



Esempi di uso dati Copernicus in ARPA Lombardia: sistema Anti Incendio Boschivo (AIB) e monitoraggio della qualità dei laghi

Dario Bellingeri, Martina Grifoni

VISIONI DAL CIELO

Crescere e imparare con CLMS

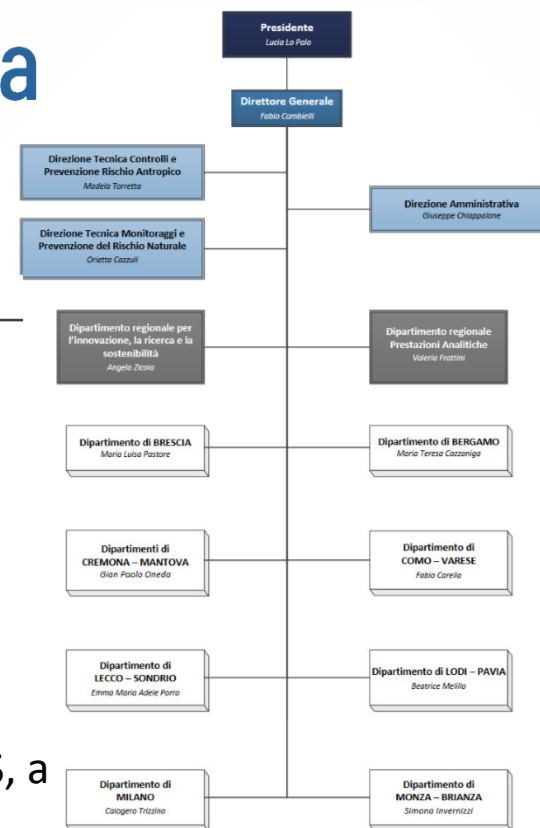
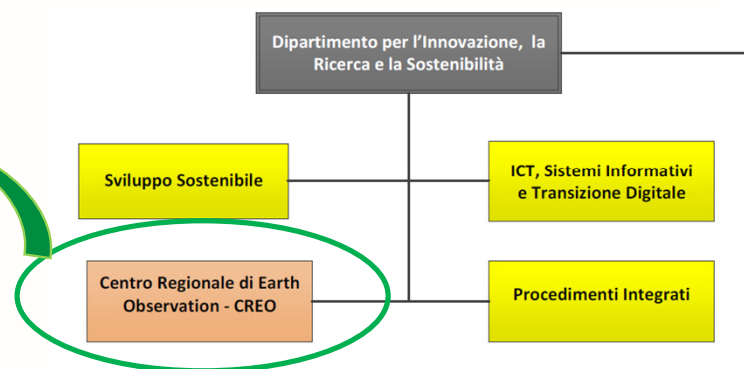


PROGRAMME OF THE
EUROPEAN UNION



Introduzione. La U.O. CREO di ARPA Lombardia

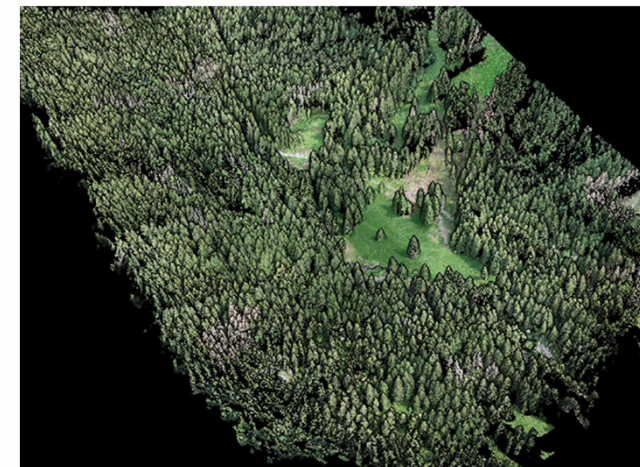
U.O. CREO - Centro Regionale di Earth Observation



Competenze e ambiti di attività:

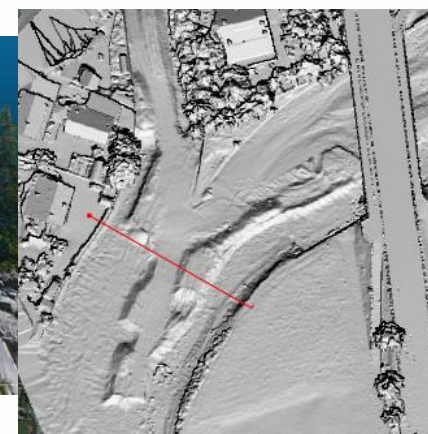
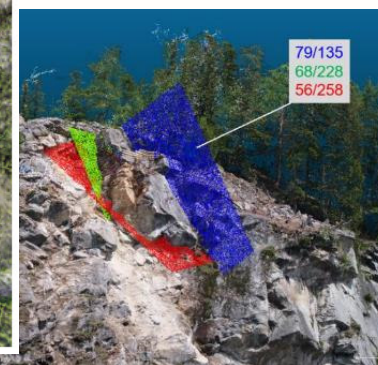
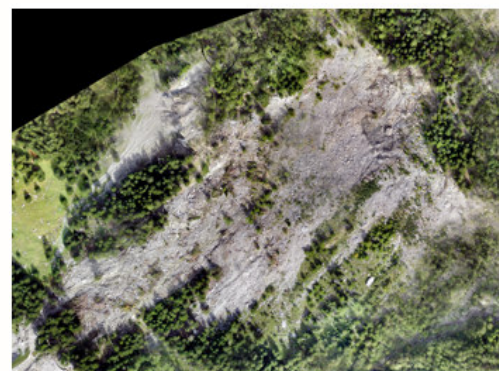
- Sviluppo di **servizi operativi** basati su strumenti di **Osservazione della Terra** e GIS, a supporto delle attività istituzionali di **monitoraggio e controllo ambientale** dell'Agenzia
- Ricerca e innovazione, test di nuove tecnologie e sviluppo metodologie basate su dati di telerilevamento acquisiti da diverse piattaforme aeree (**satellitare, aereo, drone**) o da terra.

I servizi operativi di osservazione della terra in ARPA Lombardia

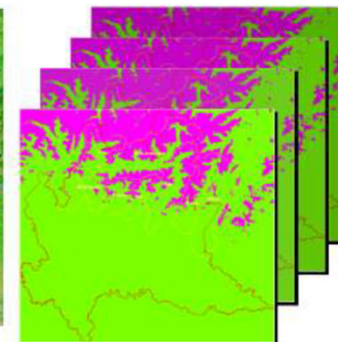


...a scala locale...:

- Supporto a controlli e ispezioni
- Monitoraggio disturbi forestali
- Monitoraggio frane e dissesti
- Idromorfologia e sedimenti fluviali
- ...

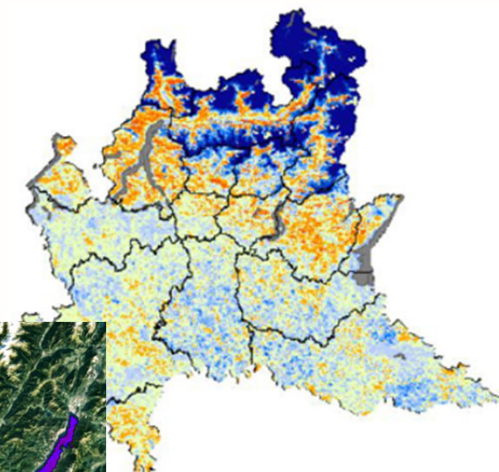
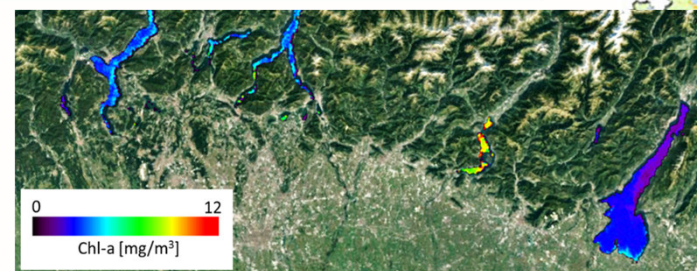
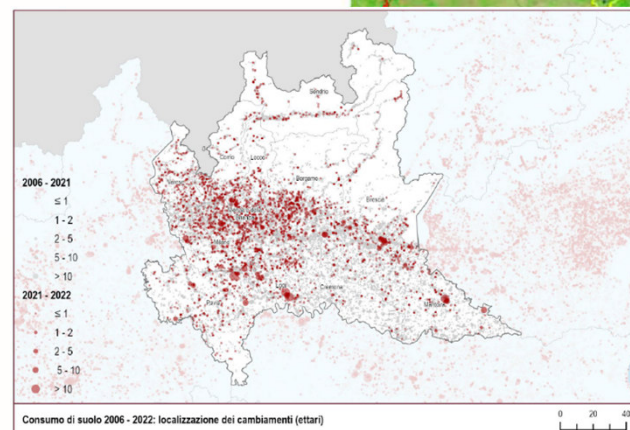


I servizi operativi di osservazione della terra in ARPA Lombardia



... a **scala regionale**...:

- Mappatura innevamento e stime SWE
- Stato vegetazione agricola e naturale
- Monitoraggio trasformazioni territoriali
- ➡ • Supporto antincendio boschivo
- Sorveglianza su vasta scala illeciti ambientali
- ➡ • Monitoraggio qualità laghi
- ..



