

Il progetto "Global Lakes Sentinel Services" per lo sviluppo di strumenti innovativi per il monitoraggio dei laghi da dati Sentinel-2 e Sentinel-3

Claudia Giardino (*), Mariano Bresciani (*), Erica Matta (*), Steef Peters (**)

(* Consiglio Nazionale delle Ricerche-Istituto per il Rilevamento Elettromagnetico dell'Ambiente, CNR-IREA, via Bassini 15, 20133 Milano, Italia, Italia, tel. 0223699296, fax 0223699300, e-mail: giardino.c@irea.cnr.it

(**) Water Insight B.V., Marijkeweg 22, 6709 PG Wageningen, the Netherlands, e-mail: peters@waterinsight.nl

Riassunto

Global Lakes Sentinel Services (GLaSS), finanziato dall'Unione Europea nell'ambito del 7° Programma Quadro è un progetto di ricerca che mira a sviluppare strumenti, algoritmi e applicazioni per il monitoraggio dei laghi a scala globale mediante i dati dei sensori Sentinel 2 (S2) e Sentinel 3 (S3) dell'Agenzia Spaziale Europea (ESA). Il progetto si basa sull'integrazione di dati S2 e S3 le cui caratteristiche di risoluzione temporale e spaziale premettono di sviluppare importanti piani di monitoraggio per acque interne. In particolare, il progetto GLaSS svilupperà un'infrastruttura prototipale di servizi per l'elaborazione delle immagini S2 e S3 finalizzate alla mappatura dei parametri macro-descrittori di qualità dell'acqua. I dati saranno resi accessibili e distribuiti ad un'estesa comunità d'utenti. Il sistema GLaSS sarà testato e valutato su predefiniti laghi europei e, successivamente, applicato allo studio di altri laghi con differenti problemi ecologici e di gestione delle acque, selezionati a scala globale.

Abstract

The EU collaborative project Global Lakes Sentinel Services (GLaSS) aims at developing tools, algorithms and applications for the use of Sentinel 2 (S2) and Sentinel 3 (S3) data for monitoring of global lakes and reservoirs. It is expected that the combined properties of S2 and S3 will provide unprecedented monitoring capabilities for inland waters. Therefore, GLaSS will develop a prototype service infrastructure to ingest and process S2 and S3 data. The data will be made accessible to a larger user community in a user-friendly way. The GLaSS system will be tested and demonstrated with global case studies of very different lake types with very different management questions.

Introduzione

Diversi lavori (Meybeck, 1995; Finlayson, Davidson, 1999) stimano che, nel mondo, esistono più di 8 milioni di laghi con estensione maggiore di 1 ha e oltre 10 milioni di km² di zone umide. In particolare, in Europa (Figura 1) esistono circa 500.000 laghi più grandi di 1 ha, di cui 106 superano i 100 km²; in alcuni paesi (es. Finlandia) oltre il 9% della superficie totale del territorio è coperto da laghi. In Italia, inoltre, si trovano circa 500 laghi con superficie superiore a 0.2 km² di interesse naturalistico, paesistico e di risorsa idropotabile. Il volume d'acqua invasato è di circa 150 km³, di cui 130 km³ si trovano nel nord del paese, nei grandi laghi subalpini (Orta, Maggiore, Lugano, Como, Iseo e Garda).

