



# Il monitoraggio del lago attraverso il telerilevamento da satellite



- Mariano Bresciani, Claudia Giardino
- CNR-IREA, Milano

## *Indice della Presentazione*

**Generalità del Telerilevamento**

**Contestualizzazione della ricerca nel progetto Osservatorio del Lago Trasimeno**

**Campagne di misura**

**Dati satellitari**

**Metodologie**

**Risultati**

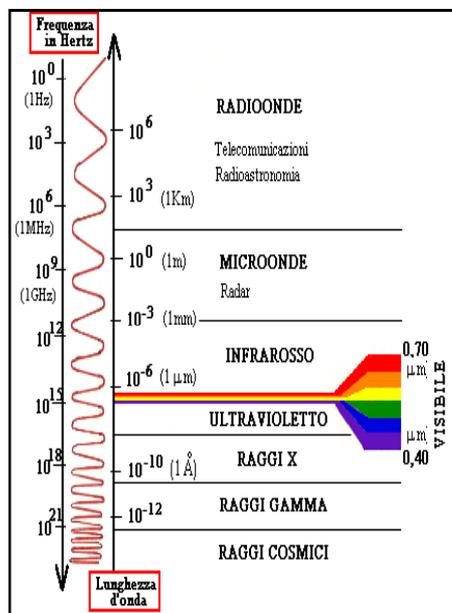
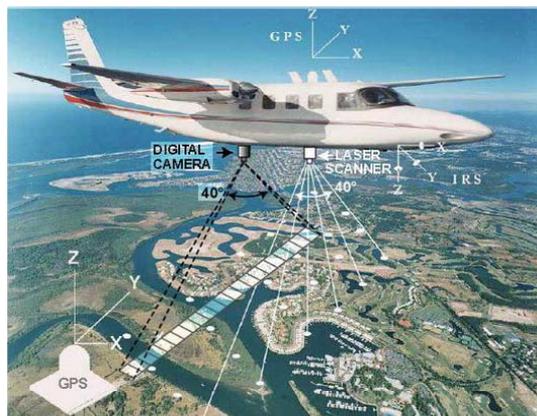
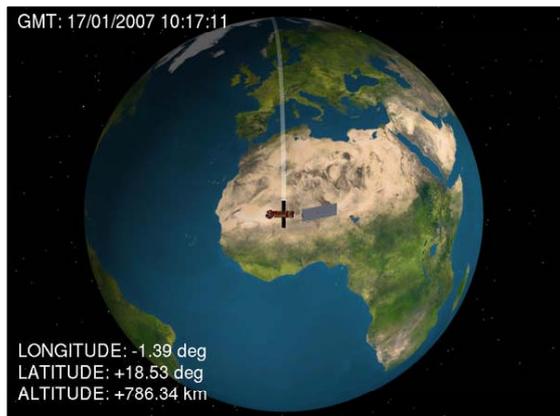
**Considerazioni generali**

**Prospettive future**

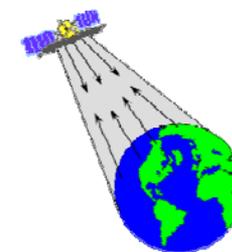
## Generalità del Telerilevamento

Telerilevamento vuol dire.....

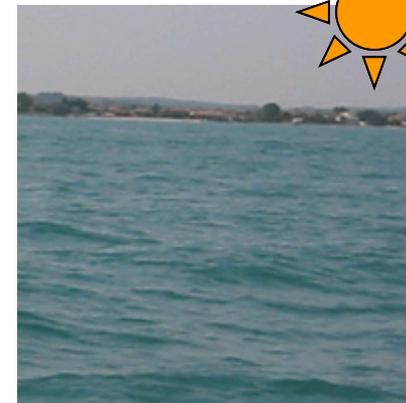
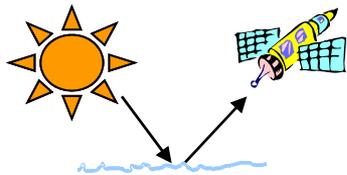
... osservare la terra a distanza, da terra, da aereo e satellite



... interpretare il segnale (radiazione elettromagnetica) che giunge al sensore dopo aver interagito con le superfici



*Il colore dell'acqua*



Condizioni geometriche di visione e illuminazione

Condizioni di illuminazione

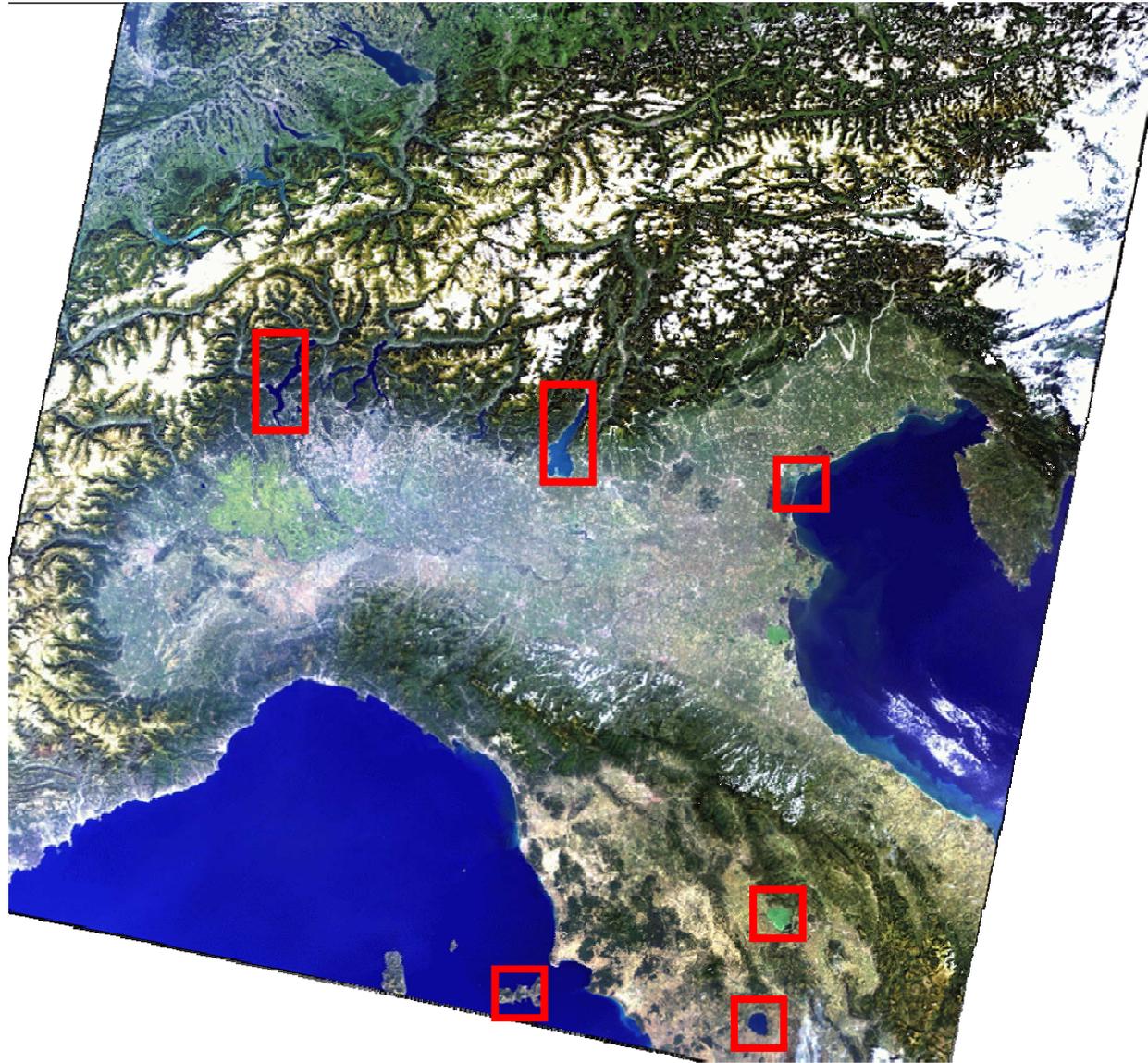
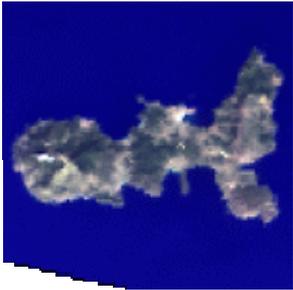


