

Analisi multitemporali delle variazioni areali delle macrofite del Lago d'Iseo da dati Sentinel-2

Mariano Bresciani ^(a), Nicola Ghirardi ^(b), Rossano Bolpagni ^(a,b),
Daniele Nizzoli ^(b), Marco Bartoli ^(b), Giulia Valerio ^(c), Marco Pilotti ^(c),
Claudia Giardino ^(a)

^(a) Istituto per il Rilevamento Elettromagnetico dell'Ambiente, CNR-IREA, via Bassini 15, 20133 Milano, tel. 02-23699298; e-mail: giardino.c; bresciani.m; brivio.pa@irea.cnr.it

^(b) Università degli Studi di Parma, Dipartimento di Scienze Chimiche, della Vita e della Sostenibilità Ambientale: daniele.nizzoli@unipr.it, marco.bartoli@unipr.it

^(c) Università degli Studi di Brescia DICATAM, e-mail: giulia.valerio@unibs.it, marco.pilotti@unibs.it

Introduzione

Gli ambienti lacustri sono spesso caratterizzati dalla presenza di piante acquatiche (macrofite), tra cui anche macroalghe (e.g., *Chara* ssp.), in grado di colonizzare sia le porzioni pelagiche dei corpi idrici che gli ambienti litoranei e ripari. Le macrofite possono essere completamente sommerse, emergenti, oppure galleggianti sulla superficie acquatica. La presenza di macrofite influenza ed è influenzata da differenti parametri relativi al corpo d'acqua, tra i quali la luce, la temperatura, la concentrazione di ossigeno e i nutrienti. Svolgono un ruolo importante nello strutturare e nel regolare la funzionalità degli ecosistemi acquatici: possono modulare la circolazione dell'acqua, offrire riparo, rifugio e cibo ad un numero elevatissimo di specie e nel complesso sono capaci di influenzare la qualità delle acque e dei sedimenti superficiali colonizzati (Madsen et al., 2001; Sand-Jensen, 1998). Le macrofite sono considerate dei bioindicatori delle condizioni ecologiche dei laghi e del livello trofico delle acque (Sondergaard et al., 2010). Per il monitoraggio di questi organismi possono rilevarsi di estrema utilità le tecniche di *remote sensing*, grazie alla loro visione sinottica, alla possibilità di utilizzare diversi sensori e di poter effettuare delle riprese multispettrali e multitemporali. L'utilizzo delle immagini satellitari e aviotrasportate permette di superare i limiti imposti dalle tecniche della limnologia classica, basati su complicati e dispendiosi campionamenti puntuali che non riescono a coprire l'eterogeneità tipica delle macrofite (Hunter et al., 201). Numerose sono le pubblicazioni scientifiche relative all'utilizzo delle immagini aviotrasportate per lo studio della vegetazione acquatica sommersa (SAV; Hestir et al., 2008; Bresciani et al., 2012; Giardino et al., 2015) e satellitari ad alta risoluzione spaziale (es. Malthus et al., 2017). L'obiettivo di questo studio, inserito all'interno del progetto ISEO (finanziato dalla Fondazione CARIPLO), è stato quello di mappare la distribuzione delle macrofite radicate sommerse nella parte meridionale del lago d'Iseo nel periodo 2015 - 2017, e di valutarne le variazioni spazio - temporali. È stato utilizzato il modello bio - ottico BOMBER (*Bio - Optical Model for the evaluation of Bottom Effect on water Reflectance*) (Giardino et al., 2012) per ottenere mappe di copertura del fondale relative

alle acque basse a partire dalle riflettanze ricavate dalle immagini satellitari Sentinel-2.

Area di studio

Il lago d'Iseo, anche conosciuto come Sebino, è il quarto tra i laghi prealpini italiani per superficie (65.3 km²), è posta a 185 m s.l.m. e presenta una profondità massima di 251 m. Al centro del lago è presente Montisola, la più grande ed alta isola dei laghi europei. Il lago d'Iseo è un bacino oligomittico (Elefanti et al., 2006) in quanto il fenomeno di piena circolazione non si completa ogni anno, ma avviene solo in concomitanza d'inverni particolarmente freddi e ventosi. La mancata omogeneizzazione annuale delle acque ha portato ad una stratificazione densimetrica della massa d'acqua, tipica dei laghi meromittici. A causa di queste peculiarità, negli ultimi decenni si è riscontrato un netto peggioramento dello stato trofico del lago, un fenomeno che è particolarmente rilevante per gli strati profondi (Garibaldi et al., 1998; Valerio et al., 2015). Questo studio si è concentrato nella zona batimetrica compresa tra gli 0 – 10 metri di profondità della parte meridionale del lago (Fig. 1), ovvero la zona più antropizzata dove è possibile ritrovare comunità a macrofite costituite principalmente da: *Lagarosiphon major*, *Vallisneria spiralis*, *Najas marina*, *Ceratophyllum demersum* e *Myriophyllum spicatum*.

