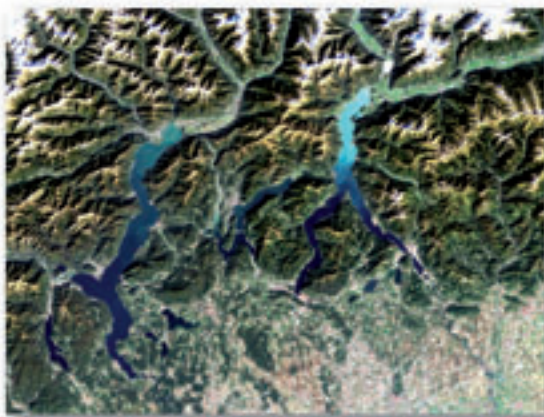


C. Giardino, M. Bresciani -
Cnr - Istituto per il
Rilevamento Elettromagnetico
dell'Ambiente, Milano

Figura 1 - Immagine dei laghi Como, Maggiore, Lugano e altri minori acquisita dal sensore Landsat-7 nell'ottobre del '99. Il materiale trasportato da alcuni immissari aumenta sensibilmente la riflettanza dei corpi idrici cosicché nell'immagine a colori naturali l'acqua assume la tonalità del ciano.



Da oltre vent'anni, le tecniche di telerilevamento satellitare e aereo sono divenute un valido strumento nell'analisi delle dinamiche spaziali e temporali di alcuni parametri di qualità delle acque.

In Italia 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). Tra le risorse idriche, le acque dei laghi naturali e 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. Alle osservazioni limnologiche e idrologiche, che tradizionalmente da oltre un secolo permettono di studiare le acque, negli ultimi anni si sono affiancate le tecnologie del telerilevamento.

Telerilevamento

Il telerilevamento consente di acquisire a distanza informazioni dettagliate sulle caratteristiche qualitative e quantitative della superficie. Studiando i fenomeni di interazione tra l'energia incidente e le superfici si riescono a compiere interessanti studi di carattere ambientale, estesi sia a vaste porzioni di territorio sia ad ampi intervalli temporali. In particolare, le applicazioni più comuni in ambiente acquatico riguardano la stima, negli strati più superficiali (zona eufotica), di diversi parametri tra cui la concentrazione di clorofilla fitoplanctonica, di solidi sospesi e di sostanze gialle, la presenza/assenza di fioriture algali, il coefficiente di attenuazione lungo la colonna d'acqua dell'irradianza incidente, la profondità del disco di Secchi, la temperatura superficiale e, nel caso di acque basse, la batimetria e la natura/copertura del fondale. Per la determinazione di tali grandezze si fa solitamente ricorso alla modellistica bio-ottica che descrive il legame tra alcuni componenti di qualità dell'acqua e le grandezze radiometriche (per esempio, radianza) rilevabili dai sensori per il telerilevamento.

Casi di studio

Per meglio comprendere come il telerilevamento possa essere applicato allo studio delle risorse d'acqua dolce si illustrano i principali risultati di alcuni studi condotti in questi anni su due laghi a differente grado di trofia: il Garda e i laghi di Mantova. Il Garda è il più esteso lago italiano e costituisce uno dei maggiori serbatoi d'acqua europei. Caratterizzato da livelli oligo-

