

Caratterizzazione delle proprietà ottiche delle acque costiere del Mar Adriatico per il progetto CLAM-PHYM

Federica Braga (*), Mariano Bresciani (**), Erica Matta (**), Claudia Giardino (**),
Cristiana Bassani (***), Giacomo DeCarolis (**), Luigi Alberotanza (*) e Cristina Ananasso (****)

(*) Istituto di Scienze Marine, CNR-ISMAR, Arsenal, Tesa 104, Castello 2737/F, 30122 Venezia,
Tel. 0412407950, e-mail: f.braga; l.alberotanza@ismar.cnr.it

(**) Istituto per il Rilevamento Elettromagnetico dell'Ambiente, CNR-IREA, Via Bassini 15, 20133 Milano,
Tel. 02-23699298; e-mail: bresciani.m; matta.e; decarolis.g@irea.cnr.it

(***) Istituto sull'Inquinamento Atmosferico, CNR-IIA, Area di ricerca di Roma 1, Via Salaria Km 29,300,
00016 Monterotondo Scalo, Roma, Tel. 06 90672398. e-mail: cristiana.bassani@iia.cnr.it

(****) Agenzia Spaziale Italiana, ASI, UO Osservazione della Terra, Via di Villa Grazioli 23, 00198 Roma,
Tel. 06 8567354, e-mail: cristina.ananasso@asi.it

Riassunto

Le proprietà ottiche delle acque costiere possono variare in modo rilevante sia spazialmente, sia temporalmente, in funzione del contributo terrestre e dei processi marino-costieri. Per caratterizzare la variabilità bio-ottica delle acque del Mar Adriatico è stata svolta la campagna oceanografica ENVADR-LTER-CLAM-PHYM nel periodo 3-17 maggio 2012. Sono state effettuate misure di concentrazione delle sostanze otticamente attive e misure di assorbimento e back-scattering delle acque, in modo da definire le proprietà ottiche inerenti e apparenti dell'acqua in 48 stazioni. L'analisi preliminare dell'intero *dataset* ha evidenziato la presenza di tre principali domini spaziali ottici, che corrispondono ai 3 sotto-bacini del Mar Adriatico (Nord, Centro e Sud). Inoltre, nell'arco di qualche giorno, sono state registrate, in prossimità della foce del fiume Po, tre diverse situazioni idro-biologiche (dovute a portata normale, piena fluviale e bloom fitoplanctonico) che hanno fortemente condizionato le proprietà ottiche dell'acqua.

Abstract

The optical properties of coastal waters could vary significantly, both spatially and temporally, in function of terrestrial input of material and marine processes. The ENVADR-LTER-CLAM-PHYM oceanographic survey has been carried out between 3rd and 17th of May 2012, for the characterization of optical variability of Adriatic Sea waters. Biogeochemical concentrations and key water optical parameters have been sampled, in order to define the inherent and apparent optical properties of the water column at 48 stations. The preliminary analysis of the dataset has revealed three main optical regional domains, which correspond to the 3 sub-basin of Adriatic Sea (Northern, Central and Southern). Moreover, during a few days, we have registered three different situations near the mouth of Po river (due to normal fluvial regime, river flood and phytoplankton bloom), which have considerably modified the water optical properties.

Introduzione

Le aree costiere sono spesso caratterizzate da un'alta variabilità delle proprietà ottiche e delle sostanze biogeochimiche, che dipendono dalle specifiche ambientali e stagionali, da processi idrodinamici e da *input* di materiale proveniente dall'ambiente continentale (Babin et al., 2003; Blondeau-Patissier et al., 2009; Aurin et al., 2010). Alcune sostanze (disciolte/sospese, organiche/inorganiche) presenti nella colonna d'acqua interagiscono con la radiazione solare (IOCCG, 2000), cioè sono in grado di assorbire e diffondere la luce. Per questo motivo, sono

