Alberto Bernstein
e Laura Montobbio*

La gestione dei sedimenti in laguna di Venezia. Sintesi dei principali risultati acquisiti da studi e indagini di base**

Inquadramento

In una laguna poco profonda, come quella di Venezia, i sedimenti sono una parte essenziale del corpo idrico.
Essi, testimoni e insieme protagonisti del gioco tra energie fisiche e chimiche indotte dalle maree e dagli apporti dai fiumi, costituiscono i fondali lagunari (la cui morfologia svolge, assieme all'idrodinamica, un ruolo fondamentale per l'assetto degli ecosistemi lagunari) e sono l'habitat di molti organismi vegetali e animali.
I sedimenti catturano e trattengono, per periodi lunghi o brevi, i contaminanti chimici presenti nelle acque e provenienti dalle varie sorgenti (atmosfera, fiumi, scarichi, traffico, rifiuti, ecc.), riducendone le concentrazioni.
Oltre a interagire continuamente con le acque, i sedimenti si spostano, si disfano e si ricompongono, depositandosi in luoghi anche lontani da quelli di provenienza.
Le regole della loro gestione non possono, quindi, essere quelle maturate per i suoli.
La gestione dei sedimenti non è altro che un aspetto della complessiva gestione degli ecosistemi, rispetto alla quale non ha obiettivi propri, indipendenti, pur rispondendo a criteri specifici e utilizzando strumenti operativi frutto di molti anni di esperienze.
Questa non va confusa con la gestione dei fanghi di dragaggio, dei sedimenti asportati, ormai diventata (per non trasformare una risorsa in rifiuto) una specifica branca dell'ingegneria ambientale, i cui strumenti devono essere usati quando la gestione degli ecosistemi non riesce a dare tutti i risultati attesi.
Nel caso della laguna di Venezia, in particolare, i sedimenti costituiscono un elemento fondamentale per il mantenimento, la tutela e la gestione unitaria degli ecosistemi e come tali interessano trasversalmente moltissimi programmi di salvaguardia.
I sedimenti vanno quindi considerati come:

- una matrice che deve avere le caratteristiche qualitative necessarie ad assicurare il buono stato ecologico del corpo idrico cui appartengono;
- una sede di attività biologica, micro e macro, che trasforma le sostanze non minerali;
- una roccia sciolta, mobile per effetto delle correnti e della turbolenza dell'acqua e a densità variabile nel tempo per effetto dei processi legati alla frazione organica e all'attività biologica interstiziale;
- un elemento determinante per la conformazione e l'assetto della morfologia lagunare;
- uno dei fattori principali dell'idrodinamica lagunare che governa, attraverso la mor-

* L'arch. Alberto Bernstein è stato Responsabile del Servizio Ambiente del Consorzio Venezia Nuova tra il 1988 e il 2008. Dal 2009 è a Thetis spa.
L'ing. Laura Montobbio, al Servizio Ambiente del Consorzio Venezia Nuova dal 1993 al 2008; dal 2009 a Thetis

** La gestione dei sedimenti rappresenta un aspetto fondamentale delle attività per la salvaguardia e il ripristino dell'ecosistema lagunare veneziano per quanto riguarda, in particolare, le finalità del risanamento ambientale e del recupero morfologico.
Rispetto a tali obiettivi, dagli anni '90 a oggi, il Magistrato alle Acque di Venezia ha eseguito numerosissimi interventi, diffusi sul territorio, che sono proceduti contestualmente alla realizzazione di specifici programmi interdisciplinari di studi, monitoraggi e sperimentazioni svolti in modo integrato e continuo nel tempo.
Questi programmi, cui hanno partecipato istituti universitari, centri di ricerca, amministrazioni e istituzioni che concorrono alla tutela dell'ambiente lagunare, hanno consentito di raccogliere, elaborare e rendere disponibile un immenso patrimonio di dati, necessario per la ricostruzione di un quadro conoscitivo via via progressivamente aggiornato e approfondito sul sistema lagunare e funzionale alla pianificazione degli interventi di salvaguardia ambientale.
L'articolo di Alberto Bernstein e di Laura Montobbio fa riferimento alle esperienze maturate in venticinque anni di interventi sui sedimenti e per i sedimenti della laguna. Il testo presenta la sintesi delle più significative evidenze scientifiche emerse dagli studi e dalle indagini di base, indicando anche questioni ancora aperte, nuovi orientamenti programmatici e ulteriori elementi di riflessione

fologia dei fondali, la distribuzione della principale energia agente sull'ecosistema;
- l'habitat di molte specie animali e vegetali, comprese alcune specie rilevanti per le attività economiche tipiche della laguna (vongole, ecc.);
- la destinazione o l'origine del particellato presente nelle acque e la destinazione dell'inquinamento ad esso associato, con un effetto complessivo di sottrazione dell'inquinamento alle acque lagunari;
- la sede di una serie di processi microbiologici e chimico fisici che degradano con velocità molto diverse i contaminanti e le sostanze, organiche e non, che si depositano sul fondo;
- una fonte di torbidità che modifica la penetrazione della luce nel corpo idrico.

I sedimenti lagunari costituiscono poi il materiale con cui costruire e ricostruire gli habitat lagunari caratteristici (barene, velme, bassifondali), essenziali per la sopravvivenza di specie vegetali e animali di pregio, dichiarate di interesse comunitario, e per la tutela del paesaggio lagunare.

Il Magistrato alle Acque di Venezia, attraverso il Consorzio Venezia Nuova e in collaborazione con altri soggetti competenti, ha realizzato negli anni numerosi studi e sperimentazioni per arricchire la cassetta degli attrezzi con cui progettare e realizzare gli interventi di salvaguardia in laguna che comportano la gestione dei sedimenti.

In particolare sono stati realizzati studi per:
- descrivere e definire le caratteristiche generali dei sedimenti e la loro variabilità spaziale (granulometria, mineralogia, stato trofico, ecc.);
- descrivere e definire la contaminazione dei sedimenti, la sua variabilità spaziale e temporale e quella associabile al fondo "naturale" o, meglio, preindustriale;
- definire le dinamiche dei sedimenti e le loro relazioni con la morfologia e l'idrodinamica lagunari;
- definire i processi di sedimentazione e risospensione;
- definire i processi di scambio tra sedimenti, colonna d'acqua e biota;
- individuare e valutare le pressioni[1] antropiche più rilevanti per i sedimenti;
- analizzare l'habitat bentonico come risorsa economica e valutare gli effetti del suo sfruttamento;
- valutare i tipi di sedimento in sito, in relazione alla compatibilità con le comunità biologiche, ai rischi di rilascio di contaminanti, ai possibili impatti e ai rischi per la salute;
- valutare i sedimenti da dragare;
- sperimentare e valutare la ricollocazione in laguna dei materiali di risulta dai dragaggi;

[1] Il concetto di "pressioni" fa riferimento al modello concettuale denominato DPSIR (Driving forces, Pressures, States, Impacts, Responses) che è stato formulato per la prima volta dall'Agenzia Europea per l'Ambiente nel 1995. Questo modello consente di descrivere lo stato dell'ambiente attraverso le relazioni funzionali e causali tra le caratteristiche e i processi naturali propri di un ecosistema e quelli riconducibili all'azione dell'uomo. La descrizione si sviluppa secondo una precisa sequenza logica che comprende: Forzanti (le cause, di origine naturale o antropica); Pressioni (le forme in cui le forzanti si esplicano); Stati (gli effetti sull'ecosistema); Impatti (le criticità ambientali); Risposte o Azioni (le attività dirette e indirette di protezione ambientale).

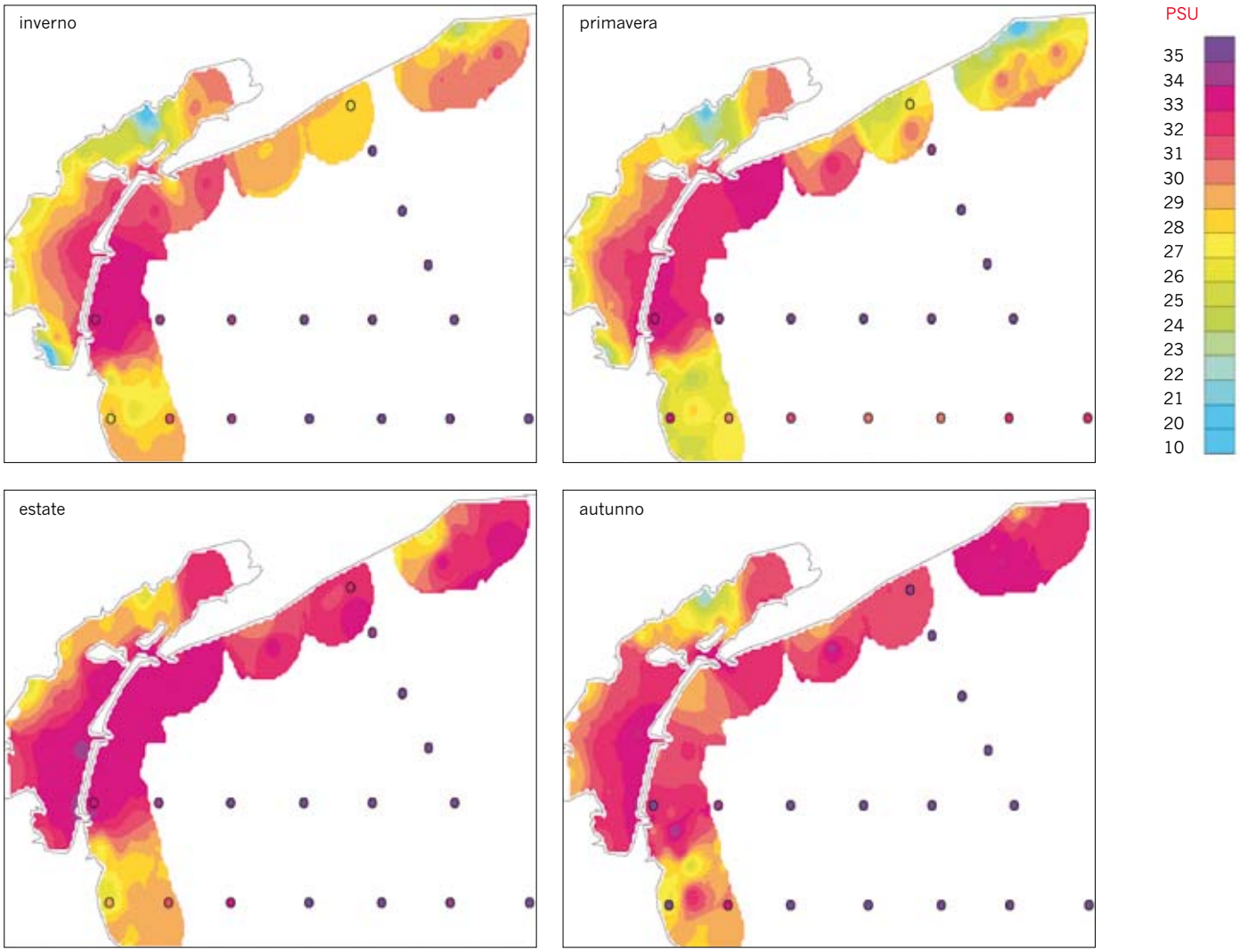
- sperimentare e valutare le tecniche di trattamento dei sedimenti inquinati non ricollocabili in laguna;
- realizzare installazioni e impianti per la gestione dei sedimenti inquinati non ricollocabili in laguna;
- risanare i fondali.

L'aspetto più importante di questa estesa e articolata serie di attività[2] è tuttavia rappresentato dall'integrazione tra scienza e ingegneria, tra studi ed esperienze realizzative raggiunta dal Magistrato alle Acque e dal Consorzio Venezia Nuova, oltre che dai numerosi centri di ricerca e laboratori coinvolti.

Caratteristiche generali dei sedimenti lagunari

La giacitura dei sedimenti rispetto al corpo idrico (cioè la profondità dei fondali che influenza il ricambio idrico e la turbolenza indotta dalle maree e dai venti) e le loro caratteristiche fisiche e chimiche determinano le proprietà dell'habitat per la fauna e la flora acquatica che risiede sul fondo e, in particolare, per quella microbica.
I processi chimici, fisici e biologici all'interfaccia tra acque e sedimento sono assolutamente significativi per la qualità del corpo idrico in tutti gli ambiti lagunari a minor ricambio e anche per l'abitabilità da parte del biota acquatico. Come detto, infatti, essi favorendo la cattura e la sedimentazione degli inquinanti immessi in una laguna, rappresentano un essenziale fattore di depurazione delle acque.
Anche le condizioni trofiche della laguna di Venezia, in quanto ecosistema di transizione tipicamente soggetto ad arricchimento di nutrienti e sostanza organica, costituiscono un aspetto fondamentale per contestualizzare la valutazione dello stato dei sedimenti (figure 1-3).
La lettura integrata dei dati raccolti nell'ambito dei programmi MELa[3] porta a confermare l'ipotesi che la variabilità delle concentrazioni di nutrienti nelle acque lagunari sia governata dai processi biogeochimici nel corpo idrico e negli strati superficiali dei fondali oltre che dalle variazioni di apporti di nutrienti dai corsi d'acqua che sfociano in laguna.
Questi processi, legati alla degradazione più o meno completa della sostanza organica (detrito organico) governano anche la cattura dei metalli presenti nella colonna d'acqua e la loro successiva cessione.
Come in tutte le lagune, anche nella laguna di Venezia i sedimenti sono più o meno anossici in dipendenza dagli scambi con acque più o meno ossigenate e con concentrazioni più o meno elevate di carbonio, materia organica e altri nutrienti. La condizione

[2] Tali attività hanno anche generato molta "letteratura grigia", spesso più importante delle pubblicazioni scientifiche derivate, accessibile su richiesta presso il Servizio Informativo del Magistrato alle Acque (*info@magisacque.it*).
[3] I programmi cosiddetti "MELa" (Monitoraggio dell'Ecosistema Lagunare) vengono eseguiti dal Magistrato alle Acque attraverso il Consorzio Venezia Nuova e riguardano sia le caratteristiche delle acque e dei sedimenti, sia i popolamenti vegetali (fitoplancton, angiosperme acquatiche, macroalghe), animali (comunità bentoniche) e microbici della laguna. Le attività sono state avviate nel 2000 e si sono articolate in fasi diverse, attivate nel tempo e tra loro coordinate. Ciò ha garantito la continuità e l'omogeneità delle informazioni e dei dati acquisiti e la disponibilità di una base di conoscenze sempre più approfondita, dinamica e integrata sull'ecosistema.