Materiale disciolto e in sospensione

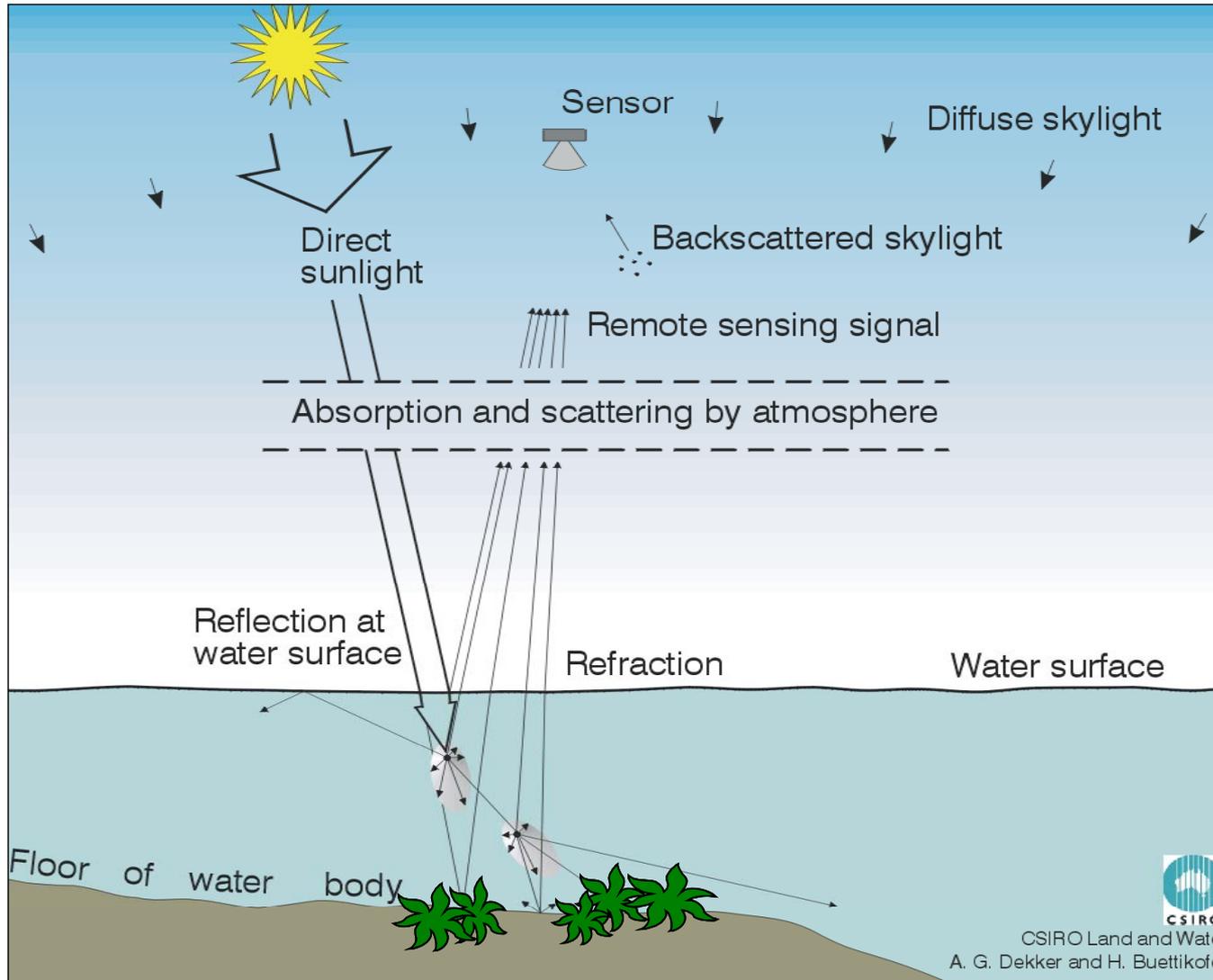


Natura e colore del fondale

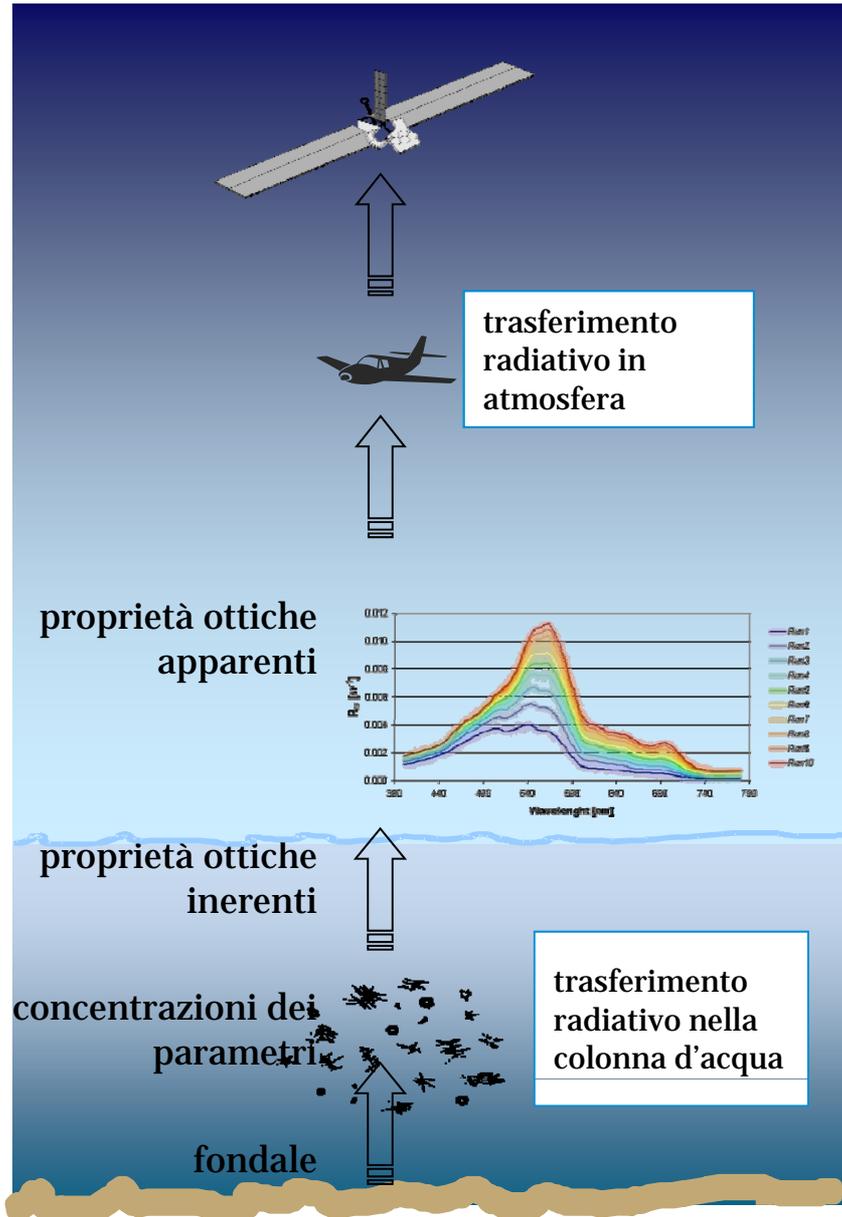
## Il colore dell'acqua



*Il trasferimento radiativo in acqua*



## Modellistica bio-ottica



### Proprietà ottiche inerenti

*Inherent Optical Properties*, IOP dipendono dal *medium* e risultano indipendenti dalle condizioni di luce al suo interno

### Proprietà ottiche apparenti

*Apparent Optical Properties*, AOP dipendono dal *medium* ma anche dalla struttura geometrica del campo di luce

**Concentrazione dei parametri**  
[chl], [SPM], [CDOM]

**Proprietà ottiche del fondale**  
albedo (firma spettrale) del substrato (vegetazione, sedimento, corallo...)

Inversione (acqua)  
 $R_{rs}(l) \rightarrow chl, tsm, ays(440)$

## Progetto OSTR

- **Monitoraggio della qualità delle acque da dati telerilevati**

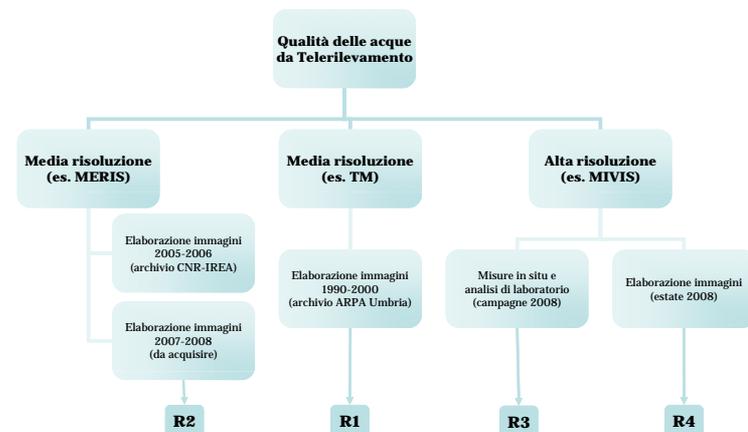
Caratterizzazione ottica delle acque del lago Trasimeno.

Ricostruzione algoritmi delle relazioni spazio temporali tra proprietà ottiche inerenti e parametri chimico-fisici delle acque.

Mappe stagionali di distribuzione dei macrodescrittori di stato.

