

Il progetto CLAM-PHYM: utilizzo di dati HICO □ per lo studio dei fenomeni meteo-marini nel Nord Adriatico in prospettiva delle future immagini del sensore PRISMA

Federica Braga (*), Cristiana Bassani (**), Ciro Manzo (**), Mariano Bresciani (***),
Claudia Giardino (***), Fabrizio Battazza (****), Luigi Alberotanza (*)

(*) Istituto di Scienze Marine, CNR-ISMAR, Arsenale – Tesa 104, Castello 2737/F, 30122 Venezia, tel. 041 2407950,
e-mail: f.braga; l.alberotanza@ismar.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; c.manzo@iia.cnr.it

(***) Istituto per il Rilevamento Elettromagnetico dell’Ambiente, CNR-IREA, via Bassini 15, 20133 Milano,
tel 02 23699298; e-mail: bresciani.m; giardino.c@irea.cnr.it

(****) Agenzia Spaziale Italiana, ASI, Osservazione della Terra, Via del Politecnico, snc, 00133, Roma,
tel. 06 8567857. e-mail: fabrizio.battazza@asi.it

Riassunto

Le condizioni meteo-marine, idrodinamiche e idrologiche influenzano fortemente lo stato di qualità delle acque costiere e spesso causano effetti locali sul colore del mare, che variano nel tempo e nello spazio. Le immagini da satellite possono aiutare la comprensione dei fenomeni e dei processi dinamici del materiale nelle aree costiere. Nell’ambito del progetto CLAM-PHYM (*Coasts and Lake Assessment and Monitoring by PRISMA HYperspectral Mission*), finanziato dall’Agenzia Spaziale Italiana (ASI), la variabilità spaziale delle mappe di qualità dell’acqua, ottenute da immagini HICO™ del Nord Adriatico, sono state analizzate in relazione alle condizioni idrologiche e idrodinamiche. Lo studio ha permesso di confermare che i dati HICO™ hanno buone potenzialità per supportare la comprensione dei processi costieri oltre ad offrire l’opportunità di simulare e testare le capacità dei futuri sensori iperspettrali.

Abstract

Different meteo-climatic, hydrologic and hydrodynamic conditions strongly influence the water quality of coastal areas and have local effects on water colour, which vary both in time and space. The synoptic maps potentially provided from satellites can support the understanding of the transfer and the processing of materials in coastal margins. In the framework of CLAM-PHYM (Coasts and Lake Assessment and Monitoring by PRISMA HYperspectral Mission) project, funded by Italian Space Agency, some water quality maps were retrieved from HICO □ images of Northern Adriatic Sea. Their spatial variability has been analysed with reference to hydrologic and hydrodynamic conditions. This study supports the use of HICO □ to understand bio-physical processes in coastal zones and suggest the potentialities of the future-generation space-borne hyperspectral images.

Introduzione

Le condizioni meteo-marine, idrodinamiche e idrologiche influenzano fortemente lo stato di qualità delle acque costiere. I processi fisici, chimici e biologici indotti da tali condizioni sono generalmente più complessi nelle aree costiere rispetto alle zone di mare aperto poiché le correnti marine interagiscono con i fondali poco profondi e con gli apporti fluviali a diverse scale temporali e spaziali. In condizioni particolari questi processi causano effetti piuttosto evidenti sul colore del mare perché, facendo variare concentrazione, composizione e distribuzione del materiale sospeso e disciolto, influenzano le proprietà ottiche delle acque costiere.

Di recente, numerosi studi basati sull'analisi di dati ottici *in situ* hanno investigato le relazioni tra proprietà ottiche e processi biogeofisici nelle acque costiere e interne. Cherukuru et al. (2013) ha analizzato l'influenza di processi idrodinamici come gli *input* fluviali e le correnti oceaniche sulle proprietà ottiche e sulla propagazione della luce nella colonna d'acqua nelle acque costiere della Tasmania. Nelle acque costiere australiane, Oubelkheir et al. (2006) ha evidenziato che le proprietà ottiche inerenti (assorbimento e *scattering*) variano spazialmente lungo un sistema estuario-mare e temporalmente secondo il flusso mareale semi-diurno. Anche in Chang et al. (2002), gli autori concludono che la variabilità ottica e biologica è influenzata principalmente dalle maree semidiurne e dalla presenza di opere fisse lungo la costa della Baia di New York. Questi studi hanno sottolineato la necessità di conoscere le relazioni sito-specifiche tra proprietà ottiche e processi costieri in modo da adattare spazialmente e temporalmente gli algoritmi di *retrieval* da satellite dei parametri di qualità dell'acqua.

