è per tre quarti (418 Km<sup>2</sup>) aperta all'escursione di marea dell'alto Adriatico; gli scambi tra mare e laguna avvengono attraverso tre bocche di porto: Lido, Malamocco, Chioggia. Attraverso esse la laguna scambia circa  $385 \times 10^6$  m<sup>3</sup> di acqua al giorno.

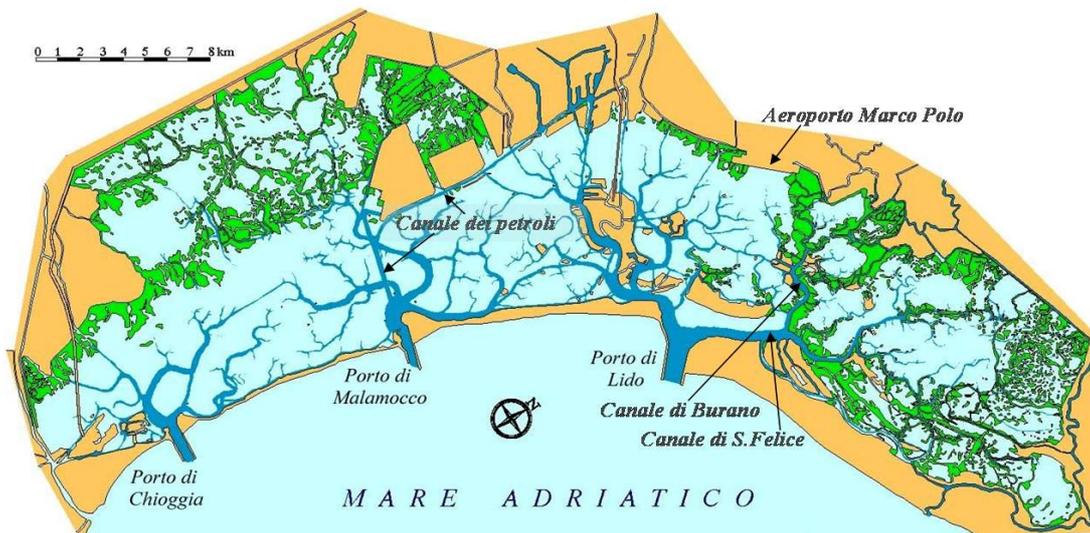


Figura 1.1 - Laguna di Venezia.

Il regime idrodinamico, di tipo mareale, è fortemente influenzato dalla configurazione dei canali, dalla profondità dei fondali, variabile da 15-20 metri alle bocche di porto a pochi centimetri, e dalla presenza delle *barene* che riducono la velocità di

<sup>1</sup> *Barena*: termine dialettale della laguna veneta che indica terre lagunari soggette a sommersione mareale dotate di vegetazione. Il termine corrisponde all'inglese *salt marsh*.

propagazione e smorzano l'ampiezza dell'onda di marea.

Il tempo di residenza dell'acqua all'interno della laguna è mediamente di 10 giorni, variando da 1 giorno, per le aree vicine alle bocche di porto, fino a 30 per le zone interne (Flindt *et al.*, 1997).

Questa laguna è un esempio molto significativo degli effetti della combinazione di interessi economici, culturali ed ambientali nelle aree umide costiere. Le azioni intraprese per la salvaguardia degli interessi economici della città di Venezia, sin dal XV secolo, hanno interferito profondamente con la naturale evoluzione del bacino lagunare.

Il primo forte intervento, in grado di invertire la tendenza evolutiva naturale, è stata la colossale diversione dei principali fiumi che sfociavano in laguna (Brenta e Piave) i quali, a causa dell'intenso apporto di sedimenti, disturbavano le attività antropiche, compromettendo la funzionalità dei canali, il regime idraulico del sistema e le condizioni igienico-sanitarie dell'ambiente (Cavazzoni, 1995). Anche il Sile fu, nel corso del 1600, estromesso quasi totalmente dalla laguna, nonostante fosse responsabile di modesti apporti solidi.

Gli interventi sulla laguna sono continuati nei secoli, anche dopo la caduta della Repubblica di Venezia (16 maggio 1797), sebbene con essa siano finiti gli interventi basati sulla filosofia della conservazione dell'intero assetto fisico-morfologico-idraulico del complesso ecosistema lagunare (Rallo, 1996). Per risolvere definitivamente il problema dell'interrimento delle bocche di porto, aumentato con la deviazione delle foci dei fiumi fuori dalla laguna, e permettere l'accesso a navi di sempre maggior tonnellaggio, il governo francese prima (1805-1814) e quello austriaco poi (1815-1861) realizzarono dei pennelli alla bocca di porto di Malamocco per provocare l'approfondimento del fondale. Con lo stesso intendimento il governo italiano realizzò le dighe alla bocca di porto di Lido (dal 1881 al 1905) e Chioggia (1934). Tali interventi favorirono la destabilizzazione dei litorali di Lido e Pellestrina ed innescarono un processo di continua erosione del fondale ad opera della corrente di riflusso incanalata attraverso le dighe portuali.

Lo scavo di canali navigabili profondi per migliorare l'accesso al distretto industriale di Porto Marghera, in particolare il cosiddetto canale dei Petroli (1961-1969) che si diparte da Malamocco, ha fatto in modo che il processo di erosione si propagasse anche all'interno dove, tra l'altro, il fondo è composto da sedimenti più fini e risulta quindi più esposto alle azioni idrodinamiche. Con la loro rilevante profondità il canale Vittorio Emanuele (scavato tra il 1919 e 1930) ed il canale dei Petroli hanno costituito una via preferenziale per la penetrazione della marea, modificando, rispetto al passato, la distribuzione delle differenze di livello tra punto e punto e, di conseguenza, la distribuzione e l'entità delle velocità.

