Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti
Magistrato alle Acque di Venezia

Quaderni Trimestrali Consorzio Venezia Nuova

qt

1:11

Quaderni Trimestrali Consorzio Venezia Nuova, anno XIX n. 1, gennaio/marzo 2011 - Poste Italiane spa - Spedizione in abbonamento postale - 70% - DCB Venezia - Aprile 2011. In caso di mancato recapito restituire all'ufficio di Venezia CMP - Detentore del conto, per la restituzione al mittente, previo pagamento resi

Il Consorzio Venezia Nuova realizza, per conto del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti - Magistrato alle Acque di Venezia, le attività di salvaguardia di competenza dello Stato, in attuazione della legge 79884.
Il Consorzio opera, sotto l'alta sorveglianza e il controllo tecnico del Magistrato alle Acque, per realizzare una serie di obiettivi indicati dalla legge e organizzati in uno specifico *Piano generale degli interventi*. Il piano è stato definito dal Comitato di indirizzo, coordinamento e controllo istituito dalla legge 79884; adeguato alle indicazioni delle istituzioni rappresentate nel Comitato; approvato dagli organismi competenti (a partire dal Magistrato alle Acque e dallo stesso Comitato); richiamato dalla legge speciale per Venezia 13962, come riferimento per lo sviluppo e il finanziamento delle attività. Il piano degli interventi, integrato dal *Piano generale degli studi*, è articolato secondo linee di azione distinte ma in reciproca relazione: difesa dalle acque alte; difesa dalle mareggiate; difesa ambientale.
Per svolgere il proprio compito di concessionario di studi, sperimentazioni, progetti e opere, il Consorzio Venezia Nuova si è dotato di una struttura in grado di pianificare, organizzare e gestire le diverse attività nel loro complesso e in tutte le fasi di attuazione. Il Consorzio è costituito da grandi imprese nazionali, da cooperative e da imprese locali. La sua operatività è iniziata nella seconda metà degli anni '80, quando sono stati avviati i primi interventi previsti dalla legislazione speciale per Venezia.

Quaderni Trimestrali Consorzio Venezia Nuova

Editoriale
1 *In questo numero*
5 *Dieci risposte in breve alle dieci domande più frequenti sulle acque alte e sul Mose*

Temi / interventi / opinioni
7 *Enzo Tiezzi. La sfida del divenire*
9 Nadia Marchettini
Enzo Tiezzi, Venezia e la laguna. Una storia d'acqua e di relazioni
13 Enzo Tiezzi e Nadia Marchettini
Teoria della sostenibilità, sviluppo sostenibile e indicatori di sostenibilità ambientale. Il caso di Venezia
31 Maria Teresa Brotto
Il Mose e lo sviluppo sostenibile di Venezia e della sua laguna
41 Alberto Bernstein e Laura Montobbio
La gestione dei sedimenti in laguna di Venezia. Sintesi dei principali risultati acquisiti da studi e indagini di base

Documenti
73 United Nations Framework Convention on Climate Change
Comunicato stampa. La Conferenza delle Nazioni Unite sui Cambiamenti Climatici di Cancun lancia un pacchetto equilibrato di decisioni e riporta la fiducia nel processo multilaterale
75 Intergovernmental Panel on Climate Change - Working Group I
Rapporto su innalzamento del livello del mare e instabilità dei ghiacci. Prefazione e Sintesi delle conclusioni

Trimestrale anno XIX, n. 1, gennaio / marzo 2011
Registrazione presso il Tribunale di Venezia n. 1115 del 15 aprile 1993

Direttore responsabile Cesare De Michelis
Direttore Flavia Faccioli
Redazione Matteo Utimpergher
Progetto grafico Tapiro Camplani + Pescolderung
Realizzazione grafica Pietro Amici
Fotografie Graziano Arici (pagg. 33 al centro, 34, 35 in alto e in basso a destra); Pandaphoto - Giorgio Marcoaldi (pagg. 12, 33 in alto e in basso, 35 in basso a sinistra, 39, 40, 72)
Direzione e redazione Consorzio Venezia Nuova, S. Marco 2803 - 30124 Venezia
Telefono 0415293511 - Telefax 0415289252 – Sito Internet www.salve.it

Edito a cura Consorzio Venezia Nuova
Stampa Grafiche Veneziane s.r.l. - Industria Grafica Editoriale Cannaregio 5001/b - 30121 Venezia

Finito di stampare aprile 2011
Spedizione in abbonamento postale 70%, Filiale di Venezia, aprile 2011

1.1.1

In questo numero

I lavori del Mose, eseguiti dal Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti - Magistrato alle Acque di Venezia, tramite il Consorzio Venezia Nuova, hanno raggiunto una fase avanzatissima. Oltre il 60% delle opere previste è stato completato. Il giro di boa è stato, dunque, ampiamente superato e, giorno dopo giorno, le opere assumono sempre più l'assetto corrispondente alla configurazione finale.
Di pari passo crescono l'attenzione e la curiosità suscitati dall'opera che difenderà Venezia e la laguna dalle acque, con un coinvolgimento sempre maggiore da parte dei cittadini, dei tecnici e degli esperti del settore, degli organi di informazione italiani ed esteri, dei rappresentanti delle amministrazioni locali e nazionali, di scuole e istituti universitari, di numerosi soggetti pubblici e privati presenti sul territorio.
Nei precedenti numeri dei *Quaderni Trimestrali* abbiamo dedicato, di volta in volta, un'ampia parte della rivista alla descrizione del Mose e all'avanzamento delle attività per quanto riguarda sia i cantieri alle bocche di porto, sia la realizzazione dei principali componenti del sistema (come le cerniere per le paratoie); sia gli interventi connessi per l'infrastrutturazione delle parti dell'Arsenale nord di Venezia destinate alla gestione e manutenzione dell'opera e al controllo dell'ecosistema.
Questa volta, invece, abbiamo dedicato al Mose un intero fascicolo (allegato a questo numero e distribuito lo scorso gennaio nella provincia di Venezia attraverso i principali quotidiani locali) che illustra, in modo puntuale, la situazione dei lavori alle bocche di porto.
Da un lato, il fascicolo fa parte dell'articolato programma di comunicazione e divulgazione sul Mose che comprende, in particolare, i Centri informativi multimediali (*Puntolaguna*) di Venezia e Chioggia, un programma di visite ai cantieri alle bocche di porto che, solo nel 2010, ha coinvolto oltre 6.000 persone, un ampio sito internet costantemente aggiornato *(salve.it)*.
Dall'altro lato, il fascicolo vuole essere un modo per "accompagnare" i lettori in una sorta di sopralluogo virtuale ai cantieri in corso, ricordando come gli italiani abbiano contribuito alla realizzazione del Mose ma anche del complessivo *Piano degli interventi* messo in atto dallo Stato per la salvaguardia di Venezia e della laguna.
Un piano che ha riguardato la protezione dalle acque alte, la difesa dalle mareggiate, la riqualificazione ambientale dell'ecosistema e la messa in sicurezza di molte aree inquinate della zona industriale di Porto Marghera. Questo insieme di attività non ha

eguali per l'ampiezza del territorio interessato, per la natura dei problemi affrontati, per l'estensione e le caratteristiche delle opere eseguite.
Il Mose costituisce l'ultimo tassello del *Piano degli interventi*, il momento più qualificante e complesso. La sua realizzazione è seguita con estremo interesse dall'opinione pubblica nazionale e internazionale che considera Venezia un "bene" comune e riconosce nel Mose un'opera di tutti, costruita con il sostegno della collettività in considerazione della straordinarietà del luogo e dell'assoluta eccezionalità della situazione di emergenza da fronteggiare, anche in previsione di un aumento del livello del mare per il cosiddetto "effetto serra".
Ora possiamo vedere i concreti risultati di questo sforzo generale: il Mose rappresenta il più innovativo sistema di difesa dal mare finora concepito e costituisce un'opera strategica che esprime e valorizza le qualità del nostro Paese per quanto riguarda la cultura del lavoro e il saper fare; l'innovazione tecnologica e la ricerca scientifica; le capacità imprenditoriali e l'organizzazione produttiva.
A partire dall'obiettivo imprescindibile della protezione dagli allagamenti, attorno al Mose si è potuto avviare lo sviluppo di un moderno modello di gestione integrata, adeguato sia alla complessità del sistema territoriale nel suo insieme di elementi, valori e dinamiche in reciproca relazione, sia alla stretta connessione tra il Mose e gli altri interventi di salvaguardia ambientale diffusi in ambito lagunare.
Tali caratteristiche gestionali, insieme ad adeguati strumenti di pianificazione e alle conoscenze multidisciplinari acquisite con la realizzazione del Mose e degli altri interventi in laguna, configurano, per l'area veneziana, reali prospettive di sviluppo sostenibile in grado di assicurare l'integrazione funzionale tra difesa dalle acque alte, tutela ambientale dell'ecosistema, sviluppo socio-economico (riferito, in particolare, alle attività portuali e del terziario avanzato), uso compatibile delle risorse, conservazione del patrimonio storico e culturale.
Il Mose ha richiesto e richiede un rilevantissimo impegno, progettuale, organizzativo e costruttivo e, in particolare negli ultimi anni, un significativo impegno finanziario da parte dello Stato, per il quale le risorse destinate all'opera sono considerate una priorità nazionale. Il Mose, infatti, ha certamente un costo rilevante ma è anche uno straordinario investimento che ha già prodotto notevolissime ricadute positive a diversi livelli, moltissime ne produce oggi e ancora più ne produrrà domani.
In primo luogo, è scontato ma proprio per ciò è bene ricordarlo, perché il Mose consentirà di mettere al sicuro uno dei luoghi più preziosi al mondo, una città e un ecosistema

dichiarati dall'Unesco patrimonio dell'Umanità dove sono conservati beni monumentali, ambientali, storici e culturali senza eguali che rischiano altrimenti di essere persi per sempre. Senza contare l'immensa rivalutazione di cui potrà beneficiare una Venezia "salva" e "all'asciutto" in termini di qualità dell'abitare; di riqualificazione dei piani terra restituiti a funzioni abitative; di reinsediamento e sviluppo, nel tessuto delle città antiche, di attività produttive oggi penalizzate proprio dall'intensificarsi delle acque alte.

In secondo luogo perché la progettazione e la realizzazione del Mose comportano uno straordinario concentrato di innovazione, di conoscenze e di brevetti che possono essere spesi nel mondo in relazione alla difesa dal mare e alla tutela ambientale e che fanno dell'Italia un modello di riferimento per l'applicazione di misure "adattative" in grado di far fronte agli impatti dei cambiamenti climatici.

Il Mose è presente anche nei veri e propri *Quaderni* (nell'articolo a pagina 31) dove però è proposto un punto di vista che supera gli aspetti più strettamente ingegneristici e strutturali a favore proprio di quelli funzionali e ambientali relativi alla gestione e alla sostenibilità dell'opera.

Questo approccio rimanda inevitabilmente alla lezione di Enzo Tiezzi: lo scienziato ecologista italiano, scomparso pochi mesi fa, che è stato tra i padri del concetto stesso di sviluppo sostenibile e che nel corso di una felice collaborazione con il Consorzio Venezia Nuova aveva approfondito il tema della connessione tra sostenibilità, opere di salvaguardia, nuove strategie ambientali.

Per ricordare la figura e il pensiero di Tiezzi, oggi più che mai attuale, questo numero dei *Quaderni* ospita una memoria di Nadia Marchettini e ripropone un articolo che lo studioso aveva pubblicato nella nostra rivista, con il titolo "Teoria della sostenibilità, sviluppo sostenibile e indicatori di sostenibilità ambientale. Il caso di Venezia".

Sempre nella sezione "Temi interventi opinioni", a pagina 41, è pubblicato un articolo sulla gestione dei sedimenti nella laguna di Venezia, relativo in particolare ai principali risultati degli studi e delle analisi svolti in questi anni in ambito lagunare, da parte del Magistrato alle Acque attraverso il Consorzio Venezia Nuova e gli istituti universitari e i centri di ricerca incaricati.

Nella sezione "Documenti", infine, riprende la pubblicazione di testi ufficiali, di particolare interesse, diffusi negli ultimi mesi dalle organizzazioni internazionali che si occupano del tema dei cambiamenti climatici e dell'innalzamento del livello del mare.

DIECI RISPOSTE IN BREVE ALLE DIECI DOMANDE PIÙ FREQUENTI SULLE ACQUE ALTE E SUL MOSE

1. Quali sono le cause dell'aumento della frequenza e dell'intensità delle acque alte?
Nell'ultimo secolo il suolo di Venezia si è abbassato e il livello del mare si è alzato. La città si trova dunque più esposta alle acque alte: sia alla frequenza degli eventi (quelli che non la allagavano ora l'allagano), sia alla loro "altezza". Le continue acque alte degli inverni 2009 e 2010 hanno dimostrato quanto sia indispensabile, oltre ai rialzi di rive e fondamenta da tanti anni in corso, la funzione del Mose.

2. Uno dei responsabili è il Canale dei Petroli?
Il Canale dei Petroli ha avuto conseguenze gravissime sulla laguna centrale: l'ha appiattita, erodendone i bassifondali, e l'ha resa un catino profondo e piatto. Ma 25 anni di studi ne hanno escluso l'incidenza sulle acque alte, specie su quelle più lente che raggiungono i livelli più elevati.
Prova empirica rimane che l'evento più disastroso, l'acqua alta del 1966, si produsse quando il Canale dei Petroli non esisteva in quanto tale. Era sì iniziato lo scavo, ma nel tratto in laguna e non nel tratto che l'avrebbe poi congiunto al mare, attraverso la bocca di porto di Malamocco.

3. Una delle cause sono i cantieri del Mose alle bocche di porto?
I lavori realizzati restringono la sezione delle bocche, non la ampliano. Quindi i cantieri in corso contribuiscono a diminuire l'acqua in entrata, non ad aumentarla.

4. Eppure la velocità della corrente alle bocche è cresciuta. Così l'acqua entra più velocemente?
La velocità è aumentata, localmente alle tre bocche, proprio perché è stata ridotta la loro sezione, ma è meno l'acqua che entra. È come quando si stringe con il pollice il tubo di gomma per innaffiare: il getto diventa più lungo, ma nello stesso tempo passa meno acqua.

5. Il Mose funzionerà? E come?
Anni di sperimentazioni e verifiche ne hanno accertato il funzionamento. A questo scopo sono stati utilizzati numerosi modelli matematici e modelli fisici a tutte le scale, anche grandissime. Tra questi, il modello 1:10 realizzato a Voltabarozzo (Padova) e persino il modello 1:1, il vero e proprio Mose, retto da quattro colonne rosse, sperimentato in laguna per quattro anni.
Quando necessario, le paratoie del Mose verranno svuotate dall'acqua che, normalmente, le terrà sul fondo. In questo modo esse, girando intorno alle cerniere, emergeranno fino a formare una barriera in grado di opporsi al mare e di tenerlo, temporaneamente, fuori dalla laguna. In laguna verrà mantenuto un livello dell'acqua sufficientemente basso affinché il bacino possa ricevere la pioggia e l'acqua dei fiumi che vi sfociano.

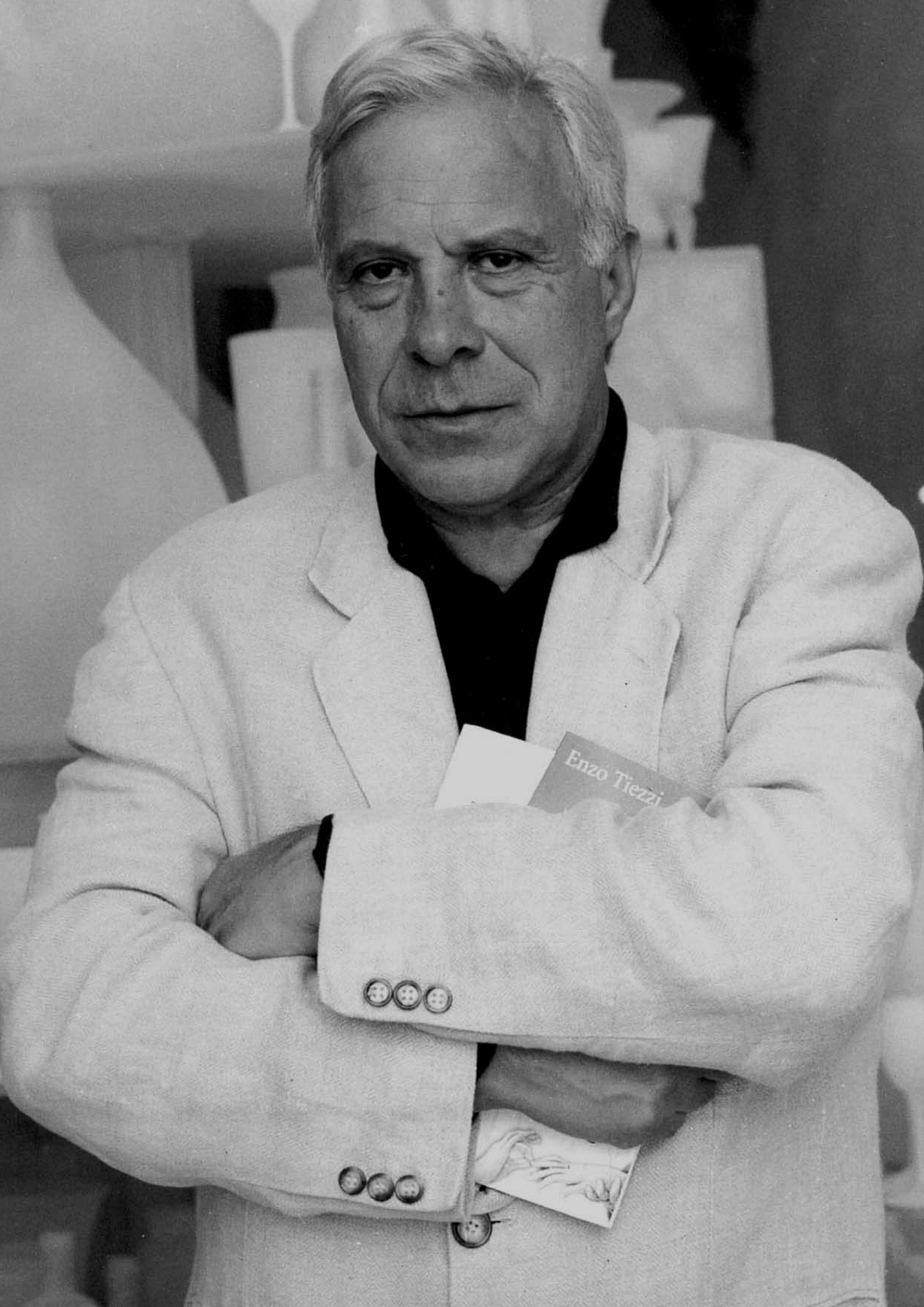
6. È vero che il Mose è operativo solo per maree da 110 cm in su?
Oggi si prevede che il Mose si alzerà in caso di marea superiore a 110 cm perché fino a tale quota la difesa "passiva" dei centri storici lagunari è assicurata dal rialzo di rive e fondamenta e dalla predisposizione di "vasche" ai piani terra degli edifici. Ma il Mose, in realtà, non ha vincoli funzionali e potrà essere attivato per maree di qualunque livello, anche inferiori a 110 cm. Specialmente ora, con la conca di navigazione a Malamocco che consente il passaggio delle grandi navi a paratoie chiuse, la messa in funzione del Mose potrà essere definita di volta in volta in base a criteri flessibili di gestione. Per maree medie, infatti, le bocche di porto possono essere chiuse anche parzialmente (2 o più paratoie per bocca di porto) o una per volta (ad esempio solo Lido o solo Chioggia).

7. Il Mose sarà sufficiente anche di fronte a un innalzamento del livello del mare?
Il Mose, i litorali e i moli foranei (rinforzati rispettivamente per 45 km e per 11 km) sono stati dimensionati per creare un fronte verso il mare senza punti critici. L'intero sistema può fronteggiare un innalzamento del livello del mare almeno fino a 60 cm nei prossimi cento anni.

8. Ma allora la laguna sarebbe sempre chiusa?
Fino a qualche tempo fa alcuni dicevano che le acque alte non erano un problema e che il Mose fosse, quindi, sovradimensionato. Oggi altri immaginano scenari catastrofici per insinuare, al contrario, che il Mose sarebbe insufficiente. La verità è che se questi scenari si avverassero, Venezia sarebbe l'unica città costiera italiana realmente difesa. Qualora fosse necessario ricorrere al Mose molto più spesso di quanto non accadrebbe oggi, il ricambio d'acqua tra laguna e mare potrebbe essere favorito mediante appositi dispositivi. Non dimentichiamo, inoltre, che nelle fasi di bassa marea la laguna e il mare continuerebbero a comunicare direttamente tra loro come avviene attualmente.

9. Ma il Mose quando finirà?
In relazione alla continuità dei finanziamenti, il Mose potrà essere operativo nel 2014. Attualmente è a oltre il 60% della realizzazione.

10. Perché è necessario tanto tempo per completarlo?
Il Mose è una diga che si sviluppa per quasi 1,6 km, posta a difesa di tre varchi larghi rispettivamente 800, 400 e 380 metri. Essa deve fronteggiare le alte maree e le mareggiate per poi tornare negli alloggiamenti sul fondale delle bocche di porto.
La componente subacquea degli interventi è, dunque, molto rilevante e si lavora esposti al maltempo o alle onde. I cantieri, inoltre, sono organizzati per ricevere materiali, macchinari e personale quasi interamente via mare, per non provocare impatti sul fragile territorio litoraneo.
Gli interventi, infine, interessano sempre solo la metà di ciascuna bocca, per non interferire con le attività economiche, marittime, portuali.
Questi fattori, insieme alla complessità e alle dimensioni dell'opera, determinano il tempo di esecuzione.
Il Consorzio Venezia Nuova è legato con lo Stato da un contratto a "prezzo chiuso" che stabilisce tempi di attuazione certi per finanziamenti definiti.


