

CAPITOLO PRIMO

**LA LAGUNA DI VENEZIA:
MORFOLOGIA, DINAMICA E INTERVENTI
PER LA SALVAGUARDIA**

§1.1 L'ecosistema lagunare

Una laguna è un luogo umido costiero comunicante con il mare attraverso varchi, o bocche di porto, nel quale il movimento dell'acqua è governato dalla marea, che determina il carattere salmastro delle acque e modella la conformazione delle terre emerse e dei fondali. La laguna di Venezia, come tutte le aree costiere, deve il suo aspetto attuale agli apporti solidi provenienti dai fiumi che vi sfociano, a quelli provenienti dal mare e agli asporti verso quest'ultimo ad opera delle correnti mareali (CVN, 2002)¹.

¹ Un bilancio dei sedimenti eseguito dal Consorzio Venezia Nuova nel 2000 individua l'ammontare totale del materiale trasportato in laguna a circa 2.200.000 m³/anno. Dei sedimenti rimessi in sospensione, però, solo 300.000 m³/anno provengono dal bacino scolante, mentre 700.000 m³/anno si originano dall'erosione delle barene e 1.100.000 m³/anno da quella dei bassifondi. Di questi sedimenti, 1.100.000 m³/anno si ridepositano in laguna e in parte interrano i canali, mentre altri 700.000 m³/anno escono dalle bocche di porto. Fino a tempi recenti, 400.000 m³/anno di sedimenti provenienti dai dragaggi venivano scolmati a mare, oggi sono trattenuti in laguna per la ricostruzione di velme e barene.

Da un punto di vista geomorfologico, gli apparati deltizi e lagune sono in genere considerati i due estremi di uno spettro di sistemi costieri: l'azione dei fiumi e il deposito dei sedimenti che trasportano sono i fenomeni che maggiormente contribuiscono alla formazione delle foci a delta, mentre le lagune sono modellate dall'azione del mare con la forza del moto ondoso e delle correnti di marea.

La laguna di Venezia ha da qualche secolo assunto le caratteristiche di una laguna deltizia, ma mentre la parte nord conserva queste caratteristiche, nella parte meridionale gli interventi dell'uomo hanno in larga misura isolato la laguna dal suo bacino fluviale ed essa si è andata trasformando in un vero e proprio sistema lagunare regolato quasi esclusivamente dall'ingressione marina (Day et al, 1996).

§1.1.1 Importanza ecologica dell'ecosistema lagunare veneziano

La morfologia della laguna di Venezia è caratterizzata da acque poco profonde (profondità media di circa 1 metro) sottoposte a un doppio ricambio giornaliero ad opera delle ingressioni mareali, che ne favoriscono l'ossigenazione. I fondali sono costituiti da materiale a granulometria fine (sabbia) e finissima (limi e fanghi), di apporto sia marino che fluviale.

La produzione primaria è favorita dalla conformazione batimetrica, dal momento che la penetrazione dell'energia solare in acque così poco profonde permette un'attività fotosintetica piuttosto intensa che si ripercuote sulla catena alimentare. L'ambiente lagunare che ne deriva è uno dei più produttivi: 15-20 g di biomassa per m² al giorno, laddove praterie e foreste temperate naturali fanno registrare valori che vanno da 0,5 a 3g e ciò rende particolarmente ricca la diversità e l'abbondanza di specie in laguna (Salviato, 2000).

La conformazione praticamente chiusa del bacino fa sì che l'apporto nutritivo in sali minerali (fosfati e nitrati) proveniente dal bacino scolante possa far insorgere il problema di un eccessivo carico minerale (eutrofizzazione), difficilmente smaltito dai limitati scambi con il mare aperto.

La concentrazione di sali marini va da un minimo nella zona dove si ha lo sbocco degli affluenti di acqua dolce, a un massimo nelle aree circostanti le connessioni con il mare aperto. Per questa ragione gli ambienti lagunari vengono colonizzati da specie che mostrano un'ampia tolleranza a questo parametro e ciò riduce la diversità delle specie presenti, pur mantenendo elevata la produttività.

Anche la temperatura è un fattore che condiziona fortemente il tasso di produttività, in quanto in laguna tende ad essere più elevata di quella delle acque marine o delle acque fluviali, dal momento che le profondità sono limitate e il riscaldamento è più rapido.

