

Analisi della correlazione tra deflusso del Po e Clorofilla-a superficiale nel Nord Adriatico

Flavio Parmiggiani (*), Corrado Fragiaco (**)

(*) ISAC-CNR, Via Gobetti 101, 40129 Bologna, Tel. 051 6398009, f.parmiggiani@isac.cnr.it

(**) INOGS, Borgo Grotta Gigante 42/C, 34010 Sgonico (TS), Tel. 040 2140316, cfragiaco@ogs.trieste.it

Introduzione

Il Mare Adriatico è un bacino semichiuso di forma rettangolare. Una comoda rappresentazione del Mare Adriatico, ottenuta da una rotazione di 37° in senso orario attorno al suo baricentro, è una mappa che si estende per 185,2 km (100 nM) nella direzione x e per 666,7 km (360 nM) nella direzione y (vedi Figura 1). Lo studio che viene qui presentato è rivolto al Nord Adriatico (vedi Figura 2) cioè alla metà superiore della mappa di Figura 1. I processi fisici nel Nord Adriatico in rapporto al deflusso del Po sono stati ampiamente investigati negli ultimi decenni, con alcuni esempi rilevanti di questi studi (Kourafalou, 1999; Jeffries, Lee, 2007). Riguardo alla distribuzione di clorofilla-a (Chl-a), un primo classico articolo (Barale et al., 1986), vecchio di oltre 25 anni, analizzò il campo di colore superficiale nel Nord Adriatico mediante immagini degli anni 1979 e 1980 del Coastal Zone Color Scanner (CZCS) a bordo del satellite Nimbus-7.

Dai primi anni 80 del secolo scorso, per circa 15 anni, nessuna immagine da satellite del colore del mare fu più disponibile per la comunità scientifica. La situazione cambiò finalmente nel 1997 con l'arrivo delle immagini del sensore SeaWiFS. Un lavoro recente (Bignami et al., 2007) ha analizzato la variabilità delle acque torbide costali nel Mare Adriatico con immagini SeaWiFS. Nei primi anni del nuovo millennio, con il lancio dei satelliti Terra ed Aqua, sono diventate finalmente disponibili le immagini del nuovo sensore MODIS; il sito 'Oceancolor' della NASA (www.oceancolor.nasa.gov) offre oggi una grande varietà di prodotti di 'colore del mare', dalle immagini di livello 1B in tempo quasi-reale ai prodotti di livello 2 come: Sea Surface Temperature (SST), Chl-a, Atmospheric Optical Thickness (AOT), ecc. Pur se una correlazione tra deflusso del Po e Chl-a nel Nord Adriatico risulta evidente dalle immagini di Chl-a che saranno mostrate nel seguito, scopo di questo lavoro è di fornire una 'misura' matematica di questa correlazione.

Immagini da satellite

Le immagini di Chl-a del Nord Adriatico usate in questo studio provengono dal 'Ocean Colour Data Portal' del Global Environment Monitoring (GEM) Unit, Institute for Environment and Sustainability, Joint Research Centre (JRC), Ispra (Italia). La GEM Unit del JRC mantiene un archivio di prodotti di 'colore del mare' dei mari Europei che si estende su un dominio geografico da 40°W a 55°E e da 10°N a 80°N, e che copre il settore Europeo dell'Oceano Atlantico dall'Artico alle Isole di Capo Verde, il Mare del Nord, il Mar Baltico, il Mar Mediterraneo, il Mar Nero e il Mar Caspio. La serie temporale contiene immagini quotidiane, di 8-giorni e mensili, derivate dal SeaWiFS e dal MODIS, per il periodo che va dal Settembre 1997 ad oggi. Le immagini hanno una risoluzione spaziale approssimata di 2 km e sono ottenute dall'elaborazione delle immagini 'full resolution' e 'top-of-the-atmosphere' disponibili per il dominio. Il processore usato per la produzione dell'archivio è SeaDAS versione 6.2. Tutti i prodotti da satellite della GEM Unit che coprono il Nord Adriatico sono stati calibrati e validati da una serie formidabile di campagne di misura condotte negli ultimi 12 anni presso la stazione Acqua Alta Oceanographic Tower al largo di Venezia (Mélin et al., 2003; Mélin et al., 2005; Zibordi et al., 2006a; Zibordi et al., 2006b).