Enzo Tiezzi

Enzo Tiezzi. La sfida del divenire

Il 25 giugno 2010 si è spento Enzo Tiezzi: uno dei più illustri scienziati ambientali del nostro Paese e una delle voci più autorevoli a livello internazionale per quanto riguarda, in particolare, il grande tema dello sviluppo sostenibile che egli stesso ha contribuito a elaborare.
Tra i principali esponenti della moderna cultura ecologista, Tiezzi, con estrema passione e rigore scientifico, ha studiato le relazioni tra l'uomo e l'ambiente in tutta la loro complessità (*relazione* e *complessità* sono due termini chiave del suo lavoro) cercando tenacemente di promuovere il riconoscimento di una necessaria e virtuosa integrazione tra due realtà che sembrano ormai procedere in direzione opposta.
Mentre l'obiettivo comune della salvaguardia delle generazioni future e dello stesso Pianeta, ci dice Tiezzi, richiederebbe un'interazione positiva da perseguire attraverso un nuovo modello di rapporto, dinamico, equilibrato e compatibile, tra sistema antropico e sistema naturale, tra consumi e risorse, tra crescita quantitativa e sviluppo qualitativo, tra bisogni attuali e necessità a lungo termine.
Con le sue ricerche, le sue numerose pubblicazioni e il suo entusiasmo, Tiezzi ha offerto un contributo rilevantissimo alla comunità scientifica e ha anche rappresentato un indiscutibile punto di riferimento per numerosi tra i maggiori esponenti del mondo economico, filosofico, della cultura e della politica in Italia e all'estero.
Così come è stato un punto di riferimento per moltissimi giovani studenti che hanno avuto la possibilità di conoscerlo nel corso del suo appassionato insegnamento universitario, prima a Firenze e poi a Siena dove è stato, per molti anni, professore di Chimica Fisica.
Alla fine degli anni '90 Tiezzi e il Consorzio Venezia Nuova si sono incontrati nell'ambito di una lunga e stimolante collaborazione che portò Tiezzi a svolgere un essenziale lavoro scientifico ed epistemologico nell'analisi dei problemi della laguna e degli interventi per la difesa di Venezia dalle maree e per la tutela dell'ecosistema.
Per Tiezzi si è trattato di un'esperienza di grande impegno e coinvolgimento, condivisa con i suoi collaboratori, della quale ha scritto tra l'altro: "Penso che ogni scienziato che si occupa di problemi ambientali e di ecologia della complessità non possa non essere attratto dalla sfida che il divenire della laguna di Venezia pone all'umanità e a quella parte della scienza responsabile nei confronti del futuro di questo complicato e fragile ecosistema".

Durante la permanenza a Venezia, Tiezzi preparò anche una serie di specifici seminari da cui, insieme a Nadia Marchettini, ricavò tre suggestivi saggi, scritti per i *Quaderni Trimestrali* del Consorzio Venezia Nuova.
I saggi sono stati pubblicati tra il 1997 e il 1998 con i seguenti titoli:

- "Cambiamenti climatici e comparazione evolutiva degli ecosistemi antropizzati e degli ecosistemi naturali. Le implicazioni per la laguna di Venezia";
- "Termodinamica dei sistemi complessi e lontani dall'equilibrio";
- "Teoria della sostenibilità, sviluppo sostenibile e indicatori di sostenibilità ambientale. Il caso di Venezia".

A questi si aggiunse, sempre per i *Quaderni*, l'articolo scritto nel 2006 con Simone Bastianoni, Simona Bosco e Nadia Marchettini dal titolo "Effetto serra e cambiamenti climatici. Gli obiettivi europei del dopo Kyoto e le aspettative per Venezia".
Per ricordarne la figura e la collaborazione con il Consorzio, pubblichiamo in queste pagine una memoria su Tiezzi e sulla sua esperienza veneziana scritta da Nadia Marchettini: la persona che più gli è stata vicina, nel lavoro e nella vita.
A seguire riproponiamo l'ultimo dei tre saggi scritti da Tiezzi per i *Quaderni* riportando integralmente il contenuto dell'articolo originario.

Nadia Marchettini*

Enzo Tiezzi, Venezia e la sua laguna. Una storia d'acqua e di relazioni

3 APRILANTE, QUARANTA DÌ DURANTE[1]
Siena, maggio 1998

Cambiano le cose del Pianeta,
venti di ponente forzano cicloni imprevisti
e lo scirocco porta sempre di più acque alte a Venezia.
Il niño infuoca le foreste d'Indonesia
e le stagioni sembrano impazzite.
L'armattano, vento caldo del Sahel,
inaridisce lande già semideserte
e porta polvere rossa di dune.
Gli alisei e i monsoni
non obbediscono più a ritmi armoniosi,
ma ai signori del petrolio
e al loro nefando effetto serra.
Quest'anno le rondini hanno tardato:
3 aprilante, quaranta dì durante.

Il rapporto tra Enzo Tiezzi e il Consorzio Venezia Nuova, nei tanti anni di collaborazione, si è fondato sulle relazioni: relazioni con la città e con il suo particolare territorio d'acqua.
Questo è un luogo dove l'acqua è l'elemento plasmante, la struttura che connette, che genera scambio di informazioni, in continuo divenire. L'acqua, nel suo comportamento a livello microscopico e macroscopico è stata, proprio nell'ultimo decennio, oggetto di interesse e studio di Enzo Tiezzi e del suo gruppo di ricerca e tanti sono stati gli input, nati dagli scambi di idee e dal lavoro svolto a Venezia.
Quello che ha colpito Enzo, e anche la sottoscritta, è stata proprio la forte relazione di una città così particolare e complessa con il suo territorio, anch'esso ricco e complesso, "... laboratorio ideale per studi termodinamici avanzati e di fisica evolutiva dato il particolare ruolo dell'intreccio tra attività industriali, conservazione edilizia, manutenzione, trasporti, pesca, turismo, patrimonio artistico e produzione scienti-

[1] E. Tiezzi, *La più bella storia del mondo*, Marcos y Marcos, Milano 1998

* Nadia Marchettini è coautrice dell'articolo di Enzo Tiezzi pubblicato alle pagine 13-29 ed è professore ordinario di Chimica dell'Ambiente e dei Beni culturali all'Università degli studi di Siena, Dipartimento di Chimica

fica e culturale", come già scrisse nel 1997 per i *Quaderni Trimestrali* del Consorzio Venezia Nuova[2].
Lo scrivemmo insieme, nel 1999, anche nel volume *Che cos'è lo sviluppo sostenibile*, cercando di comunicare il fatto che Venezia è il luogo della sostenibilità e della salvaguardia, della conoscenza e della responsabilità, del patrimonio ecosistemico, artistico e architettonico, ma anche dell'azione e dell'intervento umano, purché quest'ultimo sia "perseguito con attenzione e oculatezza"[3].
Nello stesso saggio facemmo riferimento esplicito ai rischi che il sistema complesso "Venezia" corre a causa dell'aumento dell'effetto serra e delle conseguenti modificazioni del clima. Il cambiamento climatico, su cui si poneva particolare attenzione fin dal già citato articolo del 1997, è il maggiore e il più subdolo e diffuso dei problemi ambientali. Enzo Tiezzi si è sempre riferito alle conseguenze globali delle attività dell'uomo come a qualcosa da tenere in grande considerazione.
In particolare, l'effetto serra è stato da sempre un argomento di grande interesse, sul quale egli si è impegnato a fondo e con grande anticipo rispetto al fermento di questi ultimi anni. Infatti, già nel 1984, scriveva: "L'uomo, in quanto essere culturale, è in grado di correre seri rischi quando la sua spinta riproduttiva "abile" supera quella del grano; è, cioè, l'unico essere vivente in grado di distruggere con le proprie scelte la propria specie e l'equilibrio naturale.
Non c'è il minimo dubbio che l'uomo ha la potenzialità di imboccare una strada senza uscita per se stesso e per tutto l'ambiente naturale (basta pensare al potere del deterrente nucleare esistente o alla possibilità di modificare il clima). D'altra parte l'uomo, sempre in quanto essere culturale, è in grado di evitare la strada senza uscita e di scegliere responsabilmente un futuro per la propria specie e per il mantenimento del delicato equilibrio del pianeta Terra"[4].
Sempre a Venezia, dagli scambi e dalle riflessioni sulla struttura e l'evoluzione delle barene artificiali (elaborati specialmente con Giovanni Cecconi che al Consorzio Venezia Nuova si è sempre occupato, in particolare, degli interventi di recupero morfologico), il nuovo concetto termodinamico COOS trova fertili applicazioni e sviluppi concettuali. Il concetto COOS (*Confined Ontic Open Systems*) è stato concepito e sviluppato negli ultimissimi anni di ricerca, per descrivere sistemi termodinamici aperti (*Open*) e protetti (*Confined*) che interagiscono con l'esterno, attraverso scambi di materia e energia, mantenendo, però, la propria identità (*Ontic*), perchè intrinsecamente legati alla memoria della propria storia evolutiva.

[2] E. Tiezzi, N. Marchettini, "Cambiamenti climatici e comparazione evolutiva degli ecosistemi antropizzati e degli ecosistemi naturali. Le implicazioni per la laguna di Venezia" in *Quaderni Trimestrali*, n. 2, 1997.
[3] E. Tiezzi, N. Marchettini, *Che cos'è lo Sviluppo Sostenibile*. Donzelli, Roma 1999.
[4] E. Tiezzi, *Tempi storici, tempi biologici*. Garzanti, Milano 1984. Il volume ebbe una seconda edizione nel 1992. Nel 2001, con l'editore Donzelli, uscì nella versione riveduta *Tempi storici, tempi biologici*; nel 2005 fu pubblicato *Tempi storici, tempi biologici - Venticinque anni dopo*, sempre con Donzelli. Il libro è stato tradotto in varie lingue: portoghese (*Tempos históricos, tempos biologicos*, Livraria Nobel, São Paulo 1988); spagnolo (*Tiempos históricos, tiempos biologicos*, Fondo de Cultura Economica, Città del Messico 1990); inglese (*The End of Time*, Wit Press, Southampton 2003).

In questi sistemi, come appunto le barene artificiali, il passaggio di energia e acqua, attraverso i confini del sistema, permette l'emergere di novità (*Emergence of Novelties*), concetto essenziale della termodinamica dei sistemi viventi, aumentando la complessità del sistema e la sua stabilità.
Così, termodinamicamente, è possibile spiegare la funzione del nido per molte specie di uccelli, microcosmo peculiare che protegge dai pericoli esterni, ma aperto ai flussi di energia e materia che sono vitali per il nutrimento e la sopravvivenza degli animali; all'estremo opposto, si può intendere il fenomeno socio-economico della globalizzazione come qualcosa che conduce all'apertura senza alcun limite agli scambi di energia e materia, all'erosione delle diversità e alla progressiva uniformità e omologazione delle relazioni, in breve all'insostenibilità.
Io, da parte mia, ringrazio tutte le meravigliose persone del Consorzio Venezia Nuova, con cui, durante questi bellissimi anni, abbiamo avuto relazioni, intrecci, scambi, in continuo divenire e grazie Enzo ...

Enzo Tiezzi
e Nadia Marchettini

Teoria della sostenibilità, sviluppo sostenibile e indicatori di sostenibilità ambientale. Il caso di Venezia

Introduzione

[...] Questo terzo seminario affronta le tematiche della nuova disciplina dell'*Ecological Economics*, proprio sulla base dell'incontro tra termodinamica, ecologia ed economia, come si è visto nella parte conclusiva del secondo seminario. Del resto, il concetto stesso di sostenibilità si basa sui seguenti punti:

- l'esistenza di vincoli in un pianeta "finito" o, meglio, il riconoscimento che esiste una *carrying capacity* del pianeta Terra[1];
- la consapevolezza che la seconda legge della termodinamica pone dei limiti agli usi e alle trasformazioni energetiche;
- l'economia dello stato stazionario di Herman Daly, padre della teoria della sostenibilità, che si basa appunto sulla seconda legge della termodinamica[2].

Il professor Robert Costanza presidente dell'International Society for Ecological Economics (ISEE), così definisce la nuova disciplina:

"L'Economia ecologica è un tentativo di superare le frontiere delle discipline tradizionali per sviluppare una conoscenza integrata dei legami tra sistemi ecologici ed economici. Un obiettivo chiave in questa ricerca è quello di sviluppare modelli sostenibili di sviluppo economico, distinti dalla crescita economica che non è sostenibile in un pianeta finito. Un aspetto chiave nel mettere a punto modelli sostenibili di sviluppo è il ruolo dei vincoli: vincoli termodinamici, limiti biofisici, limiti di risorse naturali, limiti all'assorbimento dell'inquinamento, limiti demografici, vincoli imposti dalla *carrying capacity* del pianeta e, soprattutto, limiti della nostra conoscenza rispetto a ciò che questi limiti sono e a come influenzano il sistema".

È sotto gli occhi di tutti che l'economia orientata verso la crescita ha portato, e ancor più porterà, a disastri ambientali di dimensioni epocali. È evidente che sia il modello capitalista sia quello del socialismo reale non sono "modelli sostenibili". Scrive Ann-Mari Jansson del Dipartimento di Ecologia dei sistemi dell'Università di Stoccolma:

"L'economia di mercato e l'economia a pianificazione centralizzata hanno ambedue fallito nel risolvere i problemi ambientali.
Anche se le conseguenze del fallimento sono state più gravi all'Est, è difficile capire le dichiarazioni di fede per cui il libero mercato risolverebbe in modo automatico tutti i problemi, proprio perché sono

[1] Al secondo Convegno mondiale di Ecological Economics (*Investing in Natural Capital*, ISEE Conference, Stoccolma, agosto 1992) un ricercatore canadese iniziò il suo intervento con un'ipotesi provocatoria: "Supponiamo di avere due pianeti ...".

[2] Sulla seconda legge della termodinamica, che tratta il concetto di entropia, si veda il seminario di Enzo Tiezzi "Termodinamica dei sistemi complessi e lontani dall'equilibrio", in *Quaderni Trimestrali*, n. 3-4, 1997.

evidenti la distruzione delle risorse naturali e la produzione di sostanze tossiche che la moderna società industriale ha determinato. La diversità degli ecosistemi e delle culture umane può essere gestita in maniera "sostenibile" solo considerando le capacità e i limiti dell'ambiente nei confronti delle attività economiche. È un problema di interdipendenze".

È oggi irrazionale pensare che la teoria economica neoclassica, basata sugli aggiustamenti del libero mercato e della "mano invisibile", sia razionale. A questo proposito il *leader* della SPD tedesca, Oskar Lafontaine, ha giustamente affermato:

"Chi oggi, in un dibattito economico, mette tra parentesi la questione sociale, come ad esempio *la questione della divisione del lavoro e dei redditi*; o mette tra parentesi la questione ecologica, dunque la *domanda relativa al rapporto tra crescita reale e distruzione ecologica*, non ha, secondo la nostra concezione, *alcuna competenza economica*, poiché la *competenza economica comprende competenza sociale e competenza ecologica*".

Continuare nella direzione del consumismo significa aprire la nuova era della "crescita diseconomica", invece che la nuova strada dell'ecosviluppo. In Italia a Lafontaine fa buona eco Giorgio Ruffolo:

"È meglio una società in *sviluppo* sulla base di energie rinnovabili, che una società in *crescita* sulla base del saccheggio e dell'inquinamento. Insomma, una società veramente post-industriale. Se gli uomini non sapranno trovare i modi per dare questa risposta alla grande sfida del *controllo dell'interdipendenza* tra economia ed ecologia, temo che un giorno i loro figli si troveranno di colpo in una società preagricola".

Nella nuova cultura ecologica-economica, sviluppo e crescita hanno ovviamente significati diametralmente opposti. Si arriva così *all'ineluttabilità dei limiti alla crescita*, non come forzatura di un'ideologia politica, ma come logica e necessaria conseguenza delle grandi leggi della fisica e della biologia. La teoria economica dominante, legata al meccanicismo positivista e alla cosmologia newtoniana, ignora ancora i concetti di entropia, di rendimento decrescente dell'energia, di indeterminazione, di complessità, di produttività decrescente delle risorse non rinnovabili. Anzi, non solo ignora questi concetti, ma ne introduce un altro che potrebbe essere riassunto nella famosa massima "il tempo è denaro". Il progresso viene misurato dalla velocità con cui si produce, si arriva addirittura a pensare che quanto più velocemente si adoperano le risorse della

natura, tanto più il progresso avanza. In altre parole, più velocemente si trasforma la natura, più si risparmia tempo. Ma questo "tempo tecnologico" o "tempo economico" è esattamente l'opposto del "tempo biologico". La realtà obbedisce a leggi ben diverse da quelle economiche e invece del "tempo economico" riconosce il "tempo entropico": quanto più velocemente si consumano le risorse e l'energia disponibile del mondo, tanto minore è il tempo che rimane a disposizione per la nostra sopravvivenza. *Il tempo tecnologico è inversamente proporzionale al tempo biologico; il tempo economico è inversamente proporzionale al tempo entropico*.
I limiti delle risorse, i limiti di resistenza del nostro pianeta e della sua atmosfera indicano chiaramente che quanto più acceleriamo la crescita e la produzione, tanto più accorciamo il tempo reale a disposizione della nostra specie. Un organismo che consuma più rapidamente del tempo necessario all'ambiente per produrre per la sua sussistenza non ha possibilità di sopravvivenza: ha scelto un ramo secco nell'albero dell'evoluzione, ha scelto la strada percorsa dai dinosauri.
Il tempo-denaro, il tempo scandito dall'orologio non è il tempo adatto a instaurare un rapporto corretto con la natura. Paradossalmente, l'orologio, simbolo dell'ordine, scandisce le ore del disordine. La frenesia del consumismo e della crescita della produzione avvicina i tempi del disordine globale. L'ordine naturale segue altri ritmi, altri tempi. L'uomo non può fermare il tempo, ma può rallentare l'evoluzione biologica e la crescita produttiva favorendo il futuro della nostra specie e rispettando i limiti biofisici che la sopravvivenza della natura richiede.
Il padre della termodinamica, Rudolph Clausius, così scriveva nel 1885:

"Nell'economia di una nazione c'è una legge di validità generale: non bisogna consumare in ciascun periodo più di quanto è stato prodotto nello stesso periodo. Perciò dovremmo consumare tanto combustibile quanto è possibile riprodurne attraverso la crescita degli alberi".

Le scelte energetiche rappresentano, per la riconversione ecologica dell'economia, un nodo centrale ed è bene sottolineare subito che le tre energie non rinnovabili (nucleare, petrolio e carbone) sono per loro natura incompatibili con uno sviluppo sostenibile. Prendere le energie fossili dalle sacche dove sono state immagazzinate dalla natura (che ha usato queste sacche come pattumiere dell'attività biologica proprio per togliere il carbonio in eccesso dai cicli vitali e realizzare quella giusta miscela di ossigeno e anidride carbonica che è stata fonte di evoluzione biologica e di vita) è come spargere, in un

solo giorno, la spazzatura accumulata da una città in 2000 anni nelle sue stesse strade. Per milioni di anni i cicli biologici hanno sottratto il carbonio all'atmosfera relegandolo nelle viscere del pianeta, fuori dalla biosfera e ora, in soli cinquant'anni, un tempo infinitesimo nella scala dei tempi biologici, questo carbonio viene reimmesso nell'atmosfera sotto forma di anidride carbonica che causa *l'effetto serra* e fa saltare la base stessa dell'equilibrio della vita sulla Terra: il ciclo del carbonio.

Le variazioni apportate dalle attività umane alla natura devono rimanere entro certi limiti così da non distruggere il contesto biofisico globale del Pianeta. Le dinamiche dello sviluppo non possono non rispettare le dinamiche, generalmente più lente, della biosfera; i ritmi complessi e armoniosi della natura; i tempi biologici.

Questa è la base del cosiddetto sviluppo sostenibile, ma anche la base di mantenimento dell'*habitat* dove si svolgono le attività umane: dall'acqua dei fiumi a quella del mare e dei laghi; dall'aria che respiriamo a quella che permette alle piante di crescere e di riprodursi; dal suolo che produce cibo e fibre tramite l'attività agricola a quello che mantiene in vita le foreste, vero e proprio polmone verde della Terra.

Oggi, per la prima volta nella storia dell'umanità, stiamo giocando pericolosamente, come apprendisti stregoni, con la sopravvivenza di questo meraviglioso Pianeta che viene da una storia di centinaia di milioni di anni di evoluzione biologica.

Sono a rischio l'aria, il mare, i fiumi, i laghi e le foreste, la base stessa dell'agricoltura, quell'*humus* fertile che l'evoluzione biologica ha creato in milioni di anni e che rischiamo di perdere in pochi decenni.

Il punto fondamentale di novità scientifica, emerso dalla Conferenza mondiale di Stoccolma sullo sviluppo sostenibile (1992), consiste nella constatazione che il sistema in cui viviamo, il pianeta Terra, è un sistema finito e, in quanto tale, presenta dei *vincoli*: vincoli di territorio, vincoli di assorbimento dei rifiuti e degli inquinanti, vincoli relativi ai grandi cicli della vita (aria, acqua, ossigeno, ecc.), vincoli che limitano l'aumento indiscriminato della popolazione e della produzione. La realtà fisica è quindi soggetta a *constraints*, vincoli appunto, che possono determinare dei limiti. Un esempio solamente: se la popolazione aumenta ha bisogno di più cibo, per avere più cibo è necessario o produrre di più per ettaro, ma questo comporta impoverimento dei suoli, erosione, inquinamento delle falde ed eutrofizzazione dei mari, o deforestare per ottenere altri campi da coltivare, ma questo comporta perdita di biodiversità, alterazione degli equilibri dei cicli vitali del carbonio e dell'ossigeno (effetto serra), cambiamenti di clima che si ripercuotono sull'agricoltura e così via.

