La concentrazione di esposizione è stata poi espressa in TEQ, facendo riferimento alla 2,3,7,8 TCDD, sommando i prodotti fra i congeneri di PCB diossine simili e i congeneri di PCDD/F per i relativi TEF. Tale conversione si è resa necessaria per arrivare alla stima del rischio, dal confronto fra l'esposizione e gli effetti. Infatti, gli effetti sono stati stimati in termini di concentrazioni di non effetto nei tessuti degli organismi, applicando l'approccio delle *Tissue Screening Concentrations* (TSCs) (Shephard, 1998). Le TSCs sono state calcolate moltiplicando i criteri di qualità ambientale in acqua e nel sedimento, per il fattore di bioaccumulo stimato dal modello FC. La stima del rischio ha evidenziato la presenza di possibili effetti avversi per organismi bentonici e pesci, nell'ordine, legati al bioaccumulo di PCB e PCDD/F.

A completamento dell'analisi di rischio, è stata condotta un'analisi dei profili di abbondanza percentuale di congeneri di PCB e PCDD/F nei sedimenti, in acqua e negli organismi, sulla base dei dati sperimentali disponibili. I profili ottenuti per le PCDD/F, i più interessanti, hanno permesso di confermare il legame esistente fra sorgenti e OCDD/OCDF. Inoltre, è stata evidenziata come ci sia una biomagnificazione preferenziale dei furani a basso grado di clorurazione, passando dai livelli inferiori ai livelli superiori della rete trofica. Viceversa, per quanto riguarda i PCB, i profili ottenuti hanno evidenziato un passaggio lineare dei congeneri, senza modificazioni legate a particolari processi biologici, dal sedimento, all'acqua, agli organismi lagunari.

Linea 3.4. Ruolo dell'aerosol e dell'inquinamento secondario sulla contaminazione chimica della laguna di Venezia.

Contraente principale: DSA-Università Ca' Foscari di Venezia.

Il programma si poneva come obbiettivo la valutazione dell'importanza dell'aerosol e dei fenomeni di rimobilizzazione di inquinanti presenti nei sedimenti sui problemi di inquinamento dell'ambiente lagunare.

Lo studio condotto per stimare il contributo dell'aerosol al trasporto di inquinanti nell'ambiente lagunare e per individuare la sua origine ha previsto campionamenti in 4 siti selezionando la direzione del vento; sui campioni sono stati determinati inquinanti organici ed inorganici.

Il contenuto di aerosol atmosferico (espresso in $\mu g/m^3$) mostra che in tutte le stazioni la concentrazione delle particelle più fini è predominante rispetto a quella delle particelle più grossolane, è inoltre evidente come in tutti i siti di campionamento, il particellato assume una

distribuzione bimodale con un massimo nella classe dimensionale compresa tra 3 μm e 7,2 μm ed un secondo massimo nella classe con diametro aerodinamico inferiore a 0.49 μm.

La distribuzione degli elementi in tracce tra le diverse frazioni dimensionali nell'aerosol atmosferico consentono di formulare ipotesi sulla loro origine. Elementi come manganese, ferro, alluminio, cobalto e rame presentano concentrazioni per unità di massa relativamente alte nelle frazioni più grossolane, pertanto, a causa della relativamente bassa mobilità delle *corse particles*, possono essere classificati come elementi di origine crostale o legati a sorgenti locali. Altri elementi come vanadio, piombo e nichel, essendo associati alle frazioni più fini possono essere classificati come elementi prevalentemente di origine antropica che potrebbero essere immessi nell'atmosfera da sorgenti relativamente lontane.

Altri elementi come lo zinco (ed in alcune campagne, il piombo ed il cadmio) hanno una distribuzione abbastanza omogenea tra le diverse classi dimensionali, evidenziando una origine legata a più processi o sorgenti.

Per indagare le origini dell'aerosol campionato è stata determinata la composizione isotopica del piombo nelle varie frazioni granulometriche dell'aerosol, i risultati sono stati messi in relazione con la composizione isotopica dello stesso elemento rilevata in diverse regioni europee. La composizione isotopica del piombo rilevata risultava variabile nel tempo, tuttavia, evidenziava che le frazioni più fini di aerosol hanno frequentemente una composizione significativamente diversa dalle frazioni più grossolane. In particolare, è stato rilevato che il piombo ha spesso una composizione isotopica simile a quella rilevata in alcuni paesi dell'est europeo (la direzione prevalente del vento nella regione lagunare è da nord-est), pertanto si può affermare che il trasporto con meccanismi *long-range*, nella zona lagunare, contribuisce significativamente all'input di aerosol fine e dei componenti ad esso associati.

I flussi dei microinquinanti inorganici da noi analizzati, trasportati dall'aerosol verso la Laguna di Venezia, assumono valori abbastanza costanti per tutto il periodo indagato. I risultati hanno inoltre messo in evidenza che il trasporto *long-range* e l'aerosol marino possono contribuire significativamente nella definizione della composizione del articolato atmosferico lagunare. Tuttavia, i dati evidenziano che per molti degli elementi presi in considerazione, le sorgenti locali rappresentano le fonti più importanti.

I risultati sul contenuto di inquinanti organici nelle 4 stazioni esaminate mettono in evidenza che la maggior parte di questi è presente in frazioni con granulometria inferiore a 1 μm. Questo determina una loro notevolissima dispersione e mobilità raggiungendo

concentrazioni relativamente elevate anche in aree con contributi locali molto ridotti. Ci sono inoltre evidenze che la distribuzione spaziale è fortemente influenzata da fenomeni stagionali quali la temperatura atmosferica, il riscaldamento domestico ed altre sorgenti diffuse.