In questa pagina e nelle pagine seguenti
Elaborazioni integrate di dati di qualità dell'acqua (medie stagionali) della laguna di Venezia e del mare antistante per l'anno 2001 (salinità, nitrato e clorofilla).
Le elaborazioni sono il risultato dell'integrazione dell'insieme di misure effettuate nel programma MELa1 del Magistrato alle Acque di Venezia e di quelle eseguite nel Programma di monitoraggio della fascia costiera INTERREG condotto per conto della Regione del Veneto

Figura 1
Concentrazioni medie stagionali della salinità espressa in *Pratical Salinity United* (PSU).
Le distribuzioni spaziali della salinità mostrano bene gli effetti degli apporti di acqua dolce di origine fluviale sia in laguna (segnali del Dese e Silone in laguna nord) che nella fascia costiera dove si registra minore salinità in prossimità delle foci (a nord, Sile, Piave, Livenza e Tagliamento; a sud, Adige e Brenta).
Si noti come la zona antistante il Lido sia la meno influenzata dall'apporto fluviale e come tali apporti siano più forti in inverno e primavera

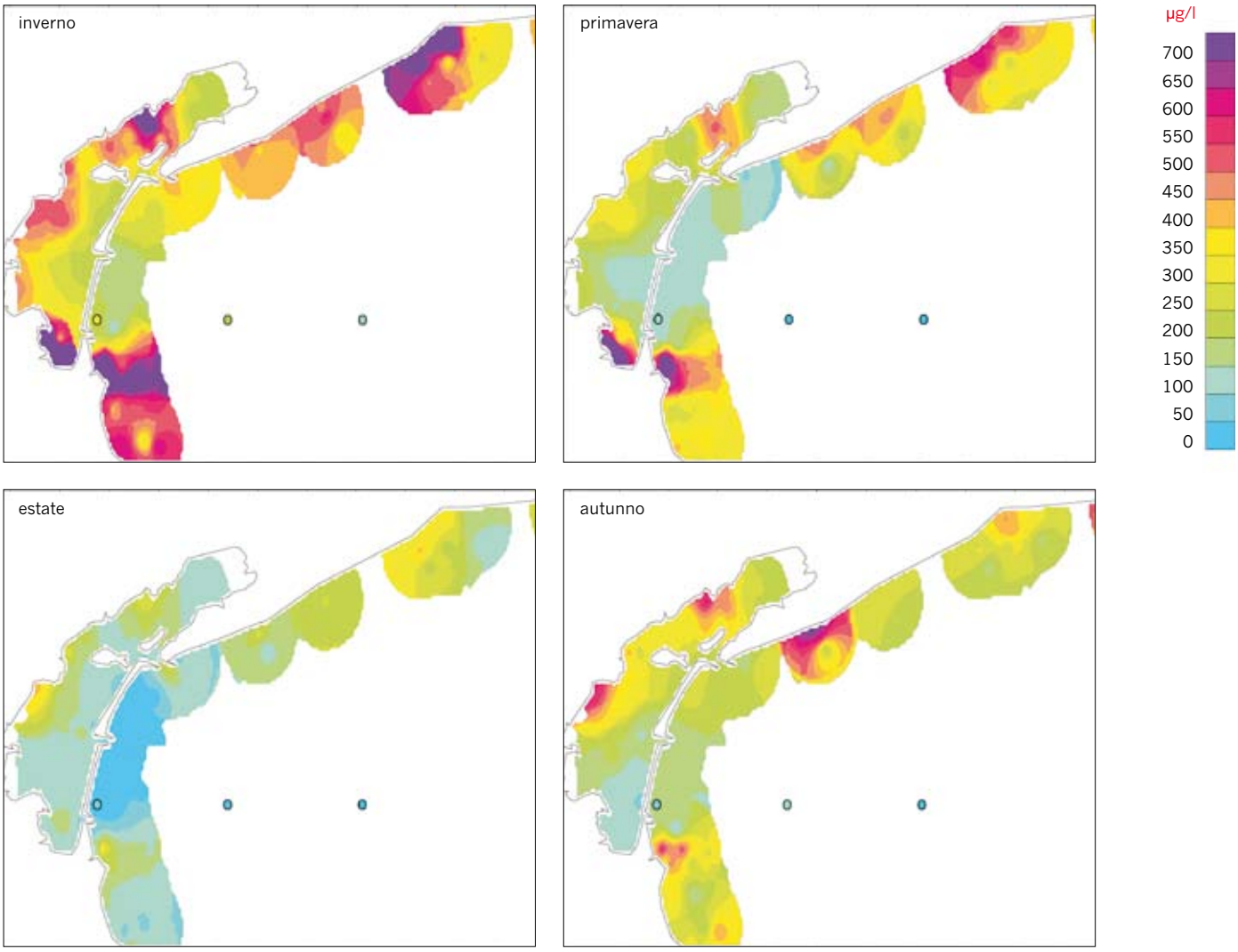


Figura 2
Concentrazioni medie stagionali di nitrato.
La distribuzione spaziale dei nitrati, riconducibili agli apporti fluviali, sono di entità paragonabile dentro e fuori la laguna

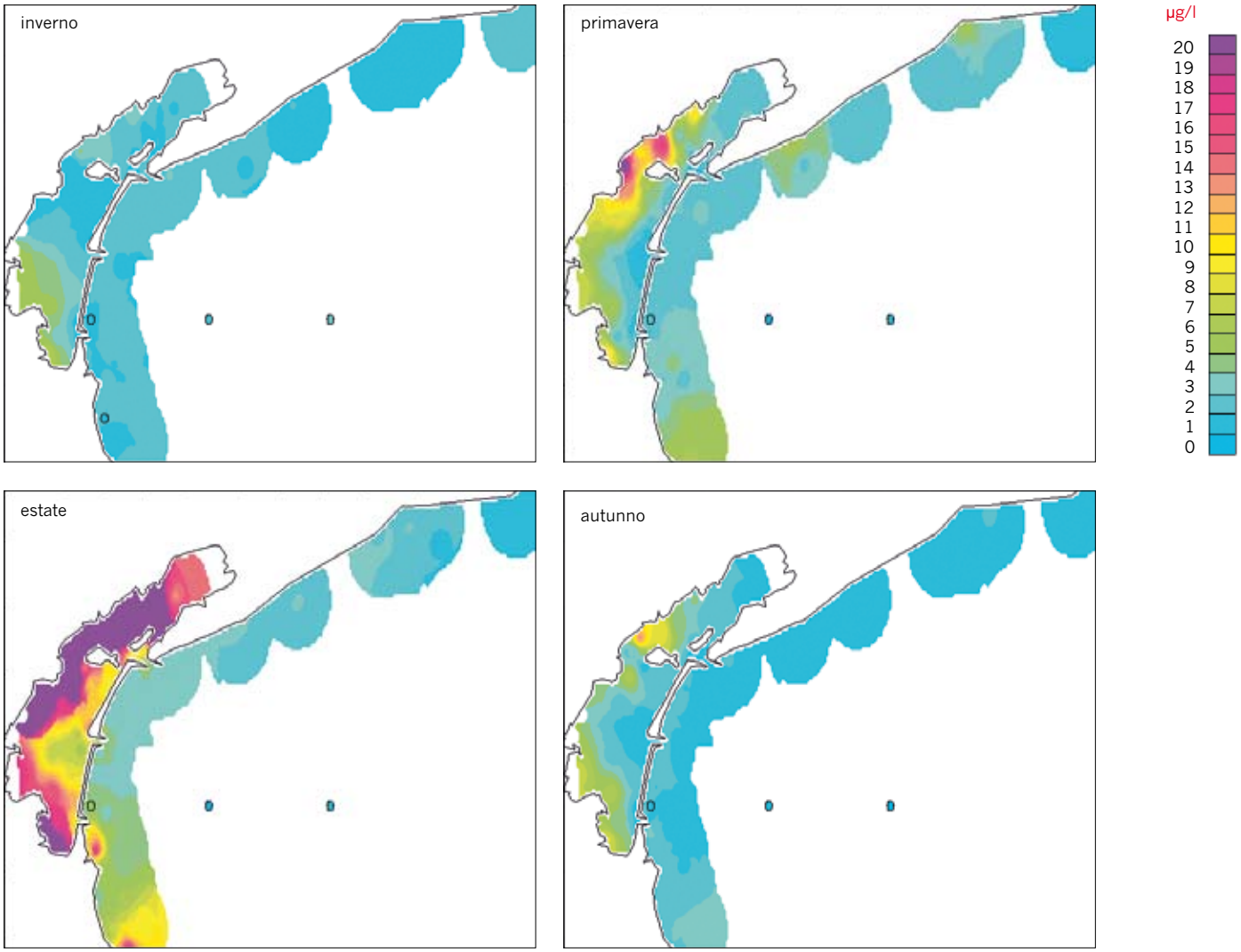


Figura 3
Concentrazioni medie stagionali di clorofilla. La clorofilla è un descrittore strettamente correlato al fitoplancton e indica il livello di produzione primaria dell'ambiente idrico. Magrado il livello paragonabile di nutrienti (varie forme di azoto e fosforo) è evidente dalle figure come la laguna evidenzi, in tutte le stagioni, un carattere più eutrofico della fascia costiera. Ciò a causa dei diversi tempi di residenza delle acque, della temperatura e dell'irraggiamento solare

di anossia dei sedimenti (scarsità o mancanza di ossigeno) è una caratteristica naturale della laguna (figura 4) fin da quando essa si è formata e le sue acque sono state confinate entro un'area con regimi di scambio con il mare molto variabili.
Come si vedrà meglio in seguito, proprio questo stato cronico di anossia dei sedimenti della laguna interna (che diventa un fattore negativo solo se si propaga anche alle acque lagunari) ha paradossalmente giovato a preservare, almeno in parte, la laguna dalla tossicità dei contaminanti immessi dalle industrie chimiche di Porto Marghera e dagli apporti del bacino scolante.
Le conoscenze sulle caratteristiche generali dei sedimenti lagunari (fisiche, mineralogiche, chimiche) sono state acquisite sia attraverso specifiche campagne di studio e monitoraggio direttamente promosse dal Magistrato alle Acque (comprese le indagini sulle caratteristiche dei sedimenti da dragare), sia raccogliendo i risultati degli studi condotti dalla comunità scientifica o da altri enti e amministrazioni.
Le informazioni, inoltre, vengono via via aggiornate per consentire di registrare le principali evoluzioni del sistema.
Il paesaggio offerto dai sedimenti è molto articolato, ricco di importanti sfumature.
Sulla base delle informazioni disponibili si posso definire a grande scala:

- due campi di studio: i sedimenti stabili, che hanno un ridotto scambio con la colonna d'acqua, e i sedimenti che interagiscono significativamente con la colonna d'acqua, anche solo in caso di eventi meteomarini eccezionali;
- due ambiti morfologici, da considerare diversamente: da un lato i bassifondali e, dall'altro lato, i canali, i cui sedimenti superficiali sono costituiti anche dai materiali erosi dai bassifondali circostanti;
- due grandi regioni sedimentarie: la laguna nord con sedimenti carbonatici e la laguna sud con sedimenti silicei (a seconda che i sedimenti presenti siano stati trasportati in laguna da corsi d'acqua che hanno eroso, rispettivamente, rocce carbonatiche o silicee);
- ulteriori macro-zonizzazioni con aree in cui i processi di sedimentazione di materiale risospeso sono ancora prevalenti[4] e aree dove i sedimenti contaminati dai processi antropici del XX secolo sono stati erosi e si registra un equilibrio tra deposizione di sedimenti provenienti da altre aree o risospensione e migrazione dei sedimenti verso altre zone.
  Queste macro-zonizzazioni non hanno confini netti e mostrano, al loro interno, forti gradienti legati all'energia idrodinamica per cui si trovano sedimenti più grossolani vicini alle bocche, dove i tempi di residenza delle acque sono minori, e sedimenti più fini verso la gronda, dove i tempi di residenza sono maggiori (figure 5 e 6).

[4] Queste, a loro volta, sono di due tipi: zone in cui i sedimenti sono influenzati dagli apporti delle principali immissioni puntuali di inquinanti (scarichi da Porto Marghera, Venezia, Chioggia, corsi d'acqua superificali, erosioni da depositi di rifiuti, ecc.) e zone influenzate da apporti provenienti da sorgenti diffuse (deposizione atmosferica, sedimentazione di materiali sollevati dalle onde indotte dal vento o dal traffico, ecc.).