È quindi all'interno di questi vincoli che si deve muovere la programmazione economica, in sintonia con i ritmi della natura e con le dinamiche dei cicli biogeochimici globali. Si tratta di un problema di relazioni e di interdipendenze.
A buona ragione l'ecologia viene definita scienza delle relazioni e della complessità e necessita di conoscenze differenti che interagiscono tra loro. I vincoli definiscono la *carrying capacity* del pianeta, cioè la capacità di "portare", di sostenere la popolazione e tutte le altre forme viventi (vegetali e animali) di cui l'uomo e la natura hanno bisogno per sopravvivere: questa è la base della *sostenibilità*.
In questo contesto il Pianeta va visto non come una proprietà da sfruttare, ma come un *capitale naturale* ereditato dai nostri genitori per i nostri figli. La Terra viene da molto lontano, da 4.500 milioni di anni di evoluzione: grazie al flusso continuo di energia solare e alla fotosintesi, sulla superficie della Terra, la biosfera, sono nate e si sono moltiplicate numerose specie biologiche. Questo è il *capitale naturale* che abbiamo ricevuto in prestito, un capitale di *biodiversità*, fatto dall'aria e dalla terra, dai fiumi e dai mari, dalla flora e dalla fauna. La biodiversità è fondamentale per il mantenimento della vita, perché sul nostro Pianeta tutto è legato a tutto.
La sfida culturale del terzo millennio è una sfida per mantenere questa meravigliosa eredità per i figli che verranno; una sfida scientifica ed etica a un tempo; una sfida che non ci possiamo permettere il lusso di perdere.

Lo stato stazionario

La contraddizione evidente di chi fa coincidere il concetto di "economia florida" o di "equilibrio economico" con la crescita del Prodotto Interno Lordo (PIL) è rappresentata da due eclatanti fenomeni presenti in quasi tutti i paesi industrializzati: una crescente disoccupazione e un crescente degrado dell'ambiente, fino alla distruzione di risorse e dinamiche essenziali per il mantenimento della vita e per la sopravvivenza delle future generazioni (aria, acqua, humus, ciclo del carbonio, ecc.).
La ragione principale di tale contraddizione risiede nel fatto che l'equilibrio economico non ha niente a che fare con l'equilibrio biofisico, che è invece alla base dello *sviluppo sostenibile*.
Cutler Cleveland, dell'Università di Boston, ha lucidamente evidenziato questo punto proponendo di sostituire il *modello neoclassico di produzione*, che assume il capitale e il lavoro come input primari di produzione, con un *modello biofisico del processo economico* che assume il capitale e il lavoro come input intermedi prodotti dall'unico reale fattore primario di produzione: materia ed energia a bassa entropia. Del resto, le recenti

teorie di Herman Daly si muovono proprio nella direzione di un'analisi biofisica ed ecologica dell'economia.
Daly ritiene giustamente che solo ritornando ai fondamenti biofisici della natura e ai fondamenti morali della società, l'economia potrà affrontare la sfida della complessità ecologica e della sostenibilità[3]. Tutto questo non comporta certo un appiattimento sui metodi meccanicisti della fisica, ma al contrario programmare avendo nel proprio bagaglio l'incertezza e l'irreversibilità, la distinzione tra *capitale naturale e capitale prodotto* dall'uomo e l'attenzione alla complessità e alla globalità dei cicli biogeochimici. Comporta, inoltre, l'abbandono del riduzionismo e del determinismo nell'analisi economica e nel pensare il concetto stesso di equilibrio economico.
Vi è un celebre aforisma di Oscar Wilde secondo il quale un economista è un uomo che conosce il prezzo di tutto e il valore di niente. Daly afferma con forza che, di tutti i campi di studio, l'economia è proprio l'ultimo che dovrebbe essere libero dai valori.
Già nel 1977 Daly aveva chiaramente evidenziato le contraddizioni tra equilibrio di mercato ed equilibrio biofisico:

"Il mercato cerca l'equilibrio fra comportamenti senza considerare i limiti ecologici che sono necessari a preservare l'equilibrio biofisico. Non c'è alcun motivo di attendersi che un equilibrio fra comportamenti di breve periodo coinciderà con un equilibrio biofisico di lungo periodo. Infatti è chiaro che questo non si verificherà sotto le attuali istituzioni. L'equilibrio comportamentistico fra risparmi e investimenti programmati si verifica, quasi sempre, a livelli positivi di risparmio e investimento netto. Investimento netto positivo significa crescita, e questa, a sua volta, implica un *throughput* crescente e uno squilibrio biofisico crescente.
Probabilmente gli ortodossi economisti della crescita risponderebbero che se soltanto fosse possibile internalizzare tutti i costi ecologici nei prezzi monetari, allora l'equilibrio di mercato coinciderebbe con quello ecologico. È un po' come Archimede che diceva che se avesse avuto un fulcro e una leva sufficientemente lunga sarebbe stato in grado di sollevare il mondo. (...) Nessuno ha mai preteso che gli equilibri di mercato coincidano automaticamente con gli equilibri ecologici oppure con una distribuzione, ragionevolmente giusta, del reddito e delle ricchezze. Nessuno ha neppure mai preteso che gli equilibri di mercato raggiungano il pareggio, l'equilibrio demografico. Le nozioni autentiche di "equilibrio" in economia e in ecologia sono antitetiche. Nell'economia della crescita l'equilibrio non si riferisce affatto a grandezze fisiche, ma a un bilancio di desideri fra risparmiatori e investitori. In quanto il risparmio è più grande del deprezzamento, allora l'investimento netto deve essere positivo. Questo implica un crescente flusso di input fisici da e di output alla natura, cioè, uno squilibrio biofisico. Le condizioni fisiche

[3] Comunicazione personale di H.E. Daly all'Autore, ottobre 1994

dell'equilibrio ambientale devono essere imposte al mercato in termini fisici sulla base di quantitativi fissati a livello globale".

Daly cita a questo proposito il famoso esempio del battello:

"L'internalizzazione delle esternalità è una buona strategia per adattare in modo ottimale l'allocazione di risorse, facendo sì che i prezzi relativi rappresentino, in modo più appropriato, i costi marginali sociali relativi. Ma ciò non rende il mercato capace di fissare i propri confini fisici assoluti con l'ecosistema più allargato. Per fare un'analogia: uno stivaggio appropriato distribuisce il peso nel battello in modo ottimale, così da massimizzare il carico trasportato. Ma c'è ancora un limite assoluto a quanto carico un battello possa trasportare, anche se questo è sistemato in modo ottimale. Il sistema dei prezzi può distribuire il peso regolarmente, ma, a meno che non sia integrato da un limite assoluto esterno, continuerà a distribuire uniformemente il peso addizionale fino a che il battello, pur caricato in modo opportuno, affonda".

Per definire lo stato stazionario Daly parte dalla prima legge della termodinamica e cioè dal fatto che energia e materia non possono essere né create né distrutte, ma solo trasformate: *l'uomo trasforma le materie prime in merci e le merci in rifiuti.* Prende poi in considerazione la seconda legge della termodinamica e l'entropia per definire i vincoli e i flussi di un "sistema aperto" *in stato stazionario o in equilibrio biofisico con l'ambiente esterno*. Daly individua nella seconda legge dell'entropia la coordinata fisica fondamentale della scarsità:

"Se non fosse per la legge dell'entropia, non ci sarebbe alcuna perdita; potremmo bruciare lo stesso litro di benzina in eterno, e il nostro sistema economico non avrebbe alcun rapporto con il resto del mondo della natura".

Si arriva così alla definizione di *economia in stato stazionario:*

"se usiamo il termine *crescita* per indicare un cambiamento quantitativo e il termine *sviluppo* per riferirci a una modifica qualitativa, allora possiamo dire che l'economia in stato stazionario si sviluppa ma non cresce, proprio come la Terra di cui l'economia umana è un sottosistema. Una ricchezza sufficiente, mantenuta e allocata efficientemente, distribuita in modo equo, e non per massimizzare la produzione, costituisce il giusto fine economico".

I valori etici e i vincoli biofisici trovano così la loro convergenza nell'economia in stato stazionario o in equilibrio biofisico, le cui teorie hanno portato, dieci anni dopo, alla messa a punto del concetto di sviluppo sostenibile.

L'equilibrio sostenibile

Il processo di degrado ambientale può essere rallentato solo ritrovando un accordo con l'*equilibrio biologico* e con la complessità del sistema naturale. Dal punto di vista biologico si può senz'altro affermare che aumento della complessità dei rapporti e aumento della diversità di informazione genetica significano aumento della stabilità dell'ecosistema. "Complessità biologica" è quindi sinonimo di stabilità.
Le capacità tecnologiche dell'uomo hanno oggi creato un sistema artificiale la cui potenzialità, per quanto riguarda le modifiche che può arrecare alla natura, è enorme. In genere queste modifiche si traducono in distruzione di alcune specie biologiche o di patrimonio genetico, quindi in distruzione della complessità biologica, in riduzione della diversificazione e dell'adattamento ai mutamenti, in esplosioni di popolazioni determinate, per lo più semplici o semplificate, in vulnerabilità.
Da ciò deriva che una seria analisi socioeconomica non può prescindere dalla conoscenza scientifica dei grandi equilibri biologici e dal peso che in essi hanno i concetti di rinnovabilità e di limitatezza delle risorse e le leggi della termodinamica.
Entropia, evoluzione: non possiamo sottrarci alle loro leggi; il processo entropico e il processo evolutivo hanno una sola direzione e questa non può essere cambiata. Il tempo non può essere capovolto. Ma sulla velocità di questi processi (cioè sulla loro derivata rispetto al tempo) possiamo esercitare la nostra influenza. Il nostro modo di vivere, di consumare, di comportarci decide la velocità del degrado entropico, la velocità con cui viene dissipata l'energia utile e, in ultima analisi, il periodo di sopravvivenza della specie umana.
Si arriva così al concetto di *sostenibilità*, intesa come l'insieme di relazioni tra le attività umane (e la loro dinamica) e la biosfera (con le sue dinamiche, generalmente più lente). Queste relazioni devono essere tali da permettere alla vita umana di continuare, agli individui di soddisfare i loro bisogni e alle diverse culture di svilupparsi, ma in modo tale che le variazioni apportate alla natura dalle attività antropiche stiano entro certi limiti così da non distruggere il contesto biofisico globale.
Se riusciremo ad arrivare a un'economia da equilibrio sostenibile, così come indicato da Daly, le future generazioni potranno avere almeno le stesse opportunità che sono state offerte alla nostra. In altre parole, il rapporto tra economia ed ecologia, ancora in gran parte da costruire, passa dalla strada dell'equilibrio sostenibile.

Nelle sue analisi economiche, Charles Perrings fa giustamente riferimento sia allo stato stazionario di Daly che alla termodinamica di Prigogine e mette in guardia i colleghi economisti sostenendo che "non è tutto oro quel che luccica nei modelli di sviluppo di equilibrio a lungo termine".
Jean-Paul Deléage sottolinea che l'evoluzione della società umana, oggi, rappresenta un rischio per gli equilibri fondamentali della biosfera e per la sopravvivenza stessa dell'umanità.
Edgar Morin ci rende consapevoli del fatto che viviamo sulla minuscola pellicola che avvolge un minuscolo pianeta perso nel gigantesco universo: difenderne il sostenibile equilibrio significa difendere la lunga storia della vita su questo pianeta e la lunga storia delle generazioni che verranno.

Le basi scientifiche della teoria della sostenibilità

Le nuove teorie dello *sviluppo sostenibile* e dell'*Ecological Economics* ci pongono davanti un nuovo paradigma: non più un'economia basata su due parametri, il lavoro e il capitale, ma un'economia ecologica che riconosce l'esistenza di tre parametri, il *lavoro*, il *capitale naturale* e il *capitale prodotto dall'uomo*. Intendendo per capitale naturale l'insieme dei sistemi naturali (mari, fiumi, laghi, foreste, flora, fauna, territorio), ma anche i prodotti agricoli, della pesca, della caccia e della raccolta e il patrimonio artistico-culturale presente nel territorio, si vede come sia fondamentale oggi investire in questa direzione.
Scrive Daly:

"Per la gestione delle risorse rinnovabili ci sono due ovvi principi di sviluppo sostenibile. Il primo è che la velocità del prelievo dovrebbe essere pari alla velocità di rigenerazione (rendimento sostenibile). Il secondo, che la velocità di produzione dei rifiuti dovrebbe essere uguale alle capacità naturali di assorbimento da parte degli ecosistemi in cui i rifiuti vengono emessi. Le capacità di rigenerazione e di assorbimento debbono essere trattate come capitale naturale, e il fallimento nel mantenere queste capacità deve essere considerato come consumo del capitale e perciò non sostenibile".

Daly abbandona così le certezze dell'economia classica e il determinismo della "mano invisibile del mercato" affrontando il tema della complessità ecologica in questi termini:

"Ci sono due modi di mantenere il capitale totale intatto. La somma del capitale naturale e di quello prodotto dall'uomo può essere tenuta a un valore costante; oppure ciascuna componente può essere tenuta

singolarmente costante. La prima strada è ragionevole qualora si pensi che i due tipi di capitale siano sostituibili l'uno all'altro. In quest'ottica è completamente accettabile il saccheggio del capitale naturale fintantoché l'uomo produce un capitale di valore equivalente. Il secondo punto di vista è ragionevole qualora si pensi che il capitale naturale e quello prodotto dall'uomo siano complementari. Ambedue le parti devono, quindi, essere mantenute intatte (separatamente o congiuntamente ma con proporzioni fissate) perché la produttività dell'una dipende dalla disponibilità dell'altra. La prima strada è detta della *sostenibilità debole*, la seconda è quella della *sostenibilità forte.*
Il capitale naturale e il capitale prodotto dall'uomo sono fondamentalmente complementari e, solo in misura marginale, possono essere considerati intercambiabili. Quindi è la sostenibilità forte il concetto rilevante, anche se la sostenibilità debole rappresenta un utile primo passo avanti. Il flusso di risorse naturali e lo stock di capitale naturale che lo genera sono la causa materiale della produzione; lo stock di capitale che trasforma gli input di materia grezza in prodotti è la causa efficiente della produzione. Non si può sostituire una causa efficiente con una causa materiale: non si può costruire la stessa casa di legno con metà legname, non importa quante seghe o martelli si pensa di sostituire.
Alcuni preconcetti ci impediscono di vedere l'ovvio: in particolare che la pesca è limitata dalla popolazione dei pesci nel mare non dal numero di pescherecci; che il legname è limitato da ciò che rimane delle foreste non dal numero delle segherie. Più segherie e più pescherecci non danno come risultato maggior legname e più pesce pescato. Per questo c'è bisogno di più foreste e di un maggior numero di pesci nel mare. Il capitale naturale e il capitale prodotto sono complementari; e il capitale naturale è divenuto il fattore limitante. Più capitale prodotto, lungi dal sostituire il capitale naturale, fa aumentare la domanda di quest'ultimo in maniera complementare, facendolo diminuire per supportare temporaneamente il valore del capitale prodotto e rendendolo, in tal modo, ancora più limitante per il futuro".

Oggi stiamo vivendo la *transizione da un'economia da "mondo vuoto" a un'economia da "mondo pieno"*: in questa seconda fase l'unica strada di sostenibilità passa dall'investire nella risorsa più scarsa, nel fattore limitante. Sviluppo sostenibile significa, quindi, investire nel capitale naturale e nella ricerca scientifica sui cicli biogeochimici globali che sono la base stessa della sostenibilità della biosfera.
Infatti cosa consegue, secondo Daly, se accettiamo il fatto che il capitale naturale e quello prodotto dall'uomo sono complementari e non possono sostituirsi l'uno all'altro? Ne consegue che il fattore in minore quantità sarà un fattore limitante. Se i due fattori fossero intercambiabili nessuno dei due potrebbe essere un fattore limitante perché la produttività dell'uno non dipenderebbe dalla disponibilità dell'altro. Una

volta assunto che, al contrario, essi sono complementari dobbiamo domandarci quale dei due sia il fattore limitante, cioè quale sia disponibile in minor misura.
Il precedente ragionamento implica la tesi che il mondo sta passando da un'era in cui il fattore limitante era il capitale prodotto dall'uomo a un'era in cui il fattore limitante è quel che rimane del capitale naturale.
Scrive ancora Daly:

"Oggi la quantità di petrolio greggio estratta è limitata dalla disponibilità di petrolio nei pozzi (o anche dalla capacità dell'atmosfera di assorbire CO_2), non dalla capacità di estrazione; la produzione agricola è spesso limitata dalla disponibilità d'acqua, non dai trattori o dalle mietitrici. Siamo passati da un mondo relativamente ricco di capitale naturale e privo di capitale prodotto (e di uomini), a un mondo che è, al contrario, povero di capitale naturale e ricco di capitale prodotto. In un processo produttivo, un flusso di materia e di energia di origine naturale è trasformato in un flusso di prodotti finali da parte di un certo numero di agenti di trasformazioni, ossia lavoro e capitale.
Capitale e lavoro sono sostituibili l'uno all'altro fino a un certo grado, perché in un processo di produzione la loro funzione qualitativa è la stessa: sono infatti entrambi agenti di trasformazione del flusso di materia prima in prodotti finiti. Ma i ruoli qualitativi di risorse e capitale sono totalmente diversi: la stessa differenza che c'è tra trasformatore e trasformato, tra stock e flusso".

Daly identifica, a questo proposito, tre approcci:
- *l'imperialismo economico*, che si ha quando il sistema economico incorpora gli ecosistemi, mettendo i flussi di materiali e di energia sotto l'influenza regolatoria dei prezzi;
- *il riduzionismo ecologico*, che si ha quando il sistema economico viene trattato come un sottosistema dell'ecosistema;
- *lo stato stazionario*, che si ha quando i flussi di materiali e di energia tra l'economia e l'ambiente vengono limitati dalla sostenibilità.

Abbiamo visto che nella passata era di *economia da mondo vuoto*, il capitale umano era il fattore limitante. Noi, come si è detto, stiamo ora entrando in un'era di *economia da mondo pieno*, in cui il capitale naturale sarà sempre più il fattore limitante. Lo sviluppo sostenibile richiede che il capitale naturale rinnovabile sia mantenuto intatto. Rimane la categoria delle risorse non rinnovabili che, strettamente parlando, non possono essere mantenute intatte a meno di non rinunciare al loro uso (ma se tali risorse non possono essere mai usate, allora non c'è alcun bisogno di conservarle per il futuro!).

È tuttavia possibile sfruttare le risorse non rinnovabili in maniera "quasi sostenibile", graduandone la velocità di sfruttamento in base a un corretto confronto con la velocità di creazione di sostituti rinnovabili.
L'uso quasi sostenibile di risorse non rinnovabili richiede che ogni investimento nello sfruttamento di una risorsa non rinnovabile sia bilanciato da un investimento compensativo in un sostituto rinnovabile (per esempio, che l'estrazione del petrolio venga bilanciata dalla coltura di alberi che consentano di produrre alcol da legna).
Daly parla di tre comunità: *comunità tra la gente, comunità con le specie non-umane, comunità con le future generazioni.* Partendo dalla critica dell'economia orientata alla crescita, che ha portato all'attuale disastro ambientale, pone le basi per una nuova economia e una nuova etica sociale. La base di questa etica è la comunità con il futuro (o solidarietà generazionale) necessaria per "lasciare ai nostri nipoti un pianeta ancora in grado di sostenere una vita in comunità".
Fino a oggi l'economia ha trattato, correttamente, il capitale prodotto dall'uomo (come per esempio le macchine) usando la prima legge della termodinamica e le quantità conservative a essa relative: l'energia e la materia. L'economia ortodossa ha assunto tutto l'impianto teorico del meccanicismo e del determinismo e, con esso, la reversibilità del tempo. Ma il "capitale naturale" (ieri trascurabile, oggi fattore limitante e, quindi, fondamentale) appartiene a un altro tipo logico, quello dei sistemi lontani dall'equilibrio, quello dei sistemi complessi in evoluzione. È allora conseguente trattare il capitale naturale in termini evolutivi e non-conservativi (entropia, strutture dissipative, processi irreversibili, caos dinamico); assumere fino in fondo il ruolo costruttivo del tempo e della probabilità. In poche parole sostituire, negli studi economici ed ecologici, la fisica classica con la *fisica evolutiva*.
Le economie infatti, come sottolinea Matthias Ruth, sono sistemi aperti contenuti in un ecosistema (la biosfera) col quale scambiano materia ed energia. Sia i sistemi economici che gli ecosistemi si trovano in uno stato stazionario, lontano dall'equilibrio, e soltanto modelli dinamici evolutivi, basati su quantità e su funzioni irreversibili e non-conservative, potranno permettere di capire la complessità delle interazioni tra capitale naturale e capitale prodotto dall'uomo, tra biosfera e sistema produttivo, tra natura (di cui siamo parte integrante) e attività economica. Questa è la grande sfida della fisica, dell'economia e dell'ecologia per il nuovo millennio: una sfida che si gioca in un campo, quello della termodinamica, e che ha un protagonista molto particolare: il tempo. Si tratta di evitare un duplice tentativo di riduzionismo: quello di separare la parte dal

tutto, eliminando le relazioni, e quello di separare una cosa dal suo divenire, di vederla staticamente, nell'attimo fuggente, un attimo fermo che non esiste in natura. L'irreversibilità e l'asimmetria del tempo sono proprietà intrinseche della natura e tali sono le relazioni. Anche una particella elementare non esiste da sola, in quel dato istante, ma esiste insieme alle relazioni con le altre particelle e con l'ambiente circostante ed esiste immersa nel fluire del tempo, nel suo *clinamen* lucreziano.

