

E-QUALITY: un software GIS per la valutazione della qualità ambientale della Laguna di Venezia

Jonathan Rizzi, Andrea Critto, Stefania Gottardo, Antonio Marcomini

Università Ca' Foscari di Venezia, Dipartimento di Scienze Ambientali, Dorsoduro, 2137, 30121 - Venezia
tel +390412348548, fax +390412348584, jonathan.rizzi@unive.it, marcom@unive.it

Sintesi

E-QUALITY è un software per la valutazione della qualità ambientale della Laguna di Venezia composto da tre moduli: il primo è il geodatabase, il secondo è quello che permette di effettuare la valutazione della qualità ambientale a livello di sito di campionamento, il terzo è quello che permette la valutazione della qualità ambientale a livello di corpo idrico. Lo scopo principale del software è quello di poter effettuare rapidamente il processo di valutazione della qualità dei corpi idrici secondo le specifiche definite dalla Direttiva Quadro sulle Acque (Water Framework Directive, WFD) emanata dalla Comunità Europea. Il processo di valutazione della qualità avviene attraverso l'applicazione di un workflow basato su cinque Linee di Evidenza (LOE, Lines of Evidence): Biologia, Chimica, Chimico-Fisica, Ecotossicologia e Idromorfologia. Il risultato è la definizione della probabilità di appartenenza di ogni corpo idrico ad ognuna delle cinque classi di qualità definite dalla WFD. Tale risultato è visualizzabile attraverso un report tabellare o grafico oppure attraverso dei grafici a torta localizzati sopra ogni corpo idrico dove l'ampiezza delle fette rappresenta la percentuale di appartenenza ad ogni classe di qualità e il colore rappresenta la classe di qualità.

E-QUALITY è stato implementato integrando ESRI ArcGIS, utilizzato per la parte riguardante le elaborazioni spaziali, e Microsoft Access, utilizzato per le elaborazioni non spaziali e la creazione delle interfacce utente; l'utente finale può utilizzare il software attraverso dei visualizzatori gratuiti (Microsoft Access Runtime e ESRI ArcReader).

Nell'ambito dell'applicazione effettuata sulla Laguna di Venezia numerosi dati provenienti da vari studi eseguiti da diverse istituzioni nel corso degli ultimi anni, sono stati raccolti, digitalizzati (qualora non lo fossero) e standardizzati. L'applicazione ha portato alla classificazione di tutti i corpi secondo le cinque classi di qualità, attribuendo a ciascuno la probabilità di appartenenza ad ogni classe.

Nell'articolo viene illustrata la struttura del software e alcuni risultati preliminari ottenuti dalla sua applicazione alla Laguna di Venezia.

Abstract

E-QUALITY is a software for the assessment of the environmental quality of the Lagoon of Venice composed by three modules: the first is the geodatabase, the second is the one for the environmental quality assessment at sampling site scale, the third is the one for the environmental quality assessment at water body scale. The purpose of the software is the assessment of the water bodies' quality according to the Water Framework Directive (WFD) approved by the European Community. The water assessment procedure is done following a workflow based on five Lines of Evidence: Biology, Chemistry, Physico-Chemistry, Ecotoxicology and Hydromorphology. The final result is the probability of belonging to each one of the five quality classes defined by the WFD for each water body. The result can be visualized through a tabular report or a bar-graph and

also through pie chart map, where the dimension of each pie slice represents the percentage of membership to each quality class while the colour indicate the quality class.

E-QUALITY was implemented integrating ESRI ArcGIS, used for the spatial analysis, and Microsoft Access, used for the elaboration of non georeferenced data and for the design of the user interfaces; final users have the possibility to use the software through free viewers (Microsoft Access Runtime and ESRI ArcReader).

Within the application to the Lagoon of Venice several data coming from different monitoring campaigns conducted by different institutions during last years have been collected, digitalized (if needed) and standardized. The application has provided the classification of all water bodies in the five quality classes, defining for each one the percentage of membership to a each quality class.

In the paper the software structure is introduced together with the preliminary results of its application to the Lagoon of Venice.

