

Mappatura delle macrofite acquatiche del lago di Garda tramite immagini MIVIS

Erica Matta (*), Mariano Bresciani (*), Claudia Giardino (*), Rossano Bolpagni (**),
Giovanna Pellegrini (***), Federica Braga (****)

(*) CNR-IREA, Via Bassini 15, Milano, Tel. 02-23699298, Fax 02-236999300,
e-mail: matta.e@irea.cnr.it; bresciani.m@irea.cnr.it; giardino.c@irea.cnr.it

(**) Università di Parma, Dipartimento di Scienze Ambientali, viale Usberti 11/A, 43100 Parma,
e-mail: rossano.bolpagni@libero.it

(***) APPA Trento, Settore Informazione e Monitoraggi, Laboratorio di Idrobiologia,
V.le Rovereto 146, 38066 Riva del Garda, Trento, e-mail: giovanna.pellegrini@provincia.tn.it

(****) CNR-ISMAR, Arsenale Tesa 104, Castello 2737/F, 30122 Venezia, e-mail: federica.braga@ve.ismar.cnr.it

Sommario

I fondali hanno un ruolo importante per l'ecosistema acquatico: batimetria e morfologia ne condizionano i processi idrodinamici a livello costiero mentre, l'eventuale presenza di piante acquatiche, ne preserva l'ecologia. In particolare, le macrofite in contesti lacustri condizionano i cicli biogeochimici che modulano la mobilitazione di P, N e C dai sedimenti alla colonna d'acqua e all'atmosfera, oltre a contribuire nel grado di complessità dell'ecosistema, aumentandone e sostenendone la biodiversità. Nell'ambito dei programmi di monitoraggio delle macrofite e grazie ai recenti sviluppi tecnici, mirati a migliori risoluzioni spaziali e spettrali, il telerilevamento permette di realizzare indagini ecologiche su larga scala e di effettuare confronti a differenti scale temporali. All'interno del progetto EULAKES, uno degli obiettivi è stato quello di mappare la copertura della vegetazione acquatica del lago di Garda tramite immagini aviotrasportate. In data 27 giugno 2011 è stata effettuata un'acquisizione MIVIS, costituita da 12 strisciate, che ha permesso la mappatura delle macrofite di tutta la fascia costiera (fino a 7 metri di profondità) del lago di Garda. In sincrono sono state effettuate misure limnologiche e radiometriche per calibrare e validare i dati delle immagini iperspettrali. Le immagini sono state processate per rimuovere l'effetto atmosferico, quello di adiacenza e quello derivante dalla riflessione multipla della luce sullo specchio d'acqua. La successiva applicazione del modello bio-ottico BOMBER ha permesso di mappare 17 km² di fondale con presenza di macrofite, che corrispondono ad una copertura dell'82% dell'area di studio. I risultati mostrano una notevole differenza nella distribuzione spaziale delle piante acquatiche. La copertura è concentrata nella parte meridionale del lago, attorno alla penisola di Sirmione. Un simile approccio può risultare utile per la valutazione delle dinamiche temporali e delle caratteristiche strutturali della vegetazione acquatica del lago di Garda, risorsa essenziale per il mantenimento di un buon livello di qualità delle acque.

Abstract

Lake bottoms have an important role in the aquatic ecosystem: bathymetry and morphology may affect the hydrodynamic processes in coastal waters, while the presence of aquatic macrophytes helps to preserve the ecology. Within the context of macrophyte monitoring programs, technical advances in remote sensing with higher spatial and spectral resolutions provide opportunities for big scale ecological studies, with the possibility to assess a multitemporal analysis.

One of the objectives of the EULAKES project has been to map aquatic vegetation cover inside the Garda Lake using aerial images. A MIVIS overflight (12 runs) was done on June 27th 2011, from which a macrophyte map along the Lake Garda coast belt (up to 7m) was derived.

Synchronously, limnological and radiometric measures were taken in order to calibrate and validate hyperspectral images data. Some corrections have been necessary to remove atmospheric, adjacency and glint effects from the images. The subsequent application of the bio-optical model BOMBER allowed to map 17 km² of bottom surface, with a relative macrophyte cover of about 82%. Results show a relevant spatial distribution of aquatic plants. The most consistent macrophyte cover is concentrated around the Sirmione Peninsula. A similar approach can turn out useful to investigate temporal dynamics and structural characteristics of aquatic vegetation inside the Garda Lake, an essential resource for the maintenance of a good water quality status.