All'instabilità della laguna di Venezia contribuiscono anche processi di subsidenza e di eustatismo, che assieme all'erosione stanno trasformando la laguna da ambiente deltizio con una propria definita fisionomia ad un sistema sempre più simile a quello marino. Il processo di erosione tende inoltre ad autoalimentarsi e una volta innescato può favorire l'ulteriore approfondimento dei bassifondi a causa dell'aumento rilevante del moto ondoso. In breve la laguna di Venezia, nell'attuale assetto, tende ad un appiattimento batimetrico e all'omogeneizzazione del fondale.

La perdita della diversità morfologica risulta evidente osservando la variazione delle superfici barenali. La loro superficie è passata dai 149 Km<sup>2</sup> stimati dall'Ufficio Idrografico del Magistrato alle Acque nel 1912, ai 91 Km<sup>2</sup> del 1939, ai soli 47.5 Km<sup>2</sup>

del 1970, a meno di 40 Km<sup>2</sup> attuali(CVN, 1996). Studi promossi dal Consorzio Venezia Nuova hanno stimato che ogni anno si depositano sulle *barene* 160 mila m<sup>3</sup> di sedimento ma, nonostante questi volumi siano ragguardevoli, non sono sufficienti a compensare la naturale perdita di quota delle *barene* dovuta alla compattazione dei sedimenti e, soprattutto, agli ingenti volumi di sedimento perduti (CVN, 1996).

## 1.2 Area di studio

La laguna di Venezia è tradizionalmente suddivisa in tre bacini (Nord, Centrale, Sud), uno per ciascuna delle tre bocche di porto, con modesti scambi tra loro. Le alterazioni morfologiche che interessano la laguna non avvengono in maniera uniforme in queste tre aree. La laguna Centrale, più fortemente antropizzata, è quella maggiormente interessata all'erosione da parte di onde generate dai venti (bora e scirocco) e dalle attività antropiche; il bacino meridionale presenta una dinamica dominata dallo scavo dei grandi canali navigabili; la laguna Nord, infine, ha il sistema di *barene* maggiormente conservato, anche se, rispetto ai decenni scorsi, sta subendo delle modificazioni morfologiche e biologiche rilevanti.

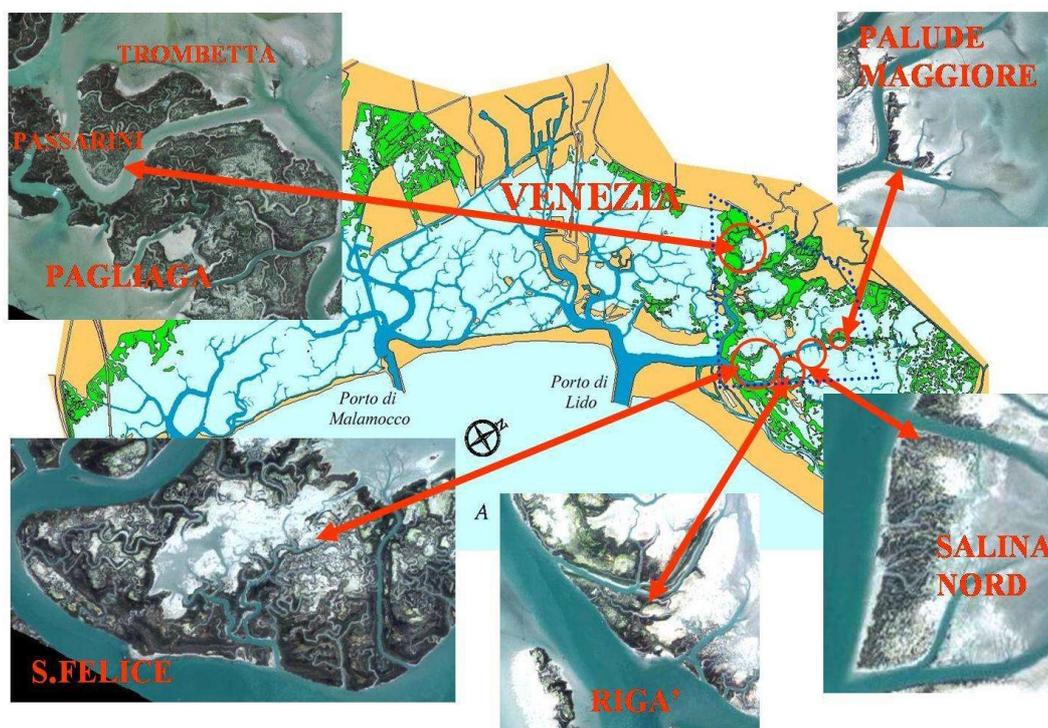


Figura 1.2 - Siti di campionamento in laguna Nord.

La superficie indagata in dettaglio con i sensori remoti è quella del poligono di 64 Km<sup>2</sup>, tratteggiato in blu nella figura 1.2. All'interno di tale area si sono individuati 6 siti, adiacenti a canali con differenti salinità e caratterizzati da diverse elevazioni medie.

Le *barene* considerate rientrano soprattutto nella tipologia delle *barene* di “canale lagunare”, cioè i sistemi di *barene* laterali ai canali di marea. Questi nella Laguna

Nord sono rappresentati dal Canale di S. Erasmo, di Burano, di S. Felice, di Gaggian e di S Lorenzo. In tali biotopi la salinità relativamente elevata ed i caratteristici gradienti di quota determinano la presenza di elementi morfologici e di complessi vegetazionali ancora ben differenziati e strutturati. Inoltre l'apporto di sedimenti di origine marina, anche se in quantità ridotta a causa della costruzione dei moli foranei alla bocca di Lido, fa sì che i dinamismi erosivi siano in parte compensati da quelli naturali di formazione. L'aspetto tipico della *barena* di canale è dato dal degradare della quota dal bordo del canale o del *ghebo*<sup>2</sup> alla zona più interna con *ciari*<sup>3</sup>, spesso aperti verso le *velme*<sup>4</sup> retrostanti.