mesotrofici e da profondità mediamente elevate, nella parte meridionale presenta fondali con pendenza ridotta che permettono la presenza di praterie a macrofite sommerse. I laghi di Mantova sono invece di modeste dimensioni e profondità, caratterizzati da elevata trofia ed accumulo di materiale organico. In questi bacini l'eccesso dei nutrienti favorisce frequenti fioriture microalgali che, attenuando la penetrazione della luce nell'acqua, hanno gravi ripercussioni ecologiche. Nel caso del Garda, il contributo del telerilevamento è mirato al monitoraggio di alcuni parametri macrodescrittori di qualità dell'acqua, tra cui sostanze gialle, solidi sospesi e concentrazione di clorofilla-a (Figura 2). A tal fine si sta utilizzando il sensore Meris che, montato a bordo della piattaforma satellitare Envisat-1 dell'Agenzia Spaziale Europea, è caratterizzato da una risoluzione spaziale di 300 m e da tempi di rivisitazione di 2-3 giorni. L'algoritmo di stima dei parametri è basato sull'inversione di un modello bio-ottico calibrato con i dati raccolti in circa 30 giorni di uscite di campo, svolte su un arco temporale di oltre 5 anni. L'applicazione del modello a dati Meris, opportunamente corretti dagli effetti geometrici e atmosferici, ha permesso di produrre interessanti trend dei parametri dal 2005 ad oggi. Per la concentrazione di clorofilla-a, il cui monitoraggio è un'azione indispensabile nelle politiche volte agli studi delle acque dolci, il confronto tra le misure *in situ* e le stime da satellite è promettente (Figura 3). Inoltre la possibilità di elaborare i dati Meris in tempo quasi-

QUALITÀ DELLE ACQUE DEI LAGHI

reale, potrebbe riservare interessanti prospettive sulla gestione delle emergenze indirizzando i prelievi *in situ* laddove si registrassero delle inattese concentrazioni di fitoplancton. Nella zona costiera di Sirmione, le tecniche di telerilevamento hanno permesso di mappare la presenza/assenza di praterie di macrofite sommerse il cui ruolo è fondamentale per la preservazione degli equilibri ecosistemici. Nel caso di studio ci si è avvalsi del sensore aviotrasportato Mivis (di proprietà del Cnr e operato dalla Compagnia Generale Riprese Aeree di Parma) che affianca all'osservazione a grande scala una misura di estremo dettaglio nell'intervallo spettrale compreso tra 400 e 2.500 nm. Per risalire alle caratteristiche di copertura del fondale si è sempre utilizzato un modello bio-otti-

che, il cui monitoraggio è previsto anche dalla direttiva quadro sulle acque 2000/60/EC. Il sensore Mivis e la modellistica bio-ottica sono stati utilizzati anche in un recente studio sui laghi di Mantova. La modellistica bio-ottica, ad oggi ancora parziale per quanto riguarda la calibrazione *ad hoc* per le acque

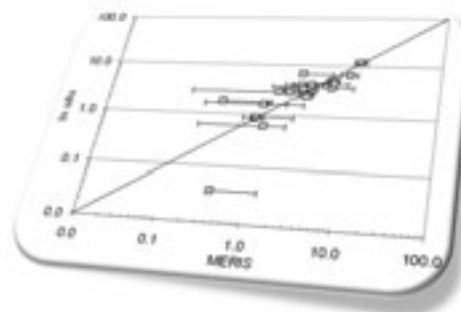


Figura 2 - Esempio di prodotti Meris per la scena acquisita il 6 maggio 2008: concentrazione di clorofilla-a, solidi sospesi totali e sostanze gialle.

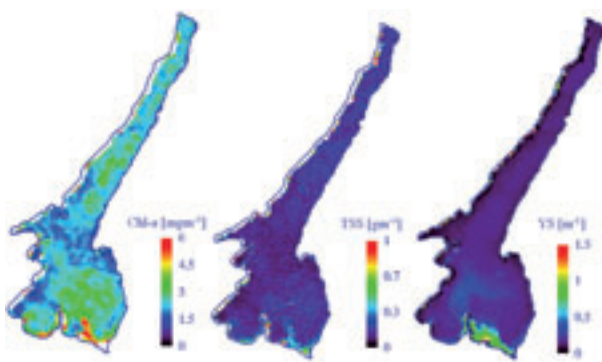


Figura 3 - Confronto tra le concentrazioni di clorofilla-a da Meris e da misure *in situ* nel biennio 2005-2006 nel bacino del Garda.

