Il contributo del Telerilevamento nel progetto di Educazione ambientale SaGaMi

Bresciani M.(*), Fila G.L.(* *), Giardino C.(***)

* CNR-Stazione Sperimentale di Sirmione "Eugenio Zilioli", via Punta Staffalo 16 Sirmione (BS), tel. 030-916556, fax 030-916556, e-mail: bresciani.m@irea.cnr.it
** Centro Rilevamento Ambientale del Comune di Sirmione, via Punta Staffalo 16 Sirmione (BS) tel. 030-916556, fax 030-916556, e-mail: cra@sirmionebs.it
***CNR-IREA, via Bassini 15 Milano, tel. 02-23699298, fax 02-236999300, e-mail: giardino.c@irea.cnr.it

Sommario
Il bacino del Sarca-Garda-Mincio (immissario, lago ed emissario) è un'importante area d'attrazione turistica, ma soprattutto di grande valore ambientale e risente del contrasto tra l'eccessiva antropizzazione, lo sfruttamento agricolo e la tutela delle aree naturali. Il Progetto SaGaMi nato nel 2007 ha la finalità di ricavare un quadro d'insieme dello stato delle acque del bacino del Garda da offrire alle scuole, agli enti locali e alla cittadinanza; inoltre vuole portare un esempio di collaborazione tra comunità, che accedono alla stessa risorsa idrica, per un esame condiviso dei problemi e per la messa in atto di azioni mirate a superarli.
Nel progetto SaGaMi, il contributo del Telerilevamento è stato quello di fornire una visione sinottica esaustiva di tutto il lago e la creazione di mappe di qualità delle acque, integrate ai diversi prodotti del progetto. Nei tre anni sono state acquisite immagini satellitari dei sensori MERIS, MODIS e AVHRR. L'acquisizione del dato MERIS, a cui è stata applicata una modellistica di tipo bio-ottico, associato con misure radiometriche e limnologiche ha permesso di mappare e validare trasparenza, clorofilla-a, solidi sospesi e sostanze gialle.
Il primo risultato è stato il coinvolgimento attivo e interessato di docenti e alunni per il monitoraggio del bacino. Le metodologie utilizzate e i risultati sono state indirizzate ai docenti, dimostrando loro quali siano le potenzialità del telerilevamento applicate allo studio della qualità delle acque e del territorio, come elementi didattici efficaci. Il progetto ha permesso l'acquisizione di una cospicua quantità di dati utili ai fini conoscitivi e gestionali. Il Garda è risultato in buone condizioni, sebbene i piccoli immissari locali siano in condizioni non del tutto positive. Le mappe hanno rilevato che il sottobacino veronese risulti in condizioni peggiori di quello bresciano. Il MERIS si è dimostrato idoneo per lo studio della qualità delle acque del Garda e la modellistica applicata ha dati risultati incoraggianti al fine di ottenere informazioni precise e continue di uno scenario ambientale così ampio e così difficilmente controllabile con le normali tecniche di monitoraggio.

Abstract
The basin of the Sarca-Garda-Mincio (tributary, lake and effluent) is a major area tourist attraction, but more importantly great environmental value and it is showing the contrast between the excessive human, agricultural exploitation and protection of natural areas . The Project SaGaMi born in 2007 has the purpose of obtaining an overall picture of the state of the waters of the basin of the Garda to be offered to schools, local authorities and the public also wants to bring an example of cooperation between communities, accessing the same water, for a consideration of shared problems and to the implementation of actions to overcome them.
SaGaMi in the project, the contribution of remote sensing has been to provide a comprehensive overview of the entire lake and the creation of maps of water quality, integrated with various

products of the project. In three years they were acquired satellite images of the sensors MERIS, MODIS and AVHRR. The acquisition of MERIS data, which are subject to a model of bio-optical type, associated with radiometric and limnological measures made it possible to map and validate transparency, chlorophyll-a, suspended solids and yellow substances.
The first result was the active involvement of and interested faculty and students to monitor the basin. The methods used and results were sent to teachers, showing them what the potential of remote sensing applied to the study of water quality and land use, such as effective teaching elements. The project has enabled the acquisition of a large amount of data needed to produce knowledge and management. The Garda was in good condition, although small local tributaries are conditions not entirely positive. The maps have found that sub veronese result in worse conditions than Brescia. The MERIS has proved suitable for the study of water quality in the Garda and has applied data modeling results in order to obtain accurate information and continue scenario environment so large and so difficult to control with standard monitoring techniques.

