

1. MORFOLOGIA LAGUNARE

Le barene, strutture morfologiche tra le più caratteristiche dell'ecosistema lagunare, sono costituite da terreni sopra il livello medio delle maree che, solo in certe circostanze, vengono sommersi completamente dalle acque. Si tratta di ambienti altamente dinamici, soggetti ad erosione, per i quali le fluttuazioni del livello di marea costituiscono il principale fattore di controllo. Le maree controllano la salinità e il grado di saturazione del suolo e sono responsabili del trasporto dei sedimenti. Questi fattori associati alla topografia irregolare della superficie ed alla presenza di particolari elementi morfologici (chiari, ghebi), fa sì che ciascuna barena presenti un complesso mosaico di microhabitat nei quali si insediano, in modo variegato, le diverse specie di piante.

Le barene hanno un'importanza fondamentale per l'ecosistema lagunare in quanto svolgono specifiche e diversificate funzioni che possono essere distinte in due tipologie:

- **funzione morfologica:** moderano l'azione del moto ondoso, catturano i sedimenti messi in sospensione e ne limitano la dispersione in laguna e la perdita a mare;
- **funzione naturalistica:** ospitano la massima produzione organica, vegetale e batterica, rappresentano habitat favorevoli all'insediamento di comunità bentoniche e sono importanti aree di passaggio, di riproduzione e di stazionamento per numerose specie di uccelli, alcune delle quali rare o, addirittura, localmente minacciate di estinzione (fraticelli, avocette, chiurli, piovanelli, garzette, aironi, ecc.).

In questi ultimi tempi si è assistito ad una notevole riduzione delle superfici a barena, sintomo di una generale trasformazione che sta interessando la morfologia e l'idrodinamica dell'intero bacino lagunare.

1.1. Caratteristiche geografiche e fisiche della laguna di Venezia

L'ecosistema lagunare è composto da tre entità strettamente connesse da reciproci scambi: il bacino scolante, la laguna stessa ed il mare Adriatico, le cui maree governano la laguna con il flusso e riflusso delle acque attraverso le tre bocche di porto.

Il bacino scolante, identifica l'area nella quale scorrono tutte le acque dolci che affluiscono dalla terraferma in laguna ed è costituito da un territorio fortemente antropizzato nel quale si distinguono ambiti agricoli, industriali ed urbani. Dal punto di vista amministrativo il territorio del bacino interessa tre provincie: il 52% della provincia di Venezia, il 40% di quella di Padova e l'8% di quella di Treviso ed ospita un totale di 101 comuni. Le acque del bacino scolante defluiscono in laguna attraverso una complessa rete idrografica. I punti di immissione sono 29, costituiti dalle foci dei corsi d'acqua superficiali naturali e artificiali, a cui si aggiunge un numero rilevante di scarichi, intesi come punti di recapito di reti fognarie o di impianti di depurazione civili o industriali. Alcuni dati sul bacino scolante sono riportati in *Tab.1.1*.

Tab.1.1 - Bacino scolante (<http://www.salve.it>)

Superficie	1.877 km ²
Superficie ad uso agricolo	1.164 km ²
Rete idrica (fiumi e canali)	2.515 km
Volume d'acqua dolce fluente in laguna	900 milioni di m ³ /anno
Province	Venezia, Padova, Treviso
N° Comuni	101
Popolazione (censita nel 1991)	1.460.000 abitanti
Quantità di nutrienti annualmente sversata nel bacino scolante	7.000 t di azoto 1.500 t di fosforo

La laguna di Venezia è la più estesa laguna italiana ed ha una superficie di circa 550 km² dei quali 418 sono aperti alle escursioni di marea. È situata tra la foce del fiume Sile a nord-est e quella del Brenta a sud-ovest; ad est è delimitata dai cordoni litoranei di Cavallino, Lido, Pellestrina e Sottomarina mentre ad ovest confina con la terraferma (*Fig.1.1*).

I margini della laguna costituiscono oggi un perimetro rigidamente definito: verso il mare dal fronte dei "murazzi" e dalle bocche di porto, verso la terraferma in parte dalla



Fig.1.1 – Laguna di Venezia

“conterminazione¹”, che distingue l’ambito lagunare dall’entroterra, ed in parte dall’ininterrotto susseguirsi di insediamenti industriali, residenziali, agricoli e dalla presenza di infrastrutture, discariche, argini, idrovore e scolmatori.

In un rapporto sull’evoluzione morfologica della laguna di Venezia relativo al periodo tra il ‘70 e il ‘90 (Consorzio Venezia Nuova, 1994), si parla di una profondità media lagunare di 1,52 m nel 1970, che sarebbe salita a 1,56 m nel 1990. La differenza tra queste cifre, che potrebbe essere dovuta anche alle discrepanze nel considerare il livello medio del mare, è notevole perché rappresenta un aumento di profondità del 2,6%.

Da un punto di vista idraulico, la laguna è formata da tre bacini comunicanti con il mare attraverso le bocche di porto del Lido (larga circa 800 m), Malamocco e Chioggia (larghe ciascuna circa 400 m). I tre bacini sono delimitati da due *partiacque*, attraverso i quali c’è trasporto d’acqua solo in casi eccezionali (per esempio con forte vento di Bora) e quindi l’acqua marina che entra da una bocca durante la fase di flusso, esce dalla stessa bocca in fase di deflusso. Questo avviene perché l’alta marea, così come la bassa, si presenta quasi nello stesso momento all’ingresso delle tre bocche di porto: queste, infatti, giacciono rispetto al moto oscillatorio della marea nell’Adriatico, su uguali linee cotidali o linee di ugual fase (Cavazzoni, 1995).