definite sostanze otticamente attive (i.e. Clorofilla, sostanze organiche colorate disciolte, materiale sospeso) e, a seconda della loro concentrazione e composizione qualitativa, dimensione e forma, condizionano direttamente le proprietà ottiche inerenti (IOP) e indirettamente le proprietà ottiche apparenti (AOP) che dipendono, a loro volta, dalle condizioni di illuminazione e dalle IOP dell'acqua. Tra le principali IOP della colonna d'acqua si ricordano il coefficiente di assorbimento $a(\lambda)$, il coefficiente di back-scattering $b_b(\lambda)$ e il coefficiente di attenuazione $c(\lambda)$, espressi in unità fisiche di m^{-1} (Preisendorfer, 1961). Tra le principali AOP ricordiamo la riflettanza al di sotto della superficie acquatica $R(0^-; \lambda)$ e la radianza riflessa sopra la superficie acquatica $R_{rs}(\theta, \phi; \lambda)$. Il legame tra le IOP e le AOP è descritto in modo rigoroso dalla fisica del trasferimento radiativo nella colonna d'acqua (si pensi per analogia al trasferimento radiativo in atmosfera) una cui semplificazione può essere rappresentata dalla modellistica bio-ottica. Esistono numerosi studi che analizzano il modo in cui le variazioni delle caratteristiche dei materiali sospesi e disciolti incidono sulle IOP e quindi sulle AOP, e, invertendo la relazione, come misure quantitative dei parametri biogeochimici siano ottenibili da dati ottici (Brando e Dekker, 2003). Uno dei requisiti per poter ottenere accurate e validate mappe quantitative da immagini satellitari è migliorare gli algoritmi e i modelli bio-ottici usati per invertire il segnale di riflettanza misurato da remoto. Questo richiede una parametrizzazione *ad hoc* che rappresenti in modo adeguato la variabilità regionale e stagionale delle IOP e tenga conto delle dinamiche fisiche e biologiche delle aree di interesse.

Il Mare Adriatico è un sotto-bacino del Mediterraneo nord-orientale e divide la penisola italiana da quella balcanica. Ha una forma allungata che si estende in direzione NO-SE e può essere diviso in un settore a Nord con acque basse (profondità media 35 m) che comprende il golfo di Venezia e arriva fino ad Ancona, un settore centrale più profondo (profondità media 140 m) che si estende fino alla penisola del Gargano e un altro a Sud, ancora più profondo (profondità massima 1200 m), che termina allo stretto di Otranto. L'idrologia e i processi dinamici del Mare Adriatico sono principalmente influenzati dalle forzanti meteorologiche (in particolare, il vento), variazioni termiche e input di acqua dolce dai fiumi. La zona costiera è ricca di estuari, soprattutto nel settore Nord, ed il Po rappresenta circa il 70 % del *run-off* totale, con una notevole variabilità stagionale della portata, con picchi in primavera e in autunno. L'Adriatico è considerato una delle regioni più produttive del Mar Mediterraneo, anche se recenti studi hanno evidenziato una diminuzione di produttività negli ultimi decenni. Le maggiori fioriture fitoplanctoniche si verificano negli strati superficiali della colonna d'acqua nel tardo inverno e in estate, soprattutto vicino al delta del Po nella parte occidentale.

In questo studio, presentiamo il *dataset* dei parametri bio-ottici raccolti durante la campagna oceanografica ENVADR-LTER-CLAM-PHYM nel Mar Adriatico, a bordo della N/O URANIA (3-17 maggio 2012), eseguita nell'ambito delle attività previste dal progetto CLAM-PHYM (*Coasts and Lake Assessment and Monitoring by PRISMA HYPerspectral Mission*), finanziato dall'Agenzia Spaziale Italiana (ASI).

Lo scopo principale della campagna oceanografica era la raccolta di proprietà ottiche inerenti, proprietà ottiche apparenti e concentrazioni di parametri otticamente attivi e le strategie di campionamento erano state definite con l'obiettivo di costruire un *data-set* ottimale per la calibrazione del modello bio-ottico e per la definizione, lo sviluppo e la validazione di prodotti ed algoritmi *PRISMA-oriented*. L'obiettivo del presente studio è di analizzare la variabilità naturale regionale e temporale delle proprietà ottiche e delle componenti biogeochimiche, misurate nel corso della campagna, in modo da identificare e distinguere comportamenti ottici tipici di specifiche masse d'acqua superficiali presenti nel Mar Adriatico per la parametrizzazione regionale di modelli bio-ottici *ad-hoc*, in particolare verranno utilizzati all'interno della modellistica bio-ottica BOMBER (Giardino et al., 2012).