Marginalmente nello studio si sono considerati anche i sistemi di “*barena canneto*” connessi ai fiumi (Bonometto, 2003), che dominano l'area lagunare tra Burano e Torcello fino ai margini della laguna, tra l'aeroporto e Ca' Deriva. In queste aree, a causa dell'apporto di acqua dolce del Dese, del canale Silone e di altri canali di gronda, si mantiene in parte un gradiente di salinità che determina la presenza di vegetazione tipica della laguna interna (insieme di canneti ed alofite).

Le zone scelte sono state denominate San Felice, Rigà, Salina Nord e Palude Maggiore, per definire le quattro *barene* lungo i canale di San Felice, e Trombetta e Passarini per individuare i due siti prescelti nell'area di Pagliaga. Le *barene* comprese nell'area d'indagine sono state solo parzialmente perturbate dalle grandi opere del passato. La loro relativa stabilità morfologica ha consentito l'instaurarsi di una differenziazione in micro-dislivelli e in caratteri sedimentologici del substrato, e quindi di un assetto vegetazionale organizzato. E' quindi ragionevole controllare le forme attuali per valutare le tendenze evolutive presenti e future, anche in relazione a progetti che potrebbero indurre alterazioni importanti nella zona. In questi termini il controllo deve ovviamente essere distribuito nello spazio e nel tempo e non può limitarsi a misure puntuali ancorché numerose: il telerilevamento appare quindi lo strumento più appropriato in tale contesto.

### 1.3 Le *barene*: caratteristiche ed evoluzione

Le *barene* sono un elemento morfologico caratteristico dei bacini a marea presenti lungo estuari, coste a bassa energia e specchi d'acqua costieri protetti da lidi, alle medie ed alte latitudini. Nelle zone tropicali generalmente sono soppiantate dalle aree a mangrovie (Friedrichs e Perry, 2001).

I caratteri specifici delle diverse realtà sono dati dai cambiamenti nell'elevazione, determinata dall'ampiezza delle escursioni di marea, dalle specie che vi si insediano, selezionate in base a condizioni climatiche ed idrologiche, e dalla densità della rete di *ghebi* (*tidal creek*) e *ciari* (*salt pan*).

In quanto elementi formati tra terra e mare, le *barene* risentono dei processi di entrambi gli ambienti, ma in più sono sede di eventi specifici ed esclusivi che danno luogo ad aree ecologicamente, socialmente ed anche economicamente molto importanti. Le *barene* sono infatti siti di riproduzione e rifugio per molte specie di

---

<sup>2</sup>*ghebi* termine lagunare per definire gli ultimi e sottili rami dei canali che solcano le *barene*; possono terminare una volta raggiunto il confine con i bassifondi o proseguire fino ad allacciarsi ai canali presenti sui bassifondi stessi.

<sup>3</sup>*ciari*: (chiari) termine lagunare per indicare aree non vegetate, spesso con presenza d'acqua per la minor elevazione, che si aprono all'interno della *barena*.

<sup>4</sup>*velme*: vasti bassifondi di sedimento molle, privi di vegetazione. Sono collocate grossomodo tra il livello medio delle basse maree di quadratura ed il livello medio delle basse maree di sizigie.

uccelli (Scarton *et al.*, 1996) ma anche per pesci e molluschi d'interesse commerciale, essendo aree ad elevata produttività in grado di fornire sostanza organica e nutrienti agli habitat adiacenti (Boorman, 1999).

Inoltre l'organizzazione tipica delle *barene*, caratterizzata da una fitta rete di canali, *ghebi* e *ciari*, massimizza la superficie attiva di scambio esercitando un'importante funzione di filtro per inquinanti provenienti da fiumi ed acque costiere. Le *barene* svolgono anche un ruolo primario nella dissipazione delle onde: studi effettuati sulle coste inglesi (NRA, 1992) hanno verificato come la presenza delle *barene* riduca la necessità di usare alti muri per la protezione della linea di costa.

A determinare la formazione, la morfologia ed i processi ecologici di questi ambienti concorrono fattori climatici, idrologici, fisici e biologici. In particolare, secondo diversi autori un ruolo fondamentale è svolto dalla vegetazione alofila (Mitsch e Gosselink, 1993; Christiansen *et al.*, 2000; Bonometto, 2003), usata anche come elemento per distinguere la *barena* da *velme* ed isole (Rinaldo *et al.*, 2000). Le alofite devono il proprio nome alla capacità di compiere l'intero ciclo vitale in suoli ad elevato contenuto salino, ma in realtà presentano ulteriori caratteristiche adattative, che conferiscono resistenza anche ai diversi fattori di stress tipici di un ambiente a marea, come la carenza di ossigeno in condizioni di saturazione e la presenza di ioni fitotossici nel suolo (Otte, 2001).

Le *barene* iniziano a formarsi in seguito all'apporto di materiale solido sulla superficie di alcune zone di bassofondo melmose. Si avvia così la costituzione di zone dove l'onda di marea si espande con minor energia rispetto alle zone circostanti, consentendo un'ulteriore sedimentazione ed una minor erosione. Tali superfici si trovano ad essere più elevate rispetto al livello medio della marea e, in confronto alle piane di fango, sono sommerse meno frequentemente e per periodi di tempo inferiore, producendo una situazione favorevole all'insediamento di alghe, macroinvertebrati e vegetazione pioniera. Il passaggio fondamentale nella formazione di una *barena* è lo stabilirsi di una vegetazione pioniera nella *velma* quando questa ha raggiunto un'altezza tale da essere sommersa la massimo per circa 6 ore al giorno (Van Duin *et al.*, 1996).