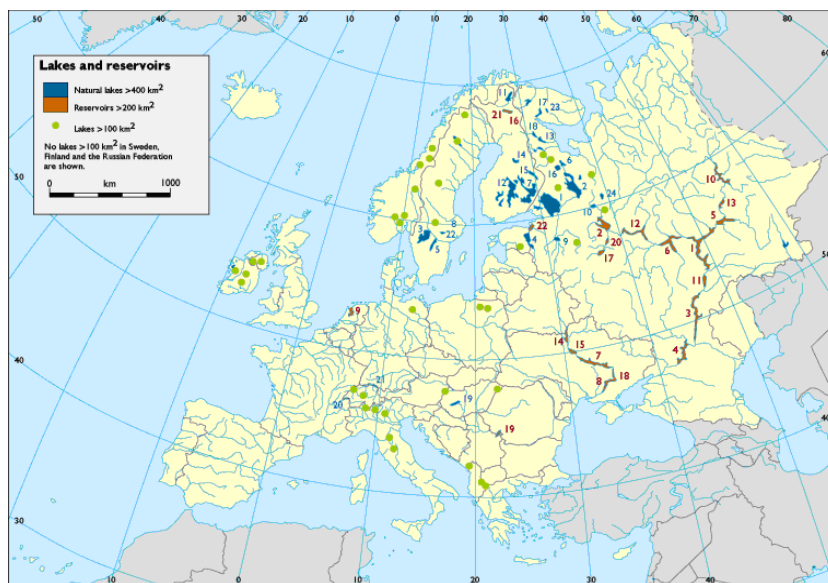


Figura 1. Mappa dei maggiori laghi e serbatoi d'acqua dolce in Europa, (fonte EEA (1995)).

Tra le risorse idriche, le acque dei laghi naturali ed artificiali rappresentano la principale riserva di acqua dolce. La salute di questi ecosistemi dipende da sostanze e fattori di diversa origine, come la concentrazione dei nutrienti, il particolato solido sospeso derivante dall'erosione dei suoli, la presenza di metalli pesanti e pesticidi introdotti dall'uomo. L'utilizzo improprio può seriamente alterare gli equilibri idrologici dei corpi idrici; il controllo e la gestione della risorsa acqua diventano strategici e inderogabili.

Lo stato ecologico delle acque di superficie può essere letto da semplici indicatori come la concentrazione di clorofilla-a o la profondità del disco di Secchi, quantità che le tecniche di telerilevamento ottico possono fornire con osservazioni frequenti e continue nel tempo. In particolare, il telerilevamento sta diventando un efficace strumento di monitoraggio dalla fine degli anni '80 grazie al lancio del sensore *Thematic Mapper* (TM) a bordo del *Landsat-4* (seguiti da *Landsat-5*, *Landsat-7* e da recente *Landsat-8*) e, dall'inizio del 2000, con potenzialità crescenti grazie all'avvento dei sensori *SeaWiFS*, *Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer* (MODIS) ed in particolare *Medium Resolution Imaging Spectrometer* (MERIS), il cui pixel di 300 m (rispetto ai 1000 m di *SeaWiFS*, MODIS) combinato ad elevate prestazioni radiometriche è stato diffusamente utilizzato per il monitoraggio dei laghi (es. Gons et al., 2008; Odermatt et al., 2010; Giardino et al., 2010; Bresciani et al., 2011; Bresciani et al., 2013).

Nell'immediato futuro, grazie ai programmi Sentinel 2 (S2) e Sentinel 3 (S3) di cui si prevede la messa in orbita nel 2014, le capacità di monitoraggio delle acque interne saranno notevolmente ampliate; S2 monta infatti, sensori caratterizzati da elevata risoluzione spaziale (pixel compreso tra 10 e 60 m, Figura 2); S3, eredita le caratteristiche di MERIS con il sensore *Ocean and Land Colour Instrument* (OLCI) ottimizzato per l'osservazione del colore delle acque (pixel di 300 m, rivisitazione di 1-2 giorni, 21 bande tra 400 e 1020 nm).

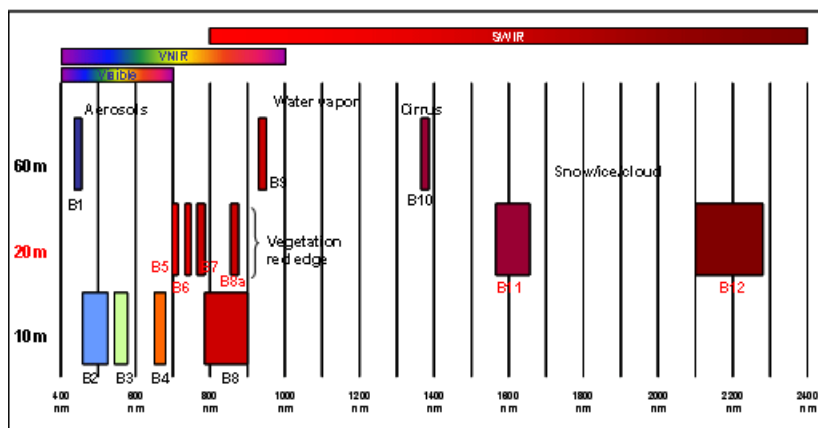


Figura 2. Configurazione spettrale e spaziale di Sentinel-2 (fonte http://www.cesbio.upstlse.fr/us/index_sentinel2.html); per ciascuna banda spettrale viene indicata la principale applicazione.