Supporto al sistema Anti Incendio Boschivo (AIB)

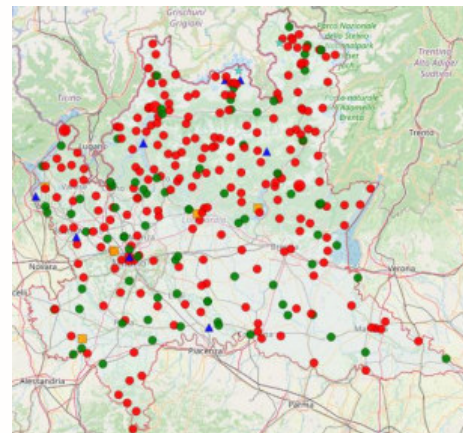


Regione
Lombardia

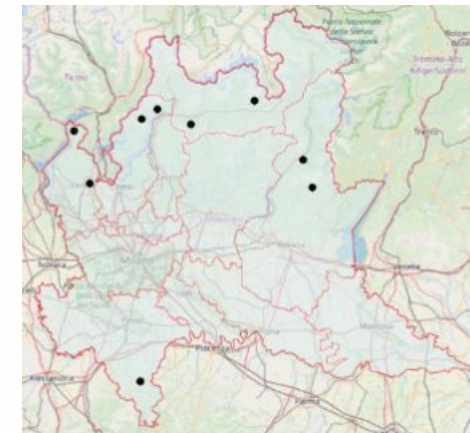
PIANO REGIONALE
DELLE ATTIVITÀ DI
PREVISIONE, PREVENZIONE E
LOTTA ATTIVA CONTRO
GLI INCENDI BOSCHIVI

IL RUOLO DI ARPA:

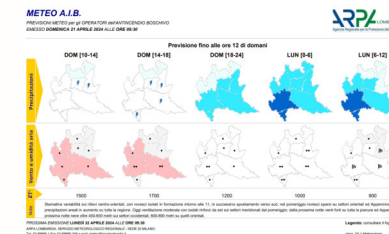
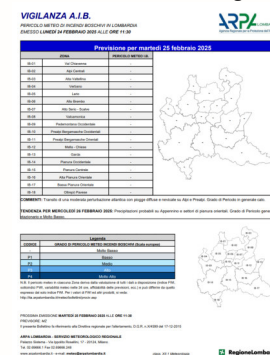
- Valutazione e previsione del pericolo meteorologico d'incendio attraverso l'indice canadese **FWI** (Fire Weather Index), adattato al contesto lombardo, e basato sulle misure delle reti di monitoraggio ARPA.
- Produzione **bollettini analitici periodici** a supporto delle decisioni: integrano dati/elaborazioni meteo e sull'umidità del combustibile fornendo un quadro di sintesi aggiornato.



Rete meteo (pluviometri, anemometri, termoisgrometri)



Sensori umidità combustibile



Bollettini periodici ARPA per il sistema AIB

Supporto al sistema Anti Incendio Boschivo (AIB)

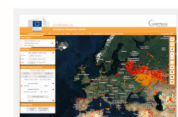
IL RUOLO DELL'OSSERVAZIONE DELLA TERRA PER L'AIB:

Welcome to EFFIS

EFFIS - European Forest Fire Information System - supports the services in charge of the protection of forests against fires in the EU and neighbor countries and provides the European Commission services and the European Parliament with updated and reliable information on wildfires in Europe. The fires mapped in EFFIS may include fires set intentionally for the purpose of vegetation management.

Since 1998, EFFIS is supported by a network of experts from the countries in what is called the Expert Group on Forest Fires, which is registered under the Secretariat General of the European Commission. Currently, this group consists of experts from 43 countries in European, Middle East and North African countries. In 2015, EFFIS became one of the components of the [Emergency Management Services](#) in the EU Copernicus program. A number of specific applications are available through EFFIS:

EFFIS applications



Current Situation Viewer

The most up to date information on the current fire season in Europe and in the Mediterranean area.

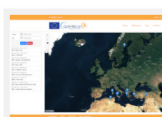
[Read more >](#)



Current Statistics Portal

Statistics are provided at national level and also for 3 groups of countries, EU, European non-EU countries, and Middle East and North Africa countries.

[Read more >](#)



Firenews

Fire news is an application that collects, geo-locates and stores in a database fire news published in the internet in all the EU and other languages, allowing the user to filter the news on the basis of geographical scope, keywords, etc.

[Read more >](#)



Long-term fire weather forecast

Monthly and seasonal forecast of temperature and rainfall anomalies that are expected to prevail over European and Mediterranean areas.

[Read more >](#)



Wildfire Risk Viewer

Wildfire Risk index for the pan-European Scale. This includes two main groups of components by considering the fire danger and the vulnerability on three categories: people, ecological, and economic values.

[Read more >](#)



Data request

Request for country totals (burnt areas & number of fires) per year, as published in the Forest Fires in Europe, North Africa and Middle East reports, and more.

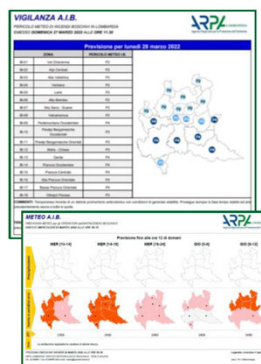
[Read more >](#)

Fonte: Centro Funzionale Monitoraggio Rischi di Regione Lombardia

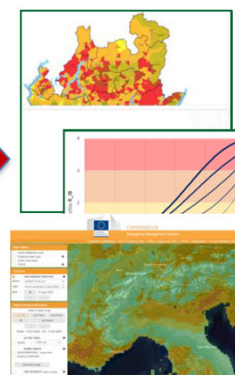


STRUMENTI PER LA VALUTAZIONE DEL RISCHIO: RISCHIO INCENDI BOSCHIVI

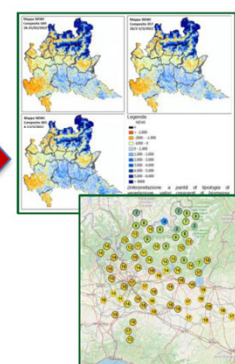
Il **CFMR** integra le previsioni di ARPA con la valutazione delle condizioni di umidità della vegetazione, della vulnerabilità territoriale e delle informazioni provenienti dal territorio. Nel caso vi siano le condizioni, attiva le modalità di allertamento previste dal sistema di protezione civile.



Bollettini e prodotti ARPA



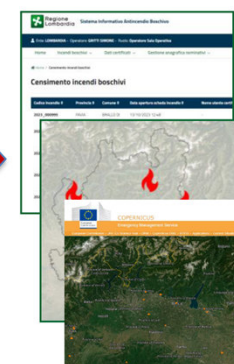
Suscettività e calcolo matrice



Umidità (Sentinel 3) e monitoraggio meteo



Stato vegetazione e copertura nevosa



Situazione e segnalazioni dal territorio



Supporto al sistema Anti Incendio Boschivo (AIB)

METEOROLOGIA AIB

EMESSIO GIOVEDÌ 19 MARZO 2026 ALLE ORE 12:30
A: REGIONE LOMBARDIA - UNITA' ORGANIZZATIVA PROTEZIONE

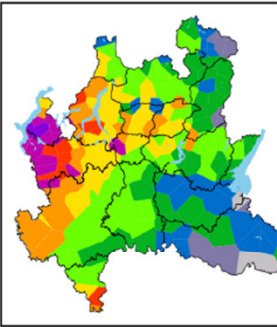
Condizioni meteorologiche e pericolo di incendi boschivi

Analisi meteorologica ultimi 7 giorni

I primi giorni del periodo in esame sono stati caratterizzati dal transito di uno, più intenso, tra sabato e domenica. In questo ultimo passaggio registrate precipitazioni da moderate a forti, molto forti sul Varesotto Svizzera è temporaneamente sovrapposta a quote collinari. A valle del transito rinforzo del vento da nord e brevi episodi favorevoli nelle valli. Mercoledì sull'Europa orientale che parzialmente ha influenzato la Lombardia più significative. Le temperature non hanno subito variazioni significative, i perturbati: lo zero termico ha oscillato negli ultimi giorni tra 1500 e 2200 percentuale di territorio innevato, sulla base della classificazione di composite, basato su date precedenti agli ultimi apporti nevosi, eviti dell'innevamento, in particolare alle medie quote. Le precipitazioni diffuse boschivi in particolare sui settori occidentali, hanno aumentato la per disomogenea sulla regione.

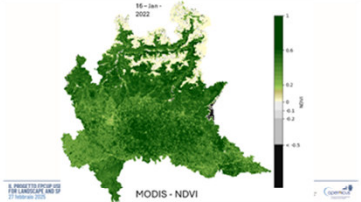
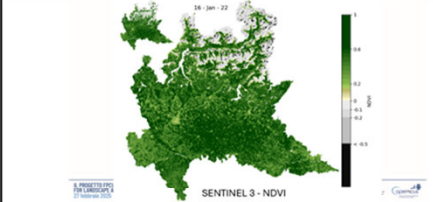
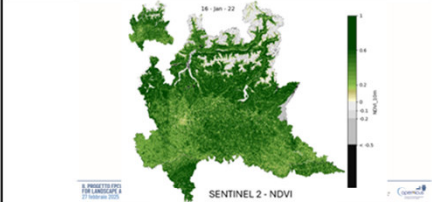
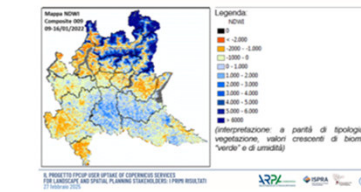
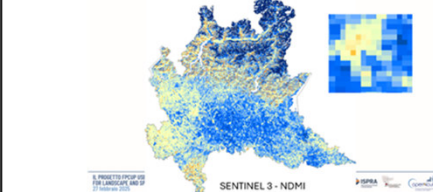
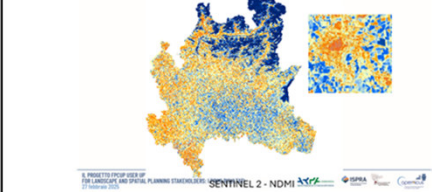
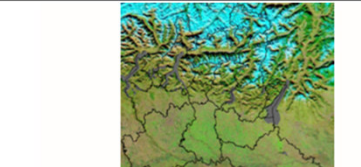

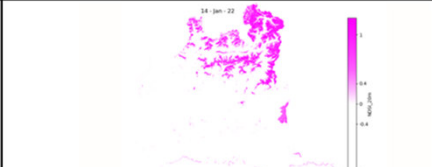
N.B. Per l'analisi dell'intero periodo autunno-invernale si veda il bollettino settimanale.