Il flusso medio annuo di IPA e PCB legati al trasporto attraverso l'aerosol marino, se confrontato con quello derivante da sorgenti industriali ed urbane, pur essendo ancora significativo risulta circa 8 volte più basso.

Lo studio per valutare lo scambio e la mobilità di inquinanti all'interfaccia acqua/sedimento hanno previsto una serie di esperimenti con camere bentiche, il flusso di metalli pesanti e microinquinanti organici sono stati stimati determinando la variazione di concentrazione in funzione del tempo. Gli esperimenti, della durata di circa 60 ore, sono stati condotti in prossimità del canale delle Tresse e della zona di Campalto. Per stimare i contributi che portano ai flussi netti misurati con le camere bentiche, nelle stesse aree sono state condotte indagini per misurare i processi di bioturbazione e diffusione mediante esperimenti specifici.

Nelle acque delle camere sono stati determinati elementi in tracce (Al, As, Cd, Cu, Fe, Mn, Mo, Sb, U, V e Zn) ed inquinanti organici (PCB, IPA); nei sedimenti sono stati determinati Cd, Cu, Fe, Mn, Pb e Zn; PCB, IPA, PCDD/PCDF e pesticidi clorurati.

I risultati hanno messo in evidenza, nelle due aree studiate, che gli elementi possono essere rimobilizzati da fenomeni di risospensione e/o dall'istaurarsi di condizioni ipossiche. È stato misurato un flusso positivo (dal sedimento all'acqua) di Cd, Zn, Cu e Mn, che enfatizza una mobilità di questi elementi in fase disciolta. Negli stessi esperimenti il ferro mostrava un debole flusso dall'acqua verso il sedimento; e per gli altri elementi il comportamento era differente nelle due aree, enfatizzando che la mobilità di questi elementi è influenzata dalle caratteristiche dei sedimenti nelle aree studiate e/o da fenomeni stagionali.

Il cambiamento indotto dalla ipo-ossigenazione e riduzione del pH determina un flusso di inquinanti organici in fase disciolta (colloidale) dall'acqua al sedimento, questo può essere provocato dalla coagulazione delle sostanze umiche, che provoca la sedimentazione delle varie componenti colloidali. I risultati mettono in evidenza che trasferimenti di inquinanti organici dal sedimento verso l'acqua sovrastante sono dovuti essenzialmente ad effetti di risospensione del sedimento a causa di perturbazioni fisiche.

Il confronto delle concentrazioni e dei pattern di PCB rilevati sia nel sedimento che nel particellato acquatico ottenuti in questo studio con quelli riportati in studi condotti 10-15 anni fa, mettono in evidenza una diminuzione del contenuto di questi inquinanti organici di circa 5 volte.

Per indagare lo scambio di microcomponenti all'interfaccia acqua-aria è stato determinato il contenuto di microcomponenti (sia organici che inorganici) nel microstrato superficiale delle acqua lagunari, la concentrazione è stata confrontata con la composizione dell'aerosol, delle acque subsuperficiali e del sedimento. Le indagini hanno messo in evidenza arricchimenti di inquinanti organici nel microstrato superficiale rispetto alle acque sottostanti che variano tra 2 e 10.

Sulla base dei risultati ottenuti si può affermare che la composizione del microstrato superficiale è fortemente influenzata dai sedimenti; in particolare da particelle che hanno una dimensione ≤ of 2.5 μm e si può ipotizzare che i tensioattivi giochino un ruolo importante nel prolungare la permanenza di particelle fini in questa zona di interfaccia.

L'aerosol non sembra contribuire in maniera importante alla composizione del microstrato. Questo è deducibile dal confronto della composizione di microinquinanti organici clorurati presenti nello strato superficiale, nell'aerosol e nel sedimento.

Il fatto che il microstrato trattenga particelle di particolato acquatico e di sedimento indica che questa componente acquatica può svolgere un ruolo importante nella mobilità di inquinanti presenti nei sedimenti.

Linea 3.5. Quantità e qualità degli scambi tra Laguna e Mare.

Contraente principale: ISMAR-CNR.

Scopo della tematica è la stima dei flussi d'acqua, delle sostanze organiche ed inorganiche, disciolte e particellate, e degli organismi attraverso le bocche di porto, e delle scale temporali tipiche della relativa variabilità. Si vogliono conoscere i flussi in particolari condizioni (eventi meteorologici particolari, per esempio quelli che favoriscono la formazione di "acque alte", o specifiche condizioni ambientali quali la formazione di fioriture algali, ipossie, anossie, ecc.). Contemporaneamente alla misura dei flussi, si vogliono acquisire informazioni sull'attività metabolica dell'ecosistema lagunare, per conoscere in termini di sostanza organica quanto è prodotto all'interno della laguna in relazione a quanto è importato ed esportato.

Il progetto di ricerca è stato articolato su 3 linee:

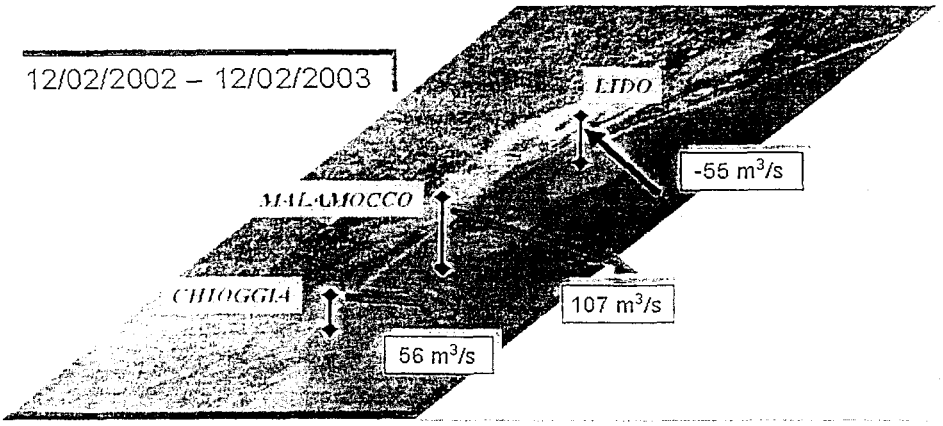
1) *Misure di parametri fisici e calcolo dei flussi d'acqua*