Le mappe sinottiche prodotte dai dati da satellite possono aiutare la comprensione dei fenomeni e dei processi dinamici di trasporto del materiale nelle aree costiere, perché la riflettanza dell'acqua è significativamente modificata dalla quantità e dalla distribuzione verticale del materiale sospeso e disciolto e risulta caratterizzata da *features* specifiche. Studi oceanografici e di modellistica numerica sono stati associati a stime ottenute da dati da satellite: in Falcini et al. (2012), le serie temporali di concentrazione di materiale sospeso (TSM) ottenute da MODIS sono state utilizzate ad integrazione di modelli di trasporto di sedimenti e dati oceanografici e idrografici raccolti *in situ* per caratterizzare i processi idrodinamici della *plume* del Mississippi durante l'alluvione storica del 2011. Eleveld (2012) ha correlato le mappe di TSM da immagini MERIS con i dati di velocità e direzione del vento: i risultati hanno mostrato che quando la velocità del vento supera una certa soglia, si registrano alti valori di TSM dovuti a fenomeni di risospensione dal fondo, confermando i risultati ottenuti da modelli idrodinamici 3-D.

Lungo le coste del Nord Adriatico sono state registrate diverse situazioni connesse alle forzanti principali, che sono principalmente la circolazione di bacino e lungo-costa, apporti di acque dolci dal Po e dagli altri fiumi dell'Alto Adriatico (Tagliamento, Piave, Adige e Brenta) e venti principali (Bora e Scirocco). Inoltre va considerata anche la marea, che in media ha un *range* di 1 m nella parte più a nord e causa una corrente tidale di circa 0.1 m s^{-1} (Malacic et al., 2000). Osservazioni sperimentali e simulazioni con modelli numerici dei processi idrodinamici e di trasporto di sedimenti sono state effettuate da diversi autori, anche in occasione di eventi estremi. In Boldrin et al. (2009), sono riportate le variazioni dei parametri oceanografici, attraverso misure *in situ* e modellistica numerica, prima, durante e dopo una sequenza di eventi di Bora alla fine di settembre 2002. In Boldrin et al. (2005), sono analizzati gli effetti di una piena del fiume Po sulla distribuzione di TSM e materiale disciolto nella zona del prodelta, mentre in Cozzi et al. (2012), l'analisi è focalizzata sui fiumi dell'Alto Adriatico. Infine, gli scambi di acqua e di sedimenti tra la Laguna di Venezia e il Nord Adriatico sono stati investigati attraverso modelli numerici in Ferrarin et al. (2010). Tuttavia la comprensione di alcuni processi costieri non è ancora pienamente raggiunta. Diventa quindi di interesse poter integrare i dati misurati *in situ* tramite campionamenti o da boe oceanografiche e le simulazioni da modelli numerici con le mappe sinottiche ottenute da satellite con risoluzione spaziale e/o temporale adeguate alla scala dei processi investigati.

Questo articolo si pone l'obiettivo di analizzare la variabilità spaziale dei parametri di qualità dell'acqua, ottenuti da immagini acquisite con il satellite iperspettrale HICOTM, in associazione con le principali forzanti del nord Adriatico, misurate *in situ*. Le mappe di qualità dell'acqua sono ottenute applicando l'approccio metodologico, sviluppato nell'ambito del progetto CLAM-PHYM (*Coasts and Lake Assessment and Monitoring by PRISMA HYPerspectral Mission*), finanziato dall'Agenzia Spaziale Italiana (contratto I/015/11/0).