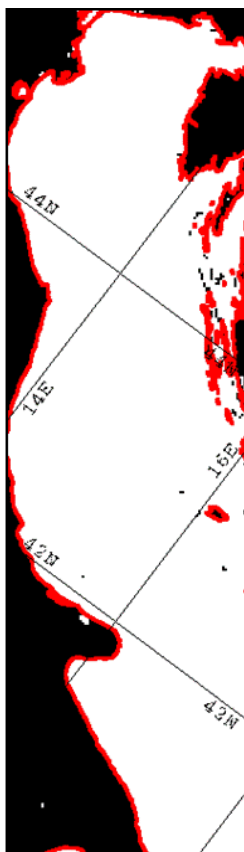
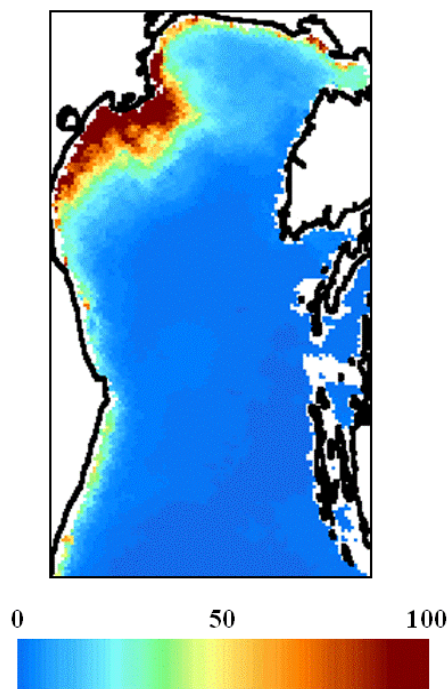


Figura 1 – Mappa del Mare Adriatico ottenuta da una rotazione in senso orario di 37° intorno al suo baricentro.

Tra i diversi prodotti disponibili nell'archivio della GEM Unit, sono state selezionate le immagini composite mensile di Chl-a per il Mar Mediterraneo; queste immagini, a partire dal 2003, sono prodotte usando i soli dati MODIS. L'immagine composita mensile è ottenuta scegliendo, dalle immagini quotidiane, il valore più alto di ogni pixel: questo meccanismo offre il vantaggio di eliminare il più possibile i pixel di nubi. Le immagini, scaricate in formato hdf, sono state ulteriormente elaborate all'ISAC, mediante il software TeraScan (www.seaspace.com), utilizzando una semplice procedura che consiste dei seguenti passi: i) conversione del file hdf a file binario; ii) estrazione, dall'immagine completa, di una sotto-immagine che copre il Nord Adriatico; iii) proiezione della sotto-immagine sul riferimento geografico di Figura 1; iv) selezione della metà superiore della nuova sotto-immagine come mappa del Nord Adriatico (vedi Figura 2). Questo studio copre un periodo di 5 anni, dal 2003 al 2007, e pertanto le immagini scaricate dall'archivio della GEM Unit del JRC sono relative a questo periodo.



*Figura 2 – Esempio di immagine composta mensile di Chl-a del Nord Adriatico (Maggio 2007).
La scala di colori si riferisce alla concentrazione percentuale di Chl-a dove 100% = 8.5 g/m³.*

Risultati

L'elaborazione delle immagini di Chl-a scaricate dal JRC produce, come risultato finale, un insieme di immagini del Nord Adriatico come quella mostrata, a titolo di esempio, in Figura 2. L'immagine è rappresentata come concentrazione percentuale di Chl-a, dove la massima concentrazione (100%) corrisponde a 8.5 g/m³. La Chl-a totale nella regione di studio è ottenuta dalla somma della concentrazione di Chl-a in ogni pixel. Questo calcolo è giustificato dal fatto che la concentrazione di Chl-a è essenzialmente una concentrazione superficiale (g/m²) e la somma del valore di ogni pixel corrisponde, come dimensioni, al prodotto di g/m² x m². Per i 5 anni considerati, la Chl-a mensile totale è riportata in Figura 3A e B; infatti, per una maggiore leggibilità, gli anni dal 2003 al 2007 sono stati suddivisi in due blocchi di tre anni ciascuno: 2003-2005 e 2005-2007. Come era da prevedere, la Figura 3 mostra che i picchi di Chl-a totale si presentano nei mesi primaverili di Maggio e Giugno e nei mesi autunnali di Ottobre e Novembre. Un esempio di sequenza di mappe mensili composite di Chl-a del Nord Adriatico per uno di questi mesi di alta concentrazione, e per i 5 anni considerati, è mostrato in Figura 4.

