

Stima dei trend di stato trofico in laghi profondi da dati MERIS (2002-2012)

Ilaria Cazzaniga (*), Claudia Giardino (*), Mariano Bresciani (*), Steef Peters (**)

(*) Consiglio Nazionale delle ricerche, Istituto per il rilevamento elettromagnetico dell'ambiente via Bassini 15, 20133 Milano, Italia, cazzaniga.i@irea.cnr.it, bresciani.m@irea.cnr.it, giardino.c@irea.cnr.it

(**) Water Insight, Marijkeweg 22, 6709 PG Wageningen, Olanda, peters@waterinsight.nl

Riassunto

Lo scopo di questo studio, che si inquadra nell'ambito del progetto GLaSS, è l'analisi dei *trend* di evoluzione dello stato trofico di alcuni laghi profondi che, caratterizzati da un buono stato di qualità delle acque, sono importanti risorse socio-economiche per le regioni che li ospitano. Il lavoro è stato condotto sulla base del decennio (2002-2012) di osservazioni satellitari MERIS, sensore idoneo ad ottenere stime accurate di parametri indicatori dello stato trofico delle acque. In particolare, ci si è avvalsi della possibilità di disporre di serie validate di clorofilla-a (chl-a) e trasparenza delle acque, ottenuti mediante algoritmi *ad hoc* per ciascun lago. Per la ricerca dei *trend* temporali si è utilizzato il *Seasonal Kendall test* che permette di considerare la stagionalità tipica di questi laghi. Per ogni anno e/o stagione, si è inoltre condotta un'analisi sulla fenologia identificando sia la data di inizio degli incrementi di chl-a sia gli eventi di fioritura algale.

I risultati dell'analisi dei *trend* ha permesso di osservare una lieve evoluzione verso condizioni di maggiore oligotrofia nel Garda e nel Tanganica, un lieve peggioramento delle condizioni nei laghi Maggiore e di Costanza e condizioni stabili per i laghi Vättern, Michigan e Malawi. L'analisi delle dinamiche stagionali sull'inizio e la frequenza delle fioriture algali ha evidenziato che, per la maggior parte dei laghi, gli anni peggiori sono stati il 2005, il 2007 e il 2010.

Abstract

The aim of this study, developed in GLaSS project frame, is the analysis of trend in the trophic level evolution in some selected clear deep lakes, which, being characterised by good quality state, are important socio-economic resources for their territories. This work was conducted exploiting the ten years of remote observations from MERIS sensor, suitable for obtaining accurate estimation of water trophic level indicators. In particular, available validated time series of chlorophyll-a (chl-a) concentration and water transparency were exploited, obtained through ad hoc algorithms for each lake. For time trend analysis Seasonal Kendall test was exploited: this test allows taking into account the seasonal behaviour, typical of these lakes. For each year or season, an analysis on phenology was conducted, identifying the initial date of chl-a increase and the events of algal bloom.

Trend analysis results showed a slight evolution towards a more oligotrophic level in lake Garda and Tanganyika, a slight decrease in water quality in lakes Maggiore and Constance and stable conditions for lakes Vättern, Michigan and Malawi. The analysis on seasonal dynamics and on algal bloom frequency highlighted that, in most cases, the worst years were 2005, 2007 and 2010.

Introduzione

Il progetto GLaSS (*Global Lakes Sentinel Services*) (2013-2016) ha come scopo lo sviluppo di un'infrastruttura prototipale per la gestione e il processamento della grande quantità di dati che verranno prodotti dai sensori a bordo di Sentinel-2 e Sentinel-3 per il monitoraggio di laghi e riserve

d'acqua. A scala globale il progetto sta sviluppando una serie di 'Casi studio' volti ad elaborare i dati osservativi di qualità delle acque per la produzione di indicatori e informazione. In questo ambito, è stata condotta l'analisi di possibili trend temporali di alcuni laghi selezionati, tutti classificabili come trasparenti e profondi. Questo gruppo comprende: laghi subalpini europei (laghi di Costanza, di Garda e Maggiore), il lago boreale Vättern in Svezia, il lago Michigan in America ed i laghi africani Malawi e Tanganica.

