

Utilizzo di dati satellitari per il monitoraggio della qualità delle acque, della vegetazione e dell'uso del suolo del Lago Trasimeno

Relazione sulle principali attività (mesi progetto: 4)

A cura di Claudia Giardino e Mariano Bresciani

CNR-IREA, Milano, agosto 2008

Premessa

Nella relazione sono presentate le principali attività svolte nel corso del progetto che, dato lo stato di avanzamento del progetto (circa 4 mesi) riguardano in particolare: (1) l'analisi dei dati raccolti durante le campagne di misura; (2) lo stato di acquisizione ed elaborazione dei dati satellitari.

Si ricorda che le campagne di misura sono suddivise su 3 differenti comparti: matrice acquosa, macrofite acquatiche, queste ultime suddivise in specie sommerse ed elofite, e matrice atmosferica. I dati raccolti risultano necessari sia alla calibrazione dei modelli per l'elaborazione dei dati satellitari sia alla validazione dei relativi prodotti. Ai fini del progetto essi riguardano sostanzialmente l'evoluzione dei parametri di qualità dell'acqua da dati semi-giornalieri a media/bassa risoluzione spaziale (sensori MERIS, AVHRR e MODIS) e variazioni relative all'uso/copertura del suolo a scala di bacino da serie storiche di dati a media/alta risoluzione spaziale (Landsat, ASTER). In quest'ambito si prospetta l'utilizzo di sensori aviotrasportati (ancora in fase di discussione con ARPA, CNR-ISMAR e ISMAC).

Attività di campo

Sin ad oggi sono 3 le campagne di misura eseguite ai fini del raggiungimento degli obiettivi del progetto; di queste 2 (che chiameremo di tipo-I, es. **Fig.1**) sono state svolte in collaborazione con ARPA ed una (tipo-II) con CNR-ISMAR e ICRAM. Le prime due, che verranno completate con un'ultima uscita prevista per la terza settimana di settembre, sono state svolte nel corso di 3 giorni ciascuna, rispettivamente 25-27 maggio e 7-9 luglio. Nel corso di queste uscite l'osservazione in situ riveste molteplici scopi:

- calibrazione del modello bio-ottico per l'elaborazione delle serie multitemporali di immagini satellitari MERIS e la relativa produzione di mappe di qualità dell'acqua;
- caratterizzazione delle aree a canneto secondo parametri indicatori del loro stato di salute per meglio comprenderne l'evoluzione areale/stagionale ed ottimizzarne la gestione;
- predisposizione di una banca-dati di firme spettrali di specie di macrofite acquatiche sommerse, per facilitare l'interpretazione di un eventuale rilievo aereo finalizzato al loro riconoscimento e mappatura.

L'uscita condotta in collaborazione con CNR-ISMAR ed ICRAM, compiuta il giorno 6 agosto mirava invece alla sperimentazione di misurazioni lungo transetti orizzontali con differenti strumenti attivi (turbidimetro/fluorimetro e Lidar-batimetrico). L'uscita è risultata essere un test di strumentazione in vista del sorvolo aereo (probabilmente nel mese di ottobre) in cui l'osservazione *in situ* lungo transetti orizzontali sarà un importante elemento nell'interpretazione dell'immagine. In questa relazione risulta quindi prematuro discuterne.



Fig. 1 A sinistra: fotometro solare EKO MS per la misura dell'aerosol atmosferico; a destra: misure radiometriche in acqua mediante spettroradiometro FieldSpec Fr Pro

Aree rilevate e raccolta dati nelle campagne di tipo-I

Le campagne effettuate si sono svolte su diversi siti che sono stati individuati come rappresentativi del Lago Trasimeno, per la sua componente acquatica, vegetazionale ed atmosferica. Tutte le stazioni sono state inserite all'interno del GIS messo a disposizione dall'ARPA-Umbria (**Fig. 2**). In particolare, durante i tre giorni trascorsi sul Trasimeno rispettivamente nei mesi di maggio e luglio, si è provveduto ad acquisire i dati nelle seguenti modalità.

Giorno-1: misure su diverse aree a canneto perimetrali il lago, per la determinazione del Leaf Area Index (LAI).

I dati di LAI sono stati ricavati sia raccogliendo misure di trasmittanza solare mediante ceptometro (AccuPAR ceptometer LP80 Decagon Devices Inc.) sia attraverso scatti digitali con camera emisferica (Nikon Coolpix fisheye).

Giorno-2: campionamento delle proprietà ottiche della colonna d'acqua in 6 stazioni pelagiche, la cui distanza dalla linea di costa è compatibile con le dimensioni del pixel MERIS (300 m). Tali siti non risentono in tal modo dell'effetto della radianza riflessa sull'acqua dal territorio circostante. Le proprietà ottiche apparenti sono state raccolte mediante spettroradiometro (ASD FieldSpec Fr Pro), in un intervallo spettrale tra 350 e 2500 nm, con risoluzione di 1 nm. Le misure sono state condotte sia sopra la superficie che sotto il pelo d'acqua, al fine di caratterizzare tutte le quantità necessarie alla

calibrazione del modello bio-ottico. Per quanto riguarda le proprietà ottiche inerenti relative agli assorbimenti specifici si è provveduto al prelievo di sufficienti volumi d'acqua in superficie e alla relativa filtrazione (filtri Whatman GF/C del diametro di 47 mm) per le successive analisi di laboratorio. Per completezza, in ciascuna stazione, si sono compiute misure di temperatura dell'acqua, di profondità sia batimetrica sia del disco di Secchi. In concomitanza all'orario di passaggio del satellite Envisat-1 (intorno alle 9.40 GMT) su cui è posizionato anche il sensore MERIS si sono raccolte le misure di spessore ottico dell'atmosfera mediante fotometro solare (EKO MS) in 4 lunghezze d'onda (386, 500, 675, 778 nm). Da queste misure si ricava la concentrazione di aerosol atmosferico, dato utile per verificare l'accuratezza di una parte del processing del dato MERIS

Giorno-3: caratterizzazione della firma spettrale delle principali specie di macrofite acquatiche, attraverso misura spettrometriche (ASD FieldSpec Fr Pro). Il comportamento spettrale è stato campionato sia *in situ*, immergendo le ottiche dello spettrometro, sia *ex-situ* (ovvero estirpando il campione di macrofita e compiendo le misure radiometriche sulla barca).