Materiali e Metodi

Nell'ambito della campagna oceanografica ENVADR-LTER-CLAM-PHYM sono stati effettuati 183 campionamenti in 48 differenti stazioni (Figura 1) per l'acquisizione di dati oceanografici stagionali lungo transetti nei golfi di Trieste e di Venezia, nel Delta del Po, nella zona costiera di Rimini e Senigallia, e nella zona tra le isole Tremiti e Manfredonia. Le aree di campionamento sono state scelte sulla base delle peculiarità sito-specifiche: stato di qualità delle acque, grado di trofia, trasparenza e complessità di morfologia, plume fluviale, bloom fitoplanctonico, siti inquinati. Le misure delle proprietà ottiche sono state effettuate in 48 stazioni, alcune delle quali (12 stazioni) fanno parte della Rete internazionale per le Ricerche Ecologiche di Lungo Termine (LTER). I transetti in prossimità della foce del Po sono stati ripetuti nel corso della crociera allo scopo di mappare i cambiamenti repentini che si sono verificati (piena fluviale-fioritura algale) nel giro di pochi giorni.

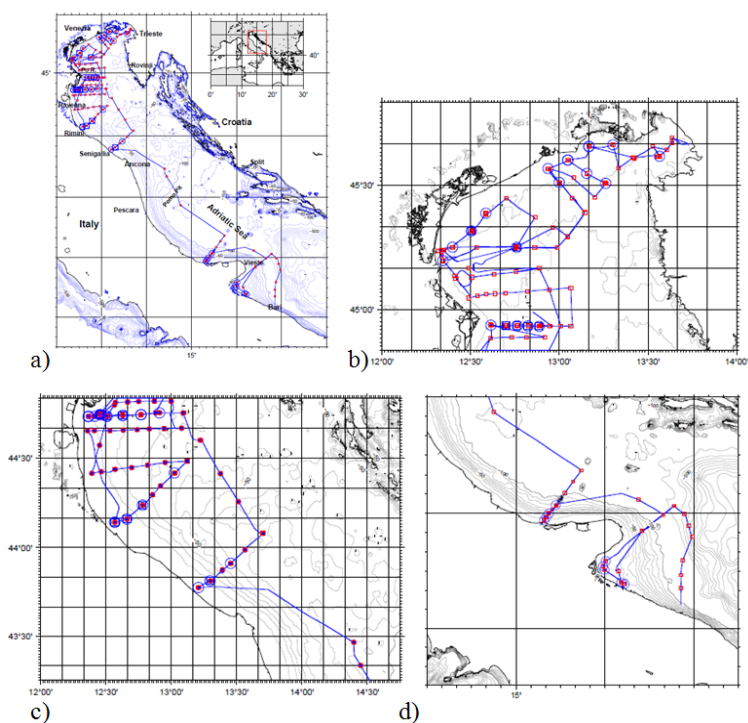


Figura 1. a) Mappa della rotta e delle stazioni effettuate durante la crociera oceanografica ENVADR-LTER-CLAM-PHYM; b), c) e d) dettaglio dei 3 settori in cui è suddiviso il Mar Adriatico (Nord, Centro e Sud). Le stazioni cerchiata in blu indicano i 48 siti nei quali sono state effettuate le misure ottiche (da Bastianini et al., 2012).

Durante la campagna, nei 48 siti, per prima cosa, sono state fatte misure di trasparenza con il disco di Secchi per una caratterizzazione generica del sito. Sono stati raccolti campioni d'acqua discreti nel 1° metro e alla profondità del disco di Secchi (DS) e sono state eseguite misure ottiche in superficie e lungo la colonna d'acqua. La strumentazione utilizzata è specifica per misurare AOP e IOP e le metodologie di misura hanno seguito i protocolli SeaWiFS (Fargion and Mueller, 2000). Le misure di AOP sono state eseguite con più spettroradiometri. In dettaglio, sono stati utilizzati: WISP-3 (Water Insight), progettato specificatamente per il monitoraggio della qualità dell'acqua, eseguendo automaticamente e contemporaneamente misure con tre radiometri, due per misure di