I movimenti dell’acqua in laguna non sono regolari, e sono caratterizzati da sfasamenti temporali e da dislivelli considerevoli perché la propagazione della marea avviene lungo gli alvei lagunari maggiori, i quali presentano lunghezza e profondità variabili, e quindi la velocità dell’acqua cambia notevolmente da punto a punto: è massima alle imboccature di porto e nulla verso i bordi del bacino. Nelle zone interne più distanti dal mare, l’oscillazione di marea arriva smorzata e con ritardo (fino a due o tre ore).

L’oscillazione di marea, determinata dall’azione combinata della Luna e del Sole (marea astronomica) e, influenzata dagli eventi meteorologici (marea meteorologica), viene trasmessa al mare Adriatico dal Mediterraneo attraverso il canale d’Otranto con un movimento rotatorio antiorario che, sul lato nord, è diretto dalla costa dalmato-istriana a quella veneta (Cavazzoni, 1995).

¹ Opera di perimetrazione completata nel 1791 mediante la posa in opera sul terreno di 102 cippi disposti lungo un perimetro di 157 km. La linea di conterminazione segue per lo più elementi idrografici artificiali e di rado corrisponde ai limiti naturali dell’ambiente lagunare.

Due cicli di marea giornalieri assicurano il ricambio dell'acqua lagunare e forniscono la condizione prima di sopravvivenza all'ecosistema. Durante il novilunio e il plenilunio (il Sole e la Luna sono allineati con la Terra) le alte e basse maree di sizigie, avendo una differenza tra di loro di 1-1,4 metri, producono il ricambio maggiore. Le maree di quadratura, concomitanti coi quarti di luna (Luna e Sole formano con la Terra un angolo di 90 gradi), hanno una differenza di 20-40 centimetri e danno il ricambio astronomico minore. La portata massima di marea complessiva di tutte e tre le bocche è di 20.000 m³ d'acqua al secondo. Durante ogni ciclo di marea vengono scambiati 350 milioni di m³ in sizigie e 175 milioni di m³ in quadratura (Cavazzoni, 1995).

I fondali della laguna di Venezia sono costituiti da sedimenti a diversa granulometria. Procedendo dalle bocche di porto verso l'interno, si osserva una diminuzione progressiva della granulometria passando gradualmente da alte percentuali della frazione sabbiosa alla prevalenza di quella argillosa. Questo meccanismo è legato alla velocità della corrente di marea e quindi alla capacità di trasporto del sedimento. L'energia della corrente di marea è massima alle bocche di porto e va smorzandosi verso l'interno del bacino lagunare in corrispondenza alla diminuzione della sezione dei canali, alle variazioni della profondità e della morfologia del fondo.

Dallo studio mineralogico dei sedimenti (Barillari, 1984), risulta che i componenti più abbondanti sono i carbonati, seguiti in ordine decrescente da quarzo e silicati. I carbonati sono rappresentati essenzialmente dalla dolomite [CaMg(CO₃)₂] e in quantità minore dalla calcite [CaCO₃] che, in alcune aree del bacino meridionale, è totalmente assente. Il tenore in carbonati diminuisce passando dalle bocche di porto verso l'interno dei bacini e da nord verso sud.

La materia organica appare legata alla granulometria del sedimento ed a particolari condizioni idrodinamiche locali. I valori massimi (5-8%) si riscontrano infatti su silt ed argille, in corrispondenza a bassi valori delle correnti di fondo, mentre quelli minimi (0,5-1%) nei sedimenti molto sabbiosi prossimi alle bocche di porto e ad aree interessate da canali con elevata velocità di corrente. La concentrazione di sostanza organica è soggetta a variazioni stagionali con valori massimi in corrispondenza al periodo estivo e minimi in corrispondenza a quello invernale (Barillari, 1984).

La laguna è un ambiente salmastro nel quale si mescolano acque d'ingressione costiera con acque di origine continentale. La salinità è variabile, a causa sia della variabilità delle maree, che dell'entità delle precipitazioni e dell'evaporazione. Essa presenta presso le bocche di porto, valori simili a quelli registrati in mare (anche superiori al 36‰) e valori più che dimezzati (a volte inferiori al 10‰) nelle zone più interne della laguna. Le salinità mediamente più basse, si

trovano nella laguna settentrionale per lo sbocco dei fiumi Dese e Osellino e per la vicinanza delle foci del Sile e del Piave. Le escursioni stagionali di salinità sono dell'ordine del 10%. I valori più alti si riscontrano in corrispondenza dei periodi di magra dei corsi d'acqua (estate, inverno); d'estate, si possono toccare livelli di salinità anche maggiori di quelli marini a causa dell'intensa evaporazione. Le acque lagunari presentano inoltre una stratificazione verticale della salinità causata dall'incunarsi, durante la fase di marea entrante, delle acque marine più fredde e più salate sotto quelle lagunari più calde e più dolci (Nasci et al., 1982).

Anche la temperatura delle acque della laguna è notevolmente variabile, presentando un'escursione media fra estate ed inverno dell'ordine di 20°C. Essa in estate supera spesso i 30°C, mentre in inverno le acque possono persino gelare, soprattutto nelle zone di margine interno, dove il fondale è meno profondo e c'è prevalenza di acqua dolce. La variabilità della temperatura è dovuta al fatto che il riscaldamento delle acque lagunari avviene unicamente ad opera della radiazione solare e che il loro volume, piuttosto esiguo, presenta un'inerzia termica relativamente bassa cosicché gli scambi termici con l'atmosfera e con il fondo risultano estremamente veloci (Nasci et al., 1982).

1.2 Strutture morfologiche

La morfologia lagunare caratterizza l'ecosistema incidendo sia sulla produttività biologica, sia sull'autodepurazione e sulla circolazione delle acque. All'interno della conterminazione lagunare sono compresi bassifondi, velme, barene, isole, canali e valli arginate.

