

# Il Sistema Informativo Geografico della laguna di Grado e Marano come strumento di gestione integrata

Alfredo Altobelli, Irene Ortolan  
Dipartimento di Biologia – Università di Trieste

Nel contesto del progetto INTERREG III B CADSES “*TWReferenceNet, Management and sustainable development of protected transitional waters*” (Project number: 3B073, durata 2004-2006) fu affidata al Dipartimento di Biologia dell’Università di Trieste la realizzazione del WP1, che comprendeva, tra le varie azioni:

- a) la ricerca e l’imbankamento di tutti i dati possibili relativi alle caratteristiche chimico-fisiche della laguna di Grado e Marano e alle pressioni antropiche esercitate sulla laguna o nel bacino scolante della stessa,
- b) la realizzazione di un Sistema Informativo Geografico che fosse in grado di comprendere tutte le informazioni georiferite relative alla laguna o al suo bacino scolante, in modo tale che queste potessero essere utilizzate per un’eventuale analisi spaziale da cui estrarre ulteriori informazioni,
- c) l’utilizzo del Remote Sensing per la raccolta e l’analisi di dati relativi alla laguna,
- d) l’analisi della vulnerabilità delle acque di transizione e dei siti RAMSAR.

L’area di studio su cui, quindi, si è concentrata l’attività del Dipartimento di Biologia, comprende non solo la laguna di Grado e Marano, ma anche il suo bacino scolante. In realtà è stata presa in considerazione un’area più vasta, compresa tra i fiumi Tagliamento e Isonzo, poiché le informazioni relative alle varie pressioni antropiche esercitate nell’ambito del bacino scolante stesso sono state raccolte a livello comunale, per cui sono stati inclusi tutti i comuni che rientrano o sono anche solo parzialmente compresi nel bacino scolante (Fig.1).

## Inquadramento dell'area lagunare

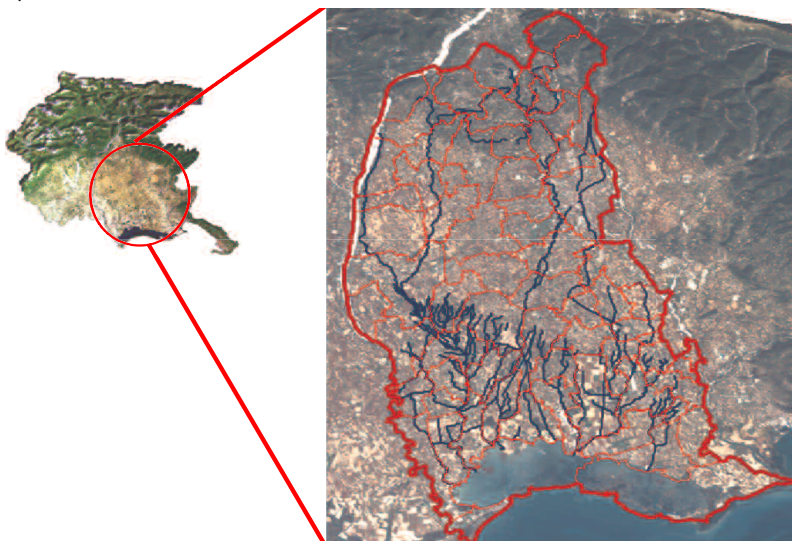
Il sistema lagunare di Grado e Marano è situato nell'alto Adriatico, delimitato ad est dal fiume Isonzo, ad ovest dal fiume Tagliamento, a sud da un cordone litorale, formato da isole e banchi sabbiosi più o meno persistenti, ed a nord dalla linea di costa, che si sviluppa con un andamento piuttosto irregolare per circa 60 km. L'estensione dell'area è di circa 16.000 ha, per una lunghezza di quasi 32 km ed una larghezza media di 5 km (Brambati, 1969).

La distinzione tra laguna di Grado e laguna di Marano risale alla suddivisione amministrativa fra laguna di Marano, appartenente all'Italia, e laguna di Grado, appartenente all'Austria, del periodo compreso fra il 1866 ed il 1917.

## Origine ed evoluzione

L'origine della laguna di Grado e Marano, con le caratteristiche attuali, è piuttosto recente e risale al periodo dei Romani e particolarmente al IV-VI secolo d.C., periodo nel quale il sistema lagunare andò abbozzandosi. Secondo il parere concorde di numerosi autori i fattori che hanno condizionato principalmente la formazione della laguna di Grado e Marano sono stati: l'innalzamento del livello marino di circa 2 m avvenuto negli ultimi 2000 anni, la variazione del reticolo idrografico superficiale del retroterra, la confluenza del fiume Natisone nell'Isonzo, lo spostamento della foce del fiume Isonzo verso est, il rapido avanzamento in mare dei fiumi Isonzo e Tagliamento, la costante migrazione degli apporti sabbiosi isontini verso ovest (Brambati, 1992).

**Figura 1**  
**Sistema lagunare di Grado e Marano**  
*Grado and Marano lagoon system*



Un ambiente lagunare rappresenta, in generale, un sistema non stabile, bensì dinamico, cioè sottoposto ad una continua naturale evoluzione. Nel sistema lagunare di Grado e Marano l'influenza antropica, fino al secolo scorso, è stata di rilevanza scarsa, mentre negli ultimi anni massicci interventi hanno causato uno spostamento dalla linea evolutiva spontanea.

In linea del tutto generale le grandi opere sono state (Gatto & Marocco, 1992):

- la consistente bonifica dei territori perilagunari;
- la perimetrazione della laguna con argini in pietra a coronamento delle bonifiche;
- la costruzione di una via navigabile interna, la «Litoranea Veneta», che taglia la laguna da Ovest ad Est e di altre idrovie;
- la fissazione, sbarramento e regolamentazione delle bocche lagunari.

### **Morfologia, idrologia**

L'ambiente dal punto di vista morfologico può essere distinto in tre zone (Brambati, 1969):

- aree al di sopra del livello medio delle alte maree: cordoni litorali, barene, costa;
- aree comprese tra i livelli medi delle alte e basse maree: piane di marea, canali secondari e ghebi;
- aree al di sotto del livello medio delle basse maree: canali principali, bocche lagunari.

Il cordone litorale, elemento di separazione tra ambiente lagunare ed ambiente marino, disegna un arco lungo circa 20 km ed è interrotto in sei punti principali da bocche lagunari naturali. Le entità più rilevanti che lo costituiscono risultano essere le isole di Martignano, S. Andrea, Buso, Morgo, Grado ed i banchi d'Orio (inteso in senso lato) e Mula di Muggia.

Per barena si intende qualsiasi zona presente all'interno dei bacini lagunari, la cui quota superi il livello delle alte maree. Nelle lagune di Grado e Marano esistono due principali sistemi di barene, che si sviluppano con andamento ortogonale ai cordoni litorali: il primo si estende dall'isola di Martignano a Marano Lagunare, il secondo dall'isola di Morgo. Vi è inoltre un notevole sviluppo di aree barenicole nella parte più orientale del bacino di Grado.

Le piane di marea sono zone pianeggianti, caratterizzate da pendenze molto deboli, solcate da canali di varia profondità. Si distinguono canali principali, canali secondari e ghebi. I canali principali sono quelli la cui profondità supera, in bassa marea, 1 metro; i canali secondari hanno una profondità corrispondente al livello medio delle basse maree; i ghebi hanno profondità ancora inferiore.

Nella laguna di Grado e Marano, sotto l'aspetto idrografico, sono individuabili sei bacini (Dorigo, 1965). In particolare, da est verso ovest, si hanno i bacini di Primero, Grado, Morgo, Porto Buso, S. Andrea e Lignano. Questi sono idraulicamente isolati tra loro ed ognuno di essi accoglie e scarica le acque provenienti dalla propria bocca lagunare e da eventuali corsi d'acqua affluenti. Nel bacino idrografico delle lagune di Grado e Marano sono stati individuati, procedendo da ovest verso est, i seguenti fiumi di risorgiva: Stella, Turgnano, Cormor, Zellina, Corno, Aussa e Natissa. Lungo la costa interna della laguna sfociano inoltre canali artificiali che raccolgono le acque dalle zone di bonifica circumlagunari.

## Caratteristiche generali della laguna di Grado Marano

---

Superficie lagunare (km <sup>2</sup> )	160
Area del bacino drenante (km <sup>2</sup> )	1883
Lunghezza del sistema fluviale (km)	743
Portata dei fiumi m <sup>3</sup> /s	77
Temperatura media per l'anno 2004 (°C)	15.23
Salinità media per l'anno 2004 (‰)	22.44
pH medio per l'anno 2004	7.95

### **Il GIS come strumento di conoscenza della Laguna**

Nell'organizzare il lavoro da effettuare nell'ambito del progetto TWReferenceNet, si è cercato di seguire un filo conduttore che potesse facilitare l'arduo compito di ricercare, raccogliere, imbanicare e analizzare i dati relativi all'area di studio. Gli obiettivi che stavano alla base di questo filo conduttore sono stati i seguenti:

1. identificazione delle potenziali fonti di inquinanti della laguna di Grado e Marano;
2. ricerca di eventuali dati relativi all'inquinamento dell'acqua e dei sedimenti, inserimento degli stessi nel GIS e successiva analisi;
3. ricerca di eventuali dati relativi alla contaminazione della componente biotica presente in laguna, inserimento degli stessi nel GIS e loro analisi.

Il primo passo è stato quello di dare un ordine ai dati esistenti e di ricercare quelli mancanti. Attualmente il Dipartimento di Biologia ha a sua disposizione dati in formato raster o vettoriale che sono stati inseriti nel GIS e dati bibliografici non georiferiti.

### DATI IN FORMATO RASTER

- Carta Regionale Numerica in scala 1:25.000;
- Carta Tecnica Regionale Numerica in scala 1:5.000;
- Immagini del satellite Landsat 5 TM appartenenti alla scena 191/28 relative ai seguenti periodi: 29/08/1990, 26/07/1995, 17/09/1997, 15/05/1998, 25/09/2000, 26/07/2001;
- Mappe di copertura del suolo che coprono la pianura friulana ottenute dalla classificazione supervised di immagini satellitari Landsat degli anni 1998 e 2000 (Ortolan, 2003);
- Immagini del satellite Aster acquisite nelle date 11/09/2001 e 08/03/2002;
- Immagini iperspettrali del sensore Aisa Eagle (OGS-HELICA) del 2005;
- Modello digitale del terreno con una risoluzione di 25 m (derivato dall'interpolazione delle isolinee estratte dalla Carta Regionale Numerica in scala 1:25.000) e con una risoluzione di 20 m fornito dall'IGM;
- Mappe dell'inclinazione e delle esposizioni derivate dal DTM;
- Ortofoto degli anni 2000 e 2003;

## MAPPE TEMATICHE IN FORMATO VETTORIALE

- Mappe delle unità amministrative (province, comuni), delle aree urbane, della viabilità e dei fiumi;
- Mappa delle unità di paesaggio del Friuli Venezia Giulia (Cordara, 1994);
- Mappa della vegetazione potenziale del Friuli Venezia Giulia (Gallizia Vuerich et al., 2001);
- Mappa geolitologica in scala 1:500.000;
- Mappa dei SIC e ZPS in Friuli Venezia Giulia;
- Mappa Corine Land Cover del Friuli Venezia Giulia a scala 1:100.000 (1990 e 2000);
- Mappa dei sistemi ecologici del Veneto e Friuli Venezia Giulia a scala 1:250.000 (Progetto “Carta della Natura”, APAT);
- Mappa degli habitat a scala 1:50.000 del Friuli Venezia Giulia (Progetto “Carta della Natura”, non completa, fornita dal Servizio VIA della Regione Friuli Venezia Giulia).

## MAPPE TEMATICHE ESTRATTE DAI DATI ISTAT RELATIVI AL CENSIMENTO DELL'ANNO 2001

Dai dati ISTAT relativi al censimento del 2001, per i vari comuni che rientrano nell'area di studio sono state ottenute le seguenti mappe:

- densità di popolazione;
- superficie agricola totale e superficie agricola utilizzata (SAU), superficie industriale;
- superficie dedicata a colture annuali (frumento, mais, barbabietola, foraggiere, ecc.), a colture perenni (vigneti, frutteti, colture legnose), a prati stabili;
- numero e superficie totale di aziende agricole per comune, numero di aziende agricole con cereali, vigneti, frutteti e allevamenti di bovini, suini o pollame;
- numero di mucche, maiali, avicoli, ecc. per comune;
- numero di impiegati in tutte le diverse attività contemplate dal censimento: agricoltura, industria, turismo, ecc.