Lo scopo di questa linea era la stima dei flussi d'acqua attraverso le tre bocche di porto dai dati sperimentali e di stabilire la loro variabilità prevalente dalle scale mareali fino a quelle

stagionali. La variabilità sulle scale temporali diverse da quelle mareali é stata correlata con altri possibili forzanti, locali o remoti, come il vento, le sesse adriatiche, lo scarico di acqua dolce e altri. Inoltre, per evidenziare quanto efficienti sono i flussi attraverso le bocche nel rinnovare le acque della laguna, é stato studiato con il radar costiero ad alta risoluzione (CODAR) il campo di corrente adiacente alle bocche nella fascia costiera fuori della laguna.

Per le misure della corrente nelle bocche sono stati utilizzati dei profilatori verticali della corrente ad effetto Doppler (ADCP), posizionati sul fondo dei tre canali, uno per ciascuna bocca. È stato così possibile ottenere sequenze temporali dei valori di corrente, e da queste ricostruire le serie temporali dei flussi d'acqua sfruttando una relazione lineare tra la corrente mediata lungo la verticale ed il flusso, per ogni singola bocca.

L'analisi delle misure della corrente, e quindi dei flussi, ha dimostrato che in media più del 90% di varianza del flusso attraverso le bocche é dovuto alla marea, dove prevale quella semidiurna. Il flusso residuo é dovuto prevalentemente alle sesse Adriatiche di periodo di 11 e di 22 ore. Il flusso dovuto sia alla marea sia alle sesse é praticamente in fase in tutte e tre bocche mentre il massimo della corrente entrante é in anticipo rispetto al massimo del livello del mare nella laguna di circa quattro ore. Per le frequenze molto basse (periodi di decine di giorni) le correnti appaiono relativamente forti a Lido ed in opposizione di fase con quelle di Chioggia. Queste correnti sono generate dalla variabilità del vento di bora e sono presenti durante la stagione di acqua alta, quindi durante i mesi di novembre, dicembre e gennaio. Sono legate alla pendenza nord-sud del livello marino il quale è maggiore di quello fuori della laguna. Il risultato dello scambio medio annuo tra la laguna ed il mare aperto consiste in un influsso a Lido di circa 50 m^3/sec, uguale all'ammontare del deflusso a Chioggia, mentre a Malamocco appare un deflusso di circa 100 m^3/sec che corrisponde praticamente al volume totale dello scarico di acque dolci nella laguna (fiumi e scarichi industriali). Il tempo medio di residenza calcolato con il metodo della "prisma mareale" ("*tidal prism method*") è dell'ordine del giorno il che significa che lo scambio d'acqua tra la laguna ed il mare aperto è molto intenso.



Flussi medi annui alle bocche di porto nel periodo 12 febbraio 2002 – 12 febbraio 2003. Lo sbilanciamentoo in uscita da Malmocco viene attribuito all'apporto delle acque dolci nella laguna

Inoltre, una rete di sistemi Radar HF è stata utilizzata per produrre le mappe della corrente marina superficiale al largo della bocca di porto di Malamocco, per un periodo di un anno, dal Novembre 2001 all'Ottobre 2002. Le misure del campo di corrente evidenziano la presenza di una corrente media verso sud dell'ordine di 10 cm/sec, che fa parte della circolazione ciclonica dell'Adriatico. L'analisi dei campi di flusso, sottratta la componente mareale, rivela la presenza di vortici su piccola scala (5 km) sia a nord che a sud della bocca. Inoltre, diverse mappe delle medie mensili della velocità della corrente indicano la presenza di persistenti meandri.

L'indagine sulla possibile influenza dei forzanti esterni ha stabilito che un vento forte tende a distruggere questi vortici, e crea un campo di corrente piuttosto omogeneo ed uniforme. Il vento genera le oscillazioni a bassa frequenza durante l'inverno, mentre durante la stagione stratificata prevalgono le oscillazioni inerziali. La varianza di queste oscillazioni aumenta con la distanza dalla costa.

2) *Misure di parametri biogeochimici e calcolo dei flussi di materiali sospesi e disciolti*

Questa parte della linea di ricerca si prefiggeva di quantificare gli scambi del materiale disciolto e particellato, organico ed inorganico, che avvengono tra laguna e mare attraverso le bocche di porto di Lido, Malamocco e Chioggia. Allo scopo di considerare tali flussi a diverse scale temporali, breve (mareale) e lunga (stagionale), sono state condotte alcune campagne di studio su ciascuna bocca, con misure e campionamenti ad alta frequenza per più cicli di marea, ripetuti per le quattro situazioni stagionali.