Introduzione

Le macrofite sono piante acquatiche che, tramite adattamenti fisiologici e morfologici, possono crescere e svilupparsi completamente sommerse, emergenti, oppure galleggianti sulla superficie acquatica. All'interno dell'ecosistema acquatico ricoprono un ruolo determinante nelle varie interazioni della catena trofica (ad esempio fungendo sia da rifugio che da nutrimento per le comunità ittiche), oltre ad avere un importante ruolo nel mantenimento degli equilibri ecologici. In particolare, agiscono attivamente nella distribuzione e nella circolazione dei vari elementi dal fondale al comparto acquatico a quello atmosferico stabilizzando i sedimenti, ossigenando l'acqua negli strati più profondi e assorbendo grandi quantità di nutrienti (soprattutto fosforo) (Carpenter and Lodge, 1986; Pieczynska 1993). Dato il loro ruolo strategico, le macrofite sono estremamente sensibili a qualsiasi modificazione delle condizioni ambientali e climatiche come innalzamento della temperatura, eccessive fluttuazioni dei livelli delle acque, introduzione di specie aliene competitive, disturbo meccanico esercitato da transizione d'imbarcazioni, eccessivo carico di nutrienti. È stato dimostrato che condizioni eutrofiche favoriscono la graduale scomparsa di macrofite a ciclo stagionale lungo in favore di rapide proliferazioni di macrofite a ciclo breve e fitoplancton, il quale riduce la penetrazione della radiazione luminosa in acqua e aumenta la concentrazione di clorofilla delle acque (Takashi et al., 2001; Sayer et al., 2010; Takamura et al., 2003). Le macrofite possono essere considerate un utile bioindicatore dello stato di qualità delle acque; da qui la scelta di monitorarle nel tempo e seguire le evoluzioni della struttura delle loro comunità. L'utilizzo di metodi remoti per l'acquisizione di tali informazioni permette di superare i limiti dei classici metodi di monitoraggio basati sul campionamento puntuale, che richiede un elevato impiego di tempo e di risorse ed è difficilmente ripetibile (Thiago et al., 2008; Dekker et al., 2006). Numerosi approcci di mappatura delle macrofite sono stati sperimentati utilizzando immagini iperspettrali e metodi di classificazione basati sullo studio delle firme spettrali, producendo buoni risultati però circoscritti alle specifiche aree di studio considerate (Bostater et al., 2004; William et al., 2003; Pinnel, 2007). Per rendere maggiormente robusta l'applicabilità del metodo di mappatura delle macrofite, è consigliabile utilizzare un approccio fisicamente basato (Cavalli et al., 2006a; Heege, et al., 2004; Alberotanza et al., 1999).

In questo lavoro è stato utilizzato il modello bio-ottico BOMBER "*Bio-Optical Model for the evaluation of Bottom Effect on water Reflectance*" (Giardino et al., 2011) per ottenere mappe di copertura del fondale della fascia costiera del lago di Garda a partire dalle riflettanze ricavate da immagini aeree multispettrali MIVIS (*Multispectral Infrared and Visible Imaging Spectrometer*). Lo scopo è stato quello di quantificare la copertura del fondale da macrofite e valutare l'efficienza della metodologia qui presentata anche nell'eventualità di una sua applicazione in un ipotetico programma temporale di monitoraggio della vegetazione acquatica.

Area di studio

Il lago di Garda (Figura 1), con i suoi 368 km², è il lago italiano più esteso. Fa parte del gruppo dei laghi subalpini, essendo collocato nella regione a ridosso delle Alpi settentrionali italiane, dove si concentra circa l'80% delle acque lacustri nazionali. Il lago di Garda costituisce un'importantissima risorsa d'acqua per la numerosa popolazione gravante sul bacino (110 ab km²), che oltre ad usufruirne per l'approvvigionamento di acqua potabile ed irrigua, per scopi industriali e per la

produzione di energia, sfrutta le sue acque e i suoi ambienti a scopo turistico-ricreativo (pesca, balneazione, navigazione). Da un punto di vista chimico-fisico è un lago oligo-mesotrofico, le sue acque tendono a rimescolarsi solo occasionalmente in corrispondenza di freddi inverni (lago oligomittico). Gran parte del perimetro meridionale lacustre è occupato da canneto a *Phragmites australis*, mentre le specie più diffuse di macrofite sono *Lagarosiphon major*, *Vallisneria spiralis*, *Potamogeton* spp., *Chara* spp..