Area di studio

Il Mar Adriatico è un bacino semichiuso che si trova nel Mediterraneo nord-orientale. Ha una forma allungata con un'area di circa $160,000 \text{ km}^2$ e va dal golfo di Venezia fino allo stretto di Otranto. Il

nostro studio è focalizzato sulla parte più a nord del Mar Adriatico (Figura 1) che è caratterizzata da acque basse con profondità media di 35 m. L'idrologia e i processi dinamici del Nord Adriatico sono principalmente influenzati dalle forzanti meteorologiche (in particolare, il vento), maree e input di acqua dolce dai fiumi. La zona costiera è ricca di estuari e lagune ed il fiume Po è la sorgente principale di acqua dolce nell'Adriatico, fornendo circa il 50% del *run-off* totale, con 2 picchi di portata in primavera e in autunno (Wang et al., 2007). La climatologia è caratterizzata da due venti principali, Bora e Scirocco, che influenzano la struttura della colonna d'acqua e la circolazione del Nord Adriatico: la Bora soffia da nord-est, prevalentemente nel periodo autunno-inverno, determinando il raffreddamento e il rimescolamento della colonna d'acqua e la circolazione di masse d'acqua. Lo Scirocco soffia da sud-est principalmente nel periodo estivo-autunnale e può generare vistosi innalzamenti del livello marino, tra cui ad esempio i fenomeni di "acqua alta" noti in laguna di Venezia. Il fondale è caratterizzato dalla presenza di due tipologie principali di sedimenti: una classe è formata da materiale sabbioso più grossolano compreso tra 50 e 2000 μm , mentre l'altra è composta da *silt*, più fine, con granulometria tra 2 e 50 μm (Brambati et al., 1973). Per quanto riguarda l'aspetto biologico, 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.

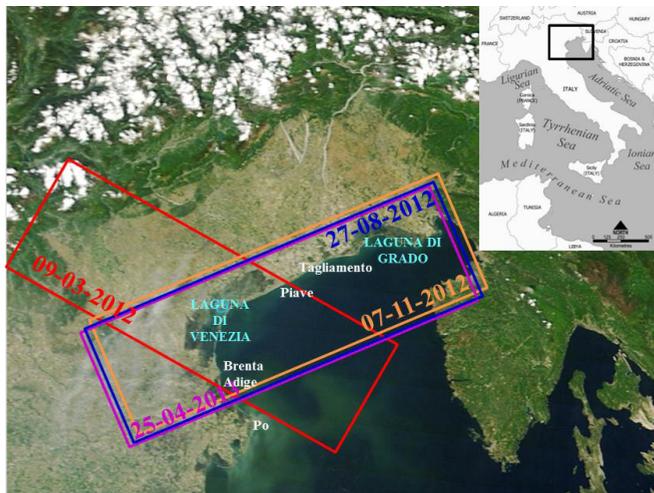


Figura 1 - Nord Adriatico: area di studio da immagine MODIS. Sono riportati i contorni delle immagini HICO \square utilizzate.

Materiali e Metodi

Nell'area di studio sono state eseguite 4 campagne oceanografiche a bordo della N/O URANIA nel periodo tardo invernale-primaverile dal 2011 al 2014. In 173 stazioni, sono state effettuate misure di proprietà ottiche inerenti (IOP) e apparenti dell'acqua (AOP) e di concentrazione dei parametri otticamente attivi. 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 mediante lo strumento Hydroscat-6 della Hobi Labs Inc. Il coefficiente di attenuazione (c) è stato misurato con lo strumento C-Star di WetLabs, montato sulla rosette. Misure di assorbimento e attenuazione sono state effettuate con il profilatore AC-9 di WetLabs in 9 lunghezze d'onda. 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. Misure di assorbimento $a_{\text{CDOM}}(\lambda)$, $a_{\text{ph}}(\lambda)$ e $a_{\text{NAP}}(\lambda)$ 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, analizzati in laboratorio e successivamente modellati in accordo con Fargion e Mueller (2000) e Strömbeck e Pierson (2001). La misura delle concentrazioni di clorofilla (Chl-a) e TSM sono state effettuate con metodo spettrofotometrico (Lorenzen, 1967) e gravimetrico (Van der Linde, 1998) rispettivamente. Le misure di AOP sono state eseguite con lo spettroradiometro WISP-3 (Water Insight), progettato specificatamente per il monitoraggio della qualità dell'acqua, nel range 380-800 nm. In alcune stazioni, sono state inoltre eseguite misure di riflettanza sopra l'acqua e lungo la colonna d'acqua con i radiometri RAMSES (TriOs). Parte dei dati misurati sono stati presentati in Braga et al. (2012).