Questi laghi rappresentano per i territori in cui sono collocati un'importante risorsa socio-economica e sebbene siano laghi profondi e quindi meno vulnerabili dal punto di vista trofico, un continuo carico di nutrienti ed i cambiamenti climatici potrebbero condizionarne comunque lo stato. Lo scopo di questo lavoro è stata la ricerca, attraverso l'analisi della serie temporale MERIS di immagini di questi laghi, di trend e cambiamenti nella fenologia della comunità fitoplanctonica e di differenziazioni all'interno di ogni singolo lago e fra i diversi laghi.

Area di studio

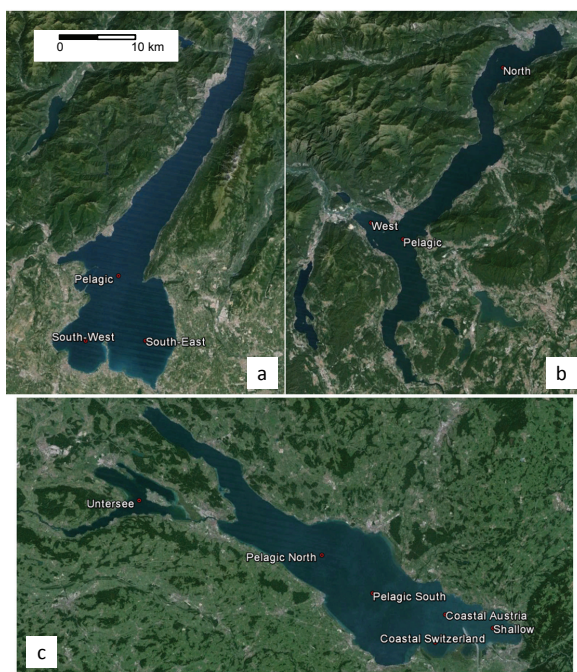


Figura 1 - Laghi subalpini e ROI (Region Of Interest) utilizzate per l'estrazione dei valori dei parametri di qualità delle acque. A) Lago di Garda; b) lago Maggiore; c) lago Costanza.

Il lago di **Garda** (Figura 1a) e **Maggiore** (Figura 1b), i due più estesi laghi italiani, sono due laghi profondi, oligomittici ed oligotrofici situati a sud dell'arco alpino, nella Pianura Padana. Sono caratterizzati da una forma stretta e allungata in direzione Nord-Sud.

Il lago di Costanza è situato a Nord delle Alpi, si estende in direzione NO-SE. Sebbene nel punto più profondo raggiunga i 250 m, mediamente il lago è il meno profondo dei tre. Sia il lago Maggiore che il lago di Costanza sono laghi transfrontalieri: il primo diviso fra Italia e Svizzera, il secondo si estende nei confini di tre diversi stati europei, Germania, Austria e Svizzera. Entrambi questi laghi nella seconda metà del XX secolo hanno subito un peggioramento delle condizioni trofiche, a seguito del quale nuove politiche di gestione (e la costruzione di un impianto di trattamento delle acque nel lago Maggiore) hanno permesso di riportare le acque del lago ad un livello di trofia inferiore.