- **Caratterizzazione ottica e valutazione della distribuzione delle macrofite**

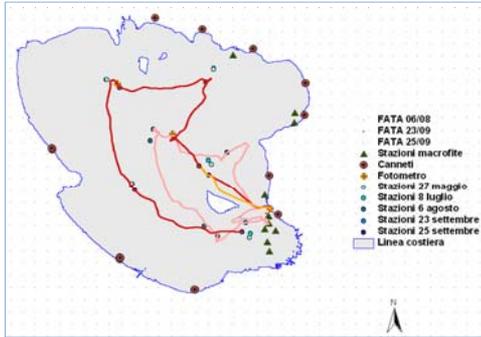
- **Formazione e divulgazione**



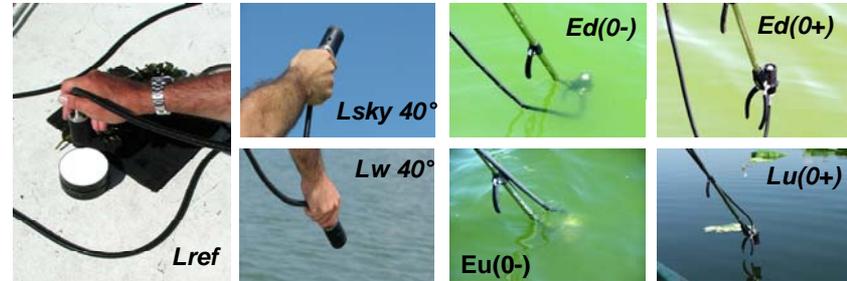
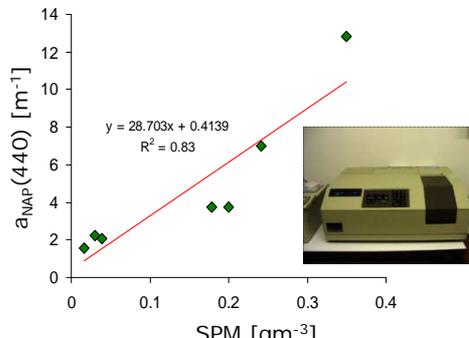
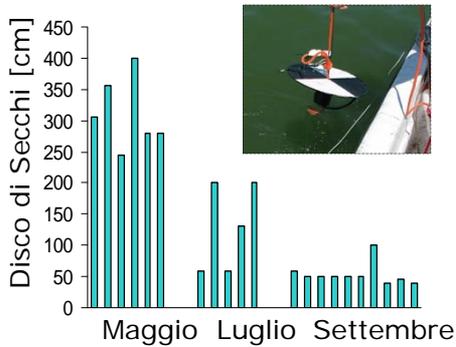
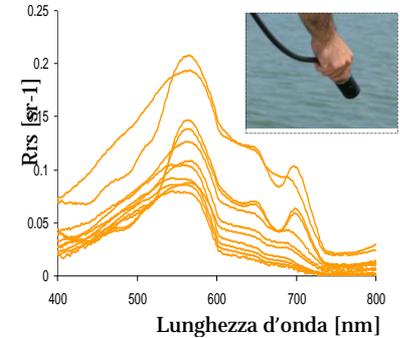
Mesi progetto	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
<b>WP-1 Elaborazione delle serie storiche satellitari</b>												
Ricerca immagini e creazione database												
Elaborazione dati media risoluzione												
Analisi delle serie storiche									R1			R2
<b>WP-2 Macrofite acquatiche</b>												
Ricerca immagini e creazione database												
Elaborazione immagini alta risoluzione										R3		
<b>WP-3 Calibrazione degli algoritmi e validazione</b>												
Calibrazione dei modello bio-ottico												R4
Validazione del modello												

## Campagne di misura

Stazioni pelagiche per raccolta di campioni d'acqua, misure in situ tradizionali (es. disco di Secchi) e misure radiometriche finalizzate alla calibrazione del modello bio-ottico



Spettroradiometro FieldSpec Fr Pro ASD Inc.



$Ed(0+; \lambda)$  = Downwelling irradiance above the water surface [ $Wm^{-2}$ ]  
 $Ed(0-; \lambda)$  = Downwelling irradiance below the water surface [ $Wm^{-2}$ ]  
 $Eu(0-; \lambda)$  = Upwelling irradiance above the water surface [ $Wm^{-2}$ ]  
 $Lu(0-; \lambda)$  = Upwelling radiance below the water surface [ $Wm^{-2}sr^{-1}$ ]

Bio-optical modelling

$$R(0-; \lambda) = \frac{Eu(0-; \lambda)}{Ed(0-; \lambda)}$$

$$Q\text{-factor}(0-; \lambda) = \frac{Eu(0-; \lambda)}{Lu(0-; \lambda)}$$

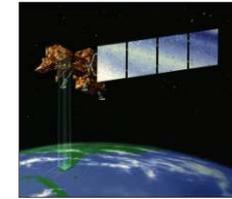
$$t_{down} = \frac{Ed(0-; \lambda)}{Ed(0+; \lambda)}; t_{up} = \frac{Eu(0+; \lambda)}{Eu(0-; \lambda)}$$

Atmospheric correction validation

$Lref$  = Radiance of the reference panel [ $Wm^{-2}sr^{-1}$ ]  
 $Lw$  = Radiance above the water measured at 40° zenith angle [ $Wm^{-2}sr^{-1}$ ]  
 $Lsky$  = Radiance of the sky measured at 40° zenith angle and 90° relative sun azimuth [ $Wm^{-2}sr^{-1}$ ]  
 $\rho_f$  = Fresnel reflectance  
 $\rho_s$  = Spectralon panel reflectance

$$Rrs(\theta, \phi; \lambda) = \frac{L(0+; \theta, \phi; \lambda)}{Ed(0+; \lambda)} = \frac{Lw - Lsky \cdot \rho_f}{Lref \cdot \rho_s \cdot \pi}$$

## Dati satellitari

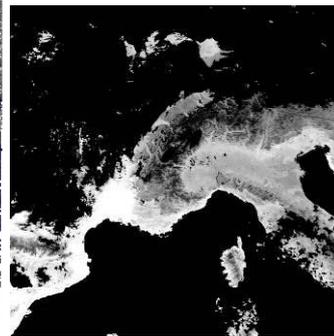


Satellite	Envisat	Terra	Alos	Terra	Landsat
Sensore	MERIS	MODIS	AVNIR2	ASTER	TM
Risoluzione spaziale (m)	300	1000	10	15	30
Tempo di rivisitazione (g)	2--3	1	15*	15*	15
Numero di immagini elaborate	120	1400	2	1	3
Periodo	2005-2008	2005-2008	08/07/2007-- 23/06/2008	22/06/2003	estate 79-88-98
Usò nel Progetto	qualità dell'acqua	temperatura dell'acqua	macrofite	macrofite-usò del suolo	usò del suolo

\* acquisizione a richiesta



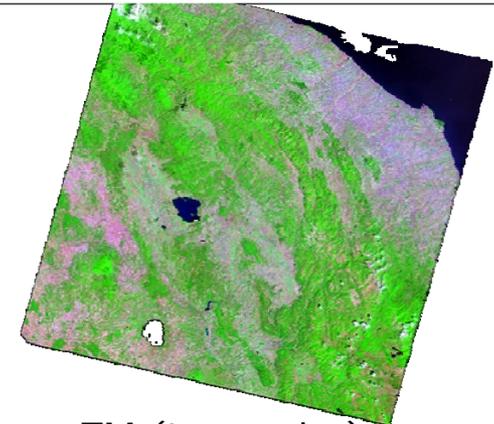
MERIS  
(true color)



MODIS  
(thermal band)

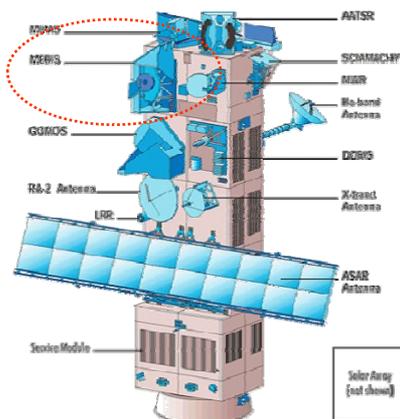


AVNIR  
(true color)

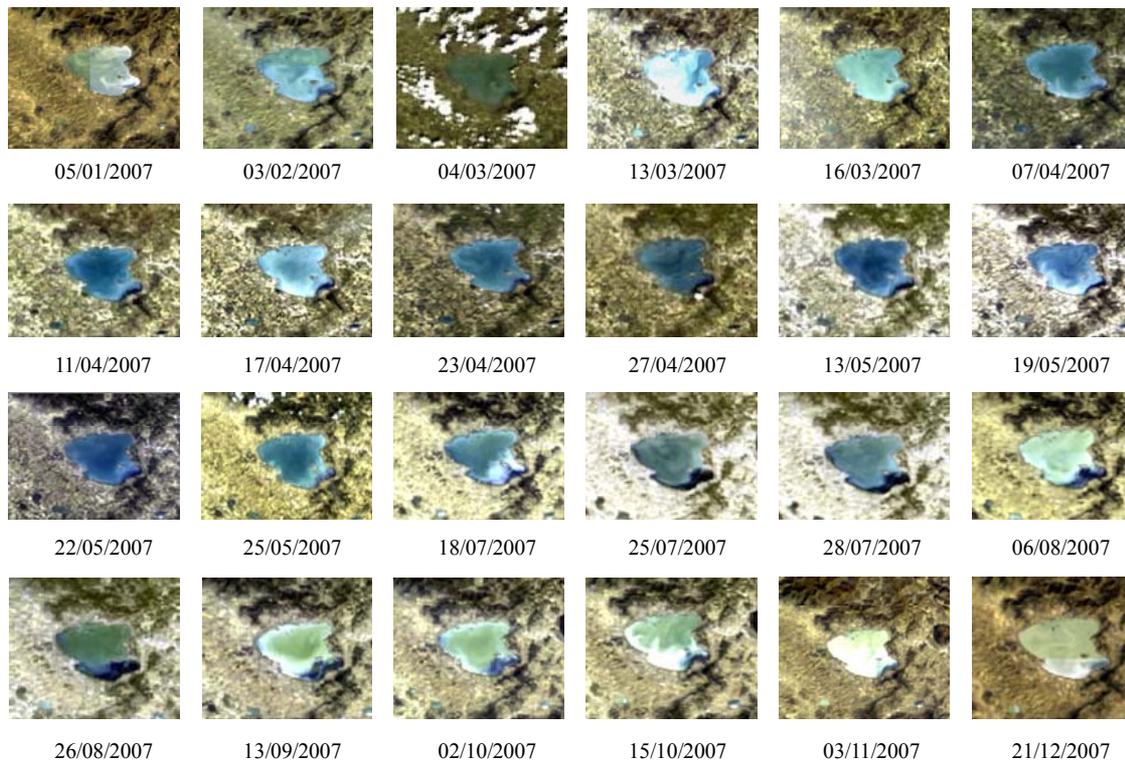
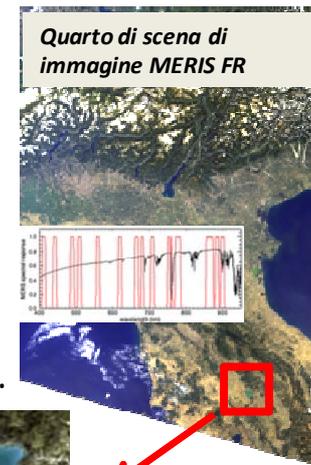