Investire nel capitale naturale, con uno sguardo a Venezia e alla sua laguna

Nel maggio del '97 è uscito, sulla più prestigiosa rivista scientifica mondiale, *Nature*, un articolo a più mani, che ha non solo confermato la validità di un approccio che faccia precedere alle analisi sulle singole tematiche o sui singoli interventi le necessarie basi epistemologiche, scientifiche, politiche e culturali per leggere gli interventi stessi, ma che ha dato al percorso proposto la dignità di strada maestra per la costruzione dello sviluppo sostenibile. Il primo firmatario del lavoro è il professor Robert Costanza, presidente della International Society for Ecological Economics (ISEE), dell'Università del Maryland, uno dei padri fondatori (con Daly e Odum) della teoria dello sviluppo sostenibile.
Il lavoro, ricco di nuovi dati e informazioni oltre che di referenze bibliografiche, è intitolato "The value of the world's ecosystem services and natural capital " e, finalmente, mette nero su bianco riguardo all'importanza di investire nel capitale naturale (così recitava, come ricordato in precedenza, il titolo del Convegno mondiale sullo sviluppo sostenibile tenutosi a Stoccolma nel 1992). Svela una cosa che molti ambientalisti già conoscevano, ma che, per timore reverenziale nei confronti degli economisti ortodossi, non osavano dire: i servizi con cui l'ambiente contribuisce alla ricchezza dell'umanità valgono almeno 33 trilioni di dollari all'anno, mentre il prodotto globale lordo fornito dalle attività umane in un anno è solamente di 18 trilioni di dollari.
Se poi si calcola quanta ricchezza abbiamo perso negli ultimi vent'anni, distruggendo l'ambiente, e quanto lavoro la natura esegue continuamente per il nostro benessere, forse possiamo trovare la chiave di lettura per un'economia sempre più povera in alcune zone del pianeta e che provoca disoccupazione dilagante, nonostante l'aumento di quello "stupido" indicatore di sviluppo costituito dal PIL.
L'articolo farà epoca, sia perché su di esso si getteranno quei fondamentalisti che non accettano che l'ambiente venga "calcolato" e "monetizzato" (ma, ovviamente, il calcolo non si riferisce ai valori estetici o etici, al paesaggio o alla bellezza o alla rarità), sia perché molti economisti grideranno all'eresia. Esso pone le basi per poter, oggi, sostenere

con forza che, dato che siamo passati da un'economia a mondo vuoto a un'economia a mondo pieno, è cosa saggia e giusta sul piano politico ed economico investire meno nella produzione di merci industriali e investire molto di più nel conservare, difendere e far servire l'ambiente, ottenendo il duplice obiettivo di attivare un enorme numero di posti di lavoro e di aumentare il benessere materiale della società, proprio in termini di ricchezza prodotta.
Ovviamente il discorso vale in maniera del tutto particolare (e con priorità di comando) per Venezia e per la sua laguna, dato che ci troviamo di fronte a uno dei capitali naturali più ricchi del mondo. Capitale naturale inteso (sulla base della teoria dello sviluppo sostenibile) come somma degli ecosistemi, delle specie biologiche, delle risorse prodotte dalla natura (ad esempio le valli da pesca), della biomassa prodotta in un anno, del patrimonio artistico, storico, culturale e architettonico, dell'informazione immagazzinata.
Se investiremo in questo capitale naturale, nella sua produzione rinnovabile, nella sua capacità di produrre ancor più ricchezza, costruiremo benessere e lavoro per le future generazioni, superando la strada senza uscita della falsa crescita economica, della monocultura industriale, delle obsolete tecnologie petrolchimiche.
Ma analizziamo più in dettaglio il lavoro su *Nature*. In esso, gli autori raggruppano i servizi offerti dagli ecosistemi in diciassette categorie, li analizzano, li stimano. Le conclusioni principali sono così riassunte:

"I servizi dei sistemi ecologici e gli stocks di capitale naturale che li producono sono critici per il funzionamento del sistema che sostiene la vita sulla Terra. Essi contribuiscono al benessere umano (*welfare*), sia direttamente che indirettamente, e rappresentano parte del valore economico totale del pianeta.
Per l'intera biosfera, il valore (la maggior parte del quale è fuori mercato) è stimato tra 16 e 54 trilioni di dollari (USA) all'anno, con una media di 33 trilioni di dollari. Data la natura delle incertezze, questa dev'essere considerata una stima minimale. Il prodotto globale lordo (Global Gross National Product - GNP) totale corrisponde a circa 18 trilioni di dollari all'anno".

I diciassette servizi analizzati comprendono, tra l'altro, la regolazione e depurazione dell'acqua, il controllo dell'erosione, i cicli dei nutrienti, la produzione di cibo, le risorse genetiche, le zone umide, ecc[4].
Il primo scopo dichiarato dagli autori è di "aiutare a modificare i sistemi di contabilità nazionale per meglio tener conto del valore dei servizi degli ecosistemi e del capitale naturale", proprio perché "non cresce il benessere (*welfare*), al crescere del GNP".

[4] Gli studi, le ricerche e i calcoli sono stati convalidati e sintetizzati in una settimana di workshop intensivo al National Center for Ecological Analysis and Synthesis dell'Università della California, a Santa Barbara

Il secondo scopo dichiarato riguarda la valutazione dei benefici di specifici progetti o interventi (e questa è la ragione per cui ogni intervento su Venezia andrebbe valutato in termini di indicatori di sostenibilità integrati). Nell'articolo viene sottolineato che, essendo i servizi degli ecosistemi fuori dal mercato e incerti, tali servizi vengono spesso ignorati o sottovalutati, portando a errori nella costruzione dei progetti i cui costi sociali ed economici rischiano di essere superiori ai benefici indotti.
L'articolo conclude affermando che "dal momento che il capitale naturale e i servizi degli ecosistemi saranno sempre più stressati e scarsi in futuro, il loro valore crescerà".
La transizione indicata non è indolore (per quanto riguarda molti privilegi acquisiti, specialmente nel settore del petrolio) né semplice. Siamo di fronte a una proposta con una valenza rivoluzionaria rispetto all'economia ortodossa. Si tratta di passare da fonti energetiche fossili a fonti energetiche rinnovabili e pulite (biomasse, eolico, solare, cogenerazione, ecc.); si tratta di passare da un'organizzazione basata sull'economia di scala e su grandi insediamenti industriali, a un'economia diffusa nel territorio e su piccola scala che difenda i servizi svolti dall'ambiente; si tratta, anche, di costruire uno sviluppo sostenibile condiviso partendo dalla partecipazione attiva di chi vive in un certo ambiente, senza ascoltare sirene fondamentaliste o scettici schiavi dei loro stereotipi tecnologici.
L'effetto serra, le piogge acide, la desertificazione, il buco dell'ozono, l'inquinamento, la distruzione delle foreste e della biodiversità, l'erosione, l'eutrofizzazione, la disoccupazione dilagante sono lì a indicarci con un'evidenza non più eludibile che la strada della crescita economica senza limite è una strada senza ritorno, è una strada senza qualità e senza valori. È una strada (lo sappiamo dal 15 maggio 1997 dalla rivista *Nature*) che non porta più al benessere economico: il capitale naturale è il patrimonio che i nostri avi ci hanno lasciato, prendiamocene cura al fine di rilanciare un'economia veramente sostenibile. Le considerazioni precedenti indicano, per Venezia, una possibile strada da seguire, riassumibile in tre punti:

- costruire una *Venezia sostenibile*, con la sua laguna e le attività agricole dell'entroterra, facendone un punto di riferimento internazionale ed europeo, applicando sia a livello di turismo, sia a livello ecologico e di risorse naturali, sia a livello di riconversione industriale i principi dello sviluppo sostenibile con l'attivazione di posti di lavoro nella direzione appunto del cosiddetto *sustainable employment*;
- applicare al sistema la modellistica ecologica basata sugli indicatori di sostenibilità al fine di individuare i settori di intervento;

- utilizzare i dati del Servizio Informativo e le esperienze maturate all'interno del Consorzio Venezia Nuova per il progetto di cui sopra, trasformando gli interventi in un quadro di *politica sostenibile condivisa* e in una *situazione di "manutenzione - difesa - sviluppo sostenibile" permanente*.

In particolare si tratta di considerare l'ambiente come risorsa, di basarsi su energie rinnovabili e produzioni agroenergetiche integrate (biomasse), di valorizzare i rapporti tra prodotti naturali e artigianato, le risorse ittiche, le attività agrituristiche ed ecoturistiche, di trattare i rifiuti in veri e propri cicli produttivi, di investire nel capitale naturale.

Rendere maggiormente vivibile la laguna e mettere a disposizione l'informazione su ogni piccolo luogo e su ogni particolare del territorio (di interesse naturalistico, paesaggistico, artistico, storico, ecc.) significa muoversi nella direzione della sostenibilità: in altre parole si potrebbe fare in modo che il territorio intero ospiti, nell'arco dell'anno, molto più turismo di adesso (l'offerta del prodotto ittico di qualità e le visite alle valli da pesca sono due importanti aspetti per un turismo sostenibile) e, nello stesso tempo, sarebbe opportuno snellire il turismo non sostenibile, rendendolo più rarefatto nello spazio e nel tempo.

Tutto questo comporta *una laguna pulita, ambientalmente sana, tutelata nella complessità dei suoi elementi morfologici, nella sua biodiversità*.

La *conditio sine qua non* per l'avvio di un progetto di sostenibilità globale è l'allontanamento del traffico petrolifero e di tutte le attività a rischio, inconcepibili in un luogo così ricco di storia, di arte e di natura.

La via maestra da seguire è quella indicata dagli studi del "Progetto Venezia 21" della Fondazione ENI Enrico Mattei (ovviamente il progetto ENI sul metano nell'Adriatico è in netta contraddizione con lo sviluppo sostenibile), laddove si scrive che l'obiettivo è quello del "mantenimento della laguna, che va però disinquinata" e che si deve dare "via libera a un'economia di servizi e immateriale"; aggiungendo che si tratta di attivare lavori nei seguenti campi: telematica, produzione ittica, cantieristica minore, vetro, artigianato del legno, restauro artistico, restauro edilizio, ecoturismo, agricoltura, chimica verde, ricerca scientifica, educazione ambientale, vallicoltura, riconversione ambientale di Porto Marghera.

Ha perfettamente ragione Ignazio Musu a sostenere che "è ben noto come la presenza di strutture di formazione ad alto livello e di promozione della ricerca svolgano un ruolo essenziale nella qualificazione dell'economia urbana verso attività immateriali ad alto valore aggiunto".

Un progetto sostenibile, quindi, in cui la ricerca scientifica sia costantemente presente; un progetto che rifugga da scenari fondamentalisti dal punto di vista ambientale, ma che non sia subalterno a visioni industrialiste di crescita materiale; un progetto, infine, in cui la sostenibilità sia costruita valutando sempre i valori dei servizi dell'ambiente e del capitale naturale.
Ma perché tutto questo non rimanga nel "libro dei sogni" è necessario costruire uno stretto rapporto tra i vari attori istituzionali, creando una *sostenibilità condivisa*, e individuare quelle trame sottili che uniscono i vari interventi e le varie tipologie di sviluppo sostenibile.

Bibliografia

Costanza R., D'Arge R., De Groot R., Farber S., Grasso M., Hannon B., Limburg K., Naeem S., O'Neill R. V., Paruelo J., Raskin R. G., Sutton P. e Van Den Belt M., T*he value of the world's ecosystem services and natural capital*, "Nature", 387, pagg. 253-260, 1997.
Daly H.E., *Lo stato stazionario*, Sansoni, Firenze 1977.
Daly H.E., *Operationalizing Sustainable Development by Investing in Natural Capital, ISEE Conference*, Stoccolma, agosto 1992.
Daly H.E. e Cobb J.B., *For the Common Good*, Beacon Press, Boston 1989.
Deléage J.P., *Storia dell'ecologia*, cuen, Napoli 1994.
Morin E. e Kern A.B., *Terra-Patria*, Raffaello Cortina Editore, Milano 1994.
Musu I., *Lo sviluppo sostenibile di Venezia nell'ottica dell'Agenda 21*, Rapporto di ricerca 01.97, Fondazione eni Enrico Mattei, Venezia 1997.
Perrings C., *Economia e ambiente*, Etas libri, Milano 1992.
Ruth M., *Integrating Economics, Ecology and Thermodynamics*, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht 1993.

Maria Teresa Brotto*

Il Mose e lo sviluppo sostenibile di Venezia e della sua laguna**

Premessa
La complessità del caso Venezia e gli interventi di salvaguardia

Lo sviluppo sostenibile costituisce uno dei temi prioritari delle politiche dell'Unione Europea focalizzate alla corretta integrazione tra crescita economica, benessere sociale e protezione ambientale.
Il concetto di sostenibilità si articola, dunque, attraverso questi tre principali fattori, in relazione ai quali scelte e strategie ambientali devono essere programmate e organizzate in modo tale da permettere uno sviluppo, regolato e dinamico, tra sistema naturale e sistema antropico al fine di garantire la conservazione delle risorse del Pianeta e il mantenimento degli standard di progresso dell'uomo.
Nell'ambito delle attività di competenza dello Stato per la salvaguardia di Venezia, i possibili scenari di sostenibilità fisica e ambientale del "Sistema laguna" vengono analizzati per fornire risposte, via via più attuali e complete, alle nuove linee strategiche europee di sviluppo sostenibile attraverso un insieme di studi, progetti e opere.
Tali attività sono comprese in un vasto *Piano degli interventi* (definito dal Governo italiano negli anni successivi all'alluvione del 1966 e attuato dal Magistrato alle Acque di Venezia mediante il suo concessionario, Consorzio Venezia Nuova) il quale sia nella fase di elaborazione che nella fase di realizzazione operativa ha riconosciuto e valorizzato la complementarietà tra la difesa di Venezia, con il suoi straordinari beni storici e architettonici, e la tutela dell'ecosistema lagunare, integrando la protezione dalle acque alte con il ripristino del patrimonio naturale oltre che con i programmi di riqualificazione e crescita delle attività socioeconomiche.
Da questo punto di vista, Venezia e la laguna rappresentano un esempio della complessità del problema della sostenibilità, funzionale al superamento del *trade-off* tra progresso economico e salvaguardia ambientale.
Nel corso del '900, lo sviluppo industriale del comprensorio veneziano ha provocato importanti conseguenze sull'ecosistema lagunare ed è ormai affermata la necessità di armonizzare la crescita economica locale con l'obiettivo di raggiungere e mantenere adeguati livelli di protezione ambientale. Date le molteplici relazioni tra le realtà e le dinamiche che compongono il "Sistema Venezia", la finalità di perseguire uno sviluppo sostenibile sotto il profilo ecologico, sociale ed economico rappresenta una sfida: per la storia della città e del territorio, caratterizzata da una progressiva co-evoluzione tra componenti naturali e componenti antropiche, e per la complessità delle problematiche e l'insieme di servizi e funzioni forniti dal Sistema stesso.

* L'ing. Maria Teresa Brotto, è Responsabile, per il Consorzio Venezia Nuova, del coordinamento della progettazione delle opere del Mose. Di recente è stata nominata Amministratore delegato di Thetis spa

** In questo articolo è riportata la relazione che l'Autore ha presentato al Forum Internazionale dell'S.T.S (*Science and Technology in Society*), nell'ambito della sessione "Developing Human Habitat: Adaptation to Climate Change". Il Forum si è svolto a Kyoto, in Giappone, dal 3 al 5 ottobre 2010

Bocca di porto di Lido
Cantieri in corso. In primo piano la realizzazione dei cassoni di alloggiamento delle paratoie. Al centro della foto, la nuova isola che raccorda le due schiere di paratoie previste per questa bocca di porto. Sullo sfondo, il centro storico di Venezia

Bocca di porto di Lido
Dall'alto al basso, predisposizione degli impianti all'interno dei cassoni di alloggiamento delle paratoie; realizzazione degli edifici tecnici e dei tunnel impiantistici sulla nuova isola

Il Governo italiano, attraverso la realizzazione del progetto Mose per la difesa dalle acque alte, ha colto questa sfida sul futuro della laguna, proponendo lo sviluppo di un modo nuovo di gestione integrata del sistema territoriale veneziano.
Il ruolo del Mose va dunque considerato non solo in riferimento alla "difesa fisica" di Venezia, ma anche collocando la sua realizzazione nel quadro delle complesse attività di protezione del patrimonio storico, culturale e ambientale, anche a fronte delle questioni imposte dai cambiamenti globali in atto. Per fare ciò è necessario focalizzarsi sia sui processi esecutivi legati alla realizzazione dell'opera sia, soprattutto, sui processi di produzione e applicazione delle conoscenze legate a un intervento così articolato, complesso e pervasivo di gestione di un ecosistema nella sua interezza.
L'ecosistema veneziano è interazione tra natura e artificio, tra ambiente e società, tra ecologia ed economia per cui risulta più che mai necessario declinare le attività di salvaguardia in termini di sostenibilità e compatibilità, alla luce della consapevolezza che i sistemi complessi evolvono continuamente in risposta alle sollecitazioni cui sono sottoposti, richiedendo dunque capacità inconsuete di gestione adattiva delle politiche e degli interventi.

Il progetto Mose
Una risposta "di sistema"

Come detto, Venezia e la sua laguna rappresentano una realtà molto complessa, data la molteplicità delle problematiche e dei processi che la caratterizzano, dove lo sviluppo sostenibile assume una dimensione del tutto particolare in quanto strettamente dipendente dalla diversità degli scenari evolutivi possibili, soprattutto per quanto riguarda i cambiamenti climatici attesi per i prossimi decenni.
A questo proposito, le attuali linee strategiche europee di sviluppo sostenibile promuovono la ricerca di soluzioni nazionali alla questione della sostenibilità nelle aree marittime, anche in risposta alla necessità di applicare misure destinate a risolvere i problemi dell'ambiente e a consentire l'utilizzazione accorta e razionale delle risorse e dei servizi naturali.
Obiettivi prioritari, in tale ambito, sono arrestare la perdita della diversità biologica, garantire la conservazione e l'uso sostenibile della biodiversità marina e istituire una rete mondiale di zone marine protette entro il 2012.
La soluzione strategica individuata dal Magistrato alle Acque di Venezia, con il Consorzio Venezia Nuova, come ottimale per la salvaguardia fisica e ambientale del territorio lagunare consiste in un sistema combinato di opere che comprende il sistema Mose (con dispositivi mobili in grado di chiudere temporaneamente le bocche di porto

In questa pagina
Bocca di porto di Malamocco
Cantieri in corso.
In basso, costruzione dei cassoni di alloggiamento delle paratoie

Nella pagina seguente
Bocca di porto di Chioggia
In alto, la sponda nord della bocca di porto con il nuovo porto rifugio, dotato di una doppia conca di navigazione per il passaggio dei pescherecci con le paratoie in funzione. Il bacino lato mare del porto rifugio (in primo piano) è provvisoriamente utilizzato per la realizzazione dei cassoni di alloggiamento delle paratoie.
In basso, una fase dei lavori per la protezione del fondale in corrispondenza della schiera di paratoie e una veduta aerea della bocca di porto

lagunari in caso di pericolo) oltre a interventi di rialzo locale delle rive, compatibili con la struttura architettonica e socio-economica degli abitati, efficaci per le maree che determinano gli allagamenti più frequenti. La complementarietà di questi interventi definisce un sistema di difesa estremamente funzionale che consente di limitare il ricorso al Mose a 3/5 volte l'anno con l'attuale livello del mare.
Inoltre, parallelamente ai lavori del Mose, nelle zone lagunari soggette a significativi fenomeni di degrado vengono realizzati interventi di recupero morfologico e naturalistico.
Tra le attività per la salvaguardia, il sistema Mose rappresenta lo strumento fondamentale di adattamento alle minacce che i cambiamenti climatici rappresentano per le aree costiere.

L'avanzamento dei lavori

La costruzione del Mose potrà essere ultimata, in relazione alla continuità dei finanziamenti, nel 2014. A oggi è stato completato oltre il 60% delle opere previste.

Quale sviluppo sostenibile
Scenari evolutivi e strategie adattative

Mentre è noto il significato del concetto di sostenibilità, pur nelle sue diverse interpretazioni e ambiguità, assai meno chiare sono le modalità e le caratteristiche con cui la sostenibilità può essere ottenuta.
Essa è un processo difficilmente rappresentabile in una sequenza di stati di sostenibilità e certamente la sostenibilità di un ecosistema si evolve con il sistema stesso.
La sostenibilità, dunque, implica il dispiegarsi nel tempo di dinamiche che la definizione di possibili scenari evolutivi consente di rappresentare in modo incompleto e sommario, ma tuttavia illuminante ai fini della capacità di prevedere una gestione flessibile e adattativa e di utilizzarne la potenza quale generatore di nuove informazioni e conoscenze del sistema.
I numerosi studi effettuati hanno permesso di valutare come il complesso delle attività di salvaguardia fisica e ambientale, già attuate o in fase di realizzazione ad opera del Magistrato alle Acque, si collochi nella prospettiva di uno sviluppo sostenibile del "Sistema Venezia", inteso come sistema urbano con due punti di riferimento: da un lato la laguna e, dall'altro lato, l'area metropolitana di cui esso è parte.
In questo senso, il "Sistema Venezia" può essere considerato, per molti aspetti, un punto di riferimento internazionale ed europeo: un "laboratorio" funzionale alla realizzazione di attività di protezione ambientale indirizzate all'applicazione dei principi dello sviluppo sostenibile.