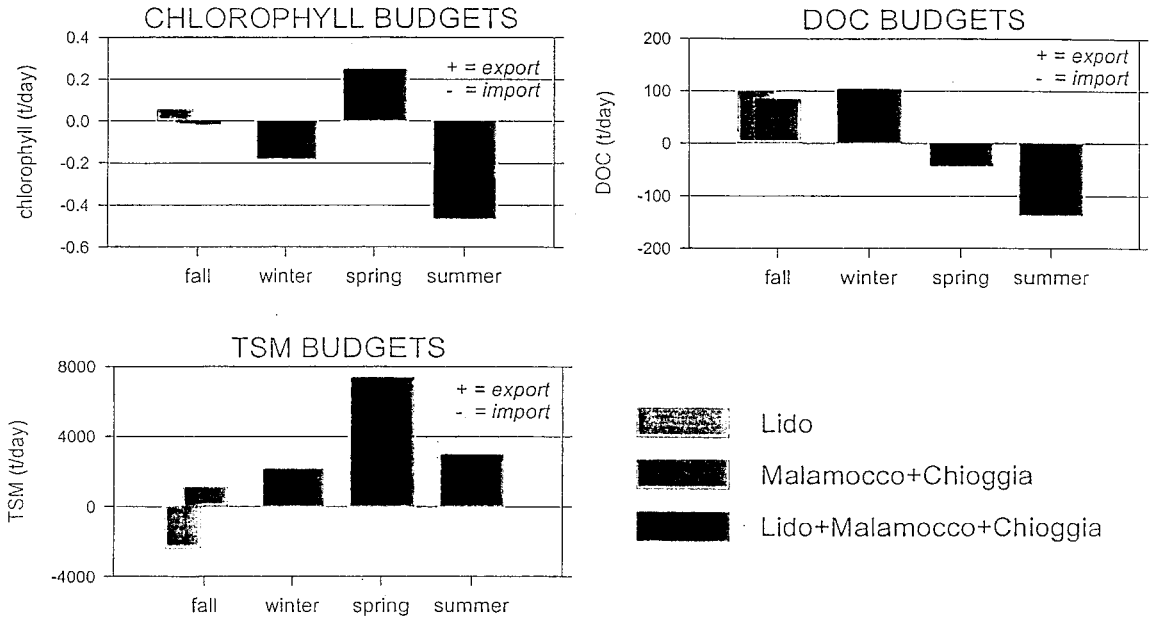
A completamento di tali campagne, con cadenza mensile sono stati effettuati alcuni surveys alle tre bocche, per ottenere un quadro il più esauriente possibile della graduale variazione delle proprietà biogeochimiche con l'avvicendarsi delle stagioni.

I parametri biogeochimici misurati alle bocche hanno evidenziato una variabilità molto ampia e di natura diversa a seconda delle scale temporali considerate: per alcuni di essi le variazioni a scala tidale sono simili a quelle annuali, mentre altri risultano più legati al ciclo stagionale che non a quello mareale.

I risultati delle analisi e dei conteggi biologici sono stati accoppiati con i dati di corrente nelle bocche, ottenendo in tal modo i flussi stagionali attraverso le bocche, dai quali sono stati ricavati valori indicativi riguardo l'entità degli scambi che interessano i principali parametri idrologici, chimici e biologici tra la laguna di Venezia e la fascia costiera del mare Adriatico.

I flussi alle bocche hanno fornito risultati molto eterogenei. Alcuni forzanti fisici, come il vento, possono determinare flussi di entità e direzione inattesa qualora si verifichino condizioni particolari, come ad esempio lo spirare del vento di bora durante eventi eccezionali di acqua alta.

I bilanci calcolati per i nutrienti disciolti indicano come questi vengano generalmente esportati dalla laguna verso il mare in tutte le stagioni. In particolare, è stato osservato un accordo tra i trend stagionali dell'azoto e del silicio, ed un comportamento poco omogeneo del fosfato. Durante l'acqua alta sono stati riscontrati bilanci elevati in uscita dalla bocca del Lido per azoto, silicio e fosforo. Eventi particolari di bloom fitoplanctonici nelle aree lagunari hanno evidenziato un'inversione del flusso per alcune forme di nutrienti, come l'azoto ed il silicio, con un import dalle acque costiere verso la laguna, fenomeno peraltro già descritto negli anni '90.



Bilanci stagionali laguna-mare. Segno positivo = esportazione dalla laguna verso il mare; segno negativo = importazione dal mare alla laguna

Nei bilanci del materiale particellato erano evidenti picchi primaverili in uscita dalla laguna, a causa di un generale aumento del metabolismo lagunare, associato alla produzione di materiale particellato, appartenente sia alla frazione vivente che non. A volte, quando sono state rinvenute maggiori abbondanze di organismi nelle acque costiere rispetto a quelle lagunari, come nella situazione estiva, i bilanci di alcuni parametri erano caratterizzati da importazioni dal mare in laguna.

Il sospeso totale ha subito un'esportazione generalizzata verso il mare, dimostrando come nella laguna di Venezia i fenomeni di erosione prevalgano su quelli di sedimentazione. Tuttavia, durante eventi di acqua alta, possono evidenziarsi importazioni di materiale sospeso dal mare in laguna anche di cospicua entità.

3) Modellistica accoppiata, laguna-mare Adriatico, dei flussi alle bocche

Il programma di ricerca previsto per la linea modellistica nell'arco del triennio di attività ha visto l'implementazione di un modello idrodinamico accoppiato mare-laguna per l'analisi degli scambi d'acqua attraverso le tre bocche di porto, nonché la validazione, mediante confronto con dati sperimentali da ADCP, dei risultati numerici ottenuti. L'attività svolta nel triennio per questa linea è stata la messa a punto di un modello biogeochimico di qualità dell'acqua per la laguna di Venezia, ed il suo accoppiamento con il modello idrodinamico. Il

modello scelto è il WASP dell'EPA (USA). Con questo modello sono stati indagati vari scenari di eutrofizzazione che interessano la laguna di Venezia. I risultati delle simulazioni sono stati analizzati ed è stata stimata la sensitività dell'ecosistema a diversi scenari di flusso attraverso le bocche.

In linea con le specifiche del programma, tale strumento è stato utilizzato principalmente al fine di riprodurre ed integrare le informazioni sperimentali relative allo scambio di acqua alle bocche di porto. Il programma di ricerca prevedeva altresì la messa a punto di un modello ecologico in grado di simulare l'influenza di diversi scenari di scambio alle bocche sulla qualità delle acque all'interno della laguna. Era peraltro previsto che nel corso del primo triennio lo studio modellistico si focalizzasse principalmente sulla parte idrodinamica e di modellistica alle bocche, mentre l'attività di modellistica ecologica avrebbe dovuto trovare più ampia realizzazione in fase successiva.