## MAPPE OTTENUTE DAI DATI FORNITI AL DIPARTIMENTO DI BIOLOGIA DAL COMMISSARIO DELLA LAGUNA E DALL'ARPA FVG

- Mappa e relativo data base dei punti di campionamento per l'analisi del bioaccumulo dei metalli pesanti in tre diversi tipi di bivalvi (la caratterizzazione della laguna è stata realizzata dall'ICRAM, i campionamenti e le analisi dalla cooperativa Nautilus s.r.l. di Vibo Valentia);
- Mappa e relativo data base dei punti di campionamento dei sedimenti a diverse profondità per l'analisi di metalli pesanti, erbicidi, pesticidi, idrocarburi, PCB, IPA, TBT e altre sostanze tossiche (la caratterizzazione della laguna è stata realizzata dall'ICRAM, i campionamenti e le analisi dalla cooperativa Nautilus s.r.l. di Vibo Valentia);
- Mappa e relativo data base dei punti di campionamento per l'analisi delle acque (dati forniti dall'ARPA FVG relativi agli anni 1987, 1988, 1989, 1993, 1994 e dal 2000 in poi);

- Mappe di temperatura, salinità, pH, concentrazione di ossigeno disciolto e concentrazione di diversi nutrienti (azoto e fosforo totali, nitrati, nitriti, azoto ammoniacale, fosfati) per la laguna di Grado e Marano ottenute dall'interpolazione dei dati dell'ARPA FVG;
- Carico organico totale (in AE/kmq) per comune (ARPA FVG, 2001);
- Carico di azoto nei fiumi (in t/y) per comune (ARPA FVG, 2001).

#### ALTRE MAPPE TEMATICHE IN FORMATO VETTORIALE RELATIVE ALLA LAGUNA E AL SUO BACINO SCOLANTE

- Mappa dei sedimenti (Brambati, 1996);
- Mappa dei canali (Brambati, 1996);
- Mappa dei bacini e delle correnti in laguna durante l'alta e la bassa marea (Brambati, 1996);
- Mappa della distribuzione del Mercurio in laguna (Marocco, 1995);
- Mappa degli invertebrati bentonici (Orel et al., inedito, realizzata su campionamenti effettuati nei seguenti anni: 1993-94-95-98 e suffragati da altre prospezioni realizzate nel 2004-2005);
- Ricchezza di specie di uccelli ittiofagi in aree specifiche scelte all'interno della laguna lungo un transetto est-ovest (Sponza et al., 2005, inedito);
- Mappa della vegetazione della laguna e dell'immediato retroterra (Ciriaco & Spoto, 1998, inedito - da Simonetti, 1992, modificato -);
- Mappa degli ambienti della bassa pianura e della laguna di Grado e Marano relativa al 1990 (Spoto et al., Rapporto Modulo 3 in "Integrated Management of Wetlands", 1992).
- Mappa delle industrie presenti nell'area industriale dell'Aussa-Corno e relativo data base contenente dati relativi ai prodotti e alle emissioni inquinanti.

#### DATI NON GEORIFERITI

- Dati relativi a temperatura e piovosità;
- Mappa dei suoli a scala 1:50.000 della pianura del Friuli Venezia Giulia e delle colline moreniche del fiume Tagliamento (Comel et al., 1982);
- Mappa dei suoli a scala 1:100.000 inclusa nel volume pubblicato dall'ERSA: *Suoli e paesaggi del Friuli Venezia Giulia. 1. Pianura e colline del Pordenonese* (Michelutti et al., 2003);
- Numero di turisti presenti nelle più importanti località turistiche che confinano con la laguna;
- Numero di posti barca nelle marine;
- Numero di abitanti connessi ai depuratori d'acqua nel contesto del bacino di drenaggio della laguna;
- Ylenia Viso, 2004. *Meccanismi di trasporto e dispersione del mercurio di provenienza isontina nel Golfo di Trieste*, Tesi di laurea, Dipartimento di Scienze Geologiche, Ambientali e Marine, Università di Trieste.

Durante la ricerca dei dati relativi alla laguna di Grado e Marano sono emersi diversi problemi che possono essere riassunti in tre punti:

1. il dettaglio delle informazioni,
2. l'aggiornamento dei dati,
3. la standardizzazione dei metodi di campionamento (dove, quando, perché).

Le mappe che abbiamo a disposizione e che sono state inserite nel GIS hanno spesso una bassa risoluzione (1:50.000, nei casi migliori 1:25.000), laddove, per avere maggiori informazioni sulla laguna ed analizzarne dettagliatamente le caratteristiche biologiche e gli habitat, sarebbe auspicabile lavorare con mappe al 10.000.

I dati dovrebbero essere costantemente aggiornati, ma per questo sarebbero necessari piani di monitoraggio in *continuum* che attualmente vengono realizzati esclusivamente dall'ARPA FVG. Gli unici dati quindi che vengono raccolti con una certa continuità in punti precisi all'interno della laguna sono quelli relativi all'analisi delle acque. Per poter essere maggiormente utili essi dovrebbero essere estrapolati a tutta la laguna, in modo tale da mettere in evidenza, per esempio, l'andamento mensile, stagionale o annuale della temperatura, della salinità, oppure della concentrazione di nitrati e fosfati. Sarebbe inoltre auspicabile che venissero raccolte con regolarità anche informazioni relative ad altri indicatori, quali BOD, COD, ecc. che solo saltuariamente vengono raccolti dall'ARPA FVG e che venissero effettuate con regolarità anche analisi di biomonitoraggio su specifici bioindicatori.

Un altro fattore fondamentale è la standardizzazione dei metodi di campionamento: in particolare sarebbe molto importante che i punti di campionamento (siano essi stazioni per l'analisi delle acque, del sedimento, del bioaccumulo o di altre variabili) fossero distribuiti secondo una griglia regolare che coprisse l'intera estensione della laguna (e che non fossero quindi posizionati solo lungo i canali). In tal modo i dati raccolti potrebbero essere poi estrapolati all'intera laguna in maniera corretta.

Ma il problema più grande emerso durante la fase di data mining è stato quello di "rintracciare" i dati disponibili e di ottenerli dai vari enti ai quali essi erano stati richiesti. Benché si trattasse quasi sempre di dati pubblici, non è stato semplice entrarne in possesso. Si ritiene che un metodo valido per risolvere questo problema potrebbe essere la centralizzazione della raccolta e della gestione dei dati riguardanti la laguna e il suo bacino scolante o dei dati ambientali in genere riguardanti l'intera regione Friuli Venezia Giulia da parte di un ente pubblico (che potrebbe essere la Regione stessa). L'ideale sarebbe che tutti i dati disponibili raccolti in regione (mappe in formato digitale o non, banche dati, ecc.) fossero "convogliati" in un unico sito e resi facilmente accessibili (per esempio mettendoli in rete quando possibile). Per la laguna di Venezia e il suo bacino scolante questo processo è già in atto.

### **Casi di studio presentati al Workshop di Grado**

Nel contesto del Workshop di Grado sono stati presentati tre casi di studio riguardanti la laguna e il suo bacino scolante in cui l'utilizzo del GIS e/o del Remote Sensing è risultato indispensabile per poter ottenere dei risultati a partire dai dati esistenti:

1. Valutazione integrata del bacino scolante della Laguna di Grado e Marano per identificare i comuni con maggior rischio di inquinamento della falda causato dalla percolazione dell'azoto

- usato in agricoltura (scopo finale: sviluppo di scenari alternativi al fine di ridurre l'impatto ambientale da fonti agricole in laguna);
2. Uso dei dati disponibili sui sedimenti e il bioaccumulo per valutare gli effetti dell'inquinamento industriale sulla Laguna di Grado e Marano;
  3. Uso del Remote Sensing per estrapolare informazioni sulla distribuzione delle fanerogame nella Laguna di Grado.

Per inquadrare il problema dell'impatto delle attività antropiche sull'ecosistema lagunare è stato applicato il modello DPSIR, proposto dall'Agenzia Europea per l'Ambiente, in cui:

D = Cause primarie (Driving forces),

P = Pressioni,

S = Stato,

I = Impatti,

R = Risposte;

all'interno dei quali i diversi indicatori sono così classificati:

*Driving forces:* le attività antropiche che determinano le pressioni sull'ambiente (trasporti, industria, agricoltura....).

*Indicatori di pressione:* le pressioni rappresentano i fattori generati dai diversi settori produttivi. Ad esempio numero di miniere che estraggono il mercurio o di industrie che utilizzano il mercurio nei loro processi.

*Indicatori di stato:* le modifiche dello Stato dell'ambiente riguardano fondamentalmente la qualità dell'aria, delle acque e del suolo e le modifiche alla naturalità dell'ambiente. Ad esempio il livello di mercurio nei sedimenti, la biodisponibilità del mercurio (metilmercurio).

*Indicatori di impatto:* questi cambiamenti possono, a loro volta, avere degli impatti sull'uomo o sull'ecosistema. Metalli pesanti bioaccumulati nei bivalvi.

*Indicatori di risposta:* Le risposte (provvedimenti) sono gli interventi che vengono attuati per risanare l'ambiente o per limitare comunque il degrado. Per esempio il Programma Nazionale di bonifica dei siti inquinati, la definizione dei Siti di Importanza Comunitaria (SIC), la Convenzione di Ramsar...



**Primo caso di studio: Valutazione integrata del bacino scolante della Laguna di Grado e Marano per identificare i comuni con maggior rischio di inquinamento della falda causato dalla percolazione dell'azoto usato in agricoltura (scopo finale: sviluppo di scenari alternativi al fine di ridurre l'impatto ambientale da fonti agricole in laguna)**

Questo caso di studio è stato sviluppato nel contesto del progetto CADSES IIIB "ISOTEIA": Integrated System for the promotion of Territorial / Environmental Impact Assessment in the framework of spatial planning (3B093), di cui il Dipartimento di Biologia dell'Università di Trieste è partner. Lo scopo del nostro progetto era di sviluppare una metodologia che ci permettesse di valutare e risolvere problemi ambientali causati dall'inquinamento proveniente da fonti agricole e l'abbiamo applicata al caso della Laguna di Grado e Marano.

La metodologia sviluppata fornisce una valutazione integrata sia del bacino scolante che della Laguna stessa, essendo essa un ecosistema multi-funzionale molto complesso. Nonostante parte della laguna sia protetta dalla Convenzione di Ramsar, essa è pesantemente inquinata da sostanze che provengono da diverse fonti legate a varie attività umane: agricoltura, industria, trasporto, turismo, acquacoltura. Parte della laguna e del suo entroterra infatti è stata dichiarata sito inquinato di interesse nazionale (SIN) (D.M. 468/2001). Questo lavoro analizza soluzioni alternative per ridurre l'impatto inquinante proveniente da fonti agricole. L'argomento è stato esaminato e analizzato da una prospettiva interdisciplinare ecologica-economica: lo studio si è focalizzato sulla minaccia causata dall'iper-eutrofizzazione delle acque di transizione causata da nitrati e fosfati. Per formulare ipotesi di politiche alternative di gestione è stato utilizzato un decision support system, per stimare l'affidabilità di diversi sistemi agronomici in termini di sostenibilità ecologica / economica, e creato uno spatial DSS per analizzare la distribuzione spaziale dei sistemi alternativi e la loro efficienza nel ridurre l'input di azoto. Sono state fornite alla pubblica amministrazione indicazioni generali per decidere dove dovrebbero essere applicate misure di protezione dell'ambiente (per esempio riduzione dell'input di nitrati) e il corretto stanziamento dei fondi pubblici. Si ritiene che questo lavoro potrebbe essere una valida indicazione per lo sviluppo del prossimo Piano di Sviluppo Rurale Regionale (2007-2013).