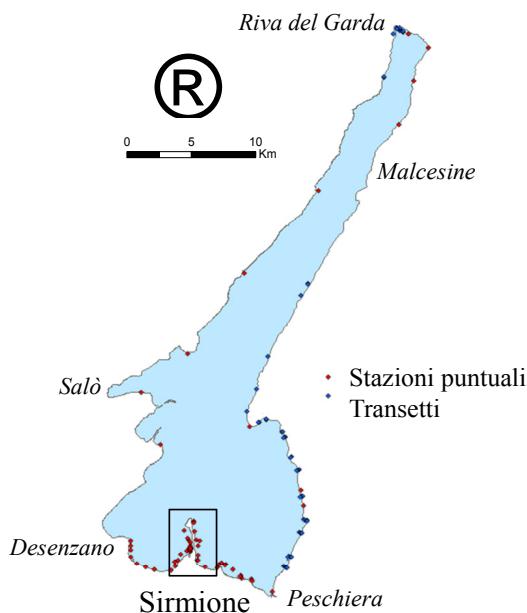


Figura 1. Area di studio con indicate le stazioni di misura in situ.

Materiali e Metodi

Il sorvolo effettuato in data 27 giugno 2011 dalla Blom-CGR ha permesso di acquisire 12 immagini iperspettrali MIVIS in grado di coprire l'intera fascia costiera del lago di Garda. Il piano di volo è stato studiato in modo da trovare il miglior compromesso tra risoluzione spaziale e segnale registrato al sensore (con un risultante pixel di 5m). Inoltre, sono state considerate le geometrie di ripresa sole-sensore per poter stabilire il corretto momento di acquisizione, oltre alla direzione di volo (da sud a nord), stabilita in modo da minimizzare gli effetti di glint sulle immagini (e.g. Cavalli et al., 2006b; Kutser et al., 2009).

Il sensore aerotrasportato MIVIS acquisisce la radiazione elettromagnetica in 102 canali spettrali grazie a quattro spettrometri che operano rispettivamente nel visibile e vicino infrarosso (0.43-0.83 μm), nel medio infrarosso (1.15-1.55 μm e 1.98-2.50 μm) e nell'infrarosso termico (8.21-12.70 μm).

Contemporaneamente al sorvolo aereo sono state raccolte diverse misure di campo utili per la validazione della correzione atmosferica delle immagini, per la parametrizzazione del modello bio-ottico e per la validazione dei prodotti finali di copertura del fondale. Sono state effettuate:

- Misure delle proprietà ottiche apparenti dell'acqua (AOP) utilizzando lo spettrometro ASD FieldSpec FR Pro (intervallo spettrale di 350-2500nm e risoluzione di 1 nm) per ricavare valori di riflettanza uscente dalla colonna d'acqua $R_{rs}(\lambda)$.
- Misure delle proprietà ottiche inerenti dell'acqua (IOP) tramite campionamento e successive analisi di laboratorio (spettrofotometriche e gravimetriche). Sono state ricavate le

concentrazioni e i coefficienti di assorbimento dei componenti otticamente attivi nella colonna d'acqua: clorofilla-a (Chl-a), solidi sospesi totali (TSM) e sostanza organica colorata disciolta (CDOM). Inoltre, sono state raccolte misure di trasparenza mediante disco di Secchi.

- Misure di presenza/assenza di macrofite e di profondità in 89 stazioni lungo la costa del lago.

Le immagini MIVIS sono state corrette atmosfericamente utilizzando il codice radiativo ATCOR4 (Richter, 2009). Il modello atmosferico più consono alle condizioni del luogo è risultato quello Marittimo con 20% di vapore acqueo, mentre i valori di visibilità sono stati ricavati da misure fotometriche di campo (EKO MS-120 *sun-photometer*) sincrone al sorvolo MIVIS.

