Analisi multi-temporale delle sostanze gialle delle acque del Trasimeno da dati MERIS

Mariano BRESCIANI (*), Claudia GIARDINO(*), Angiolo MARTINELLI(**)

(*) Istituto per il Rilevamento Elettromagnetico dell'Ambiente (CNR-IREA) e-mail: bresciani.m@irea.cnr.it
(**) Agenzia regionale per l'Ambiente - Umbria (ARPA-Umbria) e-mail: a.martinelli@arpa.umbria.it

Sommario
Il lago Trasimeno è stato monitorato tramite immagini satellitari per approfondire le conoscenze sull'intero bacino per contribuire alla stesura di un piano di gestione. Le complessità dell'ecosistema, situazione eutrofica con fioriture di cianobatteri e perdita di biodiversità, dovute ai bassi livelli idrometrici, all'elevato carico di nutrienti e a eventi meteorologici, rendono necessario un approccio di studio multidisciplinare e il più possibile integrato con le realtà locali. Tra i parametri analizzati in questo lavoro si è valutata la presenza delle sostanze gialle nelle acque, le loro variazioni spaziali e stagionali tra il 2005 e il 2008 e il loro impatto sulla trasparenza. In questo studio le sostanze gialle sono state stimate attraverso la modellistica analitica, opportunamente calibrata con dati di campo radiometrico e limnologico raccolti dell'estate del 2008, applicata a dati MERIS, la cui risoluzione temporale ha consentito di seguirne l'evoluzione, successivamente relazionata alle condizioni meteo-climatiche. Dall'analisi di 115 immagini MERIS si evince una buona integrazione tra dati satellitari e limnologici; le quantità medie di sostanze gialle si sono attestate intorno 0.3 m^{-1}, con maggiori concentrazioni nel 2005. L'analisi spaziale ha demarcato differenze apprezzabili tra le zone pelagiche e costiere, queste ultime caratterizzate da maggiori concentrazioni. Anche se le quantità delle sostanze gialle sono contenute, le loro variazioni non sono trascurabili, soprattutto a seguito di piogge intense e vento elevato, nelle zone in cui si ha afflusso di acqua da piccoli canali.

Abstract
Lake Trasimeno was monitored using satellite imagery to improve the knowledge on the basin in order to contribute to management activities. The complexity of the ecosystem, the eutrophic conditions with cyanobacteria blooms and the loss of biodiversity due to the low water levels, the high nutrient loads and the weather events require a research approach multidisciplinary and integrated as much as possible with the local realities. Among the parameters analyzed in this work, we investigated the presence of yellow substances in the lake water, their spatial and seasonal variations between 2005 and 2008 and their impact on water transparency. In this study, yellow substances were estimated by using analytical models, properly calibrated with radiometric and limnological field data collected in summer 2008, applied to MERIS satellite data, whose frequency of acquisition is suitable for monitoring changes, that are then related to meteo-climatic conditions. The analysis of 115 MERIS images showed a good agreement between satellite and limnological data; the average amount of yellow substance was about0.3 m^{-1}, with the highest concentrations in 2005. The spatially disitrbuted analysis has highlighted significant differences between the pelagic and coastal areas, with the latter characterized by higher concentrations. Although the amount of yellow substances is contained , their variability in space and time is not negligible, especially after heavy rains and strong winds in those areas where there is an inflow of water brought by small channels.