Il suolo del territorio lagunare è costituito dall'insieme delle terre emerse, di natura artificiale o naturale (litorali, casse di colmata, isole, argini) e copre circa l'8% di tutta la superficie della laguna. Il restante 92% è costituito da acqua che comprende i canali e i fondali, le velme e le barene (*Fig. 1.2*). Le barene sono parte del sistema acqua anche se, in alcuni casi, sono più alte sul livello del mare di zone del centro storico considerate terre emerse. Il criterio di assegnazione delle barene al sistema acqua, fa riferimento alla loro funzione di regolare l'idrodinamica lagunare.

Le correnti di marea entrano ed escono dalle bocche di porto espandendosi verso le estremità dei rispettivi bacini, attraverso una fitta rete di *canali* che si ramificano gradualmente e si restringono verso l'interno. I canali in parte si sovrappongono agli alvei degli antichi fiumi e sono il risultato dell'opera di modellazione della marea che ne determina anche l'esistenza. Ai

canali naturali ad andamento tortuoso, si sono aggiunti negli anni i canali artificiali che hanno andamento rettilineo.

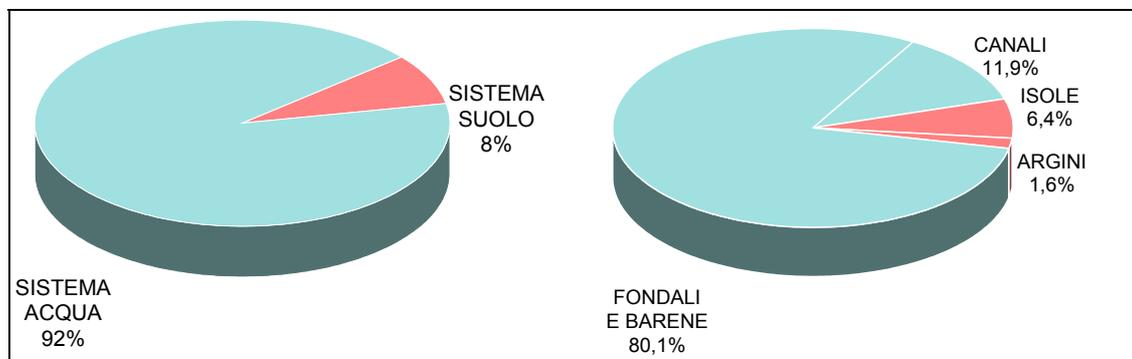


Fig.1.2 - Composizione della superficie della laguna (<http://www.salve.it>).

Gli ultimi e più sottili rami dei canali, che solcano le barene e le velme, sono detti *ghebi*. Attraverso di essi la marea raggiunge le zone più interne, che in passato erano dette “laguna morta” perché, quando le bocche non erano sufficientemente ampie, risentivano solo marginalmente dell’azione vivificatrice della marea.

Le aree adiacenti ai canali, con quota del suolo inferiore al livello medio del mare, sono chiamate *bassifondi*.

Le *velme* sono zone prive di vegetazione e normalmente sommerse che emergono solo in particolari condizioni di marea (basse maree di sizigie) e sono caratterizzate da terreni molli.

Le *paludi*, il cui nome rimanda a quelle più antiche di origine fluviale, sono bacini minori, a forma di catino con fondale melmoso e costantemente sommerso.

Le *barene* si presentano come estensioni tabulari a substrato prevalentemente costituito da sedimenti limoso-argillosi, popolate da vegetazione alofila, che per la maggior parte del tempo emergono al di sopra del livello medio del mare e vengono sommerse completamente solo durante le alte maree di sizigie.

Le *isole*, costituite da terreni mai sommersi dalle alte maree e che quindi consentono l’instaurarsi di colture e di insediamenti umani stabili, si possono distinguere in base alla loro origine naturale o artificiale. Le isole naturali sono relitti di dune, cioè residui di antichi cordoni litoranei come nel caso delle Vignole o di Sant’Erasmus, oppure si sono generate in seguito all’opera di deposizione ed accumulo di materiali solidi trasportati dai fiumi, come nel caso di Burano e Torcello. Un consistente numero di isole è artificiale (*Tab.1.II*).

Tab.1.II - Dati relativi alle superfici delle isole della laguna comprese le casse di colmata B, D-E e Chioggia. Sono escluse le isole di Lido, Pellestrina, Treporti (considerate tra i litorali) e la cassa di colmata A (considerata parte della terraferma). La catalogazione procede dal bacino nord al bacino sud (<http://www.salve.it>).

ISOLE	SUPERFICIE (m ²)	ISOLE	SUPERFICIE (m ²)
Cason Montiron	1.881	Sacca Sessola	156.374
Sant' Ariano	25.676	La Grazia	38.184
La Cura	81.343	Santo Spirito	23.823
Santa Cristina	136.229	San Clemente	67.915
Motta dei Cunicci	4.547	San Servolo	48.442
Motta San Lorenzo	4.324	San Lazzaro degli Armeni	32.718
La Salina	53.456	Lazzaretto Vecchio	25.799
Motta Sant' Antonio	75	Colmata B	3.901.008
San Giuliano	11.029	Colmata D-E	7.644.195
Campalto	29.234	Campana	5.858
San Secondo	12.064	Poveglia	75.134
Carbonera	5.867	Ex Poveglia	5.710
Tessera	6.296	Fisolò	4.760
Buel del Lovo	6.452	Ottagono Abbandonato	3.026
Mazzorbo	517.945	Cason Prime Poste	574
Torcello	441.699	Casone Barenon	1.639
Burano	210.766	Casone del Cornio Vecchio	1.335
Madonna del Monte	5.722	Motta di Valgrande	704
San Giacomo in Palude	12.496	Motta del Cornio Nuovo	604
Lazzaretto Nuovo	87.239	Ottagono Alberoni	2.520
Sant'Erasmo	3.257.361	Faro Ceppe	2.783
San Francesco del Deserto	36.832	Ottagono San Pietro	3.326
Crevan	3.651	Motta di Beverara	545
La Certosa	241.994	Cason di Valle in Pozzo	773
Le Vignole	692.015	Casone Millecampi	4.135
Murano	1.171.625	Cason le Tagiae	300
San Michele	159.519	Motta Peta di Bo	479
Tronchetto	184.281	Cason dei Sette Morti	212
Venezia	5.165.348	Motta di Bombae	431
Sant'Elena	335.275	Ottagono di Caroman	2.023
San Pietro di Castello	62.612	Chioggia	665.341
Sacca Fisola	180.688	Cantieri	80.657
Giudecca	589.056	Dell'Unione	68.910
San Giorgio Maggiore	99.793	Del Buon Castello	24.084
Tresse	5.226	Aleghero	27.006
San Giorgio in Alga	15.113	Borgo San Giovanni	2.361.770
Sant'Angelo della Polvere	5.243		