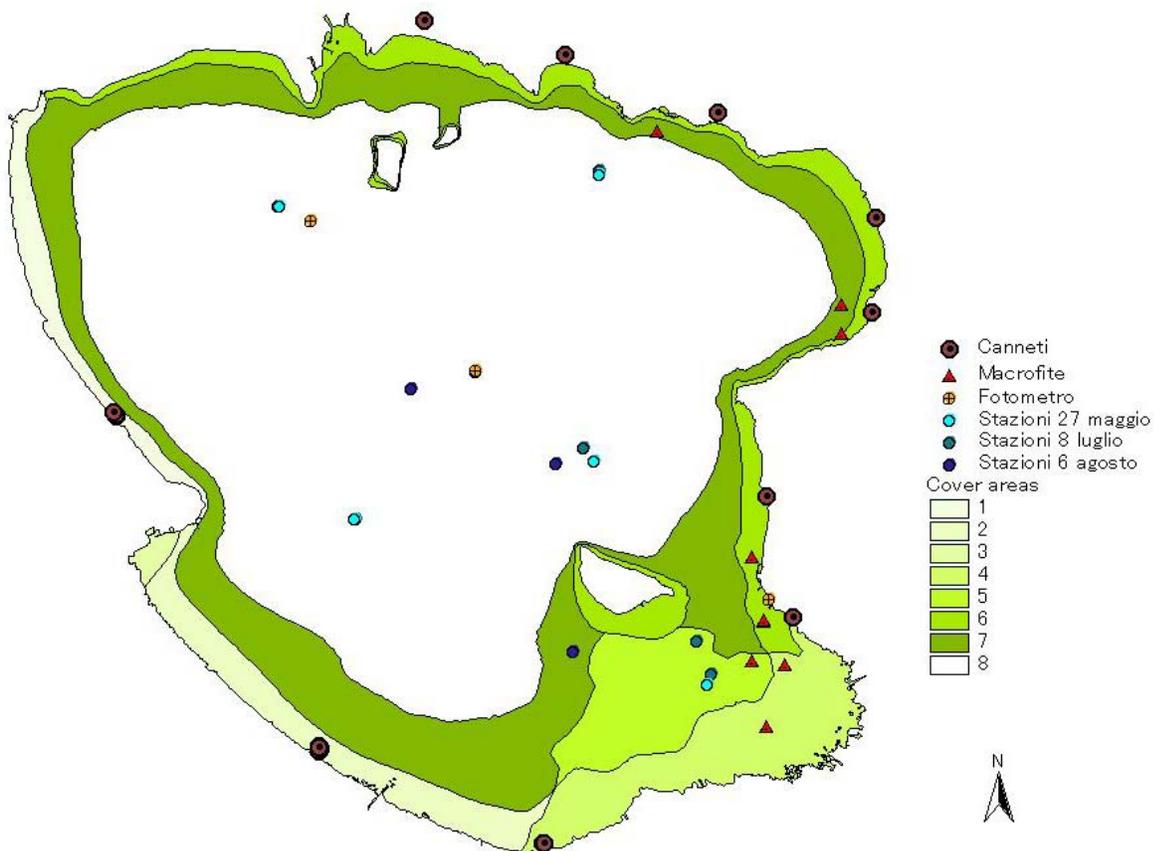


Fig. 2 Siti di misura relativi alle campagne di misure di maggio e luglio: canneti, acque pelagiche e macrofite acquatiche. La figura illustra secondo codici numerici e classi di colori anche le zone del lago caratterizzate da diversi substrati in un precedente studio (Cecchetti et al., 2005)

Analisi dei dati di campo e risultati preliminari

Atmosfera

La stima dei parametri di qualità dell'acqua richiede la correzione atmosferica dei dati che, in questo progetto viene eseguita in automatico mediante il programma di elaborazione dei dati MERIS "MERIS-Case2 Regional Processor (v. 1.3)", plug-in del programma BEAM-Visat, distribuito gratuitamente dall'ESA per l'elaborazione dei dati Envisat-1. Sebbene l'algoritmo sia stato già validato dall'ESA (Doerffer e Schiller, 2008a), appare comunque interessante verificarne l'accuratezza anche nel caso specifico di studio. A tale scopo, i valori di concentrazione d'aerosol (aerosol optical thickness, AOT) misurati in occasione delle diverse campagne saranno confrontati con gli output del programma di correzione applicato ai dati MERIS acquistati contemporaneamente alle misure *in situ* (Fig. 3).

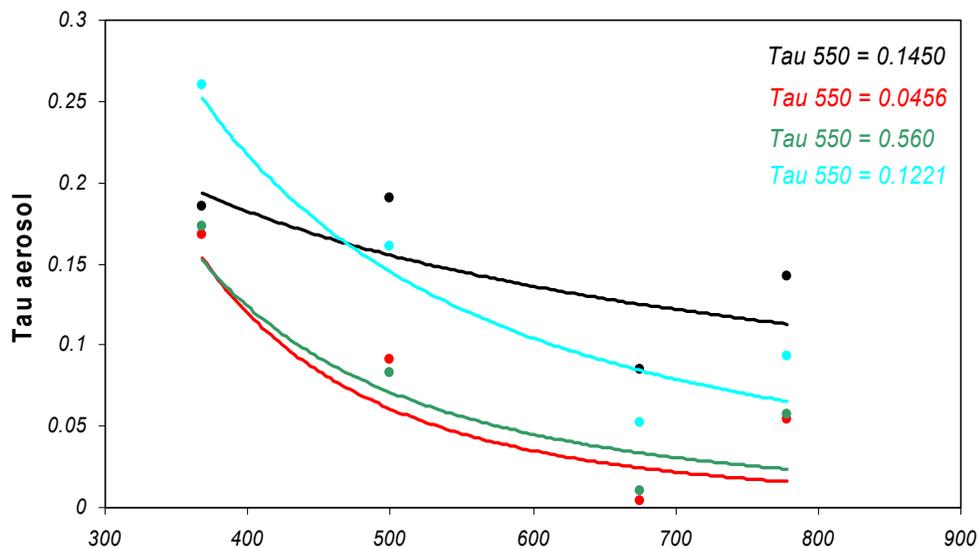


Fig. 3

valori di AOT misurati nel corso delle uscite di maggio (27), luglio (8 e 9) e agosto (6) (campagna di tipo-II) e stima del valore a 550 nm