Data la morfologia della costa nella zona nord del lago di Garda, le due immagini che coprono quest'area sono risultate affette dal fenomeno di adiacenza. Tramite l'applicazione del codice c-WOMBAT-c (Berk et al., 1989) è stato possibile eliminare tale disturbo.

Alcune immagini del sorvolo sono risultate affette da problemi di *sun-glint*, ovvero la riflessione multipla della luce incidente sulle increspature dell'acqua. Tale disturbo, dovuto alla presenza di vento, è stato eliminato tramite l'utilizzo del software di Hochberg et al. (2003).

Le riflettanze così ottenute sono state elaborate tramite il pacchetto software BOMBER per ottenere la mappa di copertura del fondale del lago di Garda. Il modello bio-ottico implementato in BOMBER è basato su una tecnica di ottimizzazione d'inversione del segnale che permette di risolvere il trasferimento radiativo nella colonna d'acqua sia per lo studio di acque profonde per derivare simultaneamente mappe di concentrazione ed assorbimento dei parametri otticamente attivi delle acque (Chl-a, TSM e CDOM), sia per lo studio di acque basse per derivare mappe della profondità e di copertura del substrato. Nel lavoro in questione si è utilizzato il caso di acque basse e si sono ottenuti prodotti relativi alla batimetria e al grado di copertura del fondale.

Il fondale è stato descritto da tre classi (substrato privo di vegetazione, substrato con macrofite ad alto albedo e substrato con macrofite a basso albedo), secondo la formula seguente:

$$\rho(\lambda) = b_0\rho_0(\lambda) + b_1\rho_1(\lambda) + b_2\rho_2(\lambda) \quad [1]$$

dove $\rho(\lambda)_i$ è l'albedo delle differenti tipologie di substrato, mentre $b_i=0,1,2$ sono le loro distribuzioni relative. Il modello è stato parametrizzato utilizzando i dati ricavati dalle misure di campo (assorbimenti e concentrazioni di Chl-a, TSM, CDOM e *back-scattering* dovuto a Chl-a e TSM) acquisite in coincidenza del sorvolo MIVIS e in numerose precedenti campagne (Giardino et al., 2007; Giardino et al., 2011).

Risultati

Il confronto tra i valori di riflettanza delle immagini MIVIS e le firme in situ hanno evidenziato un buon accordo, la regressione ottenuta ha fatto registrare un R^2 medio di circa 0.9, confermando l'accuratezza della correzione atmosferica.

I risultati delle misure limnologiche in situ hanno evidenziato che durante l'acquisizione MIVIS, le condizioni medie delle acque del lago erano caratterizzate da una concentrazione di Chl-a di $1.17 \text{ mg/m}^3 \pm 1.1$, di TSM di $1.4 \text{ g/m}^3 \pm 0.7$ e di CDOM di $0.03 \text{ m}^{-1} \pm 0.02$, con valori di trasparenza di $8.5 \text{ m} \pm 2.8$.

L'applicazione della modellistica bio-ottica ha permesso di ottenere la mappa del fondale rappresentante la presenza/assenza di macrofite. È stato possibile mappare la fascia costiera compresa tra i primi 7m di profondità (circa coincidente con la strato eufotico), poiché oltre a tale profondità il rapporto segnale/rumore delle immagini MIVIS non permette di avere un'adeguata accuratezza (errore maggiore del 10%) dall'applicazione del modello bio-ottico (Giardino et al., 2007). Dei 20.5 km^2 di superficie mappata quasi 17 km^2 sono risultati occupati da macrofite, anche se con classi di copertura differenti (da dense a sparse). La validazione di tale prodotto è sintetizzata nella Figura 2, nella quale sono identificate le seguenti tre classi:

1. Substrato con macrofite
2. Substrato senza macrofite
3. Classe mista: pixel affetti da errori delle misure in situ (es. problemi di accuratezza dei dati GPS, batimetria leggermente superiore a 7m, difficoltà nella discriminazione del substrato) e dalla presenza di elementi di disturbo (es. imbarcazioni o boe).