Presso la stazione AERONET-OC AAOT (45.31390° N, 12.50830° East, 10.0m s.l.m.) posizionata sulla piattaforma Acqua Alta nel Nord Adriatico in prossimità della Laguna di Venezia, sono misurati in continuo dati ottici atmosferici e di radianza alla superficie. Dati di spessore ottico degli aerosol @550nm (AOT), di contenuto colonna di vapor d'acqua (WV) e di *water-leaving radiance*, misurati contemporaneamente ai passaggi HICO™, sono stati utilizzati per la correzione atmosferica.

HICO™ è il primo sensore iperspettrale da satellite, specificatamente configurato per le acque costiere; acquisisce immagini con differenti angoli e ad orari diversi in aree selezionate. Ogni pixel misura 90 m x 90 m, con 87 canali spettrali nel range 400-900 nm, fornendo informazioni sulle proprietà delle acque e sulla riflettanza dei fondali. Una completa descrizione delle caratteristiche di HICO™ è riportata in Lucke et al. (2011). In questo lavoro, le immagini HICO™ sono state selezionate secondo i seguenti criteri: disponibilità di dati ottici di campo sincroni al passaggio, disponibilità di dati atmosferici dalla stazione AERONET AAOT sincroni al passaggio, presenza di *features* specifiche e/o anomalie di colore del mare nelle aree costiere. Sulla base di questi criteri, sono state selezionate 4 immagini: 9 marzo, 27 agosto e 7 novembre 2012 e 25 aprile 2013. Solo per l'immagine del 25 aprile sono disponibili dati ottici di campo sincroni al passaggio.

I dati HICO™ selezionati nel Nord Adriatico sono stati quindi elaborati con metodologie fisicamente basate per convertire la radianza al sensore in riflettanza alla superficie e per estrarre i parametri di qualità dell'acqua. Tali metodologie erano in precedenza già state applicate, per ottenere mappe di concentrazioni di clorofilla e particolato sospeso, ad un'immagine HICO™ con buoni risultati (Braga et al., 2013a, 2013b). Per la correzione atmosferica è stato utilizzato l'algoritmo HICO@CRI, adattando l'algoritmo presentato in Bassani et al. (2010) all'immagine HICO™. HICO@CRI è basato sul codice di trasferimento radiativo 6SV (Kotchenova et al., 2008; Vermote et al., 1997) e implementa anche la correzione per l'effetto di adiacenza secondo Vermote et al. (1997). Le riflettanze così ottenute sono state elaborate tramite il pacchetto software BOMBER (Giardino et al., 2012). Il modello bio-ottico implementato in BOMBER è basato su una tecnica di ottimizzazione d'inversione del segnale che permette di risolvere il trasferimento radiativo nella colonna d'acqua per derivare simultaneamente mappe di concentrazione ed assorbimento dei parametri otticamente attivi delle acque (Chl-a, TSM e CDOM). Il modello è stato parametrizzato utilizzando i dati ricavati dalle misure di campo (assorbimenti e concentrazioni di Chl-a, TSM, CDOM e back-scattering dovuto a Chl-a e TSM) acquisiti durante le 4 campagne oceanografiche.

I dati meteo climatici, tra cui velocità media e direzione del vento, e dati mareografici sono stati rilevati presso la piattaforma Acqua Alta e forniti dal Servizio Previsione e Segnalazione Maree del Comune di Venezia. Le misure di portate idriche medie giornaliere sono state fornite per i fiumi veneti da ARPAV – servizio idrologico e per il fiume Tagliamento dalla Regione autonoma Friuli Venezia Giulia.

Risultati e discussione

Nelle Figure 2-3-4-5 sono presentate le mappe di concentrazione di Chl-a, CDOM e TSM ottenute dall'applicazione delle metodologie proposte.