La presenza della vegetazione promuove la formazione delle *barene* in diversi modi. Foglie e fusti interagiscono con il campo di moto idrodinamico favorendo la sedimentazione, Leonard e Reed (2002) hanno rilevato tra la vegetazione (*Spartina alterniflora* e *Scirpus sp.*) velocità medie di flusso da 2.5 a 3 volte inferiori di quelle misurate in zone non vegetate. I sali espulsi dai tessuti di alcune specie aumentando la salinità favoriscono la flocculazione dei sedimenti più fini e la massa di radici aumenta la stabilità del materiale già depositato. Inoltre la presenza di microalghe ed in particolare di diatomee, con le loro secrezioni mucose, stabilizza le superfici fangose (Underwood, 1997). Le piante svolgono anche un'azione coprente della superficie che impedisce il disseccamento e protegge il suolo dal dilavamento in occasione delle sommersioni, ed il materiale organico prodotto nella loro crescita incrementa attivamente la quota della *barena*.

La zona dove il tasso di crescita è maggiore è quella subito al di sotto del livello medio dell'alta marea, generalmente colonizzata da specie annuali di *Salicornia sp.*, *Suaeda sp.* o da piante perenni resistenti a frequenti inondazioni come le diverse specie di *Spartina* (Dijkema *et al.*, 1984). In genere il tasso di crescita mostra una diminuzione esponenziale con la quota (Pethick, 1984). Le *barene* quindi, in presenza di apporto continuo di sedimenti, dovrebbero essere in grado di mantenersi in equilibrio con il livello medio del mare. Un aumento nella frequenza delle

inondazioni dovrebbe corrispondere ad una maggior crescita della quota barenale.

Nel caso delle *barene* della laguna di Venezia si riconoscono almeno quattro tipologie riconducibili a quattro diverse origini (Bonometto, 2003):

1. *barene* “di margine lagunare”, originatesi da suoli continentali sprofondati e raggiunti da acque salmastre;
2. *barene* “di ingressione marina”, formatesi in zone caratterizzate dalla presenza di paludi d’acqua dolce e successivamente invase da acque salmastre in seguito alla diversione dei fiumi. Queste ingressioni inizialmente hanno favorito la comparsa di estese *barene*, ma promuovendo anche la costipazione dei sedimenti torbosi e delle argille palustri, contemporaneamente hanno innestato processi di regressione;
3. *barene* “di origine fluviale”, dovute ai corsi d’acqua che si immettono, o si immettevano, in laguna, con caratteri intermedi tra apparati deltizi allungati ed argini naturali;
4. *barene* “di canale lagunare” o di “delta di marea”, legate agli apporti di sedimenti marini, depositati ai bordi dei canali d’ingresso della marea.

Queste ultime sono caratteristiche del bacino settentrionale, assumono tipicamente una forma a catino, con i bordi rialzati sui lati dei canali e con superficie degradante verso *velme* e *ciari* (origine primaria). I bordi rialzati e colonizzati da una fitta vegetazione, intercettano la maggior parte dei sedimenti limitando l’ingresso nelle parti più interne alle frazioni più fini (Adam, 1990). Le caratteristiche del sedimento cambiano così sia orizzontalmente che verticalmente.

Nelle zone vegetate oltre la gengiva della *barena*, il ridotto apporto di sedimenti ed il ristagno di acqua salata possono causare l’abbassamento della superficie e la formazione di piccoli *ciari* d’origine secondaria. L’evaporazione dell’acqua stagnante nelle bassure ne aumenta la salinità ed accentua il collasso nella struttura dei suoli limoso-argillosi. Si ottiene un’occlusione della porosità già minima, un’anossia anche negli strati quasi superficiali e quindi la moria delle specie vegetali presenti nella zona, con conseguente perdita di coesione ed ulteriore abbassamento della quota. I *ciari* così formati diventano nuovi invasi, l’acqua intrappolata cerca di defluire verso i punti appena più bassi della *barena* circostante tracciando per corruzione piccoli *ghebi* che si immettono con percorsi meandrici verso i canali perimetrali. Il *ciaro* si apre così al flusso e riflusso della marea permettendo una nuova ossigenazione dei sedimenti superficiali e quindi la ricolonizzazione da parte della vegetazione (Bonometto, 2003).

Le poche specie vegetali presenti garantiscono la funzionalità delle *barene*, assicurandone la protezione e costruzione. La vegetazione alofila favorisce anche una sorprendente stabilità. Un esempio è dato dai *ghebi* i quali una volta formati modificano il loro percorso in relazione ad eventi eccezionali e non come risultato di processi continui (Garofalo, 1980). Tale stabilità è data sia dal progressivo aumento del dislivello tra la superficie barenale ed il fondale del canale, sia dal consolidamento delle gengive laterali operato dalla vegetazione alofila, che vi si insedia. La coesione e la grande resistenza delle rive dei *ghebi* dovute alla vegetazione alofila sembrano rendere norma le anse ravvicinate dei meandri, più di quanto avvenga nei sistemi fluviali (Ashley e Zeff, 1988).

Una conferma di tale comportamento si può avere dall’osservazione di immagini aeree o satellitari. In figura 1.3 si presentano due ritagli di immagini relative alla

*barena* di San Felice. La prima (figura 1.3a) fa parte di una serie di foto aeree effettuate nel corso del 1955 dalla Royal Air Force (RAF) ed acquistate dal Servizio Informativo del Consorzio Venezia Nuova, che ne ha concesso l'uso per il presente studio, la seconda (figura 1.3b) è un ritaglio dell'immagine del sensore pancromatico QuickBird acquisita all'interno del progetto europeo TIDE il 10 febbraio 2003.