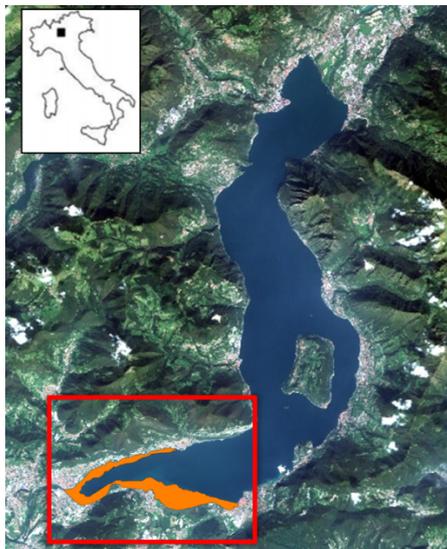


Figura 1 – Lago d'Iseo da immagine Sentinel-2, nel riquadro rosso la parte meridionale del lago, in arancio la zona investigata con batimetria compresa tra gli 0 e i 10 metri di profondità.

Materiali e metodi

I due satelliti gemelli Sentinel-2 A e B (S2A/B) portano a bordo il sensore ottico MSI (*MultiSpectral Instrument*), che acquisisce in 13 bande, nella regione spettrale tra 442 e 2201 nm, con una risoluzione spaziale di 10-20-60 m al suolo. Per questo lavoro sono state utilizzate le prime 7 bande della regione VIS-NIR riprocessate alla risoluzione spaziale di 10 metri. In particolare, sono state analizzate 21 immagini tra il 2015 e il 2017. Le immagini sono state corrette atmosfericamente tramite il codice di

trasferimento radiativo 6S (*Second Simulation of the Satellite Signal in the Solar Spectrum*) (Vermote et al., 1997), parametrizzato con i valori di *Aerosol Optical thickness* della stazione AERONET di Sirmione con modello di tipo continentale. I prodotti di riflettanza sono stati validati tramite acquisizione di misure in situ con spettroradiometro WISP-3 (Hommersom et al., 2012). Ai prodotti di riflettanza è stata applicata la modellistica bio-ottica BOMBER (Giardino et al., 2012) in modalità *shallow water*, appositamente parametrizzata con le proprietà ottiche inerenti specifiche del lago d’Iseo (Bresciani et al., 2018). Per ciascuna immagine, il BOMBER è stato applicato su di una maschera creata su vettore batimetrico (0 - 10 metri) fornito dall’ARPA Lombardia. Il fondale è stato dunque descritto in base a tre differenti classi contraddistinte da firme spettrali di input (Giardino et al., 2012): b0 (substrato privo di vegetazione), b1 (substrato con macrofite ad alto albedo) e b2 (substrato con macrofite a basso albedo). In aggiunta alla modellistica bio-ottica, è stato l’utilizzo il rapporto NIR/GREEN per identificare e quantificare i pixel d’acqua in cui erano presenti macrofite galleggianti sradicate dal fondale. I prodotti ottenuti sono stati validati tramite misure in situ della copertura del fondale.

Risultati

La validazione della correzione atmosferica delle immagine è risultata accurata nella regione del visibile (Bresciani et al., 2018), la validazione dei prodotti delle classi di copertura del fondale sono riportati nella tabella 1.

Tabella 1 - Matrice di confusione tra le misure in situ e i prodotti ottenuti dalle immagini Sentinel-2. Il ridotto numero di campioni in situ ha limitato la stima dell’accuratezza complessiva della validazione.

	Macrofite emerse	Macrofite sommerse	Acque profonde	Fondale privo di vegetazione	Totale
Macrofite emerse	12	1			13
Macrofite sommerse		16	1	1	18
Acque profonde			8	1	9
Fondale privo di vegetazione				6	6
Totale	12	17	9	8	46

L’analisi dei risultati ha evidenziato come l’area meridionale del lago d’Iseo sia contraddistinta da un elevata copertura di macrofite sommerse che raggiungono, alla fine del mese di luglio, quasi il 90% dell’area compresa tra 0 e 10 metri di profondità. L’analisi spaziale ha evidenziato come nelle zone vicino alla costa si trovino prevalentemente macrofite rade, mentre quelle spesse si trovano ad oltre 50 metri dalla linea di costa. Nella fascia batimetrica tra 0 e i 5 metri di profondità sono presenti le coperture maggiori di macrofite

che diminuiscono nelle zone a maggiori profondità. Nella figura 3 si riportano le mappe prodotte per il 2017.