Oltre che dal punto di vista biologico, la complessità della morfologia lagunare svolge un ruolo di importanza fondamentale anche nel garantire la depurazione e la continua circolazione delle acque: la riduzione e la graduale scomparsa di velme e barene, l'erosione dei bassifondi, l'appiattimento dei fondali, il degrado della qualità dell'acqua e dei sedimenti sono quindi importanti indicatori delle trasformazioni in atto.

§1.2 La Laguna di Venezia: dall'origine ai giorni nostri

La formazione della Laguna di Venezia, che ha preso il via nell'era postglaciale wurmiana, è stata caratterizzata dalla sinergia di molteplici fattori, ma essenzialmente si può ricondurre all'effetto combinato delle maree (più ampie che nelle restanti coste mediterranee) e della corrente parallela alla costa con direzione da nord-est a sud-ovest.

L'area dell'odierna laguna e tutta l'area costiera veneta furono soggette a estese alluvioni dei fiumi, come il Brenta, il Sile, il Piave e il Dese, che solcavano l'antica pianura veneta; la sedimentazione dei materiali solidi trasportati dai corsi d'acqua protrasse verso il mare gli apparati deltizi dei fiumi padani dando luogo alla formazione di lunghe barre parallele alla costa; tali strutture, accresciute dalle sabbie sospinte dal mare e dall'azione di trasporto eolico, emersero andando a delimitare vaste zone di acque paludose e originando quindi una laguna di acqua dolce. In seguito l'azione del moto ondoso e il progressivo abbassamento del suolo dovuto alla compattazione dei sedimenti determinarono l'invasione da parte del mare per sfondamento del cordone litoraneo, tanto che, a partire dall'anno 1000 d.C., la conformazione risultava piuttosto mutata e la laguna presentava otto bocche a mare attraverso le quali avveniva il periodico ricambio delle acque ad opera della marea.

Nel nuovo bacino salmastro formatosi trovarono quindi sbocco i fiumi padani, la cui invadenza cominciò presto a manifestare sempre più la pericolosità per la città di Venezia, che vedeva compromessi la funzionalità dei canali, il regime idraulico del sistema e le condizioni igienico-sanitarie dell'ambiente (Cavazzoni, 1995). In seguito ad una serie di sistemazioni idrauliche di diversione a mare dei principali fiumi padani che presero il via dopo la metà del XV secolo, le acque marine cominciarono quindi a

sostituire in laguna quelle palustri; il limitato apporto solido fluviale che ne conseguì, però, associato all'escavo di grandi canali per la navigazione commerciale, innescò processi di erosione e omogeneizzazione dei fondali che portarono presto al sorgere di nuovi problemi per l'equilibrio lagunare.

Lo spostamento delle foci dei fiumi oltre le estremità della laguna causò infatti un aumento della deposizione delle sabbie che venivano trasportate dalle correnti marine lungo l'attuale penisola di Cavallino e il litorale di Sottomarina, che accrescendosi portavano progressivamente all'interrimento dei porti di Lido e Chioggia.

Per contrastare questo fenomeno e l'azione del moto ondoso e delle correnti costiere, che minacciavano il cordone litoraneo aprendo varchi tra la laguna e il mare aperto, si decise quindi di intervenire anche in difesa dei litorali e delle bocche di porto mediante la costruzione di "murazzi"² lungo i litorali di Pellestrina e Sottomarina nel 1738 e con la costruzione delle dighe alle tre imboccature portuali di Lido, Malamocco e Chioggia.

Tali interventi perturbarono però il sistema litoraneo, in quanto da una parte innescarono un processo di continua erosione del fondale ad opera della corrente di riflusso incanalata attraverso le dighe portuali, dall'altra provocarono un'estrema destabilizzazione dei litorali di Lido e Pellestrina. L'inversione del trend evolutivo portò a drastiche modificazioni della morfologia lagunare, accompagnate dalla scomparsa di alcune isole e di ampie aree limitrofe agricolo-boschive.