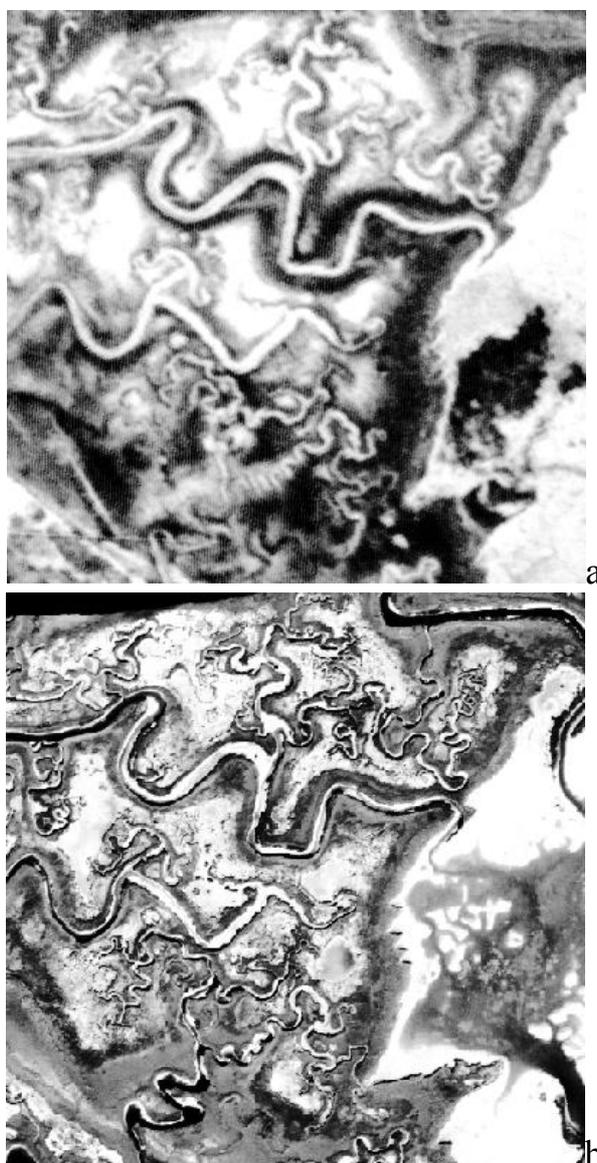


Figura 1.3 – Confronto di immagini di una porzione della *barena* di San Felice a 48 anni di distanza. In alto (a) ripresa aerea del 1955, sotto (b) ripresa con sensore pancromatico del satellite QuickBird, anno 2003. Si può osservare che i *ghebi* maggiori persistono nel tempo.

Dal confronto tra le due immagini si può agevolmente verificare come i *ghebi* maggiori in 48 anni non abbiano cambiato la loro forma e la loro posizione relativa. Diversa si mostra invece la situazione del margine delle *barene* posizionate lungo il canale di San Felice (v. figura 1.4).

Lungo i canali principali ed i *ghebi* maggiori, caratterizzati da regime idrodinamico elevato e in cui la direttrice della corrente di marea è parallela o quasi all'asse dei canali, sono presenti fenomeni di erosione laterale dovuti al moto ondoso, naturale e provocato dai natanti. L'erosione opera alla base del bordo della *barena*, portando al

crolla per gravità di intere zolle di margine. La zolla collassata, per un certo periodo, difende il margine da ulteriori franamenti finché le correnti di marea e il moto ondoso asportano gran parte dei sedimenti accumulati al piede. Il meccanismo in tal modo si riattiva e l'azione dell'acqua ricomincia a scavare.



Figura 1.4 - Ripresa aerea 1955(a) di una porzione della *barena* lungo il canale di San Felice confrontata con l'acquisizione pancromatica del satellite QuickBird (b), anno 2003.

Considerando la superficie di *barena* prospiciente il canale di San Felice, particolarmente interessato da traffico di natanti nei mesi estivi, si possono qualitativamente verificare i processi erosivi in atto. In entrambe le immagini di figura 1.4 si riconosce la presenza di un *ghebo* con un percorso ad "S", ma mentre nel ritaglio in alto (1955) il meandro è completamente incluso nella *barena*, nella seconda ripresa (2003) l'erosione del margine ha portato la seconda ansa direttamente a contatto con il canale di San Felice. Questi confronti, attualmente, possono rimanere solo a livello qualitativo, dati i notevoli problemi incontrati per standardizzare l'immagine RAF. Purtroppo sono presenti chiare distorsioni geometriche che non si è in grado di risolvere ed inoltre, non conoscendo le condizioni di marea, si incorre nel rischio di sovrastimare o sottostimare le differenze. L'uso di fotografie scattate da aereo, anche in mancanza di riferimenti precisi, è comunque importante per comprendere l'evoluzione delle aree barenali.

## 1.4 La zonazione delle alofite

La comunità vegetale delle barene è costituita da poche specie che non si distribuiscono omogeneamente sulla superficie, ma si organizzano in macchie distinte (*patch*) generalmente dominate da una sola specie.

Il passaggio tra zone dominate da specie differenti spesso è nettamente definito come mostrato in figura 1.5.



Figura 1.5 - Alternanza di fasce di vegetazione dominate da *Limonium narbonense* e *Sarcocornia fruticosa*.

Questo fenomeno, noto come zonazione, sembra essere generale negli ambienti intertidali ed ha attirato l'attenzione di numerosi autori nel definire la relativa importanza dei fattori ambientali che lo determinano. Tra quelli più intensamente studiati troviamo la salinità (de Leeuw *et al.*, 1991; Adams e Bate, 1995), la struttura dei sedimenti (Tompson *et al.*, 1991), il periodo d'immersione (Ranwell *et al.*, 1964), il disturbo per il seppellimento da detriti (Brewer *et al.*, 1998) e il livello di nutrienti (Levine *et al.*, 1998; van Wijnen e Bakker, 1999).

I suoli che costituiscono le *barene* sono caratterizzati dalla presenza di acque circolanti, ma dal momento che l'elevata pressione osmotica rende l'acqua di difficile assunzione, essi risultano fisiologicamente aridi. Inoltre il cloruro di sodio è presente in concentrazioni superiori all'1%, valore tossico per la maggior parte delle piante superiori, che in genere tollerano concentrazioni di NaCl più basse di 0.5 ÷ 0.1%.