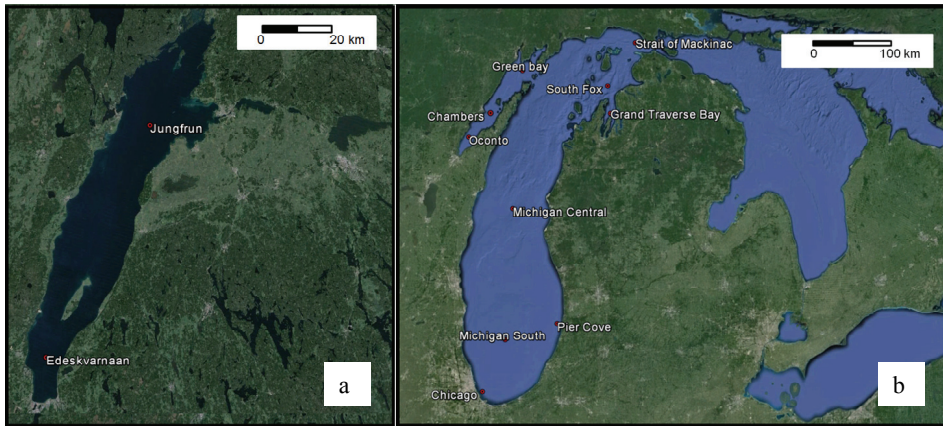


Figura 2 - a) lago Vättern e b) lago Michigan e rispettive ROI utilizzate per l'estrazione dei valori dei parametri di qualità delle acque.

Il lago **Vättern** (Figura 2a) si trova nel Sud della Svezia ed è il sesto lago più grande in Europa. Anch'esso è caratterizzato da una forma allungata in direzione Nord-Sud e da uno stato di oligotrofia, stato recuperato grazie agli sforzi effettuati a partire dagli anni '70, dopo che nel ventennio precedente il lago aveva subito un pesante carico di nutrienti, a causa dei quali aveva rischiato di raggiungere il livello eutrofico.

Il lago **Michigan** (Figura 2b) fa parte dei Grandi Laghi nel Nord America ed è il lago più vasto fra quelli considerati in questo lavoro. E' un lago oligotrofico, caratterizzato da basse concentrazioni di clorofilla-a (chl-a, indicatore *proxy* dell'abbondanza di fitoplancton) con valori più elevati in corrispondenza del sottobacino della Green Bay a Nord Ovest, dove sono raggiunte anche concentrazioni di 40 mg/m^3 . Sulle sue coste vivono più di 12 milioni di abitanti, oltre ai numerosi turisti, e vi si trovano la quinta raffineria più grande al mondo, il 25% della produzione di acciaio statunitense e il Porto di Indiana. La Green Bay ospita fabbriche di cellulosa e carta in alta concentrazione.

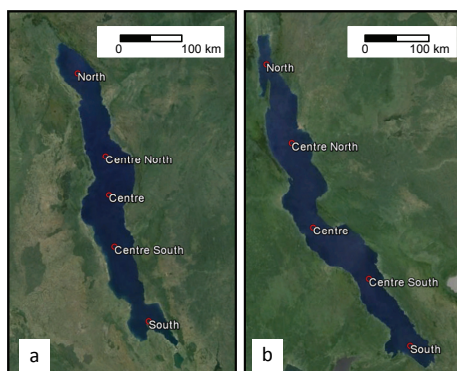


Figura 3 - Grandi laghi africani, (a) Malawi, (b) Tanganica, e rispettive ROI utilizzate per l'estrazione dei valori dei parametri di qualità delle acque.

I laghi tropicali Malawi e Tanganica sono fra i più importanti sistemi di acqua dolce a livello mondiale e rappresentano una risorsa fondamentale per milioni di persone. Sono anch'essi laghi transnazionali, estendendosi rispettivamente nei territori di Malawi, Mozambico e Tanzania il lago

Malawi, e Tanzania, R. D. del Congo, Burundi e Zambia il lago Tanganica. La concentrazione di chl-a è generalmente molto bassa ma può incrementare in alcuni casi di fioritura algale.

Figura 4 - Caratteristiche principali dei laghi analizzati.

Lago	Superficie (km ²)	Volume (km ³)	Profondità massima (m)	Profondità media (m)	Altitudine (m slm)	Bacino (km ²)	Tempo di residenza (anni)
Garda	370	50.35	346	136	65	2290	26.8
Maggiore	212	37	370	177	193	6599	4
Costanza	536	55	254	90	395	11500	4.3
Vättern	1940	74	128	41	88	4500	60
Michigan	58000	4918	282	85	176	118000	100
Malawi	29600	8400	706	292	500	100500	114
Tanganica	32900	18900	1470	570	773	231000	n.d.