Acque pelagiche

I campioni e le misurazioni raccolte nel corso delle campagne hanno richiesto successive analisi di laboratorio ed elaborazioni di base. In particolare i dati sulla matrice acquosa (concentrazioni, assorbimenti e radianze) risultano necessari per parametrizzare il modello bio-ottico che, applicato ai dati MERIS, permette di ricavare i trend dei macrodescrittori di qualità dell'acqua. La modellistica bio-ottica affronta l'insieme di teorie, ipotesi ed equazioni che permettono di descrivere il legame tra la concentrazione dei parametri e le proprietà ottiche del mezzo. Queste ultime possono essere raggruppate in due grosse classi: inerenti ed apparenti. Le proprietà ottiche inerenti (Inherent Optical Properties, IOP) sono quelle che dipendono solamente dal medium e risultano pertanto indipendenti dalle condizioni di luce al suo interno. Le proprietà ottiche apparenti (Apparent Optical Properties, AOP) sono quelle proprietà che dipendono dal medium ma anche dalla struttura geometrica del campo di luce. Tra le principali IOP si ricordano il coefficiente di assorbimento $a(\lambda)$ e il coefficiente di retro-diffusione o back-scattering $bb(\lambda)$. Tra le principali AOP ricordiamo la riflettanza al di sotto della superficie acquatica $R(0^-; \lambda)$ e la

radianza riflessa sopra la superficie acquatica $Rrs(\lambda)$. Il legame tra le IOP e le AOP è descritto in modo rigoroso dalla fisica del trasferimento radiativo nella colonna d'acqua una cui semplificazione può essere rappresentata dalla modellistica bio-ottica. Per le acque otticamente complesse come quelle lacustri, il legame tra le IOP e le concentrazioni dei parametri è sito-specifica e viene determinata dall'insieme di misure raccolte nella campagna di tipo-I il Giorno-2 che prevedono sia analisi di laboratorio, sia misure radiometriche sulla colonna d'acqua (Dekker et al., 2001).

Analisi di laboratorio

Grazie alla collaborazione con l'Istituto per lo Studio degli Ecosistemi (ISE) di Verbania-Pallanza del CNR, con il Dipartimento di Scienze Ambientali dell'Università degli Studi di Parma (UniPr), e i laboratori di ARPA-Umbria, queste analisi hanno permesso di valutare sia gli assorbimenti specifici sia le concentrazioni di clorofilla-a, solidi sospesi e sostanze gialle. Secondo prestabiliti protocolli di misura (di cui non si fa menzione in questo rapporto per chiarezza espositiva) si sono quindi ricavate le seguenti grandezze:

- assorbimento spettrale tra 350 e 700 nm di sostanze gialle $a_{ys}(\lambda)$, fitoplancton $a_{\phi}(\lambda)$ e non-algal-particle $a_{nap}(\lambda)$;
- concentrazioni di clorofilla-a (chl-a), materia solida sospesa (SPM) e sostanze gialle $a_{ys}(440)$, corrispondente alla misura di assorbimento $a_{ys}(\lambda)$ a 440 nm.

	Tpo01	Tpo02	Tpo04	Tpo05
Chl-a ARPA [mgm^{-3}]	< 1	1.90	1.20	< 1
Chl-a UniPr [mgm^{-3}]	0.99	0.52	0.64	0.81
Chl-a ISE Unesco [mgm^{-3}]	0.69	0.49	0.62	0.82
Chl-a ISE Lorenz [mgm^{-3}]	0.73	0.67	0.59	0.84
SPM [gm^{-3}]	2.25	1.55	43.80	2.10
$a_{ys}(440)$ [m^{-1}]	0.23	0.22	0.22	0.22

Tab. 1 Concentrazioni dei parametri otticamente attivi risultanti dalle analisi di laboratorio sui campioni del 27 maggio

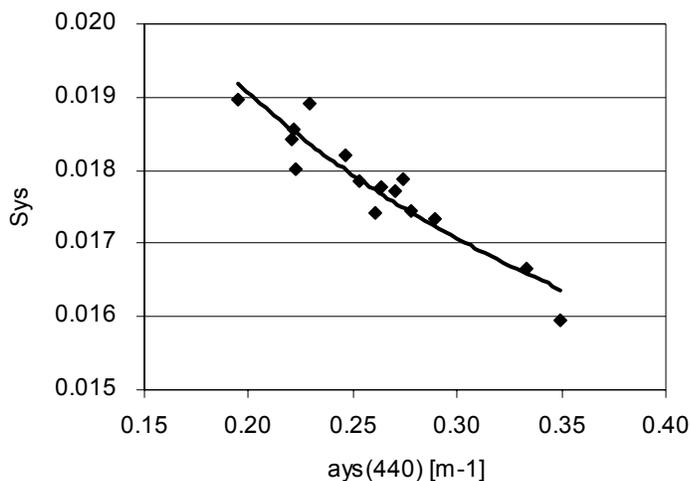


Fig. 4 Correlazione tra la concentrazione delle sostanze gialle $a_{ys}(440)$ e la pendenza dell'assorbimento spettrale Sys(nm^{-1}) da dati ARPA Umbria. La determinazione di tale correlazione è necessaria nella modellistica bio-ottica

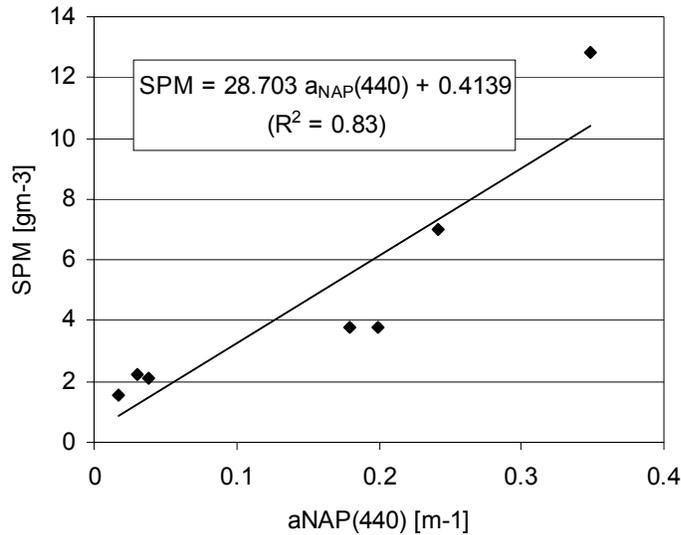


Fig. 5 Correlazione tra la aNAP(440) e la concentrazione dei solidi sospesi SPM (analisi UniPr e CNR-ISE). La determinazione di tale correlazioni è necessaria nella modellistica bio-ottica

Dati radiometrici sulla colonna d'acqua

I dati radiometrici raccolti sulle stazioni pelagiche hanno richiesto delle elaborazioni di base per determinare le proprietà ottiche apparenti dell'acqua. Come sopra, per chiarezza espositiva, non si illustrano in questo documento le procedure di calcolo adottate. Brevemente si accenna che le quantità ricavate dai dati radiometrici (**Fig. 6**), tutte spettrali (ovvero dipendenti dalla lunghezza d'onda λ) sono le seguenti Remote sensing reflectance R_{rs}; subsurface irradiance reflectance R(0-), Q.factor e trasmittanza aria/acqua (t).