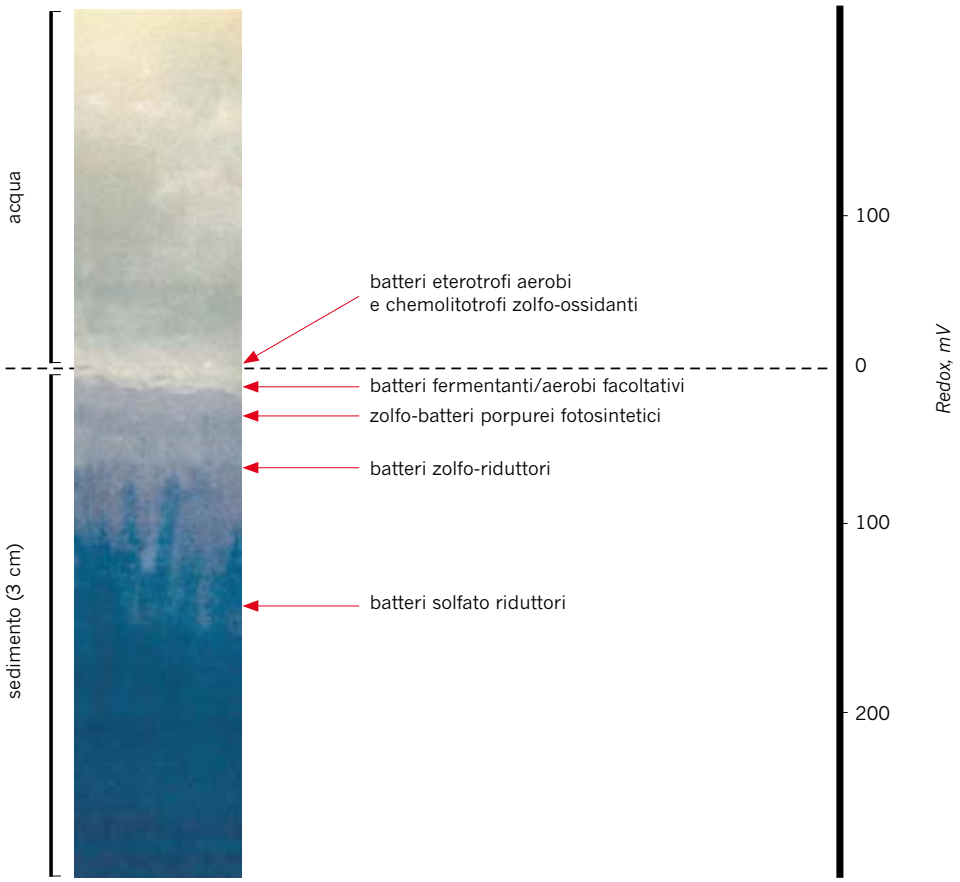


Figura 4
Possibile stratificazione e successione di batteri con metabolismo obbligato in riferimento a una sezione verticale dei primi centimetri di un sedimento lagunare.
Magistrato alle Acque di Venezia, programma MELa3 - Monitoraggio dell'Ecosistema Lagunare, III fase, Rapporto finale sulle comunità microbiche: stato dell'arte, indagini sperimentali e valutazioni sulla biodiversità, 2006 (F. Baldi - Università di Venezia)

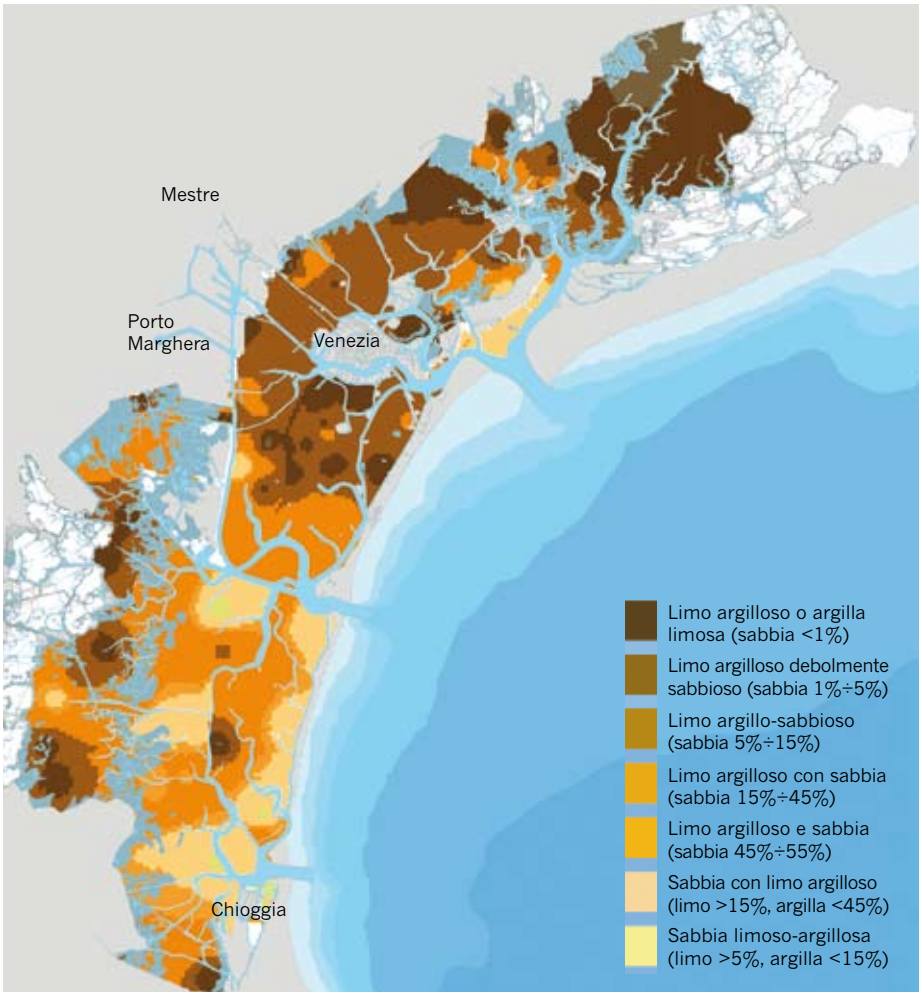


Figura 5
Distribuzione della granulometria dei sedimenti superficiali in laguna.
Magistrato alle Acque di Venezia, Studio B.12.3/III - La funzionalità dell'ambiente lagunare attraverso rilievi delle risorse alieutiche, dell'avifauna e dell'ittiofauna – Rapporto finale, 2005 (SELC)

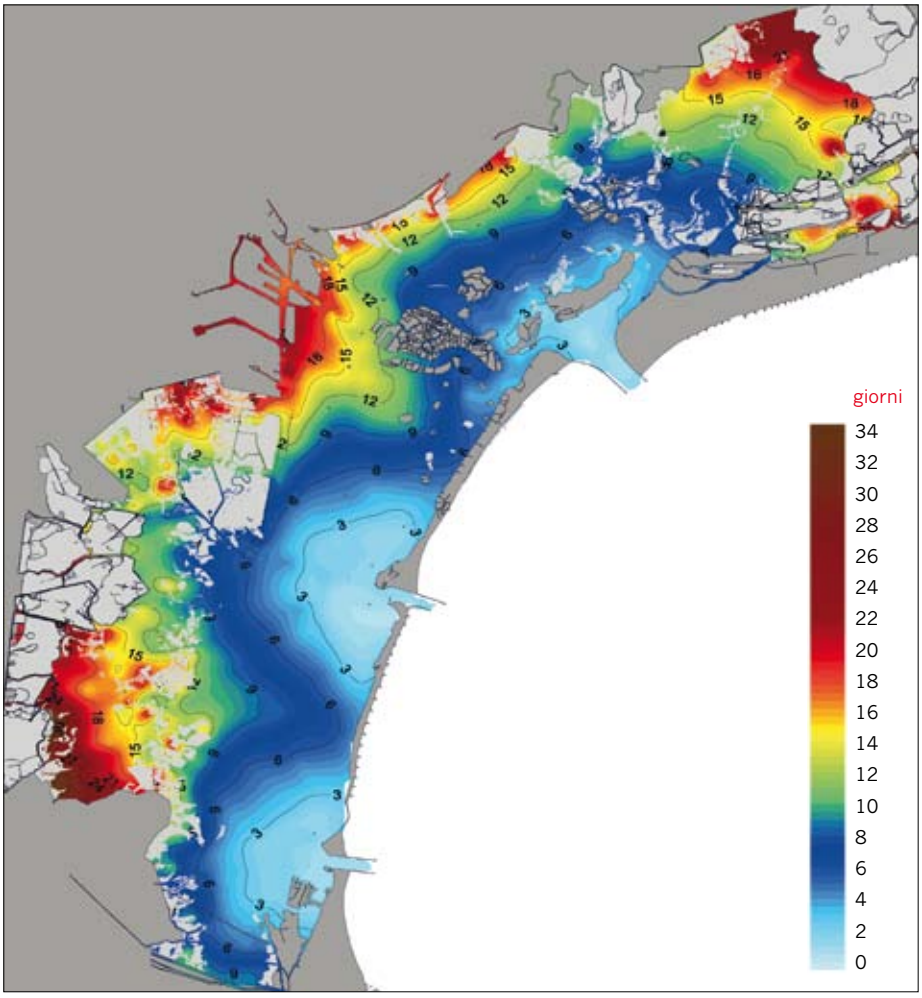
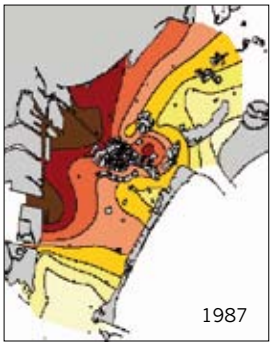
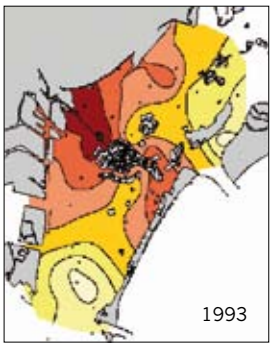
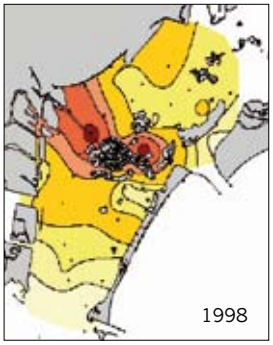


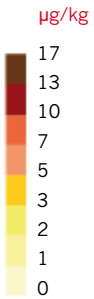
Figura 6
Tempi di residenza delle acque in laguna.
Magistrato alle Acque di Venezia - Servizio Informativo, 2009

La contaminazione dei sedimenti lagunari









Si è visto come i sedimenti di una determinata zona appaiono avere caratteristiche variabili nel tempo, in conseguenza sia dei processi di trasporto, erosione/sospensione, deposizione sia dell'attività biologica che può addensarli o gonfiarli d'acqua nonché variarne le condizioni elettrochimiche.

Anche nella valutazione della contaminazione pertanto si deve pensare ai sedimenti in modo molto diverso rispetto ai terreni e alle rocce. Non si tratta di un paesaggio stabile che possiamo rappresentare una volta per tutte con un'immagine, che potrà risultare più o meno sfuocata o più o meno illuminata, ma di un cielo continuamente in movimento e variabile. Un paesaggio, cioè, che può essere ricostruito in modo attendibile solo attraverso più immagini ripetute e opportune elaborazioni così come, per esempio, solo con immagini ripetute e correttamente interpretate potremo affermare che il cielo romano è mediamente più sereno di quello milanese, anche se in un determinato giorno a Roma piove e a Milano c'è il sole.

Nei sedimenti vanno determinati parametri diversi a seconda degli scopi dell'indagine:

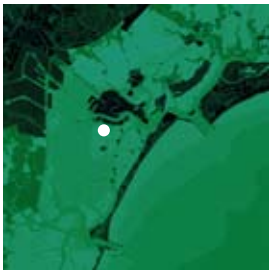
- sostanze potenzialmente pericolose per l'uomo e per l'ambiente;
- sostanze e parametri che regolano la disponibilità di tali sostanze pericolose;
- sostanze che alimentano i processi biologici;
- parametri chimici, fisici e geologici (granulometria, solfati di ferro e manganese, materia organica, ecc.) che influenzano il comportamento dei sedimenti una volta asportati, sia durante la movimentazione che nelle successive fasi di collocamento a dimora e di stabilizzazione;
- parametri necessari per valutare l'eventuale necessità di conferimento in discarica autorizzata;
- parametri necessari alla scelta e taratura dei possibili trattamenti mediante processi di stabilizzazione, inertizzazione o detossificazione.

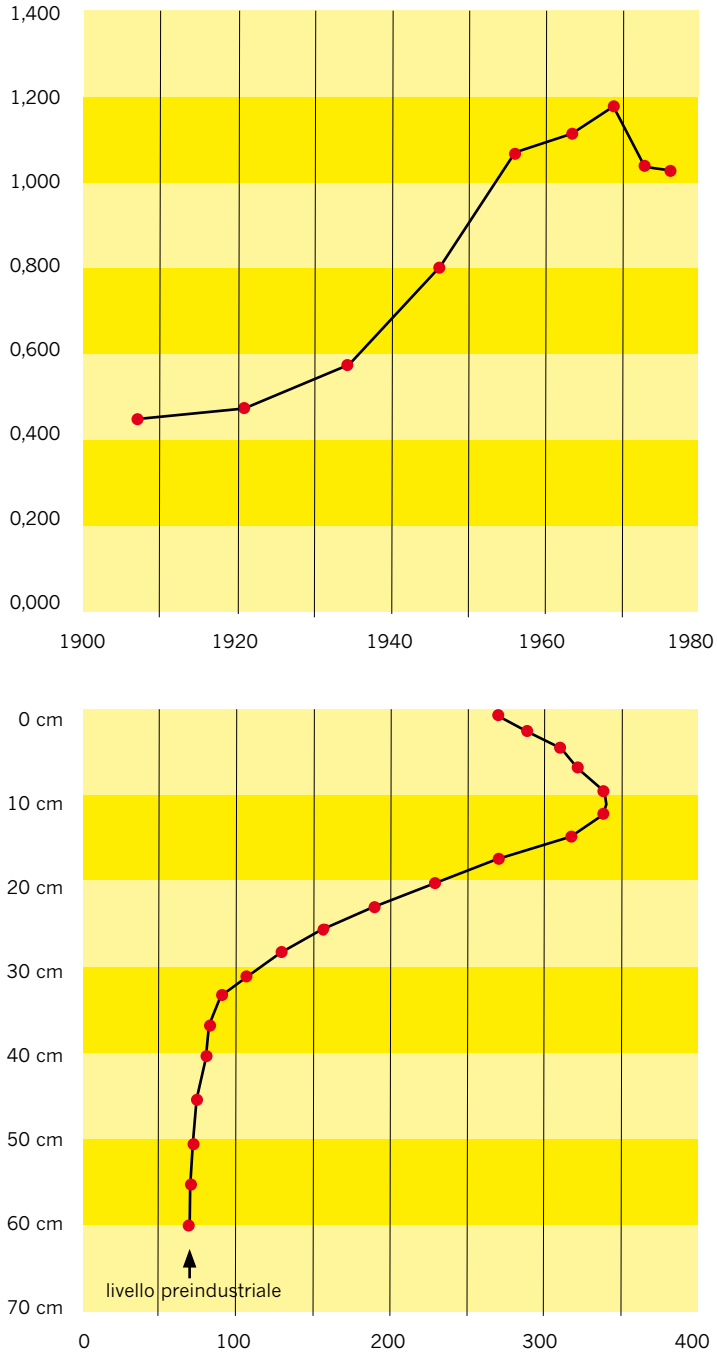
Per la valutazione dei sedimenti di un'area poco inquinata, come sono la maggior parte dei fondali lagunari, più che la conoscenza sullo stato di contaminazione in un certo momento, appaiono essere significativi i dati sull'evoluzione (o meno) della contaminazione (figure 7 e 8).