radianza e uno di irradianza, per ottenere la riflettanza superficiale nel range 380-800 nm con 4 nm di risoluzione spettrale; SPECTRASCAN PR-650 (Photo Research), che misura la radianza superficiale nel range 380-780 nm con 4 nm di risoluzione spettrale; RAMSES ACC-ARC (TrioS), un sistema immergibile composto da un radiometro e un irradiometro per la misura della riflettanza in superficie e lungo la colonna d'acqua (350-900 nm e 3 nm di risoluzione spettrale); Multispectral Profiler-II (Satlantic), 1 radiometro e due irradiometri immergibili multi spettrali con 7 canali spettrali nel range 400-700 nm (10 nm di risoluzione spettrale). Queste misure radiometriche sono state eseguite per caratterizzare il campo di luce fuori dall'acqua e lungo la colonna. Le misure emerse caratterizzano l'irradianza superficiale e la radianza superficiale. Quelle immerse sono prese lungo la colonna d'acqua con profili ascendenti e discendenti, dalla superficie al fondo e per ogni profondità identificano: l'irradianza discendente, cioè il campo di luce penetrata nell'acqua e filtrata dai costituenti della colonna d'acqua; la radianza ascendente, cioè il campo di luce deviata indietro dai costituenti della colonna d'acqua più eventualmente la luce riflessa dal fondale. Queste misure dipendono dalle condizioni meteorologiche, dal campo di luce e dalle proprietà inerenti della colonna d'acqua. Dalle misure di radianza ascendente ed irradianza discendente si ottengono misure di R_{rs} e $R(0-)$.

Le misure di IOP sono state eseguite in continuo lungo la colonna d'acqua con profili ascendenti e discendenti, dalla superficie al fondo. Il coefficiente di *backscattering* (b_b) è stato misurato in sei lunghezze d'onda (442, 488, 510, 550, 620, 676 nm) mediante lo strumento HydrosCat-6 della Hobi Labs Inc.. La correzione preliminare dei dati di b_b è stata fatta applicando la sigma correction (Maffione e Dana, 1997). Sono previste ulteriori correzioni di b_b basate sul metodo sviluppato da Strömbeck (2001). Il coefficiente di attenuazione (c) è stato misurato a 650 nm con lo strumento C-Star di WetLabs, montato sulla rosette. Per la misura della fluorescenza è stato utilizzato Cyclops-7 (Turner Designs), attrezzato con 4 sensori specifici per la misura dei pigmenti algali e del disciolto (CDOM, Chl-a, Ficocianine e Ficoeritrine). È stato utilizzato il LISST-100X (Sequoia) per misure di *volume scattering function* e derivare la distribuzione delle dimensioni del particolato sospeso nel range 1.25-500 μm .

Misure di assorbimento $a_{CDOM}(\lambda)$, $a_{ph}(\lambda)$ e $a_{NAP}(\lambda)$ divise nelle componenti principali (CDOM, fitoplancton e particolato non algale) sono state ottenute da campioni d'acqua filtrati durante la campagna, conservati in condizioni idonee e successivamente analizzati in laboratorio secondo le procedure descritte da Ferrari et al. (1996), Mitchell (1990) e Cleveland and Weideman, (1993), e successivamente modellate in accordo con Fargion e Mueller (2000) e Strömbeck e Pierson (2001). La misura delle concentrazioni di chl-a e TSM sono state effettuate con metodo spettrofotometrico (Lorenzen, 1967) e gravimetrico (Van der Linde, 1998) rispettivamente. Il TSM è stato suddiviso nelle sue componenti organiche SPOM e inorganiche SPOM.

Profili di parametri chimico-fisici sono stati eseguiti con sonda multiparametrica SeaBird in dotazione della N/O Urania. Le misure effettuate sono: temperatura, profondità, salinità, O_2 disciolto, pH, fluorescenza, densità.