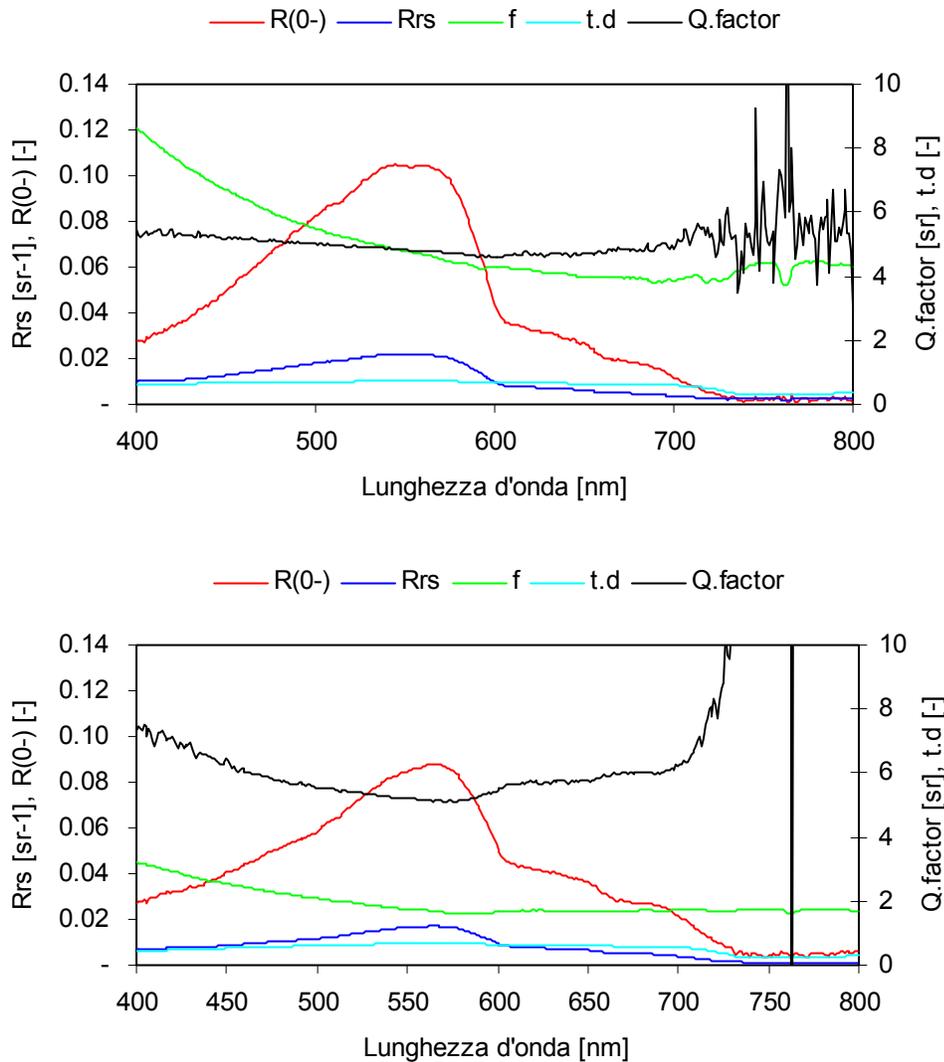


Fig. 6 Esempio di proprietà ottiche apparenti ricavate dalle misure *in situ* mediante lo spettroradiometro FieldSpec. Per la stazione Tpo05 i dati dei giorni 27 maggio (sopra) e 8 luglio (sotto)

Macrofite sommerse

Uno degli obiettivi delle campagne di misure radiometriche effettuate sul Trasimeno è quello di compilare una raccolta di firme spettrali delle specie di macrofite presenti all'interno del lago (**Fig. 7**) al fine di creare una banca dati (**Fig. 8**). Queste informazioni infatti necessarie per caratterizzare le praterie di piante acquatiche nel caso in cui si possa accedere ad un dato ottico iperspettrale ad alta risoluzione (es. MIVIS) e provvedere quindi al loro riconoscimento e mappatura (Giardino et al., 2007). Anche nel caso non si disponga di una dato MIVIS la banca dati potrà essere d'aiuto, per analoghi scopi, anche all'interpretazione di dati satellitari (es. ASTER). Le firme spettrali delle zone a macrofite offrono inoltre altri dati per validare l'algoritmo di correzione atmosferica utilizzato per l'elaborazione delle immagini MERIS.