TM (true color)

## Dati satellitari

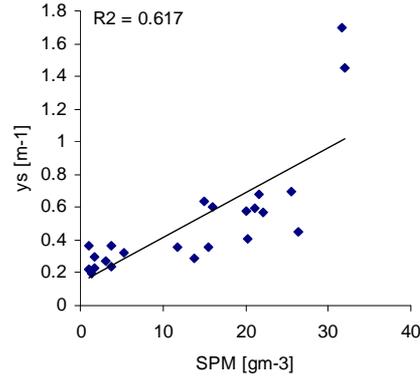
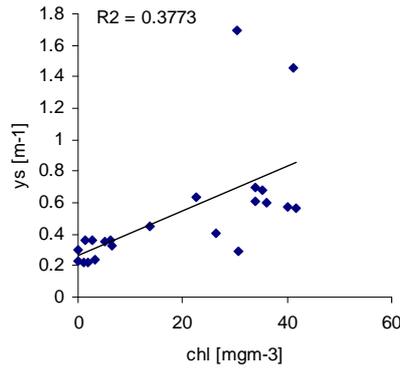
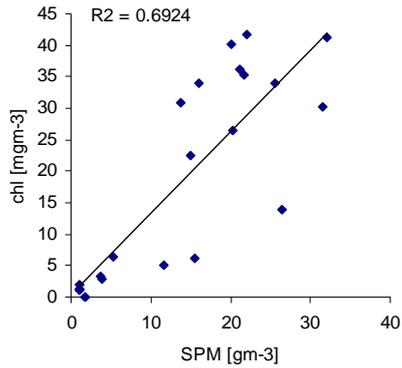


Lo spettrometro MERIS (MEdium Resolution Imaging Spectrometer), a bordo del satellite Envisat-1 acquisisce immagini, ogni 2-3 giorni, con risoluzione spaziale di 300 m FR (strisciata larga 1150 km) e spettale di 15 bande (VIS-NIR).

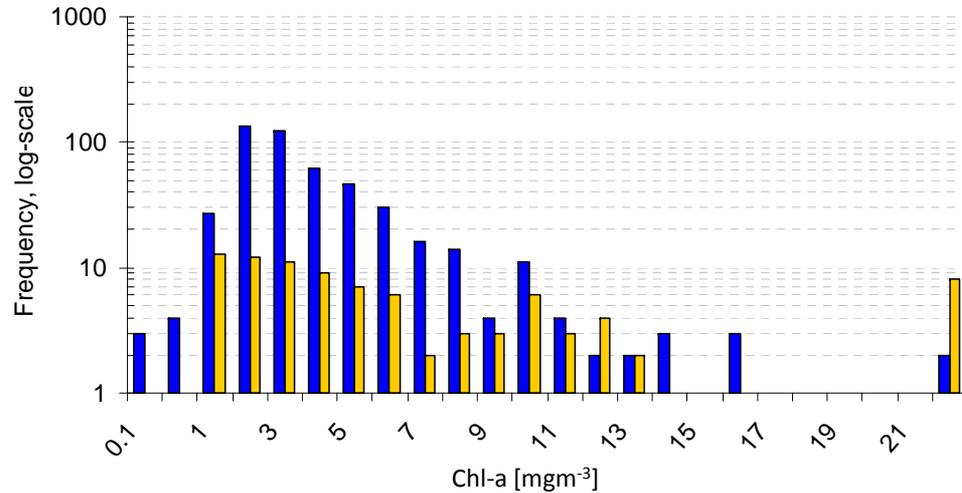


120 immagini  
2005-2008

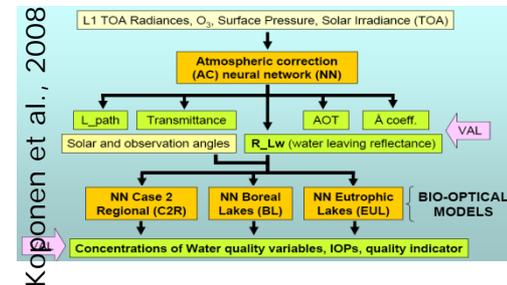
## Metodologie



Scatterogrammi tra le concentrazioni dei parametri misurati in situ la dispersione tra i parametri mostra la complessità ottica del Trasimeno, tipicamente definibile di caso-2



	Boreal	Eutrophic	C2R
<b>Chl-a [mgm<sup>-3</sup>]</b>	<b>0.5-50</b>	<b>1-120</b>	<b>0.003-50</b>
<b>TSM [gm<sup>-3</sup>]</b>	<b>0.1-20</b>	<b>0.25-30</b>	<b>0.03-50</b>
<b>a<sub>ys</sub> [m<sup>-1</sup>]</b>	<b>0.25-10</b>	<b>0.1-3</b>	<b>0.002-2</b>

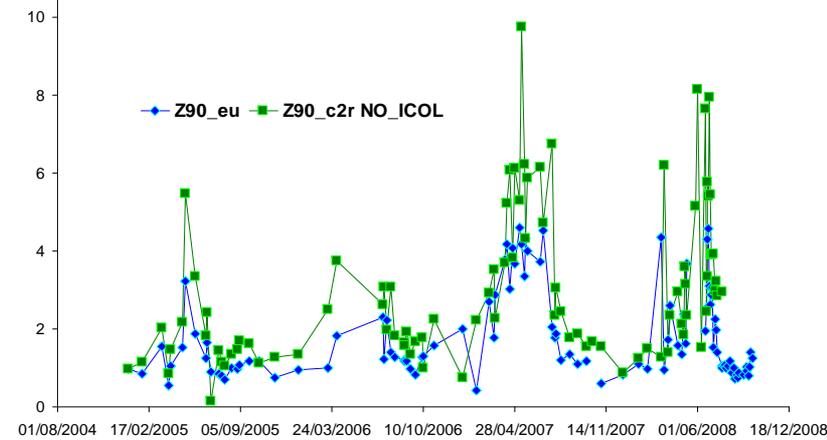


## Metodologie



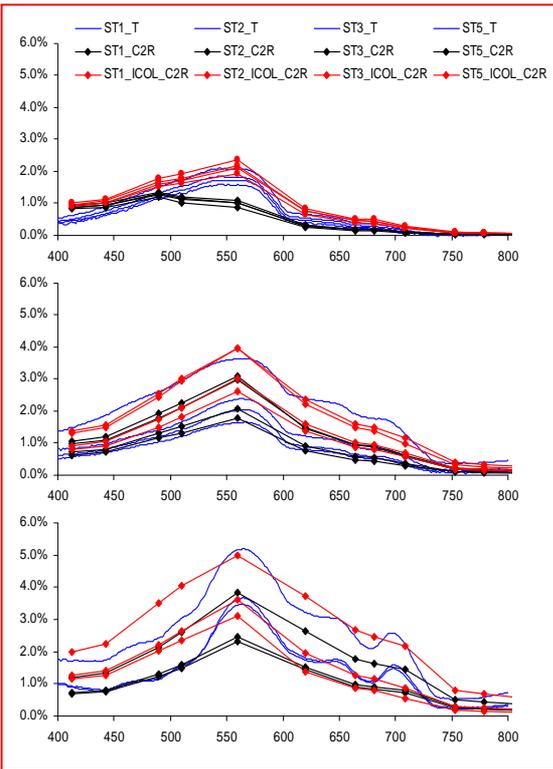
Confronto dati di campo e output correzione atmosferica.

