

Razionale:

Il riscaldamento globale e l'eutrofizzazione causano un aumento della presenza di cianobatteri nelle acque interne. Un'intensa fioritura di questi organismi fitoplanctonici emerge spesso in superficie come uno strato di schiuma (scum) contenente alte concentrazioni di tossine e metaboliti secondari. Il contatto con queste tossine pone un rischio diretto per la salute. Pertanto, il monitoraggio della concentrazione di cianobatteri e la presenza di scum nei laghi sono attualmente argomento di grande interesse [1].

Laguna dei Curi:

La Laguna dei Curi è un ecosistema altamente dinamico e complesso con molti processi interagenti. È un bacino semi chiuso, influenzato dallo scambio delle acque dolci del fiume Nemunas e delle acque salmastre del Mar Baltico. A partire da fine giugno e inizio luglio e fino alla fine di ottobre, i cianobatteri diventano le specie prevalenti durante e le loro fioriture sono spesso intense.

- È stata selezionata come area studio in quanto:
- Sono disponibili i prodotti di secondo livello del Sentinel-1 su cui si basa il presente approccio. Sebbene tali prodotti non sono generalmente distribuiti per acque interne, la stretta vicinanza della Laguna al mar Baltico, ne rende un'eccezione.
- È stata ampiamente studiata con RS ottico [2]
- È spesso soggetta a copertura nuvolosa. Dall'analisi effettuata da Mercury [3] sulle immagini MODIS-Terra 2001–2011 si stima infatti che annualmente la Laguna dei Curi è mediamente coperta da nuvole per il 76 % dei giorni. Tale percentuale si riduce al 64% nel periodo estivo.



Problema monitoraggio:

Il telerilevamento ottico è uno strumento validato per il rilevamento, il monitoraggio e lo sviluppo di una migliore comprensione dello stato dei laghi. Tuttavia, non può essere utilizzato in caso di copertura nuvolosa rendendo così difficile la caratterizzazione spaziale e temporale delle fioriture algali per un'analisi ecologica completa. Proponiamo quindi un approccio sinergico che coinvolge immagini ottiche e immagini SAR per monitorare la proliferazione di cianobatteri algali. Le immagini satellitari sono fornite dai satelliti Sentinel-1, -2 e -3.

RS Ottico:

Data la bassissima trasparenza tipica delle acque della Laguna dei Curi e la tendenza delle alghe disperse nella colonna d'acqua ad accumularsi vicino alla superficie, le stime satellitari delle concentrazioni di clorofilla (Chl-a) sono rilevanti solo per la parte superiore della colonna d'acqua e quindi possono essere considerati un segnale della presenza di schiuma. La concentrazione di clorofilla si può determinare dal rapporto delle riflettanze nelle bande NIR e RED sfruttando l'elevata differenza di retrodiffusione e assorbimento tra acqua con e senza scum. In particolare, la concentrazione di Chl-a si determina per Sentinel-2 con:

$$\text{Chl-a} \left[\frac{\text{mg}}{\text{m}^3} \right] = 78 \frac{\text{Ref}_{705}}{\text{Ref}_{665}} - 51.2 \quad [1]$$

e per Sentinel-3 con:

$$\text{Chl-a} \left[\frac{\text{mg}}{\text{m}^3} \right] = 52.19 \frac{\text{Ref}_{705}}{\text{Ref}_{665}} - 32.07 \quad [2],$$

dove con R si intende la riflettanza della banda la cui lunghezza d'onda centrale è [2,3].

RS SAR:

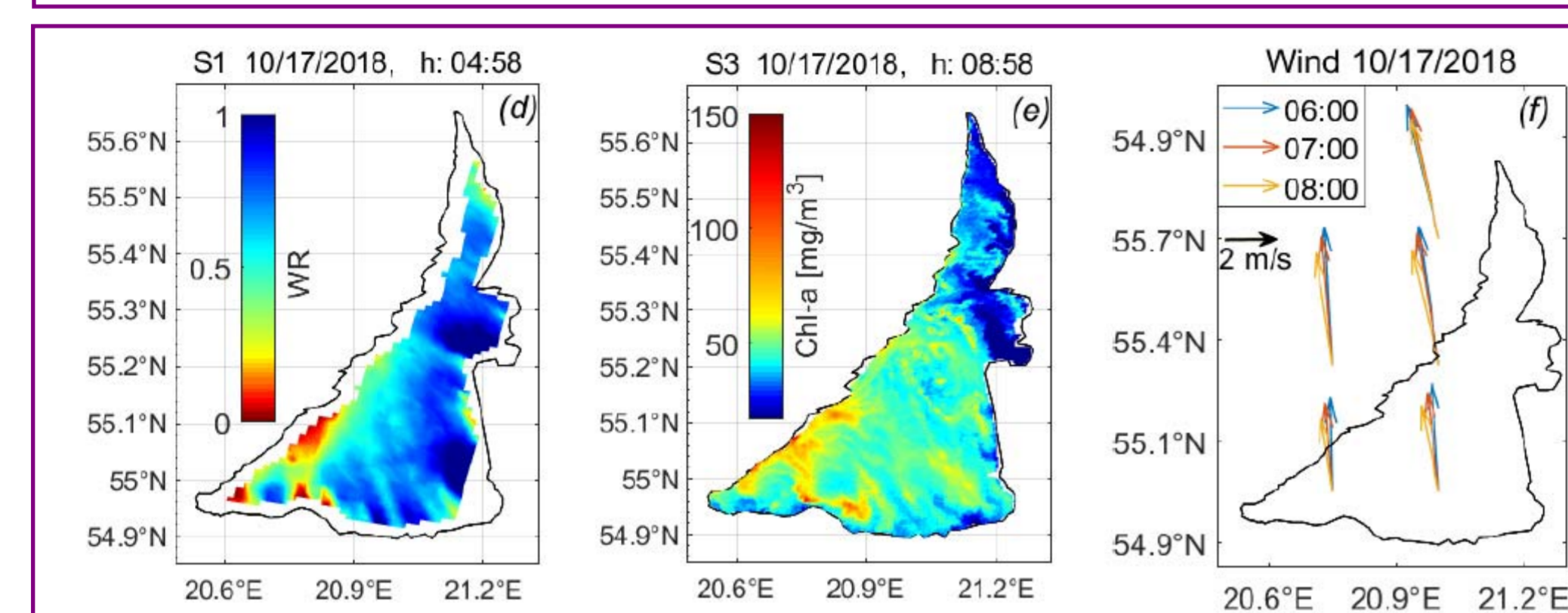
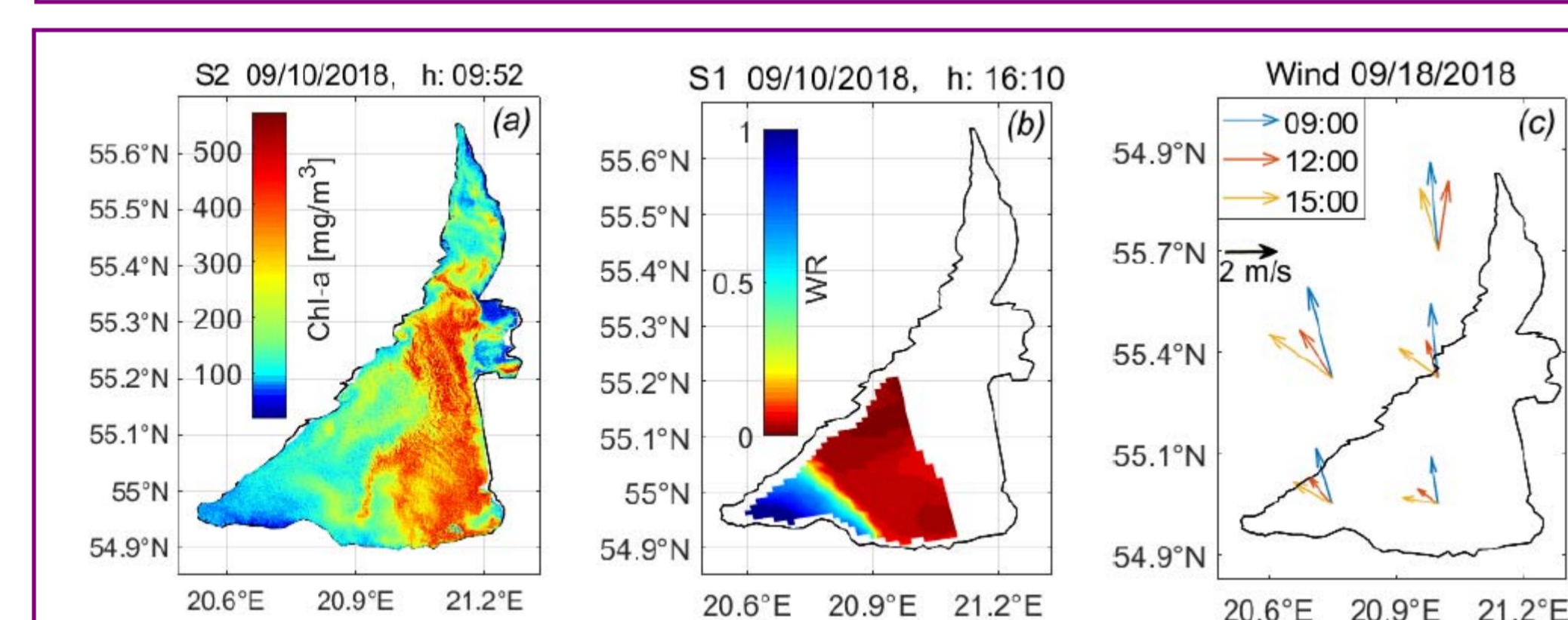
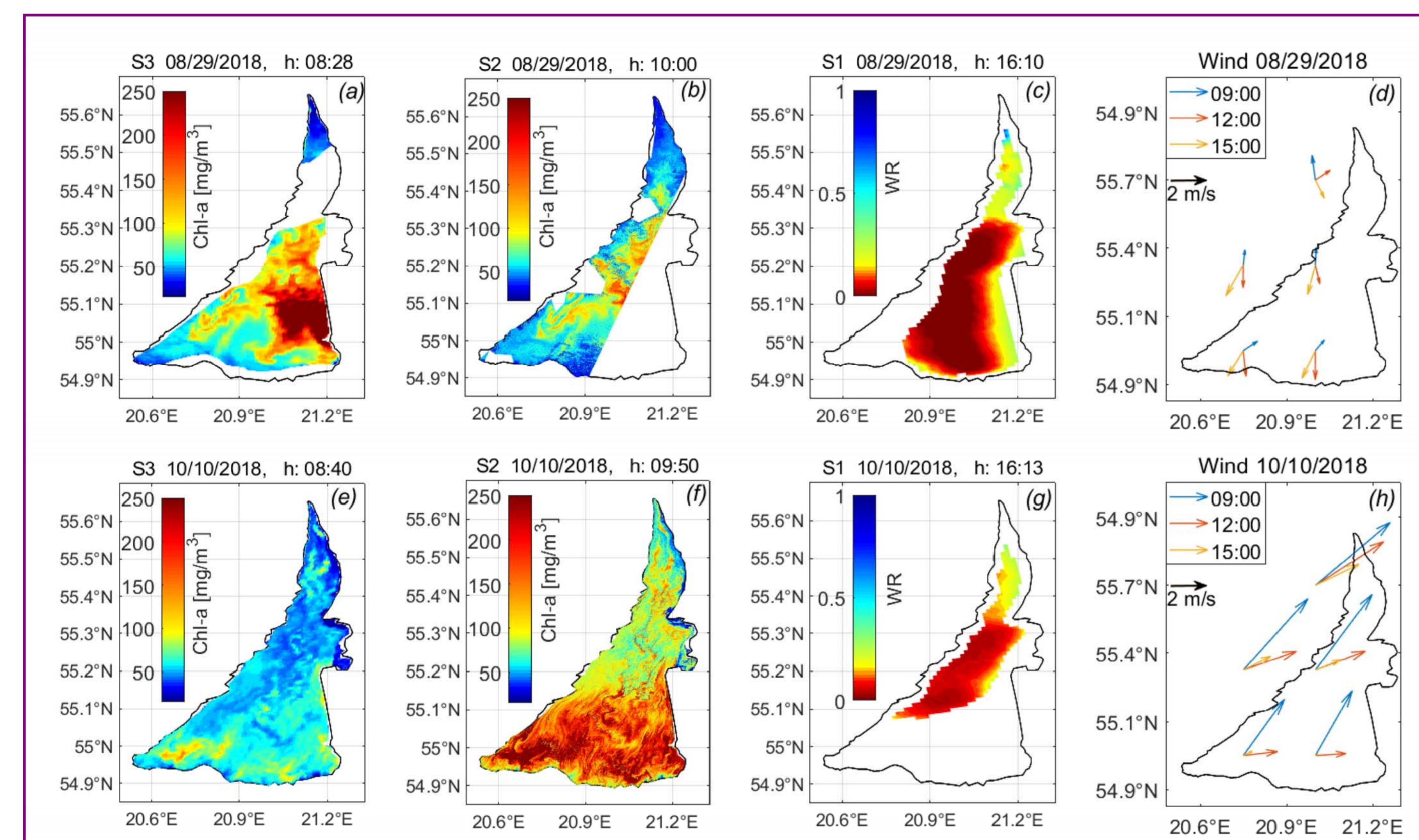
Si propone un approccio "semi-automatico" basato sui prodotti L2 di Sentinel-1, in particolare i prodotti OCN-OWI (Ocean Wind Fields). Essi contengono sia i valori di vento forniti dal modello meteorologico dell'ECMWF (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts), sia quelli stimati a partire dall'immagine SAR mediante l'inversione di un modello geofisico che dipende dalla rugosità della superficie dell'acqua [4]. Differenze significative fra i due campi di vento indicano la presenza di sostanze galleggianti sulla superficie dell'acqua (es. ghiaccio, olio, scum). Dall'analisi di 80 immagini S1 abbiamo empiricamente definito un "allarme di scum" quando il vento SAR è inferiore al 10% del vento ECMWF. Definiamo il rapporto