Ceratophyllum demersum



Chara sp



Myriophyllum spicatum



Najas marina



Potamogeton crispus



Potamogeton lucens



Potamogeton pectinatus



Potamogeton perfoliatus

Fig. 7 Macrofite sommerse rinvenute durante le campagne di misure

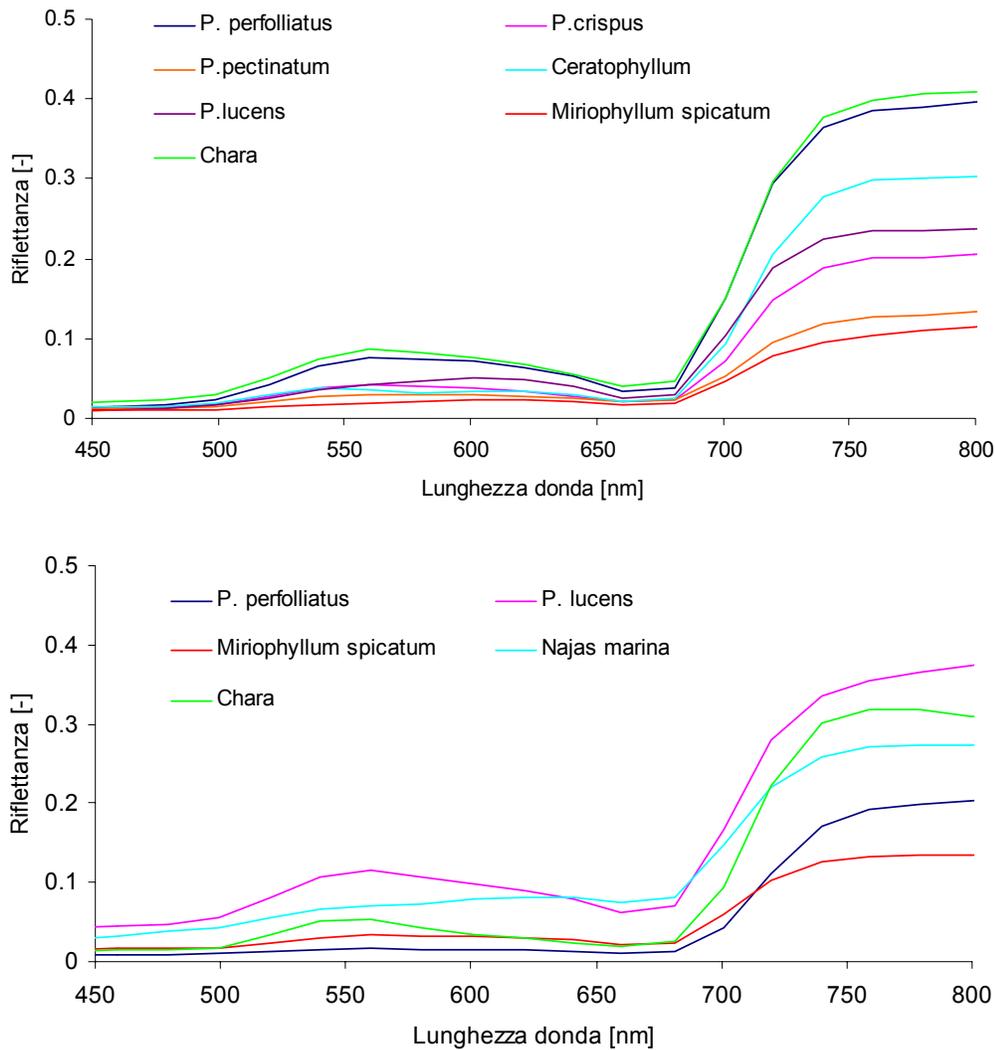


Fig. 8 Firme spettrali delle specie di macrofite (nell'intervallo spettrale del visibile e vicino-infrarosso) campionate il 28 maggio (sopra) e il 9 luglio (sotto)

Elofite

La scelta dei canneti è stata effettuata nel corso di un sopralluogo eseguito nell'aprile 2008 e completatosi con le osservazioni della prima campagna del maggio 2008, cercando di comprendere tutte le diversità: differenti substrati, differenti associazioni con altre specie vegetali, differenti distanze dal corpo idrico (**Fig. 9**).



Fig. 9
Esempi
delle aree
a canneto
rilevate nel
corso del
progetto

Le stime di LAI sono state ricavate tramite le misure compiute col ceptometro che grazie ad una calibrazione strumentale da eseguirsi *in situ* fornisce direttamente i valori di LAI. Queste osservazioni, ripetute nel corso della stagione consentono di monitorare lo stato della vegetazione e di differenziare il comportamento sito per sito. Per scopi puramente scientifici e solo una-tantum, le osservazioni di LAI sono state ottenute attraverso le immagini digitali emisferiche, solitamente più facilmente reperibili dei dati mediante ceptometro. Attraverso un programma specifico CanEye[®] che, mediante un processo di classificazione della foto digitale basato su logica booleana, riconosce la porzione di cielo coperta dalle foglie, è possibile stimare in modo automatico i valori di LAI (Fig. 10).

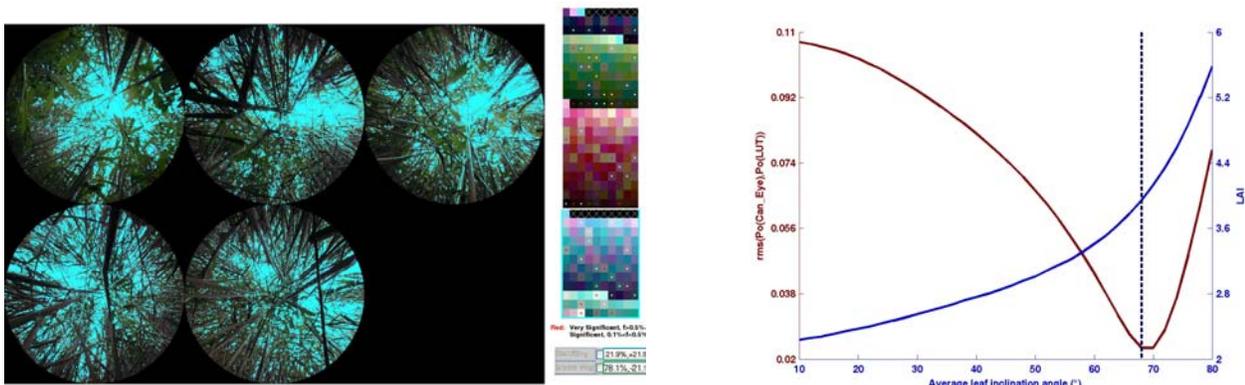


Fig. 10 Esempio di LAI di canneto effettuato con camera emisferica ed elaborazione con CanEye[®] (v. 3.2)

A conclusione delle campagne le osservazioni mediante camera emisferica verranno confrontate con quelle mediante ceptometro, ad oggi si illustrano invece i valori di LAI medi (Fig. 11), acquisiti mediante ceptometro nel corso delle uscite di maggio e luglio 2008.

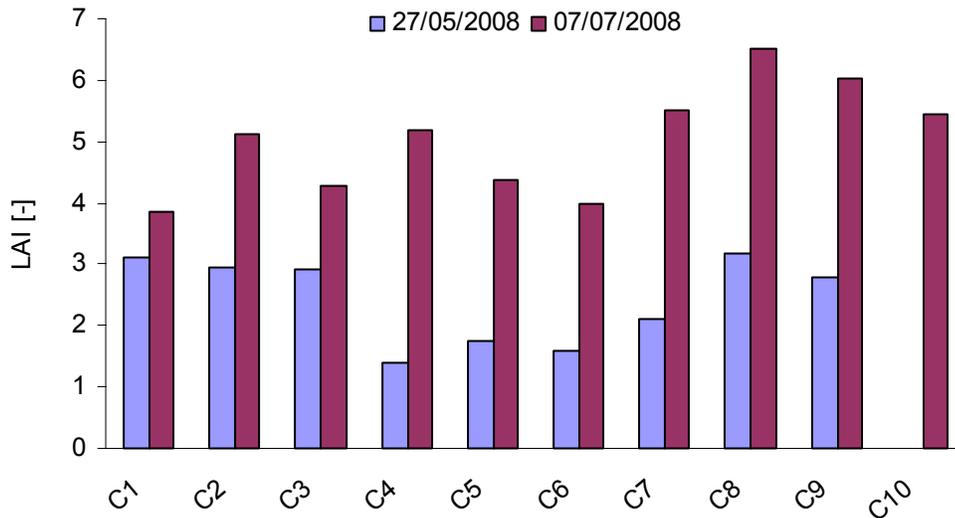


Fig. 11 Valori medi di LAI (mediante ceptometro) per le 10 aree a canneto rilevate (rispetto a fig. 2, C1 è in corrispondenza di Castiglione del lago, le altre si susseguono in senso antiorario sino a C10).