Risultati

Lo studio della variabilità naturale regionale e temporale delle proprietà ottiche e delle relazioni con le componenti biogeochimiche è tutt'ora in corso. Tuttavia i risultati preliminari hanno permesso di distinguere i comportamenti ottici delle masse d'acqua superficiali dei tre settori che caratterizzano il Mar Adriatico. Nella figura 2 sono riportate le relazioni tra le 3 sostanze otticamente attive (SOA) misurate nelle stazioni, escluse quelle vicine o direttamente influenzate dalla plume del Po. Il grafico in figura 2a che riporta la concentrazione della clorofilla (chl-a) e l'assorbimento delle Sostanze Organiche Colorate Disciolte (CDOM) a 440 nm ($a_{CDOM}(440)$) evidenzia valori molto bassi e dello stesso ordine di grandezza per le stazioni del Sud Adriatico (SA), mentre i valori del Centro Adriatico (CA) e del Nord Adriatico (NA) sono più dispersi. Il grafico in figura 2b che riporta la concentrazione della chl-a e la concentrazione di Materiale Sospeso Totale (TSM) evidenzia una maggiore dispersione per tutte le stazioni. Va considerato che le stazioni sono state

eseguite lungo transetti dal largo verso costa e infatti nei due grafici si possono distinguere le stazioni più oceaniche da quelle costiere: in figura 2a le stazioni al largo del CA e NA hanno valori più bassi e simili a quelli del SA.

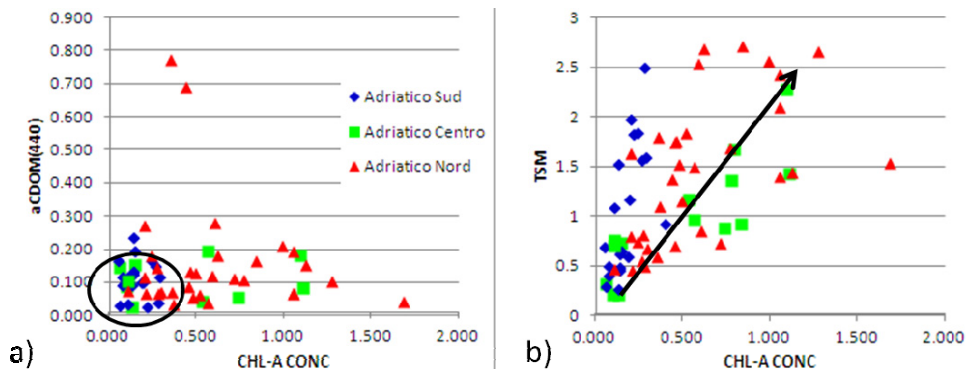


Figura 2. Relazioni tra a) $a_{CDOM(440)}$ e b) concentrazione di TSM in funzione della concentrazione di chl-a. In a) sono evidenziate le stazioni più lontane dalla costa, in b) la freccia indica la direzione dal largo verso costa delle stazioni.

Per verificare se le IOP e AOP dei 3 settori variano, sono state scelte le stazioni più costiere, considerando che le stazioni più al largo presentano valori di SOA più simili tra loro. Le specifiche delle 3 stazioni dell'Adriatico (Sud, Centro e Nord) e del Po sono riportate in Figura 3.

	Concentrazioni		$a_{CDOM(440)}$ (m^{-1})	S_{CDOM} (nm^{-1})	DS (m)	$b_b(676)$ (m^{-1})
	chl-a ($\mu g\ m^{-3}$)	TSM ($mg\ m^{-3}$)				
Adriatico Sud	0.14	1.52	0.090	0.11	7.5	0.006
Adriatico Centro	0.15	0.72	0.150	0.18	3.5	0.014
Adriatico Nord	0.52	1.83	0.061	0.10	5.0	0.015
Po (7 maggio)	1.87	9.63	0.102	0.16	0.7	0.060
Po (9 maggio)	8.65	5.42	0.049	0.09	1.5	0.034
Po (15 maggio)	2.31	4.29	0.205	0.27	1.5	0.037

Figura 3. Valori delle IOP e delle concentrazioni delle 6 stazioni scelte come rappresentative di diverse condizioni ambientali e/o di settori del Mar Adriatico.