Precipitazioni su Zona AIB
20260312-->20260319



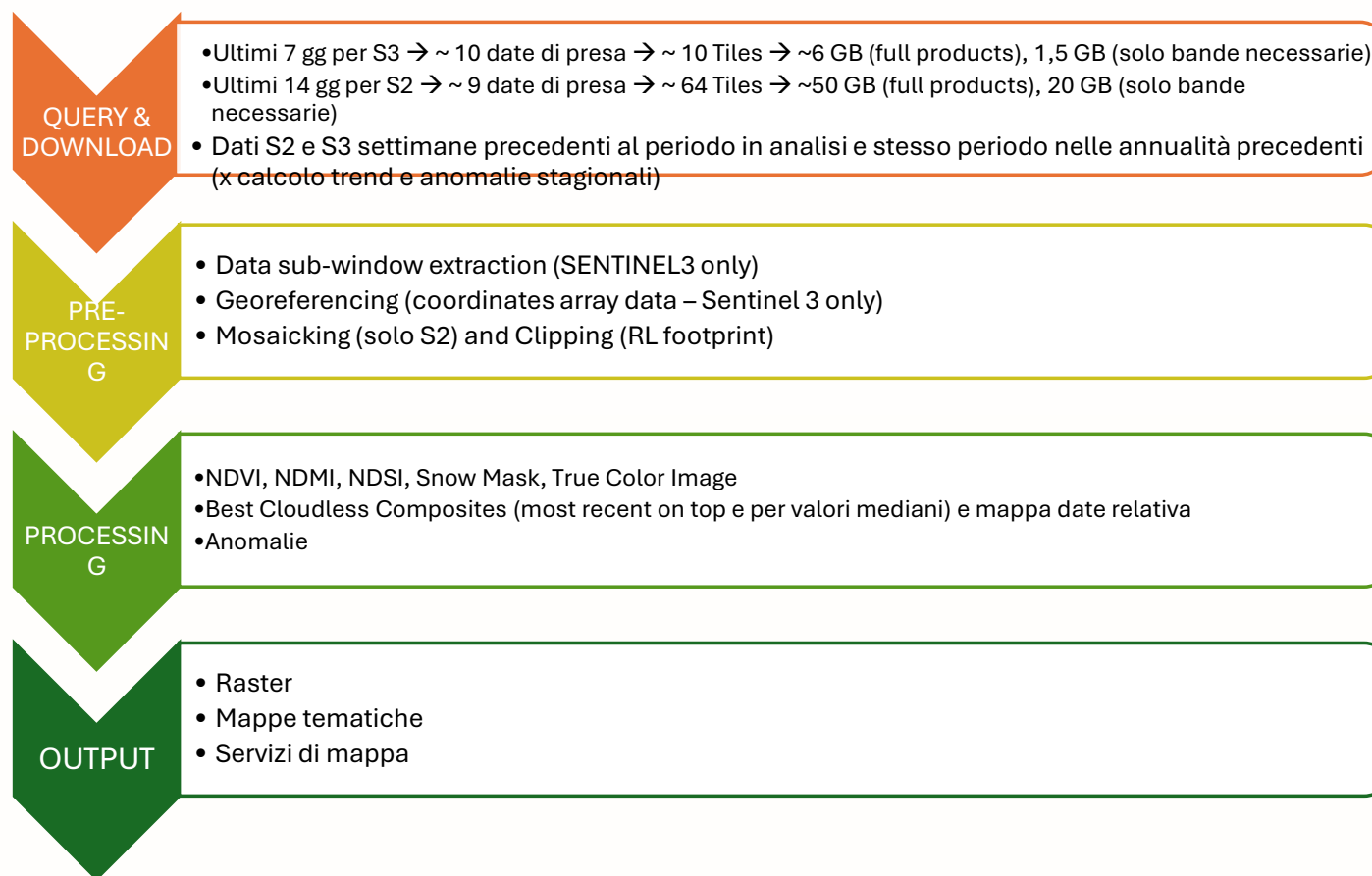
Supporto al sistema Anti Incendio Boschivo (AIB)

Intesi dati in input e prodotti:

Index	MODIS MODIS bands specifications Prodotto MOD09A1	Sentinel-3 S3-SYN bands specifications Composite settimanale	Sentinel-2 S2-MSI bands specifications Composite bi-settimanale
NDVI (Normalized Difference V egetation Index)			
NDMI (Normalized Difference M oisture Index)			
NDSI/SnowMask (Normalized Difference S now Index)			

Supporto al sistema Anti Incendio Boschivo (AIB)

Sintesi del workflow di produzione dei composite periodici dai dati Copernicus:



Supporto al sistema Anti Incendio Boschivo (AIB)

Recenti attività di approfondimento metodologico ARPA - CNR nell'ambito del Piano AIB 2025



Relazione attività D1

Algoritmi per la mappatura della copertura nevosa da dati satellitari

Relazione attività D2

Analisi statistica indici spettrali da satellite

Relazione attività D3

Studio di rappresentatività dei dati areali e puntuali disponibili

L'attività di ricerca è finalizzata alla definizione di un approccio metodologico per la generazione di mappe settimanali di indici di vegetazione ad alta risoluzione spaziale. L'obiettivo principale è fornire uno strumento affidabile per la valutazione dello stato di salute e umidità della vegetazione montana, indicatore fondamentale per il monitoraggio del rischio di incendio boschivo (AIB).

Supporto al sistema Anti Incendio Boschivo (AIB)

Recenti attività di approfondimento metodologico ARPA - CNR nell'ambito del Piano AIB 2025



Relazione attività D2
Analisi statistica indici spettrali da
satellite

Dataset e Pre-processing

Il lavoro ha utilizzato una "costellazione virtuale" di dati satellitari che integra immagini ad alta risoluzione spaziale (30 m) del prodotto **NASA-HLS** (Harmonized Landsat Sentinel-2) e immagini a media risoluzione (300 m) **Sentinel-3 (S3-SYN)**. Per ogni sensore sono stati calcolati gli indici **NDVI** (vigore vegetativo) e **NDMI** (contenuto idrico). La metodologia ha previsto una rigorosa fase di co-registrazione spaziale e l'applicazione di maschere statiche e dinamiche per escludere nubi, neve e ombre topografiche, queste ultime identificate come principale fonte di incertezza del segnale radiometrico nelle immagini satellitari nelle aree montane.

Supporto al sistema Anti Incendio Boschivo (AIB)

Recenti attività di approfondimento metodologico ARPA - CNR nell'ambito del Piano AIB 2025



Relazione attività D2
Analisi statistica indici spettrali da
satellite

Analisi di coerenza tra indici omologhi (S2 vs. S3)

Valutazione della coerenza statistica tra gli indici di vegetazione generati da dati Sentinel-3 (S3-SYN) e Sentinel-2 (HLS). I risultati evidenziano un'ottima correlazione globale tra indici omologhi (NDVI e NDMI), a conferma della possibilità di integrare i due sensori per migliorare la risoluzione temporale del monitoraggio. Tale analisi ha permesso di definire dei coefficienti di calibrazione (*adjustment coefficients*), che sono indispensabili per armonizzare le serie temporali di indici generate da sensori differenti e che garantiscono la continuità temporale dell'osservazione nell'applicazione di procedure di *data fusion* (i.e., integrazione di dati provenienti da diversi sensori e piattaforme satellitari).

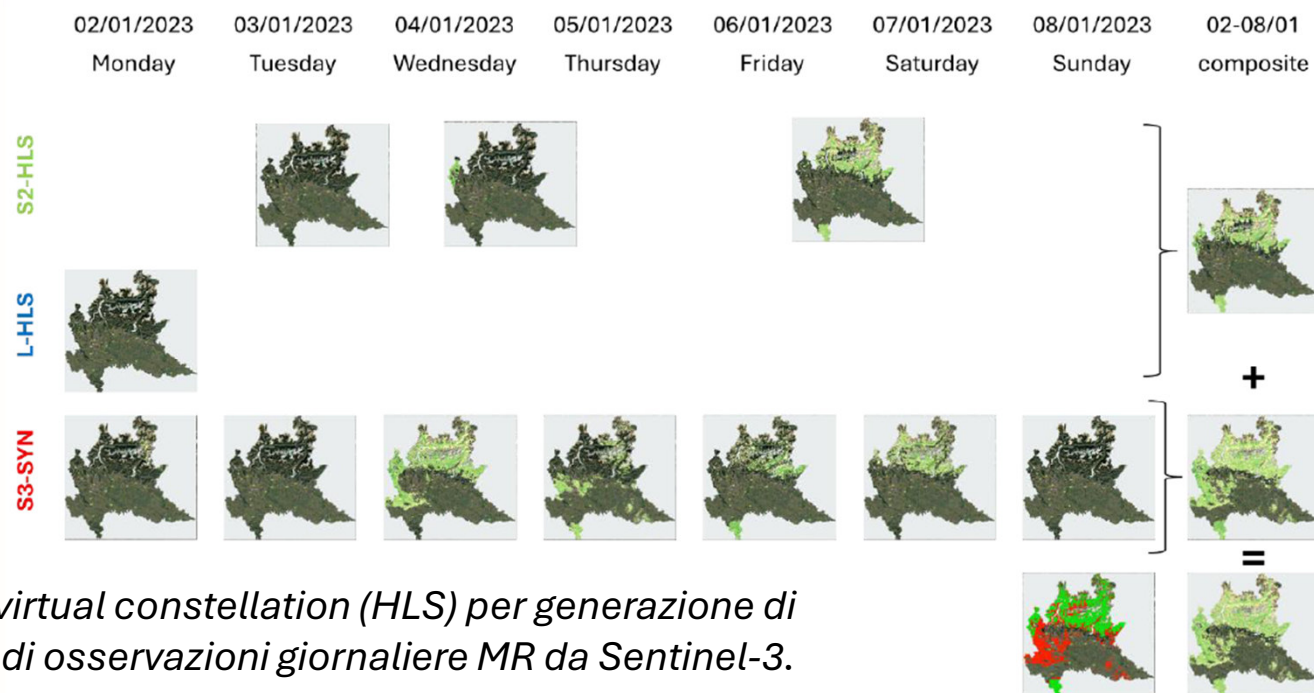
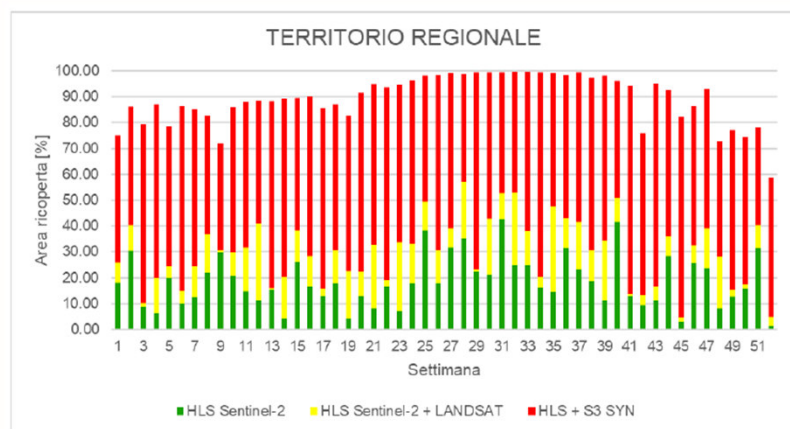
Analisi di correlazione con variabili meteorologiche

E' stata indagata la relazione tra serie temporali di indici spettrali (NDVI, NDMI) e di variabili meteorologiche (temperatura media, precipitazioni cumulate e umidità relativa) sulla base dei prodotti meteorologici spazializzati forniti da ARPA Lombardia.