Le casse di colmata, localizzate a sud del porto industriale, sono isole artificiali, formate negli anni '60 con il materiale di riporto proveniente dallo scavo del "Canale dei Petroli", realizzato per consentire l'accesso delle navi al porto industriale di Porto Marghera. Hanno

forme geometriche regolari e si estendono su una superficie complessiva di 11,36 km² (Tab. I.II), in precedenza occupata da barene. La costruzione delle casse di colmata ha provocato una drastica riduzione della quantità e qualità del ricambio idrico tra la “laguna viva” e gli specchi d’acqua alle spalle di esse. Oggi nelle casse di colmata B e D-E, sono stati aperti canali e ghebi e i materiali dragati sono stati utilizzati per la costruzione di nuove barene. È stato così ripristinato il ricambio idrico nelle zone retrostanti e si è avviata la rinaturalizzazione delle casse stesse.

Le *valli da pesca* sono aree separate dalla laguna aperta mediante arginature che ne determinano l’esclusione dai flussi e riflussi di marea. Sono bacini poco profondi di acque salse e salmastre e costituiscono ambienti molto particolari che, fin da tempi antichissimi, sono stati attrezzati per l’itticoltura e talvolta per la caccia. Al loro interno racchiudono specchi d’acqua, canali artificiali o naturali, barene e strutture per gestire gli apporti di acqua dolce o salata. Le valli sono 31, sia di proprietà demaniale che privata, e occupano una superficie totale di 92,22 km² (Tab. I.III).

I *cordoni litoranei o lidi*, sottili strisce di terra che separano la laguna dal mare, si estendono per una cinquantina di chilometri tra le foci del fiume Brenta a sud-ovest e del Sile (Piave Vecchia) a nord-est e sono divisi dalle tre bocche di porto nei quattro segmenti di Sottomarina, Pellestrina, Lido e Cavallino.

1.3 Le barene

La terminologia che riguarda la laguna ed i suoi elementi costitutivi, è ricca di nomi dialettali ma carente di definizioni. Per questo, si ritiene utile riprendere alcuni termini e precisare i significati che si intende attribuire loro nel presente lavoro.

In particolare, il termine *barena* ha assunto nel tempo significati molto diversi che possono dare adito ad equivoci (Silvestri, 2000). Oggi si preferisce individuare le barene tramite la presenza su di esse della vegetazione “alofila” cioè capace di completare l’intero ciclo vitale in ambienti caratterizzati da un elevato contenuto di sali (Flowers, 1975; Flowers et al., 1986; Jennings, 1968; Waisel, 1972; Silvestri et al., 2000).

Qualche problema all’uso delle alofite, per il riconoscimento delle barene, deriva dalla difficoltà, riscontrata in letteratura, nel determinare i limiti di salinità dei suoli sui quali crescono queste piante. Alcuni autori hanno definito alofite quelle piante che vivono dove la salinità eccede le 100 mol/m³ (Flowers et al., 1986) mentre altri (Munns et al., 1983) adottano come

limite il valore di 70 mol/m³. Chapman (1942) considera salati i suoli aventi concentrazioni di NaCl nell'acqua del terreno superiore a 0,5%. Infine Waisel (1972) definisce salini gli habitat dove il contenuto minimo di NaCl, calcolato su estratto saturo del suolo, è maggiore a 100 mEq.

Tab.1.III - Valli da pesca (<http://www.salve.it>).

	SUPERFICIE ACQUA (km²)	SUPERFICIE TERRA (km²)	SUPERFICIE TOTALE (km²)	ZONA LAGUNA
Valle Averno	4,218	0,136	4,354	centro
Valle Basegia	0,617	-	0,617	nord
Valle Cavallino	2,754	0,284	3,038	nord
Valle Contarina	1,948	0,029	1,997	centro
Valle del Cornio Alto	0,776	0,026	0,802	centro
Valle del Cornio Basso	1,910	0,060	1,970	centro
Valle Dogà	16,345	0,289	16,634	nord
Valle Dragojesolo	10,364	0,198	10,562	nord
Valle Micei	2,168	0,055	2,223	nord
Valle Orcoli	1,828	0,088	1,916	nord
Valle Falconera	0,364	0,002	0,366	nord
Valle Figheri	3,962	0,073	4,035	centro
Valle Fosse	1,680	0,023	1,703	nord
Valle Ghebo Storto	1,921	0,052	1,973	sud
Valle Grassabò	9,138	0,175	9,313	nord
Valle la Bianca	0,493	-	0,493	nord
Valle Lio Maggiore	1,202	0,094	1,296	nord
Valle Liona	1,375	0,054	1,429	nord
Valle Morosina	5,240	0,281	5,521	sud
Valle Musestre	0,224	0,019	0,243	nord
Valle Olivari	0,635	0,009	0,644	nord
Valle Paleazza	3,551	0,009	0,644	nord
Valle Perini	3,050	0,015	3,065	nord
Valle Pierimpè	4,565	0,247	4,839	sud
Valle Saccagnana	0,214	-	0,214	nord
Valle Sacchetta	0,518	-	0,518	nord
Valle Sacchettina	0,509	0,008	0,517	nord
Valle Serraglia	3,826	0,140	3,966	centro
Valle Sparesera	0,150	0,005	0,155	nord
Valle Tezze	1,260	0,001	1,261	centro
Valle Zappa	3,425	0,088	3,513	centro