In linea con questi obiettivi, si è messo a punto un modello numerico bidimensionale della laguna, che riproduce i fenomeni di trasporto attraverso una discretizzazione delle Shallow Water Equation basata sul metodo degli Elementi Finiti. Il modello è stato calibrato e validato attraverso il confronto con diversi insiemi di dati sperimentali, relativi al ritardo nella propagazione dell'onda di marea, livello, temperatura e salinità.

Il modello validato è stato quindi utilizzato per: a) lo studio della circolazione residua in laguna di Venezia, in condizioni climatologiche ed in funzione di diversi scenari meteorologici e di modalità di scambio alle bocche; b) la suddivisone della laguna in 4 sottobacini, e di ogni sottobacino in un'area dominata dall'influenza dei fiumi, un'area dominata dall'influenza del mare, ed un area intermedia, per un totale di 10 aree fisicamente omogenee, che costituiscono una base naturale per la costruzione di un box-model; c) la definizione di un modello a box della laguna di Venezia, utilizzabile per prime stime ed analisi speditive delle interazioni fra fattori fisici chimici e biologici in un contesto spazialmente non omogeneo.

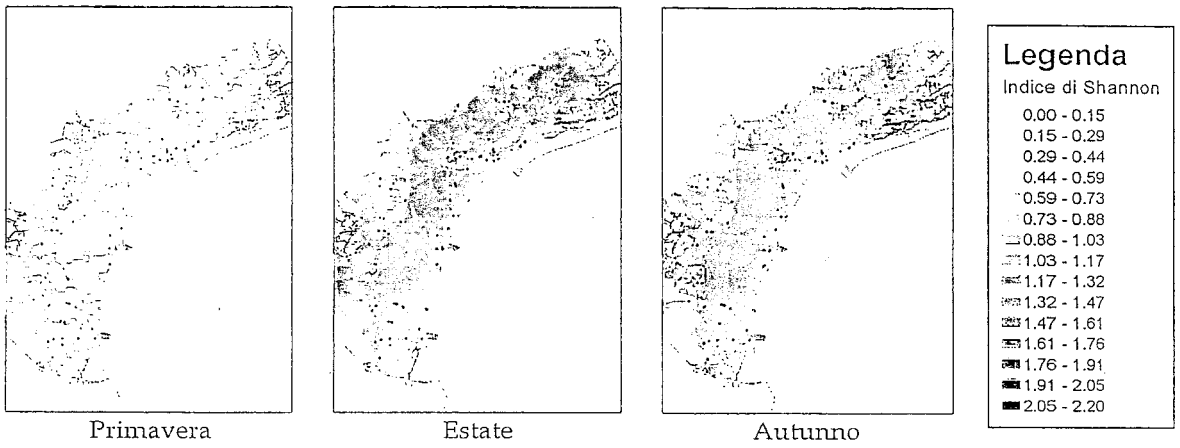
Il modello validato è stato quindi integrato in un modello idrodinamico bidimensionale per il sistema integrato laguna de Venezia e mare Adriatico ed in un modello di qualità dell'acqua della laguna di Venezia.

Linea 3.6. Lo studio della biodiversità per un equilibrio fra conservazione e sfruttamento in laguna di Venezia responsabile.

Contraente principale: DSA-Università Ca' Foscari di Venezia.

Il progetto di ricerca ha affrontato lo studio della biodiversità nella laguna di Venezia a 4 livelli: di comunità (ittica e bentonica), di specie, di popolazione e genetica. Questo studio ha tentato non solo di monitorare alcune componenti della biodiversità lagunare e costiera, ma anche di comprendere i meccanismi che ne sottendono la regolazione e il mantenimento.

Lo studio della comunità ittica della laguna di Venezia ha consentito di individuare due habitat "chiave" per il mantenimento della biodiversità: le praterie di fanerogame e le aree di barena (in particolare i "ghebi"). Questi habitats infatti supportano un elevato numero di individui e di specie (soprattutto nella stagione estiva) e due comunità "tipiche", composte da specie che rivestono ruoli ecologici differenti. Nelle praterie di fanerogame, situate in prossimità delle bocche di porto, o comunque in zone vivificate dal mare, dominano le specie di pesci ago (singnatidi) e il gò (*Z. ophiocephalus*), un gobide di grandi dimensioni, specie target della pesca artigianale in laguna di Venezia. Queste sono tutte specie residenti, che svolgono il loro intero ciclo vitale nell'ambiente lagunare. Nei "ghebi", invece, le specie dominanti, con elevate abbondanze, sono per lo più specie di piccola taglia, quali i gobidi di piccole dimensioni (localmente chiamati "marsioni") e i cefali (Mugilidi). Mentre i primi sono per lo più residenti, le specie appartenenti alla famiglia dei Mugilidi sono per lo più marine e migratrici. Esse entrano in laguna per alimentarsi ed accrescersi e spesso utilizzano il "ghebo" come "nursery", ambiente cioè dove gli individui giovanili possono alimentarsi e accrescersi, protetti dai predatori. L'individuazione di questi due habitat "chiave" ha messo in evidenza l'importanza della capacità di "strutturare l'ambiente", più che di altri parametri (ambientali), nel determinare la "funzionalità" degli habitats all'interno dell'ecosistema lagunare.