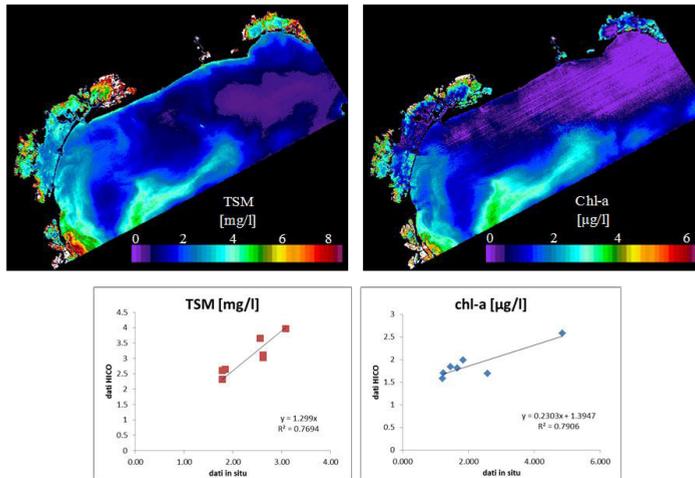


Figura 2 □Mappe di TSM e Chl-a ottenute dall'immagine HICO□ acquisita il 25 aprile 2013. Nei grafici sono riportati gli scatter plot dei prodotti derivati dall'immagine HICO□ e le concentrazioni in situ misurate nelle 7 stazioni campionate e usate per la validazione.

Per la data del 25 aprile 2013 è stato possibile validare le mappe di concentrazione di Chl-a e TSM con i dati *in situ* raccolti in 7 stazioni misurate nell'arco di ± 2 ore al passaggio del sensore. I risultati della validazione mostrano che c'è una buona correlazione sia per il TSM ($R^2 = 0.7694$), sia per la Chl-a ($R^2 = 0.7906$) (Figura 2). Nelle mappe del 25 aprile 2013, le concentrazioni di Chl-a e TSM sono poco correlate tra loro nella parte nord, mentre hanno distribuzione molto simile nella zona sud-occidentale, dove si raggiungono valori di $6.22 \mu\text{g/l}$ e di 11.8 mg/l rispettivamente (Figura 2). Quest'area è influenzata dagli apporti di sedimenti provenienti dal fiume Po, che sono stati trasportati lungo costa dalle correnti costiere e dispersi verso il largo dalla circolazione di bacino in seguito alla piena moderata registrata nei giorni precedenti.

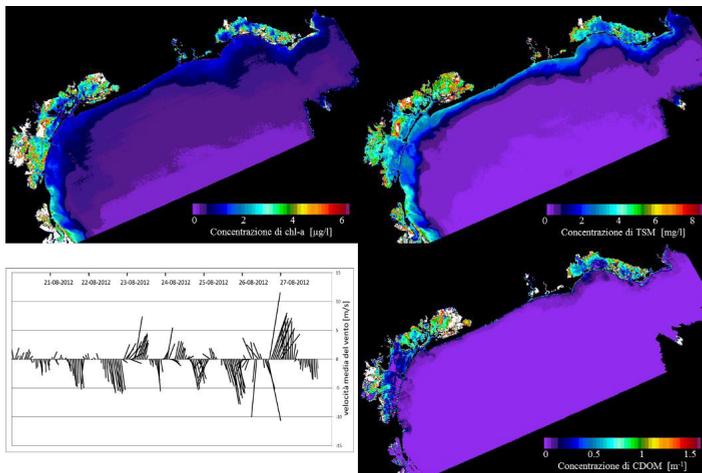


Figura 3 □Mappe di CDOM, TSM e Chl-a ottenute dall'immagine HICO□ acquisita il 27 agosto 2012. Nel grafico sono riportati velocità e direzione media del vento in formato vettoriale (media oraria): la velocità media è indicata dalla lunghezza dei vettori e la direzione rispetto al Nord è rappresentata dall'angolo tra l'asse delle ordinate e il vettore.