Nelle *barene* la salinità generalmente aumenta con la quota, a causa dell'accumulo di sali conseguente alla risalita per capillarità, arrivando a valori del 3 ÷ 3.5% nelle "gengive". D'altra parte le zone più elevate hanno suoli meno compatti e più porosi rispetto alle bassure dove l'ambiente è fortemente anossico.

A condizionare il dominio di una specie sull'altra nell'ambito spaziale di qualche decina di centimetri sarebbero quindi la stretta relazione delle alofite con l'altezza e con la vicinanza a *ghebi* e canali. Infatti con la frequenza delle inondazioni variano i fattori abiotici, in grado di selezionare le specie capaci di sopravvivere.

Tra i fattori che concorrono alla zonazione non vanno trascurate le interazioni tra le specie, che possono manifestare una parziale sovrapposizione di tolleranze e quindi competere per le nicchie meno esposte ai fattori di stress. In particolare, le relazioni intra e interspecifiche assumono un ruolo importante nel determinare l'abbondanza e la ricchezza di specie presenti alle quote maggiori, mentre nelle zone più basse prevale la selezione effettuata dal rapido gradiente di stress fisico (Snow e Vince, 1984).

Le interazioni positive tra specie possono invece avere un ruolo determinante nel favorire la successione: un esempio è dato dalla capacità di *Spartina sp.* di aerare il suolo tramite il tessuto aerenchimatoso, alleviando le condizioni limitanti e predisponendo l'ambiente alla colonizzazione di altre specie (Bertness, 1991).

### **1.5 Le barene e le alofite della laguna di Venezia come indicatori morfologici**

La rapida ed apparentemente incontrollata tendenza erosiva della laguna di Venezia impone lo studio dei fenomeni che influenzano l'evoluzione del bacino lagunare al fine di poter eseguire un monitoraggio capace di produrre previsioni circa l'evoluzione. Essendo le *barene* gli ambienti lagunari più palesemente soggetti ai processi in atto nella laguna, esse sono i migliori indicatori delle conseguenze dello squilibrio tra deposizione, consolidamento ed erosione.

Studiando l'evoluzione morfologica delle barene e dei canali che le incidono, si può avere a disposizione una chiave di lettura della delicata interazione tra processi biologici e idrodinamici, necessaria per la comprensione dell'attuale dinamica morfologica della laguna e per la previsione del suo mutamento.

Inoltre, a differenza delle altre strutture che caratterizzano la morfologia lagunare (paludi, laghi, bassofondi, *velme*, canali, *ghebi*), esse offrono il vantaggio di poter essere più facilmente studiate anche con sensori posti su piattaforme aeree o satellitari, sia perché sono sommerse completamente dall'acqua solo durante le maggiori alte maree sia perché ricoperte da vegetazione alofila che ne disegna con buona approssimazione i contorni.

La presenza di una specie vegetale si può considerare un indicatore dei fattori che ne rendono possibile la specifica presenza. La presenza stabile nel tempo di un organismo, ciclica od anche occasionale, presuppone un contesto di fattori che rendono possibile tale presenza. Le cause della crescita di una data specie in una particolare zona della *barena* sono legate a processi complessi e non ancora del tutto noti, ma diversi studi (ad esempio Salviato, 2000), condotti sia in Laguna di Venezia sia in altre *barene* europee ed americane, hanno evidenziato come i suoli siano colonizzati da associazioni vegetali diverse a causa di lievi differenze topografiche, che determinano variazioni nei principali fattori ritenuti responsabili della zonazione. Variazioni annuali nella distribuzione delle diverse alofite sulla superficie barenale possono quindi essere rappresentative dei cambiamenti in atto nella morfologia della *barena*.

Nella laguna di Venezia le associazioni di alofite più ricorrenti sono formate per lo più da *Puccinellia palustris*, *Limonium narbonense*, *Arthrocnemum fruticosum*, *Aster tripolium*, *Salsola soda* (Pignatti, 1966); nei terreni meno salati in prossimità di acque salmastre o dolci, nelle aree di gronda e negli ambiti vallivi, le tipiche alofite sfumano verso le associazioni igrofile dominate dalla presenza del giunco e verso canneti a

### *Phragmites australis*.

Nelle zone più depresse delle *barene*, maggiormente soggette ai fenomeni di marea, le condizioni del suolo permettono l'insediamento della graminacea *Spartina sp.*, più resistente di altre agli elevati livelli di salinità, ai periodi di sommersione, alla velocità della corrente e alla torbidità dell'acqua.

Nelle aree frequentemente sommerse, ma poco soggette al moto ondoso, si insediano anche specie annuali dal fusto carnoso e dai fiori poco appariscenti, appartenenti alla famiglia delle Chenopodiacee e comunemente note come Salicornie. Le Salicornie resistono a notevoli variazioni di salinità e formano popolamenti quasi puri dove l'acqua salmastra è sempre presente; inoltre sono anche importanti ricolonizzatrici dei fanghi che derivano dai dragaggi e che riempiono le casse di colmata, crescendo preferibilmente nelle aree di *barena* embrionale.

Nelle aree dove le argille si disseccano almeno in alcuni periodi dell'anno, si instaura un tipo di vegetazione dominata dalle salicornie perenni (varie specie di *Arthrocnemum*). Sono associazioni più ricche di specie, nelle quali è facile trovare il limonio comune (*Limonium narbonense*), il gramignone marittimo (*Puccinellia palustris*), la *Suaeda maritima* e l'astro marino (*Aster tripolium*).