Importante e strategico, per uno sviluppo sostenibile condiviso e soprattutto governabile, sarà adeguare progressivamente gli interventi in un'ottica di strategia durevole e partecipata, basandosi sulle numerose esperienze di gestione ambientale maturate in questi anni, nella consapevolezza che, proprio sulla base della specificità degli interventi attuati o in corso (*in primis* quelli del Mose), si dovrà programmare una transizione verso piani e strategie finalizzati non solo alla difesa, allo sviluppo e alla crescita sostenibile e di lungo termine, ma anche alla manutenzione sostenibile.

Il cambiamento climatico

Gli scenari predittivi costituiscono il principale strumento per rappresentare e comprendere gli sviluppi (caratterizzati da elevata incertezza e spesso non adeguatamente compresi) dei sistemi complessi, la cui evoluzione è per sua natura non prevedibile.
Lo sviluppo di tali scenari è, quindi, un processo aperto che comporta una descrizione della situazione iniziale, delle forzanti chiave e dei loro effetti sui cambiamenti del sistema considerandone incertezze e mutabilità.
Generalmente, la probabilità che gli stati definiti in uno scenario si realizzino come previsto è relativamente bassa e diminuisce con l'aumentare della complessità del sistema a cui lo scenario viene applicato.
In un sistema complesso, infatti, la definizione di scenari futuri non può essere ottenuta attraverso modelli semplici né prevedendo relazioni univoche tra le diverse variabili, ma deve considerarne la complessità intrinseca e la dinamicità evolutiva.
Pertanto, l'elaborazione degli scenari risulta sicuramente difficoltosa e necessita di modelli adattativi (*adaptive models*), basati su un continuo approfondimento e aggiornamento delle informazioni che permetta la definizione di sempre nuovi scenari adeguati all'evolversi del sistema.
Da qui la necessità di definire un meccanismo di gestione che permetta di sviluppare e integrare le conoscenze necessarie.
Lo scenario degli effetti dei cambiamenti climatici per l'area veneziana è stato delineato attraverso l'analisi delle proiezioni ottenute applicando 12 diversi modelli dello scenario di emissioni denominato "SERS A2" elaborato dall'IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change - Comitato Intergovernativo sul Mutamento Climatico). Tale scenario ha mostrato che, in assenza di interventi, le temperature dell'aria potrebbero aumentare da 3 °C a 5 °C entro il 2100. La mediana di 12 proiezioni indica per la laguna una potenziale diminuzione del 10% delle precipitazioni parallelamente a un aumento di radiazione solare.

Senza le opere del Mose e senza una gestione controllata dei livelli delle acque lagunari, lo scenario futuro è quello di una laguna non solo sempre più soggetta agli allagamenti, ma anche a un degrado degli habitat caratteristici con la perdita di biodiversità e resilienza.

Conclusioni

L'ecosistema della laguna di Venezia, come ogni ecosistema, dipende ed è influenzato dalle sue caratteristiche fisiche e chimiche. Tali caratteristiche includono sia la componente geomorfologica che l'idrodinamica delle acque, e la sostenibilità dell'ecosistema lagunare dipende da tali elementi oltre che dai processi biologici.
Nella prospettiva di una sostenibilità a lungo termine, i cambiamenti fisico/chimici che possono essere più critici sono quelli che riguardano la perdita di habitat.
In termini strettamente ambientali, le principali necessità individuate, in relazione alle maggiori problematiche, sono dunque:

- controllare il bilancio complessivo dei sedimenti;
- preservare le zone intertidali (barene, velme, bassifondali);
- sviluppare uno schema gestionale che permetta di rispondere a episodi di disturbo di breve durata (inquinamenti occasionali) e a lungo termine quali quelli associati ai cambiamenti climatici, come ad esempio l'innalzamento di temperatura.

Il sistema Mose, con il sofisticato insieme di opere messe in atto per la difesa di Venezia e della laguna, potrà dunque giocare un ruolo fondamentale nei processi di sviluppo sostenibile.
Un ulteriore elemento è costituito dall'opportunità di innovazione rappresentata dalla nuova gestione del sistema lagunare con il potenziale utilizzo delle barriere mobili oltre che per la difesa dalle acque alte, anche per regolare la circolazione idrica all'interno del bacino lagunare in modo da mitigare eventuali effetti dannosi derivanti da temperature elevate, tempi di residenza dell'acqua eccessivamente lunghi e così via.
Un solido contributo è rappresentato, inoltre, dalla prevista concentrazione, anche spaziale (in un luogo quale l'Arsenale di Venezia) delle attività per la gestione del sofisticato sistema di difesa e per la ricerca e l'applicazione di nuove tecnologie in campi orientati ai grandi problemi ambientali del nostro tempo. In questo senso, il sistema Mose è l'occasione anche per lo sviluppo della ricerca per l'adattamento al cambiamento climatico delle zone costiere, in grado di portare a Venezia competenze e attività scientifiche di respiro internazionale nel campo degli ecosistemi costituiti da zone umide.

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

* 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

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-

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).

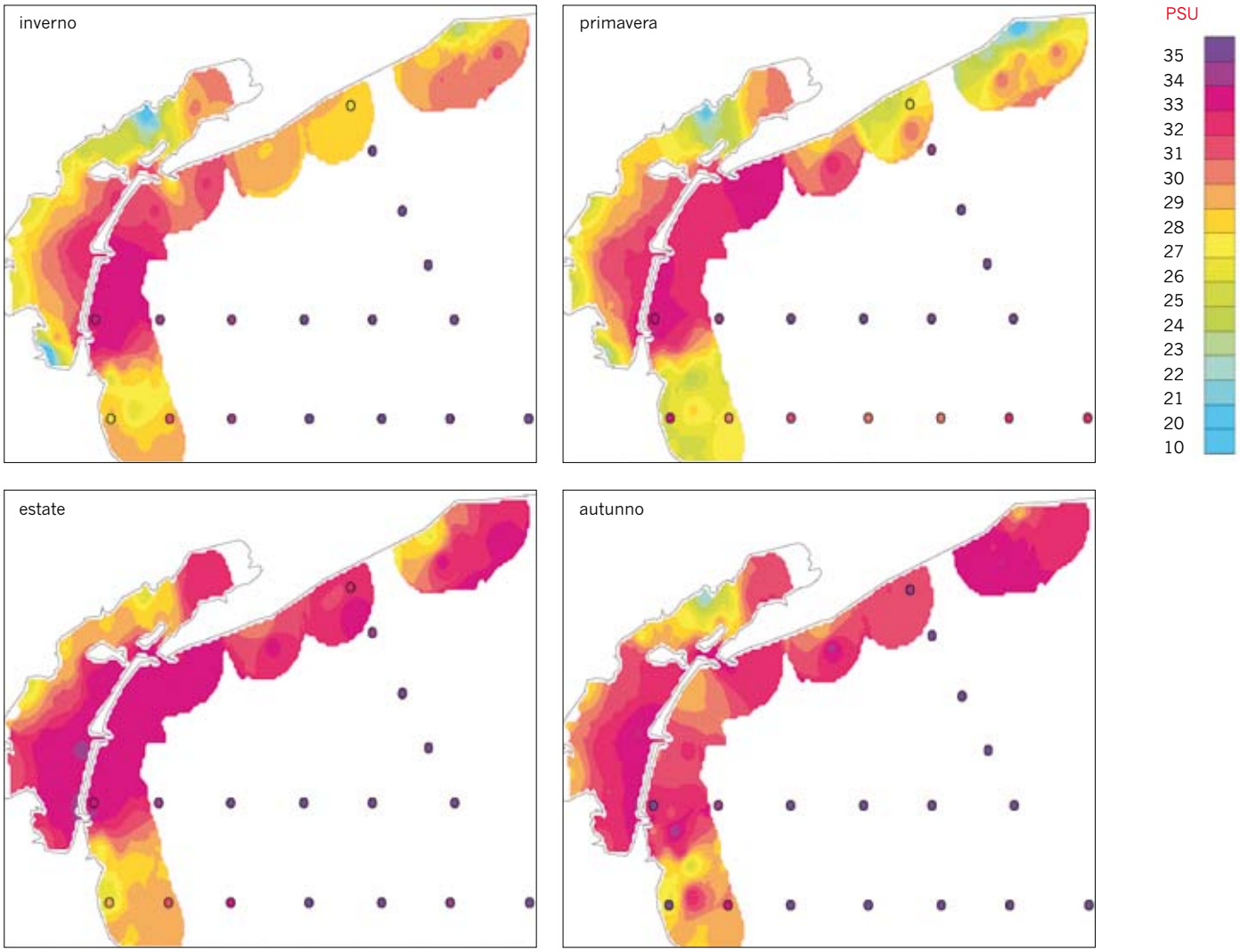
- sperimentare e valutare le tecniche di trattamento dei sedimenti inquinati non ricollocabili in laguna;
- realizzare installazioni e impianti per la gestione dei sedimenti inquinati non ricollocabili in laguna;
- risanare i fondali.

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

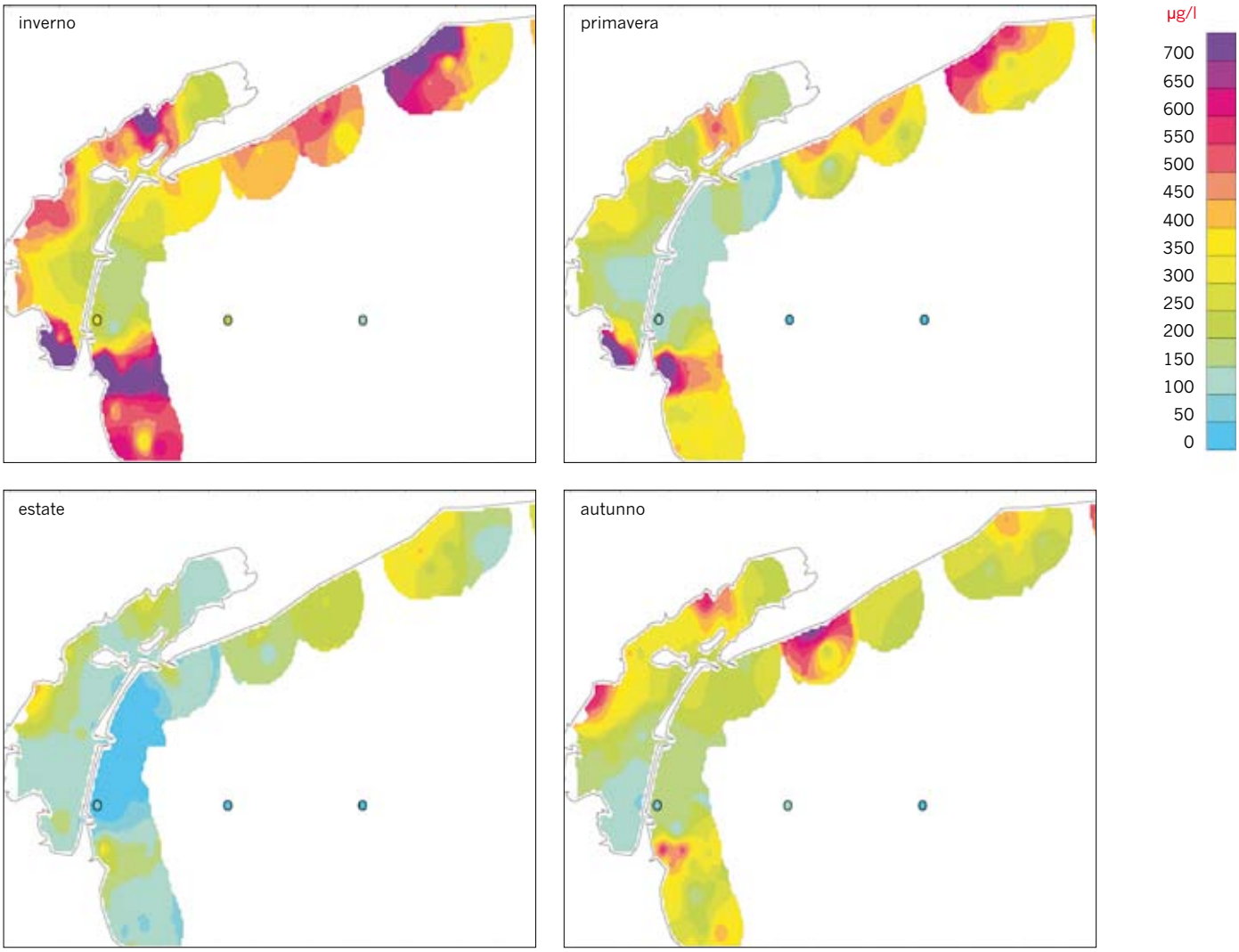


Figura 2
Concentrazioni medie stagionali di nitrato. La distribuzione spaziale dei nitrati, riconducibili agli apporti fluviali, sono di entità paragonabile dentro e fuori la laguna

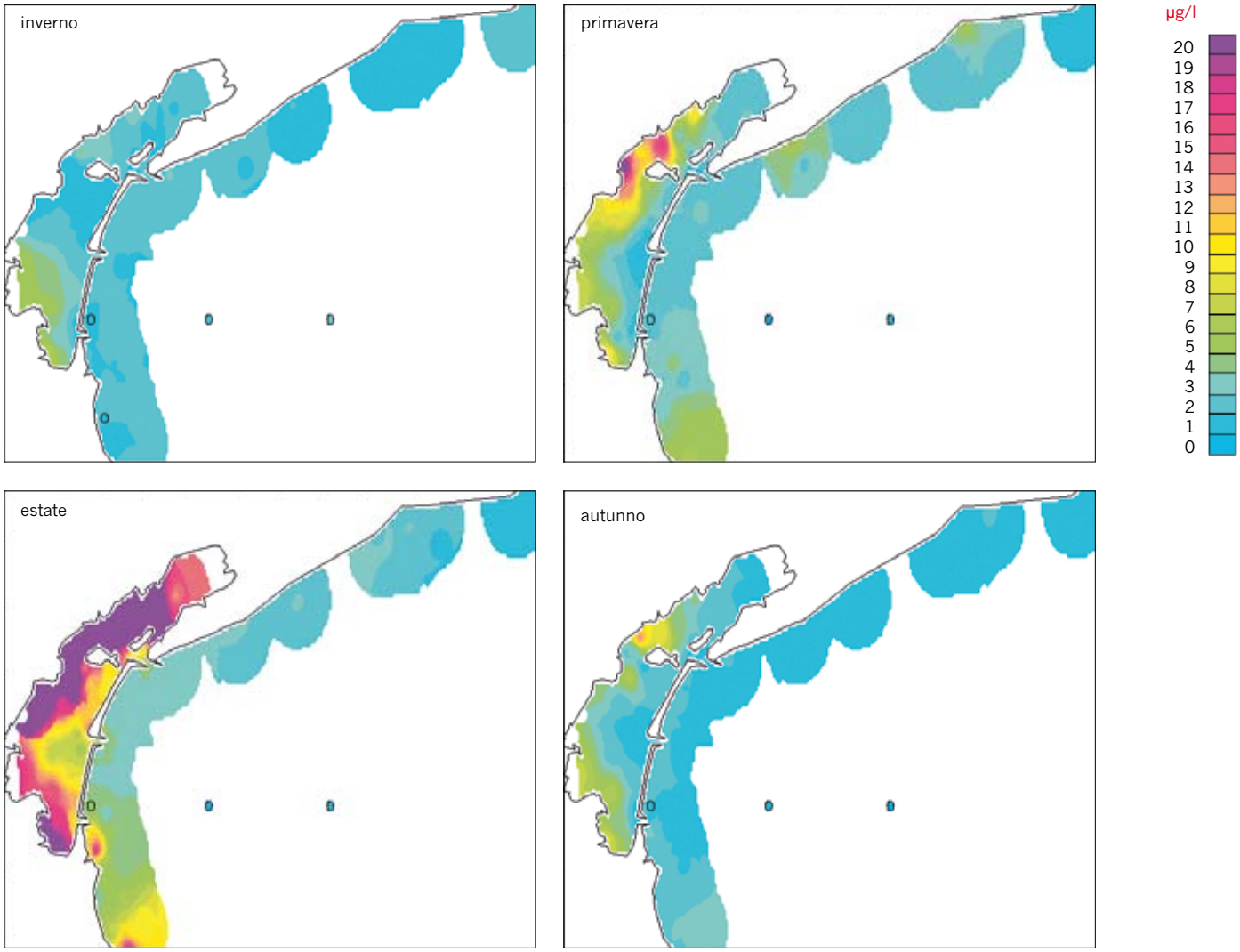


Figura 3
Concentrazioni medie stagionali di clorofilla. La clorofilla è un descrittore strettamente correlato al fitoplancton e indica il livello di produzione primaria dell'ambiente idrico. Magrado il livello paragonabile di nutrienti (varie forme di azoto e fosforo) è evidente dalle figure come la 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.).

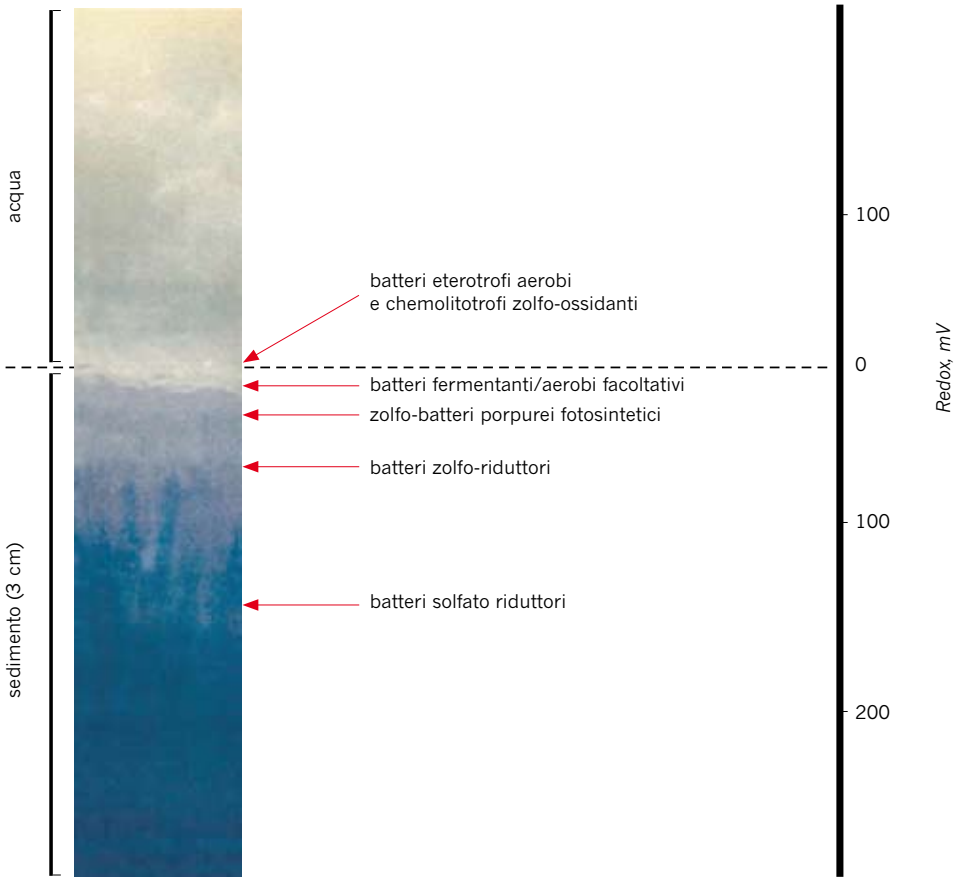


Figura 4
Possibile stratificazione e successione di batteri con metabolismo obbligato in riferimento a una sezione verticale dei primi centimetri di un sedimento lagunare. *Magistrato alle Acque di Venezia, programma MELa3 - Monitoraggio dell'Ecosistema Lagunare, III fase, Rapporto finale sulle comunità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

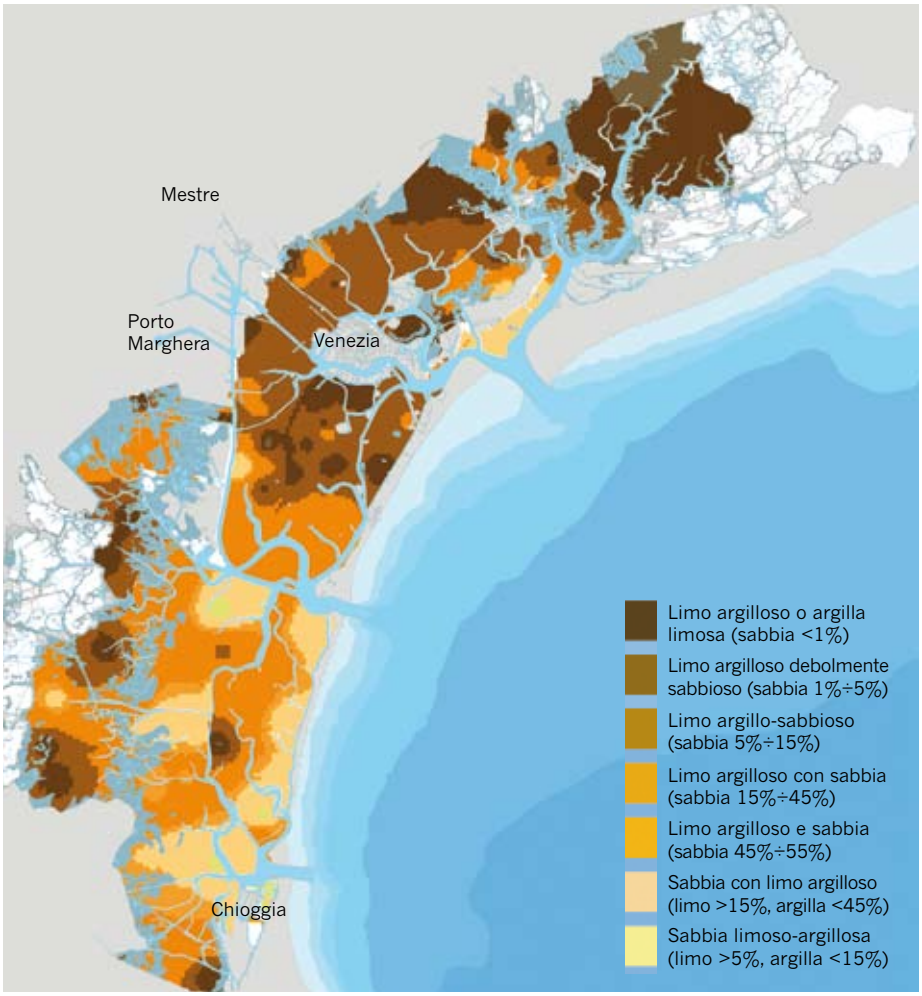


Figura 5
Distribuzione della granulometria dei sedimenti superficiali in laguna. *Magistrato alle Acque di Venezia, Studio B.12.3/III - La funzionalità dell'ambiente lagunare attraverso rilievi delle risorse alieutiche, dell'avifauna e dell'ittiofauna – Rapporto finale, 2005 (SELC)*