Come già detto, nel tempo i sedimenti anossici hanno immagazzinato e/o degradato gli inquinanti. Ciò ha consentito, per esempio, di attenuare notevolmente la tossicità dei metalli pesanti, poiché i metalli sono stati precipitati come solfuri. Alcuni di questi elementi (come il mercurio e l'arsenico) sono ancora oggi presenti in concentrazioni rilevanti che si manterranno tali fintanto che essi non vengano ossidati nuovamente.

Figura 7, nella pagina precedente
Evoluzione generale della concentrazione totale di policlorobifenili (PCB) nei sedimenti superficiali della laguna centrale. I dati sono espressi in µg/kg, sul secco.
Da Pavoni B. et al. - Università di Venezia, 2003

Figura 8
Evoluzione del flusso di contaminanti nei sedimenti lagunari (dati relativi allo zinco, ottenuti con analisi mediante radiodatazione di campioni prelevati nel sito, a sud di Venezia, indicato nella mappa in basso).
Il grafico in alto si riferisce al flusso di zinco accumulato nei sedimenti lagunari tra il 1900 e il 1980. I dati sono espressi in gr/(m^2 x anno).
Il grafico in basso riguarda la concentrazione totale di zinco nei sedimenti del fondo (strato 0-70 cm). I dati sono espressi in parti per milione (ppm) sul secco.
Magistrato alle Acque di Venezia, Progetto "Orizzonte 2023", Rapporto finale, 2000 (elaborazioni di S. Degetto)





Anche i composti organoclorurati sono diminuiti naturalmente, in quanto sono attivi processi microbici di degradazione soprattutto in assenza di ossigeno (anaerobiosi)[5].
Gli idrocarburi policiclici aromatici, invece, si sono accumulati nei sedimenti, poiché sono difficilmente degradabili in assenza di ossigeno. Tuttavia nemmeno questi risultano biodisponibili, in quanto sono completamente assorbiti dalle componenti dei sedimenti e, quindi, non entrano significatamente nelle catena trofica.
Oggi è difficile calcolare quali sarebbero state le conseguenze dell'inquinamento se i sedimenti fossero stati aerobi e non avessero diminuito la tossicità degli inquinanti. Questa funzione dei sedimenti è stata assunta anche per le bonifiche *in situ* che spesso prevedono l'utilizzo di bacini anossici artificiali, cosiddetti "lagunaggi", per immobilizzare e degradare i contaminanti (mantenere i sedimenti in anaerobiosi significa soprattutto non riciclare i metalli pesanti).
La distribuzione spaziale dell'inquinamento nei sedimenti superficiali è molto variabile per tipologia di contaminante e per intensità di contaminazione. In genere, l'inquinamento è maggiore in prossimità delle fonti, soprattutto laddove sono minori i processi di ricambio (advezione, diffusione ed erosione).
La distribuzione, inoltre, varia in relazione all'idrodinamica lagunare. Per esempio, le sostanze derivanti dalle produzioni di Porto Marghera (come lo zinco) e immesse in laguna prima dello scavo del canale Malamocco-Marghera[6] si sono propagate verso est, in direzione di Venezia e della bocca di porto di Lido. Invece, quelle prodotte e immesse in epoca successiva (come i policlorobifenili) si sono prevalentemente accumulate verso sud e, in particolare, tra la gronda e le Casse di Colmata.
I dati acquisiti nei numerosi studi consentono di tracciare, per moltissimi microcontaminanti, mappe di probabile distribuzione delle concentrazioni sia negli strati superficiali che in quelli più profondi.
Queste mappe di distribuzione, tuttavia, vanno considerate con molta cautela, tenendo conto di volta in volta del tipo di ipotesi e dei criteri che sono stati utilizzati per scegliere i siti di campionamento e per riferire (mediante estrapolazione) i dati rilevati puntualmente a un'area più vasta (figure 9 e 10).
Fin dall'inizio, infatti, ci si è resi conto che la concentrazione di un certo microcontaminante rilevata in un dato punto con un determinato campione è solo sommariamente estendibile alla concentrazione esistente/rilevabile nei punti circostanti, poiché esiste una forte variabilità anche tra punti situati a pochi decimetri di distanza tra loro.
Le cause di questa variabilità, quasi frattale, nella distribuzione delle concentrazioni

[5] I composti organoclorurati (come ad esempio, DDT, policlorobifenili, diossine, esaclorobenzene) sono sostanze di sintesi del carbonio con l'idrogeno e il cloro. Sono sostanze chimicamente stabili (resistono all'ossidazione chimica, all'alterazione termica e fotochimica) e resistenti alla degradazione biologica, pertanto possono persistere inalterate per lunghi periodi di tempo. La loro elevata mobilità ne facilita la dispersione dalla fonte di immissione consentendo loro di raggiungere tutti gli ecosistemi del Pianeta. Una volta entrati in contatto con gli esseri viventi possono dare luogo a effetti tossicologici rilevanti. La degradazione degli idrocarburi clorurati avviene solo in tempi molto lunghi con processi di trasformazione in molecole più semplici attraverso la declorinazione.
[6] Si tratta del cosiddetto "canale dei Petroli" che collega la bocca di porto di Malamocco con il terminal petrolifero di San Leonardo e con la zona di Porto Marghera. Il canale è stato scavato negli anni '60 del '900 per consentire il passaggio delle grandi navi per il traffico petrolifero, commerciale e industriale.

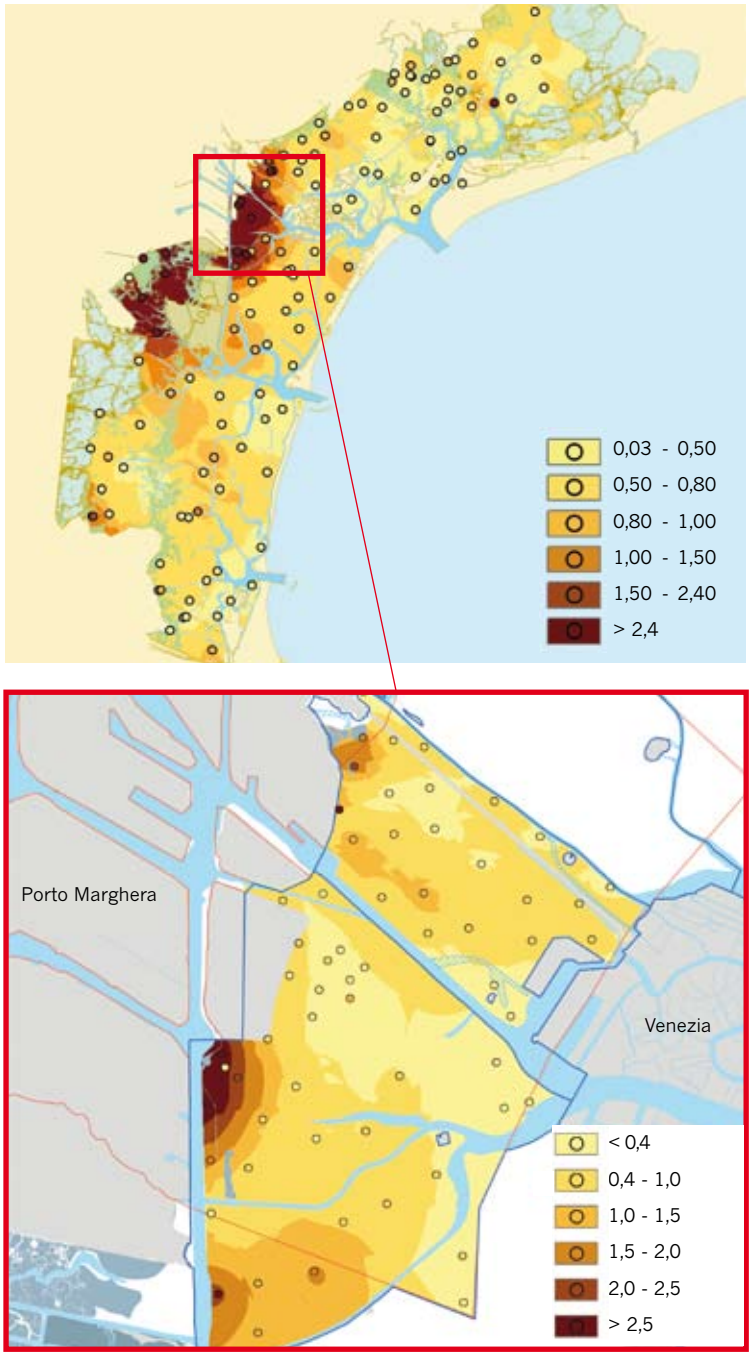


Figure 9 e 10
Distribuzione delle concentrazioni (µg/kg) di esaclorobenzene (HCB) nei sedimenti superficiali dei bassifondali della laghuna. Le due mappe si riferiscono a campioni prelevati a distanza di pochi anni, per cui nel tempo può essersi verificata una variazione delle concentrazioni dovuta a fenomeni quali diminuzione degli apporti, attenuazione naturale, erosione, ecc. Esse, tuttavia, rappresentano efficacemente la grande variabilità spaziale della contaminazione dei sedimenti, sia a scala lagunare, che a scala più locale, e suggeriscono grande cautela nell'utilizzo dei risultati delle interpolazioni spaziali. Entrambe le figure indicano sia i punti misurati (tondi) che le aree interpolate dai punti misurati (campiture)

L'immagine in alto si riferisce alle concentrazioni di HCB nei sedimenti superficiali (strato 15 – 20 cm) dell'intero bacino lagunare. I dati sono stati ottenuti dalle analisi, provenienti da vari studi e indagini, su campioni di sedimento lagunare raccolti dal 1995 al 2001.
Magistrato alle Acque di Venezia, Studio ICSEL, Attività A.1 - Valutazione integrata dello stato qualitativo attuale dei sedimenti lagunari, Rapporto finale, 2004 (Thetis)

L'immagine in basso si riferisce alle concentrazioni di HCB nei sedimenti superficiali (strato 0 – 25 cm) tra Porto Marghera e Venezia. I dati sono stati ottenuti sulla base di campionamenti effettuati nel 2006 nell'area a sud del Ponte della Libertà (area MAPVE.1), e nel 2008 nell'area a nord del ponte (area MAPVE.2).
Magistrato alle Acque di Venezia, Studio MAPVE.2 - "Determinazione delle caratteristiche delle matrici lagunari nell'area MAPVE.2 e ulteriori approfondimenti nell'area MAPVE.1", Rapporto finale dei risultati della caratterizzazione dei sedimenti, 2010 (Thetis)

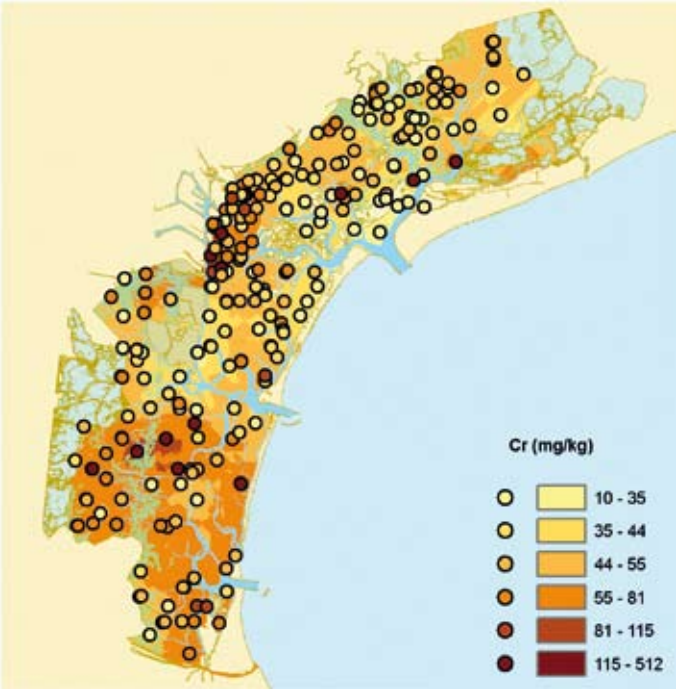
Figure 11-14, nella pagina seguente
Microinquinanti inorganici (metalli). Dall'alto al basso, da sinista a destra: distribuzione di cromo (Cr), mercurio (Hg) zinco (Zn) e piombo (Pb), nei sedimenti superficiali.
In generale, sia per i microinquinanti inorganici che per quelli organici, negli ambiti a più intensa sedimentazione (canali di Porto Marghera) le concentrazioni maggiori si trovano negli strati più profondi, risalenti agli anni di più intensa attività industriale.
Magistrato alle Acque di Venezia, Studio "ICSEL", Rapporto finale, 2004 (Thetis)