Il Progetto Sarca-Garda-Mincio

Il bacino idrografico Sarca-Garda-Mincio è suddiviso amministrativamente in diverse realtà che hanno sviluppato autonomi percorsi di educazione ambientale adattandoli al proprio contesto territoriale. Vi è però elemento "acqua" che fisicamente scavalca ogni invisibile confine segnato sulla cartografia e unisce i territori del Sarca, del Garda e del Mincio. Acqua che da energia, possibilità di svago, entra negli acquedotti irriga la campagna, ma soprattutto acqua che sostiene un unico, complesso ecosistema in cui è essenziale che sia di buona qualità. Vi è inoltre la necessità di incrementare la responsabilità ambientale attraverso azioni concrete che dimostrino sia la fragilità che le potenzialità del bacino idrografico Sarca-Garda-Mincio.
Il Progetto "SARCAGARDAMINCIO" (SAGAMI) promuove la cultura di bacino e propone e attua azioni sinergiche sui temi della sostenibilità delle risorse idriche; nasce dall'esperienza accumulata dal Labter-CREA di Mantova con il Progetto Mincio (Labter-CREA, 2006) e con il progetto macroinvertebrati (Labter-CREA, 2007).

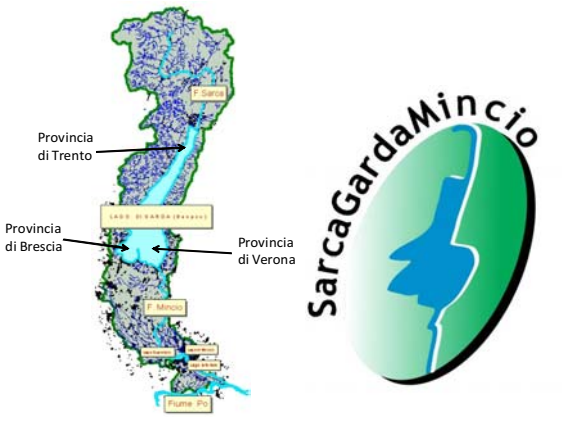

Figura 1. A sinistra il Bacino Sarca-Garda-Mincio, a destra il logo del Progetto SAGAMI.

Gli enti promotori sono: Comunità del Garda, ARPA Veneta, Agenzia Provinciale per la Protezione dell'Ambiente-Settore Informazione e Qualità dell'Ambiente della Provincia Autonoma di Trento, ASL di Brescia, Labter Crea di Mantova, Centro Rilevamento Ambientale (CRA) e CNR-IREA stazione sperimentale "Eugenio Zilioli" di Sirmione.
Il progetto nella primavera del 2007 (9 maggio) ha mosso i suoi primi passi evidenti sul campo invitando scuole trentine, bresciane, e veronesi ad affiancarsi a quelle mantovane per avere in un unico giorno, e contemporaneamente, dati relativi al Sarca, al Garda e al Mincio.

L'uscita sul campo è solitamente il tratto finale di un percorso educativo con tema gli ambienti acquatici e le alterazioni provocate dall'uomo. I dati ottenuti dal monitoraggio sono a disposizione di tutti e molto spesso sono gli unici facilmente reperibili e confrontabili. Le parole chiave sono quindi conoscenza, costanza, condivisione e diffusione dei dati.
In SAGAMI, per le analisi delle acque, si è adottato il protocollo GREEN (Mitchell et al., 1994) con l'aggiunta di alcuni parametri che consentissero, nei limiti delle capacità analitiche delle scuole, la determinazione per alcune stazioni del LIM (Livello Inquinamento Macrodescrittori), del SECA (Stato Ecologico dei Corsi d'acqua) e del SACA (Stato Ambientale dei Corsi d'Acqua) così come richiesto dalla legislazione nazionale (DL. 152 del 11 maggio 1999). Alcuni parametri chimici e fisici (es: pH, ossigeno disciolto, nitrati, fosfati, ecc..) sono stati misurati direttamente sul campo con strumentazione elettronica o kit speditivi, altri parametri (es: i coliformi) sono stati determinati successivamente in laboratorio.

	2007	2008	2009
Chimico-fisico-batteriologico			
stazioni	18	20	29
classi	18	31	39
scuole	12	17	22
studenti	400	669	700
docenti/operatori	40	64	70
Macroinvertebrati			
stazioni	22	25	27
classi	23	27	27
scuole	10	13	13
studenti	353	543	540
docenti/operatori	33	42	40
Balneabilità			
stazioni	125	125	125
Enti di ricerca e monitoraggio			
stazioni	1	8	9

Figura 2. Quadro riassuntivo delle operazioni e del coinvolgimento nei tre anni di progetto.