Materiali e metodi

Stima dei parametri di qualità delle acque dalle immagini satellitari

Le immagini MERIS (*M*edium *R*esolution *I*maging *S*pectrometer) FR (*F*ull *R*esolution) disponibili fra il 2002 e il 2012 sono state utilizzate per ricavare una serie temporale dei parametri di qualità delle acque. Grazie alle sue caratteristiche infatti il sensore MERIS ben si presta ad essere utilizzato per un monitoraggio continuo (tempi di rivisitazione 2-3 giorni), con risoluzione spaziale (300 m), radiometrica e spettrale adatte alla stima dei parametri di qualità delle acque lacustri. Solo per i laghi africani si sono utilizzati i prodotti di riflettanza MERIS-CoastColour RR (Reduced Resolution), essendo la serie FR incompleta.

Figura 5 - Numero di immagini MERIS FR utilizzate per ciascun lago in ciascun anno.

Lago	Garda	Maggiore	Costanza	Vättern	Michigan	Malawi	Tanganica	TOTALE
Numero di immagini	251	244	678	352	602	1573	1516	5216

Per ciascun lago, i parametri di qualità delle acque sono stati ottenuti attraverso l'uso di algoritmi già validati in differenti lavori dai singoli partner per ciascun lago:

- C2R (*Case-2-Regional*) per i laghi Maggiore e Garda
- MIP (*Modular Inversion and Processing System*) per il lago di Costanza
- FUB (*Free University Berlin*) per i laghi Vättern e Michigan
- WISP-3 (*Water Insight Spectrometer*) per i laghi africani

Il **C2R** (Doerffer e Schiller, 2007) è una rete neurale inclusa nel *tool-box* BEAM distribuito dall'ESA (Ente Spaziale Europeo) per l'elaborazione dei dati MERIS che permette la stima delle IOP (*Inherent Optical Properties*), di riflettanza dell'acqua e parametri di qualità delle acque quali concentrazioni di chl-a, TSM (*Total Suspended Matter*) e trasparenza (Z90). A tutte le immagini MERIS è stata prima applicata la correzione dell'effetto SMILE (Bourg et al., 2008) sempre in ambiente BEAM-VISAT e la correzione dell'effetto di adiacenza (Santer et al., 2009) attraverso il *tool* ICOL (*Improved Contrast between Ocean and Land*). Questa catena di processamento è stata validata e utilizzata in diversi lavori (es. Odermatt et al., 2010 e Bresciani et al., 2011).

Il **MIP** (Heege et al., 2003) è un modello fisicamente basato, che minimizza la differenza fra le misure da satellite e lo spettro modellato della superficie acquatica, per fornire una stima di concentrazione massima di chl-a (CHM), torbidità e trasparenza (come Disco di Secchi).

Il **FUB** permette di stimare concentrazioni di chl-a, di TSM e di CDOM (*Colored Dissolved Organic Matter*) direttamente dai valori di radianza senza passare per la stima della riflettanza. Poiché per il lago Vättern attraverso la validazione incrociata con misure *in situ* si è accertato che il

processore sovrastima le concentrazioni di chl-a (Alikas e Reinart, 2008), il processore è stato ricalibrato per il lago Vättern all'interno del progetto GLaSS, attraverso l'uso delle serie temporali di misure *in situ* in due stazioni (le stesse utilizzate per la ricerca dei *trend*).

Il **WISP-3** (Peters et al., 2013) è basato su un approccio semi-analitico che usa uno schema iterativo per calcolare la concentrazione di chl-a, TSM e CDOM, per ciascuno dei quali utilizza algoritmi separati. Questo permette di utilizzare il *band-ratio* per il calcolo della concentrazione di chl-a e bande singole per gli altri due parametri.