Introduzione

L'implementazione della Water Framework Directive (WFD; European Community, 2000) richiede il raggiungimento di un buono stato ecologico dei corpi d'acqua di tutta Europa entro il 2015. Il concetto di stato ecologico include la valutazione degli impatti di numerosi stressori antropogenici sulla struttura delle comunità biologiche e sulle funzioni generali degli ecosistemi dei corpi idrici (Heiskanen et al., 2004). Per raggiungere questo obiettivo, la WFD si concentra sull'integrazione di parametri biologici, chimici, fisico-chimici e idromorfologici attraverso indicatori ed indici, al fine di definire delle classi di qualità (da elevata a pessima) per i corpi idrici studiati. La qualità ecologica di una tipologia di corpo idrico (fiume, area costiera, ambiente di transizione, lago, artificiale) è definita attraverso un confronto con la qualità ecologica dell'area di riferimento per la stessa tipologia di habitat (approccio *ratio-to-reference*), come descritto nell'allegato V della WFD. Negli ultimi anni sono stati sviluppati diversi strumenti e Sistemi di Supporto alle Decisioni (DSS, Decision Support System) per l'applicazione della WFD agli ambienti fluviali, ma fino ad oggi solo pochi tool sono stati sviluppati per l'applicazione agli ambienti di transizione quali le lagune. I DSS sono strumenti che supportano i *policy maker* nel processo decisionale, basando la valutazione sul confronto di diversi scenari basati su modelli numerici che utilizzano dei database. L'integrazione con i sistemi informativi territoriali permette di aggiungere le funzionalità tipiche di un GIS ad un DSS che viene chiamato DSS Spaziale (SDSS, Spatial Decision Support System).

Un SDSS per l'applicazione della WFD deve basarsi su procedure di analisi del rischio ambientale (ARA), in grado di identificare rapidamente lo stato e i trend dei vari habitat, identificare gli agenti di stress dell'ecosistema e stimare l'integrità ecologica, come richiesto dalla direttiva. Gli sviluppi scientifici più recenti dell'ARA mirano alla definizione di approcci di tipo *Weight of Evidence* (WOE; Chapman, 2009) implementati in ambiente GIS. L'approccio WOE permette l'integrazione di dati e informazioni eterogenee, organizzate in Linee di Evidenza (LOE, Lines of Evidence), valutando lo stato ecologico di un corpo idrico considerando tutte le componenti ambientali.

L'approccio WOE riduce l'incertezza della stima, fornisce un processo tracciabile dalla raccolta dai dati grezzi fino alla valutazione della qualità, così da ridurre la perdita di informazioni, e può essere usato per supportare il processo decisionale prioritizzando le aree critiche in accordo con le preferenze dell'utente e supportando l'identificazione dei fattori che influenzano la qualità.

Nel presente articolo viene presentato il tool E-QUALITY e vengono descritti i vari moduli implementati a supporto della metodologia predisposta per la valutazione integrata delle qualità ambientale degli ambienti di transizione, e vengono discussi i risultati dell'applicazione al caso di studio della Laguna di Venezia.

Il caso di studio: la Laguna di Venezia

La Laguna di Venezia si trova nella parte Nord-Est dell'Italia ed ha una estensione di circa 550 Km². Si tratta di un ambiente di transizione che nel corso dei secoli è stato profondamente modificato degli interventi antropici che l'hanno preservato dalle modifiche dovute all'erosione e ai

processi di sedimentazione. La Laguna riceve l'apporto idrico dai fiumi del bacino scolante (la cui portata è stata ridotta nel corso dei secoli con la costruzione di canali che ne hanno deviato parti dei flussi esternamente alla Laguna) e dalle tre bocche di porto.

L'area di terraferma che si affaccia sulla Laguna di Venezia si è sviluppata prevalentemente nel corso del XX° secolo attraverso un rapido processo di industrializzazione, legato soprattutto all'industria chimica. Tale sviluppo ha portato ad un forte incremento dell'inquinamento nella Laguna (presenza di idrocarburi, metalli, inquinanti organici persistenti (POP)), che negli ultimi decenni a subito numerosi altri impatti fra cui fenomeni di eutrofizzazione, la risospensione dei sedimenti dovuta all'utilizzo di tecniche di mitilicoltura particolarmente invasive, la subsidenza (in parte di origine naturale e in parte di origine antropica) e l'aumento della forza e della intensità delle inondazioni dovute ai cambiamenti climatici.