$$\text{WR} = \frac{W_{S1}}{W_{ECMWF}} \quad [3],$$

dove W è la velocità del vento stimata da Sentinel 1 e indica la velocità del vento ECMWF a priori. La condizione $\text{WR} < 0.1$, nel periodo dell'anno che va da fine giugno a fine ottobre, indica con buona probabilità la presenza di scum.

Validazione qualitativa:

Le mappe ottenute tramite SAR sono consistenti con quanto osservato da dati ottici e con lo stato del vento nell'intervallo di tempo fra le acquisizioni. Tale approccio può quindi essere utilizzato per infittire le serie storiche di fioriture algali nella Laguna dei Curi e quindi migliorarne il monitoraggio.

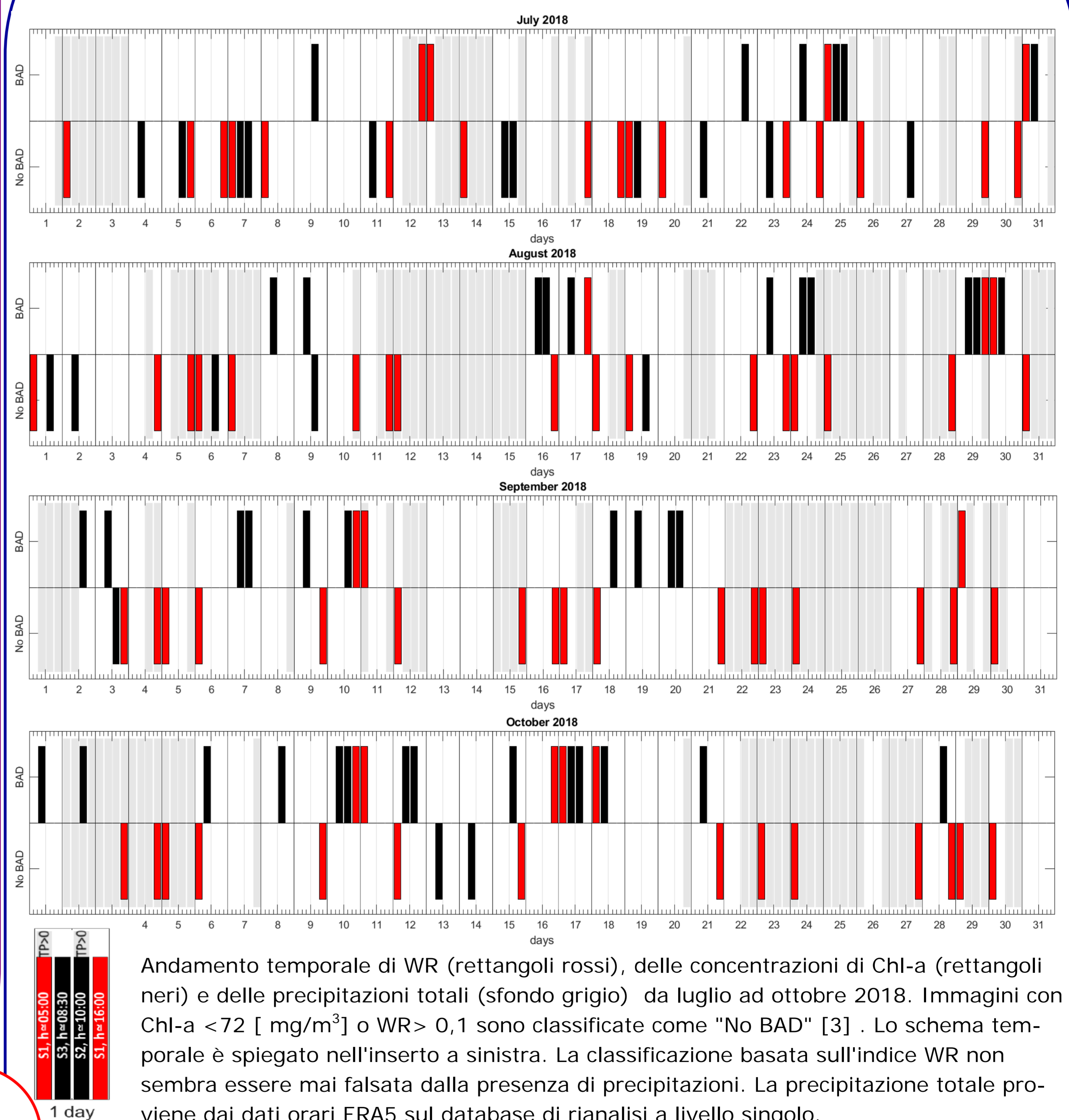


Mappe di concentrazione di Chl-a derivate da S3 e da S2;

mappe dell'indice WR; evoluzione spaziotemporale del vettore del vento nell'intervallo di acquisizione.

Il vettore del vento proviene dal database di rianalisi per dati orari a singolo livello di pressione ERA5.

Validazione qualitativa:



Andamento temporale di WR (rettangoli rossi), delle concentrazioni di Chl-a (rettangoli neri) e delle precipitazioni totali (sfondo grigio) da luglio ad ottobre 2018. Immagini con $\text{Chl-a} < 72 \text{ [mg/m}^3\text{]}$ o $\text{WR} > 0,1$ sono classificate come "No BAD" [3]. Lo schema temporale è spiegato nell'insero a sinistra. La classificazione basata sull'indice WR non sembra essere mai falsata dalla presenza di precipitazioni. La precipitazione totale proviene dai dati orari ERA5 sul database di rianalisi a livello singolo.