Analisi statistica e ricerca di trend temporali

L'analisi statistica nonché la ricerca di possibili trend è stata condotta su alcune aree o stazioni (genericamente ROI, *Region Of Interest*) selezionate in modo da meglio rappresentare l'intero lago e poter considerare eventuali caratterizzazioni e differenziazioni spaziali all'interno di ciascun lago. Per il lago di Garda tre macro-ROI sono state scelte: una pelagica (*Pelagic*) e due nella parte meridionale (*South-West* e *South-East*), una per ciascuno dei due sottobacini in cui è suddiviso il lago di Garda (Figura 1a). Per il lago Maggiore sono state invece scelte tre ROI di dimensioni 3x3 pixel, una pelagica (*Pelagic*), una occidentale al largo del delta del fiume Toce (*West*) ed una Settentrionale (*North*) al largo della foce del fiume Ticino (Figura 1b). Per il lago Costanza (Figura 1c) i parametri sono stati estratti da due ROI pelagiche (*Pelagic North e South*), una al largo della costa austriaca (*Coastal Austria*) nelle vicinanze dell'immissione del fiume Reno, una al largo di quella Svizzera (*Coastal Switzerland*), una nella parte più orientale e meno profonda del bacino (*Shallow*) ed infine una al centro del sottobacino settentrionale del lago (*Untersee*).

Per quanto riguarda il lago svedese Vättern (Figura 2a), le due ROI (Jungfrun ed Edeskvarnaan) sono state scelte una a Nord e una a Sud del lago, in corrispondenza delle stazioni di misure *in situ* utilizzate per la calibrazione dell'algoritmo.

Nel lago Michigan (Figura 2b), 10 ROI sono state distribuite fra il sottobacino della Green Bay (*Green Bay, Oconto e Chambers*) e lungo la direttiva Nord-Sud (pelagiche: *South Fox, Michigan Central, Michigan South*; in zona costiera: *Strait of Mackinac, Grand Traverse Bay, Pier Cove, Chicago*).

Infine per ciascuno dei laghi africani sono state scelte 5 ROI pelagiche, distribuite da Nord a Sud (*North, Centre North, Centre, Centre South, South*), in aggiunta ad una corrispondente all'intera superficie del lago.

Per l'estrazione dei dati (la media giornaliera di ogni ROI) dalla serie temporale di immagini è stato utilizzato il nuovo tool "*ROIStats Tool*" realizzato nell'ambito del progetto GLaSS. Questo tool permette l'estrazione, da una serie temporale d'immagini, degli indicatori statistici (quali media, mediana e percentili), aggregando le immagini per giorni, mesi, stagioni o anni.

I valori giornalieri sono stati inizialmente utilizzati per individuare possibili trend stagionali, sia valutandone l'andamento nel tempo sia visualizzandone i valori su box-plot mensili, raffiguranti il valore mediano, minimo, massimo e l'IQR (*InterQuartile Range*).

L'analisi della fenologia è stata dunque effettuata sui dati di concentrazione di chl-a ricercando la prima data in cui la concentrazione cumulata nel tempo superasse il 25% della cumulata calcolata sull'intero anno. Per il lago di Garda l'analisi è stata condotta per due stagioni distinte, su cui è stata calcolata la cumulata, essendo il Garda caratterizzato da eventi di fioritura di alghe verdi e diatomee nella stagione primaverile (marzo-maggio) e fioriture di cianobatteri nella stagione autunnale (settembre- novembre) come riportato in Salmaso et al., 2010.

Per la concentrazione di chl-a per ciascun lago, si sono evidenziate le date di occorrenza di picchi, individuati utilizzando la soglia definita da mediana e deviazione standard dell'intera serie temporale, ad eccezione del lago di Garda per cui i dati sono stati nuovamente suddivisi in due stagioni, con lo scopo di evidenziare mutamenti nel tempo del numero delle occorrenze di questi picchi. Poiché il risultato rischia di essere influenzato dalla disponibilità delle immagini, il risultato per ciascun anno è stato normalizzato sul numero di immagini disponibili per ciascun anno, ottenendo, così, il tasso percentuale di immagini in cui sia stato registrato il picco per ciascun anno

per ciascuna ROI. Inoltre, si è indagata la possibile correlazione per ciascuna ROI fra concentrazione di chl-a e trasparenza delle acque.