Nelle mappe del 27 agosto 2012, le concentrazioni di Chl-a e TSM mostrano *pattern* molto simili con valori decrescenti da costa verso il largo lungo tutta la fascia costiera, passando rispettivamente da 1.38 a 0.45 $\mu\text{g/l}$ e da 3.87 a 0.24 mg/l (Figura 3). Tale gradiente si osserva solo nella fascia compresa tra la linea di riva e la batimetrica dei 10 m, mentre la parte al largo è omogenea. Nella zona a nord del fiume Po (il tratto più a Sud nell'immagine) entrambe le mappe evidenziano valori più alti (5.45 $\mu\text{g/l}$ per Chl-a e 6.90 mg/l per TSM). I valori di CDOM sono omogenei e presentano anomalie con valori più alti solo in corrispondenza delle lagune di Venezia e di Grado, nei punti in cui avvengono gli scambi tra laguna e mare. Nella figura 3 sono riportati i dati di velocità e direzione media del vento misurati in AAOT nei giorni precedenti l'acquisizione dell'immagine HICOTM. Nel grafico si osserva che, tra il 26 e il 27 novembre 2012, si sono susseguiti venti da Sud-Est (Scirocco) e venti da Nord-Est (Bora) con *range* di velocità 8-12 m/s. Tale sequenza di venti moderati ha intensificato la corrente costiera, indotto il mescolamento verticale della colonna d'acqua e aumentato la risospensione di sedimenti dal fondo e il loro trasporto verso Sud. Durante questi eventi, generalmente anche la concentrazione di nutrienti aumenta e di conseguenza aumenta anche la biomassa di fitoplancton. Gli effetti di queste dinamiche possono essere osservate nelle mappe ottenute dall'immagine HICOTM. La distribuzione spaziale di TSM e Chl-a conferma i risultati presentati in Boldrin et al. (2009), in cui venivano analizzati gli effetti della Bora con velocità di 12-14 m/s a fine settembre del 2002.

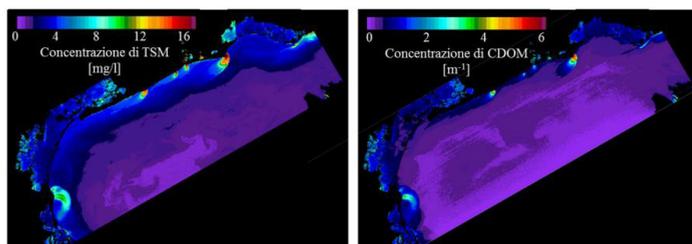


Figura 4 □ Mappe di CDOM e TSM ottenute dall'immagine HICO □ acquisita il 7 novembre 2012 (da notare che le scale dei valori sono cambiate rispetto alle Figure 2 e 3).

Il *run-off* dei fiumi del nord Adriatico è ben evidente nelle mappe di TSM e CDOM del 7 novembre 2012 (Figura 4). Durante i giorni precedenti, le stazioni idrologiche dei fiumi hanno registrato valori di piena moderata: ad esempio, in vicinanza della foce del Tagliamento, i valori di portata idrica hanno raggiunto i 694 m^3/s , rispetto ad una portata media annua di 70 m^3/s . Le mappe di TSM e CDOM mostrano la tipica distribuzione a pennacchio in corrispondenza delle foci dei fiumi: questo indica che i fiumi hanno portato quantità significative di detriti inorganici e di materiale organico disciolto di origine terrigena. Il materiale sospeso e disciolto viene poi trasportato e distribuito lungo costa dalle correnti costiere. Al largo, le concentrazioni di CDOM e TSM sono relativamente omogenee.