Questa è la prima volta che questo tipo di metodologia viene utilizzata in Friuli Venezia Giulia. Gli scenari proposti sono stati sviluppati con l'obiettivo di ridurre la percolazione di azoto totale proveniente dalle aree caratterizzate da un'agricoltura intensiva in laguna.

L' "opzione zero", ossia il mantenimento dello stato attuale nella coltivazione di mais, soia e barbabietole, è stata messa a confronto con la possibilità di convertire parte delle principali colture in colture alternative utilizzabili per la produzione di biomassa ed energia. In pratica, in funzione del reale rischio di inquinamento, si è ipotizzato di ridurre la superficie dedicata alla coltivazione dei cosiddetti cash crops (mais, soia e barbabietole) introducendo una certa percentuale di superficie (5, 10, 25, 50% a seconda della classe di rischio) da utilizzare per la coltivazione di pioppo, prato permanente o canna gentile (*Arundo donax*).

La metodologia, basata sullo sviluppo di un DSS e di un SDSS, ha seguito i seguenti passi:

- acquisizione ed elaborazione dei layers GIS di base per l'area di studio;
- standardizzazione dei fattori considerati;
- elaborazione delle mappe di rischio basate sulla combinazione dei fattori;
- definizione delle alternative;

- stima dei criteri e attribuzione dei pesi per il DSS;
- ranking delle alternative e selezione delle migliori;
- definizione delle regole decisionali per applicare le alternative a livello territoriale;
- creazione delle mappe di impatto delle alternative;
- statistiche territoriali dell'impatto delle alternative;
- elaborazione di indicazioni per i decision makers.

Nel contesto del Workshop di Grado sono stati mostrati solo i primi due punti di questo schema di lavoro, con lo scopo di mettere in evidenza come il GIS sia stato utilizzato per analizzare i dati esistenti al fine di valutare le driving forces (agricoltura) che generano le pressioni esercitate sul bacino scolante (intensità di coltivazione e irrigazione) in relazione allo stato della laguna, e precisamente alla distribuzione reale di azoto totale in laguna.

### **Acquisizione ed elaborazione dei layers GIS di base dell'area di studio**

Sono state selezionate tre principali colture sulla base della loro diffusione e importanza per l'economia regionale, cioè (i) mais, (ii) soia e (iii) barbabietola. Esse coprono il 65% della superficie agricola utilizzata (SAU) dell'area di studio, secondo il rapporto regionale ISTAT sull'agricoltura (2003). Si è deciso di lavorare a livello comunale poiché tutti i dati disponibili vengono forniti in questa scala. I 69 comuni che rientrano nell'area di studio vengono divisi dal Piano di Sviluppo Rurale regionale in due zone (A e B), sulla base della diversa capacità del suolo di ridurre l'infiltrazione di azoto (Figura 2).

Nel sopra citato Piano (2002-2006) vengono definite le quantità massime di azoto che si possono usare nella fertilizzazione dei diversi tipi di colture ogni anno: per il mais sono previsti un massimo di 350 kg/ha in zona A e 270 kg/ha in zona B. Per soia e barbabietola i tassi di fertilizzazione sono gli stessi nelle due zone, cioè 50 kg/ha e 150 kg/ha rispettivamente. I tassi di fertilizzazione sono stati standardizzati in maniera lineare sulla base del valore più alto tra di essi.

In base ai dati esistenti, sono stati scelti tre fattori come layers GIS di base:

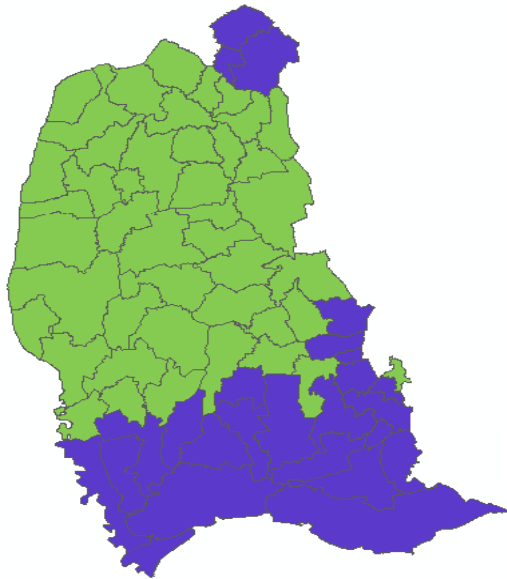
- superficie dei principali cash-crops per comune, per stimare il loro impatto sulla base della fertilizzazione;
- vulnerabilità della falda;
- superficie irrigata per comune.

Sulla base dei dati statistici, è stata elaborata una mappa per ogni coltura selezionata con la superficie media di mais, soia e barbabietole per comune (km<sup>2</sup>). Le tre mappe sono state combinate per calcolare una mappa di (Figura 3) *crop intensity* (CI) basata sulle quantità massime di azoto totale usate per la fertilizzazione definite dal Piano di Sviluppo Rurale. Tale mappa è stata ottenuta applicando il seguente indice:

$$CI = \sum_{i=1,3} (S_i * W_i)$$

dove  $S_i$  è l'area dell' $i$ -esima coltura e  $W_i$  il peso associato alla coltura in termini di impatto dovuto alla fertilizzazione di azoto.

Figura 2



	Kg/ha of N		
	Maize	Soya	Sugar beet
Zone A	350	50	150
Zone b	270	50	150

	Weights		
	Maize	Soya	Sugar beet
Zone A	1	0,143	0,428
Zone b	0,771	0,143	0,428

- Zone A: Municipalities with low capability of reduction
- Zone B: Municipalities with high capability of reduction