A quote superiori, nelle zone di bordo, le sommersioni sono più rare e discontinue nelle stagioni, dominano quindi i fattori climatici che determinano grandi variazioni nell'umidità e salinità per gli effetti dilavanti, diluenti ed imbibenti dell'acqua piovana, e per l'aumento di concentrazione salina dovuti all'evaporazione nei momenti di siccità. L'acqua salata risale per capillarità ed evapora in superficie: ciò promuove la risalita stessa e determina un aumento della concentrazione salina alle quote più elevate. D'altra parte la maggior quota dei bordi corrisponde a importanti differenze pedologiche, date da maggiore ossigenazione, drenaggio e permeabilità dei suoli. In questo ambiente si insedia un consorzio di specie che colonizza la stretta striscia di bordo lungo canali e *ghebi* composto da *Obione portulacoides*, *Inula crithmoides*, *Aster tripolium*, *Juncus sp.* *Suaeda maritima* (associata tipicamente ad una forte presenza di sostanza organica).

Le stazioni più evolute sono invece dominate da giunchi (*Juncus acutus*, *Juncus maritimus*), gramignone marittimo (varie specie di *Puccinellia*), limonio comune (*Limonium narbonense*) e astro marino (*Aster tripolium*).

Le specie la cui presenza è maggiormente variabile sono quelle annuali perché in grado di sfruttare situazioni favorevoli alla loro crescita date dalle particolari condizioni meteorologiche di un dato anno. Le caratteristiche di ognuna delle specie rilevate in campo sono descritte in appendice A.

#### 1.5.1 Alofite e quote d'insediamento caratteristiche

Durante le campagne effettuate nella laguna Nord si sono rilevate le quote associate alle diverse specie di alofite. L'area più intensamente campionata ai fini del telerilevamento è stata quella denominata di San Felice dove quindi il set di dati relativi alla quota del suolo è più numeroso.

La *barena* di San Felice è stata scelta sia per la facilità di accesso (è possibile infatti raggiungerla in pochi minuti di barca dall'imbarcadere di Treporti), sia per la disponibilità di dati in campo e telerilevati.

L'area campionata è delimitata a nord ed ad ovest dal canale di San Lorenzo e dal canale Gaggian, a sud dal canale di San Felice e ad est dalla Palude del Tralo.

Nel sistema di barene di San Felice la specie più presente alle quote inferiori è *Spartina maritima*, mentre tra i 20 e i 40 cm di altezza i consorzi più frequenti sono formati da *Limonium* e *Sarcocornia spp.*; *Juncus* e *Inula spp.* sono presenti e abbondanti rispettivamente tra i 30 e i 40 cm e tra i 40 e i 50 cm l.m.m, mentre specie come *Aster*, *Suaeda*, *Artemisia* e *Puccinellia spp.* sono presenti in coperture ridottissime ed ai fini del presente studio sono generalmente indicate come “vegetazione mista di bordo”.

Osservando la distribuzione dei valori delle diverse specie rispetto alla quota (figura 1.6) ed escludendo le specie considerate “di bordo”, si ha conferma del fatto che i consorzi di specie siano in grado di fungere da indicatori dell'elevazione media dei suoli dove si insediano. L'alofta che mostra una quota d'insediamento meno definita è il giunco, probabilmente anche in relazione al set di dati più limitato rispetto alle altre, come si può ricavare dalla tabella 1.I.

In tabella 1.I sono riportati i dati relativi alla quota delle diverse specie anche nelle altre barene campionate all'interno del progetto TIDE. Queste non sono caratterizzate, come l'area di San Felice, dalla presenza della maggior parte delle alofite riscontrabili in laguna di Venezia, ma solo da poche specie.

Confrontando le quote medie di ogni specie, nelle diverse barene, si può notare come queste non restino costanti ma la successione di specie dalle zone più basse a quelle più elevate si mantenga (figura 1.7). Le due specie di cui è stato possibile misurare le quote sia a Palude Maggiore, che a Salina Nord ed a San Felice (*Sarcocornia* e *Spartina spp.*), mostrano un andamento caratteristico: sembra che procedendo lungo il canale di San Felice si riscontri una diminuzione della quota media del suolo passando dalla barena di San Felice a quella di Salina, localizzata circa a metà canale, per poi giungere nuovamente a quote più elevate, proseguendo verso l'interno della laguna, presso Palude Maggiore. Tale andamento della quota media del suolo lungo la direttrice di flusso che va dalla bocca di Lido verso l'interno della laguna era stato già riscontrato negli studi precedentemente condotti sulle tre barene; nonostante in quel caso il confronto si sia basato su un numero di specie più cospicuo, le conclusioni possono considerarsi le stesse: Palude Maggiore è la più elevata, con un'altezza di circa 31 cm sul l.m.m; la barena di San Felice presenta una quota intermedia, pari a circa 27 cm sul l.m.m., mentre presso le Saline le specie crescono attorno ai 20 cm sul l.m.m., caratterizzando tale barena come area maggiormente depressa lungo il canale di San Felice.

Le differenze maggiori si riscontrano nelle barene di Pagliaga, come ci si può aspettare, data la diversa origine e la maggior influenza dell'acqua dolce che si è mantenuta nonostante l'esclusione dei maggiori fiumi dalla laguna.

*Limonium sp.* viene qui incontrato a quote più elevate che a San Felice e la successione si inverte per quanto riguarda *Juncus sp.*. Il numero di campioni nettamente inferiore rispetto a quello registrato nell'area di San Felice non consente però di verificare appieno il tipo di relazione tra queste barene e quelle di Pagliaga.

I dati di quota relativi all'area di San Felice, ed alle altre zone lungo il canale omonimo, sono stati confrontati anche con rilievi pubblicati nel 2000 (Salviato, 2000), riscontrando una relativa stabilità nel tempo delle quote medie ricavate.