Mappatura dell'indice di Shannon stagionale nella laguna di Venezia

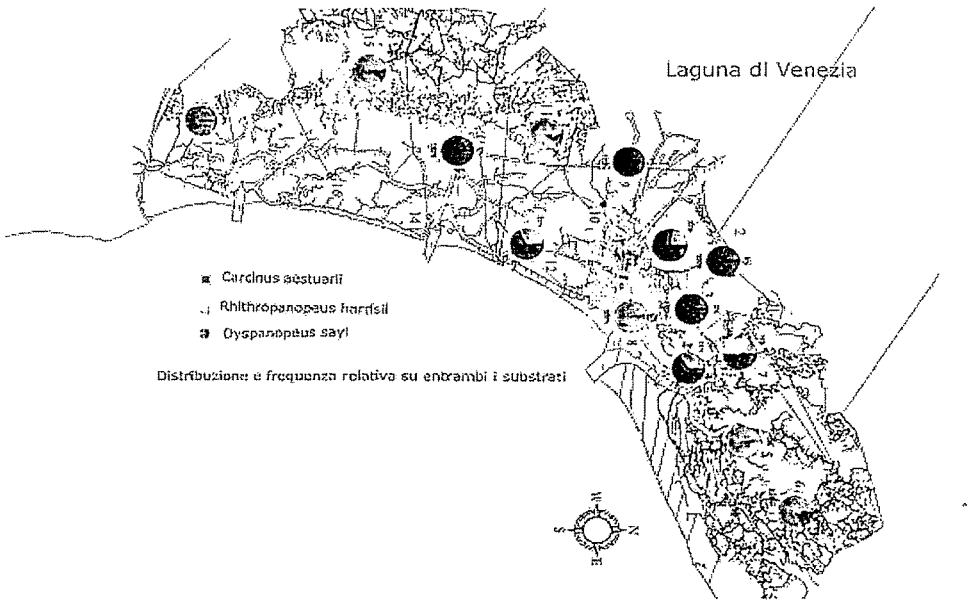
I risultati delle ricerche che hanno riguardato la variabilità genetica e molecolare indicano che nella laguna di Venezia esista un'unica popolazione geneticamente omogenea del gobide *Zosterissor ophiocephalus*. Mentre differenti risultano le risposte individuali (alterazioni citologiche e modificazioni delle attività enzimatiche) in funzione del degrado della qualità dell'ambiente lagunare. In *Z. ophiocephalus* sono state prodotte 1920 3'EST (sequenze che identificano circa 967 geni espressi nei tessuti del go'); in *Mytilus galloprovincialis* sono state rese disponibili 5664 3'EST (circa 1746 geni trascritti in mitilo) e portato alla definizione del MYTarray 1.0 (cDNA microarray a scala genomica). Entro questo progetto sono stati avviati i primi esperimenti di validazione del microarray. I rischi per l'ecosistema lagunare di composti antivegetativi di nuova generazione, alternativi agli stannorganici, sono stati valutati attraverso i loro effetti sull'insediamento larvale e sulla sopravvivenza degli individui usando l'ascidia coloniale *Botryllus schlosseri* come modello sperimentale. I risultati ottenuti indicano un'elevata pericolosità di queste sostanze per gli organismi, in alcuni casi simile al TBT, che rischia di avere gravi conseguenze per la biodiversità lagunare.

Lo studio delle comunità bentoniche nella laguna di Venezia è partito dalla catalogazione di dati provenienti da studi sugli invertebrati bentonici di fondo mobile effettuati nel bacino settentrionale della laguna di Venezia. Dall'analisi di questi dati è risultata una lista di specie e tabelle di contingenza. Per quanto riguarda i dati più antichi, la lista di specie è stata corretta alla luce della revisione della collezione di animali depositata presso il Museo Civico di Storia Naturale di Venezia. L'uso di strumenti statistici e delle conoscenze sulla autoecologia delle specie (adattamenti fisiologici, abitudini alimentari, ciclo biologico, relazioni interspecifiche) ha fornito una mappatura della distribuzione degli invertebrati bentonici in vari periodi (1948, 1968, 1989-91) e la classificazione biologica dei vari habitat.

Questo lavoro è stato funzionale alla pianificazione di nuovi campionamenti, effettuati stagionalmente lungo l'estuario del Dese. I risultati hanno evidenziato una distribuzione spaziale degli invertebrati determinata dall'idrodinamismo e un incremento di specie tolleranti l'arricchimento organico all'aumento del grado di trofia delle acque dimostrando come gli invertebrati siano indicatori delle condizioni ambientali.

Il lavoro di monitoraggio di alcune specie bentoniche alloctone in laguna di Venezia ha dato i seguenti risultati. L'introduzione, volontaria o meno, di specie esotiche in aree non native non solo compromette in modo grave gli equilibri ecologici delle singole aree interessate ma riduce anche la diversità biologica in un processo di tipo generale. Le specie alloctone, risultando più competitive rispetto alle specie locali e non incontrando nei nuovi habitat adeguati competitori naturali, possono infatti sostituirsi più o meno rapidamente alle specie autoctone provocandone spesso la riduzione e talvolta l'eventuale scomparsa. La presente ricerca ha quindi voluto fornire un quadro inedito e aggiornato sulla presenza e diffusione di alcune specie esotiche del macrozoobenthos nella laguna di Venezia, raccogliendo inoltre dati in merito alla frequenza relativa delle diverse specie rispetto alle entità autoctone e alle condizioni locali. Le prime elaborazioni sui dati raccolti in un database appositamente creato hanno consentito di individuare alcune specie candidate alla colonizzazione della laguna di Venezia, in quanto particolarmente compatibili con le caratteristiche locali. I dati forniti dalla campagna sperimentale, effettuata tra i mesi di maggio e settembre del 2002, hanno permesso la redazione di carte distributive relative a ciascuna specie oggetto di studio nelle diverse aree lagunari. I risultati ottenuti per l'intero bacino sono stati analizzati per comprendere le dinamiche di diffusione e acclimatazione delle specie in esame e le interazioni evidenziabili sulle specie locali. In particolare, riguardo alle specie di interesse commerciale, sono stati rilevati effetti indotti dallo sfruttamento antropico con mezzi particolarmente impattanti per gli equilibri delle comunità bentoniche. Il quadro risultante appare articolato e piuttosto eterogeneo dal momento che l'introduzione di specie esotiche in un ambiente particolare per caratteristiche ambientali ed ecologiche quale appunto la laguna di Venezia sembra produrre risultati molto diversi, in funzione di numerose variabili. Sono stati in effetti documentati diversi gradi di successo, inteso come frequenza relativa degli individui e come percentuale di ritrovamento nelle diverse stazioni, nell'acclimatazione delle specie alloctone. Talvolta ad un primo insediamento segue un'apparente estinzione, come nel caso del Mollusco Bivalve *Saccostrea commercialis* (Iredale & Roughley, 1933) la cui diffusione in laguna è risultata solo temporanea. In altri casi si sono osservati veri e propri fenomeni di esplosione demografica seguiti da un successivo assestamento su valori inferiori, come è accaduto per il Crostaceo