Supporto al sistema Anti Incendio Boschivo (AIB)

Recenti attività di approfondimento metodologico ARPA - CNR nell'ambito del Piano AIB 2025

Statistiche settimanali della percentuale di copertura regionale osservata con dati satellitari ad alta risoluzione (HLS – Sentinel-2 & Landsat) e media risoluzione (Sentinel-3).



Valore aggiunto dell'utilizzo di virtual constellation (HLS) per generazione di composite di dati HR e contributo di osservazioni giornaliere MR da Sentinel-3.

Supporto al sistema Anti Incendio Boschivo (AIB)

Recenti attività di approfondimento metodologico ARPA - CNR nell'ambito del Piano AIB 2025



Proposta e sperimentazione di una metodologia per la gestione dei dati mancanti.

Per risolvere il problema della discontinuità del dato satellitare, causata principalmente dalla copertura nuvolosa e dalla frequenza di acquisizione dei sensori, il progetto propone un approccio *multi-stage* articolato su tre livelli di integrazione

Relazione attività D2 Analisi statistica indici spettrali da satellite

Generating Weekly NDVI Images for the Lombardy Region

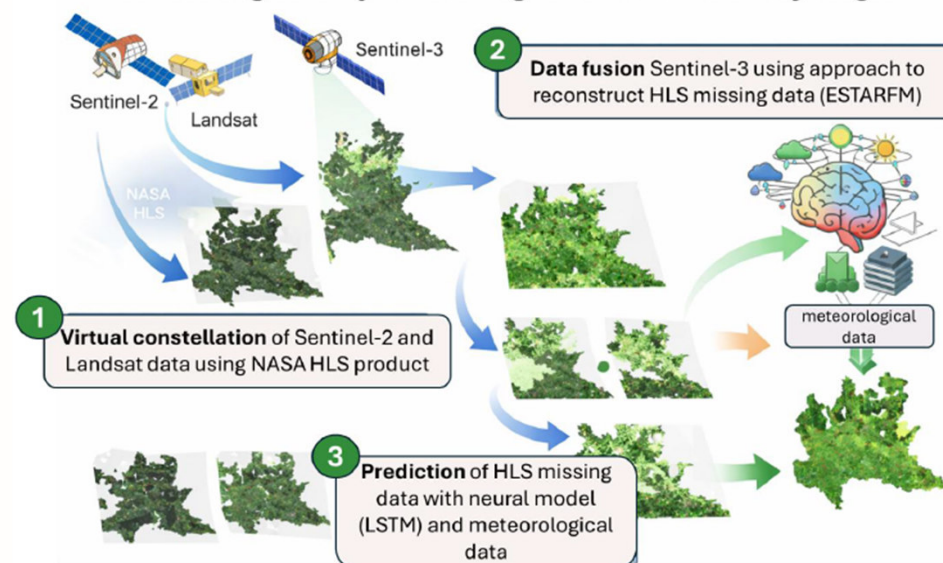
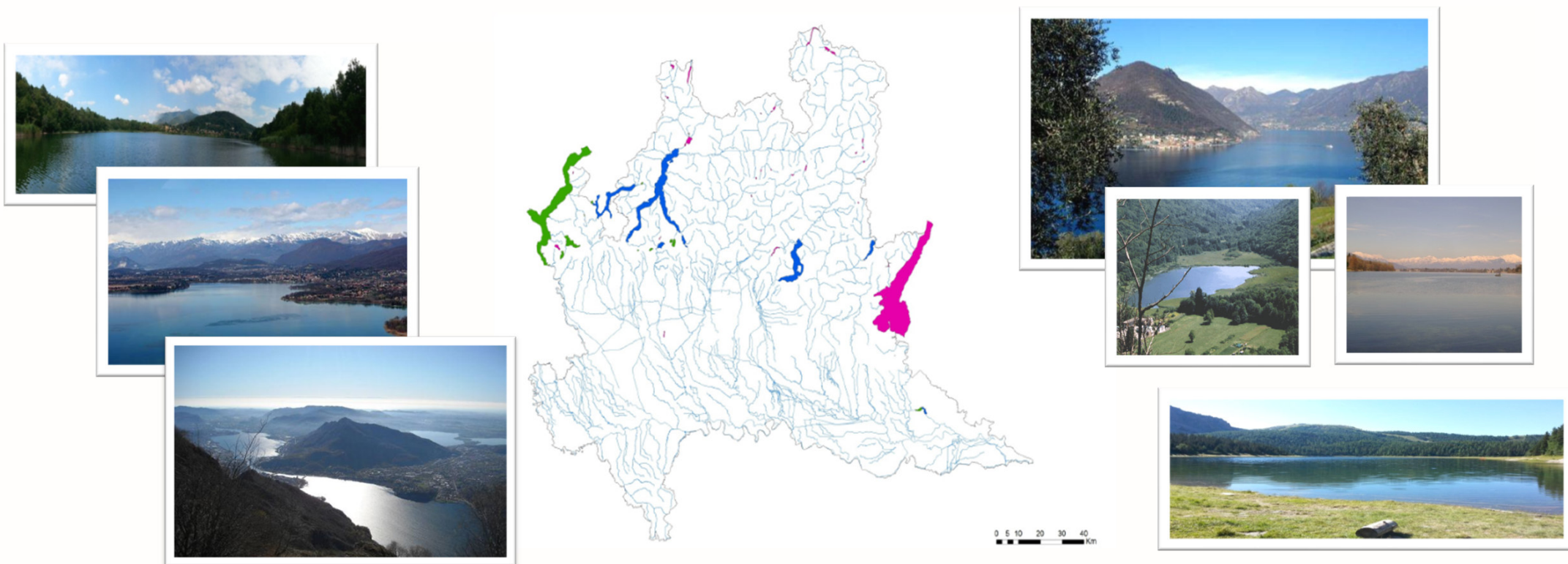


Figura 19: L'approccio in tre fasi identificato per la generazione di mappe di indici di vegetazione settimanali. 1) uso di virtual constellation, 2) fusione di dati giornalieri a media risoluzione (S3-SYN) e ad alta risoluzione (HLS) e 3) predizione di dati mancanti con modello neurale e dati meteorologici.

Supporto al monitoraggio della qualità delle acque lacustri

La Lombardia è la regione italiana più ricca di laghi, sia in termini di superficie (40% del totale) che di volume (65%)

La rete di monitoraggio prevista secondo la Direttiva 200/60/CE è composta, per i corpi idrici lacustri, da 42 stazioni collocate su 40 corpi idrici



Supporto al monitoraggio della qualità delle acque lacustri

Accordo Quadro di Sviluppo Territoriale Lago di Varese

Scopo principale: risanamento delle acque inquinate del lago di Varese e del suo bacino imbrifero, ai fini della **tutela dell'ambiente** e della **biodiversità**

Scopo secondario: miglioramento della fruizione della risorsa per i diversi usi tra i quali la **balneazione**, la **pesca** e la **navigazione**

Programma d'azione:

- ✓ **6 Macroazioni**, correlate alle tipologie di attività per raggiungere gli obiettivi fissati
- ✓ **Azioni** – Soggetto Coordinatore
- ✓ **Attività** – Soggetto Attuatore



Supporto al monitoraggio della qualità delle acque lacustri

Accordo Quadro di Sviluppo Territoriale Lago di Varese



Macroazione B: Monitoraggio dello stato delle acque del lago e del suo emissario e loro evoluzione

Azione B.1: Monitoraggio della qualità delle acque del lago e suo immissario

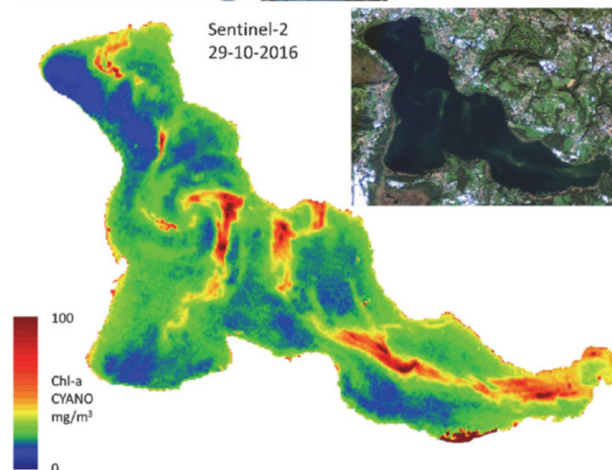
Attività B.1.5: Telerilevamento satellitare per il monitoraggio delle caratteristiche fisiche delle acque e dello sviluppo di macrofite acquatiche e di cianobatteri

Dati da telerilevamento - Cianobatteri



Le immagini provenienti da telerilevamento permettono di ottenere informazioni per l'analisi spazio-temporale dei cianobatteri.

I cianobatteri presentano una grande dinamicità e condizionano la qualità delle acque dei nostri laghi. I cambiamenti climatici e gli impatti antropici stanno fortemente condizionando l'aumento sia di frequenza sia d'intensità delle fioriture di cianobatteri nelle acque (vedi sezione Fioriture algali).