Infine per entrambi i parametri è stata indagata la presenza di trend temporali: visto l'andamento stagionale della concentrazione di chl-a, si è utilizzato il *Seasonal Kendall test*, una versione modificata del test di *Mann-Kendall*, disponibile all'interno del software "*Time Trend*" (NIWA). Il *Seasonal Kendall test* è un test non parametrico che permette di considerare la stagionalità dell'andamento della concentrazione di chl-a nella valutazione di trend monotoni nel tempo (Hirsch and Slack, 1984). Nel test di *Mann-Kendall* la statistica S , che è la differenza fra il numero di coppie positive e il numero di coppie negative, viene calcolata ordinando in senso cronologico tutti i valori. L'ipotesi nulla del test è che non ci siano *trend* temporali con un limite di confidenza pari a 0.05. Nella versione modificata, la medesima statistica viene calcolata separatamente, raggruppando i dati per stagione, ed i singoli risultati S_i di ogni stagione i sono sommati per formare un'unica statistica generale S_k . In contemporanea al test viene anche calcolato l'indice di *Sen Slope*, stimatore della pendenza mediana annuale dei dati lungo la serie temporale. Questo è calcolato come mediana di tutte le possibili coppie di valori in ciascuna stagione di tutti gli anni. Si sono considerati positivi alla presenza di *trend* significativi tutti i risultati dei test con *p-value* inferiore a 0.05 e *Sen Slope* pari almeno all'1% del valore mediano del parametro (calcolato sull'intera serie temporale).

Risultati

Laghi Perialpini

L'analisi della serie temporale della concentrazione di chl-a ha permesso di evidenziare per i laghi Garda e Maggiore un andamento stagionale, con picchi in primavera e in autunno per il Garda e fra ottobre e aprile per il Maggiore. Nel lago Costanza, al contrario, l'andamento presenta valori mediamente più alti in estate (si sono registrati talvolta picchi nella stagione invernale, generalmente isolati).

Nel lago di Garda l'analisi fenologica ha permesso di evidenziare come il 25% della cumulata totale primaverile sia stato raggiunto quasi sempre entro la fine di marzo, con tempi di occorrenza concordi per tutte e tre le ROI per quasi tutti gli anni (soprattutto le due ROI meridionali). Nel periodo autunnale la differenza fra le varie ROI e fra i diversi anni è più marcata, con date comprese fra l'inizio di settembre e la seconda metà di ottobre.

Nel lago Maggiore l'inizio della fenologia è stata individuata entro la fine di marzo per la maggior parte degli anni, ma talvolta sino alla fine di giugno, soprattutto per la ROI più a Nord il cui comportamento si discosta dalle altre due. Al contrario, nel lago di Costanza è stata compresa fra aprile e giugno, raramente anticipando (2008) e raramente posticipando (2003, 2006 e 2010).

L'analisi dei picchi nel lago di Garda ha evidenziato come nel periodo primaverile gli anni di maggiore occorrenza siano stati i primi tre (2003-2005) e nel 2011, mentre al contrario la percentuale di occorrenze nel periodo autunnale sia andato crescendo fra il 2007 e il 2010, sebbene la percentuale più alta sia stata registrata nel 2005.

Negli altri due laghi perialpini gli anni con la più alta percentuale di picchi rispetto al numero totale di immagini sono stati il 2005 e 2010 per il lago di Costanza, mentre nel lago Maggiore a partire dal 2007 la percentuale è andata crescendo fino al 2011.

Dal *Seasonal Kendall test* è risultata la presenza di un trend negativo nella concentrazione di chl-a (dunque un miglioramento della qualità dell'acqua) nel lago di Garda (*Sen Slope*=-0.111 (-5.3%, rispetto la mediana, *p-value*=0.004), ma un incremento della concentrazione nel lago Maggiore e Costanza (rispettivamente *Sen Slope*=0.127 (11%) e *Sen Slope*=0.081 (2.3%), *p-value*=0.000 per entrambi).

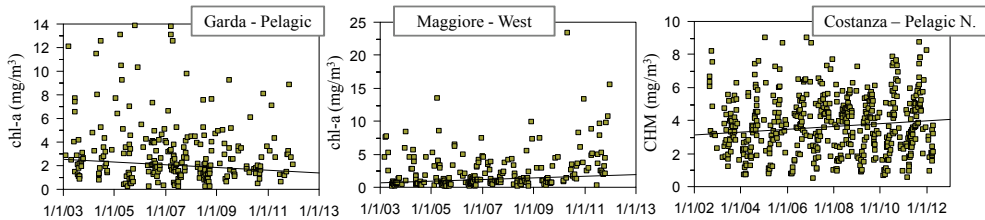


Figura 6 - Concentrazione di chl-a e CHM (per il lago Costanza) giornaliera e Sen Slope mediana annuale stimata (linea nera).