Il tool E-QUALITY

Il tool E-QUALITY è un DSS finalizzato a supportare esperti e decisori nella valutazione della qualità ambientale degli ambienti di transizione secondo le specifiche della WFD. Il tool utilizza una metodologia che si basa sui principi dell'analisi di rischio ambientale attraverso l'implementazione di un approccio di tipo WOE. Gli obiettivi che si sono voluti raggiungere con il tool sono i seguenti:

- sviluppare un database ambientale che organizzasse tutti i dati disponibili all'interno di una struttura standardizzata;
- identificare indicatori ed indici adatti per l'applicazione alla Laguna di Venezia e automatizzarne la loro definizione;
- sviluppare una metodologia che integrasse i dati ambientali in indici, e quindi classificare la qualità dei corpi idrici nelle cinque classi della WFD.

Il tool E-QUALITY permette di visualizzare tutte le informazioni raccolte tramite ArcGIS e permette di effettuare, pertanto, elaborazioni ed analisi di tipo spaziale. Il Geodatabase è stato realizzato nel formato Personal Geodatabase di ESRI, e si tratta di una database di Access in grado di gestire informazioni spaziale. Il tool è una applicazione di tipo desktop che permette di utilizzare in maniera integrata geodatabase e GIS, oppure di utilizzare solo il geodatabase senza visualizzazione se si è interessati solo alla consultazione dei dati numerici.

Il geodatabase

Il geodatabase rappresenta il primo modulo di E_QUALITY, utilizzato per gestire dati provenienti da fonti diverse e capace di gestirli in un formato standardizzato. Nell'applicazione alla Laguna di Venezia è stato popolato con i dati raccolti durante diversi programmi di monitoraggio che coprivano un arco temporale dal 1987 al 2004, concernenti la concentrazione di inquinanti in matrici ambientali (acqua, sedimento, biota), caratteristiche chimico fisiche dell'acqua e concentrazione dei nutrienti, abbondanza di pesci, macroinvertebrati, alghe e macrofite e saggi ecotossicologici con batteri o macroinvertebrati bentonici.

Al fine di agevolare l'organizzazione e la navigazione dei dati, e per rispettare le indicazioni della WFD (European Community, 2003a), i dati sono stati organizzati in cinque diverse LOE: Biologia, Chimica, Chimica-Fisica, Ecotossicologia e Idromorfologia. Per ogni LOE sono state definite delle categorie che a loro volta raggruppano dei parametri. Considerando, ad esempio, la LOE Chimica, una possibile categoria è rappresentata dai PCB, mentre i parametri sono i singoli congeneri; per la LOE Biologia, invece, una categoria è quella dei pesci o dei macroinvertebrati e i parametri sono rispettivamente le specie di pesci o macroinvertebrati.

Le principali informazioni raccolte all'interno del geodatabase sono relative alle tipologie di habitat lagunari e ai corpi idrici, ai siti di campionamento, ai valori sperimentali dei dati e relativi metadati (ad esempio, il metodo di campionamento e di analisi) e agli studi utilizzati (periodo di svolgimento, istituzione, obiettivi).

Il geodatabase è consultabile e gestibile attraverso una serie di interfacce utente implementate al fine di poter cercare e visualizzare in maniera semplice ed efficace i dati. Per la consultazione iniziale dei dati sono state previste due diverse modalità che permettono di accedere al geodatabase: o sulla base di una specifica tipologia di habitat e di uno specifico sito di campionamento; o sulla base di uno specifico parametro investigato. I risultati delle ricerche possono essere esportati come report o come tabelle riutilizzabili per ulteriori elaborazioni con altre applicazioni (ad esempio Excel). I siti e i dati selezionati, inoltre, possono essere visualizzati su una mappa per valutarne la distribuzione spaziale, per individuare eventuali mancanze nei dati e per definire ulteriori ricerche.