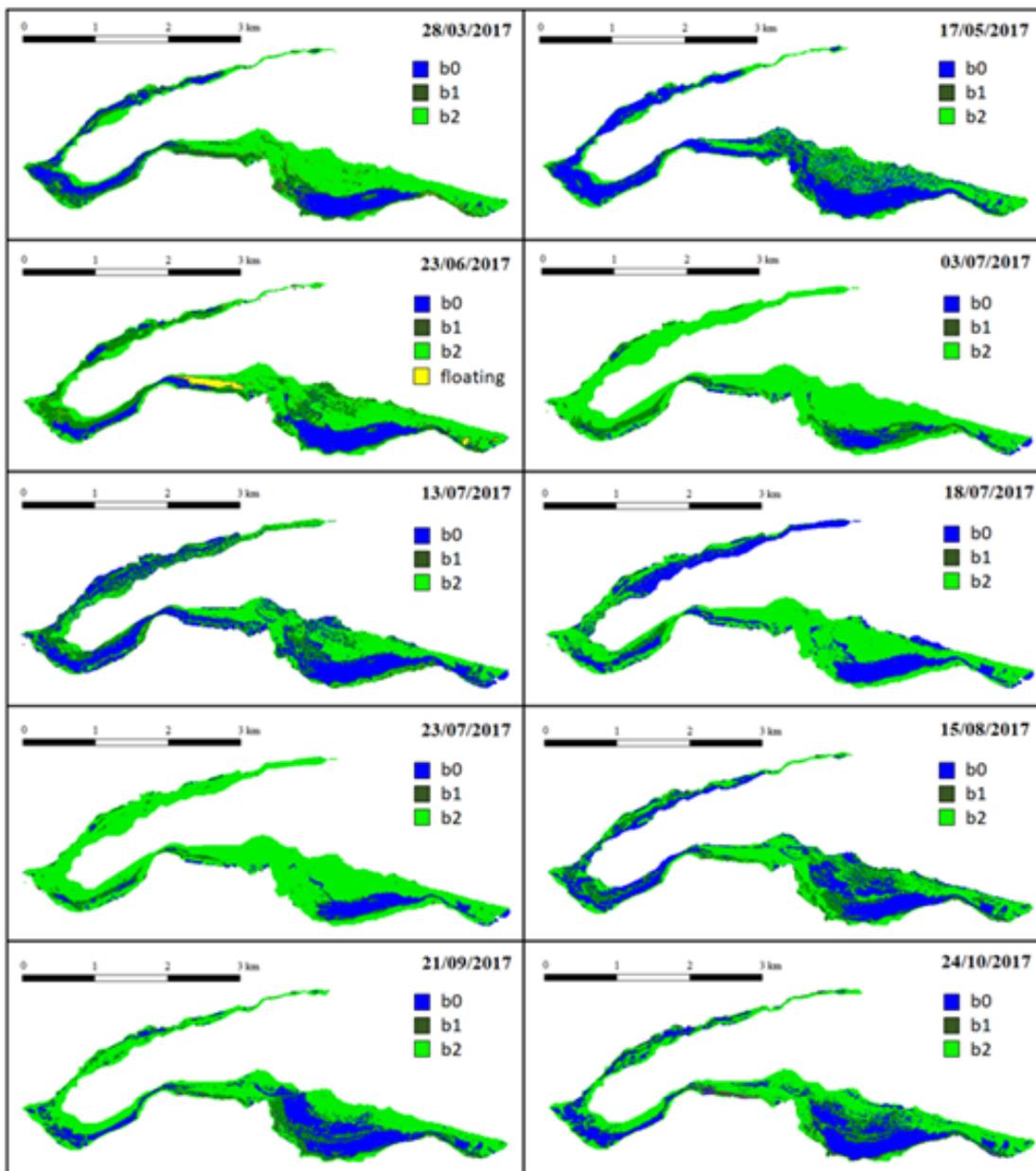


Figura 3 – Mappe di distribuzione di copertura del fondale del Lago d’Iseo per il 2017 ottenute da immagini Sentinel-2, b0 = suolo (blu); b1 = macrofite spesse (verde scuro); b2 = macrofite rade (verde chiaro); macrofite flottanti (giallo).