Analisi delle immagini

Dati MERIS

I dati MERIS, distribuiti dall'Agencia Spaziale Europea nell'ambito del progetto AOE-553, sono elaborati con il già citato programma "MERIS-Case2¹ Regional Processor (v. 1.3)". Il programma, permette di eseguire in modo automatico la correzione atmosferica dell'immagine e di stimare le proprietà ottiche inerenti IOP del target (Doerffer e Schiller, 2008b). Ad oggi è prematuro presentare i trend dei parametri macrodescrittori di qualità dell'acqua visto che la calibrazione del modello bio-ottico non è completa. In modo relativo si possono in ogni modo visualizzare gli andamenti delle IOP ottenute da MERIS e le serie storiche del Trasimeno disponibili attraverso ARATAS.

¹ Esistono fondamentalmente due famiglie di modelli bio-ottici: una che tratta il caso delle acque otticamente più semplici (Case-1) in cui la variazione di radianza è prevalentemente funzione dalla sola concentrazione di clorofilla (essendo le altre sostanze co-varianti con il fitoplancton); l'altra descrive acque otticamente più complesse (Case-2), dove le AOP sono governate dalla presenza di clorofilla, di solidi sospesi sia organici che inorganici e da sostanze gialle. Le acque interne (ma anche le acque marine costiere) sono generalmente di Case-2, mentre le acque oceaniche appartengono solitamente al Case-1.

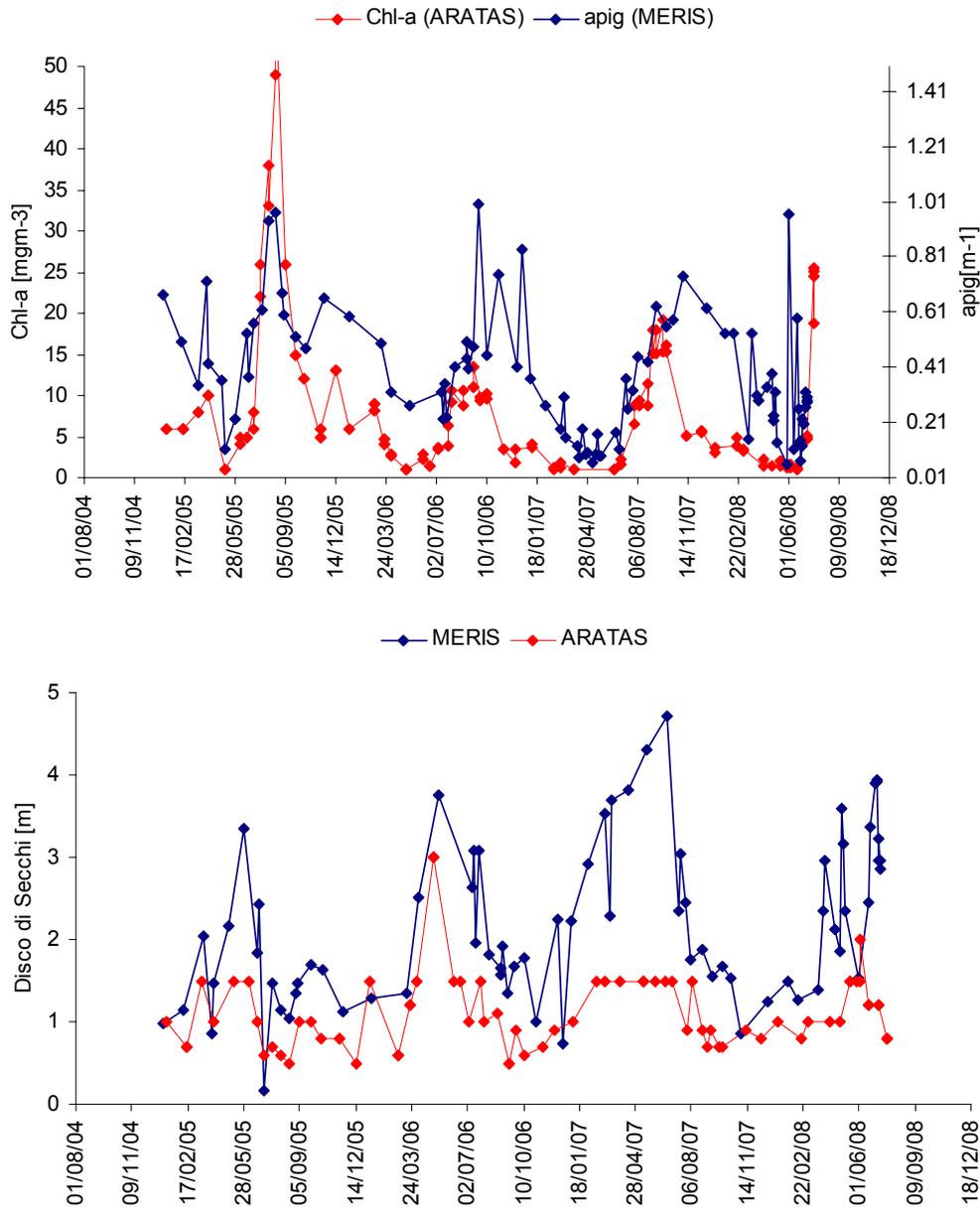


Fig. 12 Confronto tra dati MERIS e misure *in situ* (archivio ARATAS) di clorofilla-a (sopra) e disco di Secchi (sotto). Nel caso della clorofilla i dati MERIS sono relativi all'assorbimento dei pigmenti. Nel caso del disco di Secchi i dati ARATAS tra febbraio e luglio 2007 sono stati tutti eguagliati a 1.5 m, poiché archiviati come >1.2 m

Dati MODIS

Grazie alla collaborazione con l'Università del Meryland (Washington, USA) si è avuto accesso alle serie storiche MODIS dei dati di temperatura (prodotto MODIS 11A). Questo dato, che mostra un buon accordo con i valori di temperatura misurati *in situ*, ha inoltre permesso di ricavare interessanti statistiche sulle coperture nuvolose (**Fig. 13**) che ovviamente condizionano fortemente l'utilizzo del telerilevamento.