Il metodo di correzione atmosferica ICOL (Improved Contrast between Land and Ocean) è stato introdotto al fine di migliorare la chiusura ottica

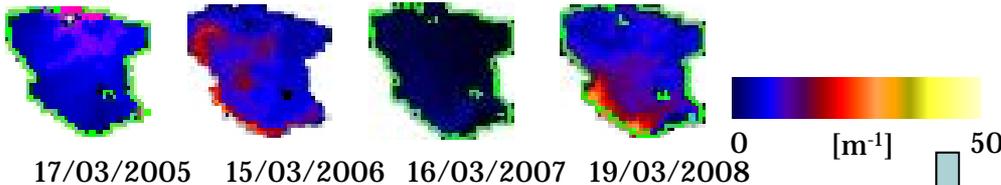


Applicazione dell'algoritmo di conversione per i tsm

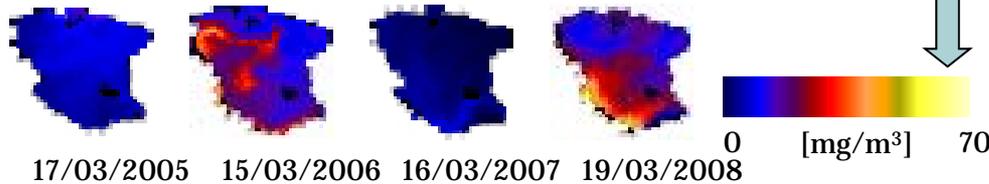
$$b_{bSPM}(\lambda, SPM) = 0.01987 \cdot \left(\frac{\lambda}{440}\right)^{-0.67} \cdot SPM$$



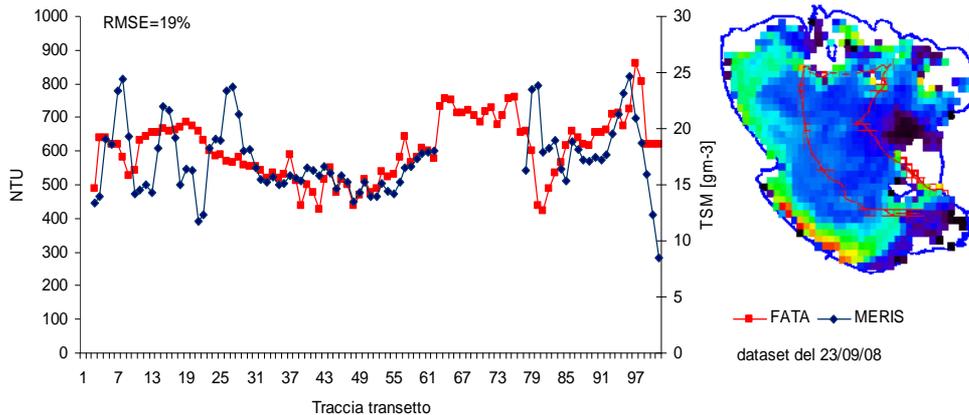
Marzo



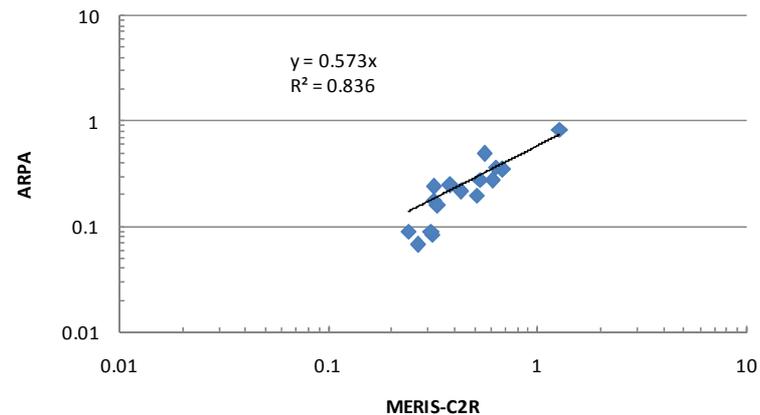
Marzo



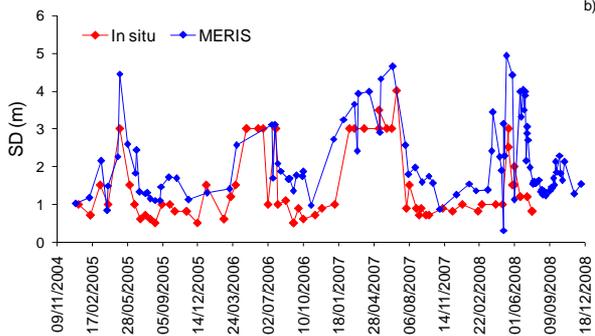
## Validazione



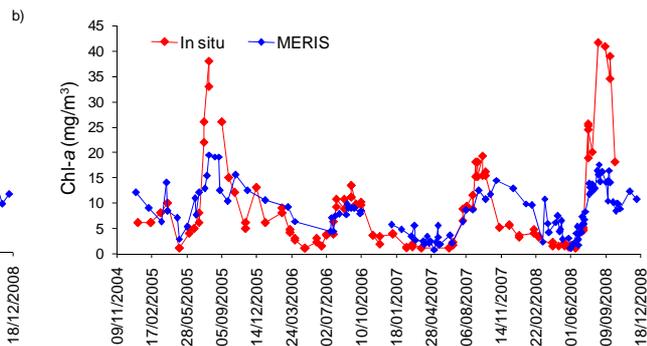
Solidi Sospesi Totali



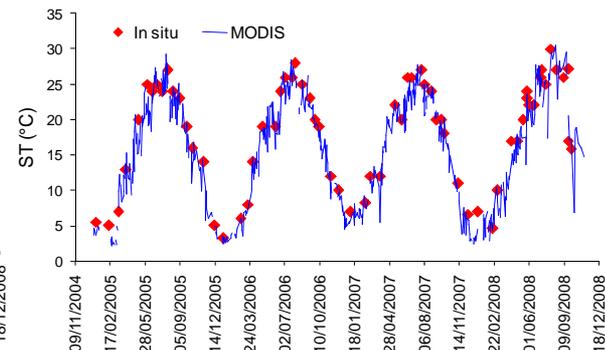
Sostanze gialle



Trasparenza



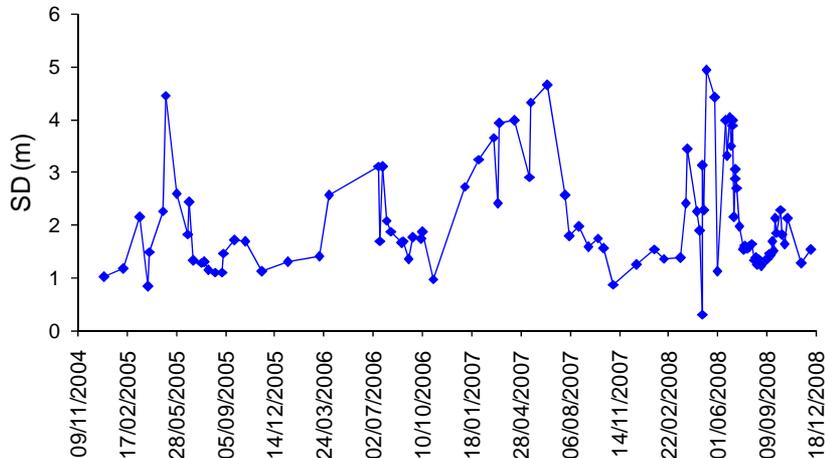
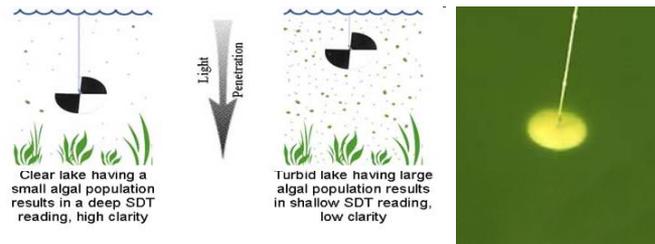
Clorofilla