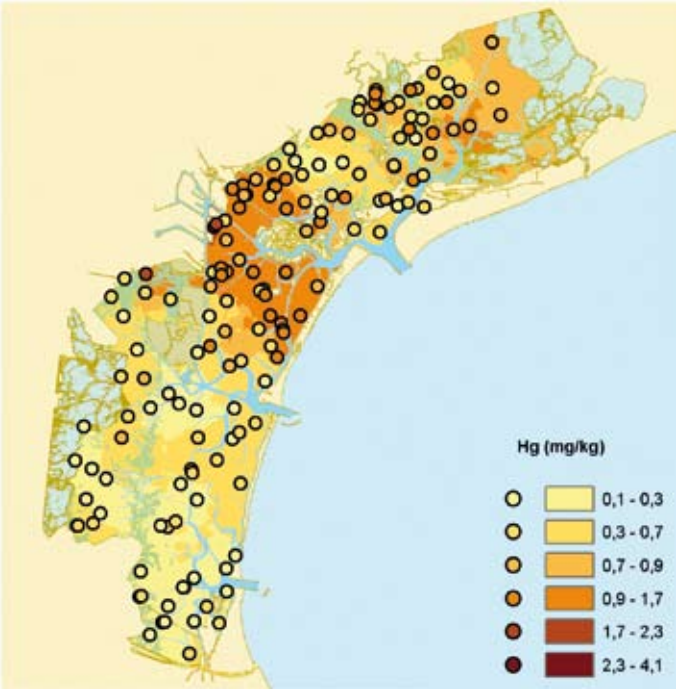
sono molteplici e in buona parte legate ai processi in cui i sedimenti sono coinvolti. In alcuni casi, peraltro, le attività antropiche (come la raccolta di molluschi bentonici) possono invece localmente "omogeneizzare" il sedimento.
Ovviamente, le concentrazioni di contaminanti nei sedimenti risentono in modo significativo dei carichi di inquinanti in ingresso in laguna.
Rispetto ai microinquinanti inorganici (figure 11-14) è particolarmente evidente l'influenza delle sorgenti industriali (in particolare la zona di Porto Marghera) per quanto riguarda cadmio, mercurio, piombo, rame e zinco.
Per nichel e cromo, invece, se i carichi indicano una maggior presenza ancora nell'area del bacino centro settentrionale, non si ritrova la stessa distribuzione di contaminazione né nel sedimento, né nelle acque, né negli organismi, a indicare che l'andamento di questi due elementi nelle matrici ambientali è riferibile solo limitatamente alle pressioni antropiche. La differenza dei contenuti in cromo e nichel tra la laguna sud e quella nord è per gran parte spiegata, infatti, dalla diversa composizione mineralogica del sedimento. In generale, la diffusa presenza di cromo è imputabile non tanto all'inquinamento industriale di Porto Marghera, quanto piuttosto alle caratteristiche geochimiche degli antichi apporti fluviali del Bacchiglione-Brenta, che nei secoli scorsi sono stati poi portati a sfociare fuori dalla laguna.
Per quanto riguarda i microinquinanti organici (figure 15-18) come diossine, furani, esaclorobenzene, idrocarburi policiclici aromatici, ecc., il contributo delle immissioni nel bacino centro nord è invece particolarmente evidente e coerente con la distribuzione della contaminazione dei sedimenti e delle acque. I diversi congeneri di diossine e furani, così come gli isomeri di idrocarburi policiclici aromatici presenti nei sedimenti e nelle acque, riflettono la presenza di specifiche fonti di contaminazione, come le produzioni industriali o i processi di combustione, evidenziando quindi il diverso ruolo di differenti tipologie di pressione.
In molti casi, negli ambiti a più intensa sedimentazione (canali di Porto Marghera) si trovano concentrazioni maggiori negli strati più profondi, riferibili a epoche di maggiore attività industriale e di minore attenzione ambientale (figura 19).

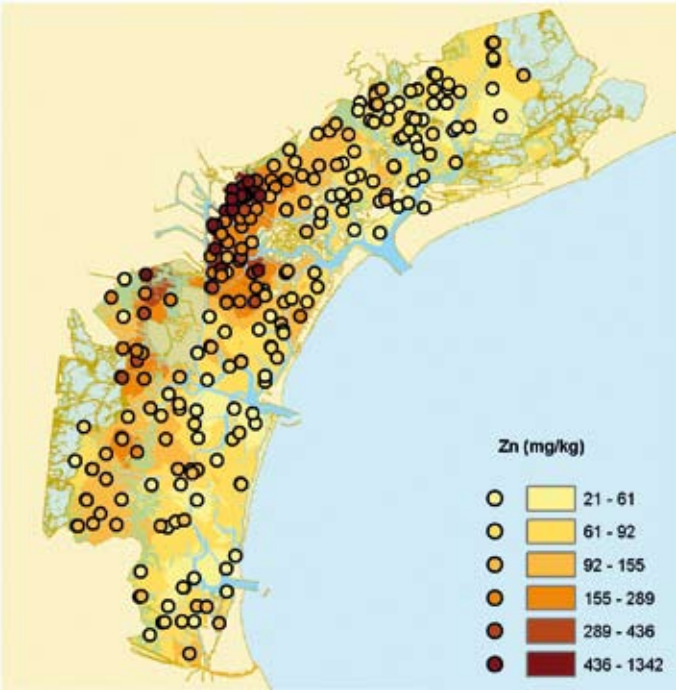
Le dinamiche dei sedimenti nella laguna e il loro impatto sulla morfologia

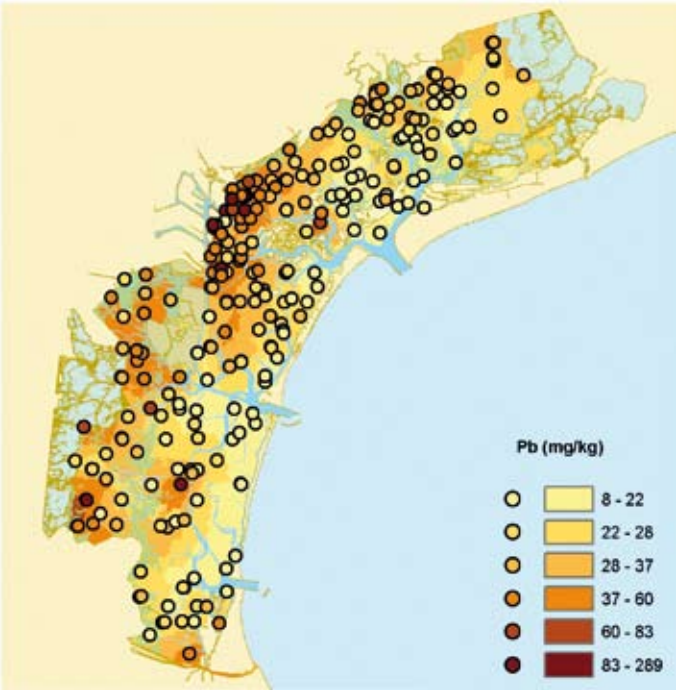
La morfologia dei fondali lagunari, dei canali e dei bassifondali è cambiata moltissimo nel corso dei secoli, e in particolare nel corso del '900, soprattutto a causa di attività dell'uomo:

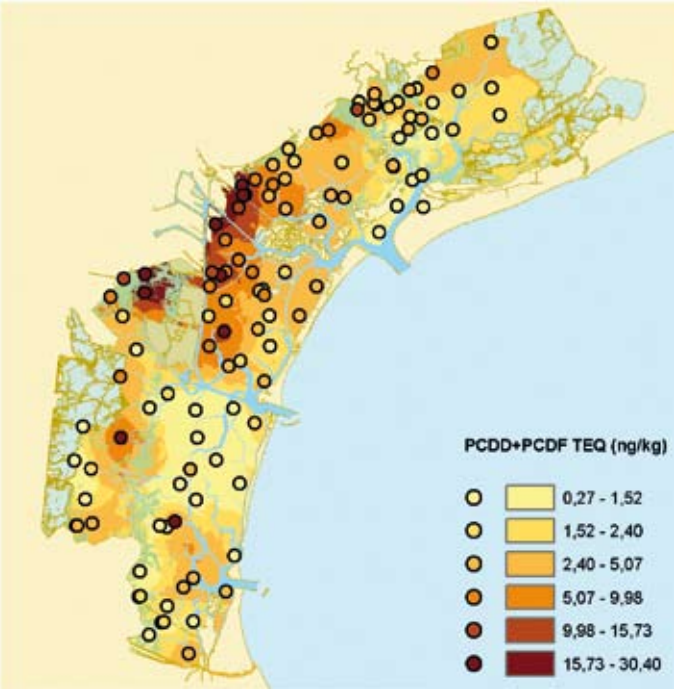
- la diversione delle principali foci fluviali dalla laguna operata tra il XIV e il XIX secolo;

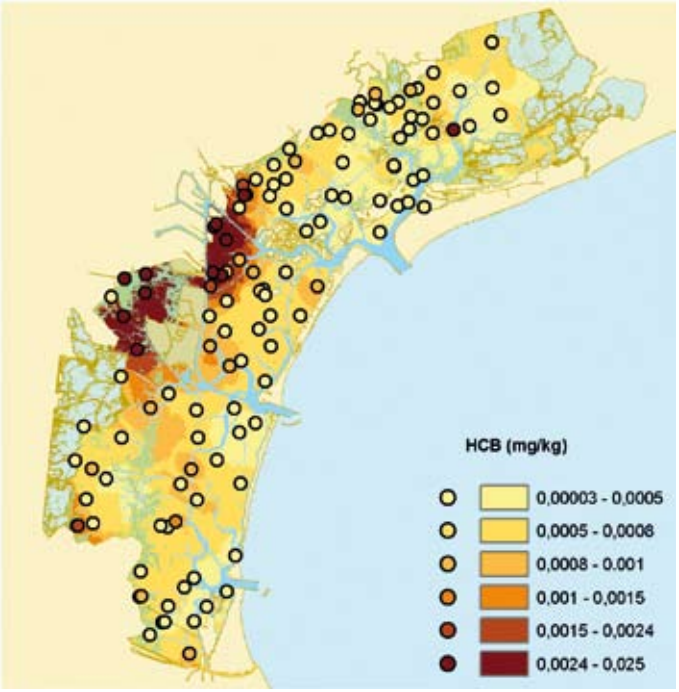

Cr (mg/kg)
10 - 35
35 - 44
44 - 55
55 - 81
81 - 115
115 - 512

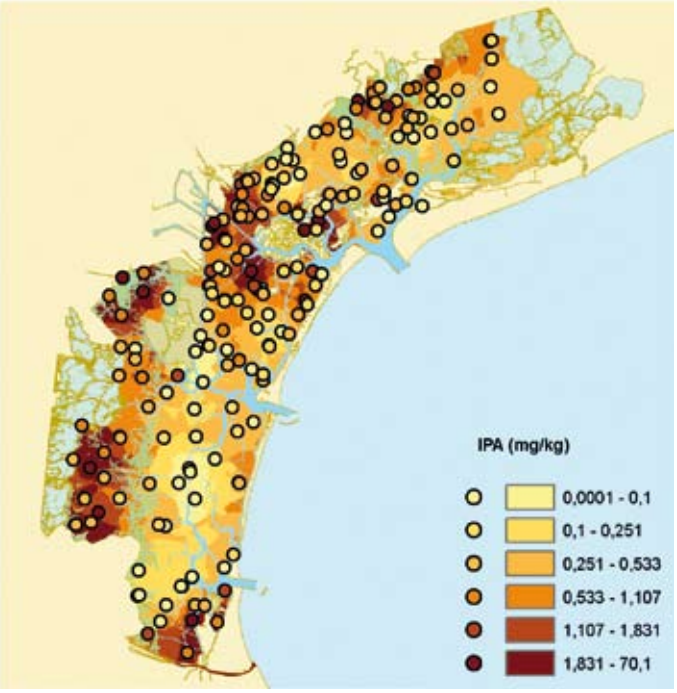

Hg (mg/kg)
0,1 - 0,3
0,3 - 0,7
0,7 - 0,9
0,9 - 1,7
1,7 - 2,3
2,3 - 4,1


Zn (mg/kg)
21 - 61
61 - 92
92 - 155
155 - 289
289 - 436
436 - 1342


Pb (mg/kg)
8 - 22
22 - 28
28 - 37
37 - 60
60 - 83
83 - 289


PCDD+PCDF TEQ (ng/kg)
0,27 - 1,52
1,52 - 2,40
2,40 - 5,07
5,07 - 9,98
9,98 - 15,73
15,73 - 30,40


HCB (mg/kg)
0,00003 - 0,0005
0,0005 - 0,0008
0,0008 - 0,001
0,001 - 0,0015
0,0015 - 0,0024
0,0024 - 0,025


IPA (mg/kg)
0,0001 - 0,1
0,1 - 0,251
0,251 - 0,533
0,533 - 1,107
1,107 - 1,831
1,831 - 70,1