L'ultima immagine HICOTM, oggetto di questa analisi, è quella del 9 marzo 2012. L'immagine è stata acquisita in orbita ascendente, per cui l'area costiera ripresa è limitata al litorale prospiciente la laguna di Venezia. Dalle mappe di TSM e CDOM in Figura 5 si notano i tre pennacchi in corrispondenza delle bocche di porto che collegano la laguna con il mare. Queste *features* caratterizzano la fase di marea calante e mostrano il materiale sospeso e disciolto che proviene dalla laguna e che si disperde nel mare. Come già descritto in Defendi et al. (2010), la bocca di Lido (quella più a Nord) trasporta una quantità maggiore di sedimenti sospesi, rispetto a Malamocco (bocca centrale) e Chioggia (bocca a Sud). La quantità di materiale organico disciolto invece ha valori molto simili alle tre bocche, anche se a Chioggia i valori sono leggermente più alti. Questo è dovuto alle caratteristiche del bacino meridionale della laguna di Venezia dove si ha la maggior presenza di valli da pesca e aree umide, sorgenti di CDOM terrigeno.

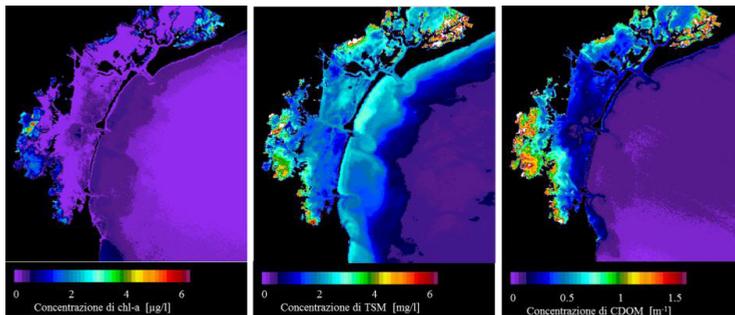


Figura 5 □ Mappe di CDOM, TSM e Chl-a ottenute dall'immagine HICO □ acquisita il 9 marzo 2012 (da notare che le scale dei valori sono cambiate rispetto alle Figure 2 e 3).

Conclusioni

Nell'ambito del progetto CLAM-PHYM (*Coasts and Lake Assessment and Monitoring by PRISMA HYperspectral Mission*), finanziato dall'Agenzia Spaziale Italiana (contratto I/015/11/0), è stato proposto un approccio metodologico fisicamente basato per ottenere mappe di qualità dell'acqua da dati iperspettrali. Tale metodologia era stata in precedenza testata e validata su una immagine del sensore HICO™ sulle acque del nord Adriatico. In questo studio, la stessa metodologia è stata applicata ad una serie di immagini HICO™ del Nord Adriatico in diverse condizioni idrologiche e idrodinamiche. L'analisi spaziale delle mappe di Chl-a, TSM e CDOM ottenute da satellite confrontate con le variabili idrologiche e idrodinamiche ha confermato la capacità dei dati HICO™ e delle metodologie proposte di descrivere la variabilità dovuta a fenomeni locali e regionali e, quindi, di supportare la comprensione dei processi costieri. Inoltre, in attesa della nuova generazione di sensori iperspettrali da satellite (ad es. SENTINELs, HYSPIRY, PRISMA, EnMap), HICO™ ha fornito l'opportunità di simulare e testare le capacità dei futuri sensori iperspettrali.

Bibliografia

- Bassani C., Cavalli R.M., Pignatti, S. (2010). Aerosol optical retrieval and surface reflectance from airborne remote sensing data over land. *Sensors*, 10: 6421-6438.
- Boldrin A., Carniel S., Giani M., Marini M., Bernardi Aubry F., Campanelli A., Grilli F., Russo A. (2009). Effects of bora wind on physical and biogeochemical properties of stratified waters in the northern Adriatic. *Journal of Geophysical Research*, 114: C08S92.
- Boldrin A., Langone L., Miserochi S., Turchetto M., Acri, F. (2005). Po River plume on the Adriatic continental shelf: dispersion and sedimentation of dissolved and suspended matter during different river discharge rates. *Marine Geology*, 222: 135-158.
- Braga F., Bresciani M., Matta E., Giardino C., Bassani C., DeCarolis G., Alberotanza L., Ananasso C. (2012). Caratterizzazione delle proprietà ottiche delle acque costiere del Mar Adriatico per il progetto CLAM-PHYM. Atti 16° Conferenza Nazionale ASITA, 6-9 Novembre 2012, pp. 305-312.
- Braga F., Giardino C., Bassani C., Matta E., Candiani G., Strömbeck N., Adamo M., Bresciani M. (2013a). Assessing water quality in the northern Adriatic Sea from HICOTM data. *Remote Sensing Letters*, 4 (10): 1028-1037.
- Braga F., Giardino C., Bassani C., Bresciani M., Matta E., Adamo M., Alberotanza L., Ananasso C. (2013b). Il progetto CLAM-PHYM: utilizzo di dati HICO™ per lo studio della qualità delle acque del Mare Adriatico in prospettiva delle future immagini del sensore PRISMA. Atti 17a Conferenza Nazionale ASITA, 5-7 novembre 2013, pp. 249-254.
- Brambati A., Bregant D., Lenardon G., Stofa D. (1973). Transport and Sedimentation in the Adriatic Sea. Pubblicazione N. 20 del Museo Friulano di Storia Naturale, 60pp.