Il contributo del Telerilevamento
All'interno del Progetto SAGAMI il telerilevamento ha avuto un duplice ruolo; in primis gli strumenti e i suoi numerosi campi applicativi che fanno del Telerilevamento una disciplina scientifica dalle notevoli ricadute didattico-educative (Zilioli, 2001) hanno permesso di fornire nozioni di base e materiale sufficienti, ai professori delle scuole coinvolte nel progetto, a garantire loro una futura fruibilità in autonomia anche per più cicli scolastici, indipendentemente da strutture esterne. Per fornire queste nozioni precedentemente alle giornate di monitoraggio sono stati organizzati degli incontri frontali con i docenti che hanno potuto sperimentare l'efficacia de delle discipline che a vario titolo si occupano dell'osservazione della terra come strumenti conoscitivi del territorio e dell'ambiente a supporto delle attività didattiche interdisciplinari nelle scuole (Vianello et al., 2006). Il compito didattico-divulgativo è stato possibile grazie alle esperienze accumulate nei progetti TELEA[1] e nei progetti CARTELGIS[2].

[1] TELEA (Telerilevamento per l'Educazione Ambientale) progetto di formazione indirizzato agli insegnanti delle scuole medie inferiori e superiori e ai responsabili dei Centri Regionali di Educazione Ambientale promosso dalla Regione Lombardia e dall'IREA del CNR di Milano. [2] CARTELGIS progetto realizzato nell'ambito del FIRB art. 8 D.M. 199-8/3/2001 del MIUR - Nuove dinamiche di apprendimento e processi economici e sociali emergenti fra globalizzazione, società multi - etniche ed economia digitale e studio dell'impatto sui sistemi di istruzione e formazione.

La seconda parte del contributo è consistita nell'acquisizione, processamento, l'applicazione di algoritmi e validazione, di immagini satellitari.

Materiali e metodi

Lo studio del lago di Garda attraverso le immagini satellitari si è basato sull'utilizzo delle immagini satellitari del sensore MERIS (*Medium Resolution Imaging Spectrometer*) installato a bordo della piattaforma Envsiat1, per la stima delle concentrazioni dei parametri otticamente attivi della colonna d'acqua (clorofilla-a, TSM, CDOM, trasparenza) e sull'utilizzo del prodotto delle mappe di temperatura superficiale delle acque dell'Università di Berna da dati AVHRR (*Advanced Very High Resolution Radiometer*) provenienti dal satellite NOAA. Per il 2007 ed il 2008 le immagini MERIS sono sincrone alla giornata di campionamento delle scuole, per il 2009 a causa delle frequenti perturbazioni accorse in concomitanza con il campionamento delle scuole (21 aprile 2009), la più vicina immagine MERIS a disposizione è del 14 aprile 2009. Ad integrazione dell'immagine MERIS è stata acquisita un immagine MODIS (*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*) per il giorno 22 aprile 2009, concomitante con le misure radiometriche in situ. In sincrono alla data di acquisizione delle immagini satellitari sono state effettuate misure radiometriche e limnologiche che hanno permesso la validazione dei prodotti ottenuti.

Al fine di stimare i valori dei parametri otticamente attivi delle acque a partire dai valori di radianza registrati al livello del satellite, si è utilizzato l'algoritmo *Case2 Regional Processor* (C2R). Il programma permette di eseguire in modo automatico la correzione atmosferica dell'immagine e di stimare le proprietà ottiche della zona eufotica dell'intera superficie lacustre (Doerffer and Schiller, 2008a, 2008b).

Per l'immagine MODIS si è invece proceduto alla correzione atmosferica attraverso con il codice di trasferimento radiativo 6s (*Second Simulation of the Satellite Signal in the Solar Spectrum*) e l'utilizzo del programma BOMBER *(Bio-Optical Model for the evaluation of Bottom Effect on water Reflectance)*, un *tool* basato sulla modellistica bio-ottica per estrarre le proprietà di qualità dell'acqua da dati tele rilevati (Giardino et al., 2008).

Risultati

L'analisi delle immagini satellitari acquisite e processate nei tre anni del Progetto ha evidenziato come ci sia una correlazione tra i dati telerilevati e quelli limnologici, ad esempio nel 2008 le concentrazioni di clorofilla per la stazione validata con le analisi limnologiche dell'Università di Parma (2.2 µg/l) ha dato come risultato 2 µg/l. Questa buona correlazione si inserisce nel dataset di confronto tra i dati di telerilevati con le immagini MERIS e i dati limnologici del APPA Trento in cui i risultati hanno evidenziato la capacità di ottenere prodotti da MERIS che permettano di catturare le evoluzioni stagionali della clorofilla (Giardino et al., 2008b).