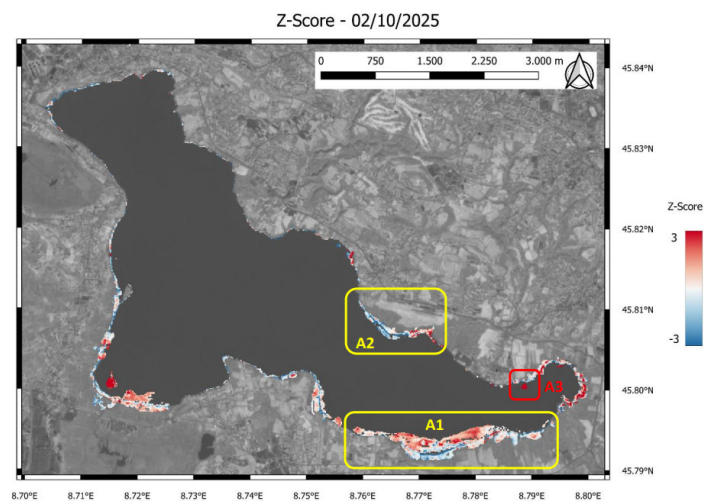
Supporto al monitoraggio della qualità delle acque lacustri

Accordo Quadro di Sviluppo Territoriale Lago di Varese

Estratto da uno dei recenti bollettini del 10/2025 (a cura del CNR - IREA, Milano)

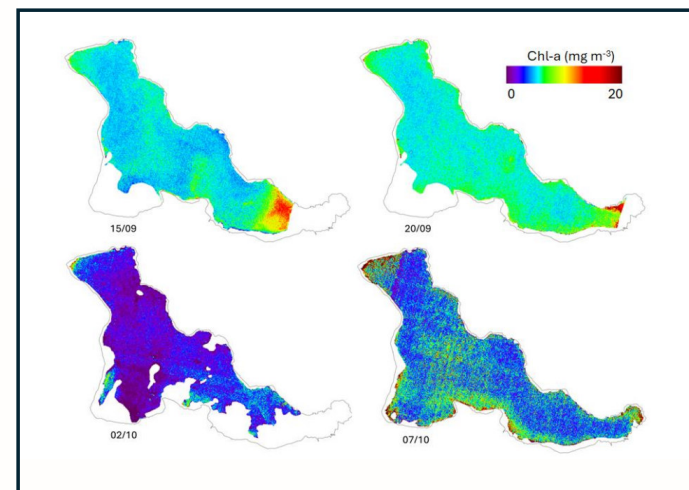


Monitoraggio stato vegetazione acquatica



Mappa delle anomalie di WAVI (proxy spettrale della densità di vegetazione acquatica) per il Lago di Varese derivate da dati Sentinel-2 aggiornate al 02/10/2025

Monitoraggio stato fitoplancton



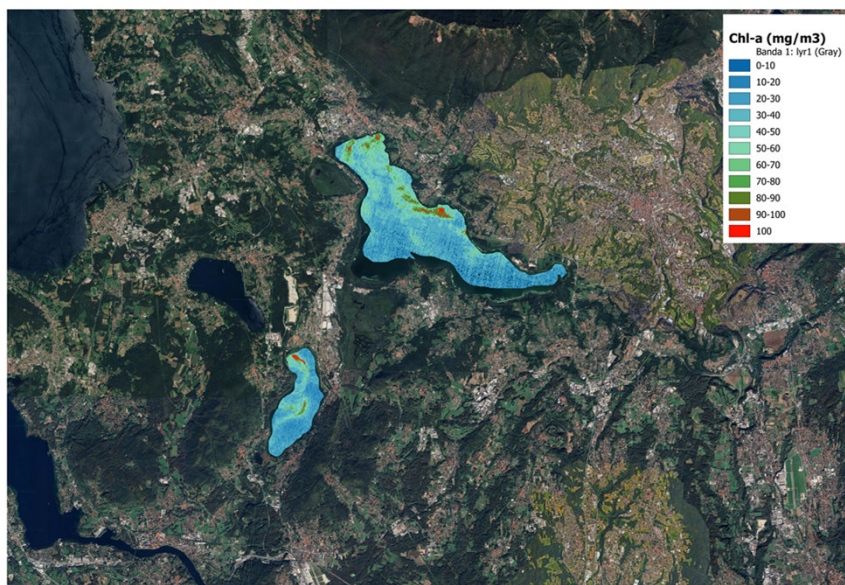
Mappe di concentrazione di Clorofilla-a (Chl-a) del 15/09, 20/09/, 02/10 e 07/10/2025 per il Lago di Varese

Supporto al monitoraggio della qualità delle acque lacustri

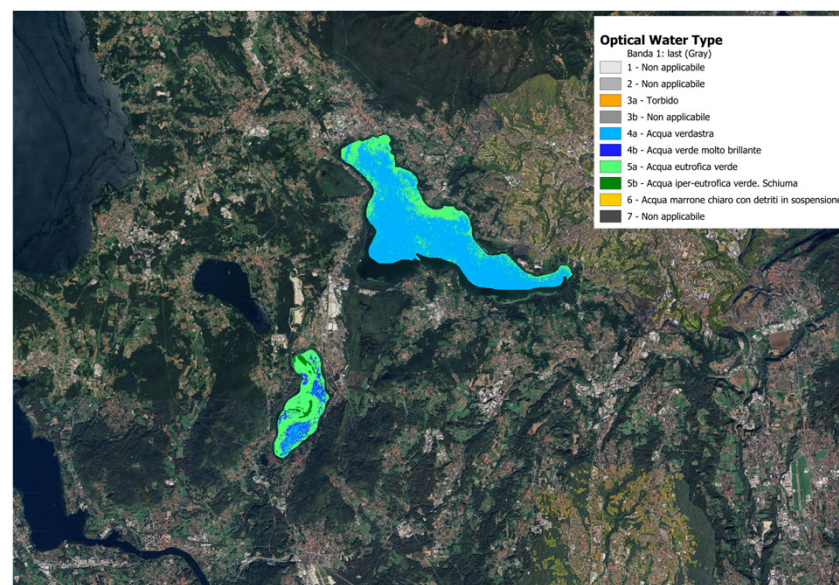
I dati di Osservazione della Terra possono integrare il monitoraggio tradizionale *in situ*

La U.O. CREO supporta la U.O. Monitoraggi Laghi **nell'analisi e nella comprensione dell'andamento delle fioriture algali**, attraverso la produzione di mappe tematiche di **clorofilla** e **Optical Water Type** (- OWT - classificazione delle acque basata sulle loro proprietà ottiche)

Clorofilla (Chl-a)



Optical Water Type



Queste informazioni possono fornire indicazioni utili per la pianificazione di campagne di campionamento *in situ*

Supporto al monitoraggio della qualità delle acque lacustri

I dati di Osservazione della Terra possono integrare il monitoraggio tradizionale *in situ*

La U.O. CREO **analizza periodicamente immagini satellitari** relative ad alcuni **laghi della Regione Lombardia**, svolgendo approfondimenti su richiesta della U.O. Monitoraggi Laghi, in funzione della disponibilità dei dati (copertura nuvolosa, passaggi satelliti,...)

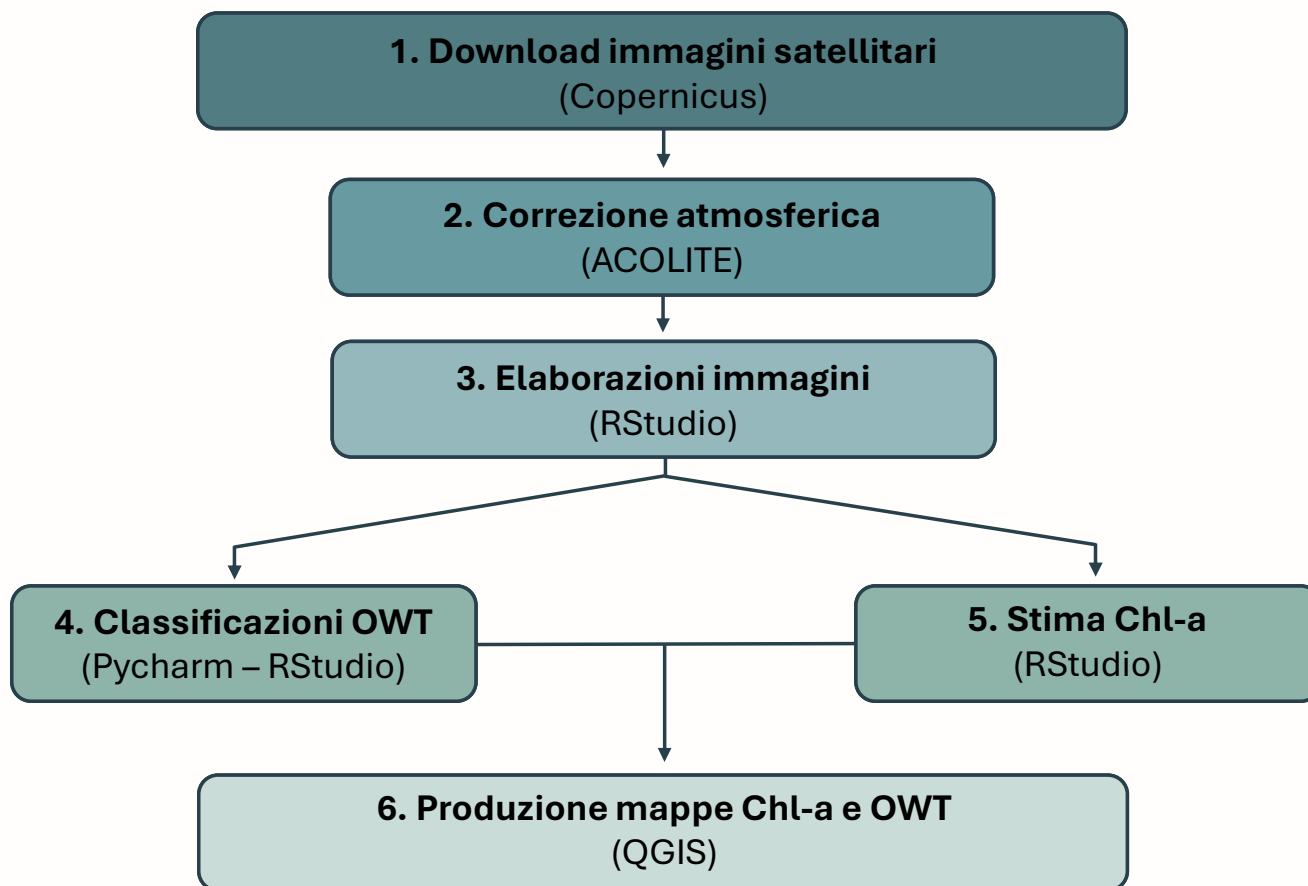
Laghi Regione Lombardia:

- ✓ Lago Varese
- ✓ Lago Comabbio
- ✓ Lago Montorfano
- ✓ Lago Alserio
- ✓ Lago Pusiano
- ✓ Lago Annone
- ✓ Lago Segrino
- ✓ Lago Sartirana



Supporto al monitoraggio della qualità delle acque lacustri

Workflow per la produzione delle mappe tematiche



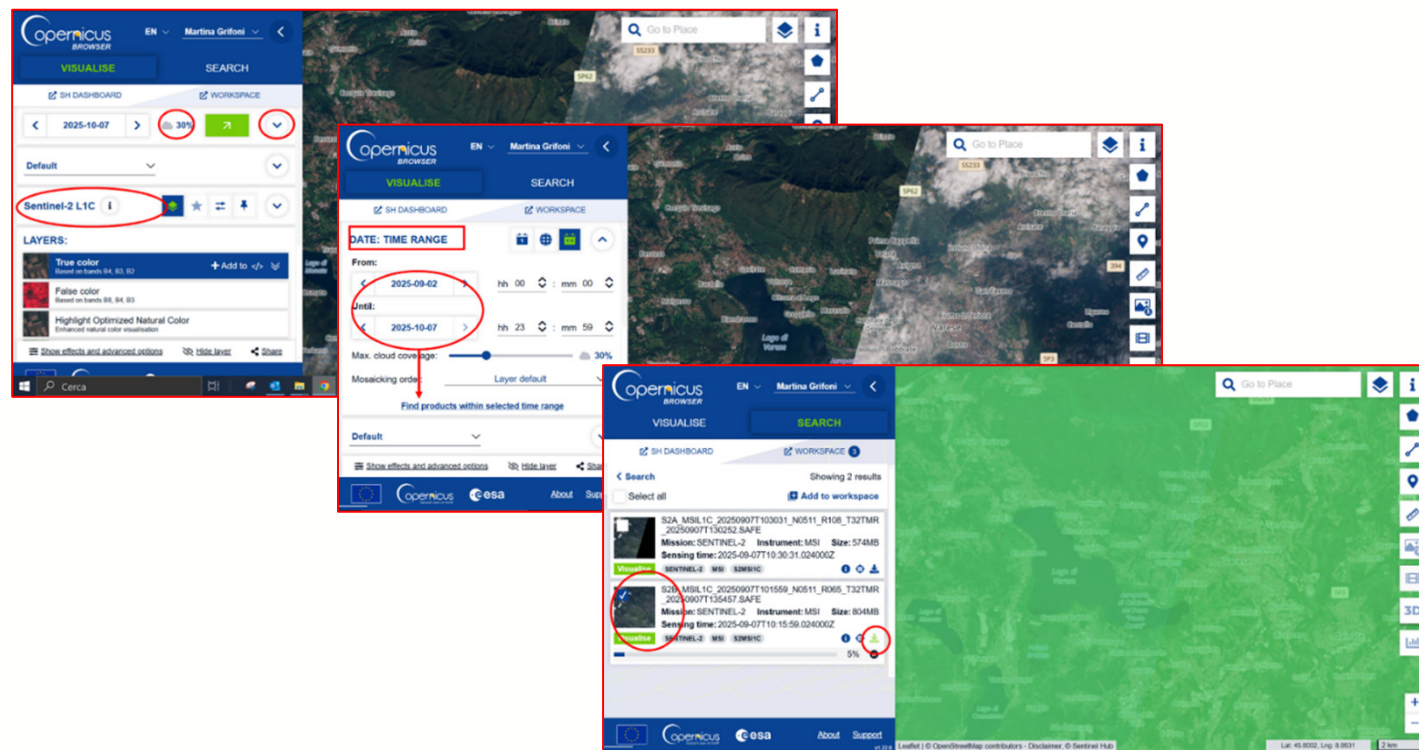
Supporto al monitoraggio della qualità delle acque lacustri

Workflow

1. Download immagini satellitari – Copernicus Data Space Browser (<https://browser.dataspace.copernicus.eu/>)

Requisiti delle immagini:

- Copertura completa del lago di interesse
- Sensore: Sentinel-2 L1C
- Satelliti ammessi: S2A o S2B
- Copertura nuvolosa: 30%-70%
- Range temporale di interesse
- Selezione immagine disponibile di buona qualità



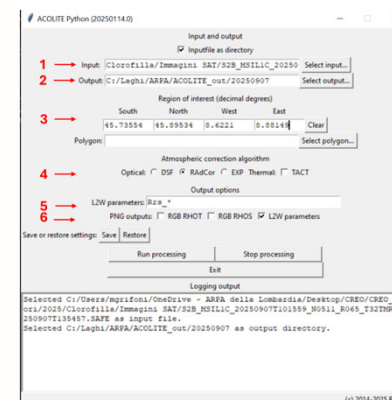
Passaggi per la ricerca e il download delle immagini satellitari

Supporto al monitoraggio della qualità delle acque lacustri

Workflow

2. Correzione atmosferica - ACOLITE

ACOLITE: Software di elaborazione usato per la correzione atmosferica delle immagini satellitari ottiche. Permette la rimozione dei disturbi causati dall'atmosfera e isolare il segnale reale proveniente dall'acqua

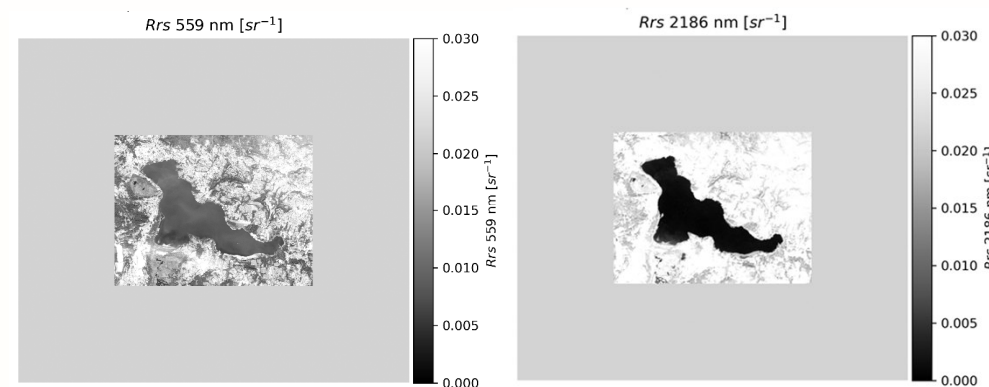


Schermata di ACOLITE – Avvio della correzione atmosferica

I dati di radianza (TOA) vengono convertiti in **riflettanza della superficie o dell'acqua**, eliminando effetti che alterano i colori reali dell'acqua:

- aerosol e molecole dell'atmosfera
- diffusione della luce
- riflessione della superficie
- riflessi solari

Rimozione dell'effetto adiacenza: riduce l'influenza della luce riflessa dalla terraferma vicina sulle acque costiere



Esempi di prodotti ACOLITE ottenuti dal software

La riflettanza ottenuta è utile per analisi ambientali come: qualità delle acque, torbidità, clorofilla, sedimenti sospesi

Supporto al monitoraggio della qualità delle acque lacustri

Workflow

3. Elaborazioni immagini – RStudio

```
127 ~ if (!st_crs(aoi) == crs(s2_stack)) {  
128   aoi_vect <- vect(st_transform(aoi, crs(s2_stack)))  
129 ~ }  
130  
131 # Clip  
132 s2_clipped <- mask(crop(s2_stack, aoi_vect), aoi_vect)  
133  
134 # Define output path  
135 output_file <- file.path(output_dir, paste0(base, "_stacked.tif"))  
136  
137 # Save  
138 writeRaster(s2_clipped, output_file, overwrite = TRUE)  
139 cat("Saved:", output_file, "\n")  
140 ~ }  
141  
142  
143 ~
```

```
+ s2_clipped <- mask(crop(s2_stack, aoi_vect), aoi_vect)  
+  
+ # Define output path  
+ output_file <- file.path(output_dir, paste0(base, "_stacked.tif"))  
+  
+ # Save  
+ writeRaster(s2_clipped, output_file, overwrite = TRUE)  
+ cat("Saved:", output_file, "\n")  
+ }  
Stacking and clipping for: S2B_MSI_2021_11_07_10_28_18_T32TMR_L2W  
Saved: C:/Laghi/ARPA/Script_out_I - Rrs stacked/S2B_MSI_2021_11_07_10_28_18_T32TMR_L2W_stacked.tif  
> cat("Layer stacking and clipping complete for all scenes.\n")  
Layer stacking and clipping complete for all scenes.  
>  
>
```

Schermata di RStudio – con esempio di script dello Step I

Step I: Layer Stacking

Combinazione delle bande satellitari (es. blu, verde, rosso, NIR) in un unico **raster multi-banda**

Step II: Raster to CSV

Conversione del raster multi-banda in **tabella CSV**, in cui ogni riga è un pixel e le colonne sono le bande

Supporto al monitoraggio della qualità delle acque lacustri

Workflow

4. Classificazione OWT – PyCharm - RStudio

Step III: PyCharm

Algoritmi di classificazione per assegnazione di un **Optical Water Type** a ogni pixel del raster

```
import pandas as pd
from pywt.optical import OpticalVariables
from pywt.optical import OWT
import os
import numpy as np
from pywt.plot import PlotDir, PlotSpec
import matplotlib
matplotlib.use('agg') # set non-interactive backend
import matplotlib.pyplot as plt

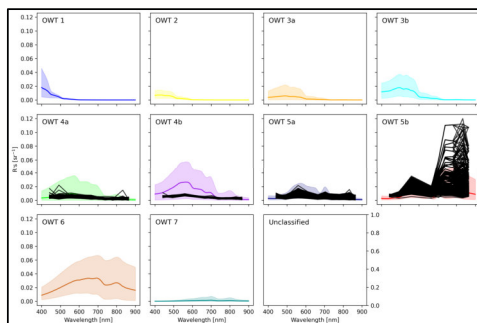
# Define input and output directories
input_folder = "C:/Laghi/ARPA/Script_Out_III - csv files" # folder with CSV files from Script II
output_plot_dir = "C:/Laghi/ARPA/Script_Out_III - csv + plots/Plots" # output folder (plots)
output_csv_dir = "C:/Laghi/ARPA/Script_Out_III - csv + plots/CSV" # output folder (CSV)

# Create output directories if they don't exist
os.makedirs(output_plot_dir, exist_ok=True)
os.makedirs(output_csv_dir, exist_ok=True)

# Loop through all CSV files in the input folder
for file_name in os.listdir(input_folder):
    if file_name.endswith(".csv"):
        input_file_path = os.path.join(input_folder, file_name)

        # Load data and reshape
        ob = pd.read_csv(input_file_path)
```