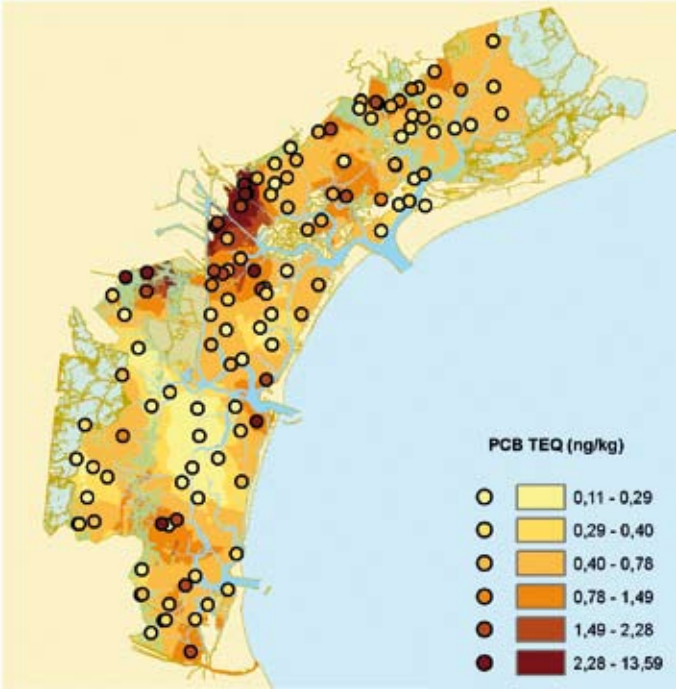
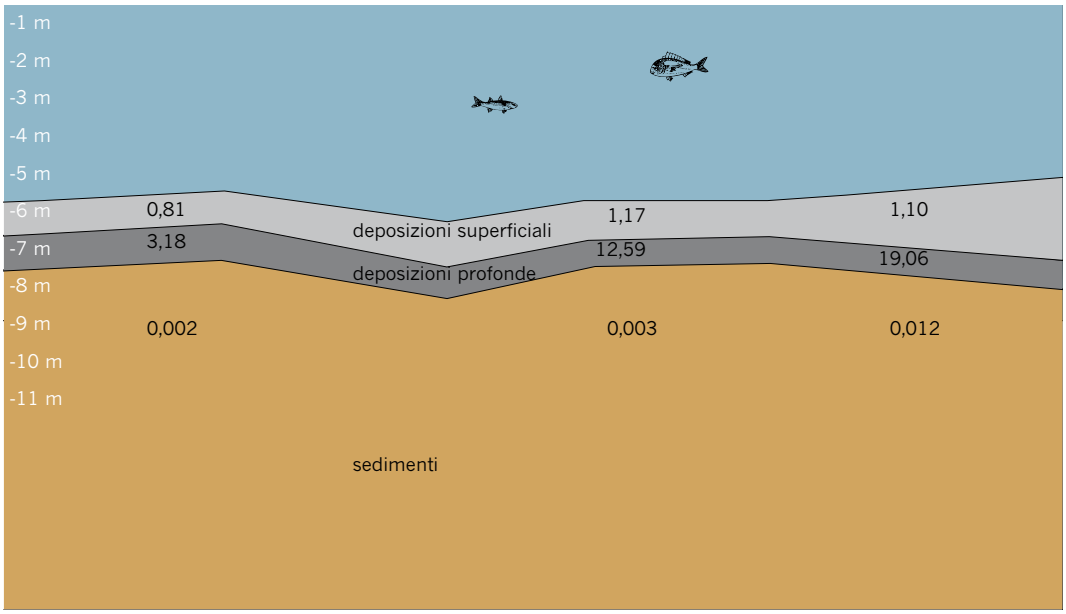

PCB TEQ (ng/kg)
0,11 - 0,29
0,29 - 0,40
0,40 - 0,78
0,78 - 1,49
1,49 - 2,28
2,28 - 13,59

Figure 15-18, a sinistra
Microinquinanti organici. Dall'alto al basso, da sinista a destra: distribuzione di diossine e furani (PCDD e PCDF - teq*), esaclorobenzene (HCB), idrorcarburi policiclici aromatici (IPA), policlorobifenili (PCB - teq) nei sedimenti superficiali. *Magistrato alle Acque di Venezia, Studio "ICSEL", Rapporto finale, 2004 (Thetis)*

**tossicità equivalente*

Figura 19, a destra
Concentrazione di diossine e furani (PCDD e PCDF - teq) nei sedimenti del canale Brentella di Porto Marghera, misurata nel 1999 (µg/kg). La concentrazione è compresa tra 0,81 e 1,17 nello strato superficiale più recente (con spessore tra 1 e 2 metri), aumenta variando tra 3,18 e 19,06 nello strato sottostante (spesso circa 1 m) e crolla negli stati più profondi, variando tra 0,002 e 0,012



- la realizzazione dei moli foranei alle bocche di porto tra la metà dell'800 e i primi decenni del '900;
- l'escavo dei grandi canali di navigazione a servizio del moderno traffico portuale (canale Vittorio Emanuele III e "canale dei Petroli");
- le bonifiche di specchi acquei lagunari a fini agricoli, industriali o infrastrutturali (zona di Porto Marghera, aeroporto di Tessera, ecc.);
- i prelievi di acqua dalle falde artesiane profonde (avvenuti soprattutto intorno alla metà del '900 nell'area industriale) che hanno aggravato i processi naturali di subsidenza del bacino lagunare.

Tutto ciò ha modificato in maniera sostanziale l'idrodinamica della laguna e con essa la risposta del sistema morfologico alle forzanti naturali, causando una progressiva "marinizzazione" del bacino lagunare, con approfondimento dei fondali e tendenza alla perdita della naturale variabilità altimetrica (figura 20).

Il processo di erosione dei fondali lagunari appare inarrestabile e si manifesta come un circolo vizioso per cui più un fondale si erode, per effetto della turbolenza delle onde indotte dal vento, più aumenta la sua profondità che, a sua volt,a induce una maggiore turbolenza e quindi una sempre maggiore erosione.

Questo processo, tuttavia, può essere contrastato efficacemente attraverso programmi di manutenzione e ricostruzione morfologica miranti più al ripristino delle funzioni lagunari e alla complessità degli habitat che al ritorno a un determinato assetto preindustriale.

Le misure e gli studi effettuati (campagne di misure in continuo alle foci dei fiumi e alle bocche di porto, rilievi batimetrici in laguna, misure di costipazione degli strati, studi dell'idrodinamica lagunare con modelli numerici, ecc.) consentono di comporre un macro bilancio della dinamica dei sedimenti lagunari.

Il bilancio di massa dei sedimenti comprende i carichi in entrata e in uscita dalla laguna (sedimenti in ingresso dalla terraferma con gli apporti dai fiumi; sedimenti in entrata dal mare e in uscita verso il mare attraverso le bocche di porto) e gli scambi interni alla laguna stessa (materiali erosi dalle barene che migrano verso i bassifondali, materiali erosi dai bassifondali che migrano nei canali, ecc.).

Specifici modelli permettono di valutare gli spostamenti di sedimenti da una parte all'altra mentre altri modelli consentono di valutare la stabilità dell'assetto batimetrico di un fondale: questo, infatti, può essere soggetto a interrimento o erosione fino a raggiungere un equilibrio tra i due processi.

Il bilancio dei volumi di sedimenti che si muovono in laguna, relativo al periodo tra il 1970 e il 1990 ed eseguito sulla base di rilievi batimetrici e modelli, forniva una stima di circa 30.000 m^3/anno di sedimenti in ingresso dal bacino scolante e di circa 1.100.000 m^3/anno di sedimenti in uscita in mare (di cui 400.000 m^3 sversati in mare come materiali di risulta dai dragaggi dei canali lagunari e 700.000 m^3 persi attraverso le bocche di porto per dinamiche naturali).
Il volume di sedimenti che traslocavano mediamente in un anno all'interno della laguna (erosi dalle barene verso i bassifondali, erosi dai bassifondali verso i canali, ecc.) era stimato in poco più di 2.000.000 di m^3. Ciò costituiva il segnale della netta tendenza verso l'appiattimento dei fondali con la conseguente perdita della caratteristica variabilità altimetrica della laguna che tra il 1970 e il 1990 ha riguardato oltre il 50% della sua superficie.
Attualmente, le analisi dei trend dei fenomeni erosivi sembrano indicare che questo processo sia entrato in una fase di rallentamento, rispetto alla fine degli anni '90.
Dalle stime effettuate per il 2005 si può calcolare un invariato apporto di sedimenti in ingresso dal bacino scolante (30.000 m^3/anno), una diminuita perdita naturale di sedimenti attraverso le bocche di porto (580.000 m^3/anno) e un pressoché invariato volume di sedimenti che traslocano all'interno della laguna (2.200.000 m^3/anno), mentre praticamente tutti i sedimenti di risulta dai dragaggi lagunari vengono oggi mantenuti in laguna e sono impiegati nella ricostruzione di strutture morfologiche (barene e velme artificiali).
I diversi sottobacini lagunari (figura 21) risultano peraltro caratterizzati da comportamenti diversi. Per il bacino centrale (Malamocco) e per il bacino sud (Chioggia) si è registrato un sensibile aumento delle aree "piatte" per il periodo 1970-1990 e una sostanziale stasi per il decennio 1990-2000.
Per il bacino centro-nord (Lido) si è osservata una stasi tra 1970 e 1990 e un aumento dei fenomeni erosivi tra il 1990 e il 2000.
Per quanto riguarda, invece, il bacino nord (Treporti), esso si conferma ancor oggi sostanzialmente in grado di conservare, se non di incrementare, la propria variabilità altimetrica.
I processi di sedimentazione ed erosione causati dalle forzanti naturali prevalgono a grande scala mentre quelli innescati dalle pressioni antropiche, quali navigazione e pesca di bivalvi bentonici, hanno un impatto meno rilevante ma che può essere prevalente a scala locale.

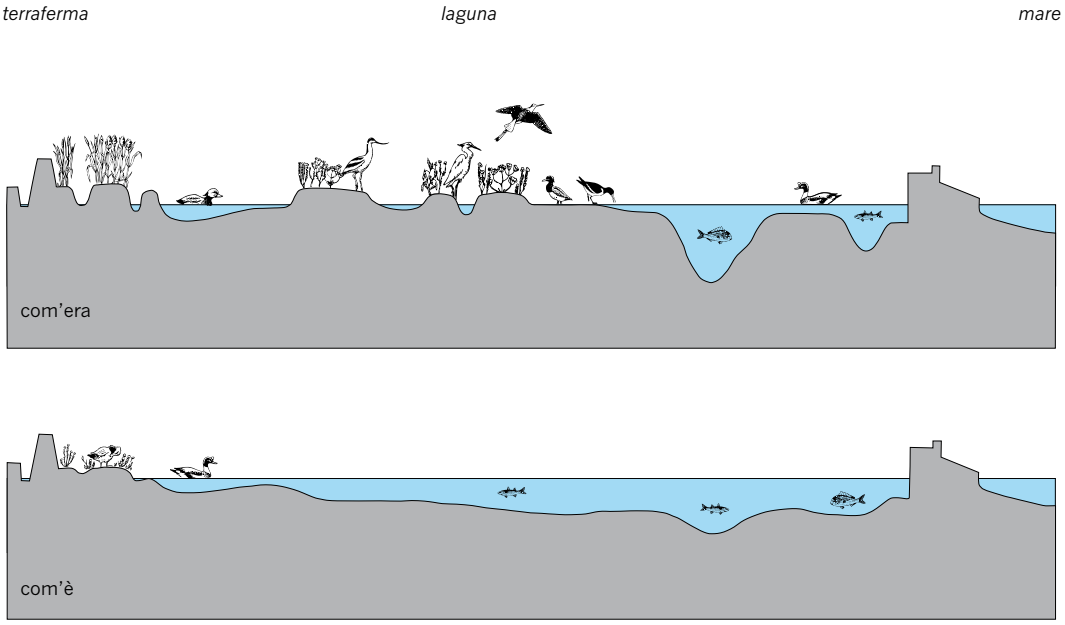


Figura 20
Dinamica evolutiva della laguna negli ultimi secoli.
Il bacino lagunare, oggi, ha una superficie "bagnata" di circa 45.000 ettari di cui 36.600 aperti alle maree, con un volume di soli 550 milioni di m^3 di acque e quindi una profondità media di poco più di 1,5 m. L'alternarsi delle maree rappresenta la principale forzante dell'ecosistema. Il volume d'acqua scambiato dalla laguna con l'Adriatico, attraverso le tre bocche di porto di Lido, Malamocco e Chioggia, è mediamente di circa 400 milioni di m^3 al giorno; mentre gli apporti di acque dolci e dal sottosuolo sono, in media, di 3,7 milioni di m^3 al giorno. La circolazione idraulica in laguna è legata strettamente alla rete dei canali (il 12% della sua superficie e quasi il 50% del suo volume), alla morfologia dei fondali, alle strutture lievemente emerse delle "barene" (che vengono generalmente coperte dall'acqua durante le alte maree) e a quelle di poco sommerse delle "velme" (che emergono con le basse maree). I tempi di residenza dell'acqua in laguna variano molto: da meno di un giorno a oltre un mese

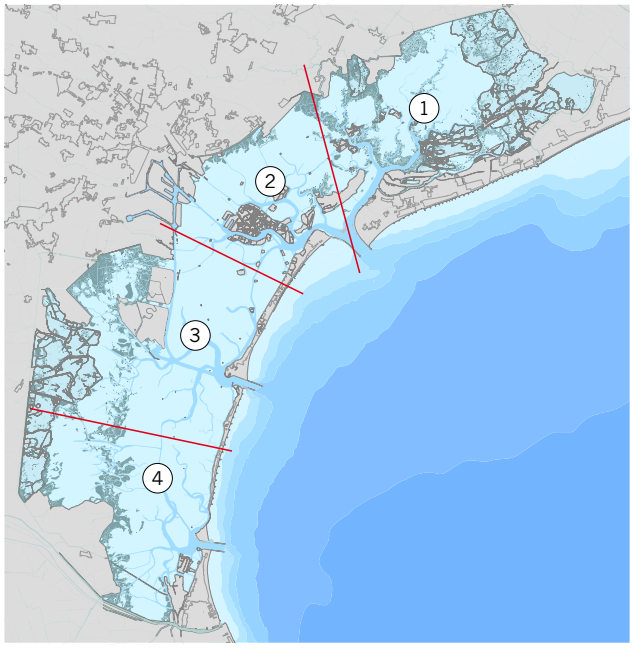


Figura 21
Sottobacini della laguna di Venezia. 1. Nord (Treporti); 2. Centro-nord (Lido); 3. Centrale (Malamocco); 4. Sud (Chioggia)

Indagini specifiche e l'impiego di tecniche di radiodatazione hanno portato a ricostruire con una buona precisione le dinamiche sedimentarie/erosive in alcuni punti dei bassifondali selezionati come indisturbati e nei canali di Porto Marghera (figura 8).
Anche la torbidità in laguna (figure 22-23) dipende da una serie di fattori naturali e antropici che, talvolta in modo concomitante, influiscono in diversa maniera sulla presenza di sedimenti sospesi.
Per esempio, i corsi d'acqua provenienti dal bacino scolante determinano, prevalentemente, la torbidità nelle zone di gronda prossime ai punti di immissione, mentre l'aumento della salinità con l'allontanarsi delle foci porta poi alla precipitazione della sostanza organica veicolata.
In generale, rispetto alla torbidità, le pressioni naturali sono:

- il vento e il conseguente moto ondoso;
- le immissioni dei vari corsi d'acqua che sfociano in laguna;
- le correnti di marea;

Le pressioni antropiche sono invece:

- scarichi industriali e urbani;
- moto ondoso causato dal transito delle navi e dei natanti;
- sistemi di pesca dei molluschi per lo più abusiva, praticata nei bassifondali con sistemi meccanici.