Temperatura Superficiale

*Risultati*

Lago caratterizzato da una ridotta trasparenza delle acque



Trasparenza media **150 cm**

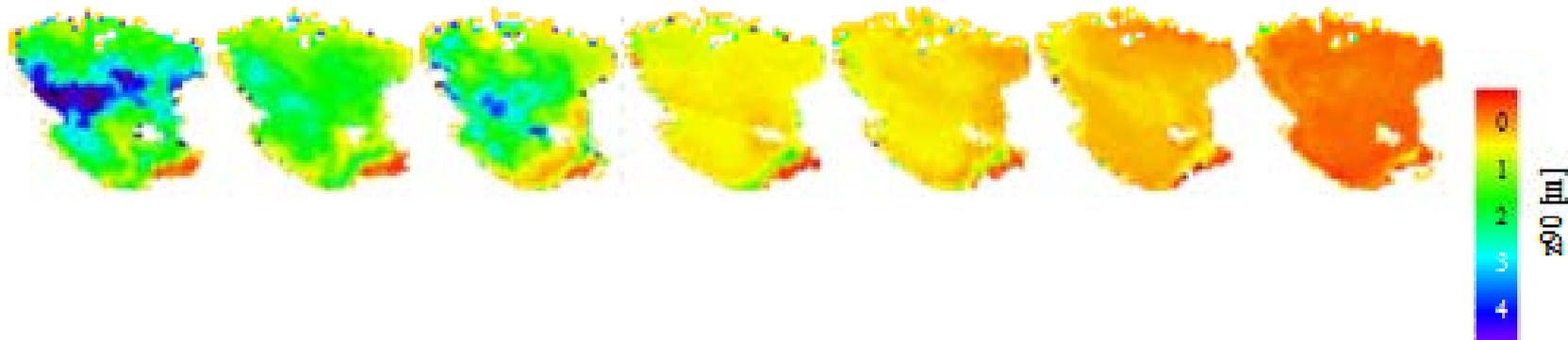
Medie primaverili **270 cm**

Minimi estivo-autunnali **90 cm**

*Serie mensile*

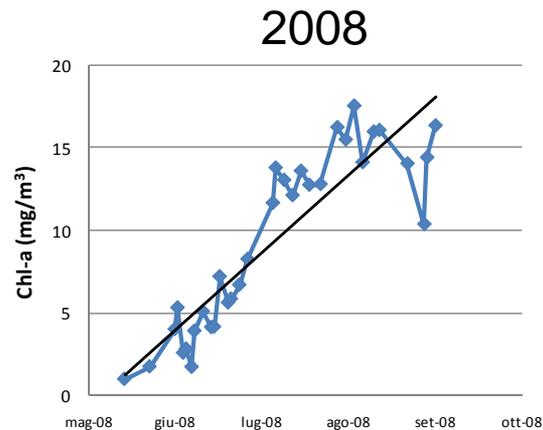
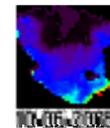
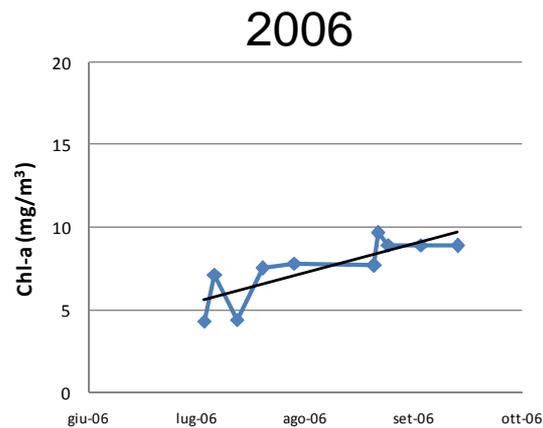
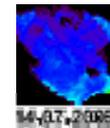
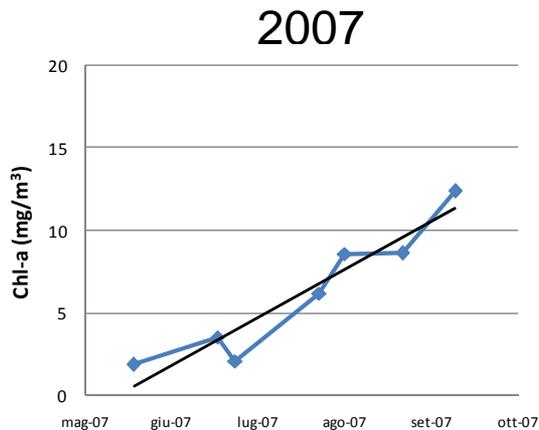
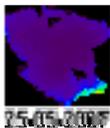
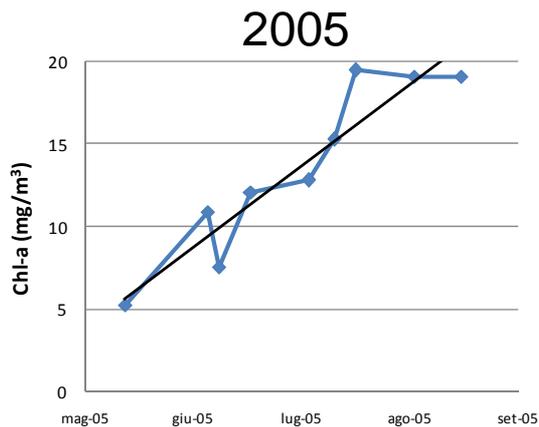
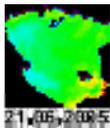
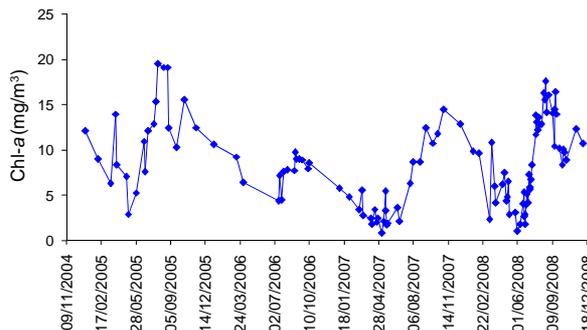
Luglio 2008

Agosto 2008



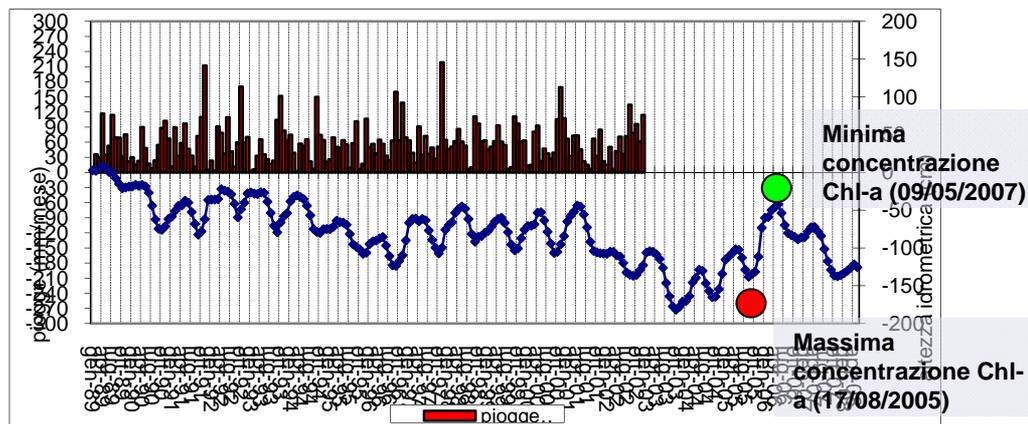
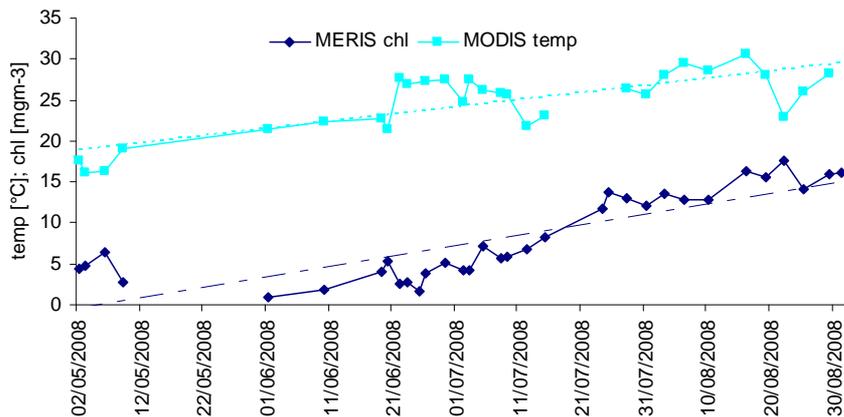
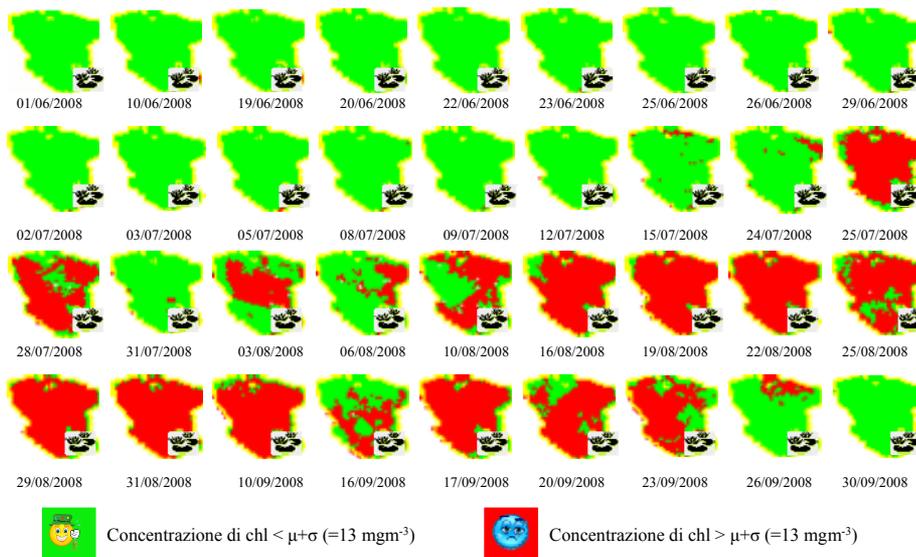
## Risultati