Come visibile nella figura 3 le concentrazioni di clorofilla (chl) sono molto contenute all'interno del lago, tipiche di acque oligo-mesotrofiche. Nel 2007 i valori più elevati si sono rinvenuti nella zona trentina del lago (3 µg/l), nel 2008 e 2009 nella zona a sud nel bacino veronese (rispettivamente 2.5 e 1.7 µg/l) . Il 2008 è risultato l'anno con le maggiori concentrazioni medie di clorofilla, 1.29 µg/l contro i 0.51 µg/l del 2007 e 0.34 µg/l del 2009.

La figura 4 mostra le concentrazioni dei solidi sospesi totali (TSM) nelle acque, le concentrazioni più elevate sono state raggiunte nel 2008 nella parte meridionale veronese del lago con 2.65 g/m^3, l'anno con le concentrazioni medie più elevate è stato il 2008 con 0.61 g/m^3 contro i 0.50 g/m^3 del 2007 e 0.29 g/m^3 del 2009.

I valori contenuti di clorofilla nelle acque del Garda nel 2009 sono da imputarsi alle tre settimane precedenti di acquisizione dell'immagine MERIS poiché, come visibile nella figura 5, la temperatura delle acque è molto più fredda rispetto al 2007-2008 e questo fattore ha sicuramente limitato la crescita del fitoplancton.

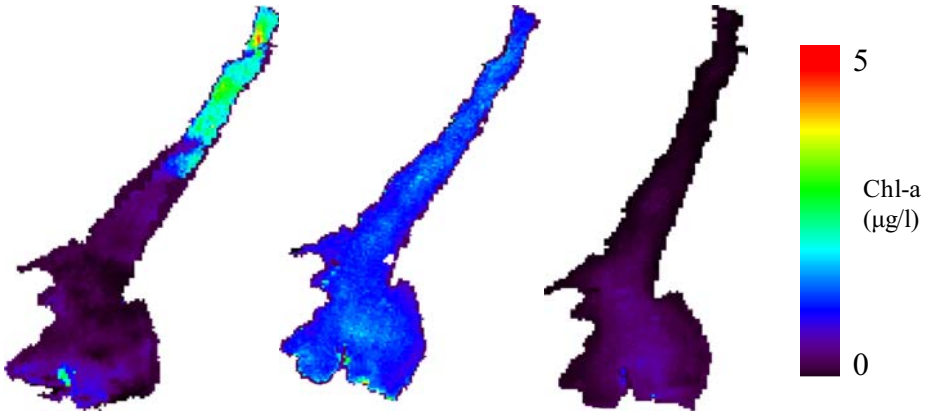

Figura 3. Mappe delle concentrazioni di clorofilla ottenute dalle immagini MERIS.

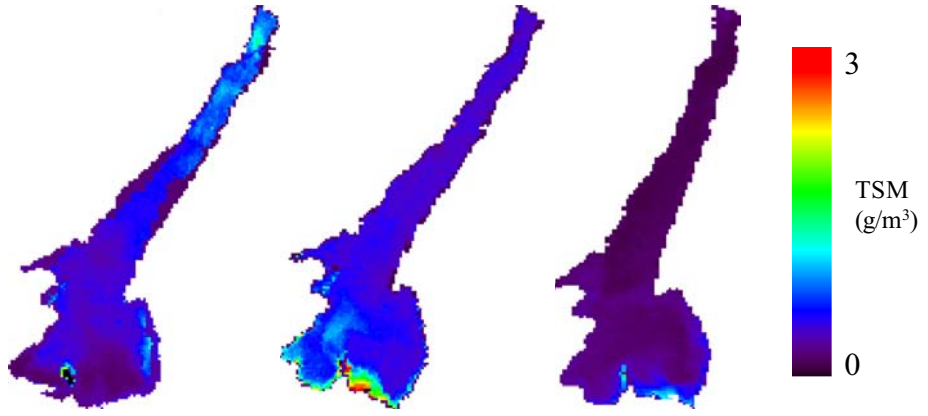

Figura 4. Mappe delle concentrazioni di solidi sospesi totali ottenute dalle immagini MERIS.