In ogni caso, il livello di salinità adottato come soglia, ha la valenza pratica di identificare le alofite distinguendole in modo oggettivo dalle glicofite, piante superiori che crescono in ambienti d'acqua dolce, e consente di usare la classificazione come strumento per distinguere le barene dalla terraferma. Inoltre la presenza della vegetazione permette anche di riconoscere le

barene dalle zone di velma, aree che, emergendo solamente in condizioni particolari di bassa marea, non presentano condizioni favorevoli alla colonizzazione della vegetazione pioniera. Riassumendo, si può affermare che il limite inferiore della barena, cioè la soglia che segna il confine con le velme e i bassifondi, può essere definito come il limite più basso al quale riescono a sopravvivere le alofite (Adam, 1990) mentre il limite superiore, oltre il quale si ha la terraferma, va definito come il limite inferiore per la sopravvivenza delle glicofite.

Questa distinzione è molto importante perché da un lato la vegetazione costituisce una discriminante naturale non ambigua, dall'altra il riconoscimento di un'area a barena può essere ottenuto direttamente da rilievi remoti.

1.3.1 Genesi e sviluppo delle barene

Le barene si sviluppano in seguito all'apporto di materiale solido alla superficie di alcune zone di bassofondo melmose (velme) con conseguente aumento della quota (Pethick, 1984). Fattore necessario per la loro formazione è ovviamente l'apporto di sedimenti sia che esse si trovino in zone dominate dalle correnti marine, sia che nascano in zone di estuario (Chapman, 1960). Sui dossi dei bassifondi l'onda di marea si espande con minor energia di quanta ne possa spendere nelle zone circostanti, consentendo una maggior sedimentazione ed una minor erosione, da cui il progressivo aumento in altezza dei dossi stessi. Le superfici barenose si trovano così ad essere più elevate rispetto al livello medio della marea ed 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. La presenza di microalghe, ed in particolare delle diatomee che secernono muco, promuove la sedimentazione e la stabilizzazione delle superfici delle piane di fango e ciò facilita il successivo insediamento delle piante. Le specie colonizzatrici più comuni sono alcune varietà di *Salicornia* e di *Spartina* che possono resistere più di altre ad elevati livelli di salinità, ai periodi di sommersione, alla velocità della corrente ed alla torbidità dell'acqua (Pethick, 1984). In questo stadio la giovane barena appare piatta ed uniforme, ma con il tempo il profilo della sua superficie cambia poiché dove l'accumulo di sostanza organica e di sedimenti è maggiore, le quote divengono più elevate (Pethick, 1984). Le diverse specie vegetali si insediano rispettando le caratteristiche morfologiche del suolo e con il tempo compongono il mosaico di popolamenti caratteristico delle barene mature.

La presenza di piante superiori che colonizzano le barene promuove la sedimentazione e contrasta l'erosione in diversi modi (Pethick, 1984; Frey et Basan, 1985). Infatti:

- i) le foglie e i fusti delle piante costituiscono un impedimento alla propagazione della marea entrante e, riducendo la velocità dell'acqua, favoriscono la sedimentazione che procede durante tutto il periodo in cui la barena è sommersa;
- ii) le radici delle piante trattengono i sedimenti contrastando l'erosione;
- iii) alcune specie di alofite espellono sali dai loro tessuti aumentando la salinità locale che fa flocculare e precipitare il particolato più fine;
- iv) i fusti e le foglie fungono da superficie di deposizione.

La marea raggiunge la superficie della barena, non solo attraverso i bordi ma anche attraverso i ghebi e ciò potrebbe spiegare la formazione degli argini rialzati lungo di essi. È anche facile pensare, che tali argini, sui quali si scarica la maggior parte dell'energia di marea, siano costituiti da sedimenti con elevate percentuali di sabbia mentre nelle zone interne prevalgono sedimenti ricchi di argilla e limo. Tale modello, estremamente semplice, può essere però modificato da due semplici fattori: dalla distribuzione della vegetazione, soprattutto da come essa ricopre la superficie e dal verificarsi di eventi tempestosi. Anche i sedimenti trasportati dal vento possono risultare significativi.

È inoltre presente un ciclo annuale che trasferisce la zona di massimo accrescimento all'interno della barena in primavera, e verso le zone marginali in inverno. Durante la primavera e l'estate la salinità dell'acqua è maggiore e causa un aumento della flocculazione. Anche l'attività biologica cresce cosicché la deposizione di sostanza organica risulta massima. In questo periodo, quindi, i maggiori tassi di accrescimento si riscontrano nelle zone interne della barena dove vi è una maggiore produzione primaria. Durante l'inverno le precipitazioni determinano una riduzione della salinità e l'attività biologica rallenta. I tassi di deposizione decrescono e i sedimenti depositati in estate vengono dispersi ed erosi da onde e correnti più forti. Una parte di sedimenti viene trasportata dalle zone interne alle zone marginali della barena, in corrispondenza della fascia interessata dalle maggiori maree (Pethick, 1984).

L'accrescimento totale in una barena (deposizione meno l'effetto combinato di erosione e compattazione) varia anche durante tutto il suo sviluppo. Mano a mano che la superficie si innalza si assiste ad una graduale riduzione dei tassi di accrescimento a causa non solo della diminuzione in frequenza e durata delle inondazioni, ma anche perché la maggior parte dei sedimenti rimane intrappolata nelle zone più basse. Su questa base alcuni autori (Mitsch et Gosselink, 1993; Pethick, 1984) ritengono che il contributo dei sedimenti all'innalzamento del

piano di barena termini quando si raggiunge l'equilibrio fra la velocità di accrescimento per deposizione e la velocità di compattazione del suolo.