Oggi la laguna di Venezia è la più vasta laguna italiana; presenta una superficie di 540 km², i tre quarti della quale sono aperti all'escursione di marea (regime semidiurno). Le variazioni dei livelli massimi e minimi di marea nell'alto Adriatico sono fra le più ampie del Mediterraneo, in quanto nell'area si manifesta l'influenza non solo dei fattori astronomici, ma anche di peculiari condizioni meteorologiche: la bassa pressione e i forti venti di bora e di scirocco contribuiscono infatti ad accentuare il fenomeno di alta marea, che si riduce notevolmente in caso di alta pressione e venti da nord-ovest. In tab.I.I sono riportati alcuni dati generali relativi all'ambiente lagunare veneziano (CVN, 2002), con particolare riferimento agli scambi con il bacino scolante, che convoglia le acque piovane e fluviali in laguna contribuendo ad una forte immissione di nutrienti, soprattutto composti dell'azoto e del fosforo, tramite i corpi idrici immissari e ad opera del *runoff* urbano.

² I murazzi sono possenti arginature in grandi blocchi di pietra d'Istria squadrate e cementate tra loro con pozzolana; sono situati lungo il litorale di Pellestrina e di Caroman.

Tab.II – Dati generali relativi all’ambiente lagunare veneziano (CVN, 2002).

quantità di pioggia annuale sul bacino scolante (1900km ²)	1,4 km ³ (600 mm)
quantità di pioggia annuale sulla laguna (500km ²)	0,3 km ³
capacità d'invaso della laguna (misurata alla quota + 0,00 m sul livello del mare)	0,55 km ³
quantità di acqua che entra o esce ogni giorno in laguna attraverso le bocche di porto (marea media annuale)	da 0,4 a 0,5 km ³ (i volumi di marea scambiati in ogni ciclo sono pari a circa 350 milioni di m ³ in sizigie e 175 in quadratura)
portata massima complessiva alle tre bocche al secondo	circa 20.000 m ³ (alla bocca di Malamocco, che è la più rilevante, è di 8000 m ³ al secondo (nella marea di sizigie)
portata annuale d'acqua dolce dei fiumi scolanti in laguna	0,9 km ³
capacità d'invaso della rete idrografica	0,013 km ³
quantità di nutrienti annualmente sversata nel bacino scolante	7.000 t di azoto 1.500 t di fosforo
concentrazione media di nutrienti alle foci dei fiumi	10 mg/l per l'azoto 1 mg/l per il fosforo

§1.3 Aspetti caratteristici dell’ambiente lagunare

L’area lagunare comprende il *sistema suolo*, costituito dall’insieme delle terre emerse, di natura artificiale o naturale (litorali, casse di colmata, isole, argini) e rappresenta circa l’8% di tutta la superficie della laguna; il *sistema acqua* (restante 92%), che comprende i canali (12%), i bassifondi, le velme e le barene (80%). Le barene sono considerate parte del sistema acqua in quanto una delle loro principali funzioni è quella di regolare l’idrodinamica lagunare senza opporsi all’espansione delle maree. In base alla più o meno diretta influenza dell’azione marina attraverso le tre bocche di porto, la laguna può essere anche suddivisa in:

- laguna **aperta** (o viva), ovvero lo specchio acqueo aperto all’espansione di marea, comprese le velme e le barene ed escluse le isole e le casse di colmata, per una superficie di 420 km²; tali zone comprendono le bocche di porto e le aree

circostanti, e si estendono all'interno della laguna in modo irregolare, secondo il percorso dei principali canali ed in dipendenza della presenza di isole, barene, paludi e laghi, fino al confine con la cosiddetta laguna morta.



Gli effetti delle maree si manifestano in fondali con alta presenza di componenti sabbiose; inoltre i valori di ossigenazione si mantengono buoni in seguito agli scambi con il mare aperto, e la salinità si mantiene elevata e relativamente costante (Torricelli et al., 1997).

- laguna **chiusa** all'espansione di marea (o morta), ovvero l'insieme delle valli da pesca, comprese le loro isole interne, le velme e le barene, ma esclusi i loro argini di delimitazione, per una superficie di 85 km². Questa parte di laguna è caratterizzata dall'estrema variabilità di alcune proprietà delle acque, in particolare notevoli possono essere le oscillazioni di temperatura, salinità e concentrazione di ossigeno disciolto³.

Questa intensa variabilità delle condizioni delle acque si unisce a quella della composizione dei fondali, che presenta una maggiore abbondanza delle frazioni sottili⁴ nelle zone più interne o confinate (laguna morta) e percentuali maggiori di componenti grossolane, principalmente sabbiose, in prossimità delle bocche di porto, verso l'ambiente marino (Torricelli et al., 1997);

- **argini**, che occupano una superficie di 7,5 km²;
- **isole**, escluse Lido, Pellestrina e Treporti e comprese le casse di colmata, per una superficie complessiva di circa 29 km².