In figura 4 sono riportati i grafici dei coefficienti di assorbimento di CDOM, *Non Algal Particle* (NAP) e chl-a, gli spettri di riflettanza superficiale e i coefficienti di b_b per 3 stazioni costiere dell'Adriatico Sud, Centro e Nord. I coefficienti di assorbimento hanno valori contenuti, compresi tra 0 e $0.1\ m^{-1}$, e non sono rilevabili grandi differenze nella forma. Il NA presenta valori di a_{ph} leggermente più elevati, mentre il CA ha valori più alti di a_{CDOM} . Questo può essere dovuto nel caso di NA alla presenza di fitoplancton legato ai nutrienti portati dai fiumi alpini, e per il CA la maggiore quantità di CDOM è probabilmente di origine autoctona, per degradazione batterica di precedenti fioriture algali, e qui trasportato dalla zona del Po grazie al forte vento di Bora (vento da N-E) che si è verificato nei giorni precedenti la misura. Le AOP sono simili in magnitudo, ma presentano differenze nella forma dovute alla maggiore quantità di particolato presente in NA e CA rispetto a SA, questo è evidente anche nel grafico del b_b , nel quale il SA presenta valori più bassi.

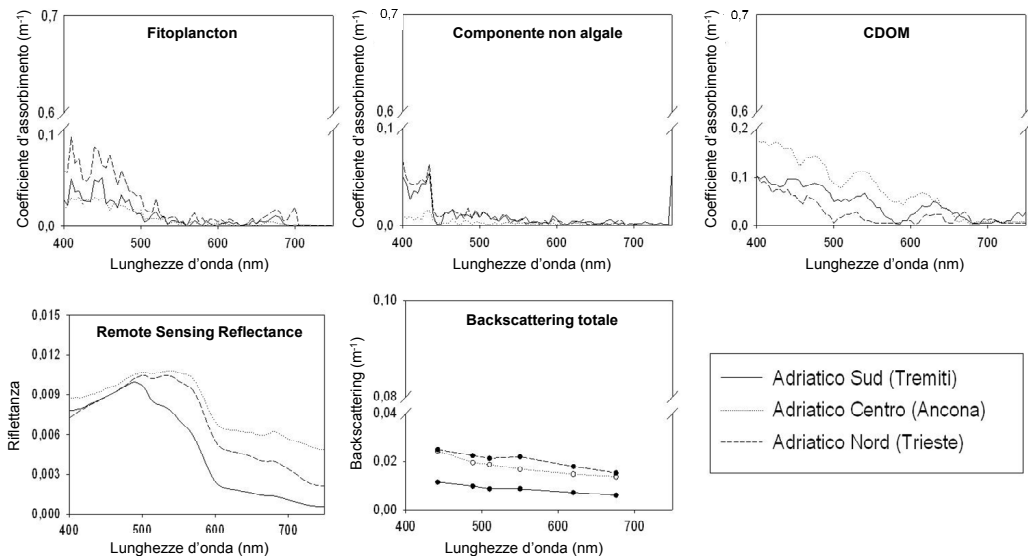


Figura 4. Curve dei coefficienti di assorbimento di chl-a, NAP e CDOM, firme di Rrs e coefficienti di b_b , delle 3 stazioni scelte come rappresentative dei settori Sud, Centro e Nord del Mar Adriatico.

Le stazioni in vicinanza della foce del Po e quelle direttamente influenzate dalla sua plume, come detto precedentemente, sono state ripetute in giorni differenti allo scopo di mappare i cambiamenti repentini che si sono verificati nel giro di pochi giorni. L'analisi dei dati mostra che le acque della plume del Po presentano in media valori maggiori anche di un ordine di grandezza rispetto alle altre stazioni, come si può vedere dai dati riportati in Figura 3; inoltre è ben evidente la variabilità temporale. La stessa area campionata in 3 giorni diversi presenta differenti situazioni (figura 5): in corrispondenza della piena fluviale (7 maggio), tra le SOA prevale il contributo del TSM e i valori di b_b e di $a_{NAP}(\lambda)$ sono i più alti. Come prevedibile, le IOP sono principalmente influenzate dalla presenza di materiale sospeso portato dal Po e ciò si riflette sullo spettro di Rrs che ha magnitudo più grande rispetto alle altre e presenta la forma caratteristica di acque torbide, con valori alti e senza la presenza di picchi di assorbimento nel range 650-700 nm. Successivamente (9 maggio) si è verificata la fioritura di fitoplancton, attivata dal carico di nutrienti provenienti dal Po e dalle buone condizioni di illuminazione: si sono misurate concentrazioni alte di chl-a e la curva di $a_{ph}(\lambda)$ presenta valori molto alti e i picchi di assorbimento sono evidenti. I dati del 15 maggio evidenziano minori concentrazioni di chl-a e TSM e un maggior contributo di CDOM, rispetto alle altre stazioni, sia per quanto riguarda $a_{CDOM}(\lambda)$ sia per il valore della slope (S_{CDOM}) della curva di assorbimento. Questo potrebbe essere connesso in parte alla degradazione batterica in seguito al bloom algale, e anche alle sostanze disciolte che caratterizzano le masse d'acqua provenienti dal fiume.