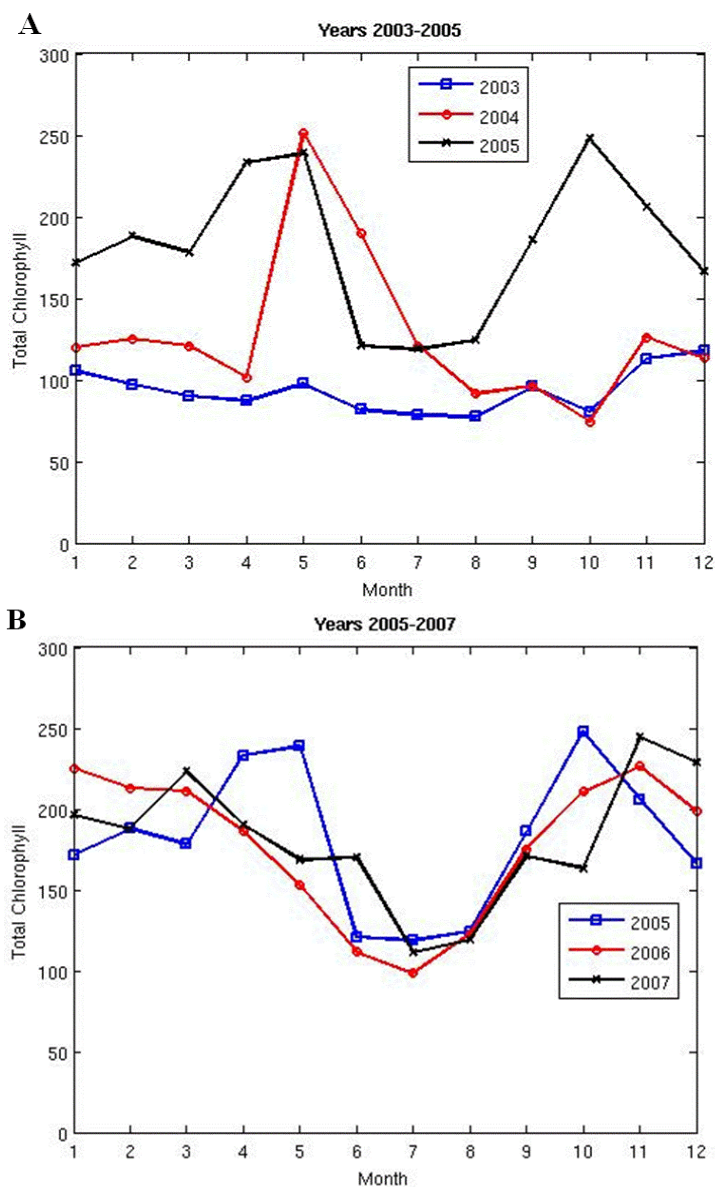
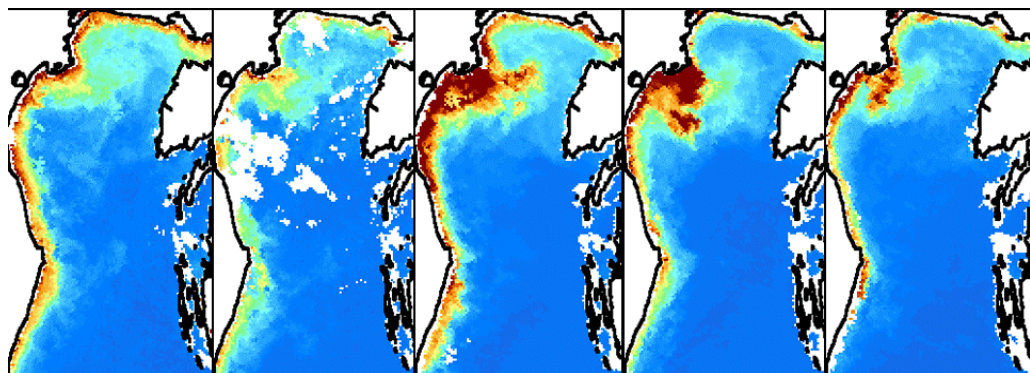


Figura 3 – Chl-a totale nel Nord Adriatico. A: per gli anni 2003-2005; B: per gli anni 2005-2007.

Le immagini di Figura 4 mostrano chiaramente che la Chl-a superficiale si addensa vicino alla foce del Po e che una stretta correlazione deve esistere tra efflusso del Po e Chl-a totale nel Nord Adriatico. Al fine di misurare questa correlazione, dal sito dell'ARPA Emilia-Romagna sono stati scaricati i dati di efflusso medio mensile del Po. L'ARPA Emilia-Romagna pubblica regolarmente le tavole con l'efflusso mensile dei maggiori fiumi della regione. Tra le diverse stazioni elencate nelle tavole si è scelta la stazione di Pontelagoscuro che misura l'efflusso totale del Po.