Figura 3

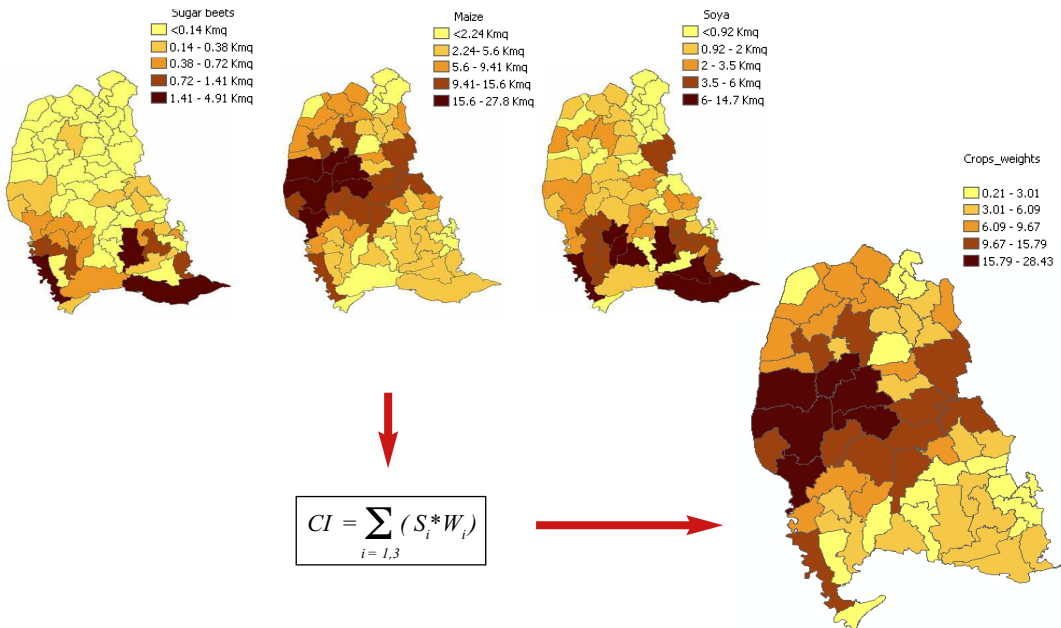


Figura 4

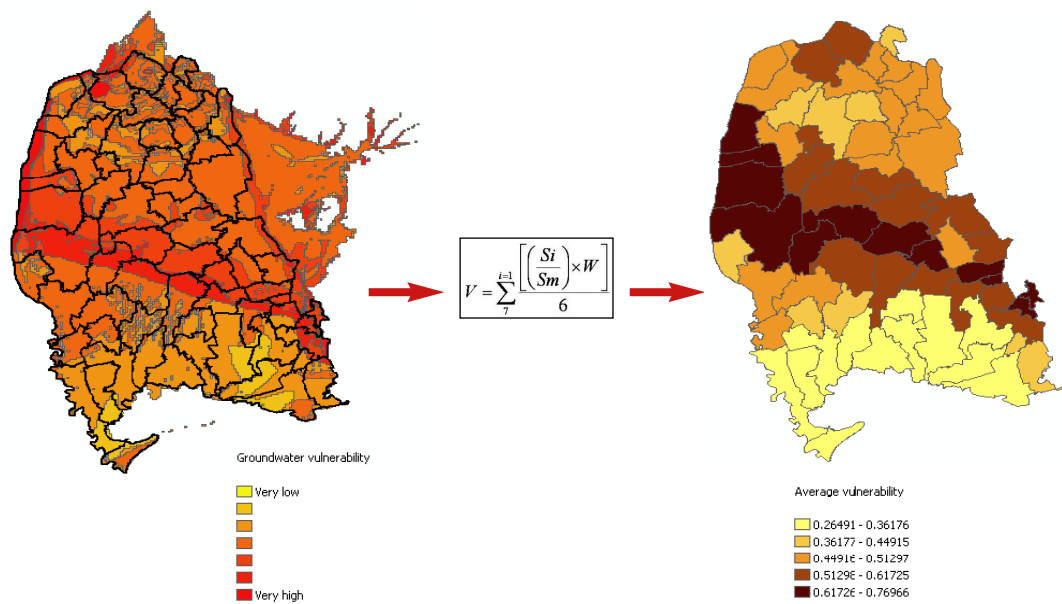


Figura 5

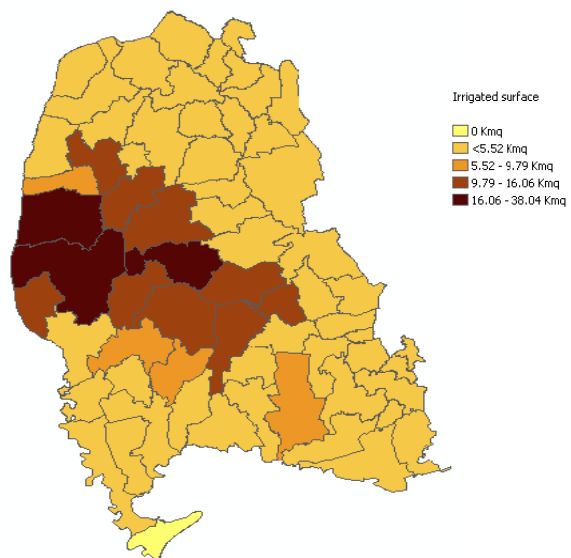


Figura 6

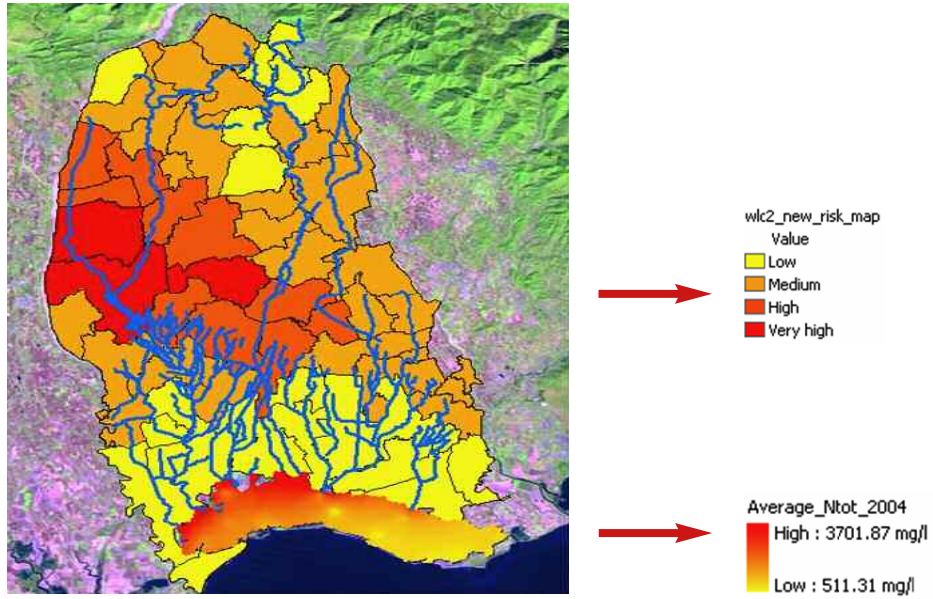
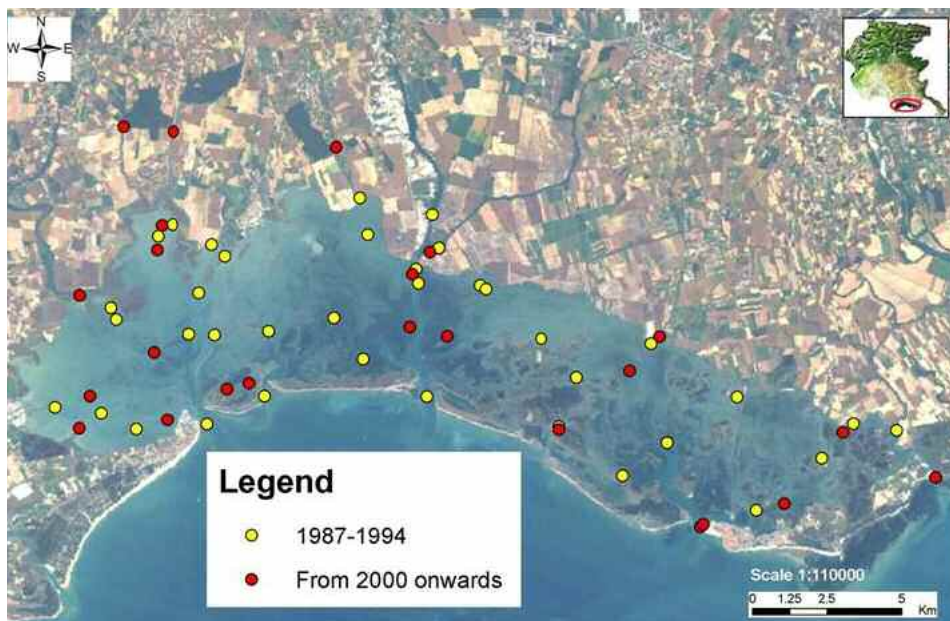


Figura 7  
Distribution of ARPA's sampling points in Grado and Marano Lagoon



La vulnerabilità della falda è stata calcolata sulla base di una mappa di vulnerabilità fornita dal Dipartimento di Scienze geologiche, ambientali e marine dell'Università di Trieste. Essa è suddivisa in 7 classi ordinali di vulnerabilità che vanno da molto bassa (0) a molto alta (6) con una risoluzione spaziale di 200x200 m. È stata calcolata poi una mappa dell'*indice di vulnerabilità* (V) per comune (Figura 4), basata sulla proporzione di ogni classe di vulnerabilità presente in ogni comune secondo la seguente formula:

$$V = \sum_{i=1}^7 \left[ \frac{\left( \frac{S_i}{S_m} \right) \times W_i}{6} \right]$$

dove  $S_i$  è l'area dell'*i*-esima classe di vulnerabilità,  $S_m$  l'area totale del comune,  $W_i$  il punteggio attribuito a ciascuna classe (da 0 a 6). L'indice V varia da 0 (caso in cui tutti i comuni cadono nella classe di vulnerabilità più bassa) a 1 (caso in cui tutti i comuni cadono nella classe di vulnerabilità più alta). Il terzo fattore (Figura 5) rappresenta semplicemente la superficie totale irrigata per comune derivata dai dati statistici regionali.

### **Standardizzazione dei fattori territoriali**

Utilizzando il software GIS IDRISI 32 release 2 i fattori, prima di essere usati per la creazione di mappe di rischio, sono stati standardizzati con il modulo FUZZY usando una funzione lineare monotonicamente crescente. Con la standardizzazione i valori di ogni mappa sono stati portati nel range 0-255, e sono stati attribuiti valori più alti ai pixels dei 3 fattori aventi valori maggiori.

### **Elaborazione delle mappe di rischio**

Per la composizione delle mappe di rischio si è assunto il criterio che il rischio di contaminazione dell'acqua di falda da parte dell'azoto usato per la fertilizzazione in agricoltura per un comune fosse direttamente proporzionale all'input di azoto, alla vulnerabilità della falda e alla superficie irrigata. Per il calcolo del rischio è stata utilizzato il modulo MCE (Multi Criteria Evaluation) di IDRISI, e per la precisione la modalità definita "Weighted linear combination" (WLC) assumendo 2 approcci per pesare i fattori:

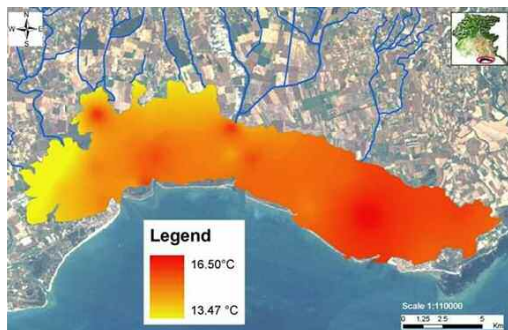
- WLC1, attribuendo lo stesso peso a ciascun fattore (0.33);
- WLC2, attribuendo un peso maggiore (0.4) ai fattori "intensità di coltivazione" e "vulnerabilità della falda" e un peso minore all'"irrigazione" (0.2).

L'indice di rischio è stato espresso in 4 classi di uguale ampiezza, da basso a molto alto. Poiché la mappa ottenuta attribuendo ai fattori pesi diversi mostra valori di rischio più alti, si è scelto di continuare con questa i processi di analisi del DSS/ SDSS. Appare chiara, anche se ancora non è stata quantificata, l'esistenza di una correlazione tra la mappa di rischio WLC2 e la mappa che mostra la distribuzione dell'azoto totale in laguna (valori medi annuali, 2004) (Figura 6). La mappa della distribuzione media annuale di azoto totale nella Laguna di Grado e Marano è stata ottenuta estrapolando all'intera zona i dati puntuali forniti dall'ARPA Friuli Venezia Giulia. I dati sono stati raccolti nei periodi 1987-89, 1993-94 e dal 2000 in poi. Le stazioni di campionamento utilizzate dall'ARPA dal 2000 in poi sono diverse da quelle utilizzate negli anni precedenti (Figura 7).

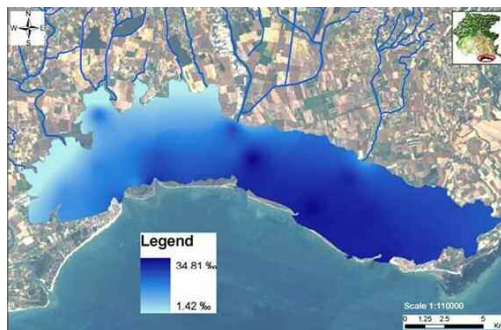


**Figura 8**

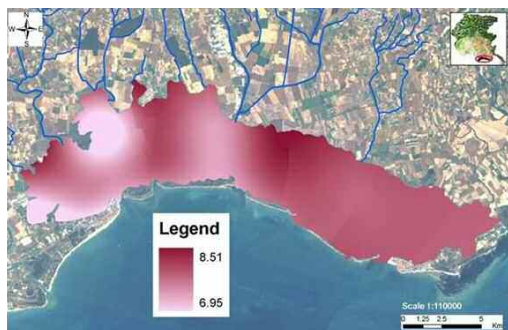
**A – Average temperature in Grado and Marano Lagoon (2004)**



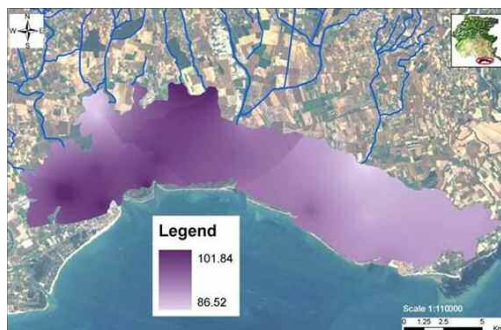
**B – Average salinity in Grado and Marano Lagoon (2004)**



**C – Average pH in Grado and Marano Lagoon (2004)**



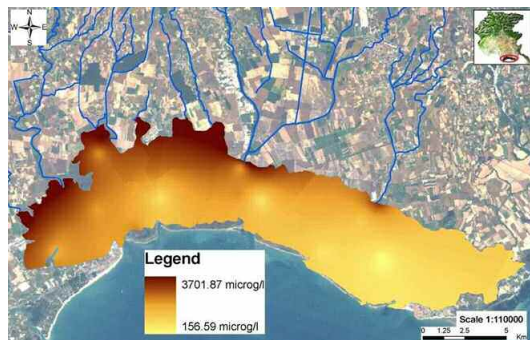
**D – Distribution of oxygen (% of saturation) in Grado and Marano Lagoon (2004)**



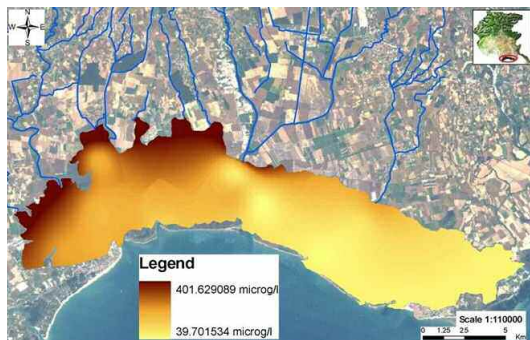
Presso il Dipartimento di Biologia dell'Università di Trieste dai dati ARPA sono state ottenute con l'estrapolazione (usando il modulo SPLINE del software GIS ArcMap 8.3 e 9) per l'anno 2004 le mappe di distribuzione stagionale e annuale di temperatura, salinità, pH, concentrazione di ossigeno disciolto (Figura 8 a, b, c, d), azoto totale, azoto ammoniacale, nitriti, nitrati, fosforo totale e fosfati (Figura 9 a, b, c, d, e, f). Osservando la distribuzione della temperatura e della salinità medie, si nota come la Laguna di Grado sia più calda e salata rispetto a quella di Marano, quindi con caratteristiche più marine. Di fatto, quasi tutti i fiumi della bassa pianura sfociano in laguna di Marano, rendendola più ricca di acqua dolce; solo il Natissa sfocia nella Laguna di Grado. La Laguna di Marano, d'altro canto, risulta caratterizzata da maggiori concentrazioni di nutrienti rispetto a quella di Grado, ad indicare che l'acqua che vi giunge attraverso i fiumi e il sottosuolo sotto forma di acqua di falda è particolarmente ricca sia di azoto che di fosforo. Se si va alla ricerca delle fonti di questi inquinanti, risalendo il bacino scolante, si nota come essi provengano per lo più da un'intensa attività agricola che si esercita soprattutto a nord della linea delle risorgive. Questo viene di fatto confermato dal caso di studio appena descritto.