L’analisi temporale ha evidenziato una drastica diminuzione dell’area a macrofite tra il 2015 e il 2017, pari al 18 % del tasso di copertura del fondale. Diminuzione confermata anche dagli areali coperti da macrofite eradicite galleggianti sulla superficie dell’acqua: il 3 agosto 2015 è stata quantificata un’area di 0,11 km² (copertura del 3,2 %) e il 23 giugno 2017 un’estensione di 0,15 km² (copertura del 4,3 %). Nella figura 4 è riportato il confronto per il periodo estivo e quello autunnale dei prodotti ottenuti nel 2015, 2016 e 2017.

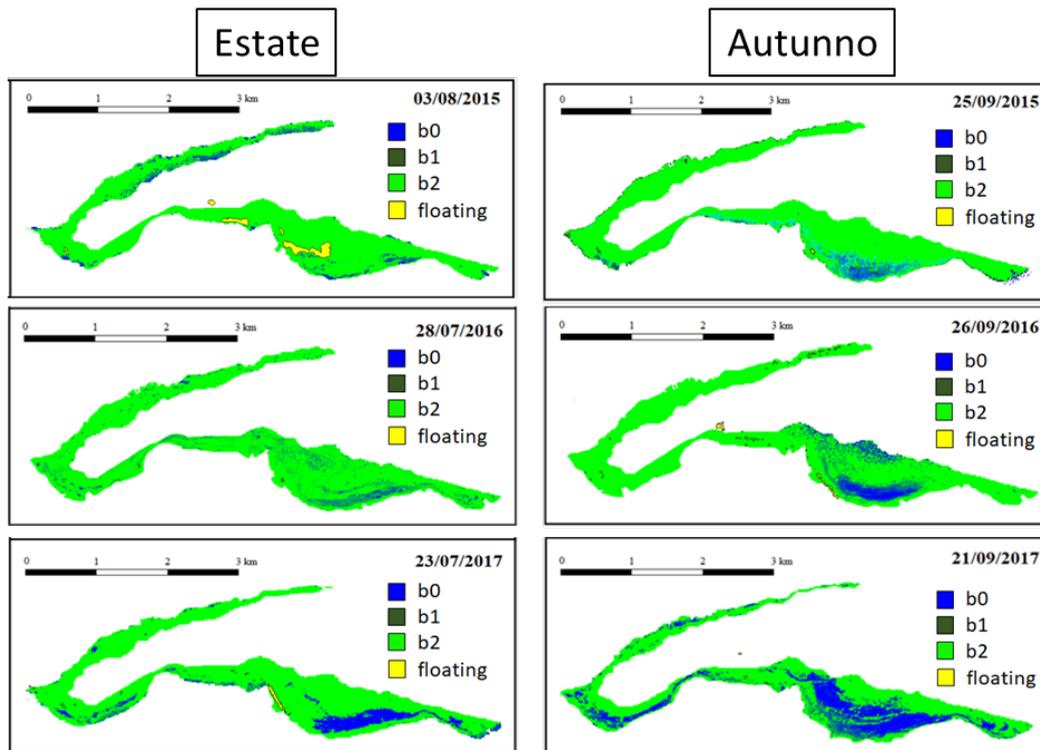


Figura 4 – Confronto tra le mappe del periodo estivo e quello autunnale nei tre anni di analisi, b0 = suolo (blu); b1 = macrofite spesse (verde scuro); b2 = macrofite rade (verde chiaro); macrofite flottanti (giallo).

Conclusioni

Le immagini Sentinel-2 hanno permesso, previa adeguata correzione atmosferica e applicazione della modellistica bio-ottica, di ottenere le mappe di copertura del fondale del lago d'Iseo e di analizzarne le dinamiche spazio-temporali. La parte meridionale del lago è contraddistinta da un'elevata copertura di macrofite, tale copertura è caratterizzata da un'elevata dinamicità sia spaziale che a livello di abbondanza. I risultati emersi da questa caratterizzazione spazio-temporale vanno a confermare la tesi ipotizzata da altri studi (Bolpagni et al., 2016), ovvero che la vegetazione acquatica sommersa non si può considerare come una comunità metastabile, anzi la sua variabilità è paragonabile, se non superiore, a molte comunità vegetali terrestri. Un altro risultato di spicco emerso dal confronto tra gli anni è stata la riduzione sostanziale della copertura a macrofite verificatasi dal 2015 al 2017, sia per il periodo estivo che per quello autunnale. Tale perdita è avvalorata dalla presenza di macrofite flottanti, la cui genesi è da imputare alle dinamiche relative al sedimento e alla torbidità delle acque.