Nei tre laghi l'andamento della trasparenza è ben correlata alla concentrazione di chl-a stimata, soprattutto per il lago Costanza ($R^2=0.89$) e il lago Maggiore ($R^2=0.91$), ad eccezione della zona settentrionale di quest'ultimo, in corrispondenza della foce del fiume Ticino ($R^2=0.14$).

Lago Vättern

L'analisi della serie dei dati estratti per il lago Vättern ha permesso di individuare anche per esso un andamento stagionale, con concentrazioni più elevate nella stagione autunnale e più basse nel mese di luglio (Figura 7).

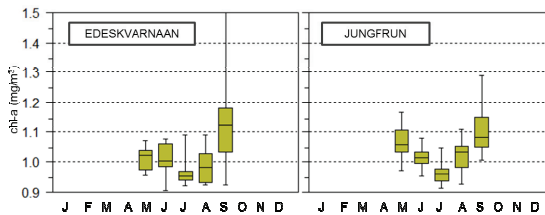


Figura 7 - Box-plot mensile per le due ROI del Lago Vättern. Sono rappresentati mediana, IQR e i valori minimo e massimo.

L'analisi sulla fenologia non è stata condotta a causa della mancanza di dati da ottobre ad aprile, periodo in cui il lago è ghiacciato. L'analisi dei picchi ha permesso di individuare il 2007 come anno peggiore dal punto di vista della concentrazione di chl-a.

Infine, il *Seasonal Kendall test* ha mostrato l'assenza di trend (*Sen Slope* pari a 0 in entrambe le ROI e *p-value* pari a 0.849 e 0.949 per *Edeskvarnaan* e *Jungfrun* rispettivamente).

Lago Michigan

Considerando i valori estratti di concentrazione di chl-a è possibile dividere in due gruppi le ROI considerate: le tre (*Green Bay*, *Chambers* e *Oconto*) comprese nel sottobacino della *Green Bay*, che presentano un gradiente da Nord a Sud, con valori medi rispettivamente pari a 1.8, 3.2 e 12.1 mg/m^3 e le restanti con valori di chl-a compresi fra 0.2 (*Michigan South*) e 1.5 mg/m^3 (*Chicago*). L'analisi dei picchi ha evidenziato un andamento diverso tra le differenti ROI. Il *Seasonal Kendall test* ha evidenziato un trend negativo per la sola ROI *Oconto* (*Sen Slope*=-1.877, pari al 22% rispetto alla mediana, *p-value*=0.002), un leggero trend positivo per la ROI meridionale *Chicago* (*Sen Slope*=0.02 (6.8%), *p-value*=0.032) ed assenza di trend per tutte le restanti.

Laghi africani

Nei due grandi laghi africani l'analisi dei valori estratti ha evidenziato un trend stagionale nel lago Tanganica, mentre più difficile è individuare un andamento stagionale nel lago Malawi. Il *Seasonal Kendall test* è stato comunque utilizzato per conformità per entrambi i laghi, oltre alla versione classica del *Mann-Kendall test* per il lago Malawi. Proprio in quest'ultimo entrambi i test hanno accertato l'assenza di trend fra il 2002 e il 2012, mentre per il lago Tanganica il *Seasonal Kendall test* ha evidenziato un leggero trend negativo in tutto il lago, ad eccezione della ROI più settentrionale, con il valore assoluto più elevato della *Sen Slope* pari a -0.019 (*p-value*=0.004), pari al 1.5% della mediana totale.

L'analisi fenologica condotta sul solo lago Tanganica ha individuato la data di raggiungimento del 25% della cumulata annuale quasi sempre nel mese di giugno con una sola anticipazione agli ultimi giorni di maggio nel 2011.