I principali elementi costitutivi delle lagune e in particolare della laguna veneta, sono i seguenti (CVN, 2002):

³ L'ossigenazione può scendere a valori bassissimi durante i periodi caldi, con temperature che possono raggiungere i 30 °C; inoltre, in casi di scarso ricambio idrico, si possono innescare fenomeni di anossia e decomposizione della grande quantità di sostanza organica presente, con produzione di sostanze tossiche. La salinità varia sensibilmente in funzione dell'apporto di acque continentali, dell'influenza delle correnti di marea dalla laguna viva e dell'intensità dei fenomeni di evaporazione superficiale.

⁴ L'abbondanza di frazioni sottili (limi ed argille) e di sostanza organica rendono problematica la penetrazione dell'ossigeno all'interno del fondale. Tali severe condizioni delle acque e dei fondali selezionano le specie che compongono la flora e la microfauna della zona, che presentano ampia valenza ecologica ed estreme forme di specializzazione.

- le **velme** (v.fig.1.1), vasti bassifondi di sedimento molle, privi di vegetazione, la cui profondità è collocata grossomodo tra il livello medio delle basse maree di quadratura ed il livello medio delle basse maree di sizigie, e che quindi spesso emergono;
- i **canali** (v.fig.1.2) con una superficie di circa 67 km²; collegano le tre bocche di porto e si innervano con percorso meandriforme all'interno della laguna, provvedendo a buona parte del ricambio idrico. Hanno una profondità variabile tra 15 m (canale Malamocco-Marghera) e 1 m. Dai canali principali si dipartono ramificazioni a sezioni sempre più ridotte e tracciato sempre più tortuoso, i cosiddetti **ghebi** (v.fig.1.3) che attraversano le barene,



finendo nei **chiari** (v.fig.1.4), che sono specchi d'acqua piovana salmastra;



- il **cordone litoraneo** (v.fig.1.5), che si estende per un totale di circa 60 km. Si tratta di una striscia di terra che separa la laguna dal mare, la cui evoluzione è regolata dal prevalere delle forze distruttive (fenomeni erosivi dovuti all'azione disgregatrice delle correnti e del moto ondoso) o di quelle costruttive (il ripascimento con nuova sabbia);
- le **casse di colmata** (v.fig.1.6), localizzate a sud del porto industriale, sono isole artificiali, formate negli anni '60 con il materiale proveniente dallo scavo del Canale dei Petroli, realizzato per consentire l'accesso delle navi al porto industriale di Marghera. Si estendono su una superficie complessiva di circa 11 km², in precedenza occupata da barene. La costruzione delle casse di colmata ha provocato una drastica riduzione del ricambio idrico tra la "laguna viva" e gli specchi d'acqua alle spalle delle casse di colmata stesse, anche se recentemente una serie di interventi in alcune zone delle casse di colmata hanno consentito il ripristino della circolazione idrica e la rinaturalizzazione delle casse stesse;

Fig.1.5 - Cordone litoraneo: in primo piano il litorale di Pellestrina (CVN, 2002).

Fig.1.7 – Veduta aerea delle barene della laguna di Venezia, solcate da una fitta rete di ghebi e canali (Comune di Venezia, 2002).



Fig.1.6 – Casse di colmata prima e dopo i lavori di rinaturalizzazione (CVN, 2002)

- le **barene** (v.fig.1.7), aree di terra prevalentemente emersa tranne che durante le maree più alte, importanti per il loro ruolo di regolazione dell'idrodinamica lagunare; sono ricoperte da un fitto manto di vegetazione e ospitano una ricca avifauna. Sono ambienti generalmente inospitali per la maggior parte delle piante: l'alta evaporazione nelle acque poco profonde spesso produce condizioni anaerobiche tali da renderli totalmente proibitivi per la vita delle piante, e la concentrazione dei sali nel suolo può superare l'1‰, ossia essere tre volte superiore a quella del mare⁵; ciononostante le barene costituiscono l'habitat favorevole per le specie *alofile*, cioè quelle piante che compiono l'intero ciclo vitale in suoli salati.