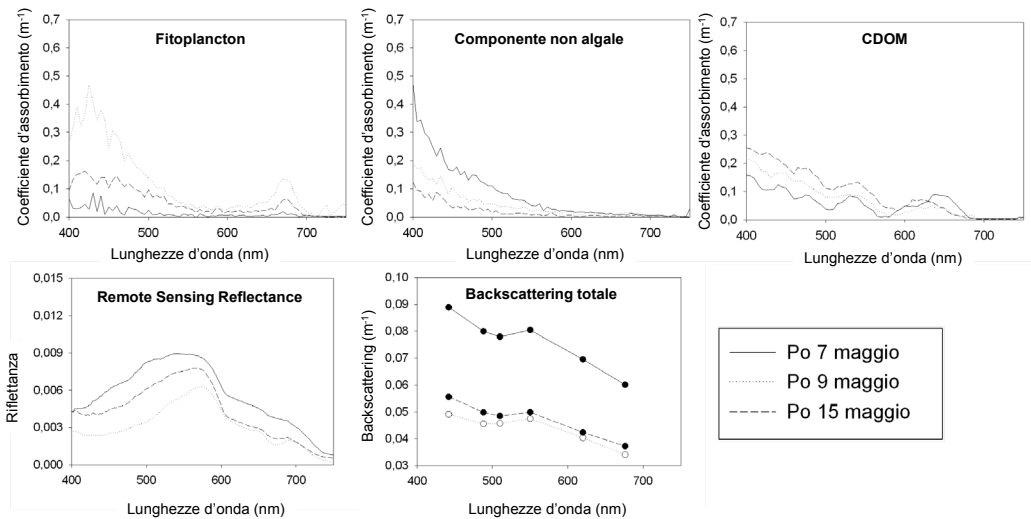


Figura 5. Curve dei coefficienti di assorbimento di chl-a, NAP e CDOM, firme di Rrs e coefficienti di b_b , delle 3 stazioni scelte come rappresentative delle differenti condizioni ambientali dell'area costiera davanti al Po.

Conclusioni

Le proprietà bio-ottiche delle acque costiere del Mar Adriatico presentano un'ampia variabilità spaziale e temporale per alcuni dei parametri analizzati. Spazialmente è osservabile un gradiente decrescente nelle concentrazioni delle SOA dalle acque più vicine alla costa a quelle più al largo. Le IOP sono risultate differenti nei tre settori dell'Adriatico. Nel periodo in cui si è svolta la crociera, l'evento eccezionale di piena del fiume Po ha indotto complessi processi di mescolamento acqua dolce/acqua salata/sedimenti e attività biologica, condizionando fortemente le caratteristiche ottiche delle acque dell'area costiera prospiciente, in tempi molto rapidi. Il monitoraggio dell'evento di piena sarà ulteriormente approfondito con l'analisi di tutto il *dataset* di dati a disposizione. Successive indagini sul *dataset* saranno necessarie per definire una caratterizzazione regionale in termini di IOP per la parametrizzazione della modellistica bio-ottica BOMBER. Infatti, tutti i dati acquisiti hanno lo scopo di poter ottenere tramite l'applicazione della modellistica bio-ottica, mappe quantitative dei parametri otticamente attivi delle acque dell'Adriatico, con un buon grado d'accuratezza, dalle future immagini satellitari PRISMA.

Ringraziamenti

Si ringraziano il Comandante Vincenzo Lubrano Lavadera e l'equipaggio della N/O Urania per la professionalità e l'impegno dimostrato nell'esecuzione delle attività di campagna.