Campo	Classe1	Classe2	Classe3	TOTALE
MIVIS				
Classe1	40	5	1	46
Classe2	3	23	3	29
Classe3	1	1	12	14
TOTALE	44	29	16	89

Figura 2. Matrice di confusione delle differenti classi di copertura del fondale.

Osservando la Figura 3 si nota che vi sia una grande differenza spaziale nella distribuzione delle macrofite intorno al lago. La zona meridionale, attorno alla Penisola di Sirmione, caratterizzata da coste con pendenze ridotte, si presta come ambiente ideale alla crescita della vegetazione acquatica, mentre la parte settentrionale del lago, con una morfologia più aspra, risulta meno idonea per il loro insediamento.

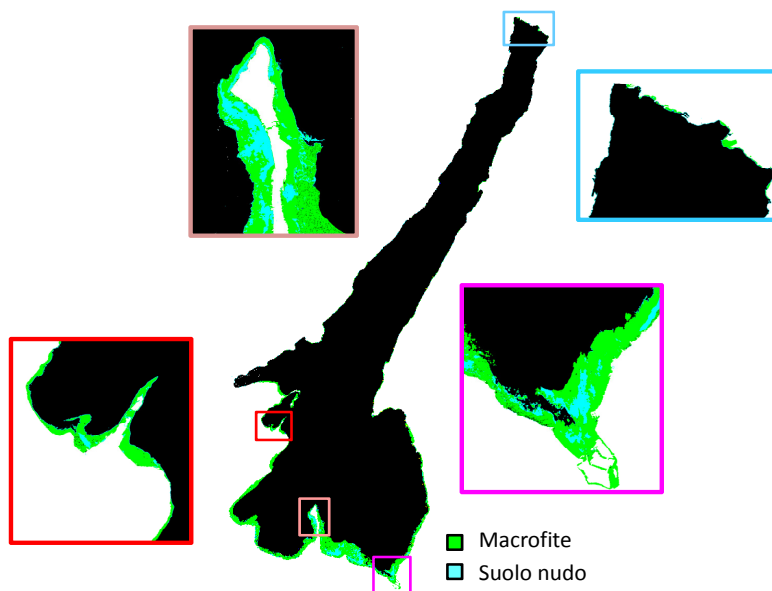


Figura 3. Mappa di presenza/assenza di macrofite del lago di Garda con relativi zoom.

Per la sola zona che circonda la penisola di Sirmione è stato possibile ricavare una mappa di densità delle macrofite (Figura 4), suddivise in classi di copertura estensiva (>70%), densa (40-70%), moderata (10-40%), sparsa (0-10%) e assente (suolo nudo). I risultati mostrano una sostanziale prevalenza di fondale non colonizzato, con una dominanza di comunità destrutturate caratterizzate da una densità da moderata a scarsa nelle zone di fondale occupato da vegetazione.

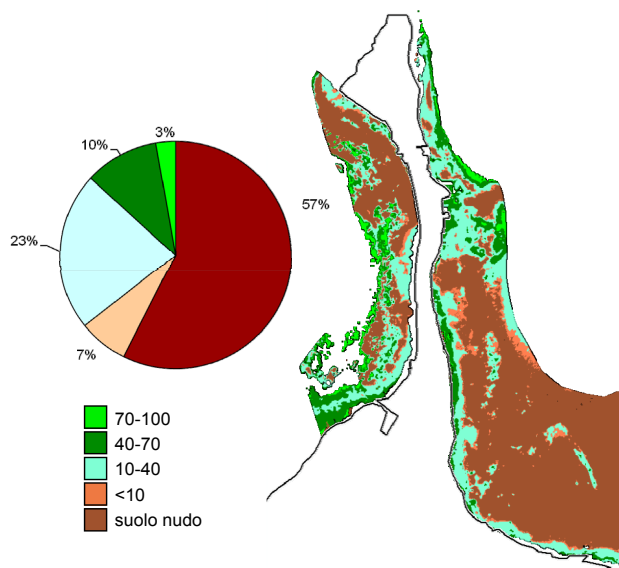


Figura 4. Mappa di densità delle macrofite per la zona circostante la penisola di Sirmione e relativo grafico di occorrenza delle classi considerate.