Picchi estivi di Clorofilla-a



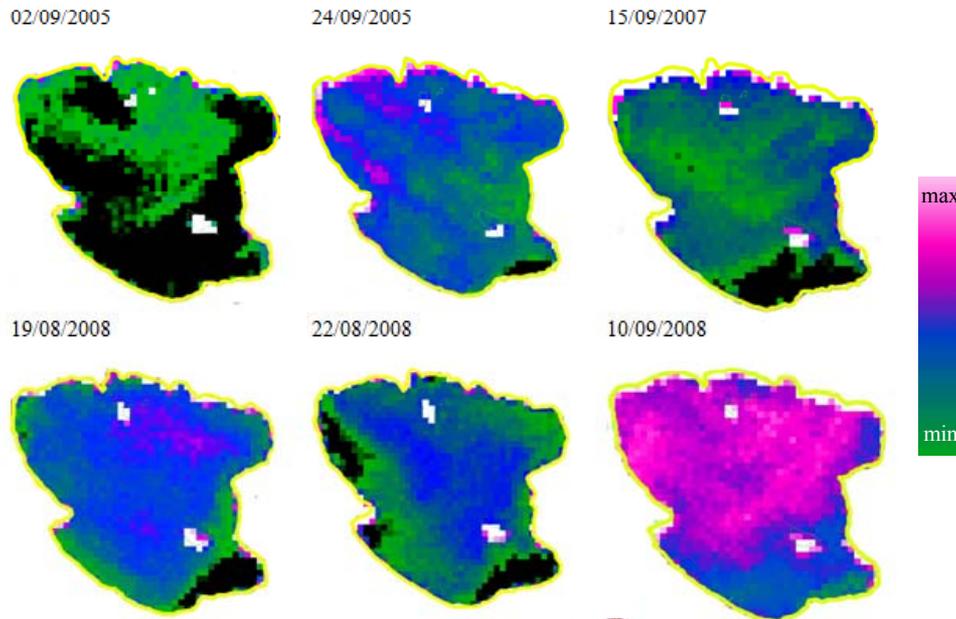
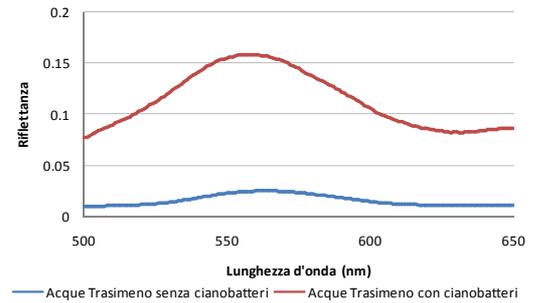
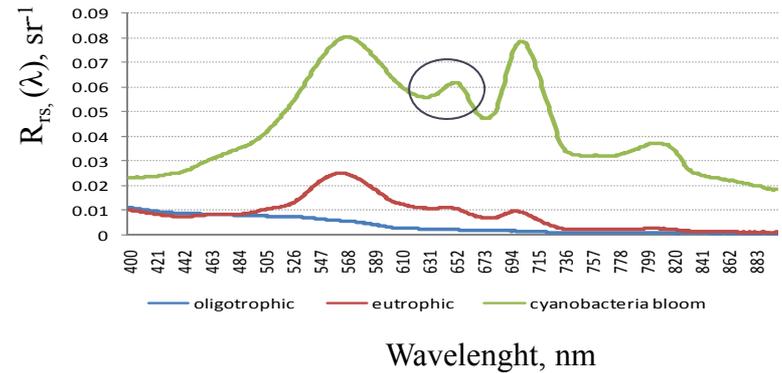
## Risultati

Fattori che condizionano i picchi di fitoplancton



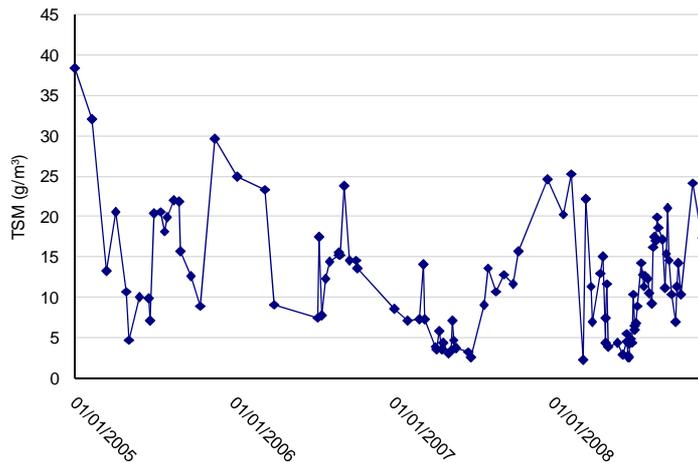
## Risultati

### I cianobatteri

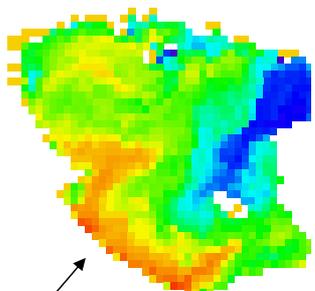


## Risultati

Elevate concentrazioni di solidi sospesi totali

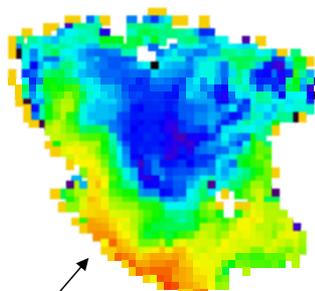


TSM = 15 g/m<sup>3</sup>



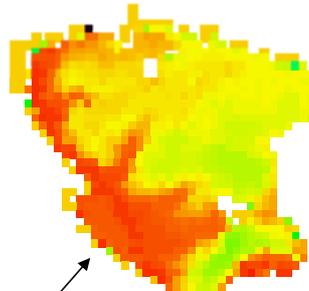
13/03/2007

TSM = 16 g/m<sup>3</sup>

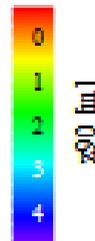


15/10/2007

TSM = 25 g/m<sup>3</sup>

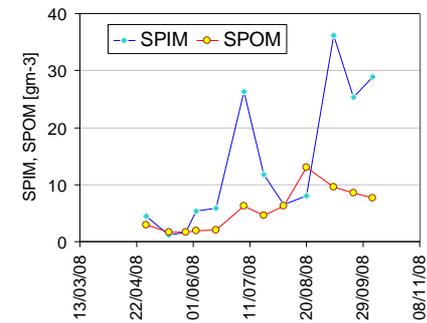


13/02/2008

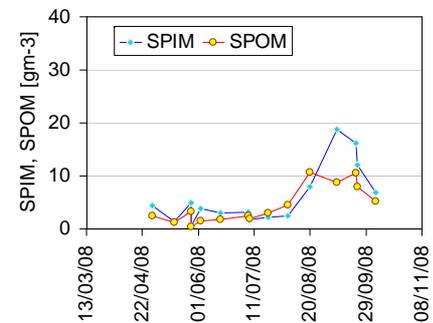


Mappe di trasparenza z90

### Stazioni costiere

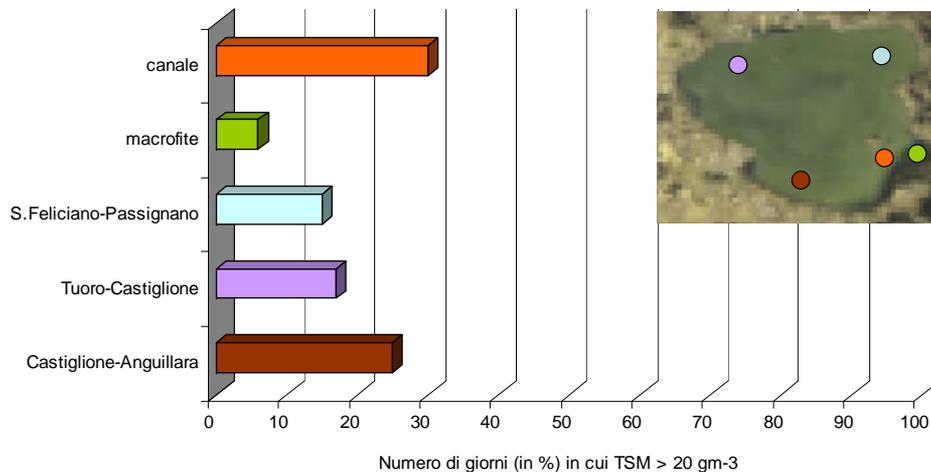
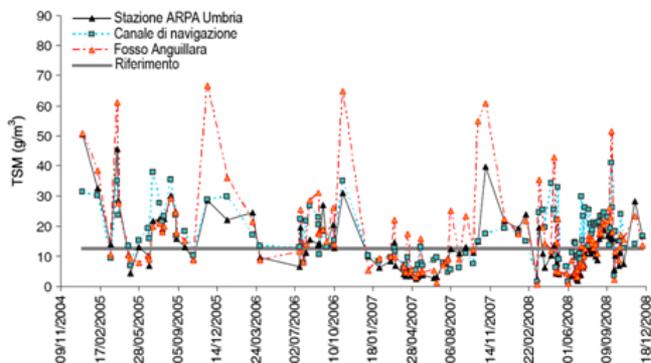


### Stazioni pelagiche

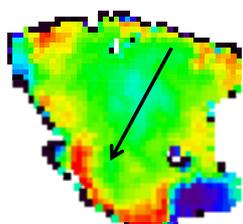


*Risultati*

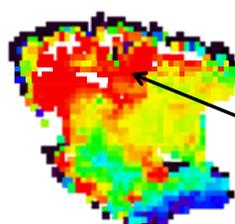
Analisi spaziale delle concentrazioni di TSM