Ringraziamenti

Le attività di ricerca sono co-finanziate dal progetto ISEO finanziato dalla Fondazione Cariplo.

Bibliografia

Bolpagni R., Laini A., Azzella M.M. (2016), "Short-term dynamics of submerged aquatic vegetation diversity and abundance in deep lakes", *Applied Vegetation Science*, 19, 711–723.

- Bresciani M., Bolpagni R., Braga F., Oggioni A., Giardino, C. (2012), "Retrospective assessment of macrophytic communities in southern Lake Garda (Italy) from in situ and MIVIS (Multispectral Infrared and Visible Imaging Spectrometer) data", *Journal of Limnology*, 71(1), p.19.
- Bresciani M., Cazzaniga I., Austoni M., Sforzi T, Buzzi F, Morabito G, Giardino C. (2018), "Mapping phytoplankton blooms in deep subalpine lakes from Sentinel-2A and Landsat-8", *Hydrobiologia*, doi:10.1007/s10750-017-3462-2.
- Elefanti A., Chinaglia N., Bolis B., Grancini L., Chiaudani G., et al. (2006), Programma di Tutela e Uso delle Acque – Allegato 16 "Stato di qualità ed evoluzione trofica dei laghi." Regione Lombardia - Direzione Generale Reti e Servizi Di Pubblica Utilità Unità Organizzativa Regolazione Del Mercato e Programmazione.
- Garibaldi L., Brizzio M.C., Mezzanotte V., Varallo A., Mosello R. (1998), "Water chemistry and trophic level evolution of Lake Iseo", *Documenta Dell'Istituto Italiano Di Idrobiologia*, (61): 135–151.
- Giardino C., Bresciani M., Valentini E., Gasperini L., Bolpagni R., Brando V.E. (2015), "Airborne hyperspectral data to assess suspended particulate matter and aquatic vegetation in a shallow and turbid lake", *Remote Sensing of Environment*, 157: 48-57.
- Giardino C., Candiani G., Bresciani M., Lee Z., Gagliano S., Pepe M. (2012), "BOMBER: A tool for estimating water quality and bottom properties from remote sensing images", *Computers and Geosciences*, 45: 313–318.
- Hestir E.L., Khanna S., Andrew M.E., Santos M.J., Viers J.H., et al. (2008), "Identification of invasive vegetation using hyperspectral remote sensing in the California Delta ecosystem", *Remote Sensing of Environment*, 112: 4034-4047.
- Hommersom A., Kratzer S., Laanen M., Ansko I., Ligi M., Bresciani M., Giardino C. et al. (2012), "Intercomparison in the field between the new WISP-3 and other radiometers (TriOS Ramses, ASD FieldSpec, and TACCS)", *Journal of Applied Remote Sensing*, 6(1), p.063615.
- Hunter P., Gilvear D., Tyler A., Willby N., Kelly A. (2010), "Mapping macrophytic vegetation in shallow lakes using the Compact Airborne Spectrographic Imager (CASI)", *Aquatic Conservation*, 20: 717-727.
- Madsen J.D., Chambers P.A., James W.A., Koch E.W., Westlake D.F. (2001), "The interaction between water movement, sediment dynamics and submersed macrophytes", *Hydrobiologia*, 444: 71-84.
- Malthus T.J. (2017), "Bio-optical modeling and remote sensing of aquatic macrophytes", In: *Bio-optical Modeling and Remote Sensing of Inland Waters* (pp. 263-308).
- Sondergaard M., Johansson L.S., Lauridsen T.L., Jorgensen T.B., Liboriussen L., Jeppesen E. (2010), "Submerged macrophytes as indicators of the ecological quality of lakes", *Freshwater Biology*, 55: 893-908.
- Valerio G., Pilotti M., Barontini S., Leoni B. (2015), "Sensitivity of the multiannual thermal dynamics of a deep pre-alpine lake to climatic change", *Hydrological Processes*. <https://doi.org/10.1002/hyp.10183>
- Vermote, E. F., Tanré, D., Deuzé, J. L., Herman, M., & Morcrette, J. J. (1997). Second simulation of the satellite signal in the solar spectrum, 6s: an overview. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 35(3): 675-686.