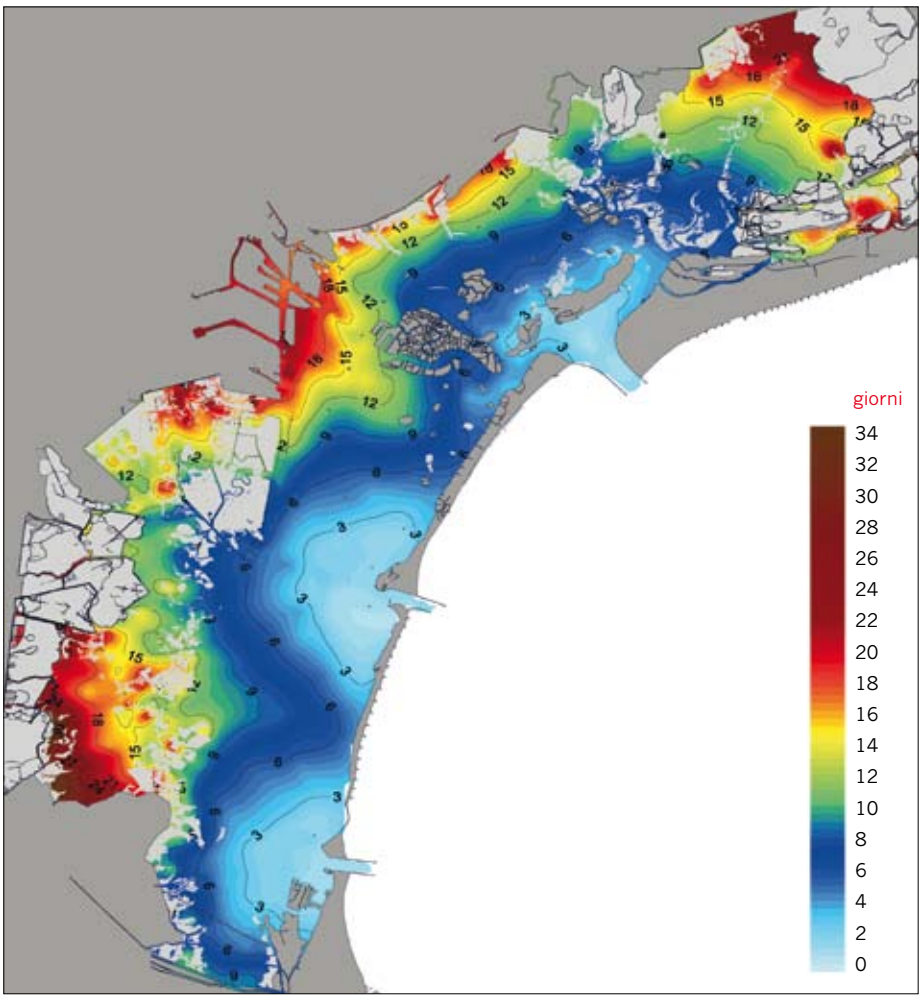
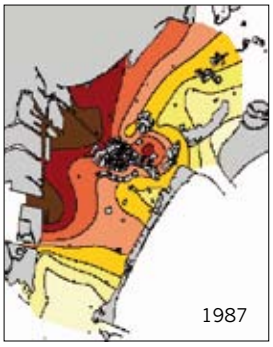
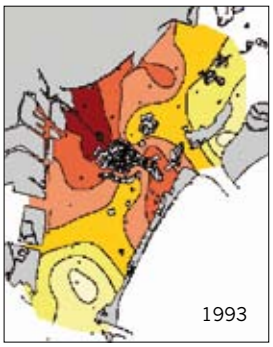
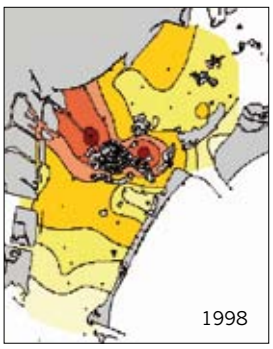


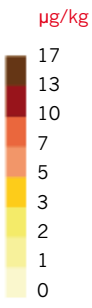
Figura 6
Tempi di residenza delle acque in laguna. *Magistrato alle Acque di Venezia - Servizio Informativo, 2009*

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:

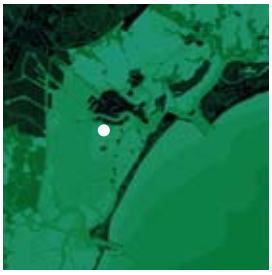
- sostanze potenzialmente pericolose per l'uomo e per l'ambiente;
- sostanze e parametri che regolano la disponibilità di tali sostanze pericolose;
- sostanze che alimentano i processi biologici;
- parametri chimici, fisici e geologici (granulometria, solfati di ferro e manganese, materia organica, ecc.) 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.

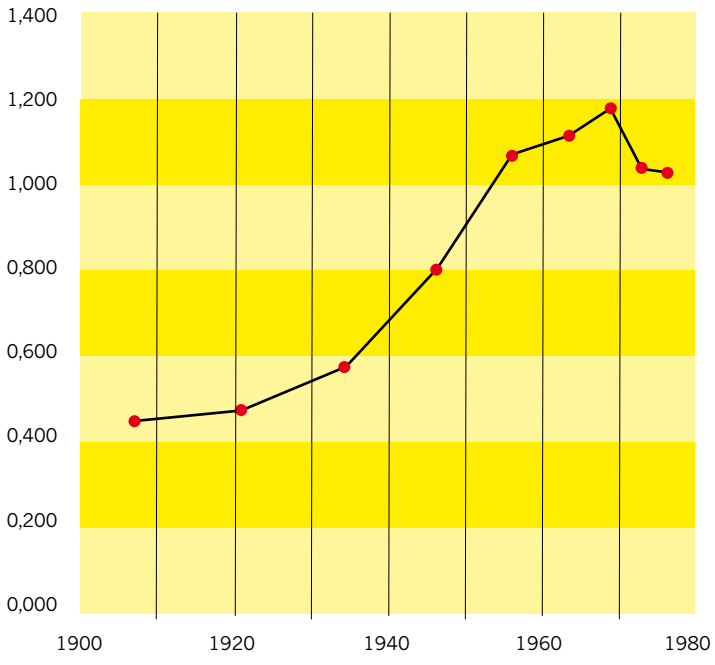
Per la valutazione dei sedimenti di un'area poco inquinata, come sono la maggior parte dei fondali lagunari, più che la conoscenza sullo stato di contaminazione in un certo momento, appaiono essere significativi i dati sull'evoluzione (o meno) della contaminazione (figure 7 e 8).

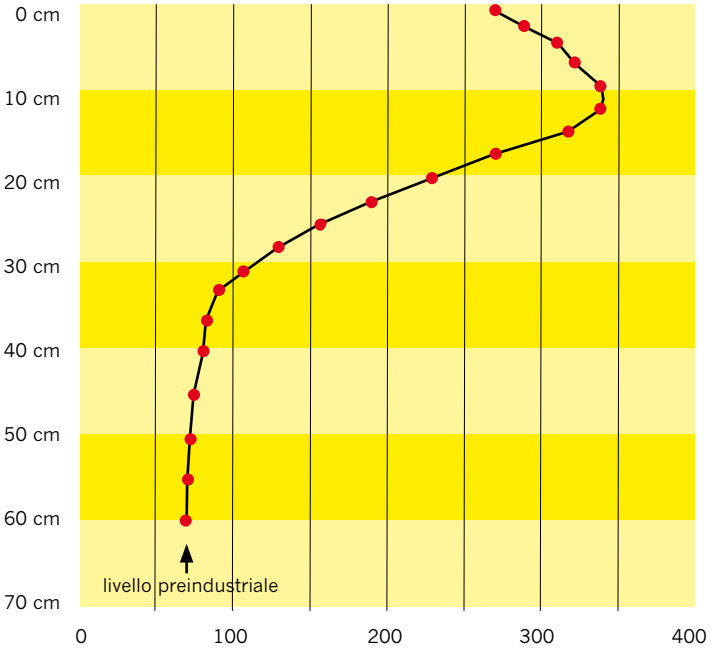
Come già detto, nel tempo i sedimenti anossici hanno immagazzinato e/o degradato gli inquinanti. Ciò ha consentito, per esempio, di attenuare notevolmente la tossicità dei metalli pesanti, poiché i metalli sono stati precipitati come solfuri. Alcuni di questi elementi (come il mercurio e l'arsenico) 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.

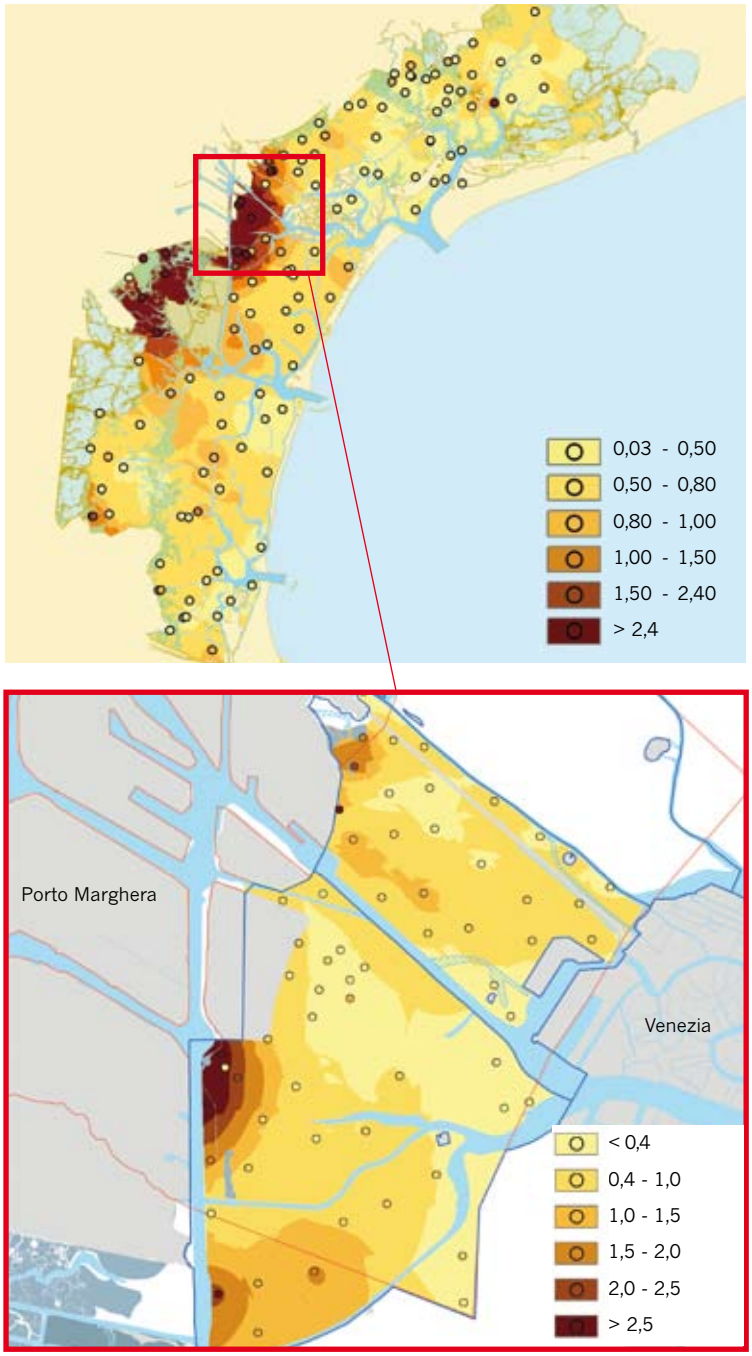


Figure 9 e 10
Distribuzione delle concentrazioni (µg/kg) di esaclorobenzene (HCB) nei sedimenti superficiali dei bassifondali della laghuna. Le due mappe si riferiscono a campioni prelevati a distanza di pochi anni, per cui nel tempo può essersi verificata una variazione delle concentrazioni dovuta a 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)

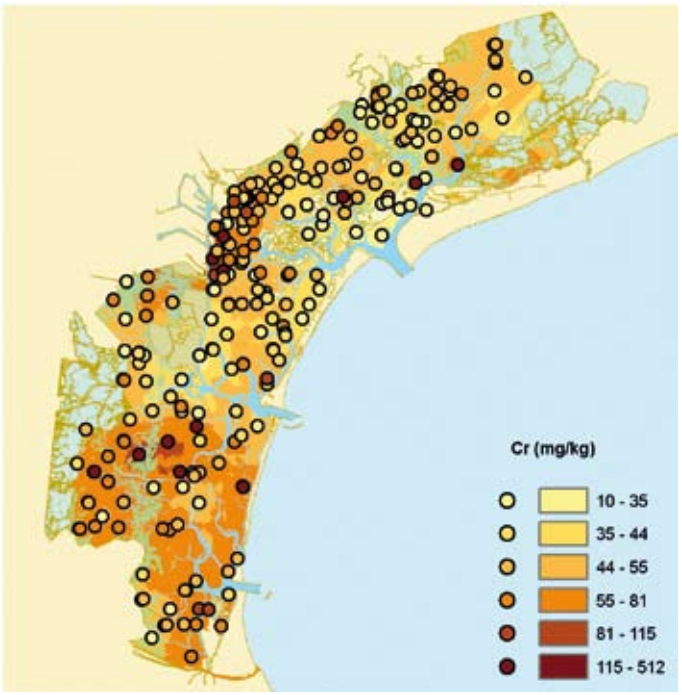
Figure 11-14, nella pagina seguente
Microinquinanti inorganici (metalli). Dall'alto al basso, da sinista a destra: distribuzione di cromo (Cr), mercurio (Hg) zinco (Zn) e piombo (Pb), nei sedimenti superficiali.
In generale, sia per i microinquinanti inorganici che per quelli organici, negli ambiti a 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)

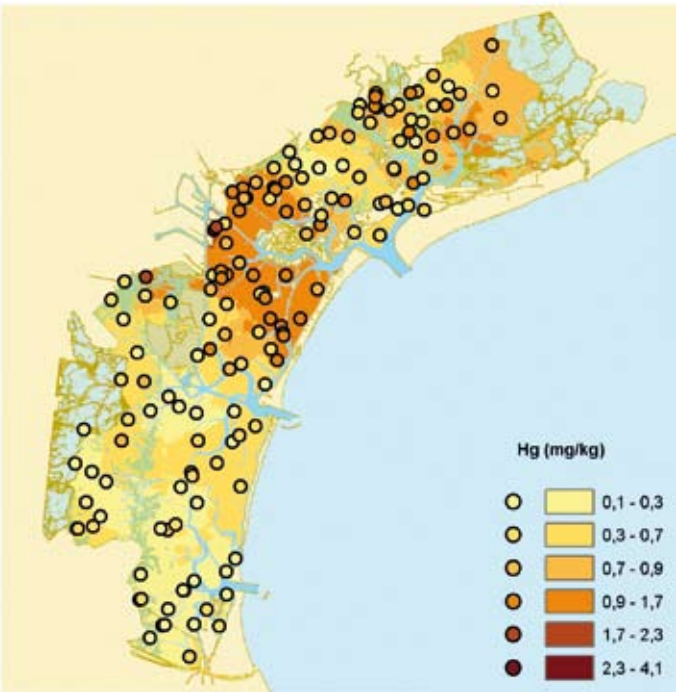
sono molteplici e in buona parte legate ai processi in cui i sedimenti sono coinvolti. In alcuni casi, peraltro, le attività antropiche (come la raccolta di molluschi bentonici) possono invece localmente "omogeneizzare" il sedimento.
Ovviamente, le concentrazioni di contaminanti nei sedimenti risentono 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).

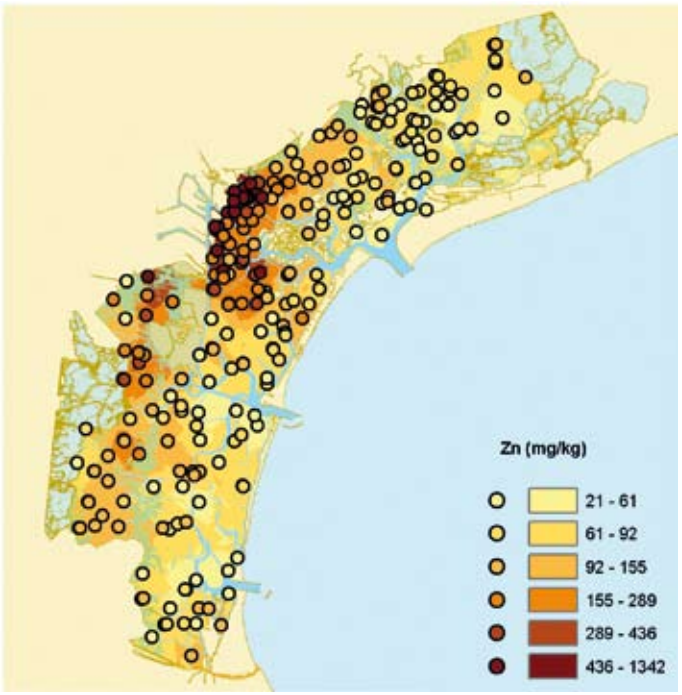
Le dinamiche dei sedimenti nella laguna e il loro impatto sulla morfologia

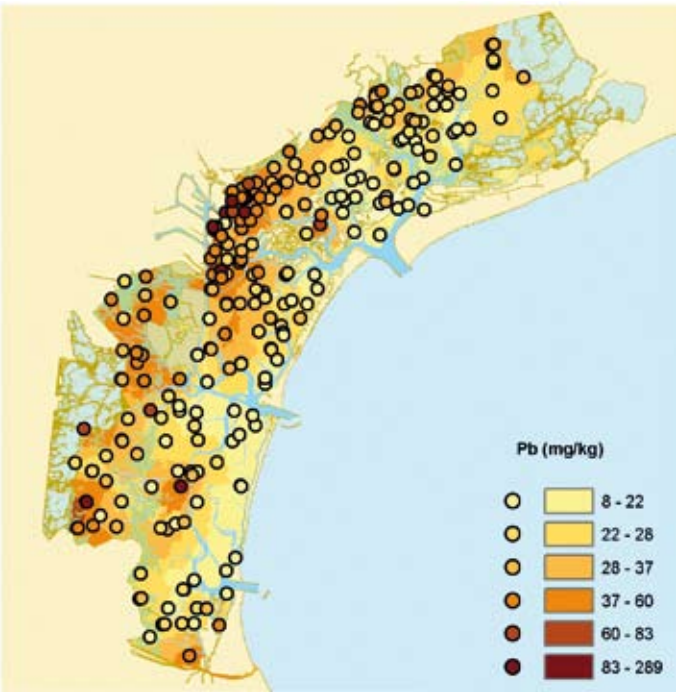
La morfologia dei fondali lagunari, dei canali e dei bassifondali è cambiata moltissimo nel corso dei secoli, e in particolare nel corso del '900, soprattutto a causa di attività dell'uomo:

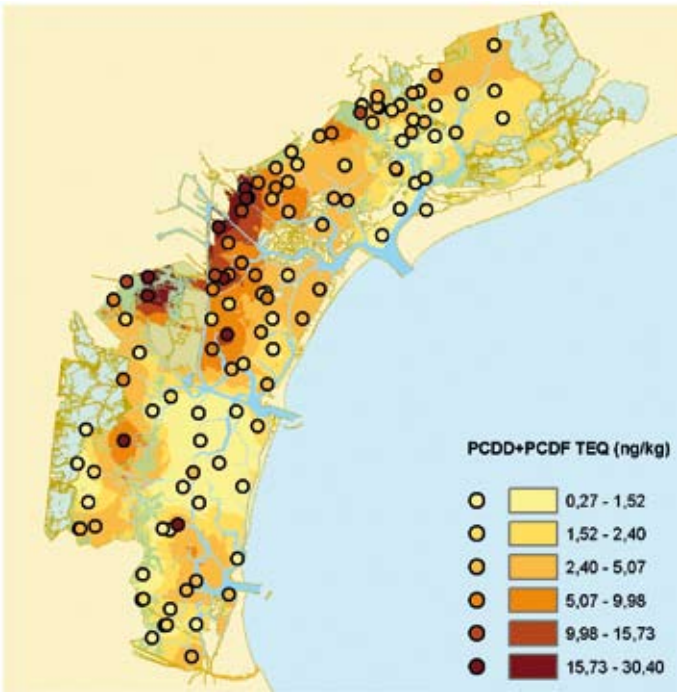
- la diversione delle principali foci fluviali dalla laguna operata tra il XIV e il XIX secolo;