In tale contesto, il progetto di collaborazione GLaSS svilupperà un prototipo di infrastrutture di servizio Sentinel per assimilare ed elaborare la mole di dati S2 e S3. I risultati dell'elaborazione saranno accessibili e distribuiti ad un'estesa comunità di utenti. Il progetto prevede di implementare un sistema che offre: 1) accesso ai dati tramite browser, 2) strumenti di pre-elaborazione (es. correzioni radiometriche, classificazione ottica delle acque, *data-mining*) e 3) relativo *download*. Il sistema verrà testato su predefinite aree di studio e quindi applicato a diverse tipologie di lago selezionate a scala globale in base a diversificate problematiche ambientali e di gestione. In particolare, nel caso italiano le aree di studio sono i laghi di Garda e Maggiore mentre il caso applicativo è invece il Trasimeno, che viene selezionato come esempio di lago produttivo e torbido, soggetto ad importanti fenomeni di ri-sospensione dei sedimenti.

Il progetto GLaSS, che è iniziato nel marzo 2013 e la cui durata è di 36 mesi, è formato da 8 partner di cui: 4 soggetti privati: Water Insight (Paesi Bassi), Brockmann Consulting (Germania), Brockmann Geomatics (Svezia) e EOMAP (Germania); 3 enti pubblici di ricerca: SKYE (Finlandia), CNR-IREA (Italia) e Tartu Observatory (Estonia) ed una Università: Vrije Universiteit Amsterdam. Coordinato da Water Insight, GLaSS ha un budget di 2 milioni di Euro. Il progetto si avvale inoltre di un *Advisory Board* formato da tre autorevoli ricercatori: Arnold G. Dekker di *CSIRO-Land and Water* (Canberra, Australia), Steven Greb del *Wisconsin Department of Natural Resources* (USA) e Yunlin Zhang di *Chinese Academic of Science* (Nanjing, China).

Il sistema GLaSS

Le grandi quantità di dati che saranno prodotti dai sensori S2 e S3 pongono anche una serie di sfide: dal lato tecnico sono necessari sistemi che consentono di assimilare, archiviare, elaborare e distribuire in modo efficiente questi dati. Inoltre, al fine di essere trasformati in informazioni utili per gestione delle acque dei laghi, questa mole di dati richiede efficaci metodi di aggregazione e *data mining*. Nel progetto GLaSS, tali strumenti, verranno implementati grazie allo sviluppo di un'infrastruttura di servizio *user-friendly*, accessibile in modo armonizzato ad una vasta comunità di utenti.

Nel sistema GLaSS (Figura 3) verranno implementati componenti software esistenti; in particolare si prevede di utilizzare il catalogo dei dati basato sul sistema MERCI (vedi link Web 1 nelle referenze bibliografiche) con l'interfaccia per il trasferimento automatico basata su EOLISA (vedi link Web 2 nelle referenze bibliografiche). Il sistema GLaSS permetterà di selezionare i laghi

d'interesse e di accedere, elaborare e scaricare i relativi dati S2 e S3. Tra le procedure d'elaborazione saranno presenti differenti *plug-in* tra cui uno di *data mining*.