Decapode *Dyspanopeus sayi* (Smith, 1869) e per il Mollusco Bivalve *Scapharca inaequivalvis* (Bruguière, 1789). Infine, per talune specie si è verificata una diffusione massiccia con sostanziale colonizzazione di ogni ambiente disponibile, come nei casi di *Tapes philippinarum* (Adams & Reeve, 1850) nei substrati mobili e *Crassostrea gigas* (Thunberg, 1793) in quelli solidi. Molto articolato appare anche il quadro relativo ai fenomeni di interazione. In alcuni casi l'introduzione di specie alloctone non sembra produrre alcun effetto sulle specie locali, come accade per il bivalve *Cerastoderma glaucum* (Poiret, 1789) la cui diffusione in laguna è rimasta pressoché immutata nonostante l'arrivo di *Scapharca inaequivalvis* negli stessi ambienti distributivi potesse dare origini a fenomeni di competizione. Analoga pare la situazione dell'autoctono granchio *Carcinus aestuarii* Nardo, 1847, che non sembra risentire della presenza dell'esotico *Dyspanopeus sayi*. In altri casi si è potuta invece osservare una drastica riduzione, fino alla scomparsa quasi totale o completa, delle specie autoctone in esame. Appare infatti significativa la situazione della vongola verace *Tapes decussatus* (Linnaeus, 1758), presente ormai solo nei siti non sottoposti all'intensa pressione di pesca esercitata sull'affine vongola filippina *Tapes philippinarum*. Ancora più pesante è stato l'impatto dell'ostrica *Crassostrea gigas* sulla locale *Ostrea edulis* Linnaeus, 1758, che sembra essere completamente scomparsa dall'ambito lagunare.



Distribuzione e frequenze relative dei Decapodi target in laguna di Venezia

Il contenuto di DNA nucleare totale ed il contenuto nucleare di DNA composto dalle coppie di basi Adenina e Timina è stato determinato, tramite analisi citofluorimetrica in flusso, per

otto specie della famiglia Syngnathidae e per otto della famiglia Gobiidae, che caratterizzano la fauna ittica della laguna di Venezia. I dati sono originali ed in gran parte non apparsi in letteratura.

Linea 3.7. Indagini sperimentali e modellazione dei meccanismi morfodinamici agenti nel sistema lagunare veneziano.

Contraente principale: IMAGE-Università di Padova.

Le attività della linea nel 2003 hanno riguardato il completamento del modello della laguna schematica a marea e l'inizio di prove preliminari morfodinamiche.

In un ulteriore modello di canale a marea si sono eseguite una seconda serie di esperimenti: esperimenti numerici con metodi shock-capturing applicati allo studio dell'evoluzione del fondo; esperimenti numerici con diversi modelli di chiusura della turbolenza inseriti un modello bidimensionale; esperimenti numerici del modello di evoluzione morfologica di una barena.

Sono stati implementati ulteriori modelli uni-bidimensionali a fondo mobile e alcuni modelli di sottogriglia da utilizzare per una migliore descrizione dei fenomeni con lunghezze scala caratteristiche inferiori a quelle del reticolo di calcolo. È stato realizzato un modello per il calcolo del moto di filtrazione all'interno di una barena e studio dei tempi di aerazione del suolo. Sono state individuate relazioni empiriche tra vegetazione e caratteristiche topografiche e morfologiche delle aree lagunari. È stata inoltre effettuata la costruzione attraverso mosaicatura di una immagine ad altissima risoluzione di una barena campione (S. Felice) ed analisi della struttura dei canali.

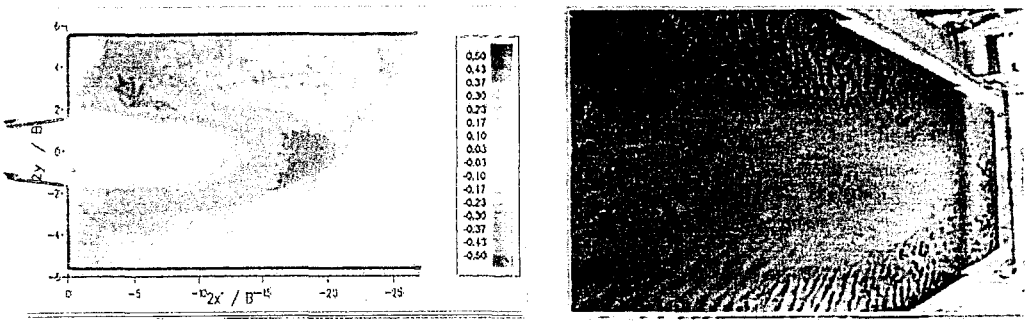
L'implementazione di modelli di sottogriglia e di trasporto solido ha prodotto i risultati attesi. Si è inoltre completata l'implementazione e la validazione dei seguenti modelli matematici: modello matematico unidimensionale a griglia mobile per lo studio dell'avanzamento di un fronte bagnato su una spiaggia asciutta; modelli lineari e non lineari di chiusura della turbolenza; modello di evoluzione di un bassofondo/barena; modelli uni-bidimensionali a fondo mobile di un sistema a marea; modello monodimensionale dell'evoluzione morfodinamica di canali a marea, modello bidimensionale dell'evoluzione morfodinamica dell'area di bacino adiacente all'imbocco di un canale a marea.