§1.4 Problematiche legate all'evoluzione dell'ambiente lagunare

Da quanto detto emerge chiaramente che velme e barene sono elementi vitali per l'ecosistema lagunare: ricche di microambienti ed habitat diversificati, esse favoriscono

⁵ Fonte: <http://www.botgard.ucla.edu/html/botanytextbooks/worldvegetation/marinewetlands/saltmarsh>.

il ricambio d'acqua, attenuando il moto delle onde, limitando la dispersione dei sedimenti in laguna e la loro perdita in mare.

Il sistema di barene della laguna di Venezia, però, ormai da un secolo sta perdendo la sua capacità di regolazione; infatti i margini di queste strutture si sgretolano per fenomeni erosivi, al loro interno si aprono fratture più o meno ampie e i chiari si allargano sempre di più fino a ricongiungersi con lo specchio d'acqua lagunare (Cibien, 2000). La fig.1.8 permette di evidenziare gli effetti di fenomeni erosivi sui margini di alcune barene in laguna nord.

Un'analisi dei meccanismi che regolano l'evoluzione lagunare permette di comprendere le cause di questo degrado che, legato essenzialmente a tre processi (erosione, eustatismo e subsidenza), sta trasformando la laguna da ambiente deltizio ad ambiente sempre più simile a quello marino.

L'**erosione** sia dei fondali interni che dei cordoni litoranei è in progresso come risulta dalla graduale scomparsa delle barene -la cui superficie è passata da 72 km² nel 1930 ai 47,5 attuali comprese le casse di colmata- e delle velme, dall'approfondimento graduale e costante dei fondali, dalla scomparsa dei ghebi e dei canali interni. La dinamica dei sedimenti lagunari non è infatti in grado di opporsi all'ingressione marina che comporta la scomparsa degli elementi morfologici specifici dell'ambiente lagunare. Il processo di erosione tende inoltre ad autoalimentarsi, quindi 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, se abbandonata può perdere la sua forma e tendere ad un appiattimento batimetrico e all'omogeneizzazione del fondale.



Fig.1.8 - Esempi di sgretolamento dei margini della barena di S.Lorenzo (scalzamento al piede ed erosione a zolla)

La **subsidenza** (positiva o negativa), è il risultato in superficie di processi del sottosuolo che avvengono sia per cause naturali, per lo più deformazioni tettoniche degli strati profondi e compattazione dei depositi alluvionali fini (silt e argille), sia per cause antropiche, come l'estrazione idrica intensiva dal sottosuolo.

Nell'area veneziana il suolo si abbassa per la progressiva compattazione dei sedimenti, ma anche per l'emungimento intensivo delle falde protrattosi fino al 1970; tale tendenza sembra aver raggiunto un equilibrio negli ultimi decenni, dal momento che, cessata l'estrazione di acqua dalle falde acquifere, il tasso di abbassamento del suolo è attualmente valutato pari a circa 0,4 mm/anno.

L'**eustatismo** riguarda le variazioni del livello del mare dovute a cause climatiche. L'innalzamento del mare è un fenomeno indipendente dalla subsidenza, e concorre a ridurre l'altimetria del suolo relativa al livello marino. Dall'ultima glaciazione la tendenza generale è stata per un aumento eustatico del mare, ma, pur con oscillazioni più o meno ampie, durante l'ultimo secolo il fenomeno sembra si stia attenuando, assestandosi a circa 1,3mm annui (Tagliapietra, 1997).

Analisi recenti in diverse località indicano che il livello del mare è cresciuto mediamente dall'inizio del secolo di circa 1,5-2 mm/anno (CO.R.I.L.A., 1999) e, nel corso dell'ultimo secolo, l'azione combinata dei due fenomeni ha comportato una perdita di quota di 25 cm (CVN, 1996).

§1.4.1 Principali conseguenze dell'ingressione marina

L'effetto ultimo del fenomeno è la scomparsa del bacino lagunare per invasione del mare, ma le prime e più evidenti conseguenze si manifestano sulla vegetazione a causa del prolungamento dei periodi di sommersione e dell'aumento della salinità.