**Figura 9**

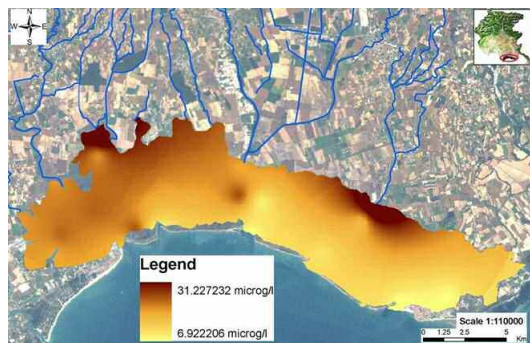
**A – Distribution of total nitrogen in Grado and Marano Lagoon (2004)**



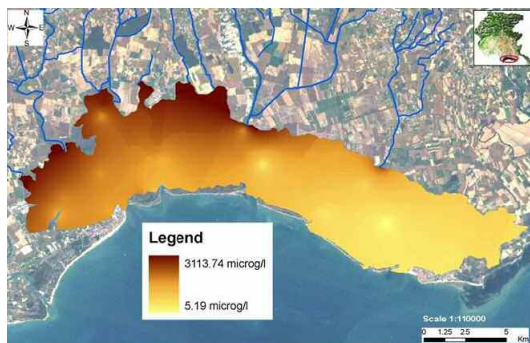
**B – Distribution of NH4\* in Grado and Marano Lagoon (2004)**



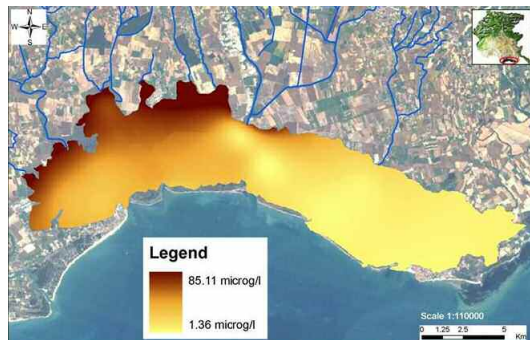
**C – Distribution of nitrites in Grado and Marano Lagoon (2004)**



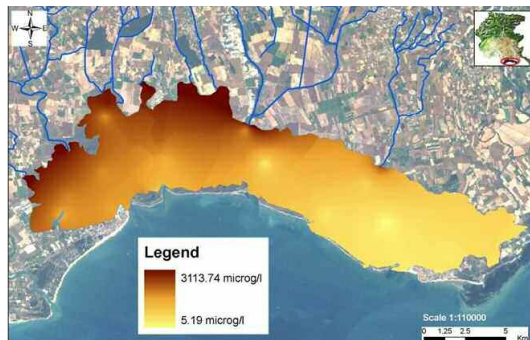
**D – Distribution of nitrates in Grado and Marano Lagoon (2004)**



**E – Distribution of total phosphorous in Grado and Marano Lagoon (2004)**



**F – Distribution of phosphates in Grado and Marano Lagoon (2004)**



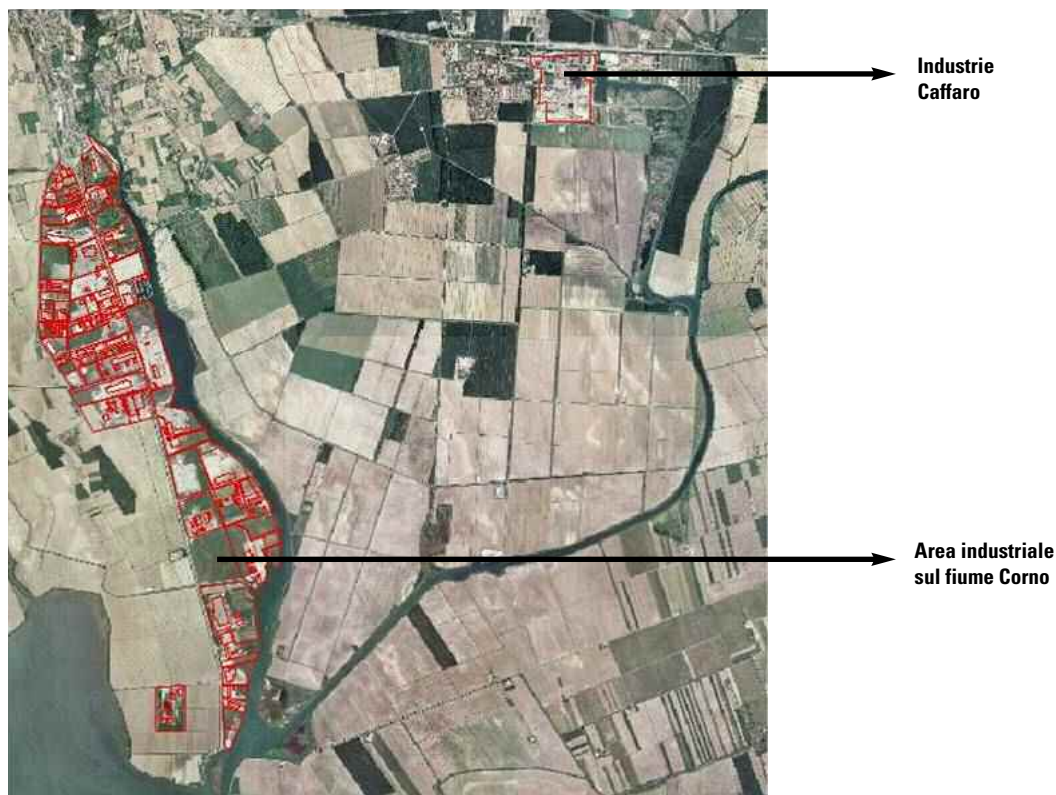


## **Secondo caso di studio: Uso dei dati disponibili sui sedimenti e il bioaccumulo per valutare gli effetti dell'inquinamento industriale sulla Laguna di Grado e Marano.**

I risultati ottenuti analizzando i dati dei campionamenti effettuati nel 2003 nella Laguna di Grado e Marano sulla base della caratterizzazione della Laguna realizzata dall'ICRAM, ed in particolar modo la concentrazione di metalli pesanti riscontrata nei molluschi bivalvi (impatto) e nei sedimenti (stato), sono stati lo stimolo per lo sviluppo di questo caso di studio. Nel ricercare la causa dell'inquinamento da metalli pesanti presente in Laguna, si è risaliti alla driving force, l'industria, esprimendo la pressione da essa esercitata sul bacino scolante attraverso il numero di impiegati nei vari settori industriali delle due aree industriali più vaste del bacino scolante, ossia la zona industriale di Udine (ZIU) e la zona industriale dell'Aussa-Corno.

Mentre nell'area della ZIU dominano i settori siderurgico e metalmeccanico, quello in cui vi sono più impiegati nell'area della ZIAC è il settore chimico. L'industria chimica Caffaro di Torviscosa e il complesso industriale situato sulla sponda destra del fiume Corno, vista la loro vicinanza, sono di certo i maggiori responsabili dell'alta concentrazione di metalli pesanti in laguna (Figura 10). Una volta che la laguna di Grado e Marano venne definita sito inquinato di interesse nazionale,

**Figura 10**

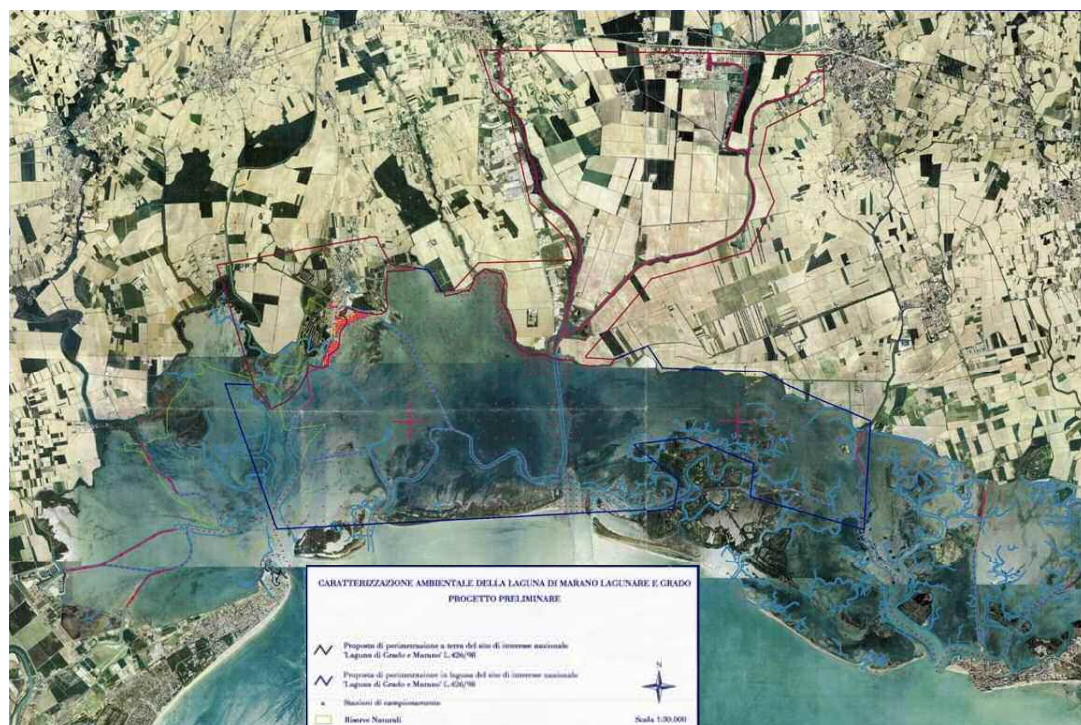


il Commissario della Laguna, come vuole la prassi, diede inizio al monitoraggio del sito in questione prevedendo di realizzare campionamenti sia a livello di sedimento che di bioaccumulo in specifici organismi target. La caratterizzazione della Laguna venne realizzata dall'ICRAM nel 2003. Inizialmente essa prevedeva, all'interno del confine del SIN in Laguna, di distribuire i campionamenti da effettuare sul sedimento non solo lungo i canali più importanti, ma anche secondo una griglia di punti più o meno regolare in modo tale da monitorare l'area definita SIN nel modo più completo possibile. All'esterno del suddetto confine, sempre in Laguna, erano stati previsti campionamenti solo lungo i canali (Figura 11).

Per quanto riguarda il confine del SIN nell'immediato entroterra, l'ICRAM aveva previsto una fitta rete di campionamenti nei fiumi Aussa, Corno e nel canale Banduzzi. Per motivi di tempo e a causa di difficoltà oggettive nella realizzazione del lavoro, il Commissario della Laguna mantenne inalterato il piano dell'ICRAM per quanto riguardava i fiumi dell'entroterra, ma all'interno della Laguna decise di effettuare i campionamenti esclusivamente lungo i canali. (Figura 12)

I campionamenti e le analisi vennero realizzati dalla Cooperativa Nautilus a.r.l. di Vibo Valentia. Sulla base delle tabelle originali fornite dal Commissario della Laguna è stata prodotta la mappa dei punti (Figura 12) a cui è associato un data base con tutti i dati raccolti.

Figura 11



Le località in cui vennero prelevati campioni di sedimento sono le seguenti:

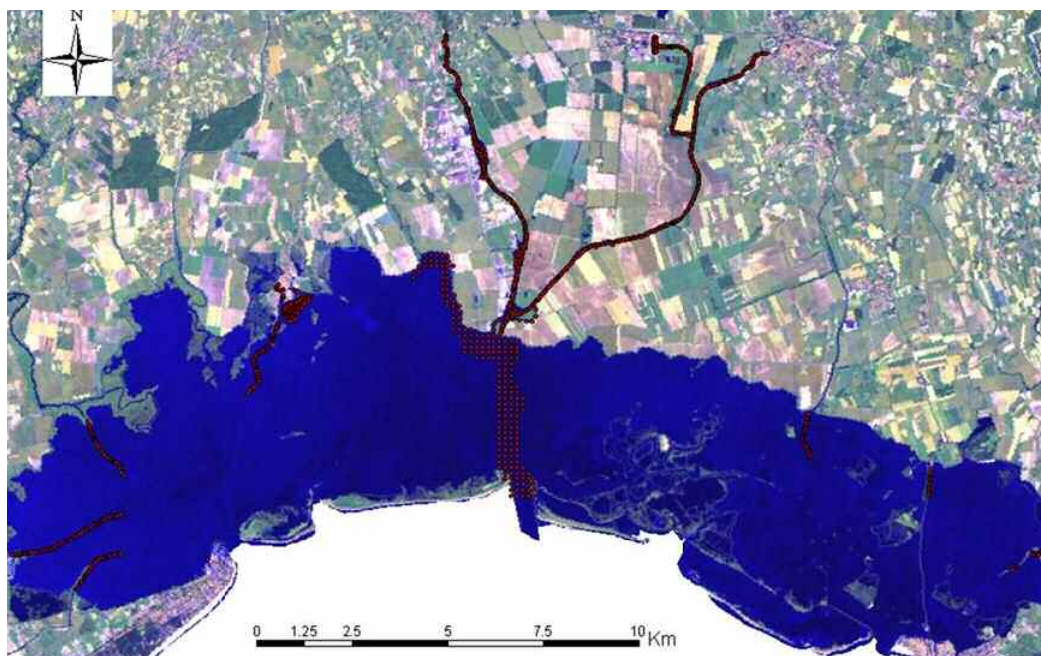
- Canale Aussa Corno Banduzzi
- Canale Barbana
- Canale Belvedere
- Canale Cialisia
- Canale Coron
- Canale Lovato
- Canale Marano
- Canale Molino
- Canale Taiada
- Canale Videra Porto Casoni
- Cassa di colmata Marano A
- Foce Aussa Corno

I carotaggi vennero realizzati a diverse profondità, ma non in maniera univoca per tutti i canali:

- 0- 20 cm
- 30-50 cm
- 100-120 cm
- 180-200 cm
- 280-300 cm
- 330-350 cm
- 380-400 cm

I campionamenti alle profondità di cui al numero 2, 6 e 7 vennero realizzati solo in rari casi. I punti di campionamento distavano tra loro 150 m a livello della foce dell'Aussa-Corno, 50 m (e

**Figura 12**





in certi tratti 10 m) nei canali. Dall'analisi dei dati relativi alle carote prelevate tra 0 e 20 cm, è emerso che, in molti casi, i sedimenti contengono quantità di metalli pesanti che superano i limiti di legge. Di seguito vengono riportati tre boxplot relativi a Hg, Cd e As. (Figura 13 a, b c).