L'applicazione degli algoritmi di classificazione della vegetazione a partire da dati iperspettrali si è anch'essa conclusa con i risultati attesi. Si è inoltre concluso come previsto lo

sviluppo di algoritmi nonlineari di unmixing. L'ESSC (Università di Reading) ha provveduto ad applicare lo schema di estrazione semiautomatico di reti di canali sviluppato ai casi di studio nella laguna di Venezia. È stata infine effettuata l'implementazione di un modello di ontogenesi ed evoluzione morfodinamica a lungo termine di una laguna.

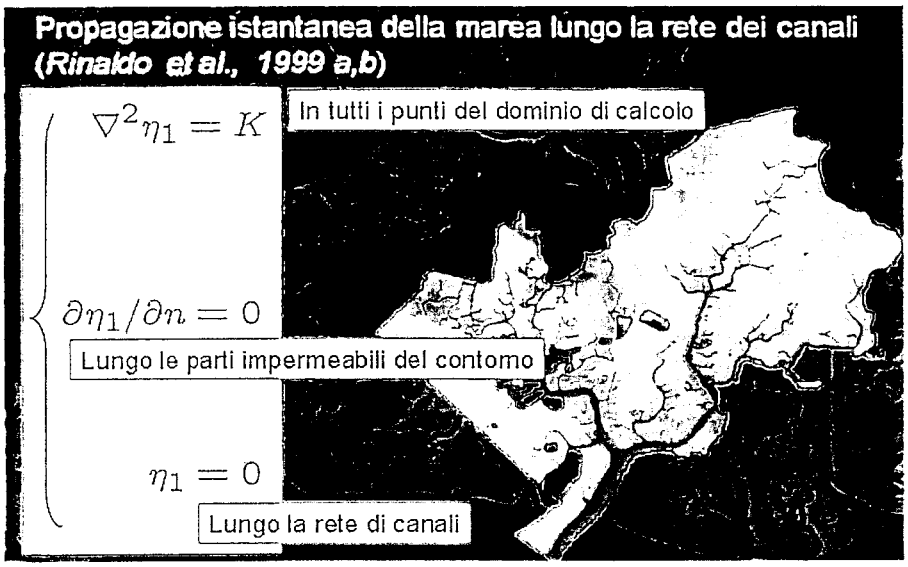
In conclusione, i seguenti risultati generali sono stati prodotti dall'attività svolta nel terzo anno e alla conclusione quindi della ricerca.

Per quanto riguarda la modellazione fisica è emerso che i canali a marea chiusi ad una estremità e connessi al mare dall'altra possono raggiungere un equilibrio morfodinamico di lungo termine, come teoricamente previsto, e hanno messo in luce che il trasporto di sedimenti in un canale mareale è fortemente influenzato dalle asimmetrie del campo di moto all'imbocco del canale stesso.



Evoluzione morfodinamica di un canale a marea

Per quanto riguarda la modellazione matematica si è potuto evidenziare, attraverso le simulazioni, il ruolo determinante che la geometria delle bocche assume nello scambio di sedimenti mare-laguna e i mutamenti intervenuti dal 1800 ad oggi. Risultati preliminari, ma di grande interesse, sono stati ottenuti analizzando l'introduzione di sedimenti del Brenta nella laguna di Venezia e valutandone la dispersione al fine di valutare la fattibilità di un provvedimento rivolto alla mitigazione dei fenomeni di erosione dei fondali. Si sono analizzati, con l'ausilio di modelli bidimensionali, problemi legati alla dissipazione di energia prodotte dalla presenza di opere fisse alle bocche. Per quanto riguarda l'analisi della vegetazione lagunare, è stata estratta con apposite tecniche di classificazione automatica la struttura connessa dei canali di barena. Per quanto riguarda infine la morfologia degli ambienti a marea è stato messo a punto un modello matematico di evoluzione della rete di canali come primo importante passo per produrre un modello che descriva l'evoluzione a lungo termine della struttura morfologica della laguna di Venezia.



Analisi delle reti di canali a marea

3.4 Area Gestione dati

Linea 4.1. La Base di dati RIVELA.

Il programma di gestione ed organizzazione dei dati facente capo alle ricerche Corila, ha permesso di raccogliere nel corso del triennio di attività dati ed informazioni prodotte dalle diverse linee di ricerca.

Le informazioni raccolte hanno permesso di operare alcune valutazioni in merito alle modalità di archiviazione, distribuzione ed organizzazione di quanto raccolto.

In particolare, in considerazione del fatto che gli ambiti di ricerca seguiti dal Corila sono particolarmente eterogenei: economia, architettura e processi ambientali, si è valutato che l'organizzazione dell'informazioni secondo semplici basi di dati non fosse più sufficiente.

Al fine quindi di rendere fruibile ai ricercatori, alla comunità scientifica ed ai decisori politici quanto raccolto, è stato predisposto uno strumento più complesso ed articolato, che potesse riunire in un unico "nodo" tutte le informazioni disponibili.

È stato quindi progettato il Portale RIVELA.

Portale RIVELA