Il ripetersi delle sommersioni mareali porta, tra l'altro, ad un drenaggio meno efficiente per cui il suolo progressivamente si satura di acqua diventando anossico, con conseguenze teoricamente letali per la vegetazione. Infatti, un terreno anossico determina un deficit di ossigeno nelle radici che riduce la crescita delle piante e, a lungo andare, provoca la morte della vegetazione. La tendenza all'anossia e la crescita del tasso salino nel terreno sono fenomeni che avvengono lentamente, ma i loro effetti sulla vegetazione si rafforzano con esiti più rapidi. Come sarà descritto in dettaglio nel prossimo capitolo, la flora tipica di tali aree costiere ha dovuto sviluppare capacità fisiologiche e morfologiche di adattamento alle condizioni di eccesso di acqua e di anossia del suolo, che sopporta purché i periodi critici non siano né troppo intensi né troppo lunghi.

Per riportare qualche esempio, alcune di queste piante sviluppano nelle radici un tessuto (*aerenchyma*) che funge da canale preferenziale per l'aria e ciò agevola l'ossigenazione delle radici stesse; altre si adattano alla bassa disponibilità di ossigeno accelerando il processo della fermentazione alcolica: questo meccanismo consente alle piante di mantenere alto il livello di produzione di energia ma, richiedendo molto più glucosio rispetto alla respirazione aerobica, può comportare insufficienza di carbonio e quindi inibire la crescita. Inoltre l'etanolo, un prodotto della fermentazione alcolica, è tossico per alcune specie ed il suo allontanamento dalle radici, durante il processo di fermentazione, è indispensabile per ridurre i problemi di tossicità per la pianta (Day et al., 1996).

Questi sistemi di adattamento, quindi, proteggono solo parzialmente le piante delle strutture lagunari quando gli allagamenti e le condizioni di anossia dei suoli si ripetono, in quanto piante già soggette a stress sono più vulnerabili all'elevata salinità e all'idrogeno solforato che si produce nei terreni anaerobici.

Risulta quindi evidente come la sopravvivenza di una zona umida costiera in queste condizioni sia fortemente legata all'accrescimento verticale del suolo⁶, che deve essere almeno pari all'aumento relativo del livello del mare.

Riassumendo, la laguna sopravvive come tale solo se esiste un corretto bilancio ripascimento-erosione:

⁶ Avviene sia per decomposizione di materia organica, sia per deposizione di sedimenti minerali.

- se erosione e sedimentazione si compensano, l'ambiente lagunare sopravvive, seppur in condizioni di continua instabilità;
 - se prevale l'apporto di materiali solidi dai fiumi e dal mare, la laguna tende a interrarsi e a trasformarsi in terra emersa;
 - se invece le forze erosive delle onde e delle maree contrastano la sedimentazione, una laguna si trasforma in un braccio di mare, attuale tendenza della laguna veneta.
- Le principali conseguenze sono la riduzione della varietà delle specie, l'aumento di rischio per le strutture poste a difesa degli abitati e per gli abitati stessi, l'insorgere di difficoltà per la navigazione interna, il degrado complessivo della qualità ambientale della laguna (CVN, 1996).

§1.5 Gli interventi per la salvaguardia di Venezia: il progetto TIDE

Nei paragrafi precedenti si è messo in luce come sia di primaria importanza la conservazione dell'assetto morfodinamico dell'ecosistema lagunare per assicurarne la sopravvivenza e ridurre il degrado; proprio al fine di regolare questi fenomeni congiunti sono stati realizzati negli ultimi anni numerosi progetti di recupero ad opera del Consorzio Venezia Nuova⁷. Gli obiettivi comuni ad ogni intervento sono il riequilibrio idrogeologico della laguna, l'arresto e l'inversione del processo di degrado del bacino lagunare, l'eliminazione delle cause che lo hanno provocato, l'attenuazione dei livelli delle maree in laguna, la difesa dalle acque alte eccezionali, la protezione dei centri abitati e la tutela dei beni storici ed architettonici.

Nel quadro degli interventi per lo studio delle aree umide a marea l'Unione Europea ha finanziato nel 2002 il progetto di ricerca triennale TIDE. Si tratta di una indagine, coordinata dall'Università di Padova, che coinvolge Università, Enti ed imprese private italiani ed europei e considera la laguna di Venezia come uno dei laboratori di riferimento. Gli aspetti inerenti alla vegetazione previsti da TIDE sono competenza dell'Università di Venezia ed i risultati relativi alle attività del primo anno saranno descritti nel seguito.