Conclusioni

L'analisi delle serie temporali ha permesso di evidenziare innanzitutto l'andamento stagionale della concentrazione di chl-a e le differenziazioni fra le diverse regioni considerate all'interno di ciascun lago, soprattutto i più estesi e dalla forma più articolata.

Il *Seasonal Kendall test* ha invece permesso di individuare un leggero miglioramento nelle condizioni trofiche del lago di Garda, nella Green Bay nel lago Michigan e nel lago Tanganica, un leggero deterioramento nei laghi Maggiore e di Costanza e condizioni stabili per i laghi Vättern, Michigan e Malawi.

Figura 8 - Tabella riassuntiva dei risultati ottenuti dall'analisi statistica e dei trend temporali.

Lago	Garda	Maggiore	Costanza	Vättern	Michigan	Malawi	Tanganica
chl-a-mediana (min/max)	1.88/2.09	1.15/1.28	3.66/4.76	1.011/1.018	0.251/8.55	0.528/1.319	0.932/1.779
Sen-Slope (min/max)	-0.111/-0.066	0.124/0.127	0.060/0.083	No trend	-1.877/0.02	No trend	-0.01/-0.02
Valutazione	Leggero decremento	Leggero incremento	Leggero decremento	Stabile	Leggero incremento/decremento	Stabile	Leggero decremento

I risultati ottenuti in questo lavoro verranno utilizzati per valutare una possibile correlazione fra il trend registrato per alcuni laghi ed i cambiamenti climatici e socio-economici nonché altri possibili influenzanti fattori, quali la serie temporale dei livelli delle acque e delle precipitazioni.

Ringraziamenti

Questo studio è stato finanziato dal progetto GLaSS (7th Framework Programme, project number 313256). Si ringraziano Petra Philipson, Ana Ruescas, Kathrin Poser e Kerstin Stelzer per le serie temporali di chl-a e trasparenza, Karin Schenk per la serie temporale dei prodotti MIP.

Bibliografia

1. Bourg L., D'Alba L., Colagrande P. (2008), "MERIS Smile Effect Characterization and Correction". [<http://earth.eo.esa.int/pcs/envisat/meris/documentation/>].
2. Bresciani M., Stroppiana D., Odermatt D., Morabito G., Giardino C. (2011), "Assessing remotely sensed chlorophyll-a for the implementation of the Water Framework Directive in European perialpine lakes, *Science of the Total Environment*, 409: 3083-3091.
3. Doerffer R., Schiller H. (2007), "The MERIS Case 2 water algorithm", *International Journal of Remote Sensing*, 28(3-4): 517-535.
4. Heege T., Bogner A. e Pinnel N. (2003), "Mapping of submerged aquatic vegetation with a physically based process chain", In *Remote Sensing of the Ocean and Sea Ice*, Charles R. Bostater, Jr. e Rosalia Santoleri Ed. Proceeding of SPIE 2004, 5233: 43-50.
5. Hirsch R.M., Slack J.R. (1984), "A Nonparametric Trend Test for Seasonal Data With Serial Dependence", *Water Resources Research*, 20(6): 727-732.
6. Alikas K., Reinart A. (2008), "Validation of the MERIS products on large European lakes: Peipsi, Vänern and Vättern", *Hydrobiologia* 599:161-168.
7. Peters S., Poser, K., deReus N., Laanen M., Hommersom A. (2013), "Validation of the WISP algorithm for 9 years of MODIS observations on Dutch monitoring stations", International Ocean Colour Science Meeting.
8. Salmaso N., Mosello R. (2010), "Limnological research in the deep southern subalpine lakes: synthesis, directions and perspectives", *Advances in Oceanography and Limnology*, 1 (1): 29-66.
9. Santer R., Zagolski F. (2009), "ATBD -The MERIS Level-1C", in *ICOL-Improve contrast between ocean and land*, Tech. Rep. version 1, Université du Littoral, Wimereux, Francia.
10. Odermatt D., Giardino C., Heege T. (2010), "Chlorophyll retrieval with MERIS Case-2-Regional in perialpine lakes", *Remote Sensing of Environment*, 114(3), 607-617.