Le sostanze gialle

Le sostanze gialle, denominate anche CDOM (*Colored dissolved organic matter*) si trovano negli ambienti acquatici a causa di tannini, acidi umidi e fulvici liberati dal degradamento del materiale vegetale. Le variazioni del CDOM negli ambienti acquatici sono principalmente il risultato di processi naturali, ma anche le attività umane come il disboscamento, l'agricoltura, gli effluenti di scarico, il prosciugamento delle zone umide possono influenzarne i livelli. In generale, le concentrazioni di CDOM sono molto più elevate nelle acque dolci e negli estuari che in mare aperto. L'aumento delle concentrazioni di CDOM pone gravi problemi per il trattamento dell'acqua potabile, e la clorazione di acqua ricca di CDOM provoca la formazione di livelli inaccettabili di composti organici clorurati cancerogeni. Inoltre, essendo indicatori indiretti della quantità di carbonio organico disciolto la loro stima diviene fondamentale nella comprensione del ciclo del carbonio a scala globale. Ad oggi, queste stime sono basate su studi numericamente piccoli, 7500 laghi in Sobek et al. (2007) rispetto ai 304 milioni di laghi sulla terra (Downing et al., 2006). Dal punto di vista ottico hanno un forte assorbimento nelle lunghezze d'onda del blu e dei raggi UV di cui ne condizionano strettamente la possibilità di penetrazione (Højerslev, 1982); se presenti in elevata quantità, riducono la possibilità di penetrazione della luce limitando così la fotosintesi di fitoplancton e delle praterie di macrofite.

Area di studio

Il lago Trasimeno, parte integrante del bacino del Tevere, ha un bacino di raccolta di 387 km^2 cui corrisponde un sottobacino naturale di 306 km^2. Caratterizzato da una superficie di 124 km^2 è il quarto lago italiano per estensione e il principale invaso naturale dell'Italia peninsulare. Lo specchio lacustre, con un volume, in condizioni idrologiche normali, di circa 0.59 km^3 ha forma tondeggiante e sviluppo spondale di 53 km. Di origine tettonica, è un lago laminare, chiuso e poco profondo (profondità media 4.5 m, profondità massima 6 m), da sempre caratterizzato da un regime idrologico irregolare suscettibile di variazioni determinate dall'andamento pluviometrico e con un tempo di ritenzione idrica piuttosto elevato (circa 24 anni).

Figura 1. Il lago Trasimeno e relativo sottobacino imbrifero naturale in un'immagine acquisita da satellite; a destra il lago nel bacino idrografico del fiume Tevere.

Negli anni recenti la riduzione delle precipitazioni ha portato all'assenza di deflusso dall'emissario (dal 1987) e fluttuazioni negative maggiori di -1.5 m sullo zero idrometrico. Dal 2004, secondo la classificazione di stato ecologico ed ambientale del D.Lgs. 152/99 Allegato 1, le acque del Trasimeno hanno un valore scadente. I bassi livelli idrometrici, l'apporto di nutrienti di origine agricola e zootecnica, gli scarichi civili, le attività turistiche e gli eventi meteorologici rendono tendenzialmente eutrofica la condizione di questo lago. La conseguente diminuzione sia della biodiversità della fauna ittica sia della complessità vegetazionale e l'innescarsi di effetti a domino,

hanno inoltre causato un cambiamento della distribuzione e natura della vegetazione sommersa che ha portato a fioriture estive di cianobatteri. In particolare, queste fioriture sono un segnale d'instabilità ecologica e potenziale elemento di allarme sanitario tenuto sotto controllo ai fini della balneazione e con l'abbandono degli attingimenti potabili. In generale, l'elevata concentrazione di fitoplancton e di solidi sospesi, provenienti anche da fenomeni di risospensione dal fondale, rende infine le acque poco trasparenti (profondità media del disco di Secchi 1 m).

Materiali e Metodi

In questo lavoro sono illustrati i principali risultati ottenuti dall'elaborazione d'immagini satellitari per la stima delle sostanze gialle delle acque del lago Trasimeno nel periodo di tempo 2005-2008. I dati satellitari sono stati acquisiti dal sensore MERIS (*MEdium Resolution Imaging Spectrometer*), distribuiti dall'Agenzia Spaziale Europea (ESA), per un totale di 115 immagini. Al fine di stimare i valori delle sostanze gialle nelle acque a partire dai valori di radianza registrati al livello del satellite, si è utilizzato il programma VISAT-Beam 4.2 che permette di eseguire in modo automatico la correzione atmosferica dell'immagine e di stimare le proprietà ottiche della zona eufotica dell'intera superficie lacustre. Al fine di decidere l'algoritmo da applicare alle immagini, in funzione delle loro caratteristiche ottiche, sono state effettuate delle campagne di misure radiometriche in situ da maggio a settembre 2008.