Processi di scambio tra sedimenti, colonna d'acqua e biota

Lo scambio di materia tra fondali, acque e organismi avviene di continuo nei due sensi. Il particellato sospeso aggrega e cattura sostanze inquinanti presenti nelle acque e le trasferisce al fondale quando si sedimenta, attraverso complessi processi ed equilibri che vedono come protagonista l'attività microbica.
I processi biologici e chimico fisici si susseguono partendo da un input di nutrienti che innesca la crescita primaria di alghe e macrofite marine le quali abbattono in un primo momento le sostanze nutritive.
Il ciclo vitale di piante e alghe porta a rilasciare le parti morte dei tessuti, ricchi di sostanze nutrienti, sulla superficie del sedimento. Qui la flora batterica, consumando in breve tempo tutto l'ossigeno disponibile per la degradazione, provoca velocemente uno spostamento della nicchia ecologica dai batteri aerobi obbligati a quelli aerobi facoltativi e fermentanti[7]. I polisaccaridi delle pareti dei vegetali sono ben idrolizzati anche in assenza di ossigeno e quindi il processo degradativo prosegue anche senza di esso.
Un buon equilibrio ecologico si mantiene finché l'ambiente è nettamente segregato in

[7] I batteri aerobi obbligati sono quelli il cui metabolismo richiede necessariamente la presenza di ossigeno; i batteri aerobi facoltativi, invece, sono quelli che possono sopravvivere anche in assenza di ossigeno in quanto per il loro metabolismo possono usare sia ossigeno sia altre molecole in stato ossidato.

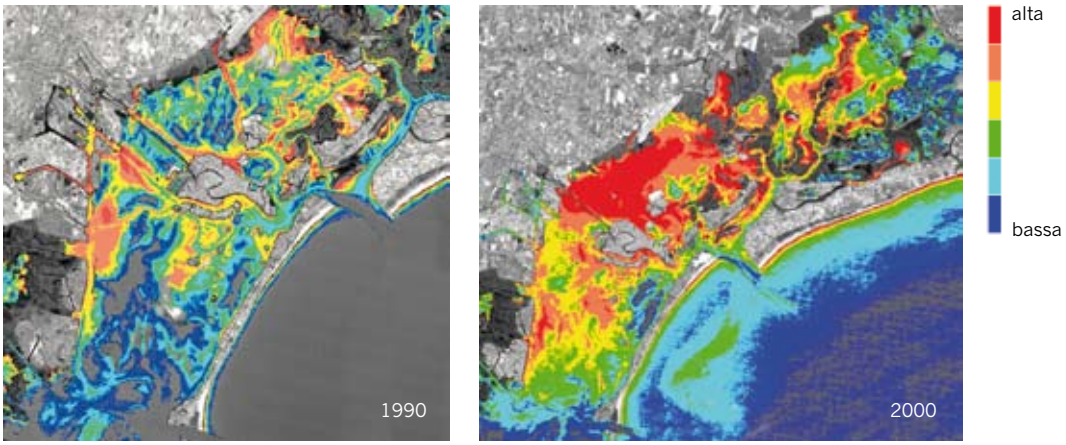


Figure 22-23
Mappe della torbidità.
A sinistra, i sedimenti in sospensione lungo i canali rilevati dall'immagine sono dovuti al traffico acqueo.
A destra, l'ampia area a elevata torbidità a nord di Venezia è dovuta al vento da ESE di 8 nodi. Nel Bacino centrale la torbidità è dovuta al traffico di navi nel canale dei Petroli e alla raccolta delle vongole.
Magistrato alle Acque di Venezia, Studio "Stato dell'ecosistema lagunare veneziano – DPSIR", Rapporto finale sull'Evoluzione morfologica, 2006 (analisi multitemporale della torbidità in laguna ottenuta mediante elaborazioni di immagine da satellite a cura di L. Alberotanza – CNR e A. Zandonella)

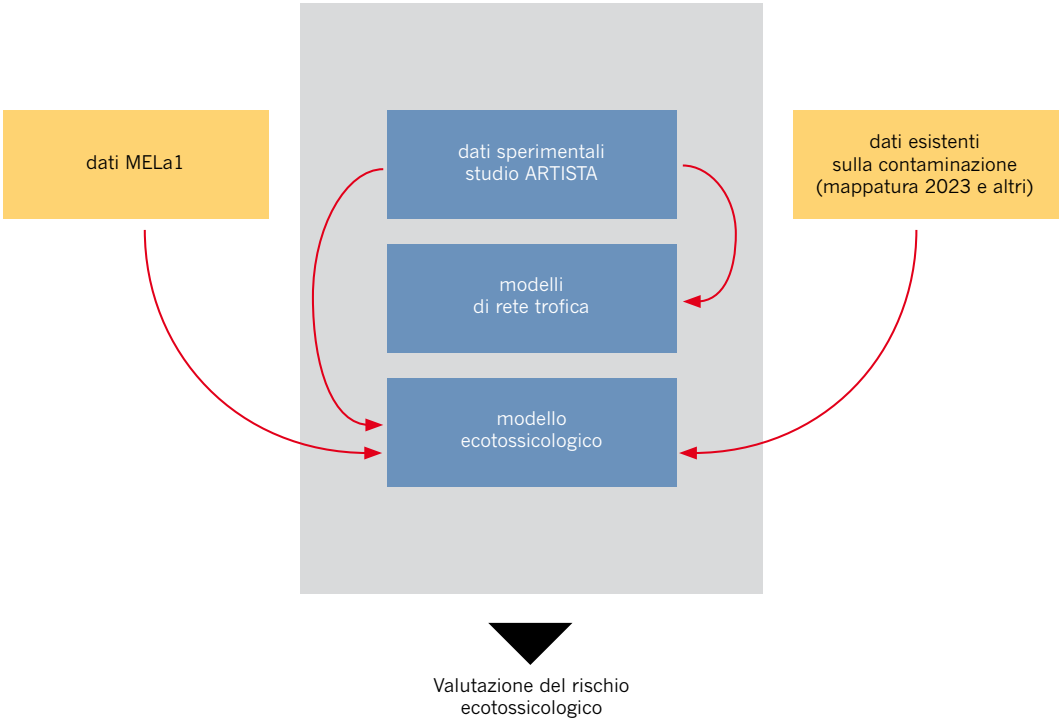


Figura 24
Schema del progetto "ARTISTA". Questo progetto, eseguito nell'ambito del programma MELa1 del Magistrato alle Acque di Venezia (rapporto finale 2003), ha modellato la mobilità e la partizione dei contaminanti organici e inorganici presenti nel sedimento e valutato il loro trasferimento agli organismi lungo la rete trofica

due stati distinti con sedimenti anossici e acque ben ossigenate (è la situazione della laguna in questi anni).
Quando, invece, anche le acque diventano anossiche si possono verificare serie conseguenze per l'ecosistema. Se, infatti, il carico organico sul sedimento supera la soglia di guardia e l'ossigeno disciolto nell'acqua non blocca i processi anaerobici all'interfaccia acqua/sedimento, può succedere che i gas sprigionati dal sedimento come "una grande bolla" di acido solfidrico, anidride carbonica, ammoniaca e metano invadano gradualmente il corpo idrico.
Ciò determina un grave disturbo per l'equilibrio della flora e della fauna che può provocare la moria delle specie tipiche, con rilevanti danni per l'ambiente e per l'economia (è la situazione della laguna tra gli anni '80 e '90).
I fenomeni di anossia, che possono coinvolgere in tempi rapidi le acque dell'intera laguna, si producono soprattutto a partire dalle aree a bassa energia, dove la sedimentazione è più veloce e gli scambi con l'acqua aerobica sono più lenti.
Lo scambio tra sedimenti e organismi superiori è continuo e rilevante, anche per la propagazione lungo la rete trofica degli inquinanti disponibili, non segregati nel sedimento.
Questi processi sono stati studiati con camere bentiche, campagne di misura in altissima frequenza di alcuni parametri. In particolare, lo studio ARTISTA, sviluppato nell'ambito del programma MELAI, ha valutato la mobilità e la partizione dei contaminanti organici e inorganici presenti nel sedimento e quindi il loro trasferimento agli organismi lungo la rete trofica.
Sono stati così messi a punto modelli numerici di rete trofica e modelli ecotossicologici, basati su un complesso di dati sperimentali sito-specifici, appositamente raccolti in laguna di Venezia, per la valutazione del rischio sanitario e ambientale connesso alla presenza di microcontaminanti potenzialmente tossici nei sedimenti dei bassifondali (figura 24).

Individuazione e valutazione delle pressioni antropiche più rilevanti

La base di ogni ipotesi di gestione dei sedimenti deve partire dal riconoscimento del ruolo che forzanti e pressioni hanno sugli stati rilevati. La correzione degli impatti negativi è possibile e deve iniziare da quelli più importanti per i quali esistono strumenti applicabili in modo sostenibile.
Traffico acqueo e pesca di organismi bentonici sui fondali rappresentano due forzanti che impattano direttamente sui sedimenti.
Il traffico erode i bassifondali e le sponde dei canali, determinando la risospensione di materiale sedimentario che poi si deposita nei canali stessi provocandone l'interrimento.

La pesca comporta una serie di impatti, diretti e indiretti, che comprendono:
- risospensione di parte del sedimento durante la cattura;
- disgregazione degli strati più superficiali del fondale lagunare con perdita di compattezza del sedimento;
- rimozione dei fattori di biostabilizzazione che, nelle aree di pesca, sono costituiti principalmente dalle diatomee bentoniche;
- formazione di increspature (*ripples*).

Il rimaneggiamento del sedimento produce veri e propri solchi, determinando anche un aumento della "scabrezza" del fondale. Ciò incrementa, a parità di vivacità idrodinamica, l'efficacia delle sollecitazioni indotte da onde e correnti sul fondale reso più sensibile e meno resistente all'azione erosiva. Questi meccanismi provocano un incremento della risospensione del sedimento di fondo che, in parte, risedimenta in prossimità del luogo di provenienza e, in parte, viene allontanato dalle correnti fino al mare.

Habitat bentonico come risorsa economica

I sedimenti lagunari ospitano estesi banchi di molluschi eduli, di notevole interesse economico. In particolare, la laguna di Venezia produce circa 28.000 t/anno di vongole, circa il 50% di tutta la produzione dell'Alto Adriatico.
Al fine di razionalizzare il prelievo della risorsa e rendere l'attività compatibile a livello ambientale, la Provincia di Venezia, su richiesta della Prefettura di Venezia, ha predisposto un "Piano pesca" (*Piano per la gestione delle risorse alieutiche delle lagune della provincia di Venezia*) che prevede il graduale passaggio dallo sfruttamento della risorsa (secondo un regime di libero accesso) all'allevamento in aree in concessione, basato su cicli triennali di semina, ingrasso e pesca gestita.
Il "Piano pesca" ha lo scopo di indicare "i criteri e gli indirizzi per l'esercizio dell'attività di pesca e acquicoltura nelle acque marittime interne, secondo principi di compatibilità ambientale e di congruità economica".
In attuazione del "Piano pesca", un'apposita commissione costituita da Magistrato alle Acque, Regione del Veneto, Provincia di Venezia, Comune di Venezia, Comune di Chioggia, Comune di Cavallino-Treporti ha individuato le aree da destinare in concessione per la venericoltura (figura 25).
Tali aree vengono sottoposte nel tempo a modifiche (spostamento, riduzione, revoca) al fine di soddisfare al contempo le esigenze di produttività e il contenimento degli effetti della pesca sulla morfologia lagunare, attuando il principio di garantire lo sviluppo e la conservazione dell'ambiente.

Figura 25
Aree in concessione
per l'allevamento di *Tapes*
(febbraio 2010)

Le regole di gestione

La gestione dei sedimenti lagunari è stata regolamentata nel tempo, a garanzia di un'adeguata attenzione alle problematiche legate all'inquinamento presente nei sedimenti da movimentare.
Nei casi in cui la salvaguardia della laguna comporta l'esecuzione di dragaggi, funzionali all'assetto idrodinamico, alla navigazione o all'esecuzione di specifici interventi, il sedimento viene considerato un materiale di risulta da gestire al meglio, poiché rappresenta una risorsa preziosa.
I materiali provenienti dai dragaggi, pur essendo quantitativamente meno importanti dei sedimenti movimentati annualmente dai processi naturali (onde, correnti) e antropici (traffico di natanti e raccolta incontrollata di bivalvi bentonici), sono però quelli funzionali alle attività per la salvaguardia morfologica dell'ecosistema.
Ancora oggi, la gestione dei sedimenti in laguna di Venezia è regolata dal comma 6 dell'art. 4 della legge 360/1991 per la cui applicazione è stato definito il *Protocollo d'Intesa* del 1993 recante "Criteri di sicurezza ambientale per gli interventi di escavazione trasporto e reimpiego dei fanghi estratti dai Canali di Venezia" che era inteso come un documento tecnico a carattere temporaneo e sperimentale[8].
Tale protocollo:

A. Valuta e classifica i sedimenti con riferimento a limiti concordati sulla base di:
   - valori riscontrati nella letteratura allora disponibile per i sedimenti di aree remote della laguna considerate non impattate da pressioni antropiche;
   - valori stabiliti dalle norme per la classificazione dei rifiuti speciali.