Il confronto tra i risultati di Figura 4 e la mappa batimetrica prodotta ha evidenziato come non vi sia una distribuzione verticale delle classi di abbondanza delle macrofite, le quali risultano distribuite uniformemente a tutte le profondità nell'intervallo considerato (0-7 metri).

Conclusioni

Il sensore iperspettrale MIVIS è risultato consono alla mappatura del fondale del lago di Garda grazie alle sue caratteristiche radiometriche e al suo rapporto segnale-rumore, fondamentale nello studio degli ambienti acquatici.

Il presente lavoro ha testimoniato la necessità e la funzionalità delle diverse correzioni applicate alle immagini aeree prima della loro effettiva elaborazione.

La modellistica bio-ottica utilizzata nel *tool* BOMBER è risultata correttamente parametrizzata e idonea per la mappatura della fascia costiera del lago di Garda. La derivazione delle caratteristiche di copertura del fondale, seguendo l'approccio presentato, è risultata in accordo con le tradizionali tecniche di monitoraggio necessarie per la mappatura della distribuzione delle piante acquatiche. I risultati incoraggiano all'utilizzo di questa tecnica per seguire l'evoluzione temporale e spaziale della copertura macrofitica dell'intero lago. Poiché la presenza di piante acquatiche è considerata indice di determinate caratteristiche ambientali, i prodotti ottenuti nel presente lavoro sono in fase di integrazione con altri prodotti ottenuti all'interno del Progetto EULAKES al fine di poter fornire un importante contributo alle autorità locali per il monitoraggio e la gestione delle zone costiere e della qualità delle acque del lago di Garda.

Ringraziamenti

L'attività di ricerca è inserita e finanziata dal Progetto EULAKES Project (EU Central Europe Programme 2010–2013). Le immagini MIVIS sono di proprietà dell'APPA Trento e sono state acquisite dalla Blom-CGR (Parma). Si ringraziano tutti i partner del progetto EULAKES ed in particolare Barbara Zennaro e Maurizio Siligardi dell'APPA Trento. Il lavoro di validazione non sarebbe stato possibile senza la partecipazione delle agenzie per la Protezione dell'Ambiente

(APPA Trento, ARPA Lombardia e ARPAV Veneto). Un grande ringraziamento a Mario Mazzurana, Gaetano Patti e Chiara DeFrancesco dell'APPA Trento per l'organizzazione relativa alle acquisizioni MIVIS. Si ringraziano inoltre i colleghi del CNR-IREA Mauro Musanti e Alessandro Oggioni per il sostegno e la partecipazione nelle attività di ricerca e misure in situ.