La valutazione integrata della qualità ambientale a scala di sito e di corpo idrico

La metodologia di valutazione integrata implementa le specifiche definite dalla WFD per il monitoraggio e la valutazione degli ambienti acquatici di transizione (European Community, 2003b), integrando 5 LOE: biologia, chimica, chimico-fisica, eco tossicologia ed idromorfologia. La metodologia sviluppata integra attraverso elaborazioni di tipo geometrico dati a diverse scale spaziali, dal sito di campionamento alla scala di corpo idrico.

Il secondo modulo del Tool E-QUALITY permette di effettuare la valutazione della qualità ambientale a livello di sito utilizzando l'approccio *ratio-to-reference*. Le condizioni di riferimento sono i valori dei parametri misurati nei siti di riferimento, o gli standard di qualità normativi, a seconda della LOE e in base anche ai dati disponibili. Nel caso in cui non sia possibile individuare delle condizioni di riferimento, tali valori possono essere sostituiti dal giudizio di utenti esperti.

Il terzo modulo del Tool E-QUALITY consente di effettuare la valutazione della qualità ambientale a scala di corpo idrico, ottenendo una classificazione per ogni LOE, e integrando le diverse LOE per ottenere la valutazione finale.

Nell'applicazione al caso di studio della Laguna di Venezia la zonizzazione per identificare gli habitat lagunari e i corpi idrici è stata effettuata da Tagliapietra et al. (2006) che ha definito 11 tipologie di habitat e 33 corpi idrici. La classificazione della qualità ambientale di ogni LOE è definita come probabilità di appartenenza di un sito di campionamento o di un corpo idrico alle diverse classi di qualità. L'integrazione delle diverse LOE per ottenere la valutazione finale della qualità di ogni corpo idrico è eseguita adattando il diagramma di flusso proposto dal gruppo di lavoro CIS ECOSTAT (European Community, 2005), aggiungendo la valutazione della LOE Ecotossicologia. L'input del diagramma è rappresentato dalla classificazione della LOE Biologia, mentre le altre LOE sono usate come informazione di supporto che modifica l'output della LOE Biologia.

Il risultato finale della classificazione è espresso in termini di probabilità (percentuale) di appartenenza alle varie classi di qualità ambientale. Gli output si pongono l'obiettivo di permettere all'utente di interpretare facilmente i vari risultati, sia intermedi sia finali.

La rappresentazione della valutazione dei singoli indici/indicatori a livello di sito di campionamento avviene attraverso delle mappe con grafici a torta: le fette rappresentano i vari indici/indicatori relativi a specifici parametri appartenenti ad una LOE e il colore indica il relativo giudizio di qualità.

La rappresentazione della qualità ambientale a livello di sito, mediante l'integrazione dei diversi indicatori e delle diverse LOE, avviene sempre attraverso dei grafici a torta, ma in questo caso le fette, di diverso colore, rappresentano le classi di qualità, mentre la dimensione delle fette rappresenta la probabilità di appartenenza ad ogni classe.

I risultati finali della valutazione della qualità di ogni corpo idrico, infine, possono essere rappresentati in due modalità: come report o come mappe. I report mostrano il risultato sia come tabelle numeriche, sia come istogrammi orizzontali in cui ogni barra corrisponde ad un corpo idrico e la dimensione e i colori dei segmenti della barra rappresentano rispettivamente la probabilità di appartenenza ad ogni classe di qualità e la classe di qualità. Le mappe, invece, mostrano il risultato come grafici a torta sovrapposti ai singoli corpi idrici in cui ogni fetta, di diverso colore, rappresenta

una classe di qualità, mentre la dimensione della fetta rappresenta la probabilità di appartenenza ad una classe di qualità.

Nell'applicazione alla Laguna di Venezia è emerso un legame tra la qualità ambientale dei copri idrici e alcuni *driver* di tipo geografico. Nello specifico si è osservato che la qualità è peggiore in prossimità della gronda lagunare, soprattutto dove vi sono le immissioni di corsi d'acqua e dove sono localizzati scarichi di tipo industriale o urbano, mentre è migliore in prossimità delle bocche di porto dove vi è un maggior ricambio dovuto allo scambio fra laguna e mare aperto. Si è notato inoltre una qualità migliore nella parte nord della laguna rispetto a quella sud.