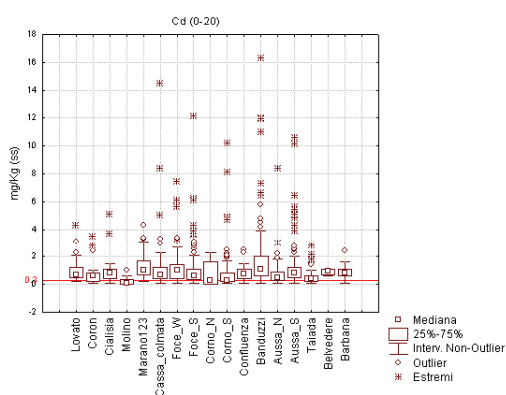
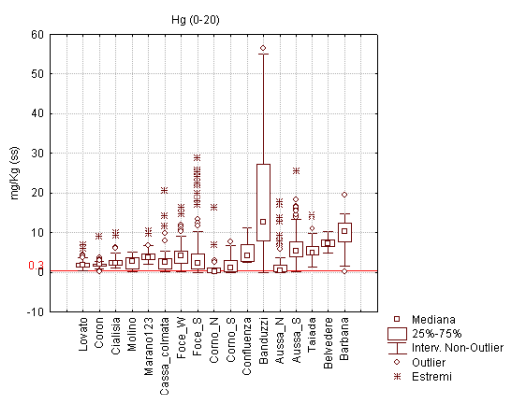
Il mercurio e il cadmio superano praticamente in tutti i canali analizzati il limite definito dal DM 367/2003 pari a 0.3 mg/kg di sostanza secca; l'arsenico supera il limite di 12 mg/kg s.s. definito dallo stesso Decreto almeno in alcuni punti di tutti i canali, eccezion fatta per il canale Molino, la parte più occidentale della foce dell'Aussa-Corno, la parte del fiume Corno a nord dell'area industriale, il Banduzzi e la parte del fiume Aussa a nord del canale Banduzzi.

Il mercurio, in particolare, è un metallo pesante sulla cui distribuzione in Laguna sono stati fatti molti studi. In tutta la Laguna la sua concentrazione supera i limiti di legge (DM 367/2003), ma le maggiori concentrazioni si riscontrano nel Banduzzi e nel canale Barbana. Nel primo caso la fonte principale è rappresentata dalle industrie Caffaro di Torviscosa che per decenni hanno utilizzato il mercurio per le loro attività; nel secondo caso si è ormai sicuri come, almeno in parte, il mercurio provenga dalla foce dell'Isonzo entrando in laguna attraverso la bocca di Primero. Esso proviene dalla miniera di Idria situata in Slovenia a circa 50 km dalla foce dell'Isonzo: le correnti marine spingono l'acqua che esce dalla foce dell'Isonzo verso est, favorendone l'ingresso

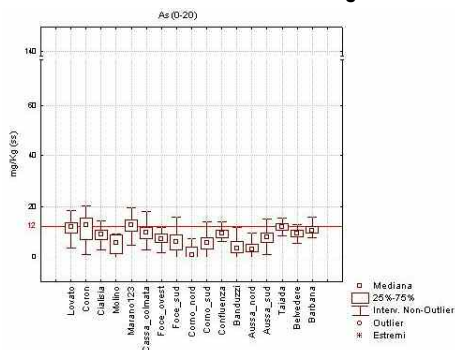
Figura 13

A

B



C



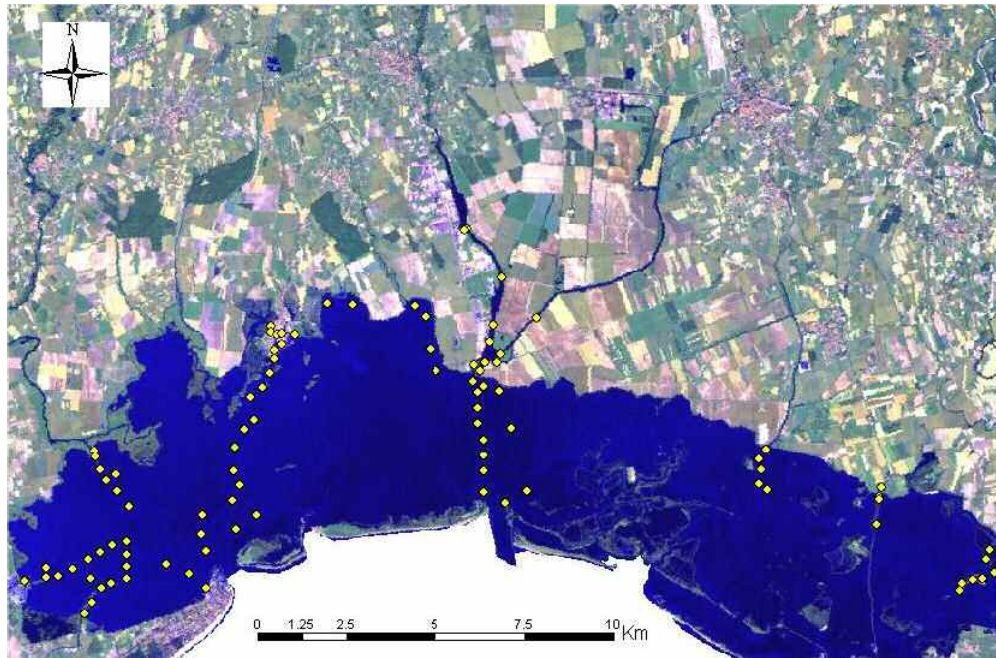
in laguna. Per quanto riguarda il bioaccumulo, le misure vennero eseguite su tre serie di campioni allo scopo di:

- rappresentare il livello di contaminazione di un organismo esposto per l'intero suo ciclo vitale (organismo nativo di taglia matura) ad acque e relativo particolato in sospensione (organismo filtratore), quali possibili veicoli di composti tossici;
- rappresentare la velocità di contaminazione di un organismo maturo proveniente da zone estranee all'ambito lagunare (organismo trapiantato in taglia matura), esposto per una unità di tempo costante (4 settimane, equivalenti ad un mese) sempre ad acque e relativo particolato sospeso;
- rappresentare il livello di contaminazione di un organismo in taglia matura (organismo nativo fossorio in taglia matura) a contatto con i sedimenti nelle aree oggetto di indagine o in quelle limitrofe.

A questo proposito vennero usate due specie (*Mytilus galloprovincialis* e *Cerastoderma sp.*) nel seguente modo:

- campionamento di esemplari di mitili (*Mytilus galloprovincialis*) cresciuti in prossimità delle briccole di segnalazione dei canali, pratica conforme al protocollo Mussel Watch;
- posizionamento e recupero dopo 4 settimane di esemplari di mitili (*Mytilus galloprovincialis*) di provenienza nota, ovvero da zone con impianti al largo ed in corrente, dopo 2 giorni di spurgo in impianto con il solo riciclo d'acqua e senza disinfettanti;
- campionamento di esemplari di cuore edule (*Cerastoderma sp.*) cresciuti nei fondali della zona.

Figura 14



Vennero raccolti complessivamente 127 campioni nei punti indicati dal Piano preliminare di caratterizzazione della Laguna di Marano e Grado redatto dall'ICRAM, coprendo in modo omogeneo le aree critiche: fiumi Aussa, Corno e canale Banduzzi; foce del fiume Aussa-Corno, fino allo sbocco a mare; i canali Marano, Molino, Cialisia, Coron, Lovato, Videra-Porto Casoni, Taiada, Belvedere, Barbana, cassa di colmata Marano. (Figura 14).

Il periodo operativo nei campionamenti *in situ* fu quello a cavallo dei mesi di febbraio, marzo ed aprile 2003, nel periodo di massimo sviluppo gonadico delle specie e con la sicura assenza di intossicazione da biotossine. I valori delle concentrazioni di arsenico totale trovate nei molluschi (Figura 15 a) sono molto bassi (compresi tra 0.1 e 0.4 mg/kg s.s.) nei mitili trapiantati, raggiungono concentrazioni più elevate nei mitili nativi con due punte di 1.3 mg/kg nel fiume Aussa Corno Banduzzi e di 1.7 nel canale Coron (Figura 15 b). Le concentrazioni maggiori sono state trovate nel *Cerastoderma sp.* con valori di 1.5 mg/kg nel canale Coron, 1.3 nel canale Marano tratto III e alla foce del fiume Aussa Corno con valori di 1.2, 1.6, 3.7 (Figura 15 c).

Le concentrazioni trovate per il cadmio risultano essere tutte superiori al valore limite stabilito dal Regolamento (CE) N. 466/2001, pari a 1.0 mg/kg di peso fresco.

Sono relativamente uniformi nei mitili trapiantati (Figura 16 a), comprese in un range tra i 2 mg/kg e i 6 mg/kg con due punte di 12.47 nel canale Marano tratto III e 14.47 nella Cassa di Colmata. Nei mitili nativi i campioni presentano concentrazioni di Cd più disomogenee, con valori elevati nel canale Coron (28.63 e 22.16 mg/kg), nel canale Cialisia (19.54 e 15 mg/kg), una punta di 10 mg/kg nella foce del fiume Aussa Corno e di 11.27 nel canale Taiada (Figura 16 b).

Nel *Cerastoderma* le concentrazioni assumono picchi elevati (tra 16.81 e 28.62) nel canale Coron e nella foce dell'Aussa Corno (22.1 mg/kg), attestandosi su valori medio alti nei canali Barbana (13.97 mg/kg), Lovato e Videra-Porto Casoni (circa 10 mg/kg) e nel Taiada (9.32 mg/kg) (Figura 16 c).

Anche le concentrazioni del mercurio superano in tutti i campionamenti il valore limite di 0.5 mg/kg stabilito dal Regolamento (CE) 466/2001 pari a 0.5 mg/kg di peso fresco. Nei mitili trapiantati sono distribuite abbastanza uniformemente tra i 0.6 mg/kg e gli 1.2 mg/kg, con due picchi, uno nel canale Marano tratto III (4.82 mg/kg) e uno nel canale Barbana (2.98 mg/kg) (Figura 17 a). Nei mitili nativi le concentrazioni più elevate (29.3 mg/kg) si trovano alla foce del fiume Aussa, ed altri picchi sono presenti nel canale Videra-Porto Casoni (16.51 mg/kg), nel canale Cialisia (14.32 mg/kg) e nel Coron (12.45 mg/kg) (Figura 17 b). Nel *Cerastoderma* si riscontrano alte concentrazioni nel canale Coron (17.96 e 10.99 mg/kg), nel canale Cialisia (10.54 mg/kg) e alla foce del Fiume Aussa Corno (13.72, 13.13 e 6.85 mg/kg) (Figura 17 c).