Bibliografia

- Alberotanza L, Brando VE, Ravagnan G, Zandonella A. (1999), "Hyperspectral aerial images. A valuable tool for submerged vegetation recognition in the Orbetello Lagoons, Italy," *International Journal Of Remote Sensing*, 20: 523-533
- Asaeda T, Trung VK, Manatunge J, Van Bon T. (2001), "Modelling macrophyte-nutrient-phytoplankton interactions in shallow eutrophic lakes and the evaluation of environmental impacts", *Ecological Engineering*, 16(3): 341-357 [doi.org/10.1016/S0925-8574(00)00120-8]
- Berk A, Bernstein LS, Robertson DC. (1989), "*MODTRAN: A Moderate Resolution Model for LOWTRAN7*", Air Force Geophysics Laboratory, Hanscom AFB, MA, GL-TR-89-0122, pp. 38
- Bostater CR, Ghir T, Bassetti L, Hall C, Ryeier E, Lowers R, Holloway-Adkins K, Virnstein R. (2004), "Hyperspectral remote sensing protocol development for submerged aquatic vegetation in shallow waters", *Proc. SPIE* 5233, 199 [doi.org/10.1117/12.541191]
- Carpenter S R, Lodge D. M. (1986), "Effects of submersed macrophytes on ecosystem processes", *Aquatic Botany*, 26: 341-370 [doi:10.1016/0304-3770(86)90031-8]
- Cavalli RM, Laneve G, Pignatti S, Santini F. (2006a), "Remote sensing and physical modelling approach for macrophyte and water quality parameters monitoring" (Conference Paper) European Space Agency, (Special Publication) ESA SP Issue SP-634, 6p
- Cavalli RM, Pignatti S, Zappitelli E. (2006b), "Correction of sun glint effect on MIVIS data of the Sicily campaign in July 2000", *Annals of Geophysics*, 49(1): 277-286
- Dekker A, Brando V, Anstee J, Fyfe S, Malthus T, Karpouzli E. (2006), "Remote Sensing of Seagrass Ecosystems: Use of Spaceborne and Airborne Sensors", *Seagrasses: Biology Ecology and conservation*, 347-359 [DOI: 10.1007/978-1-4020-2983-7_15]
- Mueller JL, Austin RW, Morel A, Fargion GS, McClain C. (2003), Introduction, Background and Conventions. In: *Ocean Optics Protocols for Satellite Ocean Color Sensor Validation*, Revision 4, vol. 1, NASA/TM-2003-21621 (56 p.), J.L. Mueller G.S. Fargion, C. McClain (Eds.), NASA, Goddard Space Flight Center, Greenbelt, MD
- Giardino C, Bartoli M, Candiani G, Bresciani M, Pellegrini L. (2007), "Recent changes in macrophyte colonisation patterns: an imaging spectrometry-based evaluation of southern Lake Garda (northern Italy)", *Journal of Applied Remote Sensing (SPIE)*, Vol. 1, 011509
- Giardino C, Candiani G, Bresciani M, Lee Z, Gagliano S, Pepe M. (2011), "BOMBER: a tool for estimating water quality and bottom properties from remote sensing images", *Computers & Geosciences*, 45: 313-318
- Heege T, Bogner A, Pinnel N. (2004), "Mapping of submerged aquatic vegetation with a physically based process chain" (Conference Paper), *Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering* Volume 5233, Pages 43-50
- Hochberg EJ, Andréfouët S, Tyler MR. (2003), "Sea Surface Correction of High Spatial Resolution Ikonos Images to Improve Bottom Mapping in Near-Shore Environments", *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 41 (7): 1724-1729
- Kutser T, Vahtmae E, Praks J. (2009), "A sun glint correction method for hyperspectral imagery containing areas with non-negligible water leaving NIR signal", *Remote Sensing of Environment*, 113: 2267-2274
- Pieczynska E.(1993), "Detritus and nutrient dynamics in the shore zone of lakes: a review", *Hydrobiologia*, 251: 49-58, 1993 [DOI: 10.1007/BF00007164]

- Pinnel N. (2007), "A method for mapping submerged macrophytes in lakes using hyperspectral remote sensing," Ph.D. Thesis, Department für Ökologie und Ökosystemmanagement, Fachbereich für Limnologie, Technische Universität München, Germany
- Richter R. (2009), "Atmospheric / Topographic Correction for Satellite Imagery", DLR report DLR-IB 565-01/09, Wessling, Germany
- Sayer CD, Davinson TA, Jones JI. (2010), "Seasonal dynamics of macrophytes and phytoplankton in shallow lakes: a eutrophication-driven pathway from plants to plankton?" *Freshwater Biology*, 55, 500–513 [doi:10.1111/j.1365-2427.2009.02365.x]
- Silva TSF, Costa MPF, Melack JM, Novo EMLM. (2008), "Remote sensing of aquatic vegetation: theory and applications", *Environmental Monitoring and Assessment*, 140: 131-145 [DOI: 10.1007/s10661-007-9855-3]
- Takamura N, Kadono Y, Fukushima M, Nakagawa M, Kim Baik-H O. (2003), "Effects of aquatic macrophytes on water quality and phytoplankton communities in shallow lakes", *Ecological Research*, 18(4): 381-395 [DOI: 10.1046/j.1440-1703.2003.00563.x]
- Williams DJ, Rybicki NB, Lombana AV, O'Brien TM, Gomez RB. (2003), "Preliminary Investigation of Submerged Aquatic Vegetation Mapping using Hyperspectral Remote Sensing", *Environmental Monitoring and Assessment*, 81: 383-392 [DOI: 10.1023/A:1021318217654]
- http://www.ors.regione.lombardia.it/resources/pagina/N1204887ec8e860a0b79/N1204887ec8e860a0b79/scheda_lago.pdf