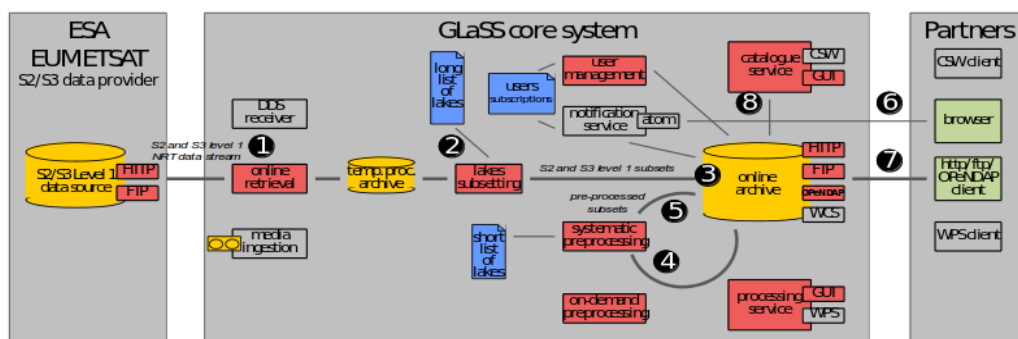


Figura 3. Schema dell'infrastruttura per l'assimilazione, l'elaborazione e la distribuzione dei dati S2 e S3 per lo studio della qualità delle acque dei laghi.

Arete test e metodologia

Poiché la costellazione dei satelliti S2 e S3 dovrebbe essere lanciata dal 2014, il progetto GLaSS prevede inizialmente che la definizione degli algoritmi per la stima dei parametri di qualità dell'acqua sia basata su dati simulati. I dati per la simulazione sono acquisiti da MERIS e Landsat su predefiniti laghi per i quali, i partner di GLaSS, dispongono della base di dati necessaria per lo sviluppo degli algoritmi. Esempi di laghi test (definiti nel progetto come 'near-by lakes') sono: i laghi IJsselmeer e Markermeer (Paesi Bassi), Garda e Maggiore (Italia), Mecklenburg-Vorpommern (Germania), Lammin e Pääjärvi (Finlandia).

Le simulazioni si completeranno anche grazie all'acquisizione ed elaborazione di dati iperspettrali aerei (es. AISA), dati *in situ*, e il programma ESA Sent3Exp dedicato a tale scopo, nonostante fosse stato focalizzato sulle acque marine. Al fine di considerare la possibile variabilità ottica riscontrabile nei sistemi lacustri, che potrebbe non essere ben rappresentata dai dati suddetti, si prevede anche l'utilizzo del codice di trasferimento radiativo Hydrolight/Ecolight (Mobely, 1994) per la simulazione dei dati S2 e S3.

I dati simulati verranno inizialmente usati per la classificazione ottica delle acque per indirizzare gli algoritmi di stima. Come riassunto da Odermatt et al. (2012), è troppo ambizioso trovare un algoritmo universale che fornisca stime attendibili per tutte le tipologie di acque interne. Il *clustering* è quindi una pre-elaborazione necessaria per definire l'algoritmo di stima dei parametri. La classificazione considererà gli spettri di riflettanza, e/o le proprietà ottiche apparenti e/o le proprietà ottiche inerenti, e/o le concentrazioni.

Arete di studio a scala globale

Dopo avere validato le metodologie e l'infrastruttura di distribuzione ed elaborazione dei dati S2 e S3 sui laghi test il progetto prevede un'estensione a scala globale delle aree di studio. Questi laghi verranno selezionati al fine di rappresentare differenti stati ecosistemici (Figura 4) e diversi problemi gestionali (ad esempio eutrofizzazione, perdita di variazione di livello dell'acqua a causa della costruzione di dighe, inquinamento chimico). Si differenziano in particolare 5 casi di studio:

- *Use case 1*: laghi poco profondi con elevata eutrofizzazione e importanti fenomeni di fioritura di alghe potenzialmente tossiche (es. Ciudi (Estonia)).
- *Use case 2*: laghi profondi, trasparenti, naturalmente in stato oligotrofico ma con una tendenza verso stati più trofici (es. Costanza (Germania, Austria, Svizzera)).
- *Use case 3*: piccoli laghi con alte concentrazioni di sostanze gialle (es. laghi finlandesi).

- *Use case 4*: laghi poco profondi, con bassa trasparenza e importanti fenomeni di ri-sospensione di sedimenti (es. Trasimeno, Italia, laghi tropicali).
- *Use case 5*: bacini di decantazione, cave (aree test ancora da selezionare).



Figura 4. Esempi di differenti tipologie di laghi considerati aree di studio del progetto GLaSS per le applicazioni a scala globale.