B. Suddivide i fanghi di dragaggio in quattro classi, definite in base alle concentrazioni di microcontaminanti, e ne indica le possibili destinazioni in laguna (per interventi di recupero e ricostruzione morfologica) e fuori laguna.

I criteri di classificazione, decisamente datati, sono esclusivamente di tipo chimico e relativi a pochi parametri (quelli accessori non vengono utilizzati in mancanza di criteri condivisi di valutazione).
La definizione del possibile uso dei sedimenti è rigida e basata su uno schema *pass/fail* (superamento o meno delle soglie chimiche).
Nel periodo dal 1990 al 2010, il Magistrato alle Acque attraverso il Consorzio Venezia Nuova ha realizzato 865 ettari di nuovi habitat a barena e 154 ettari di velme e sovralzi di fondale, utilizzando complessivamente 17,4 milioni di m^3 di sedimenti. A fine 2010 risultavano in corso di realizzazione ulteriori 227,5 ettari di strutture a barena e 75 ettari di velme con l'impiego di circa 2,4 milioni di m^3 di sedimenti. In totale, quindi, il solo

[8] Il Protocollo è stato sottoscritto tra Ministero dell'Ambiente, Magistrato alle Acque di Venezia, Regione del Veneto, Provincia di Venezia, Comuni di Venezia e di Chioggia.

Magistrato alle Acque ha riutilizzato e gestito quasi 20 milioni di m^3 di sedimenti negli ultimi vent'anni.
Se consideriamo anche i dragaggi effettuati da altri soggetti (principalmente Autorità Portuale e Comune di Venezia) che hanno portato al prelievo di materiali conferiti in strutture lagunari permanentemente emerse (isole) o in discariche, si arriva a quasi 35 milioni di m^3.
In questo stesso periodo, le conoscenze sui sedimenti e l'ecologia della laguna hanno fatto passi avanti notevolissimi, generando una consapevolezza diffusa della necessità di aggiornare gli attuali criteri di gestione dei sedimenti per una manutenzione sostenibile del sistema lagunare.
A tale proposito, nel *Piano di Gestione dei bacini idrografici delle Alpi Orientali - Sub-unità idrografica bacino scolante, laguna di Venezia e mare antistante* (febbraio 2010), si legge: «Poiché i sedimenti e la loro gestione, qualitativa e quantitativa, sono rilevanti per raggiungere e mantenere lo stato qualitativo buono dei corpi idrici, come prescritto dalla Direttiva Acque 2000/60 CE[9], il *Piano di Gestione* mette in evidenza l'importanza della gestione dei sedimenti della laguna di Venezia. Le Amministrazioni competenti, coinvolte nello sviluppo del Piano ritengono necessario rivedere quanto prima i criteri e le prassi operative per l'ambiente lagunare veneziano. Verrà costituito all'uopo un apposito tavolo istituzionale tra le Amministrazioni competenti entro 120 giorni dall'adozione del *Piano di Gestione*»[10].
Sulla base degli studi e, soprattutto, delle esperienze sviluppate dal Magistrato alle Acque si può pensare di modernizzare e migliorare le regole per la gestione dei sedimenti, per quanto riguarda sia la laguna di Venezia che altri ambienti di transizione, mettendo a frutto per l'intero Paese le conoscenze e le competenze operative maturate fino a oggi.

Bibliografia

Apitz S.E., Degetto S., Cantaluppi C. (2009), "The use of statistical methods to separate natural background and anthropogenic concentrations of trace elements in radio-chronologically selected surface sediments of the Venice Lagoon". In: *Marine Pollution Bulletin*, vol 58, Issue 3, August 2009, Elsevier, pp. 402-414.
Apitz, S.E., Barbanti A, Bocci M., Carlin A., Montobbio L., Bernstein A.G. (2007), "The sediments of the Lagoon of Venice (Italy) evaluated in a screening risk assessment approach: Part I - Application of international sediment quality guidelines". In: *Integrated Environmental Assessment and Management*, 3(3), pp. 393-414.
Apitz, S.E., Barbanti A, Bocci M., Carlin A., Montobbio L., Bernstein A.G.

[9] La Direttiva richiede il raggiungimento entro il 2015, attraverso una serie integrata di azioni, di un "buono stato ecologico" per tutti i corpi idrici superficiali e sotterranei comprese le acque di transizione, come la laguna di Venezia. Data la complessità della definizione di "buono stato ecologico", numerose iniziative ed attività sono in corso, promosse e coordinate dalla Commissione Europea, per la messa a punto di metodi e procedure per consentire agli enti preposti dagli stati membri di classificare i corpi idrici e programmare le azioni di risanamento eventualmente necessarie [n.d.r.].
[10] Il *Piano di Gestione* è stato adottato nel febbraio 2010

(2007), "The sediments of the Lagoon of Venice (Italy) evaluated in a screening risk assessment approach: Part II - Lagoon Sediment Quality Compared to Hot Spots, Regional, and International Case". In: *Integrated Environmental Assessment and Management*, 3(3), pp. 415-438.

Badino, G., Bona, F., Maffiotti, A., Giovanardi, O., Pranovi, F. (2004), "Impact of mechanical clam harvesting on benthic habitat: an evaluation by means of Sediment Profile Imaging". In: *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 14, pp. 59-67.

Cecconi, G. (2004), *Salt marsh sedimentation and tidal flat erosion in Venice Lagoon*. Proceedings of the 3rd Bioflow workshop, Venice, 22-26 August 2004.

Cloern, J.E. (2001), "Our evolving conceptual models of the coastal eutrophication problem". In: *Marine ecology progress series*, 210, pp. 233-253.

Curiel, D., Rismondo, A., Dri, C., Miotti, C., Checchin, E., Gentilin, S., Marzocchi, M. (2005), "Indici di valutazione ambientale della Laguna di Venezia basati sulle comunità fitobentoniche". In: *Informatore Botanico Italiano*, 37 (1), pp. 568-569.

Curiel, D., Rismondo, A., Bellemo, G., Marzocchi, M. (2004). "Macroalgal biomass and species variations". In: *the Lagoon of Venice (Italy, North Adriatic sea):* 1981-1998. «Scientia Marina», 68 (1), pp. 57-67.

Giordani Soika, A., Perin, G. (1974), "L'inquinamento della Laguna di Venezia: studio delle modificazioni chimiche e del popolamento sottobasale dei sedimenti lagunari negli ultimi vent'anni". In: *Bollettino Museo Civico di Storia Naturale di Venezia*, 26, pp. 25-68.

Icram (1995), *Sperimentazione di un «rastrello vibrante» per la pesca delle vongole veraci in concessione demaniale lagunare*, Relazione finale, Chioggia, 32 pp.

Izzo, G., Signorini, A. (2001), *Sviluppo di un metodo generale per la valutazione della qualità ecologica di un ecosistema lagunare*. xi Congresso Nazionale della Società Italiana di Ecologia 12-14 Settembre 2001, atti site 25.

Magistrato alle Acque di Venezia, *Studio* 1.3.9 - *Rapporto sullo stato attuale dell'ecosistema lagunare*. enea (1990), Rapporto finale prodotto per il Consorzio Venezia Nuova.

Magistrato alle Acque di Venezia, *Studio* a.3.16 - *Composizione comunità biologiche I fase - Rilievi sui popolamenti delle barene e aree circostanti e sulla vegetazione dei bassifondi*, "Analisi di radiodatazione dei sedimenti". enea (1991), Rapporto finale prodotto per il Consorzio Venezia Nuova.

Magistrato alle Acque di Venezia, *Studio* a.3.16/ii. *Composizione delle comunità biologiche connesse alle modifiche morfologiche,* ii *fase*, sgs Ecologia (1992), Rapporto finale prodotto per il Consorzio Venezia Nuova.
Magistrato alle Acque di Venezia, *Mappatura dell'inquinamento dei fondali lagunari. Studi ed indagini*, Università di Venezia, selc e sgs (1999), Rapporto finale prodotto per il Consorzio Venezia Nuova.
Magistrato alle Acque di Venezia, *Progetto "Orizzonte* 2023*"*, Thetis (2000), Rapporti finali prodotti per il Consorzio Venezia Nuova.
Magistrato alle Acque di Venezia, *Progetto* mela1 *- Studio Artista. Attività di modellistica delle reti trofiche*, Thetis (2003), Rapporto finale prodotto per il Consorzio Venezia Nuova.
Magistrato alle Acque di Venezia, *Studio* b.12.3/ii – *Valutazione degli effetti della pesca sulla morfologia lagunare. Attività sperimentale di simulazione delle attività di pesca*, Thetis (2003), Rapporto finale prodotto per il Consorzio Venezia Nuova.
Magistrato alle Acque di Venezia, *Studio* c.2.4 *- Studio degli effetti della navigazione interna sulla morfologia lagunare*, Thetis (2003), Rapporto finale prodotto per il Consorzio Venezia Nuova.
Magistrato alle Acque di Venezia, *Studio* icsel *- Attività* a.2.1*, Evoluzione temporale dell'inquinamento antropico dei sedimenti*, Thetis (2004), Rapporto finale prodotto per il Consorzio Venezia Nuova.
Magistrato alle Acque di Venezia, *Progetto* mela2 *- Attività A, Resocontazione finale della distribuzione della vegetazione acquatica sommersa (fanerogame marine e macroalghe) in laguna di Venezia*. selc (2005), Rapporto finale prodotto per il Consorzio Venezia Nuova.
Magistrato alle Acque di Venezia, mela3 – *I risultati del biennio* 2004-2005 (fascicolo prodotto dal Consorzio Venezia Nuova), "Le comunità microbiche: stato dell'arte, indagini sperimentali e valutazioni sulla biodiversità*"*. Baldi F., Borin S., Brusetti L., Daffonchio D. (2006).
Magistrato alle Acque di Venezia, *Indagine sui sedimenti e sulle acque dei canali di Porto Marghera e delle aree lagunari antistanti*. selc, sgs, uta-mav (2006-2007), per il Consorzio Venezia Nuova.
Magistrato alle Acque di Venezia, *Indagini e monitoraggi nelle aree lagunari tra Venezia e Porto Marghera - 1ª fase,* mapve.1, Thetis (2007), Rapporti finali prodotti per il Consorzio Venezia Nuova.

Magistrato alle Acque di Venezia, *Monitoraggio* mel04*: Rilievo delle comunità bentoniche di substrato mobile*, corila (2007), Rapporti finali prodotti per il Consorzio Venezia Nuova.
Magistrato alle Acque di Venezia, *Studio* b.12.3/iv *- La funzionalità dell'ambiente lagunare attraverso rilievi delle risorse alieutiche, dell'avifauna e dell'ittiofauna. Pesca gestita e allevamento di* Tapes philippinarum. Agri.te.co (2008), Rapporto finale prodotto per il Consorzio Venezia Nuova.
Magistrato alle Acque di Venezia, *Stato dell'ecosistema lagunare veneziano*, Thetis (2010), Marsilio editori.
Pavoni, B., Pellizzato, F., Sperni, L., Secco, T. (2003), *Inquinamento da microinquinanti organici nella zona centrale della Laguna di Venezia - Distribuzione spaziale ed evoluzione temporale delle concentrazioni nei sedimenti superficiali degli ultimi 15 anni*. Poster per Programma di ricerca 2000-2004, seconda riunione annuale del Progetto corila, Venezia, Isola di San Servolo, Venice International University, 31 marzo-2 aprile.
Penna G., Barbanti A., Bernstein A., Boato S., Casarin R., Ferrari G., Montobbio L., Parati P., Piva M.G., e Vazzoler M. (2005), "Institutional monitoring of the Venice Lagoon, its watershed and coastal waters: a continuous updating of their ecological quality". In: Fletcher, C.A., Spencer, T. (eds). *Flooding and Environmental Challenges for Venice and its Lagoon. State of Knowledge*, Cambridge University Press, Cambridge, pp. 517-528.
Rismondo, A., Curiel, D., Marzocchi, M., Micheli, C. (1995), "Autoecologia e produzione di Cymodocea nodosa (Ucria) Asch. in Laguna di Venezia. Importanza nel quadro del degrado morfologico lagunare", *Biologia Marina Mediterranea*, II, 2, pp. 405-406.
Sfriso, A. et al. (2005), "Sedimentation rates, erosive processes, grain-size, and sediment density changes in the Lagoon of Venice". In: *Scientific Research and Safeguarding of Venice*, corila Research Program 2003 results, pp. 203-214.
Sfriso, A., Facca, C., Ceoldo, S., Silvestri, S., Ghetti, P.F. (2003), "Role of macoalgal biomass and clam fishing on spatial and temporal changes in N and P sedimentary pools in the central part of the Venice Lagoon". In: *Oceanologica Acta*, 26, pp. 3.
Thetis (1999), *First Annual Scientific Report of the* mast- iii *Project* f-ects *Feed-backs of Estuarine Circulation and Transport of Sediments on phytobenthos*.

Zirino A. (2005), "The monitoring program in the Venice lagoon: striving towards a comprehensive knowledge of the lagoon ecosystem". In: Fletcher, C.A., Spencer, T. (eds). *Flooding and Environmental Challenges for Venice and its Lagoon. State of Knowledge*, Cambridge University Press, Cambridge, pp. 505-515.
Zonta R., Zaggia L., Costa F., Scattolin M. (2005), "Sediment contamination assessment of the Venice canal network (Italy)". In: Fletcher, C.A., Spencer, T. (eds.), *Flooding and environmental challenges for Venice and its Lagoon: state of knowledge*, Cambridge, Cambridge University Press.