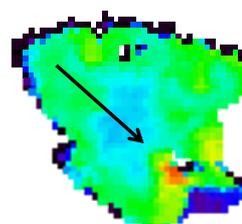
Vento



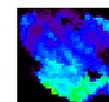
31/08/2006



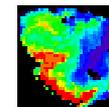
12/09/2006



30/07/2006



14/07/2006



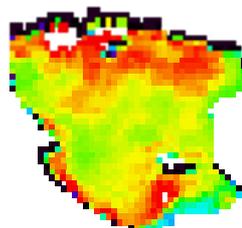
13/07/2007

Aumento vento 30%

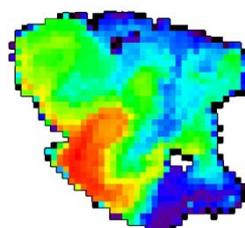
Diminuzione vento 200%



Piogge



17/08/2005



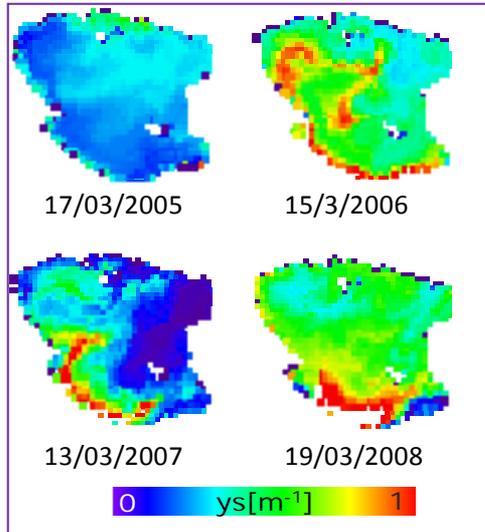
03/11/2007

Precipitazioni maggiori 30 mm nei giorni precedenti

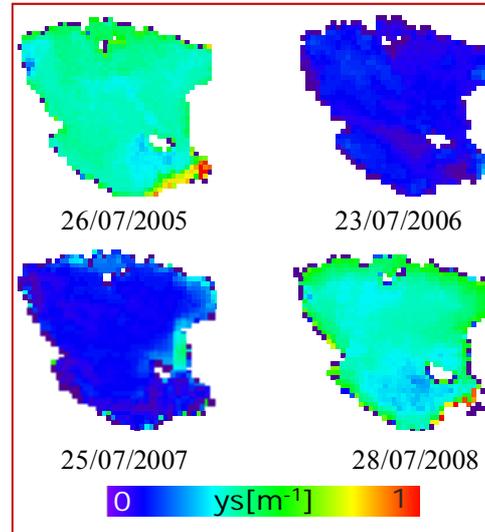
*Risultati*

Contributo delle sostanze gialle

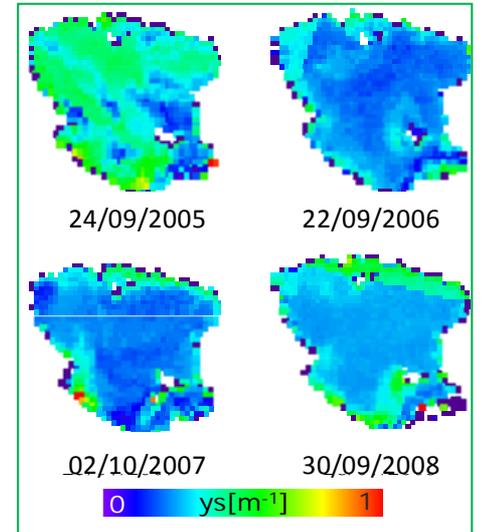
Variazioni stagionali



Primavera

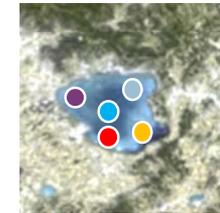
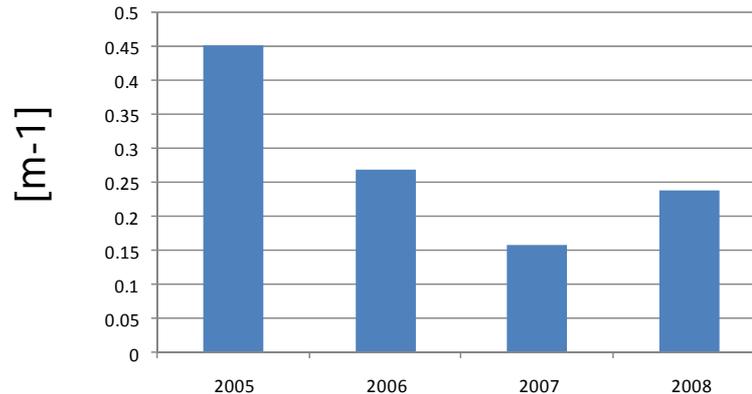


Estate



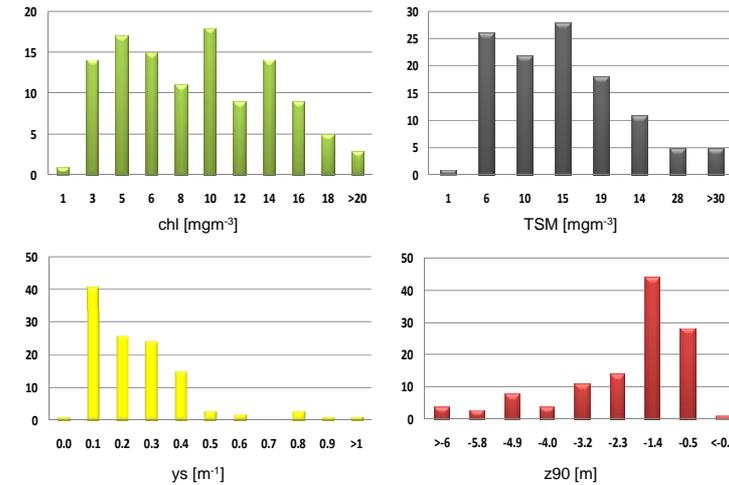
Autunno

Variazioni annuali



## Risultati

Anno	TSM [gm <sup>-3</sup> ]	chl [mgm <sup>-3</sup> ]	z90 [m]	ys [m <sup>-1</sup> ]
2005	19.1	11.6	-1.2	0.4
2006	15.3	7.9	-1.1	0.3
2007	9.6	5.6	-2.6	0.2
2008	10.5	8.6	-1.7	0.3



	A	B	C	D	E
	Livello 1	Livello 2	Livello 3	Livello 4	Livello 5
Trasparenza (m)(z90) *	>12	>6	6<x<3	3<x<1.5	<1.5
Clorofilla "a"(mg/m3) *	<1	<2.5	2.5<x<8	8<x<25	>25
TSM (corresponding Turbidity FNU-assimilated total phosphorus) **	<0.4 (<4)	0.4<x<1.2 (4<x<10)	1.2<x<5.1 (10<x<35)	5.1<x<19.6 (35<x<100)	>19.6 (>100)
ys (abs440) ***	0<x<0.5	0.5<x<1	1<x<2.3	2.3<x<7.5	>7.5
<b>PUNTEGGIO</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
* OECD (1982)					
** (Koponen et al., (2002) adattato ai limiti di fosforo OECD laghi italiani					
*** Reinart et al (2002) e Høgerslev (2001) adattati ai laghi italiani					

Somma dei singoli punteggi	Classe
4	A
5-8	B
9-12	C
13-16	D
17-20	E

Stagione	2005	2006	2007	2008
INVERNO	C	D	C	C
PRIMAVERA	C	ND	C	C
ESTATE	D	D	C	D
AUTUNNO	C	C	D	D

## *Considerazioni generali*

- Questo progetto ha dimostrato la buona integrazione dei dati satellitari con quelli limnologici per lo studio delle caratteristiche ottiche delle acque del lago Trasimeno.
- I risultati hanno evidenziato, per il quadriennio 2005-2008, l'eccessiva presenza di solidi sospesi e di clorofilla-a, con conseguente perdita di trasparenza, nelle acque del lago.
- L'uso di immagini satellitari ad alta copertura degli intervalli temporali ha permesso di evidenziare le zone ed i potenziali meccanismi di innesco delle anomalie.
- Mediamente le acque del lago risultano meso-eutrofiche.
- Fattori meteo-climatici, apporto di nutrienti, livelli delle acque condizionano fortemente la qualità delle acque.
- Interventi sul substrato (dragaggi con risospensione sedimenti) tendono a ridurre fortemente la trasparenza delle acque.
- I cianobatteri sono una grossa problematica tardo estate - inizio autunno.

## *Prospettive future*

- Analisi della serie biennale MERIS 2009-2010 per estendere la conoscenza sulla dinamica spazio/temporale dei parametri macrodescrittori di qualità delle acque.
- Analisi delle proprietà termiche del lago con particolare riguardo agli effetti delle acque immesse a lago attraverso opere di canalizzazione artificiale per aumentarne i livelli.
- Costruzione di un sistema di pubblicazione dati secondo Web-Map-Server, con la predisposizione di un catalogo per la ricerca dei dati e in formato compatibile con la direttiva UE-INSPIRE (es. [http://geoportal.irea.cnr.it:8080/geoportal/local\\_it.jsp](http://geoportal.irea.cnr.it:8080/geoportal/local_it.jsp)).
- Caratterizzazione ecologica e radiometrica dei cianobatteri.
- Utilizzo di nuove tipologie di sensori per estendere la conoscenza sulla dinamica spazio/temporale dei parametri macrodescrittori di qualità delle acque (OCM-2; PRISMA).