Conclusioni

Il tool E-QUALITY e la metodologia di valutazione integrata che sono stati presentati rappresentano strumenti innovativi per lo studio della qualità ambientale delle acque in ambienti di transizione quale la Laguna di Venezia. La metodologia e il tool sono strumenti flessibili che possono essere facilmente applicati anche in altri contesti diversi dalla Laguna di Venezia. L'applicazione della metodologia tramite il tool, inoltre, è trasparente, in quanto è possibile visualizzare i passaggi intermedi del processo di valutazione per capire da cosa derivano i risultati dell'applicazione della metodologia.

La metodologia può essere ulteriormente sviluppata utilizzando funzionalità di analisi multicriteriale (MCDA, Multi-Criteria Decision Analysis) per consentire di includere nella valutazione il giudizio degli utenti esperti e attribuire dei pesi diversificati ai vari fattori che concorrono alla definizione della valutazione finale della qualità.

Ulteriori sviluppi del TOOL riguardano, infine, il trasferimento su applicativi open-source e la separazione del livello di presentazione per avere la possibilità di utilizzare E-QUALITY sia attraverso interfacce di tipo desktop sia attraverso interfacce di tipo web.

Bibliografia

- Chapman M.P. Letter to the editor: Borja et al.'s (2008) "Overview of integrative tools and methods ... worldwide" omits key elements, *Mar Pollut Bull*, 58(3):456; 2009
- CORILA (2009). "Linea 3.11: Verifica dell'applicabilità degli indici di qualità ambientale alla laguna di Venezia", *Rapporto Finale*
- European Community (2000), "Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2000, establishing a framework for Community action in the field of water policy", *Official Journal of the European Communities*, L 327-22.12.2000:72; 2000
- European Community (2003a), *Common Implementation Strategy for the European water Framework Directive (2000/60/EC). Guidance Document n° 7. Monitoring under the Water Framework Directive*, Office for Official Publication of the European Communities, Luxembourg
- European Community (2003b), *Common Implementation Strategy for the Water Framework Directive (2000/60/EC). Guidance Document n° 6. Towards a guidance on establishment of the intercalibration network and the process on the intercalibration exercise*, European Commission, Working Group 2.5 on Intercalibration. Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg
- European Community (2005), *Common Implementation Strategy for the Water Framework Directive (2000/60/EC). Guidance Document n° 13. Overall approach to the classification of ecological status and ecological potential. European Commission, Working Group ECOSTAT 2.A on Ecological Status*, Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg
- Heiskanen A.S., Van de Bund W., Cardoso A.C., Nöges P. (2004), "Towards good ecological status of surface waters in Europe-interpretation and harmonization of the concept", *Water Sci. Technol.*, 49:169-177
- Shin P.K.S., Lam W.K.C. (2001), "Development of a marine sediment pollution index", *Environ. Pollut.*, 113:281-291

- Tagliapietra D., Zanon V., Frangipane G. (2006), “Hierarchical zonation model of the shallow sediment beds of the lagoon of Venice”, *CORILA research Programme 2004-2006, research line 3.11. Final Report (In Italian)*, CORILA, Venice, Italy
- USEPA (1998), *Guidelines for Ecological Risk Assessment - Final, EPA/630/R-95/002F, United States Environmental Protection Agency*, Risk Assessment Forum, Washington, DC, USA
- Venice Water Authority (1999), *Mapping the lagoon bottom sediment. Final Report (In Italian)*, Venice, Italy
- Venice Water Authority (2003), *MeLA project – Environmental Monitoring of the lagoon of Venice. Final Report (in Italian)*, Venice, Italy
- Venice Water Authority (2005), “Caratterizzazione ecotossicologica dei sedimenti da sottoporre a dragaggio e valutazione integrata preliminare della tossicità e contaminazione chimica su 60 campioni del primo anno (2003)”, *Final report ICS-REL-T033.0 (In Italian)*, Venice, Italy
- Venice Water Authority (2007), “SIOSED project – experimental determination of the effects of common lagoon sediment re-use”, *Final Report (In Italian)*, Venice, Italy