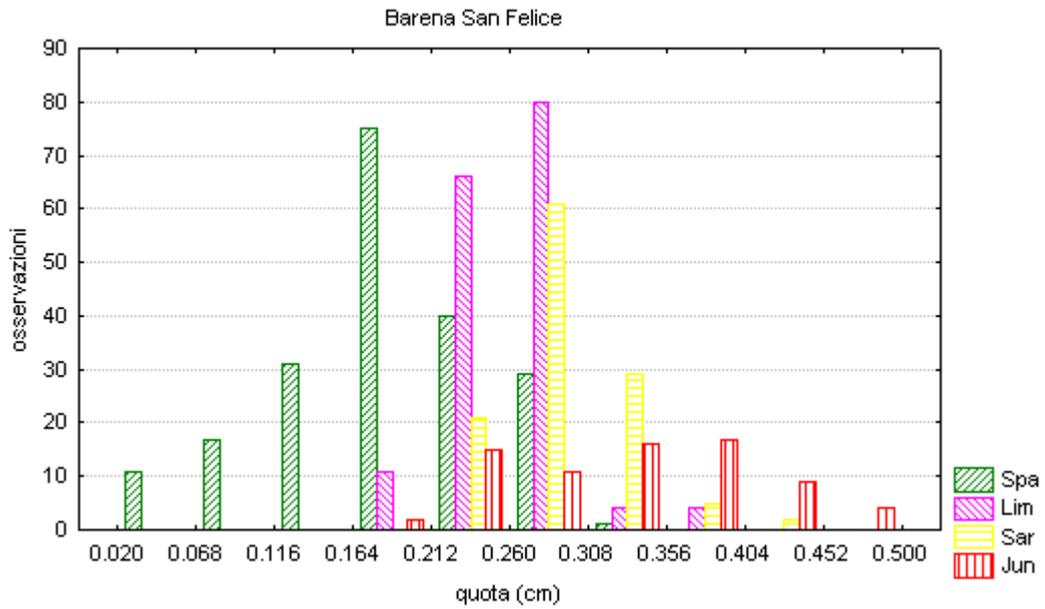


Figura 1.6 - Frequenze di presenza delle diverse specie con la quota.

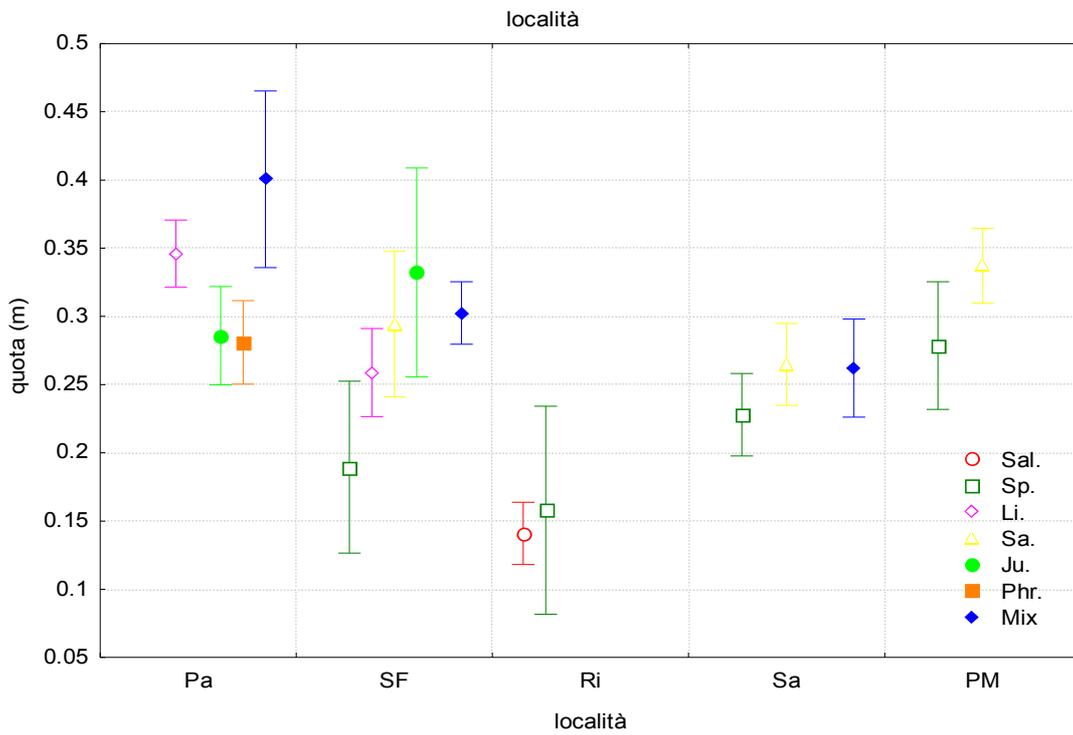


Figura 1.7 – Intervalli di quota per ogni specie nei diversi siti di campionamento.

Tabella 1.1 – Tabella riassuntiva dei valori di quota media delle diverse alofite nei 6 siti di campionamento. L'indicazione "Pagliaga" riassume i siti "Trombetta" e "Passarini".

Barrena	Rilievo	alofita							
		Sal.	Sp.	Li.	Sa.	Ju.	Phr.	Mix	
Palude Maggiore	n° dati	-	70	-	76	-	-	-	
	quota m	-	0.28	-	0.34	-	-	-	
	dev st	-	0.05	-	0.03	-	-	-	
Pagliaga	n° dati	-	-	20	-	186	32	20	
	quota m	-	-	0.35	-	0.29	0.28	0.40	
	dev st	-	-	0.02	-	0.04	0.03	0.06	
Saline	n° dati	20	60	-	-	-	-	-	
	quota m	0.14	0.16	-	-	-	-	-	
	dev st	0.02	0.08	-	-	-	-	-	
Rigà	n° dati	-	29	-	19	-	-	9	
	quota m	-	0.23	-	0.26	-	-	0.26	
	dev st	-	0.03	-	0.03	-	-	0.04	
San Felice	n° dati	-	126	160	151	54	-	24	
	quota m	-	0.19	0.26	0.29	0.33	-	0.30	
	dev st	-	0.06	0.03	0.05	0.08	-	0.02	