⁷ Il Consorzio Venezia Nuova (CVN) è il concessionario del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti - Magistrato alle Acque di Venezia (art.3, comma III, legge 798/84) per la realizzazione degli interventi destinati alla salvaguardia di Venezia e della sua laguna che la legge ha affidato allo Stato. Il Consorzio è costituito da un gruppo di grandi imprese nazionali, cooperative e imprese locali, e per lo svolgimento delle proprie attività si avvale della consulenza di esperti nazionali e internazionali.

TIDE (*Tidal Inlets Dynamics and Environment*) prevede lo sviluppo e la validazione di modelli dinamici per descrivere il comportamento delle zone umide simulando processi sia fisici sia ecologici. Il progetto prevede lo studio comparato di tre siti europei esposti a marea:

1. la laguna di Venezia, di area pari a 550 km² e soggetta ad escursioni di marea medie di 1,4m;
2. Forth Estuary in Scozia, che copre una lunghezza di 93km e presenta una marea media di 4,5m;
3. Morecambe bay, in Inghilterra, di superficie pari a 350km² e con range di marea pari a 10,5m.

Pur trattandosi di ambienti di differente estensione e livello di marea, i tre siti presentano problematiche comuni, essendo realtà condizionate dall'attività dell'uomo attraverso l'inquinamento industriale ed agricolo e, non ultima, la pressione turistica.

Il progetto si inquadra nell'ambito del programma comunitario per lo Sviluppo Sostenibile, l'Energia e l'Ambiente. Scopo di questa azione è di sottolineare l'urgenza di iniziative per una gestione integrata degli ecosistemi acquatici d'Europa, sia a livello di mare aperto che di zone costiere, seguendo dinamiche che vanno dalla scala locale a quella di bacino, in modo da sviluppare linee guida e sistemi di gestione che contribuiscano alla formulazione di accordi internazionali.

Le aree di indagine che interessano tale azione riguardano:

1. l'approfondimento della conoscenza dei meccanismi che regolano gli ecosistemi marini e le interazioni fra i vari comparti naturali;
2. la valutazione dei processi di sedimentazione per una gestione sostenibile di piattaforma, scarpata e fondale marini;
3. il rallentamento nella perdita di esemplari di biodiversità locale mediante il recupero degli ecosistemi degradati;
4. la riduzione dell'impatto antropico sulla biodiversità, favorendo lo sviluppo di tecnologie di sfruttamento sostenibile delle risorse marine;
5. il monitoraggio dei cambiamenti e la gestione dei processi nelle aree costiere;
6. la previsione di piene e lo studio dell'erosione e delle tendenze evolutive volte alla semplificazione della complessità che caratterizza le zone umide.

Per favorire l'accessibilità alla consultazione dei risultati e per semplicità organizzativa la maggior parte dei progetti che si inquadrano in tale programma sono riuniti in sei gruppi di attività: OMARC, ELOISE, IMPACTS, EUROHAB,

OPERATIONAL, FORECASTING. Il progetto TIDE rientra nell'ambito delle ricerche connesse ad ELOISE⁸ che affrontano le problematiche connesse alla modellazione idrodinamica ed ecologica delle zone costiere soggette a marea, e che forniscono la base per i future studi in tale direzione.

§1.5.1 Organizzazione del progetto TIDE

Il progetto prevede la cooperazione di 9 gruppi di lavoro, che si occupano di ambiti diversi come le dinamiche di trasporto dei sedimenti, la morfologia della rete dei canali, i bilanci energetici, lo studio della vegetazione e la stima del valore socio-economico attribuito alle zone umide. Il progetto di ricerca TIDE, però, a differenza di precedenti studi che hanno riguardato la Laguna di Venezia, non si ripropone di esaminare le singole componenti dell'ecosistema parametrizzando le interazioni con gli altri comparti o assumendo che la loro influenza sia costante nel tempo; piuttosto punta a sviluppare modelli evolutivi che includano la descrizione delle interazioni fra i maggiori sottosistemi, come l'idrodinamica, la dinamica dei sedimenti e quella ecologica.

Una delle maggiori priorità nel modellare i sistemi a marea è quindi rappresentata dalla necessità di ottenere informazioni accurate e frequentemente aggiornate sulla coevoluzione di fattori, come la topografia, l'idrodinamica e il trasporto di sedimenti, che interagiscono fortemente ma su scale spaziali e temporali piuttosto diverse (si va dall'ordine della decina di centimetri all'ordine dei chilometri nel primo caso, e dal periodo di escursione mareale a quello annuale nel secondo).