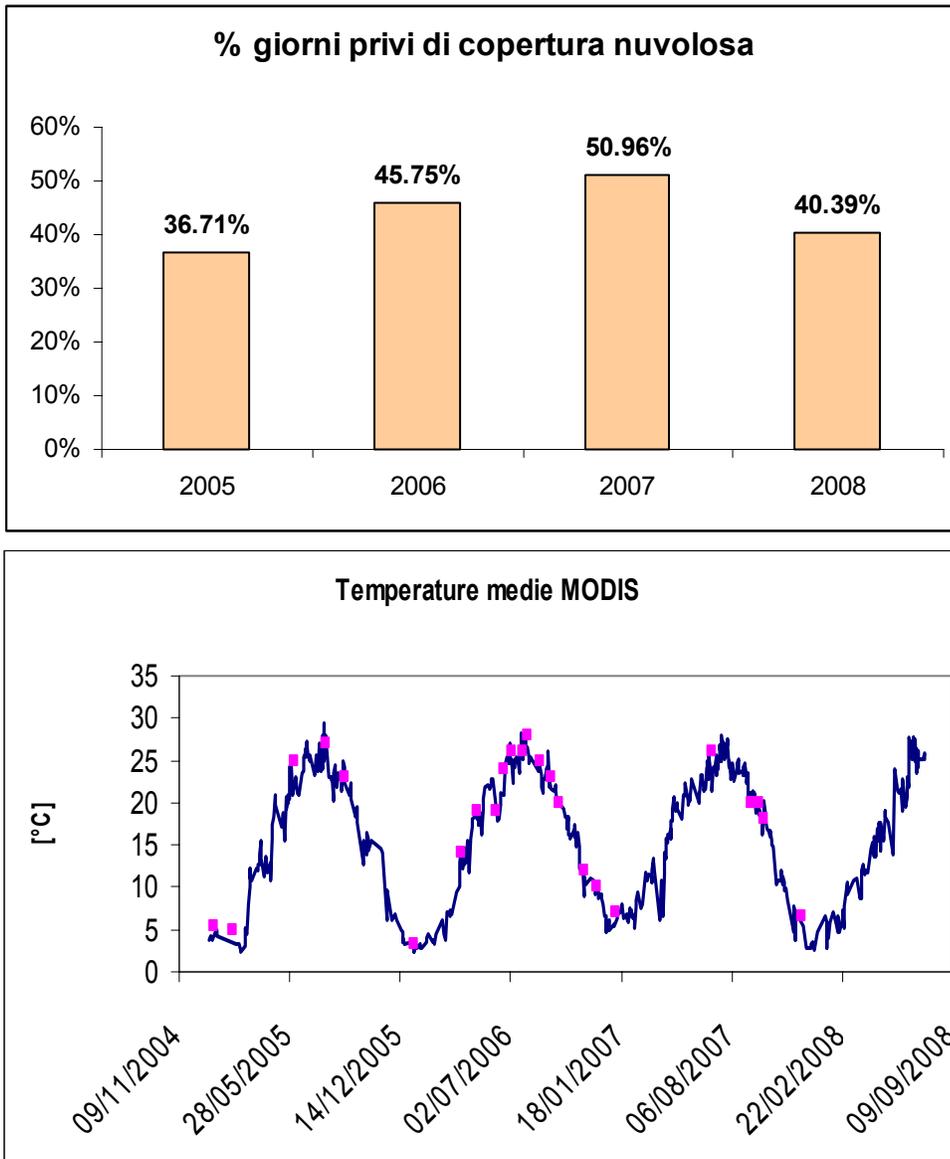


Fig. 13 Analisi dei dati MODIS: % di giorni privi di nuvole (sopra); temperature medie del lago (area centrale di 25 km²) ottenute da dati satellitari MODIS 11A e da osservazioni *in situ* dell'ARPA Umbria (punti in Magenta).

Dati Landsat/ASTER

Per l'analisi dei cambiamenti nella copertura del suolo sul bacino del Lago Trasimeno durante gli ultimi 30 anni si utilizzeranno immagini satellitari a media risoluzione da sensori multispettrali come il Multispectral Scanner (MSS) e il Thematic Mapper (TM), a bordo dei satelliti Landsat, e l'Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER), a bordo del satellite EOS Terra. Le scene satellitari da utilizzare coprono un intervallo di una trentina d'anni, dal 1979 al 2007, all'interno del quale verranno analizzati con cadenza decennale (1979, 1988, 1998, 2007) lo stato e le modificazioni nella copertura del suolo sull'area del Trasimeno, con particolare riferimento alle destinazioni agricole e urbane.

Il territorio verrà suddiviso in tre macroclassi di copertura: territorio forestale, terreni ad uso agricolo o pascoli, aree urbanizzate (oltre naturalmente alle acque). Verrà quindi condotta un'indagine ulteriore sulle classi di copertura associate ad attività agricole, anche con l'uso di dati ancillari, e verranno infine prodotte mappe rappresentanti la situazione della copertura del suolo e dei relativi cambiamenti occorsi nell'intervallo temporale analizzato.

Conclusioni

Grazie alle prime uscite condotte sul Trasimeno si è iniziato a recuperare i dati necessari per compilare un database sulle proprietà ottiche della colonna d'acqua e della vegetazione, sia di macrofite acquatiche sia di canneti costieri. Il database, da completarsi col materiale che si raccoglierà durante le successive campagne compone parte integrante della catena di elaborazione delle immagini telerilevate che, con differenti scopi, verranno utilizzate nel corso del progetto. Nonostante la loro ancor esigua numerosità questi dati mostrano comunque interessanti aspetti tra cui:

- il modo di procedere concorde tra tre diversi laboratori che hanno determinato concentrazioni di chl-a tra loro coerenti (Tab. 1);
- l'attendibilità delle misure sulle sostanze gialle ad opera di ARPA Umbria nonostante fosse la prima volta che tale laboratorio procedeva in queste analisi (Fig. 4);
- un comportamento radiometrico della colonna d'acqua adatto ad essere rappresentato da un modello bio-ottico (Fig. 6);
- valori di LAI dei canneti (Fig. 11) coerenti a dati di letteratura (Bresciani et al, 2007);
- la preliminare analisi dei dati satellitari, la cui archiviazione è in fase di completamento, sembra confermare le capacità del MERIS di seguire l'evoluzione delle proprietà ottiche del Trasimeno, nonostante la loro complessità.

Elenco dei dati in archivio per il progetto

1. Envisat-1 MERIS (300 m)



Fig. 14 Esempi di dati MERIS che mostrano l'ampia variabilità ottica delle acque del Trasimeno