Attività sinergiche, formazione e divulgazione

Il consorzio di GLaSS partecipa alla “*S3ValidationTeam*” di ESA conducendo della attività di calibrazione/validazione dei dati S3, sia per i prodotti di riflettanza di superficie sia parametri descrittivi di qualità dell’acqua. Particolare attenzione sarà dedicata ai seguenti aspetti:

- validazione per angoli di elevazione solare ridotti,
- validazione per i nuovi canali a 400 e 1020 nm,
- analisi per un ampio intervallo di angoli di osservazione,
- correzione atmosferica,
- analisi dell’effetto adiacenza,
- analisi dell’incertezza dei prodotti in acque otticamente complesse.

Il progetto GLaSS prevede inoltre attività di formazione e la produzione di materiale didattico (a livello di laurea e dottorato) per predisporre gli utenti finali all’utilizzo del sistema di elaborazione dei dati S2 e S3 per il monitoraggio dei laghi. Questa attività dovrebbe aiutare la divulgazione dei prodotti S2 e S3 presso agenzie di monitoraggio e gruppi di ricerca quali biologi, limnologi e scienziati ambientali. In generale, i risultati del progetto GLaSS forniranno un prezioso contributo per gli studi sullo stato ecologico dei laghi.

Il progetto punta infine a divulgare le attività verso un ampio spettro utenti necessari per garantire la sostenibilità dei servizi, anche dopo la conclusione del progetto. A tal fine il progetto ha un logo di riferimento (Figura 5), un sito web dedicato (www.glassproject.eu) un account *twitter* (@glass_project) e un account *facebook* (glassfp7project).



Figura 5. Il logo del progetto Global Lakes Sentinel Services (GLaSS).

Ringraziamenti

GLaSS (313256) è un progetto finanziato nell’ambito del 7° PQ dell’Unione Europea, *Call SPA.2012.1.1-05, SPA.2012.1.1-05 – Preparing take take-up of GMES Sentinel data.*

Riferimenti bibliografici

Bresciani M, Bolpagni R, Laini A, Matta E, Bartoli M, Giardino C. (2013), “Multitemporal analysis of algal blooms with MERIS images in a deep meromictic lake”, *European Journal of Remote Sensing*, 46, 445-458.

- 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.
- EEA (1995), *Europe’s Environment, The Dobris assessment*, Stanners D., Bourdeau P. (eds). Chapter 5. Inland Waters. Pp. 57-108.
- Finlayson CM, Davidson NC. (1999), *Global review of wetland resources and priorities for wetland inventory: summary report*, Wetlands International, The Netherlands, and the Environmental Research Institute of the Supervising Scientists, Australia.
- Giardino C, Bresciani M, Villa P, Martinelli A. (2010), “Application of remote sensing in water resource management: the case study of Lake Trasimeno, Italy”, *Water Resource Management*, 24, 3885-3899.
- Gons HJ, Auer MT, Effler SW. (2008), “MERIS satellite chlorophyll mapping of oligotrophic and eutrophic waters in the Laurentian Great Lakes”, *Remote Sensing of Environment*, 112: 4098–4106.
- Meybeck M. (1995), *Global distribution of lakes*, In: Lerman A., Imboden D.M., Gat, J.R. (Eds.), *Physics and Chemistry of Lakes*, Springer, Berlin, 1-3.
- Mobley CD. (1994), *Light and Water - Radiative Transfer in Natural Waters*, San Diego, Academic Press.
- Odermatt D, Giardino C, Heege T. (2010), “Chlorophyll retrieval with MERIS Case-2-Regional in perialpine lakes”, *Remote Sensing of Environment*, 114, 607-617.
- Odermatt D, Gitelson A, Brando VE, Schaepman M. (2012), “Review of constituent retrieval in optically deep and complex waters from satellite imagery”. *Remote Sensing of Environment*, 118, 116–126.
- Web 1, http://www.brockmann-consult.de/bc-web/flyer/flyer_MERCI_product_info.htm
- Web 2, <http://earth.esa.int/EOLi/EOLi.html>
- Web 3, <http://rapid-i.com/>