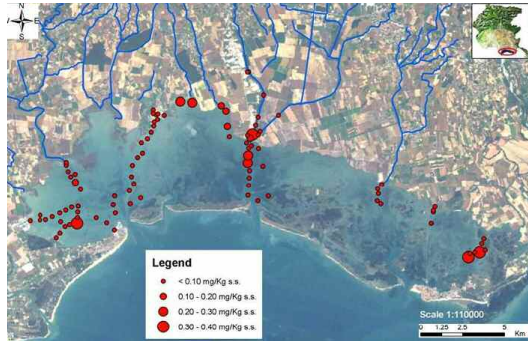
La valutazione di dati analitici acquisiti negli ultimi 15 anni di monitoraggio delle lagune di Marano e di Grado evidenzia:

- una significativa contaminazione da mercurio nel sedimento;
- un altrettanto significativo accumulo nei molluschi filtratori eduli;
- una recente tendenza all'incremento in alcune aree e nel *Tapes*, anche oltre i limiti di legge (0,5 mg/kg).
- non sono stati finora rilevati incrementi delle concentrazioni nei pesci, nei capelli della popolazione esposta; né danni neurologici in figli di madri contaminate.

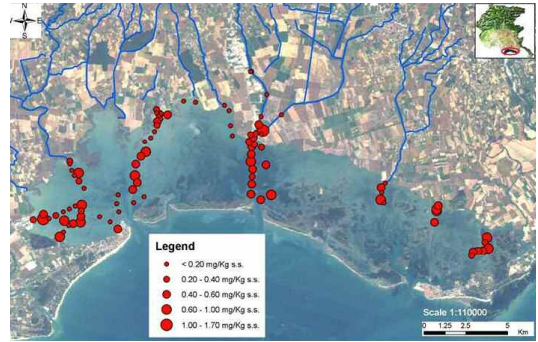
Il controllo ambientale e sanitario utilizzando bioindicatori è efficace per prevenire i rischi da inquinamento lagunare da mercurio.

**Figura 15**

**A – Concentration of As in transplanted *Mitilus galloprovincialis***

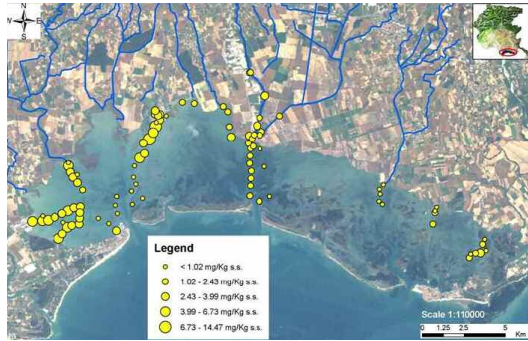


**B – Concentration of As in native *Mitilus galloprovincialis***

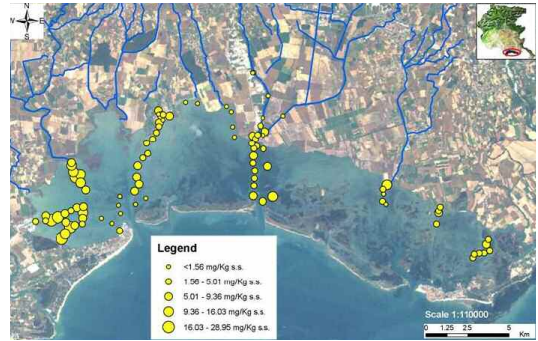


**Figura 16**

**A – Concentration of Cd in transplanted *Mitilus galloprovincialis***



**B – Concentration of Cd in native *Mitilus galloprovincialis***



**Figura 17**

**A – Concentration of Hg in transplanted *Mitilus galloprovincialis***

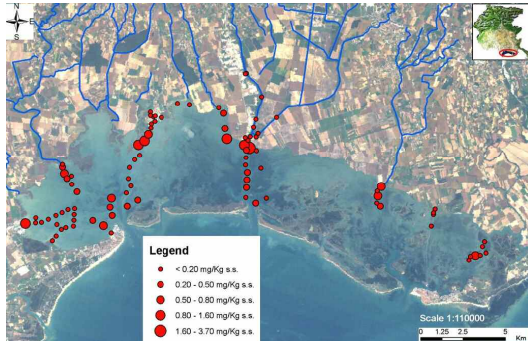


**B – Concentration of Hg in native *Mitilus galloprovincialis***

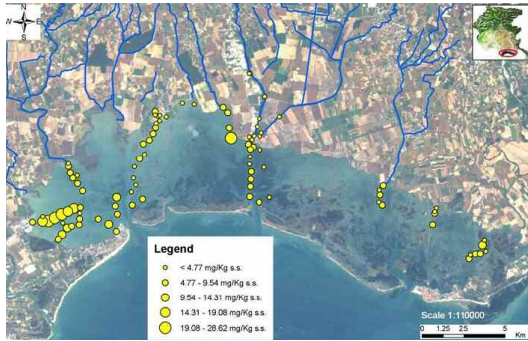




**C – Concentration of As in Cerastoderma sp.**



**C – Concentration of Cd in Cerastoderma sp.**



**C – Concentration of Hg in Cerastoderma sp.**





### **Terzo caso di studio: Uso del Remote Sensing per estrapolare informazioni sulla distribuzione delle fanerogame nella Laguna di Grado.**

Con il presente lavoro si è cercato di analizzare la morfologia del sistema lagunare di Grado attraverso l'utilizzo di immagini telerilevate a diverse risoluzioni spaziali.

Il principio del Telerilevamento si basa sulla capacità di differenziare il maggior numero d'elementi od oggetti sul territorio (suolo, vegetazione, acqua, urbanizzato ecc.) descrivendo le caratteristiche spettrali di ciascuno di loro alle diverse lunghezze d'onda a cui è sensibile il sensore del sistema. Sono quindi possibili misure a distanza, basate essenzialmente sul comportamento delle superfici dei corpi, relativamente alle onde elettromagnetiche nel visibile e nell'infrarosso. Tali misure sono indirizzate al riconoscimento indiretto della struttura degli elementi territoriali, o al rilevamento d'alcune caratteristiche fisiche come, ad esempio, l'umidità o la temperatura.

Sensori utilizzati:

1. Landsat TM 5 , scena del 25/09/2000  
Risoluzione spettrale: 7 bande  
Risoluzione spaziale: VNIR-SWIR (30 m), TIR (120 m)
2. Aster , scene del 11/09/2001 (alta marea) e del 08/03/2002 (bassa marea)  
Risoluzione spettrale: 14 bande  
Risoluzione spaziale: VNIR (15 m), SWIR (30 m), TIR (90 m)
3. Aisa Eagle hyperspectral sensor (OGS-HELICA)  
Risoluzione spettrale: 244 bande (63 bande)  
Risoluzione spaziale: VNIR (0.71 m – 1 m)

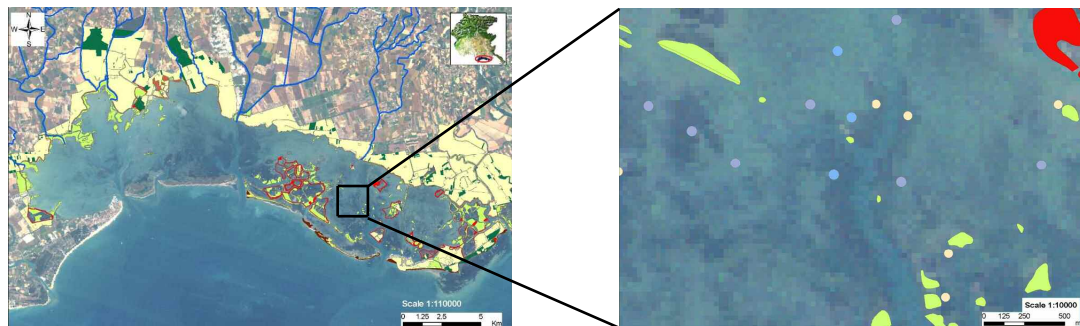
Lo scopo era di mettere in luce, oltre ai diversi tipi di habitat presenti in Laguna, soprattutto la distribuzione delle fanerogame marine. Le mappe a disposizione del Dipartimento di Biologia che indicano la distribuzione delle fanerogame marine sono incomplete, nel senso che la presenza delle fanerogame viene messa in evidenza con punti (Figura 18) e non con poligoni che ne definiscano la distribuzione areale. Non esiste ancora, allo stato attuale, una mappa completa delle fanerogame per tutta la Laguna di Grado e Marano, per quanto sia stata realizzata nel 2005 una mappa degli habitat della laguna in scala 1:10000 realizzata da Poldini et al. e disponibile presso il Servizio VIA della Regione Friuli Venezia Giulia.

Le fanerogame marine rappresentano una componente biotica molto importante dell'ecosistema lagunare; esse colonizzano principalmente fondali fangosi e si sviluppano fino a coprire vaste aree che vengono chiamate *praterie di fanerogame*. All'interno delle lagune di Grado le specie sono: *Cymodocea nodosa*, *Zostera marina*, *Zostera noltii* e *Ruppia maritima*. Le zone colonizzate da queste piante assumono un ruolo importante nell'ecologia generale e nella produttività primaria della laguna, inoltre, vista la natura rizomatosa di queste specie, contribuiscono alla protezione del substrato dall'erosione. Purtroppo oggi le fanerogame marine ricoprono solo una piccola percentuale del fondale, mentre un tempo erano molto più estese, e questo comporta un innesco del fenomeno erosivo oltre a portare alla distruzione di un ecosistema.















L'OGS (Istituto Nazionale di Oceanografia e di Geofisica Sperimentale) dispone di un sistema *AISA Eagle 1K* prodotto dalla Specim ([www.specim.fi](http://www.specim.fi)). Si tratta di un sistema a scansione *pushbroom* costituito da un sensore iperspettrale, un sensore GPS/INS e un'unità di acquisizione dati implementata in un PC.

L'intero sistema è montato a bordo di un elicottero modello Aerospaziale AS350, mezzo che consente una elevatissima flessibilità operativa (Figura 19).

**Figura 18**  
**Map of vegetation of Grado and Marano Lagoon**



**Legend**

- |   |   |   |   |
|---|---|---|---|
|    | Annual pioneer vegetation of salt and sub-salt habitats: <i>Cakiletea maritima</i>          |    | Perennial alophite vegetation (sandbanks: <i>Spartinetea maritima</i> ; pioneer vegetation on brackish soil: <i>Thero-Salicornietea</i> with a dominance of <i>Phragmites australis</i> ) |
|    | Annual or preennial ruderal vegetation ( <i>Sysimbrietalia</i> or <i>Artemisietea</i> )     |    | Phanerogam of sweet and brackish water ( <i>Potamogeton pectinatus</i> )  |
|    | Areas that rise out only with low tide  |   | Pioneer grasslands ( <i>Agropyretalia intermedii-repentis</i> )   |
|  | Areas without vegetation  |  | Urban and cultivated areas  |
|  | Fishing valleys   |  | Vegetation in brackish water ( <i>Ruppia maritima</i> )   |
|  | Marine phanerogams in lagoon ( <i>Zostera marina</i> L.); habitat submerged during low tide |  | Woods and shrubland, included planted trees   |
|  | Marine phanerogams in lagoon ( <i>Zostera nana</i> ); rising out habitats                   |   |   |
|  | Marine phanerogams of extra-lagoon habitats ( <i>Cymodocea nodosa</i> )                     |   |   |



**Figura 19**

Le caratteristiche tecniche principali del sistema sono le seguenti:

- Intervallo spettrale: 400 - 970 nm (Visibile - Infrarosso vicino)
- Bande spettrali: 244
- Risoluzione spaziale a terra a 1000 m: 0.71 m.

Nel 7 aprile 2005 (marea +40 cm) è stata acquisita una strisciata con il sensore iperspettrale Aisa Eagle (OGS-HELICA) avente una risoluzione spaziale di 0.71 m (ricampionata poi a 1 m) ed una risoluzione spettrale di 244 bande (ricampionate a 63). Essa misura circa 800 metri di larghezza per 5 chilometri di lunghezza e interessa una fascia che va dalla bocca di Lignano verso Marano. Quest'immagine iperspettrale ha permesso di osservare dettagli estremamente piccoli all'interno della laguna, quali le reti da pesca (Figura 20 a), le briccole (Figura 20 b) o i segni lasciati sul fondale dai ramponi maranesi utilizzati per la pesca alle vongole (Figura 20 c).