Schermata di Pycharm – con esempio di script dello Step III

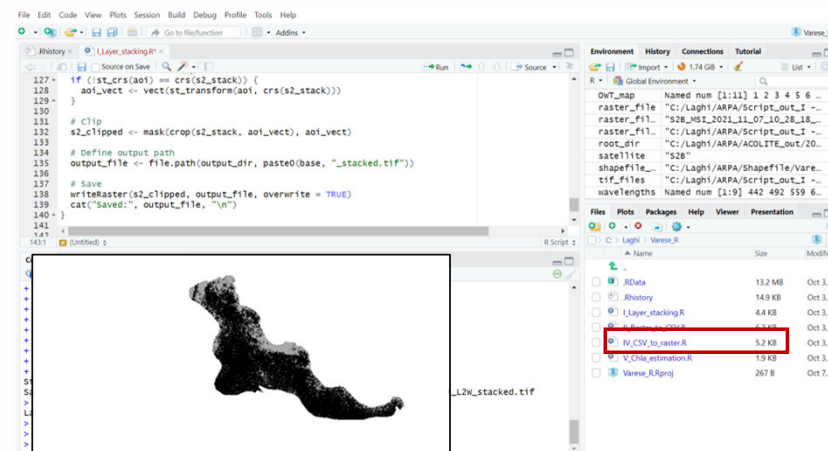


Plot prodotti nello Step III

Produzione di un **nuovo CSV** da trasformare in raster con Rstudio e **Plots** per analisi statistica visiva (istogrammi, scatter plot, boxplot e correlazioni)

Step IV: CSV to Raster – Optical Water Type

Calcolo dei parametri OWT sul CSV, e trasformazione in nuovo raster con i tipi di acqua ottica



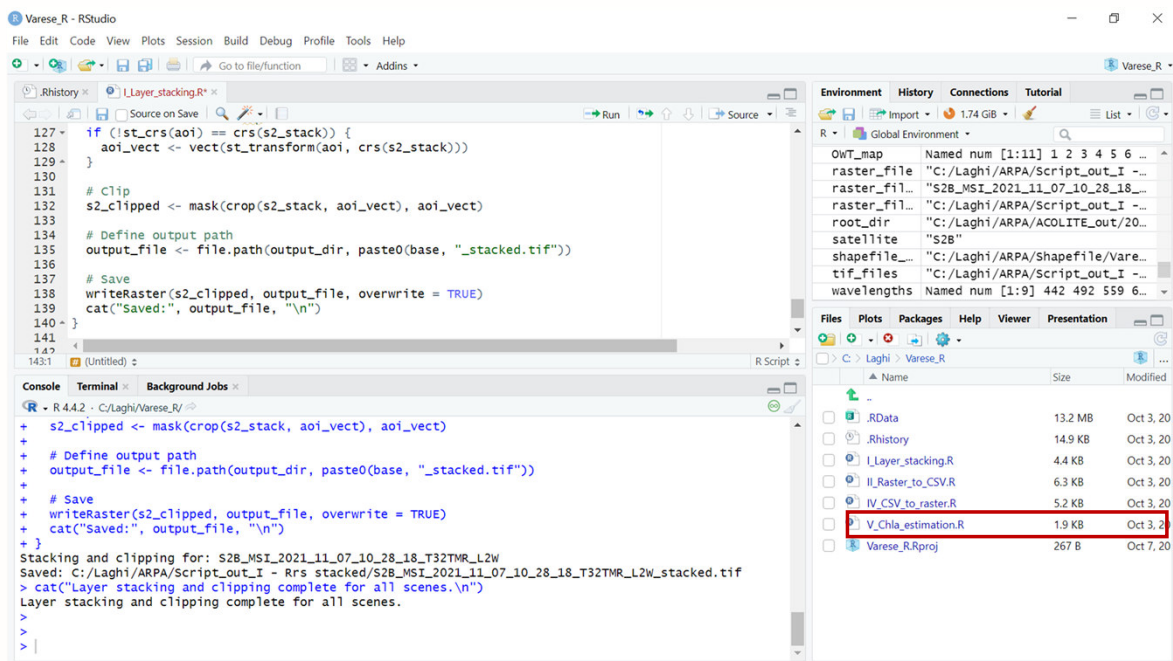
Schermata di RStudio – con esempio di script dello Step IV

Raster prodotto nello Step IV

Supporto al monitoraggio della qualità delle acque lacustri

Workflow

5. Stima Chla-a – RStudio



The screenshot shows the RStudio interface. The script editor contains R code for processing satellite data. The Environment pane on the right shows the objects created during the process, with 'V_Chla_estimation.R' highlighted. The console shows the execution output.

```
127 ~ if (!st_crs(aoi) == crs(s2_stack)) {  
128 ~   aoi_vect <- vect(st_transform(aoi, crs(s2_stack)))  
129 ~ }  
130 ~  
131 ~ # Clip  
132 ~ s2_clipped <- mask(crop(s2_stack, aoi_vect), aoi_vect)  
133 ~  
134 ~ # Define output path  
135 ~ output_file <- file.path(output_dir, paste0(base, "_stacked.tif"))  
136 ~  
137 ~ # Save  
138 ~ writeRaster(s2_clipped, output_file, overwrite = TRUE)  
139 ~ cat("Saved:", output_file, "\n")  
140 ~ }  
141 ~  
142 ~  
143 ~
```

Environment pane:

Object	Class	Attributes
OwT_map	Named num	[1:11] 1 2 3 4 5 6 ...
raster_file	Character	"C:/Laghi/ARPA/Script_out_I - ..."
raster_fil...	Character	"S2B_MSI_2021_11_07_10_28_18_...
raster_fil...	Character	"C:/Laghi/ARPA/Script_out_I - ..."
root_dir	Character	"C:/Laghi/ARPA/ACOLITE_out/20...
satellite	Character	"S2B"
shapefile...	Character	"C:/Laghi/ARPA/Shapefile/Vare...
tif_files	Character	"C:/Laghi/ARPA/Script_out_I - ..."
wavelengths	Named num	[1:9] 442 492 559 6...

Console output:

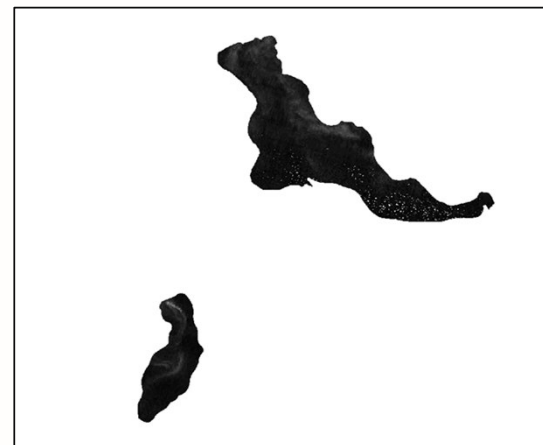
```
R - R 4.4.2 - C:/Laghi/Varese_R/  
+ s2_clipped <- mask(crop(s2_stack, aoi_vect), aoi_vect)  
+ # Define output path  
+ output_file <- file.path(output_dir, paste0(base, "_stacked.tif"))  
+ # Save  
+ writeRaster(s2_clipped, output_file, overwrite = TRUE)  
+ cat("Saved:", output_file, "\n")  
+ }  
Stacking and clipping for: S2B_MSI_2021_11_07_10_28_18_T32TMR_L2W  
Saved: C:/Laghi/ARPA/Script_out_I - Rrs stacked/S2B_MSI_2021_11_07_10_28_18_T32TMR_L2W_stacked.tif  
> cat("Layer stacking and clipping complete for all scenes.\n")  
Layer stacking and clipping complete for all scenes.  
>  
>
```

Schermata di RStudio – con esempio di script dello Step V

Step V: Chla Estimation

Calcolo della **concentrazione di clorofilla-a** per ogni pixel usando algoritmi basati sui rapporti spettrali