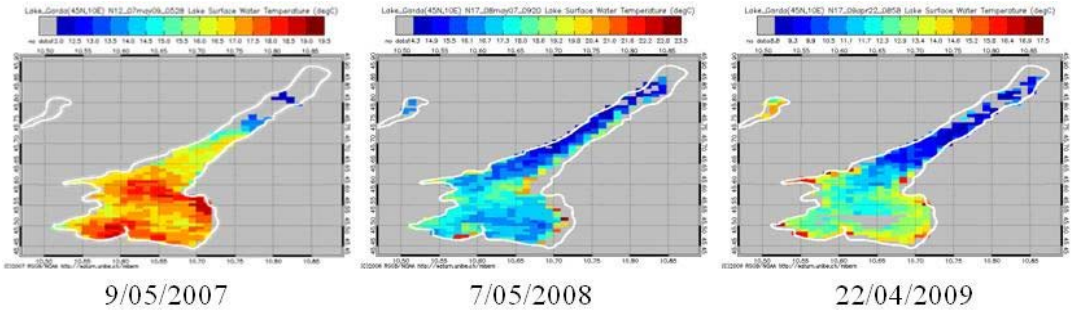

Figura 5. Mappe di temperatura superficiale ottenute dal sensore AVHRR di © dell'Università di Berna and NOAA.

Conclusioni

Il progetto SAGAMI oltre a voler portare fuori dalle classi studenti e docenti per fargli fare una attività pratica ed utile, è riuscito rimarcare che il bacino idrografico è una entità territoriale definita dalla conformazione del territorio e non dalle amministrazioni pubbliche e che ciò che viene fatto a monte prima o poi qualcuno a valle se lo ritrova.

Ha messo in evidenza come sia importante condividere i problemi e che bisogna condividere anche le soluzioni che sono più facili da trovare se si hanno a disposizione dati oggettivi, serie temporali, numeri attendibili poiché la memoria è labile.

La numerosa partecipazione di enti locali e scuole ha permesso la conoscenza dello stato di salute del bacino e ha permesso di abilitare i ragazzi alla conoscenza delle tecniche di monitoraggio delle acque superficiali sia tramite le tecniche limnologiche sia di telerilevamento.

Il telerilevamento è risultato idoneo per completare l'indagine conoscitiva del lago di Garda, ha infatti permesso di ottenere un informazione su tutto lo specchio lacustre e non su singole stazioni. Purtroppo le ridotte dimensioni del fiume Mincio e dei laghi di Mantova, rispetto alle dimensioni dei pixel del MERIS (300 m) non hanno permesso di l'utilizzo delle tecniche di telerilevamento anche in queste aree.

Il lago di Garda è emerso in buone condizioni, solo poche stazioni sono risultate non idonee alla balneabilità, dal punto di vista trofico, nel periodo analizzato, si trova in condizioni di oligo-mesotrofia, con uno stato di qualità leggermente peggiore nel bacino meridionale veronese.

Ringraziamenti

Si ringraziano tutti gli altri enti coinvolti nel progetto: Comunità del Garda, ARPA Veneta, APPA Trento, ASL di Brescia, Labter Crea di Mantova, Università di Parma, Università di Berna.

Un particolare ringraziamento a tutti i docenti, operatori e studenti coinvolti nel progetto.

Le immagini MERIS sono state acquisite tramite il progetto ESA AO-553 MELINOS.

Bibliografia

-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.

-Giardino C., Bresciani M., Candiani G., Gagliano S., (2008a). "BOMBER: una procedura IDL per la stima automatica di parametri di qualità dell'acqua da dati ottici tele rilevati". *12a Conferenza Nazionale ASITA*, L'Aquila, Italy, 21-24 October 2008, pp. 1231-1236.

-Giardino C., Brando V.E., Dekker A.G., Oggioni A., Bresciani M., (2008b). "Improving satellite remote sensing products for the largest italian lakes". *Ocean Optics XIX*, Barga, Italy, 6-10 October 2008.

-Labter-CREA. AA.VV., (2006). "Progetto MINCIO". *Cd-Rom Ed. Labter-CREA MN.*

-Labter-CREA. AA.VV., (2007). Progetto MACROINVERTEBRATI. Cd-Rom. *Labter-CREA MN.*

-Mitchell M.K., Stapp W.B., Beebe, A., (1994). "Field manual for water quality monitoring: an environmental education program for schools". Eds. *Thomson-Shore* Dexter, Mich. (USA) 272 p.

-Vianello G., Degli Esposti V., Gherardi M., L'Astorina A., Boschetti M., Bresciani M., Giardino C., (2006). "Progetto CARTELGIS: diffusione e sperimentazione della cartografia, del Telerilevamento e dei sistemi informativi geografici come tecnologie didattiche applicate allo studio del territorio e dell'ambiente". *10a Conferenza Nazionale ASITA*, Bolzano, Italia, 14-17 Novembre 2006, Vol. II, pp. 1851-1856.

-Zilioli E., (2000). "Appunti e spunti di Telerilevamento". Eds. *CNR e Regione Lombardia*, Artestampa, Daverio (VA), 190 p.