I dati in situ hanno permesso di descrivere il comportamento otticamente complesso del lago (Fig. 2) e di trovare le relazioni tra le concentrazioni dei parametri e le grandezze telerilevabili individuate elaborando i coefficienti di assorbimento (Fig. 3) (Giardino et al., 2008).

Il range delle concentrazioni di CDOM nelle acque, riscontrato durante le campagne, ha indirizzato la scelta all'algoritmo C2R (*Case2 Regional*) (Doerffer and Schiller, 2008a, 2008b).

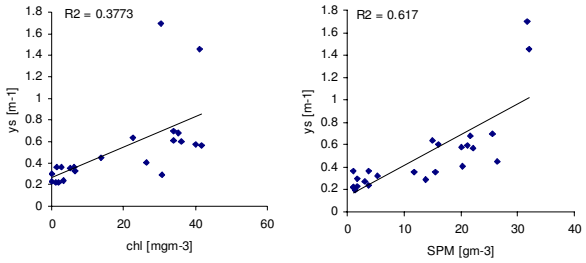

Figura 2. Scatterogrammi tra le concentrazioni dei parametri misurati in situ; la loro dispersione mostra la complessità ottica del Trasimeno, tipicamente definibile di caso-2 (Morel e Prieur, 1977).

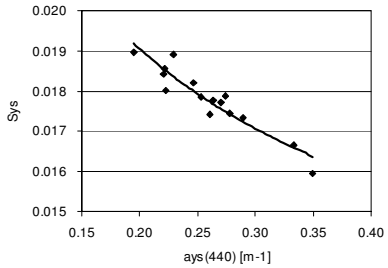

Figura 3. Correlazione tra la concentrazione delle sostanze gialle ays(440) e la pendenza dell'assorbimento spettrale Sys(nm-1) da dati ARPA Umbria

Risultati

Dall'analisi delle immagini MERIS si evince una buona correlazione (Fig. 4) tra dati satellitari e limnologici (R^2=0.876). Ciononostante le stime da satellite sono affette da un bias che le rende sottostimate; comunque l'accordo con i dati in situ è giudicato buono per gli scopi di questo lavoro.

L'integrazione tra i valori ottenuti dalle immagini satellitari e i dati limnologici sono stati eseguiti solo per il data set del 2008 poiché l'ARPA-Umbria non eseguiva precedentemente questa tipologia d'analisi.

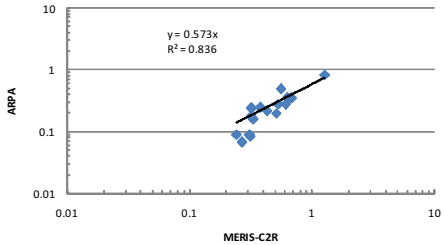

Figura 4. Correlazione tra i dati di sostanze gialle [m^{-1}] dell'ARPA e da MERIS per l'anno 2008.

Le quantità medie di CDOM, calcolate per una zona pelagica, si sono attestate intorno 0.29 m^{-1}, con i maggiori valori medi nel 2005 (0.37 m^{-1}) e minori nel 2007 (0.19 m^{-1}). I valori maggiori si sono registrati nel febbraio 2005 e nel settembre del 2008 con quantità superiori a 0.8 m^{-1}; in questi due anni le quantità sono risultate superiori rispetto al 2006 e 2007, come visibile nella figura 5.

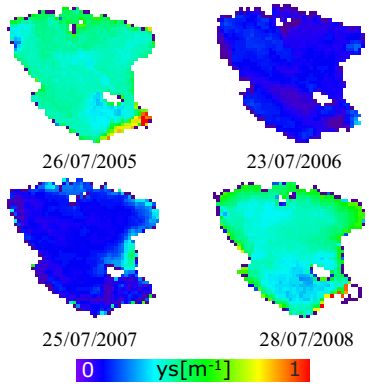

Figura 5. Confronto delle mappe delle sostanze gialle nel periodo estivo dei quattro anni analizzati. Le estati del 2005 e 2008 hanno mostrato i valori più elevati.