- Chang G. C., Dickey T. D., Schofield O. M., Weidemann A. D., Boss E., Pegau W. S., Moline M. A., Glenn S. M. (2002). Nearshore physical processes and bio-optical properties in the New York Bight, *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 107(C9).
- Cherukuru N., Brando V. E., Schroeder T., Clementson L. A., Dekker, A. G. (2014). Influence of river discharge and ocean currents on coastal optical properties. *Continental Shelf Research*, 84: 188–203.
- Cozzi S., Falconi C., Comici C., Čermelj B., Kovac N., Turk V., Giani, M. (2012). Recent evolution of river discharges in the Gulf of Trieste and their potential response to climate changes and anthropogenic pressure. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 115: 14-24.
- Defendi V., Kovačević V., Arena F., Zaggia L. (2010). Estimating sediment transport from acoustic measurements in the Venice Lagoon inlets. *Continental Shelf Research*, 30(8): 883-893.
- Eleveld M. A. (2012). Wind induced resuspension in a shallow lake from Medium Resolution Imaging Spectrometer (MERIS) full resolution reflectances. *Water Resources Research*, 48(4).
- Falcini F., Khan N. S., Macelloni L., Horton B. P., Lutken C. B., McKee K. L., Jerolmack D. J. (2012). Linking the historic 2011 Mississippi River flood to coastal wetland sedimentation. *Nature Geoscience*, 5(11): 803-807.
- 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).
- Ferrarin C., Cucco A., Umgiesser G., Bellafiore D., Amos C. L. (2010). Modelling fluxes of water and sediment between Venice Lagoon and the sea. *Continental Shelf Research*, 30(8): 904-914.
- 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.
- Kotchenova S. Y., Vermote E. F., Levy R., Lyapustin A. (2008). Radiative transfer codes for atmospheric correction and aerosol retrieval: intercomparison study. *Applied Optics*, 47: 2215-2226.
- Lorenzen C. J. (1967). Determination of chlorophyll and phaeo-pigments: spectrophotometric equations, *Limnology and Oceanography*, 12 (2): 343–346.
- Lucke R. L., Corson M., Mcglathlin N. R., Butcher S. D., Wood D. L., Korwan D. R., Li R., Snyder W. A., Davis C. O., Chen D. T., (2011). Hyperspectral Imager for the Coastal Ocean: instrument description and first images. *Applied Optics*, 50: 1501-1516.
- Malacic V., Viezzoli D., Cushman-Roisin B. (2000). Tidal dynamics in the northern Adriatic Sea. *Journal of Geophysical Research*, 105: 26265-26280.
- Oubelkheir K., Clementson L. A., Webster I. T., Ford P. W., Dekker A. G., Radke L. C., Daniel, P. (2006). Using inherent optical properties to investigate biogeochemical dynamics in a tropical macrotidal coastal system. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 111(C7).
- 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.
- Vermote E. F., Tanré D., Deuze J. L., Herman M., Morcette J. J. (1997). Second simulation of the satellite signal in the solar spectrum, 6S: An overview. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 35: 675-686.
- Wang X. H., Pinardi N., Malacic, V. (2007). Sediment transport and resuspension due to combined motion of wave and current in the northern Adriatic Sea during a Bora event in January 2001: A numerical modelling study. *Continental shelf research*, 27(5): 613-633.