I siti di indagine sono rappresentati dalle *barene*, che costituiscono uno degli ambienti più caratteristici ma anche più fragili dell'ecosistema lagunare, tanto che la loro riduzione e graduale scomparsa rappresentano degli importanti indicatori delle trasformazioni morfologiche in atto nella laguna di Venezia. Ciò che rende così interessanti tali strutture è il fatto che, all'apparente monotonia e tabularità del

⁸ ELOISE, (European Land-Ocean Interaction and Shelf Exchange Studies) è una rete tematica che rientra nell'ambito delle iniziative di ricerca Ambiente e Clima promosse dalla Commissione Europea. Il progetto nasce nel 1994 e i settori di interesse riguardano: 1) l'importanza delle zone costiere nelle dinamiche di cambiamento globale (interazioni terra-mare); 2) l'impatto dell'uomo sui mari e sulle coste, mediante analisi di problematiche legate all'inquinamento, all'eutrofizzazione e al disturbo fisico dei meccanismi ambientali caratteristici; 3) lo sviluppo socio-economico delle aree costiere, per formulare un approccio strategico all'uso sostenibile delle risorse e per investigare le ragioni dei fallimenti compiuti nella gestione di tali comparti; 4) l'articolazione di banche dati di consultazione dei modelli revisionali ottenuti nello studio delle aree costiere (riferimenti al sito <http://europa.eu.int/comm/research/eloise/eloise-h.html>).

paesaggio barenale, si contrappone un'elevata variabilità morfologica che si manifesta nella compresenza di una serie di elementi caratteristici quali chiari, ghebi e dossi. L'aspetto peculiare delle barene è quello di essere ricoperte da un fitto manto di vegetazione profondamente adattata alle condizioni di stress salino e idrico: lo studio intrapreso nell'ambito del progetto TIDE intende proprio verificare come lo sviluppo delle barene e della relativa vegetazione siano in realtà processi fortemente connessi e determinati principalmente dall'apporto dei sedimenti e dalla frequenza e durata delle sommersioni che, a loro volta, dipendono dalla quota, dalla posizione e dalla topografia locale e generale delle formazioni barenicole.

Le attuali teorie avanzano l'ipotesi che lo sviluppo delle barene avvenga attraverso la progressiva stabilizzazione da parte di organismi pionieri come cianobatteri e microalghe (Underwood, 1997) seguiti nella successione biologica da specie di vegetazione superiore (piante vascolari). Si instaurerebbe così un equilibrio tale che, all'aumento della quota della barena in via di formazione, le sommersioni dovute alla marea diventerebbero meno frequenti e il deposito di sedimenti si ridurrebbe.

Dalla relazione tra le caratteristiche topografiche delle barene e la loro stabilità in funzione della presenza e della dinamica evolutiva della vegetazione emerge però che la flora esercita un duplice ruolo di causa ed effetto nello sviluppo di queste strutture: da una parte la densità delle piante e delle foglie interagisce con il flusso d'acqua intrappolando i sedimenti sospesi e le radici incrementano il consolidamento del suolo, promuovendo l'accrescimento verticale delle superfici di barena⁹; dall'altra l'elevazione del suolo determina la durata e la frequenza delle sommersioni, influenzando il tipo di vegetazione e il suo sviluppo. Questo fattore si traduce effettivamente nell'instaurarsi di una comunità vegetale ampiamente diversificata, le cui specie hanno la caratteristica di svilupparsi entro intervalli di quota tipici e piuttosto ristretti (circa 10cm) (Silvestri, 2000). Sfruttando questa peculiarità e il fatto che le diverse specie vegetali colonizzano le barene formando complessi sistemi di popolamenti omogenei, il progetto TIDE intende, tra l'altro, proseguire precedenti studi condotti sull'argomento e dimostrare che la mappatura di queste tipiche associazioni per elevazione può contribuire allo sviluppo di modelli digitali di quota del suolo barenale.

⁹ Le caratteristiche del sedimento sono inoltre influenzate dalle secrezioni polimeriche dei microrganismi presenti, quindi anche la loro distribuzione e abbondanza sembra avere un impatto fondamentale sull'evoluzione geomorfologia delle barene.

Il presente lavoro di tesi si occupa quindi della presentazione e della discussione di alcuni dei risultati raggiunti durante il primo anno di attività del progetto in merito allo studio dei popolamenti vegetali di barena e del fenomeno della zonazione.