1.3.2 Elementi morfologici

All'apparente monotonia e tabularità del paesaggio barenale, si contrappone un'elevata diversità e variabilità morfologica resa visibile dalla presenza di vari elementi quali chiari, ghebi e dossi.

La vivificazione delle barene avviene ad opera dei “ghebi” (*Fig.1.3*), piccoli canali meandriiformi che drenano il suolo quando la marea si ritira e consentono la penetrazione dell'acqua nelle zone interne anche quando il colmo non supera la quota dei bordi della barena. I ghebi inoltre contribuiscono a dissipare l'energia della marea entrante, riducendo il tasso di erosione superficiale.



Fig. 1.3 – Vista di una barena solcata da un canale e da una fitta rete di ghebi.

Un'altra struttura morfologica caratteristica delle barene, è la presenza di specchi d'acqua salmastri poco profondi denominati “chiari” (*salt pan*) (Fig.1.4). L'origine e lo sviluppo di tali strutture, sono attualmente oggetto di numerose controversie.

Alcuni autori distinguono due tipologie di chiari: il *primary pan* e il *channel pan*.

I *primary pan*, spesso caratterizzati da una geometria quasi circolare, si sono probabilmente originati nei primi stadi di sviluppo e colonizzazione delle barene quando la copertura vegetale non è continua. Alcune aree sono quindi prive di vegetazione e l'acqua marina che si deposita in questi pozzi embrionali, evaporando, produce condizioni di salinità alle quali le piante non possono sopravvivere.

I *channel pan* hanno invece forma allungata e sembrano essersi originati in seguito al progressivo abbandono di un ghebo. Il vecchio ghebo, successivamente riempito di sedimenti, lascia una depressione superficiale trattenendo così l'acqua salina e impedendo la colonizzazione da parte della vegetazione. L'abbandono di un ghebo può avvenire in conseguenza di una diminuzione del livello del mare o del progressivo incremento di quota della barena che, attraverso un approfondimento dei ghebi, fa sì che il volume totale delle acque di marea possa essere trasportato da un minor numero di canali.

Altri autori hanno proposto che i chiari possano formarsi come risultato dell'erosione e congiungimento di una rete di piccoli canali. È stato suggerito che questi canali si possono formare durante periodi di disseccamento della superficie quando si formano delle profonde fessure e che, la successiva formazione del chiaro, sia dovuta alle precipitazioni (Adam, 1990; Pethick, 1984).



Fig.1.4 – Due immagini di chiari

1.3.3 Caratteristiche del suolo

Le barene presentano un suolo pesante, asfittico, scarsamente permeabile, di composizione limo-argillosa, definito “suolo salso” per l’elevata concentrazione di cloruri (Anoé et al., 1984).

I livelli maggiori di **salinità** si ritrovano alle quote intermedie e più alte della barena perché nelle zone più basse, frequentemente sommerse, i valori di salinità sono relativamente costanti e raramente superano quelli dell’acqua di sommersione mentre, alle quote più alte, l’azione delle maree interagisce con il clima (Adam, 1990).

In Fig.1.5 sono riportati due diagrammi derivati dalla letteratura (Adam, 1990) che illustrano una tale situazione. In entrambi si nota come, all’aumentare della quota del suolo, aumenti anche la concentrazione in sali fino ad un limite massimo che coincide con il passaggio da ambiente di barena, influenzato dalle maree, ad ambiente d’acqua dolce, dove le piogge, dilavando i sali, ne diminuiscono drasticamente il contenuto salino.