In

questo intervallo temporale, in 28 giorni sono disponibili immagini sia ottiche che SAR. L'approccio basato sull'analisi delle immagini SAR restituisce una classificazione della laguna che è coerente con quella ottenuta dall'analisi delle immagini ottiche e con i dati meteorologici (alta velocità del vento) per 22 casi. Si osserva quindi un tasso di accordo del 79%. La diversa classificazione può essere spiegata dal divario temporale di acquisizione per il 14% dei casi e solo il restante 7% mostra un possibile disaccordo (non investigabile per mancanza di verità a terra).

Conclusioni

L'approccio SAR "semi-automatico" qui discusso presenta:

- il vantaggio di essere un approccio semplice che non richiede l'ausilio di altri dati;
- l'inconveniente di avere una bassa risoluzione e di non essere utilizzabile per qualsiasi corpo idrico interno.

I risultati presentati supportano fortemente l'uso dei prodotti L2 S1 per migliorare il rilevamento spaziotemporale dei fenomeni di scum nella Laguna dei Curi. L'uso dell'approccio proposto può sicuramente essere un vantaggio sia per i gestori delle risorse idriche che per gli scienziati. Una campagna sul campo potrebbe tuttavia perfezionare la soglia del rapporto del vento determinata empiricamente in questo documento.

Bibliografia

- [1] Pearl H.W., Paul V.J. (2012), Water research, 279: 1349–136
[2] Bresciani M., et al. (2014), European Journal of Remote Sensing, 46: 445–458

- [3] Hunter, P., et al., 2017. INFORM D5.15
[4] Kerbaol, V. (2007)