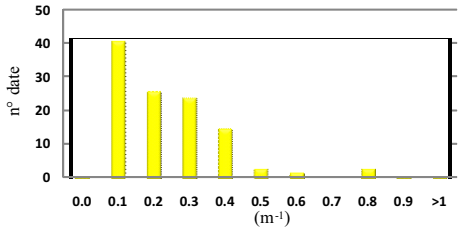

Figura 6. Istogramma di frequenza delle classi di sostanze gialle del data set 2005-2008 MERIS.

La figura 6 evidenzia come i valori delle sostanze gialle siano sempre abbastanza contenuti se riferiti ai valori di letteratura dei laghi boreali in cui le quantità minime sono di 2 e massime sono di oltre 20 m^{-1} (Reinart et al., 2002 e Koponena, 2002); ma se riferiti ai valori dei laghi subalpini, nel lago di Garda 0.1 m^{-1} (Giardino et al., 2007) risultano leggermente più elevati , L'andamento nei quattro anni di monitoraggio ha evidenziato che si ha un aumento delle quantità delle sostanze gialle a seguito di piogge intense e vento elevato, fenomeni che determinano la risospensione dei sedimenti e delle biomasse vegetali accumulatesi nei fondali riducono la trasparenza delle acque (Bresciani et al., 2009a).

L'analisi spaziale ha demarcato differenze apprezzabili tra le zone pelagiche e costiere, queste ultime caratterizzate da maggiori quantità. Nelle zone costiere le date in cui le quantità di sostanze gialle risultano maggiori del valore medio sommato alla deviazione standard (calcolati rispetto all'area pelagica) sono il 6% con una media di 0.4 m^{-1}. Le differenze si sono registrate soprattutto nelle zone in cui si ha afflusso di acqua da piccoli canali che portano elevati carichi di nutrienti e di e sostanze organiche sospese e disciolte (Fig. 7a) e nelle zone con elevata presenza di vegetazione a canneto e praterie a macrofite acquatiche (Fig. 7b).

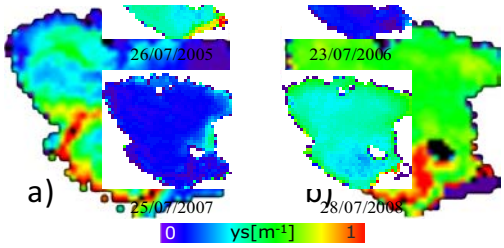

Figura 7. Nella mappa a del 13/03/2007 le maggiori quantità di sostanze gialle si rinvengono nella zona costiera di fronte a piccoli corsi d'acqua, nella mappa b del 15/10/2008 le maggiori quantità si hanno nella zona con elevata vegetazione acquatica.

La diminuzione della vegetazione macrofitica degli ultimi anni con accumulo di materia organica vegetale, come steli delle cannucce di palude (Bresciani et al., 2009b) può essere uno dei motivi che ha portato ad un aumento delle quantità di sostanze gialle nelle zone costiere del lago.

Conclusioni

I risultati ottenuti esprimono la buona integrazione dei dati satellitari con quelli limnologici per lo studio delle caratteristiche ottiche delle acque del lago Trasimeno. La banca dati immagini consente quindi di rilevare informazioni ad alta frequenza sul lago ed avallare quindi l'interpretazione sulle dinamiche spazio-temporali di qualità dell'acqua del Trasimeno. L'uso di immagini satellitari ad alta copertura degli intervelli temporali consente di evidenziare le zone ed i potenziali meccanismi di innesco delle anomalie di trasparenza.

Le quantità delle sostanze gialle sono risultate contenute, le loro variazioni spaziali e temporali sono da ritenersi però non trascurabili, infatti, i valori delle zone costiere e in alcuni periodi in tutto il lago, associate alla diminuzione degli areali a canneto e a macrofite sommerse osservata negli ultimi anni, possono divenire un campanello d'allarme per la preservazione degli equilibri ecologici del lago.