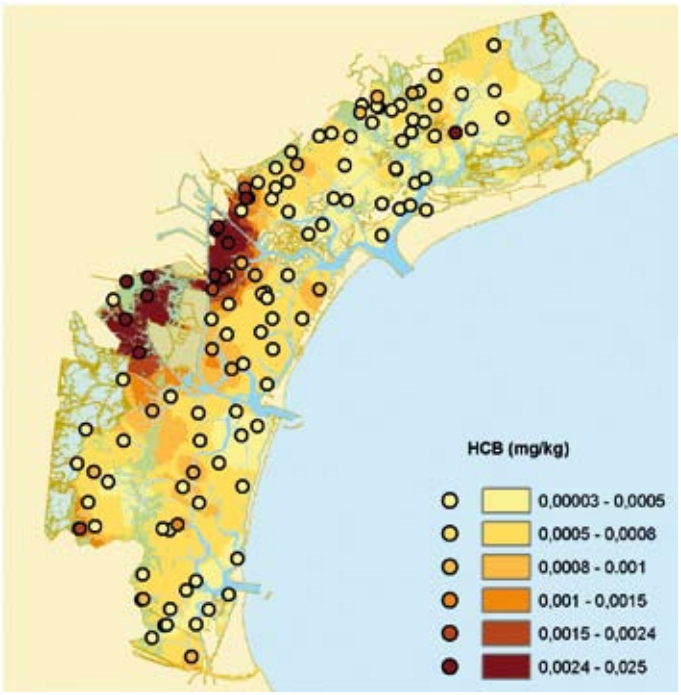

Cr (mg/kg)
10 - 35
35 - 44
44 - 55
55 - 81
81 - 115
115 - 512

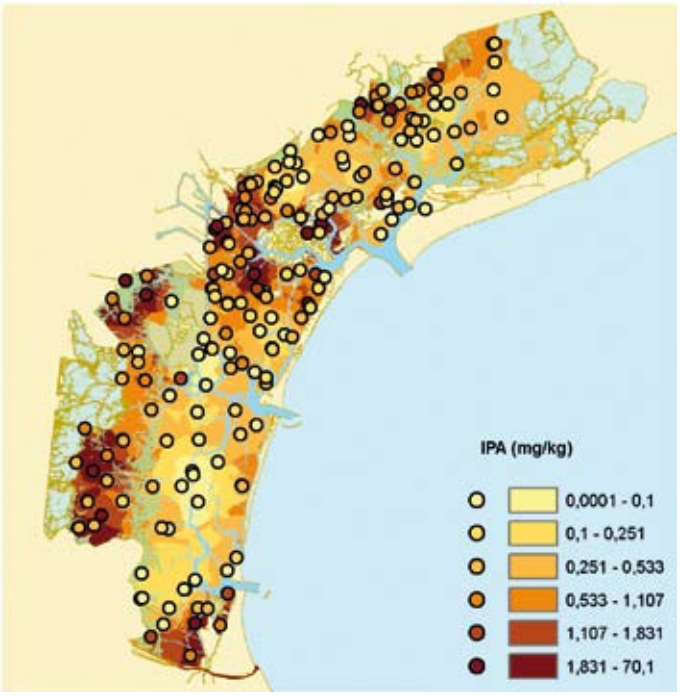

Hg (mg/kg)
0,1 - 0,3
0,3 - 0,7
0,7 - 0,9
0,9 - 1,7
1,7 - 2,3
2,3 - 4,1

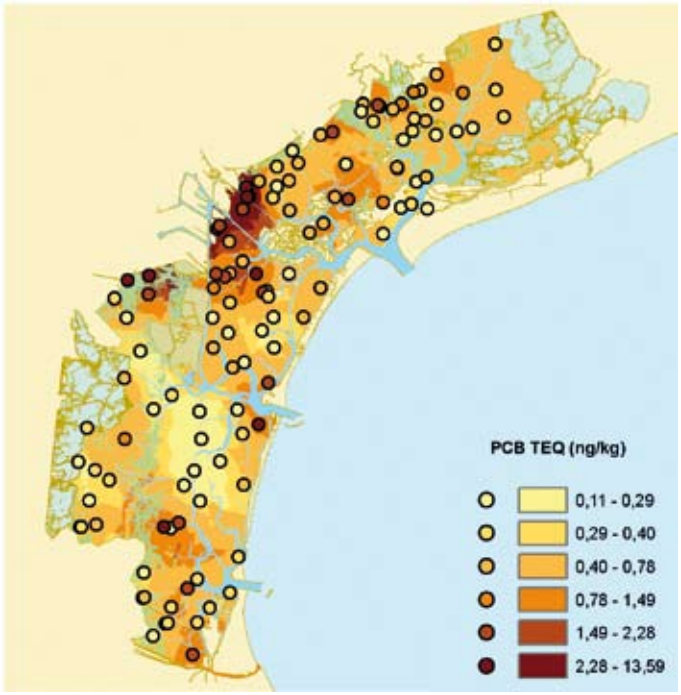

Zn (mg/kg)
21 - 61
61 - 92
92 - 155
155 - 289
289 - 436
436 - 1342


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

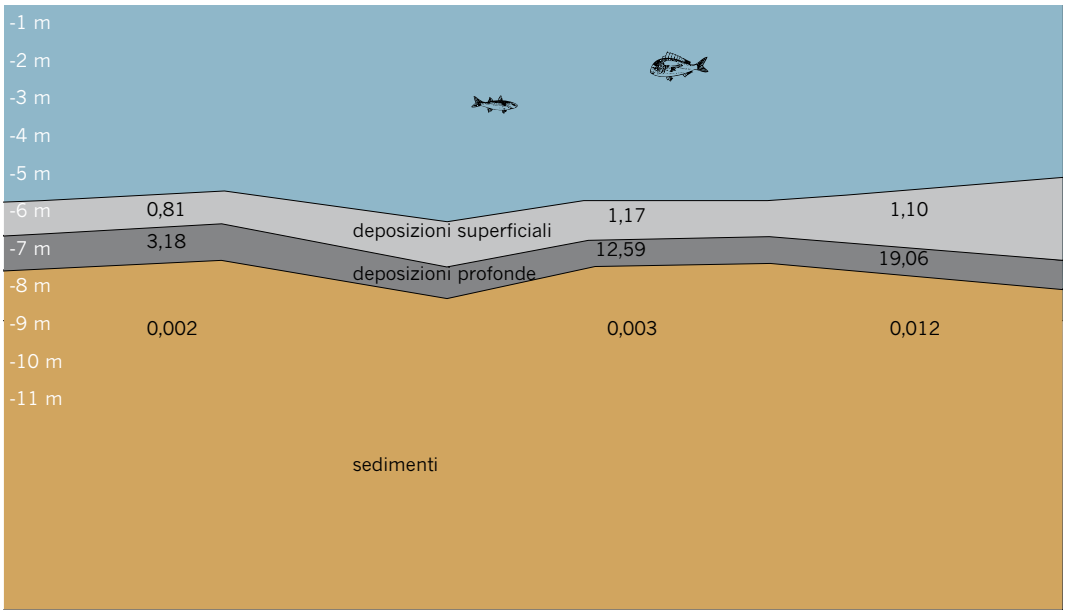


Figure 15-18, a sinistra
Microinquinanti organici. Dall'alto al basso, da sinista a destra: distribuzione di diossine e furani (PCDD e PCDF - teq*), esaclorobenzene (HCB), idrorcarburi policiclici aromatici (IPA), policlorobifenili (PCB - teq) nei sedimenti superficiali.
Magistrato alle Acque di Venezia,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

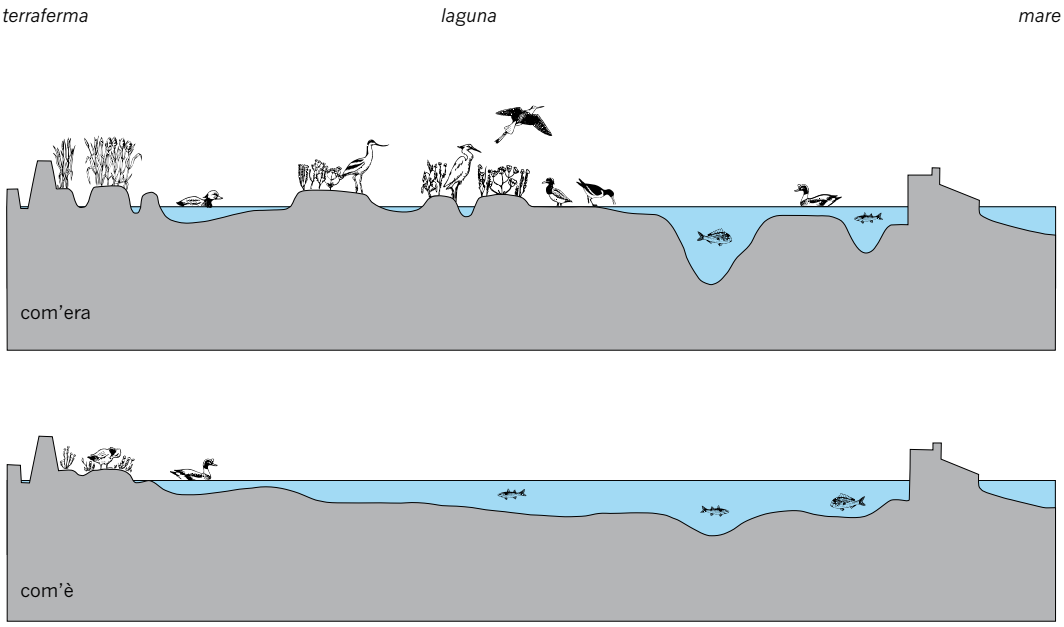


Figura 20
Dinamica evolutiva della laguna negli ultimi secoli.
Il bacino lagunare, oggi, ha una superficie "bagnata" di circa 45.000 ettari di cui 36.600 aperti alle maree, con un volume di soli 550 milioni di m^3 di acque e quindi una profondità media di poco più di 1,5 m. L'alternarsi delle maree rappresenta 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

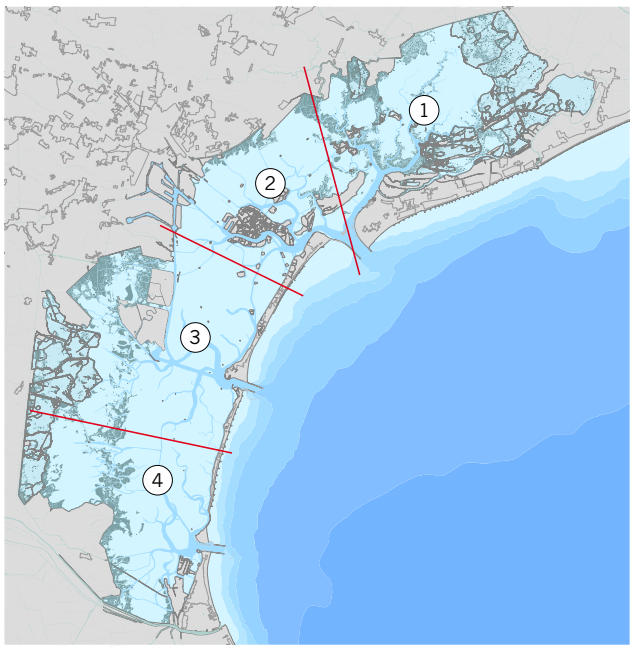


Figura 21
Sottobacini della laguna di Venezia. 1. Nord (Treporti); 2. Centro-nord (Lido); 3. Centrale (Malamocco); 4. Sud (Chioggia)

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.

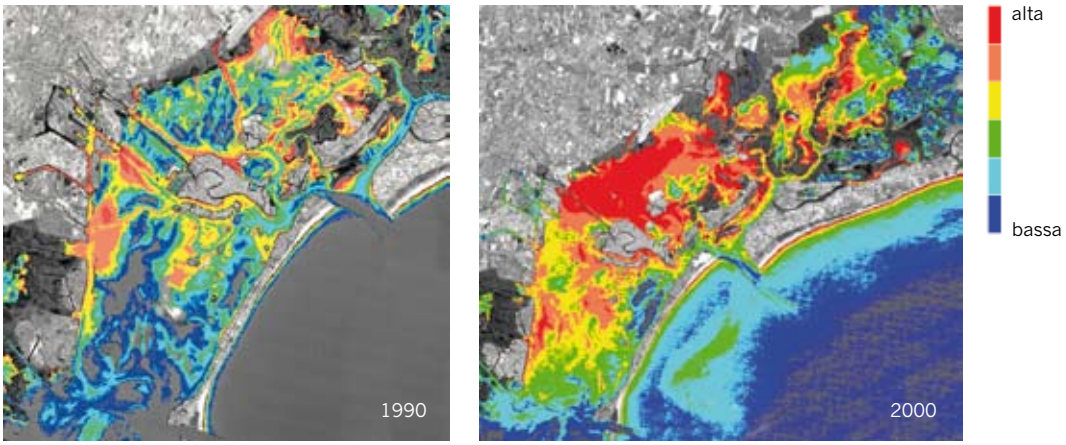


Figure 22-23
Mappe della torbidità.
A sinistra, i sedimenti in sospensione lungo i canali rilevati dall'immagine sono dovuti al traffico acqueo.
A destra, l'ampia area a elevata torbidità a nord di Venezia è dovuta al vento da ESE di 8 nodi. Nel Bacino centrale la torbidità è dovuta al traffico di navi 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)

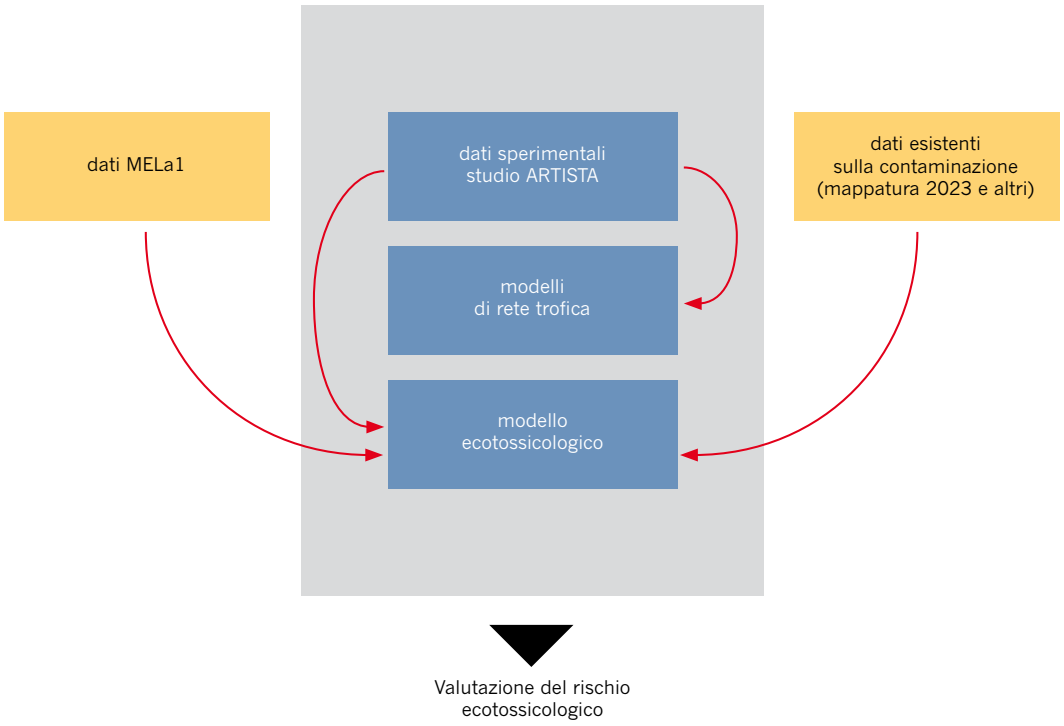


Figura 24
Schema del progetto "ARTISTA". Questo progetto, eseguito nell'ambito del programma MELa1 del Magistrato alle Acque di Venezia (rapporto finale 2003), ha modellato la mobilità e la partizione dei contaminanti organici e inorganici presenti nel sedimento e valutato il loro trasferimento agli 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.3.16/11. *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* mel4*: 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.

United Nations Framework Convention on Climate Change

COMUNICATO STAMPA. LA CONFERENZA DELLE NAZIONI UNITE SUI CAMBIAMENTI CLIMATICI DI CANCUN LANCIA UN PACCHETTO EQUILIBRATO DI DECISIONI E RIPORTA LA FIDUCIA NEL PROCESSO MULTILATERALE*

Cancun, 11 Dicembre 2010

La Conferenza delle Nazioni Unite sui Cambiamenti Climatici si è conclusa sabato scorso a Cancun, Messico, con l'adozione di un pacchetto equilibrato di decisioni, che colloca tutti i governi in una posizione più salda verso un futuro a basse emissioni e sostiene la necessità di un'azione forte nei Paesi in via di sviluppo contro i cambiamenti climatici.

Il pacchetto, denominato "Accordi di Cancun", è stato salutato da un lungo e fragoroso applauso ed acclamato dalle Parti durante l'assemblea plenaria finale.

"Cancun ha fatto il suo dovere. La fiamma della speranza è stata riaccesa ed è stata ristabilita la fiducia sulla possibilità che il processo multilaterale sui cambiamenti climatici porti a dei risultati" ha dichiarato il Segretario esecutivo della Convenzione UNFCCC Christiana Figueres.

"Le Nazioni hanno dimostrato di saper lavorare insieme per raggiungere il consenso intorno a una causa comune e che tale consenso, se è raggiunto attraverso un processo trasparente e inclusivo, può creare opportunità per tutti" ha detto Christiana Figueres.

"I governi hanno dato un chiaro segnale del loro cammino comune verso un futuro a basse emissioni, accordandosi per verificare reciprocamente le azioni intraprese per raggiungere le finalità comuni, e lo hanno espresso in modo da incoraggiare i Paesi a darsi obiettivi più ambiziosi nel tempo".

Le Nazioni hanno lanciato una serie di iniziative e istituzioni volte a proteggere le popolazioni più povere dai cambiamenti climatici e a impiegare le risorse e le tecnologie necessarie affinché i Paesi in via di sviluppo possano pianificare e costruire un proprio futuro sostenibile.

Essi, inoltre, hanno concordato delle azioni concrete, che andranno aumentando con il passare del tempo, per la salvaguardia delle foreste in quegli stessi Paesi.

Hanno infine riconosciuto la necessità, per tutti i Paesi, di impegnarsi a contenere l'aumento della temperatura media planetaria entro 2 °C e hanno stabilito un chiaro programma di revisione, al fine di assicurare un'azione globale in grado di affrontare la realtà emergente del cambiamento climatico.

"Questa non è la fine, ma è un nuovo inizio. Non è ciò che era stato sostanzialmente richiesto, ma costituisce una piattaforma su cui costruire ambizioni più elevate e condivise" ha detto Christiana Figueres.

Gli "Accordi di Cancun" comprendono i seguenti elementi:

- Gli obiettivi dei Paesi industrializzati[1] sono ufficialmente riconosciuti all'interno del processo multilaterale; questi Paesi definiranno piani e strategie di sviluppo a basse emissioni di carbonio e valuteranno il modo migliore per attuarli, anche attraverso i meccanismi di mercato, e per elaborare le loro relazioni annuali in materia.
- Le azioni dei Paesi in via di sviluppo per ridurre le emissioni sono ufficialmente riconosciute nel processo multilaterale.
- Verrà istituito un registro in cui saranno inserite e messe a confronto le azioni di mitigazione dei Paesi in via di sviluppo intraprese con il finanziamento e il supporto tecnologico messi a disposizione dai Paesi industrializzati. I Paesi in via di sviluppo pubblicheranno ogni due anni dei rapporti sui progressi realizzati.
- Le Parti riunite nel Protocollo di Kyoto accettano di continuare i negoziati con il proposito di completare il loro lavoro e di assicurare che non ci sia nessun *gap* tra il primo e il secondo periodo di impegno del trattato.
- I Meccanismi di Sviluppo Pulito (*Clean develop-*

[1] Si tratta degli obiettivi indicati nell'*Accordo di Copenhagen* del dicembre del 2009 [n.d.r.]

*Dal 29 novembre all'11 dicembre del 2010 si sono svolte a Cancun, in Messico, la XVI sessione della Conferenza delle Parti (Conference of the Parties – COP) della Convenzione Quadro delle Nazioni Unite sui Cambiamenti Climatici (United Nations Framework Convention on Climate Change - UNFCCC) e la VI sessione della Conferenza delle Parti del Protocollo di Kyoto (Conference of the Parties serving as the Meeting of the Parties to the Kyoto Protocol – CMP). I lavori, che fanno seguito a quelli svoltisi a Copenhagen nel dicembre 2009 (cfr. *Quaderni Trimestrali* 1.2010), si sono conclusi con l'approvazione da parte di tutti i Paesi partecipanti, a eccezione della Bolivia, di un'articolata serie di documenti denominati "Accordi di Cancun" (*Cancun Agreements*). Essi rappresentano l'esito finale di una complessa opera di mediazione che, dopo la fase interlocutoria di Copenhagen, conferma l'efficacia del processo di negoziazione multilaterale. Gli "Accordi di Cancun" configurano, infatti, un pacchetto di impegni comuni per contenere l'aumento globale della temperatura, per ridurre le emissioni dei "gas serra", per contrastare gli effetti dei cambiamenti climatici, per attivare e sostenere misure di adattamento e mitigazione. Nel loro complesso, i documenti approvati definiscono un percorso realmente trasparente e condiviso che, pur non avendo carattere vincolante, potrà portare a decisioni concrete e cogenti nella prossima conferenza mondiale che si terrà a Durban, in Sudafrica, alla fine del 2011. I risultati dei lavori di Cancun e gli elementi essenziali dei relativi "Accordi" sono stati riassunti nel comunicato stampa dell'UNFCCC qui pubblicato nella traduzione in italiano curata da questa redazione. La versione ufficiale in inglese del Comunicato è pubblicata sul sito del Centro Euro-Mediterraneo *(segue)*

per i Cambiamenti Climatici, nelle pagine del Focal Point IPCC per l'Italia, all'indirizzo *www.cmcc.it/ipcc-focal-point/notizie/11-dicembre-2010-unfccc-kp-principali-conclusioni-della-cop16-cmp6-cancun-messico*. Il testo integrale in inglese dell'insieme dei documenti che costituiscono gli "Accordi di Cancun" è disponibile sul sito dell'UNFCCC all'indirizzo *www.unfccc.int/meetings/cop_16/items/5571.php*

ment mechanisms) del Protocollo di Kyoto sono stati rafforzati per portare maggiori investimenti e tecnologia a progetti ecocompatibili e sostenibili con riferimento alla riduzione delle emissioni nei Paesi in via di sviluppo.