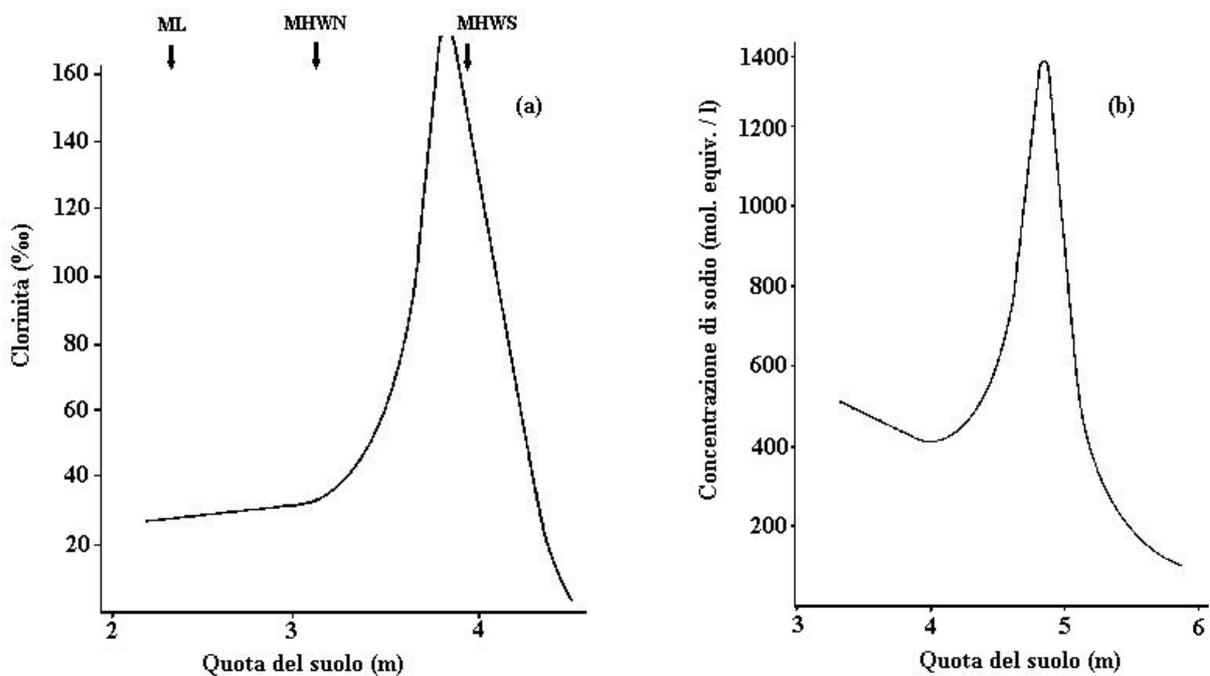


Fig.1.5 – (a) Concentrazione dello ione Cl^- (clorinità) nel suolo in funzione della quota, misurata sulle barene di Gladstone (Queensland) tra il 1975 e il 1980; (b) concentrazione di sodio nell’acqua interstiziale del suolo in funzione della quota, misurata tra il 1972 e il 1974 a Morecambe Bay (North West England) (Adam, 1990).
ML = Mean Level (livello del medio mare); MHWN = Mean High Water of Neap tides (media del massimo livello dell’acqua durante le maree di quadratura); MHWS = Mean High Water of Spring tides (media del massimo livello dell’acqua durante le maree di sizigia).

La relazione esistente tra quota e salinità nei suoli delle barene della laguna di Venezia, è stata studiata da Pignatti (1966) il quale afferma che “la concentrazione salina è tanto più elevata, quanto più la superficie del terreno è innalzata rispetto al livello del mare”. Il meccanismo più accreditato che spiega tale andamento, è l’esopercolazione: durante i periodi di emersione, l’umidità nelle zone più alte, è modesta e l’acqua sale per capillarità attraverso i pori del terreno. Durante la risalita è soggetta ad evaporazione ed avvicinandosi alla superficie, diviene via via più concentrata. La concentrazione salina risulta pertanto massima là dove l’acqua percorre il tragitto più lungo dalla falda freatica alla superficie (Pignatti, 1966).

Una verifica quantitativa della situazione descritta, è stata effettuata nel corso del presente lavoro, prelevando alcuni campioni di suolo in due barene situate nel bacino nord della laguna di Venezia e denominate barena Salina e barena Palude Maggiore (v. Cap.3).

Le analisi di salinità sono state effettuate sia su estratto del suolo a saturazione che su estratto suolo-acqua in rapporto 1:5. I risultati mostrano un andamento che si ripete per le diverse procedure e si è quindi deciso di far riferimento ai valori ottenuti dall’estratto a saturazione, più indicativi dello stato di salinità del suolo, perché meglio correlati alle condizioni di campo (Società italiana della scienza del suolo, 1985).

In *Fig.1.6* sono riportati i valori medi di salinità per intervalli crescenti di quota. In entrambi i casi, si osserva come la salinità aumenti sino a raggiungere un massimo per poi decrescere.

Il valore medio della salinità misurata nei primi 20 cm di suolo (strato nel quale si ritrova la maggior quantità di radici) è del 61,3‰ in barena Palude Maggiore e del 65‰ in barena Salina.

Le procedure adottate per la preparazione dei campioni e l’analisi della salinità, sono descritte nell’*Appendice A*.

I suoli di barena sono caratterizzati in generale da uno strato superiore mediamente ricco in **sostanza organica** che conferisce loro un colore grigio nerastro (Pignatti, 1966; Waisel, 1972). Di conseguenza, elevato è anche il tenore in carbonio organico, compreso generalmente tra il 5 e il 10% (Consorzio Venezia Nuova, 1996). I maggiori apporti di materiale organico derivano dalla vegetazione in *situ*, sebbene una parte possa anche essere trasportata dalla marea ed in particolare, durante eventi di tempesta. I valori più elevati di sostanza organica, si osservano in corrispondenza delle aree più depresse della barena con terreni imbibiti d’acqua e che presentano basse percentuali di sabbia (ad esempio le zone occupate dalla *Spartina*). Essi

decregono procedendo verso le zone più elevate e più asciutte e caratterizzate da un maggior contenuto in sabbia (Consorzio Venezia Nuova, 1991).

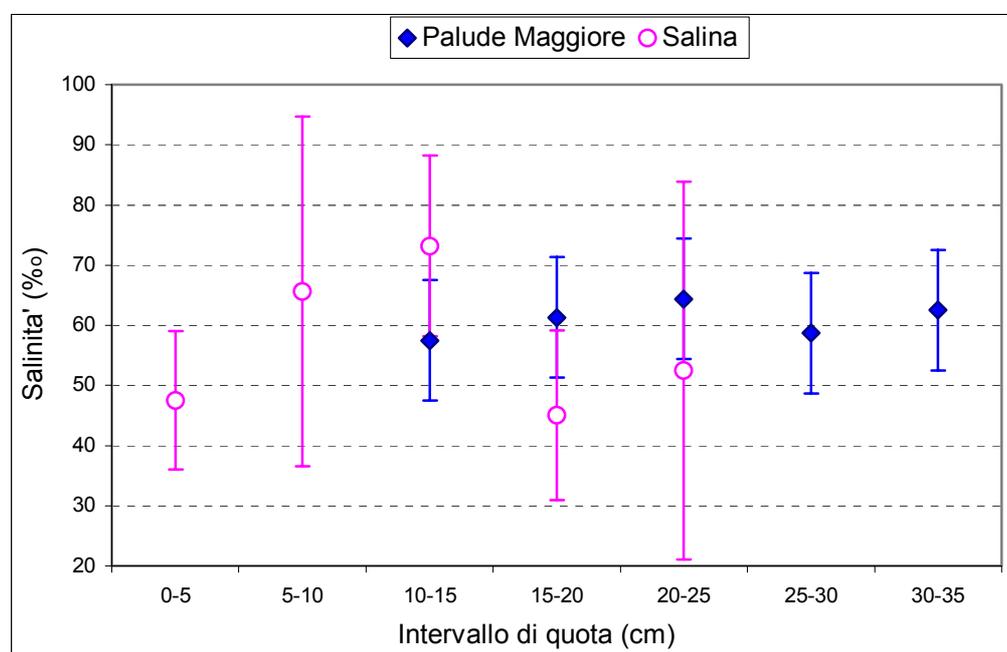


Fig.1.6 – Andamento medio della salinità per intervalli di quota crescenti (analisi effettuate su estratto del suolo a saturazione).