Con una classificazione supervised realizzata su questa strisciata è stato possibile discriminare l'acqua a diverse profondità da diversi tipi di substrato più o meno grossolani, fino ad evidenziare i banchi di ostriche e le praterie di fanerogame (Figura 21).

Non essendo possibile, per motivi di costi, coprire tutta la laguna di Grado e Marano con questo sensore, si è pensato di estrapolare le informazioni così acquisite ad una parte più vasta della laguna, quella di Grado, usando le immagini Aster.

Sono state utilizzate, a questo fine, due immagini: la prima dell'11/09/2001 acquisita durante una fase di alta marea (+ 8 cm), la seconda dell' 08/03/2002 acquisita durante la bassa marea (-22 cm). Solamente la laguna di Grado viene coperta da entrambe le immagini.

**Figura 20**

**A**



**B**



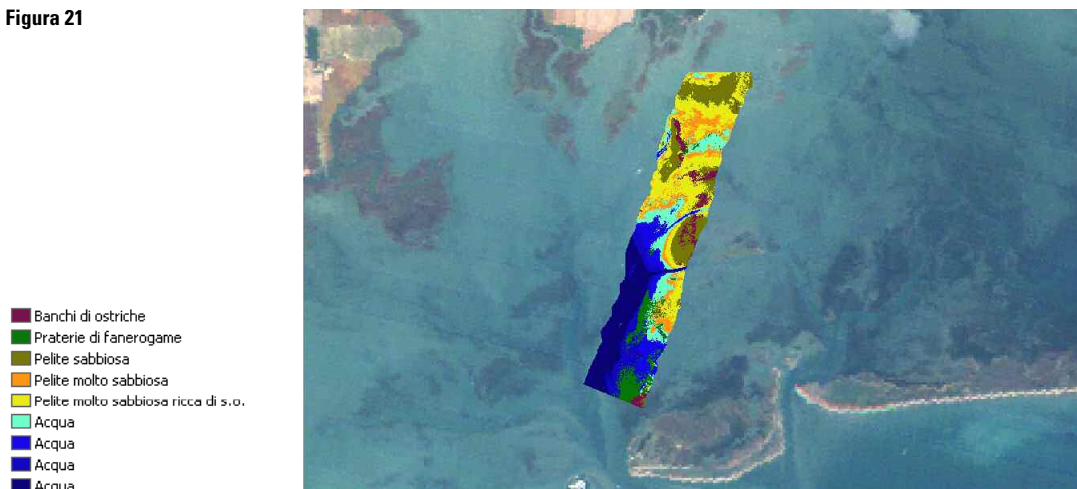
**C**



Per poter distinguere correttamente le zone emerse da quelle sommerse, le due immagini sono state visualizzate in scala di grigi nella sola banda dell'infrarosso vicino in quanto la radiazione infrarossa viene assorbita totalmente nei primi strati d'acqua. Questa proprietà fa sì che nelle immagini così ottenute si distinguano nettamente anche "a occhio" le zone sommerse, dato che queste appaiono di colore più scure. Ovviamente tutto ciò ha un riscontro numerico, infatti le aree più scure corrispondono a parti dell'immagine in cui ai singoli pixel è associato un basso valore del digital number, mentre a quelle più chiare, corrispondenti alle terre emerse, è associato un valore maggiore. Una volta individuato il valore soglia che ha permesso di definire quali aree possono essere considerate emerse e quali sommerse in ciascuna delle immagini, è stata utilizzata la funzione "Density slicing" di ENVI (il software utilizzato per elaborare le immagini) per suddividere le immagini in classi diverse a seconda delle aree in esse presenti. Queste nuove rappresentazioni hanno permesso di distinguere immediatamente le zone che si trovano sopra il livello dell'acqua nelle due immagini, però non le aree che emergono con la bassa marea e vengono sommerse dall'alta marea. Per poter visualizzare queste zone è stata effettuata un'addizione delle due immagini che ha permesso l'individuazione di tre classi: aree sommerse, aree emerse e zone intertidali.

Dopo aver mascherato le immagini togliendo l'acqua di mare e l'entroterra, esse sono state dapprima classificate separatamente utilizzando una unsupervised (metodo Isodata). In ciascun caso sono state ottenute 12 classi, poi accorpate a 6 per ridurre la frammentazione delle classificate, ma i risultati non si sono rivelati soddisfacenti. Quindi, per migliorare il riconoscimento delle morfologie lagunari, sono state sovrapposte in un unico file tutte e sei le bande spettrali presenti nelle due immagini, in modo da considerare durante la classificazione entrambi i contributi, sia quelli dell'alta marea che quelli della bassa marea. La mappa ottenuta dalla classificazione unsupervised di questo nuovo file è mostrata in figura 22.

**Figura 21**



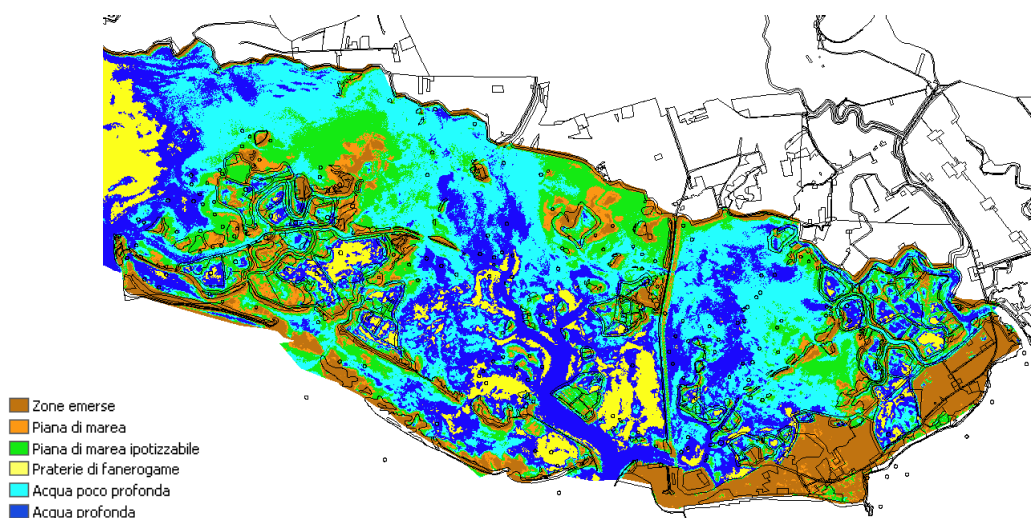
Sovrapponendo a questa mappa quella in cui veniva rappresentata in maniera puntuale la distribuzione di fanerogame in laguna (Figura 18), si è visto che vi è una buona corrispondenza tra la distribuzione delle fanerogame messa in luce dalla classificazione e quella reale cartografata dopo aver confermato la loro presenza direttamente in campo.

In particolare *Ruppia maritima* è presente all'interno delle valli da pesca, *Zostera marina* e *Z. noltii* si trovano nelle acque della laguna e *Cymodocea nodosa* presso la bocca lagunare di Grado e nell'area a carattere paralagunare che si trova appena dietro il litorale sabbioso e che si estende dalla bocca di Porto Buso alla bocca di Grado. La distribuzione di queste praterie non è casuale, ma è determinata dagli habitat delle specie sopra indicate. Infatti la *Ruppia maritima* vive dove l'acqua è stagnante, la *Zostera marina* e *Z. noltii* sono specie tipiche delle acque temperate e colonizzano prevalentemente le zone intertidali o comunque aree interne dove la velocità della corrente è limitata e le escursioni di temperatura e salinità sono elevate, mentre la *Cymodocea nodosa* cresce in prossimità delle bocche lagunari, in corrispondenza delle quali la velocità di corrente e quindi anche il ricambio d'acqua sono elevati, la salinità dell'acqua è prossima a quella marina e i fondali sono prevalentemente sabbiosi.

Per verificare ulteriormente la validità di Figura 22, essa è stata confrontata con la mappa creata per poter individuare le aree intertidali in modo da accertare che le zone indicate come aree emerse e come piana di marea nella mappa finale fossero identificate come tali anche nella mappa volta a distinguere le zone emerse da quelle sommerse ed intertidali e che deriva dai dati originali e non classificati.

Dal confronto è risultato che le due mappe non si contraddicono e vi è buona corrispondenza tra le aree identificate come zone emerse e come piane di marea in entrambe le mappe.

Figura 22



In conclusione si può affermare che il proposito di individuare le morfologie effettivamente presenti nella laguna di Grado tramite l'analisi di immagini multispettrali ASTER sia stato raggiunto. La mappa finale infatti risulta abbastanza fedele alla realtà. L'utilizzo di immagini provenienti dal sensore ASTER, con una risoluzione spaziale di 15 m, si è rivelato appropriato nello studio della morfologia dei sistemi lagunari. Il confronto con i dati di campo e la cartografia esistente ha confermato l'attendibilità dei risultati ottenuti dalla classificazione.

## BIBLIOGRAFIA BIBLIOGRAPHY

- Brambati A., 1996. *Metalli Pesanti nelle lagune di Marano e Grado*, piano di studi finalizzato all'accertamento della presenza di eventuali sostanze tossiche presenti nel bacino lagunare di Marano e Grado ed al suo risanamento. Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia, Direzione dell'Ambiente – Servizio dell'Idraulica, 174.
- Brambati A., 1992. *Piano di Conservazione e Sviluppo del Parco naturale della laguna. Fase di analisi. Aspetti idrologici, geologici e morfologici*. Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia.
- Brambati A., 1969. *Sedimentazione recente nelle lagune di Marano e Grado (Adriatico Settentrionale)*, St. Trent. Sc. Nat., 46, 142-239.
- Comel A., Nassimbeni P. & Nazzi P., 1992. *Carta pedologica della pianura friulana e del connesso anfitrao morenico del Tagliamento. Scala 1:50.000*. Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia, CRSA, Direzione regionale della pianificazione e del bilancio.
- Cordara P., 1994. "Indirizzi metodologici nell'analisi e nella valutazione della qualità visiva del paesaggio", in: *La tutela del paesaggio nel Friuli Venezia Giulia*, vol. I-II e Allegati, Udine. Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia. Direzione regionale della pianificazione territoriale. Genio Rurale, 7/8, 33-41.
- Dorigo L., 1965. *La laguna di Grado e le sue foci. Ricerche e rilievi idrografici*. Ufficio idrografico del magistrato delle acque, 155, Venezia, 231.
- Gallizia Vuerich L., Poldini L. & Feoli E., 2001. "Model for the potential natural vegetation mapping of Friuli Venezia Giulia (NE Italy) and its application for a biogeographic classification of the region", in *Plant Biosystems*, 135 (3), 319-336.
- Gatto F. & Marocco R., 1992. *Caratteri morfologici ed antropici della laguna di Grado (Alto Adriatico)*. Gortania – Atti del Museo Friulano di Storia Naturale, 14, 19-40.
- Marocco R., 1995. "Sediment distribution and dispersal in northern Adriatic lagoons (Marano and Grado paralic system)", in *Giornale di Geologia*, ser. 3°, vol 57/1-2, 77-89.
- Michelutti M., Zanolla S. & Barbieri S., 2003. *Suoli e paesaggi del Friuli Venezia Giulia. 1. Pianura e colline del Pordenonese*. Carta a scala 1:100.000. ERSA.
- Ortolan I., 2003. *Biomonitoraggio della diversità vegetale diffusa in unità di paesaggio ad alta alterazione ambientale con l'ausilio di GIS e Remote Sensing*. Dottorato di Ricerca in Metodologie di Biomonitoraggio dell'Alterazione Ambientale. Università di Trieste.
- Simonetti G., 1992. *Piano di Conservazione e Sviluppo del Parco naturale della laguna. Fase di analisi. Aspetti floristici e vegetazionali*. Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia, 73.
- Spoto M., Visintin G., Perco F., Zucca P., Kravos K., Zanutto I., Guzzan C., Vicario G. & Utmar P., 1992. "Rapporto Modulo 3", in *Integrated Management of Wetlands*. Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia, Azienda dei Parchi e delle Foreste Regionali, Servizio di Conservazione della Natura.