OTTOBRE

Figura 4 – Sequenza di immagini composite mensili di Chl-a del Nord Adriatico per il mese di Ottobre. Da sinistra a destra, le 5 immagini per gli anni dal 2003 al 2007.

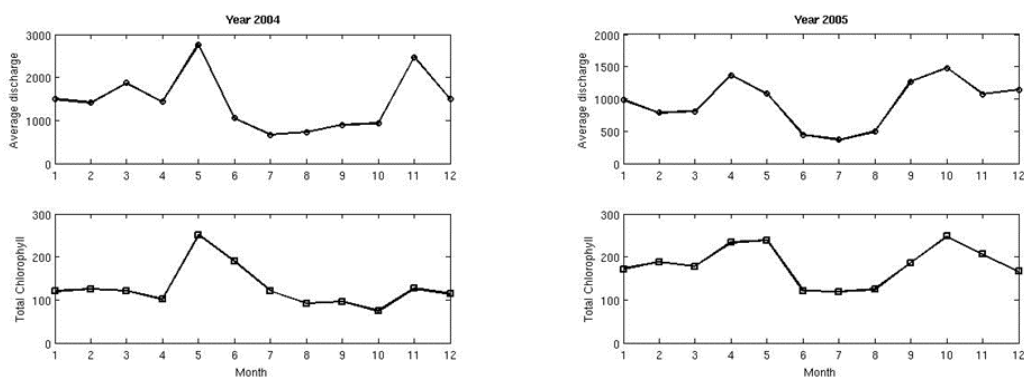


Figura 5 – Confronto tra deflusso medio mensile del Po e Chl-a totale nel Nord Adriatico per gli anni 2004 e 2005.

Il confronto tra deflusso medio mensile del Po e Chl-a totale derivata dalle immagini composite mensili per due anni particolarmente significativi, il 2004 e il 2005, è mostrato in Figura 5, mentre le due sequenze complete, per i 60 mesi oggetto di questo studio, sono mostrate in Figura 6.

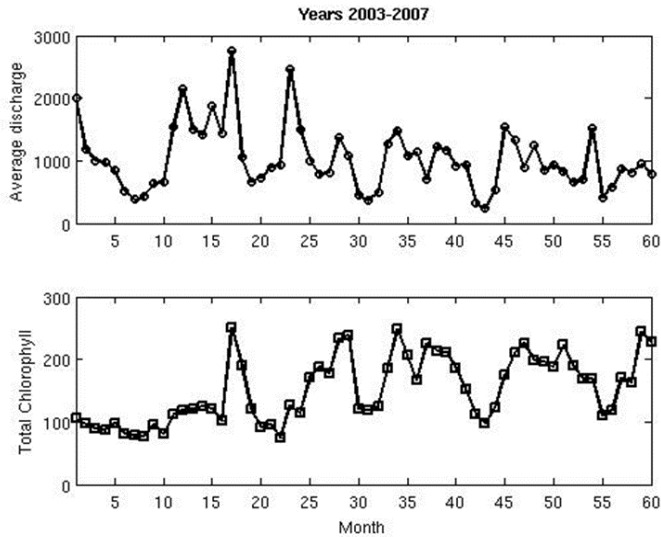


Figura 6 – Confronto tra deflusso medio mensile del Po e Chl-a totale nel Nord Adriatico per i 60 mesi del periodo di studio.

Lo strumento scelto per misurare la correlazione tra le due variabili di Figura 6 è la *running cross-correlation* (Zhao et al., 2006) che è definita come:

$$R_i = \frac{\sum_{k=i-n}^{i+n} (X_k - \bar{X}_k)(Y_k - \bar{Y}_k)}{\sqrt{\sum_{k=i-n}^{i+n} (X_k - \bar{X}_k)^2} \sqrt{\sum_{k=i-n}^{i+n} (Y_k - \bar{Y}_k)^2}} \quad i = 1 + n \dots N - n$$

dove: X e Y sono le sequenze temporali di deflusso del Po e di Chl-a totale, $N = 60$ è il numero totale di campioni delle due sequenze e $n = 1$ è il ritardo considerato tra le due variabili. Il risultato della *running cross-correlation* (Figura 7) dimostra come, per gran parte del periodo considerato, la funzione R_i è molto vicina ad 1, confermando la forte correlazione tra le due variabili.