Lo studio è stato finanziato dai progetti CLAM-PHYM (ASI), Cyan-Is-Was (MIUR) e MELINOS (ESA).

Bibliografia

Aurin D. A., Dierssen H. M., Twardowski M. S., Roesler C. S. (2010), "Optical complexity in Long Island Sound and implications for coastal ocean color remote sensing", *Journal of Geophysical Research*, 115, C07011.

Babin M., Stramski, D., Ferrari, G. M., Claustre, H., Bricaud, A., Obolensky, G., Hoepffner, N. (2003), "Variations in the light absorption coefficients of phytoplankton, nonalgal particles, and dissolved organic matter in coastal waters around Europe", *Journal of Geophysical Research*, 108 (C7), 3211.

- Bastianini M., Bortoluzzi G., Braga F. et al., (2012), *Report on the oceanographical, bio-geochemical, geophysical and geological activities during Cruise with R/V Urania : Adriatic Sea, 2012-05-03- 2012-05-17. Projects ENVEUROPE (coordinated by ISMAR CNR), EU LTER network and ASI CLAM-PHYM (coordinated by ISMAR CNR), May 2012.*
- Blondeau-Patissier D., Brando V. E., Oubelkheir K., Dekker A. G., Clementson L. A., Daniel P. (2009), “Bio-optical variability of the absorption and scattering properties of the Queensland inshore and reef waters, Australia”, *Journal of Geophysical Research*, 114, C05003.
- Brando V. E., Dekker A. G. (2003), “Satellite hyperspectral remote sensing for estimating estuarine and coastal water quality”, *IEEE Transaction on Geoscience and Remote Sensing*, 41: 1378-1387.
- Cleveland J.S., Weidemann A. D. (1993). “Quantifying absorption by aquatic particles: A multiple scattering correction for glass-fiber filters”, *Limnology and Oceanography*. 38:1321-1327.
- Fargion G. S., Mueller J. L. (2000) “Ocean optics protocols for satellite ocean color sensor validation, Revision 2”, *NASA Technical Memorandum 209966 (SeaWiFS Technical Report Series)* (Greenbelt,MD: NASA Goddard Space Flight Center).
- Ferrari G. M., Dowell M. D., Grossi S., Targa C., (1996), “Relationship between the optical properties of chromophoric dissolved organic matter and total concentration of dissolved organic carbon in the southern Baltic Sea region”, *Marine Chemistry*, 55(3-4):299-316.
- Giardino C., Candiani G., Bresciani M., Lee Z., Gagliano S., Pepe M., (2012), “BOMBER: a tool for estimating water quality and bottom properties from remote sensing images”, *Computers & Geosciences*, 45: 313-318.
- IOCCG (2000), *Remote Sensing of Ocean Colour in Coastal and Other Optically Complex Waters*, S. Sathyendranath, ed., reports of the International Ocean-Colour Coordinating Group, No. 3 (IOCCG, Dartmouth, Nova Scotia, Canada, 2000).
- Lorenzen C. J., (1967), “Determination of chlorophyll and phaeo-pigments: spectrophotometric equations”, *Limnology and Oceanography*, 12 (2): 343-346.
- Maffione R.A., Dana D.R., (1997), “Instruments and methods for measuring the backward-scattering coefficient of ocean waters”, *Applied Optics*, 36(24): 6057-6067.
- Mitchell B.G., (1990), “Algorithms for determining the absorption coefficient of aquatic particulates using the quantitative filter technique (QFT)”. *SPIE Ocean Optics X*, 1302: 137-148.
- Preisendorfer, R. W. (1961), “Application of radiative transfer theory to light measurements in the sea”, *International Union of Geodesy and Geophysics Monograph*, 10: 11-30.
- Strömbeck N., (2001), *Water quality and optical properties of Swedish lakes and coastal waters in relation to remote sensing*, Ph.D. thesis, Acta Universitatis Upsalensis 633.
- Strömbeck N., Pierson, D. C., (2001), “The effects of variability in the inherent optical properties on estimations of chlorophyll a by remote sensing in Swedish reservoirs”, *Science of the Total Environment*, 268:123-137.
- Van der Linde, D. W. (1998), *Protocol for determination of total suspended matter in oceans and coastal zones*, Report, Joint Res. Cent., Ispra, 182 pp.