2005	2006	2007	2008
03-01-2005	10-01-2006	05-01-2007	25-01-2008
10-02-2005	15-03-2006	03-02-2007	13-02-2008
17-03-2005	04-04-2006	04-03-2007	13-03-2008
02-04-2005	11-05-2006	13-03-2007	19-03-2008
05-04-2005	11-07-2006	16-03-2007	29-03-2008
18-04-2005	14-07-2006	07-04-2007	01-04-2008
01-05-2005	17-07-2006	11-04-2007	20-04-2008
07-05-2005	23-07-2006	17-04-2007	27-04-2008
29-05-2005	08-08-2006	23-04-2007	02-05-2008
21-06-2005	30-08-2006	27-04-2007	03-05-2008
24-06-2005	31-08-2006	09-05-2007	06-05-2008
03-07-2005	03-09-2006	13-05-2007	09-05-2008
19-07-2005	12-09-2006	19-05-2007	28-05-2008
01-08-2005	22-09-2006	22-05-2007	01-06-2008
17-08-2005	11-10-2006	25-05-2007	10-06-2008
30-08-2005	02-11-2006	23-06-2007	19-06-2008
02-09-2005	10-12-2006	29-06-2007	20-06-2008
24-09-2005	20-12-2006	15-07-2007	22-06-2008
16-10-2005		18-07-2007	23-06-2008
20-11-2005		28-07-2007	25-06-2008
		06-08-2007	26-06-2008
		26-08-2007	29-06-2008
		13-09-2007	02-07-2008
		02-10-2007	03-07-2008
		15-10-2007	05-07-2008
		03-11-2007	06-07-2008
		21-12-2007	08-07-2008
			09-07-2008
			12-07-2008
			15-07-2008
			24-07-2008
			25-07-2008
			28-07-2008
			31-07-2008
			03-08-2008
			06-08-2008

2. Dati a media/ alta risoluzione

Serie Landsat dal 1998 al 2006, più alcune di altri sensori ottici (es. SPOT e IKONOS). La verifica dei file per gli scopi del progetto è ancora in corso.

ANNO	SATELLITE	Data	Note
1988	Landsat	07/08/1988	Full frame 191-30
1988	Landsat	14/08/1988	Frame parziale 192-30
1989	Landsat 5 P/R	14/11/1989	Full frame
1990	Landsat 5	verificare	da Corine
1992	Landsat 5 P/R	14/05/1992	Full frame
1992	Landsat 5 P/R	03/09/1992	Full frame
1994	Landsat	04/05/1994	
1994	Landsat	11/10/1994	
1995	Landsat	23/05/1995	
1995	Landsat	26/07/1995	
1995	Landsat	14/10/1995	
1996	Landsat	Luglio 96	Formato LAN
1997	Landsat	Luglio 97	Formato LAN
1998	Landsat TM	18/12/1998	Scenes
1999	Landsat	05/08/1999	Frame parziale 192-30
1999	Landsat	08/10/1999	Frame parziale 192-30
1999	Landsat	09/11/1999	Frame parziale 192-30
1999	Landsat	25/11/1999	Frame parziale 192-30
2000	Landsat 7	verificare	Da Corine
2000	Landsat	20/06/2000	Frame parziale 192-30
2000	Landsat TM	25/09/2000	
2001	Landsat	03/08/2001	Full frame 191-30
2001	Ikonos	29/08/2001??	(creation date)
2002	Landsat TM	30/05/2002	
2002	Ikonos	6/06/2002	(creation date)
2003			
2004	Quick Bird	2004	2 Frames parziali: Tuoro e Panicale
2005	Quick Bird	2004	1 Frame parziale: Panicale
2006	SPOT4	verificare	
2006	IRS	verificare	

3. AVHRR (1 km)

Serie storica 2004-2008 di mappe di temperatura (es. in **Fig. 15**) coincidenti con le date a disposizione dei dati satellitari MERIS.

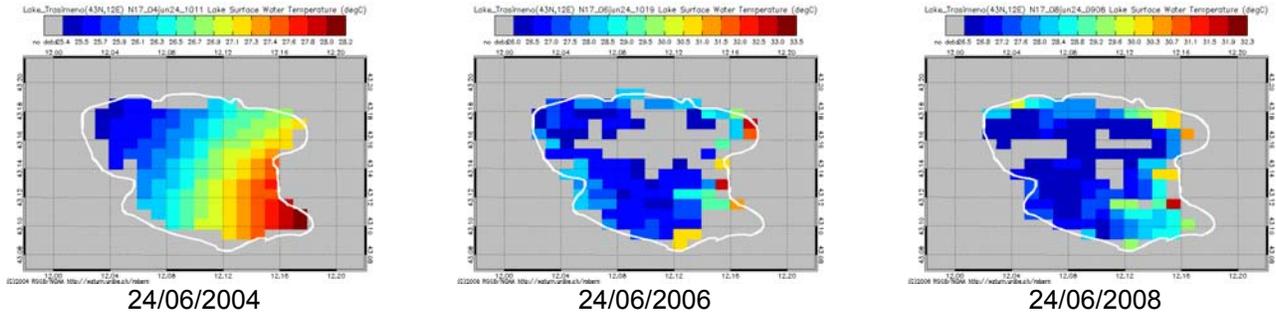


Fig. 15 Esempi di mappe di temperatura da dati AVHRR per il 24 giugno di 3 anni diversi

4. MODIS (1 km)

Serie storica 2005-2008 di dati di temperatura superficiale (esempi in **Figs. 13 e 16**).

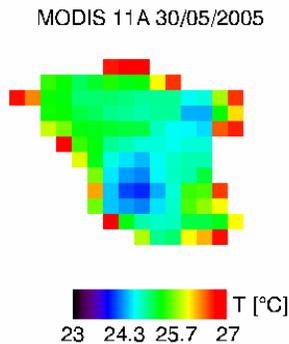


Fig. 16 Esempio di mappe di temperatura da dati MODIS 11A per il 30 maggio 2005

Riferimenti bibliografici

- Bresciani M., Montagna M., Giardino C., Stroppiana D. e Fila G.L., “*Studio delle superfici a canneto della Sacca di Goro attraverso immagini satellitari ad alta risoluzione*” 11° Conferenza ASITA, Torino, Italia, 6-9 Novembre 2007, Vol I, pp 495-500.
- Cecchetti A., Ficola M., Lazzaroni G., Pedini A., Segantini F., “*Vegetazione, habitat di interesse comunitario, uso del suolo del Parco Trasimeno*”, Parco del Lago Trasimeno 15 dicembre 2005.
- Dekker A. G., Brando V. E., Anstee J. M., Pinnel N., Kutser T., Hoogenboom H. J., Pasterkamp R., Peters S. W. M., Vos R. J., Olbert C. and Malthus T. J., “*Imaging spectrometry of water*”, in *Imaging Spectrometry: Basic principles and prospective applications*, vol. IV, Remote Sensing and Digital Image Processing. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2001, pp. 307-359.
- Doerffer, R., and Schiller, H., 2008a, *MERIS Regional Coastal and Lake Case 2 Water Project Atmospheric Correction ATBD*, v. 1.0, May 2008.
- Doerffer, R., and Schiller, H., 2008b, *MERIS Lake Water Algorithm for BEAM ATBD*, v. 1.0, May 2008.

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.

Ringraziamenti

Si ringraziano Mauro Musanti per la collaborazione nelle attività di campo, Paolo Villa e Mirco Boschetti per l'analisi dei dati Landsat, Daniela Stroppiana per i programmi IDL e Luigi Boschetti per i dati MODIS.