Conclusioni

L'oro blu è una risorsa che non deve essere trascurata, risulta indispensabile ottenere il maggior numero di informazioni che ne permettano la tutela. Le tecniche di telerilevamento offrono un'importante fonte di dati ad integrazione delle tecniche tradizionali per implementare il monitoraggio dei corpi idrici superficiali. Ai vantaggi di un'osservazione sinottica e su ampi domini spaziali e temporali si combinano la consistenza tra i dati e la possibilità di ricostruire serie storiche altrimenti irrimediabili. Limitazioni al suo utilizzo sono invece relative alla copertura nuvolosa, alla risoluzione spaziale dei sensori non sempre compatibile con le dimensioni dei laghi ed alla difficoltà di un'accurata calibrazione dei modelli bio-ottici adottati nei processi di stima dei parametri. Congiuntamente alle necessarie discipline della limnologia, l'osservazione satellitare rimane comunque un tassello che offre ai gestori per la tutela dei corpi idrici importanti fonti di dati a vantaggio delle politiche di gestione di questa preziosa risorsa. ■

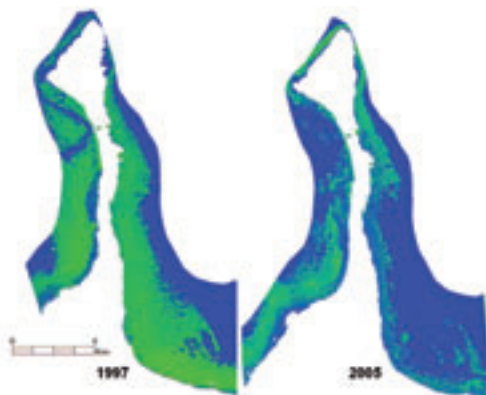


Figura 4 - Confronto tra i fondali coperti da macrofite nelle estati del 1997 e del 2005. Tonalità più intense di verde corrispondono ad aree con più fitta copertura di macrofite; in blu sono rappresentate le aree non colonizzate.

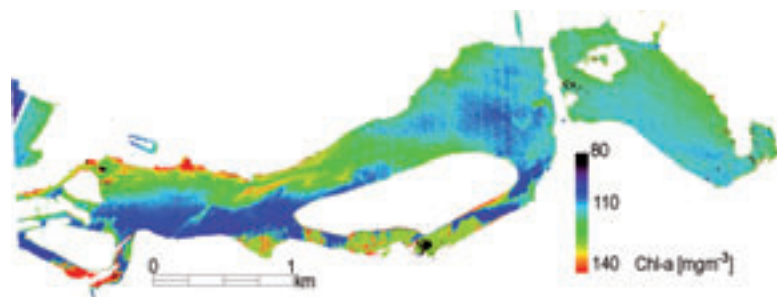


Figura 5 Concentrazione di clorofilla-a nei laghi di Mantova (Superiore e di Mezzo) da dati Mivis acquisiti il 26 luglio 2007 (errore relativo rispetto ai dati *in situ*: 16%).

co che, nel caso di acque costiere, include anche la riflessione del fondale. La disponibilità di due sorvoli Mivis a distanza di circa 10 anni ha permesso di documentare una consistente riduzione delle praterie (Figura 4) intorno alla penisola. Il riscontro positivo di tali risultati con l'informazione di campo offre grandi stimoli per l'utilizzo del telerilevamento nel riconoscimento delle macrofite acquati-

ipertrofiche di questi bacini, ha permesso di ottenere una mappa di concentrazione di clorofilla-a di discreta accuratezza (Figura 5).

Un esame preliminare della mappa illustra significativi pattern di distribuzione del fitoplancton e offre interessanti spunti per valutare come le isole di macrofite acquatiche (isole bianche in Figura 5) ne influenzino la distribuzione spaziale.

Approfondimenti

P. A. Brivio *et al.*, "Principi e metodi di telerilevamento", CittàStudi Edizioni, 2006.

M. A. Dessena, M. Melis, "Telerilevamento Applicato", Mako Edizioni, 2006.

<http://milano.irea.cnr.it/water/water.htm>

<http://ivm10.ivm.vu.nl/mapserver/waters/viewer.htm>