Al fine di evitare una tendenza all'aumento delle sostanze gialle sarà necessario intervenire su un ottimizzazione del sistema fognario-depurativo e sulla trasformazione degli effluenti zootecnici, inoltre risulterà opportuno sviluppare adeguate fasce tampone nella zona costiera del lago con una corretta gestione delle praterie a macrofite e dei canneti. Ulteriori studi devono però essere eseguiti prima di affrontare interventi radicali.

Ringraziamenti

Si ringrazia tutto il personale dell'ARPA Umbria per i dati condivisi, M. Musanti del CNR-IREA di Milano per la preziosa attività di campo, A. Oggioni, M. Bartoli e D. Longhi per le analisi di laboratorio. Le immagini MERIS sono state acquisite tramite il progetto ESA AO-553 MELINOS.

Bibliografia

-Bresciani M., Giardino C., Martinelli A., (2009a). "Stima dei valori di trasparenza delle acque del Trasimeno da immagini satellitari". *VIII giornata dell'acqua Accademia dei Lincei Convegno: Acque interne in Italia: il bacino del Tevere*. Roma, Italia, 23 Marzo 2009 pp. 54-55.

-Bresciani M., Stroppiana D., Fila G. Montagna M., Giardino C., (2009b). "Monitoring reed vegetation in environmentally sensitive areas in Italy". *Italian Journal of Remote Sensing*. 41 (2): 125-137.

-Doerffer R., and Schiller H., (2008a). "MERIS Lake Water Algorithm for BEAM" *ATBD, v. 1.0.* May 2008.

-Doerffer R., and Schiller H., (2008b). "MERIS Regional Coastal and Lake Case 2 Water Project Atmospheric Correction" *ATBD, v. 1.0*. May 2008b.

-Downing J.A., Prairie Y.T., Cole J.J., Duarte C.M., Tranvik L.J., Striegl R.G., McDowell W.H., Kortelainen P., Caraco N.F., Melack J.M., Middelburg J.J., (2006). "The global abundance and size distribution of lakes, ponds, and impoundments". *Limnology and Oceanography* 51: 2388-2397.

-Giardino C., Brando V. E., Dekker A. G., Strömbeck N., Candiani G., 2007, Assessment of water quality in Lake Garda (Italy) using Hyperion, Remote Sensing of Environment, 109, 183-195.

-Giardino C., Bresciani M., Brando V.E., Dekker A.G., (2008). "Observation of the largest italian lakes from MERIS". *2nd MERIS/(A)ATSR User Workshop* 22-26 September 2008 ESA/ESRIN Frascati (Rome) Italy.

-Højerslev N.K., (1982). "Yellow substance in the sea", [in:] *The role of solar ultraviolet radiation in marine ecosystems*, J. Calkins (ed.), Plenum Press, New York–London, pp. 263–281.

-Koponena S., Pulliainena J., Kalliob K., Hallikainena M., (2002). "Lake water quality classification with airborne hyperspectral spectrometer and simulated MERIS data". *Remote Sensing of Environment* 79: 51–59.

-Kutser T., Pierson D. C., Kallio K., Reinart A., Sobek S., (2005). "Mapping lake CDOM by satellite remote sensing". *Remote Sensing of Environment* 94: 535-540.

-Morel A., Prieur L., (1977). "Analysis of variations in ocean color". *Limnology and Oceanography* 22: 709-722.

-Reinart A., Herlevi A., Arst H., Sipelgas L., (2003). "Preliminary optical classification of lakes and coastal waters in Estonia and south Finland". *Journal of Sea Research* 49: 357–366.

-Sobek S., Tranvik L. J., Prairie Y. T., Kortelainen P., Cole J. J., (2007). "Patterns and regulation of dissolved organic carbon: An analysis of 7,500 widely distributed lakes". *Limnology and Oceanography* 52: 1208-1219.