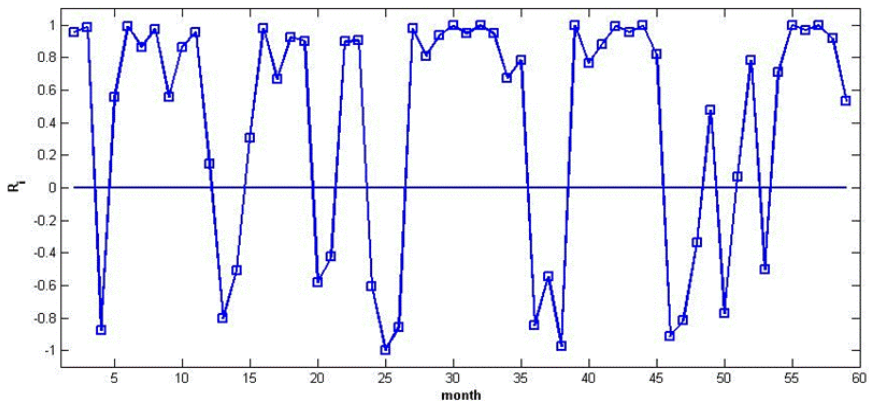


Figura 7 – Running cross-correlation R_i per il periodo di studio.

Conclusioni

Lo studio presentato in questo articolo aveva due obiettivi principali:

1. dimostrare l'importanza e i vantaggi dell'uso di parametri geofisici, derivati da osservazioni da satellite, che possono oggi essere scaricati da diversi archivi pubblici;
2. fornire una misura matematica della correlazione tra il deflusso medio del Po e la distribuzione di Chl-a superficiale nel Nord Adriatico.

Si può concludere che entrambi gli obiettivi iniziali di questo studio sono stati pienamente raggiunti.

Riconoscimenti

Questo studio non avrebbe potuto essere condotto senza la cortese collaborazione di Frederic Mélin dell'Institute for Environment and Sustainability, E.C. Joint Research Centre, Ispra (Italia), che ha fornito le immagini composite mensili di Chl-a. Le stesse immagini possono oggi essere scaricate dal sito web 'Ocean Colour Data Portal': oceancolour.jrc.ec.europa.eu

I dati di deflusso del Po sono stati forniti dall'ARPA Emilia-Romagna, l'agenzia regionale per la protezione dell'ambiente, attraverso il sito web: www.arpa.emr.it/sim/?idrologia/

Gli autori desiderano ringraziare il Dr. Miro Gacic dell'INOGS, Trieste, per gli utili commenti sul manoscritto.

Bibliografia

Barale, V., McClain, C.R., Malanotte-Rizzoli, P. (1986), "Space and time variability of the surface color field in the Northern Adriatic Sea", *J. Geophys. Res.*, 91(C11), 12,957-12,974.

Bignami, F., Sciarra, R., Carniel, S., Santoleri, R. (2007), "Variability of Adriatic Sea coastal turbid water from SeaWiFS imagery", *J. Geophys. Res.*, 112, C03S10, doi:10.1029/2006JC003518.

Jeffries, M.A., Lee, C.M. (2007), "A climatology of the northern Adriatic Sea's response to bora and river forcing", *J. Geophys. Res.*, vol. 112, C03S02, doi:10.1029/2006JC003664.

Kourafalou, V.H. (1999), "Process studies on the Po River plume, North Adriatic Sea", *J. Geophys. Res.*, 104(C12), 29,963-29,985.

Mélin, F., Zibordi, G., Berthon, J.-F. (2003), "Assessment of SeaWiFS atmospheric and marine products for the Northern Adriatic Sea", *IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing*, 41, 548-558.

Mélin, F., Berthon, J.-F., Zibordi, G. (2005), "Assessment of apparent and inherent optical properties derived from SeaWiFS with field data", *Remote Sens. Environ.*, 97, 540-553.

Zhao, J., Cao, Y., Shi, J. (2006), "Core region of Arctic Oscillation and the main atmospheric events impact on the Arctic", *Geophys. Res. Lett.*, 33, L22708, doi:10.1029/2006GL027590.

Zibordi, G., Mélin, F., Berthon, J.-F. (2006), "Comparison of SeaWiFS, MODIS and MERIS radiometric products at a coastal site", *Geophys. Res. Lett.*, 33, L06617, doi:10.1029/2006GL025778.

Zibordi, G., Mélin, F., Berthon, J.-F. (2006), "A time series of above-water radiometric measurements for coastal water monitoring and remote sensing product validation", *IEEE Geosci. Remote Sens. Lett.*, 3, 120-124, doi:10.1109/LGRS.2005.858486.