I valori di **pH** sono caratteristici di terreni a reazione neutra o subalcalina-alcalina e questo a causa dell'elevato contenuto in sali e in carbonati di Ca e Mg. Pignatti (1966) indica valori di pH compresi tra 7.15 e 7.68.

In una barena, a causa delle periodiche sommersioni da parte dell'acqua, il substrato subisce variazioni di **temperatura** che possono essere anche molto rapide e ampie.

In inverno, l'acqua che ricopre la barena è usualmente più calda rispetto alla superficie del suolo mentre, in estate, si verifica la situazione opposta. Inoltre, al ciclo delle stagioni se ne sovrappone uno giornaliero dovuto all'avvicinarsi del giorno e della notte.

La temperatura non varia in modo uniforme su tutta la superficie della barena.

Pignatti (1966) riporta le variazioni di temperatura del suolo in quattro zone dominate rispettivamente dalla Salicornia, dalla Spartina, dal Limonium e dall'*Artemisia coerulescens* e contemporaneamente la temperatura dell'acqua e dell'aria ad una quota di circa 150 cm sul l.m.m. (Tab.1.IV).

L'acqua subisce delle variazioni di temperatura molto graduali con un'escursione di appena 3°C mentre nell'aria si ha un'escursione di 11,5°C. Ovviamente questo è correlato alla diversa capacità termica dell'acqua rispetto all'aria. Intermedie invece risultano le temperature del suolo: l'escursione massima si ha in presenza di *Artemisia* (8°C), specie che si rinviene alle quote più alte della barena, e la minima (5,2°C) si osserva sul substrato occupato dalla *Spartina* che è la specie maggiormente sommersa dall'acqua e che si trova nelle zone più interne e depresse della barena. In particolare quando il substrato è saturo, la temperatura del suolo tende progressivamente ad assumere lo stesso valore dell'acqua. Segno che la variazione di temperatura del substrato in un dato punto è correlata alla quota del suolo, alla distanza dal bordo del canale/ghebo più vicino, alla densità vegetativa, alla frequenza e alla durata delle sommersioni.

Tab.1.IV –Temperature rilevate il 22 settembre 1951 in una barena presso S.Erasmo (Venezia) (Pignatti, 1966).

ORA	TEMPERATURE (°C)					
	<i>Salicornia veneta</i>	<i>Spartina maritima</i>	<i>Limonium narbonense</i>	<i>Artemisia coerulescens</i>	Acqua	Aria
7.00	16,1	17,2	15,7	15,5	19,2	15,0
7.30	16,1	17,2	16,1	16,1	19,0	-
8.00	16,5	-	16,8	16,2	19,0	16,8
8.30	16,7	17,2	17,1	16,4	19,4	17,2
9.00	16,7	17,5	16,9	17,4	19,8	17,8
9.30	-	17,9	17,2	-	21,0	17,7
10.00	18,5	18,9	18,4	18,8	21,2	20,8
10.30	19,1	19,0	19,8	18,9	21,3	22,3
11.00	20,1	19,3	20,3	20,0	21,8	21,7
11.30	20,1	19,8	19,8	20,0	21,4	22,7
12.00	-	21,8	21,1	21,1	22,0	26,2
12.30	22,2	21,9	21,2	22,0	22,0	26,2
13.00	22,1	21,9	21,5	23,2	21,1	25,0
13.30	22,5	22,4	21,5	23,5	22,0	26,5

1.3.4 Processi di erosione

Per quanto concerne i fenomeni erosivi che interessano i margini delle barene, si possono distinguere due processi principali: erosione frontale ed erosione laterale.

Il primo, avviene in modo graduale con progressiva degradazione del margine di barena verso forme di velma e con processi degenerativi della coltre vegetale la quale è soggetta a sommersioni sempre più frequenti in relazione all'abbassamento di quota che l'erosione produce. Tale processo si riscontra dove il moto ondoso e le correnti di marea si presentano frontalmente.

Il secondo tipo di erosione (laterale) si presenta invece con forme più violente portando al distacco di intere zolle di margine a seguito di un graduale scalzamento al piede e successivo crollo per gravità. La zolla collassata, per un certo periodo, difende il margine da ulteriori franamenti finché le correnti di marea, il moto ondoso naturale e quello provocato dai natanti, producono l'asporto di gran parte dei sedimenti accumulati al piede. Il meccanismo in tal modo si riattiva e l'azione dell'acqua riesce a scavare un nuovo battente. Le aree sottoposte a tali processi, sono caratterizzate da regime idrodinamico elevato e in cui la direttrice della corrente di marea è parallela o quasi all'asse dei canali.

Non mancano poi forme miste di erosione nelle quali gli effetti dell'erosione laterale e frontale si sommano e si amplificano.

Anche le superfici interne alle barene sono soggette ad erosione ad opera dei ghebi, della marea che invade la superficie e del vento che risospinge i solidi di fondo nei chiari.

Oltre ai fattori meccanici, sono da considerare i processi fisici di degradazione, legati alla composizione granulometrica dei suoli. Il terreno, prevalentemente argilloso, è soggetto ad idroclastismo (l'alternarsi di periodi in cui il suolo si rigonfia per assorbimento d'acqua e si contrae per essiccamento, produce delle fessure) e aloclastismo (ingresso di sali nelle microfessure con formazione di cristalli che esercitano pressioni tali da contribuire ulteriormente a frantumare il margine della barena). Non trascurabile è anche l'effetto del bioclastismo, cioè frammentazione fisica da parte di essere viventi: radici di piante e organismi bentonici come i policheti, decapodi ed alcuni molluschi che penetrano nel terreno frantumandolo (Silvestri, 1997).