Produzione di un raster **finale di Chl-a**



Raster prodotto nello Step V

Supporto al monitoraggio della qualità delle acque lacustri

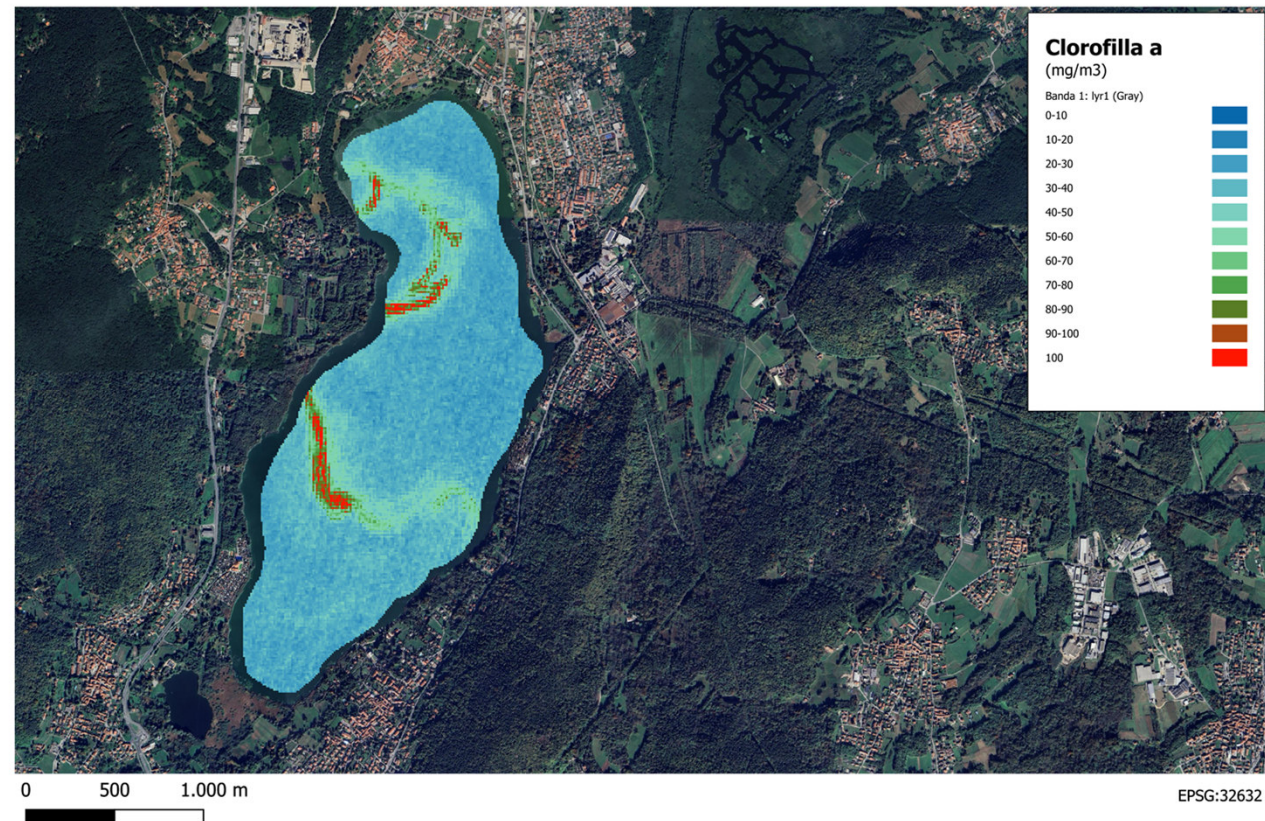
Workflow

6. Produzione mappe Chla-a e OWT - QGIS

Mappe di clorofilla

consentono di analizzare la variabilità spaziale del fitoplancton e di individuare eventuali aree caratterizzate da elevata produttività biologica o fenomeni di bloom algali

Lago di Comabbio 27/02/2026



Supporto al monitoraggio della qualità delle acque lacustri

Workflow

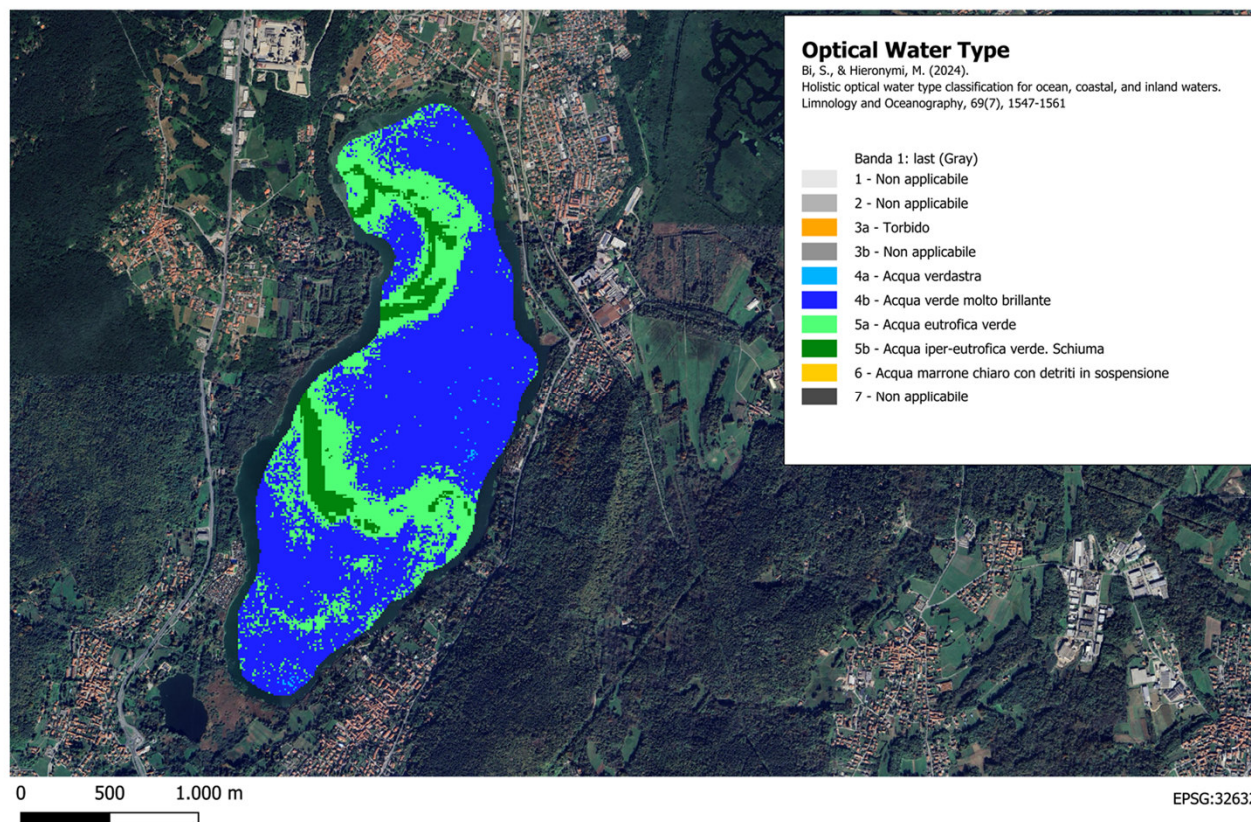
6. Produzione mappe Chla-a e OWT - QGIS

Mappe Optical Water Type

consentono di classificare le acque lacustri in base alle loro proprietà ottiche, evidenziando la presenza di fitoplancton, sedimenti sospesi, sostanza organica disciolta, fenomeni di eutrofizzazione*

*Bi, S., & Hieronymi, M. (2024). Holistic optical water type classification for ocean, coastal, and inland waters. *Limnology and Oceanography*, 69(7), 1547-1561

Lago di Comabbio 27/02/2026

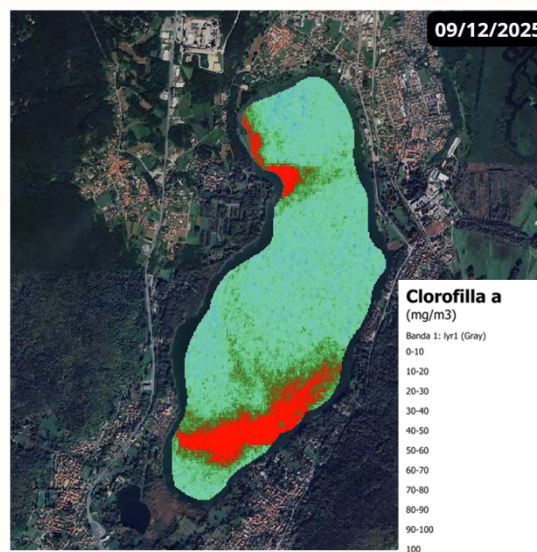


Supporto al monitoraggio della qualità delle acque lacustri

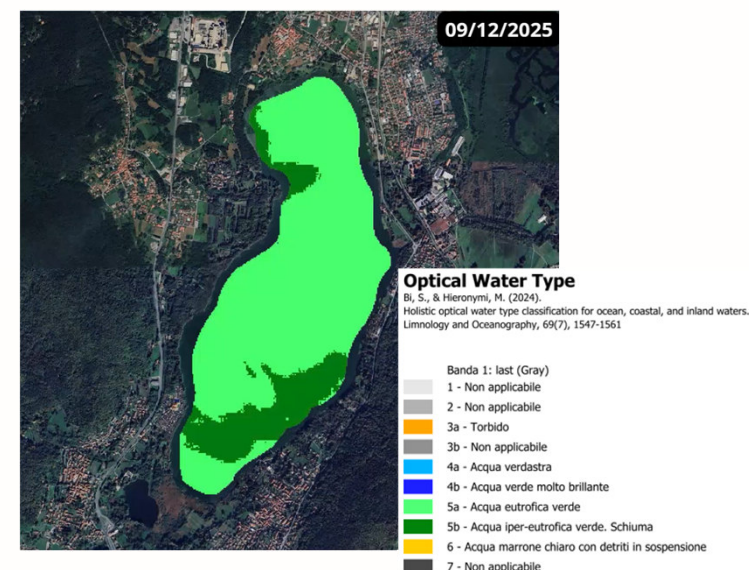
L'integrazione di **dati satellitari** e **analisi temporali** rappresenta uno strumento efficace per comprendere le dinamiche degli ecosistemi acquatici e supportare il **monitoraggio della qualità delle acque** su scala spaziale e temporale



Immagini satellitari Copernicus
Sentinel-2 L2A True color



Mappe Concentrazione Chl- a



Mappe Optical Water Type

Esempio dei dati più rappresentativi nel periodo dicembre 205 – febbraio 2026 del Lago di **Comabbio**

Conclusioni e prospettive

Supporto al sistema AIB:

- Integrare l'utilizzo operativo dei dati/servizi Copernicus (es. HRL snow&ice, fractional snow cover) in input alle catene informative già sviluppate
- Sviluppare e rendere operativi gli approcci metodologici emersi dalla collaborazione tecnico-scientifica con CNR nel Piano AIB 2025 (es: creazione composite periodici da sensori diversi armonizzati, ecc..)

Supporto al monitoraggio qualità dei laghi:

- Consolidare ed estendere le metodiche di monitoraggio su ulteriori C.I. lacustri di interesse
- Valutare le future missioni ESA previste (es: ruolo ARPA di utenti in progetto ESA SUP (*Sentinel User Preparation*) – *AQUA-SUP Aquatic application of new expansion missions with stakeolder and end-user participation*), per lo sviluppo di nuova sensoristica.. (> parametri..)
- Valutare applicabilità operativa delle informazioni derivabili da satellite, a supporto diretto/indiretto del monitoraggio istituzionale e della WFD...



Grazie per l'attenzione



VISIONI DAL CIELO

Crescere e imparare con CLMS



PROGRAMME OF THE
EUROPEAN UNION