- Le Parti hanno avviato un insieme di iniziative e di istituzioni volte a proteggere i poveri e i vulnerabili dai cambiamenti climatici e a offrire le risorse e le tecnologie necessarie affinché i Paesi in via di sviluppo possano pianificare e costruire un proprio futuro sostenibile.
- La decisione prevede anche un totale di 30 miliardi di dollari di finanziamenti rapidi (*fast start finance*) provenienti dai Paesi industrializzati per sostenere, fino al 2012, l'azione sul cambiamento climatico nei Paesi in via di sviluppo con l'intenzione di raggiungere, entro il 2020, i 100 miliardi di dollari sotto forma di investimenti in fondi a lungo termine.
- Per quel che riguarda i finanziamenti per far fronte ai cambiamenti climatici, è stato avviato un processo per l'istituzione, all'interno della Conferenza delle Parti, di un "Fondo Verde per il Clima" (*Green Climate Fund*) dotato di pari rappresentanza tra i Paesi in via di sviluppo e quelli industrializzati.
- E' stato istituito un nuovo "Accordo Quadro per l'Adattamento" (*Cancun Adaptation Framework*) con l'obiettivo di permettere una migliore pianificazione e implementazione dei progetti di adattamento nei Paesi in via di sviluppo attraverso un maggior finanziamento e supporto tecnico, includendo anche un chiaro programma di lavoro sulla questione delle perdite e dei danni dovuti ai cambiamenti climatici.
- I governi convengono di impegnarsi maggiormente per frenare, attraverso il supporto tecnologico e finanziario, le emissioni dovute alla deforestazione e al degrado delle foreste nei Paesi in via di sviluppo.
- Le Parti hanno istituito un meccanismo sul trasferimento tecnologico, che si avvarrà di un Comitato esecutivo (*Technology Executive Committee*) e sarà coordinato da un centro e una rete (*Climate Technology Centre and Network*) volti ad aumentare la cooperazione tecnologica per sostenere le azioni di mitigazione e adattamento ai cambiamenti climatici.

La prossima Conferenza delle Parti è programmata dal 28 novembre al 9 dicembre del 2011 in Sudafrica.

La Convenzione quadro delle Nazioni Unite sui cambiamenti climatici (UNFCCC)

Con 194 Paesi, la Convenzione UNFCCC è un'istituzione pressoché universale per il numero di Stati aderenti ed è il trattato internazionale che ha dato origine nel 1997 al Protocollo di Kyoto, ratificato da 191 membri della UNFCCC.

In base al Protocollo, 37 Stati, tra i quali figurano Paesi altamente industrializzati e Paesi in fase di transizione verso un'economia di mercato, sono sottoposti a limiti obbligatori nei confronti delle emissioni di gas serra e a obblighi di riduzione delle stesse.

Il fine ultimo di entrambi i trattati consiste nella stabilizzazione delle concentrazioni di gas serra nell'atmosfera a un livello tale da prevenire danni irrimediabili al clima da parte dell'attività dell'uomo.

Intergovernmental Panel on Climate Change - Working Group I

RAPPORTO SU INNALZAMENTO DEL LIVELLO DEL MARE E INSTABIITÀ DEI GHIACCI. PREFAZIONE E SINTESI DELLE DISCUSSIONI E DELLE CONLUSIONI*

Prefazione

L'innalzamento del livello dei mari è una delle più gravi conseguenze a lungo termine dei mutamenti climatici di origine antropica. Le proiezioni riguardanti le variazioni future del livello del mare e le loro conseguenze sul piano locale sono di importanza cruciale per la sopravvivenza degli insediamenti costieri nel mondo.

Il "Quarto Rapporto di Valutazione" (AR4) dell'IPCC ha accertato in maniera esaustiva quali siano i processi chiave responsabili delle variazioni passate, presenti e future del livello del mare. Tuttavia, la comprensione di tali processi era limitata e, di conseguenza, sia la portata che le incertezze associate ad alcuni di questi contributi sono rimaste largamente sconosciute.

Ciò ha ostacolato anche la formulazione, all'interno del rapporto AR4, delle proiezioni complessive relative all'innalzamento medio del livello del mare su scala globale.

L'elevato grado di incertezza nelle proiezioni del rapporto AR4, per quanto riguarda il livello del mare nel XXI secolo, è dovuto principalmente al comportamento dinamico futuro delle grandi calotte glaciali dell'Antartide e della Groenlandia rispetto all'evoluzione del clima.

Il Gruppo di Lavoro I (WGI) dell'IPCC ha riconosciuto l'importanza di questa specifica materia e ha sia proposto un capitolo sulle "Variazioni del livello del mare" da inserire nel suo contributo al "Quinto Rapporto di Valutazione" (AR5), sia organizzato un Workshop dell'IPCC sull' "Innalzamento del livello del mare e l'instabilità dei ghiacci", da tenersi in una fase preliminare del ciclo di valutazione relativo al rapporto AR5. Tale Workshop si è svolto a Kuala Lumpur, in Malesia, dal 21 al 24 giugno 2010.

Il Workshop ha riunito esperti di diverse discipline, le cui competenze spaziavano dall'oceanografia alle dinamiche dei ghiacci, dallo studio dei ghiacciai all'idrologia, per discutere degli ultimi risultati derivanti sia dalle osservazioni che dalle modellazioni attinenti alle variazioni del livello del mare. La struttura del Workshop comprendeva una serie di sessioni plenarie abbinate a presentazioni a invito, gruppi di discussione, sessioni di poster e, infine, piccoli gruppi di lavoro su temi specifici.

Il Rapporto del Workshop contiene una breve sintesi di tutte le discussioni tenutesi nel corso dello stesso e delle relative conclusioni, nonché i riassunti delle discussioni avvenute nei gruppi di lavoro. Comprende, inoltre, gli *Extended abstract* delle presentazioni e gli *Abstract* delle sessioni di poster presentate durante il Workshop.

Al Workshop hanno partecipato complessivamente 38 Paesi con 93 esperti.

Desideriamo esprimere i nostri ringraziamenti a tutti i partecipanti, che hanno contribuito a fare di questo incontro un evento molto costruttivo e produttivo. Lo scambio di punti di vista e di conoscenze ha portato a una maggior chiarezza nelle pubblicazioni sull'argomento e nello stato attuale della comprensione scientifica. Desideriamo inoltre sottolineare l'eccellenza e l'efficienza del lavoro svolto dall'Unità di Supporto Tecnico (*Technical Support Unit*) del WGI a tutti i livelli di organizzazione del Workshop e nella stesura del presente Rapporto.

Un sentito ringraziamento va al prof. Fredolin Tangang, Vicepresidente del WGI, per aver fornito il supporto organizzativo a livello locale, nonché all'Università Nazionale della Malesia e al Ministero malese per le Risorse Naturali e l'Ambiente per la loro assistenza nell'eccellente organizzazione in loco

* Dal 21 al 24 giugno 2010 si è svolto a Kuala Lumpur (Malesia) un Workshop sull'innalzamento del livello del mare e l'instabilità dei ghiacci, organizzato dal Gruppo di Lavoro 1 (Working Group I - WGI) del Comitato Intergovernativo per i Cambiamenti Climatici (Intergovernmental Panel on Climate Change - IPCC). L'incontro è stato programmato nell'ambito delle attività propedeutiche alla redazione del V Rapporto di Valutazione sul tema dei cambiamenti climatici ("Fifth Assessment Report" - AR5) atteso entro il 2014.
In queste pagine riportiamo, nella traduzione a cura di questa redazione, un estratto del documento, elaborato al termine del Workshop, che comprende la "Prefazione" e la "Sintesi delle discussioni e delle conclusioni".
La versione integrale del rapporto, in inglese, è disponibile sul sito dell'IPCC all'indirizzo *www.ipcc-wg1.unibe.ch/publications/supportingmaterial/supportingmaterial.html*.
L'IPCC è un Organo intergovernativo istituito nel 1988 dalle Nazioni Unite (con la World Meteorological Organization - WMO - e lo United Nations Environment Programme – UNEP). La principale funzione dell'IPCC è quella di elaborare una valutazione oggettiva e condivisa delle informazioni tecnico-scientifiche e socio-economiche utili per la comprensione dei cambiamenti climatici e delle loro prevedibili conseguenze, oltre che per l'individuazione delle possibili risposte e delle conseguenti decisioni in termini di adattamento e di mitigazione

e per l'ospitalità prestata, che hanno contribuito al successo dell'incontro. Vorremmo esprimere la nostra gratitudine anche al Fondo Fiduciario dell'IPCC e all'Ufficio Federale Svizzero dell'Ambiente per il loro sostegno economico. Siamo grati per i loro preziosi consigli ai membri del Comitato Scientifico che hanno redatto il programma del Workshop e li ringraziamo anche per il loro aiuto nella conduzione dello stesso.

In sintesi, si è trattato di un incontro molto riuscito, che ha riunito comunità chiave per discutere di argomenti che porteranno a una migliore comprensione delle variazioni del livello del mare.
Siamo convinti che ciò darà un importante contributo alla preparazione del Rapporto AR5 e speriamo che questo Workshop fornisca informazioni utili alla comunità scientifica, in particolare agli autori principali del Rapporto AR5 per i vari capitoli curati dal gruppo di lavoro WGI e destinati alle problematiche connesse con l'innalzamento del livello del mare e l'instabilità dei ghiacci.

Prof. Qin Dahe, *Co-presidente, WGI*
Prof. Thomas Stocker, *Co-presidente, WGI*

Sintesi delle discussioni e delle conclusioni

Thomas Stocker, *Co-presidente, WGI*
Gian-Kasper Plattner, *Direttore Scientifico, WGI*

Scopo del Workshop
Questo Workshop del Gruppo intergovernativo di esperti sul cambiamento climatico IPCC, organizzato dal Gruppo di Lavoro I (WGI), si riferisce a un argomento di primaria importanza per il contributo del WGI al "Quinto Rapporto di Valutazione" dell'IPCC (AR5).
L'innalzamento del livello del mare costituisce una delle conseguenze a lungo termine del continuo aumento dei gas a effetto serra antropogenici e rappresenta una minaccia per la vita di milioni di persone. Mentre i processi fisici che influenzano le variazioni del livello del mare sono ormai conosciuti e consolidati, il grado di incertezza nelle proiezioni di alcune componenti che contribuiscono a tali processi è ancora inaccettabilmente elevato.
Questa incertezza è legata al comportamento delle grandi calotte glaciali della Groenlandia e dell'Antartide e alla loro sensibilità al surriscaldamento dell'atmosfera e degli oceani, nonché alle variazioni nelle precipitazioni.
Per questi motivi, la Plenaria dell'IPCC ha approvato la proposta del WGI di organizzare un Workshop da tenere all'inizio del ciclo di stesura del Rapporto AR5, affinché il progresso scientifico in seguito al "Quarto Rapporto di Valutazione" dell'IPCC (IPCC AR4, 2007) potesse essere portato a conoscenza di un vasto pubblico e i risultati emergenti e le principali problematiche ancora irrisolte potessero essere oggetto di discussione.
Nel corso del Workshop sono state trattate numerose tematiche: osservazioni *in situ* e remote dei movimenti delle calotte glaciali e bilancio di massa delle stesse, ricostruzioni e osservazioni dirette delle variazioni del livello del mare attuali e passate su scala da regionale a globale, variazioni nelle proprietà fisiche e nella circolazione degli oceani, bilancio di massa e dinamiche dei ghiacciai, simulazioni di calotte glaciali e proiezioni climatiche a breve e a lungo termine.
Poiché le variazioni del livello del mare interessano diversi ambiti, questo Workshop ha offerto l'opportunità di riunire scienziati provenienti da comunità di ricerca che normalmente tendono a interagire poco in modo comparativo.

Sintesi e problematiche emergenti
Dalla pubblicazione del "Quarto Rapporto di Valutazione" (AR4) vi sono stati notevoli progressi scientifici, da parte di un gran numero di tecniche indipendenti, rispetto alla capacità di valutare i cambiamenti intervenuti nel bilancio di massa su-

perficiale delle due principali calotte glaciali della Groenlandia e dell'Antartide.
Le misurazioni gravitazionali e l'altimetria laser dai satelliti forniscono oggi informazioni sui cambiamenti che interessano la massa e lo spessore della superficie, nonché su quelli relativi alla velocità di flusso delle correnti glaciali.
E' ormai sicuro che il bilancio di massa attuale è negativo per entrambi i ghiacciai continentali ed è possibile quantificare il loro contributo all'innalzamento del livello del mare avvenuto in passato; tuttavia, i numeri assoluti sono ancora molto incerti, così come lo sono le percentuali relative al contributo di singoli elementi come per esempio le correnti glaciali o lo scioglimento del substrato sottostante.
Nel corso del Workshop è stata esaminata e confrontata una serie di progetti per la valutazione del bilancio di massa superficiale e ne è stata messa in evidenza l'importanza.

Un limite critico per la modellazione delle evoluzioni presenti e future delle calotte glaciali è la mancanza di informazioni dettagliate sulla batimetria dei fiordi, sulla topografia e sulla struttura submarina, nonché sulle condizioni dell'oceano adiacente, in particolare su temperatura, densità e circolazione.
Tale informazione è necessaria per formulare valutazioni sul comportamento dinamico delle calotte glaciali ai loro margini e sulla diffusione di perturbazioni generate dai margini verso il loro interno.
Le proprietà relative alla stabilità di questi sistemi sono quindi difficili da valutare.

Nel corso del Workshop, i partecipanti hanno discusso dei diversi processi che potrebbero generare l'instabilità delle calotte glaciali, classificandoli per ordine di importanza.
L'instabilità delle calotte marine sembra essere il processo più rilevante e quello attualmente meglio studiato.
Essa è causata dalla sovraescavazione della superficie sottostante, il che spiega l'importanza di informazioni dettagliate e ad alta risoluzione sulla topografia submarina.
La comprensione fisica di tali instabilità in un quadro bidimensionale è ormai consolidata, ma non è chiaro come ciò possa essere tradotto in una configurazione realistica di tipo tridimensionale.
In una struttura tridimensionale saranno aggiunti sia i processi stabilizzanti che quelli destabilizzanti, il che potenzialmente porterà a un comportamento sostanzialmente differente da quello simulato dai modelli semplificati.
Lo slittamento dei ghiacciai, dovuto alla lubrificazione del terreno su cui poggiano per la presenza dell'acqua del disgelo, è un altro meccanismo di instabilità ampiamente discusso, anche se attualmente pare rivestire minore importanza.
Poiché comunque ci si aspetta che aumenti la superficie interessata dalla fusione del ghiaccio, in futuro la situazione potrebbe cambiare.

I ghiacciai e le calotte glaciali contribuiscono anche in modo sostanziale all'innalzamento del livello del mare.
Si stima che attualmente i contributi annuali dei ghiacciai e delle calotte glaciali non continentali siano pari a quelli delle due calotte della Groenlandia e dell'Antartide.
Tuttavia, mentre sono stati compiuti progressi nella comprensione dei tassi di variazione dello spessore dei ghiacciai e delle calotte glaciali presenti e passati, le incertezze relative al volume glaciale complessivo sono ancora molte e costituiscono anche un ostacolo alla elaborazione di proiezioni future sull'innalzamento del livello del mare.
C'è bisogno di una maggiore quantità di dati sui ghiacciai più estesi, sebbene siano stati fatti dei progressi nelle valutazioni relative allo spessore del ghiaccio e al profilo del ghiacciaio in determinate regioni.
Inoltre, per poter prevedere in quale misura e in quanto tempo i ghiacciai e le calotte glaciali contri-

buiranno in futuro, e in particolare nei prossimi decenni, all'innalzamento del livello del mare, occorre pervenire a una comprensione più meccanicistica delle loro dinamiche (per es. con riguardo ai flussi di calving) e utilizzare maggiormente modelli di simulazione relativi ai ghiacciai coperti di detriti e politermici/freddi.

Il surriscaldamento degli oceani e la relativa espansione termica costituiscono un'altra componente dell'innalzamento del livello del mare.
L'estensione delle osservazioni oceaniche superficiali è notevolmente aumentata a livello mondiale grazie all'uso del batitermografo a perdere (XBT) e al programma ARGO[1].
Tuttavia, si è constatato che è necessario correggere gli errori sistematici. Un'ulteriore limitazione è data dall'intervallo di profondità di questi strumenti che fornisce accesso solamente a circa 2 km di profondità.
Di conseguenza, le stime relative al contenuto di calore dell'oceano profondo, che sono di grande importanza per quanto riguarda l'evoluzione a lungo termine dell'innalzamento del livello del mare, presentano un elevato grado di incertezza.

La simulazione dell'innalzamento del livello del mare presente e futuro su scala da regionale a globale richiede l'uso di modelli comprensivi per la combinazione delle diverse componenti che vi contribuiscono e dei loro punti di incertezza.
I modelli climatici comprensivi continuano a non prevedere i ghiacciai continentali o i ghiacciai e le calotte glaciali, limitando in questo modo il loro uso per le proiezioni relative all'innalzamento del livello del mare sia su scala globale che su scala regionale. Per esempio, l'abbinamento di calotta glaciale/fondo marino e calotta glaciale/oceano pone delle sfide specifiche di cui si è appena iniziato a tener conto. Un approccio complementare all'uso dei modelli comprensivi relativi all'innalzamento del livello del mare può consistere nella determinazione di limiti inferiori e superiori dell'innalzamento stesso mediante modelli basati sui processi.
Tali modelli forniscono informazioni su cosa sia evitabile e cosa sia possibile dal punto di vista fisico all'interno di scenari estremi. A tal proposito risultano molto utili le informazioni relative ai valori del paleoclima. Recenti ricostruzioni dell'innalzamento del livello del mare dalla fine dell'ultima era glaciale suggeriscono che i valori massimi, che vanno da 20 a 50 mm/anno, furono raggiunti ai tempi della massima portata di acque di fusione.
Tuttavia, questi modelli basati sui processi, in contrasto con i modelli climatici comprensivi, non fornirebbero alcuna informazione sui *pattern* regionali e sull'incostanza delle variazioni del livello del mare, un'informazione di grande rilevanza per gli studi di impatto.

Recentemente, a più riprese, è stato proposto di usare dei modelli semi-empirici per valutare l'innalzamento globale medio del livello del mare per il XXI secolo.
Tali modelli non offrono alcuna informazione basata sulla fisica e le ipotesi si fondano su osservazioni relativamente brevi e limitate.
L'ipotesi che il tasso di variazione dell'innalzamento del livello del mare, basato su componenti che erano di piccole dimensioni nel XX secolo e che sono state attribuite alle calotte glaciali, sarebbe cresciuto di pari passo con le variazioni della temperatura globale porta ad amplificare notevolmente l'innalzamento globale del livello del mare quando le temperature globali continuano a crescere. Perciò, questo tipo di approccio ha portato generalmente a ritenere che l'innalzamento del livello del mare avrebbe raggiunto il suo valore più elevato per la fine del XXI secolo. Un'altra limitazione è dovuta al fatto che la fase di calibrazione di questi modelli semi-empirici non copre il totale dei comportamenti del sistema climatico che ci si può aspettare di riscontrare per il XXI secolo, come per esempio una significativa perdita di ghiaccio dalle grandi calotte polari. La base

[1] http://www.argo.ucsd.edu/

fisica per le grandi stime che derivano da questi modelli semi-empirici è quindi piuttosto scarsa.

Per concludere, il Workshop dell'IPCC ha riunito le comunità chiave che hanno fornito le loro conoscenze, i dati, i modelli e la loro capacità di comprenderli allo scopo di determinare l'attuale bilancio di innalzamento del livello del mare e di elaborare delle proiezioni per quello futuro. Ciò è stato fonte di scambio tra le suddette comunità a uno stadio iniziale del ciclo di redazione del Rapporto AR5 e offre, quindi, la possibilità di accelerare il progresso in alcuni campi di ricerca cruciali sull'argomento. Tale progresso è molto importante per la stesura del Rapporto AR5, attualmente in corso da parte del WGI, nel quale le problematiche relative all'innalzamento del livello del mare vengono affrontate in numerosi capitoli, compreso un capitolo a parte sulle variazioni del livello del mare. La redazione del rapporto può essere supportata da una serie di incontri di ricerca maggiormente mirati, la cui programmazione è in corso e si svolgerà sotto il patrocinio del *Task Group on Sea Level Variability and Change*[2] (Gruppo di lavoro centrato sulle variazioni del livello del mare) che è stato istituito dal Programma Mondiale di Ricerca sul Clima nel 2009. Nel corso di tali incontri, si discuterà anche di come le ricerche future abbiano bisogno di aumentare la comprensione e ridurre le incertezze.

[2] http://www.wcrp-climate.org/

QT 1.11

Quaderni Trimestrali Consorzio Venezia Nuova