

Integrazione tra dati da satellite e rilievi in mare nel monitoraggio delle acque marino-costiere

Nei 102 giorni compresi tra il 20 giugno e il 30 settembre 2004 sono state elaborate 192 scene per un totale di 96 carte prodotte; questo, in sintesi, il risultato del telerilevamento da satellite finalizzato all'individuazione di zone soggette a fenomeni mucillaginosi e a eutrofizzazione lungo la costa adriatica tra la foce del Po e l'Abruzzo. L'attività di telerilevamento di cui trattiamo in questo lavoro è stata coordinata con l'attività di osservazione in mare delle mucillagini stesse, svolta lungo la costa della nostra regione dalla Struttura oceanografica Daphne.

Durante i mesi di luglio e agosto 2004 il laboratorio di telerilevamento di Arpa-Sim ha elaborato immagini MODIS, sensore a bordo del satellite Terra della Nasa, al fine di individuare le zone soggette a fenomeni mucillaginosi lungo la costa adriatica tra la foce del Po e l'Abruzzo.

Quest'attività si inquadra nell'ambito del progetto transfrontaliero REQUISITE (Interreg IIIA) che vede attive le Regioni Emilia-Romagna, Marche, Abruzzo e la Croazia.

Il progetto REQUISITE prevede la realizzazione di una rete che raccolga e integri le informazioni riguardanti i fenomeni di eutrofizzazione e delle mucillagini delle acque marine dell'Adriatico centro settentrionale rilevati dalle Agenzie regionali per l'ambiente e dagli Istituti di ricerca croati e italiani. I bollettini informativi disponibili nel sito web www.arpae.emr.it/daphne/requisite/requisite.htm, costituiscono uno strumento informativo strategico per le amministrazioni regionali, provinciali e comunali, al fine di disporre di informazioni e, se possibile, previsioni sull'andamento dei fenomeni monitorati.

I due fenomeni presi in esame si manifestano su ampia scala interessando l'intero bacino dell'Adriatico centro-settentrionale. Attualmente le attività di monitoraggio effettuate dalle Regioni in risposta alle domande normative nazionali focalizzano le osservazioni sulla qualità delle acque costiere, comprendendo i fenomeni eutrofici, ma non rivolgono la necessaria attenzione al fenomeno delle mucillagini che, ormai da quasi vent'anni, si manifesta in forma invasiva in ampie aree dell'Adriatico.

Oltre alla stretta integrazione con

i dati da satellite con la messa a punto di indici per la stima della probabilità di affioramento e spiaggiamento del materiale mucillaginoso, argomento del presente articolo, è prevista un'attiva integrazione con la modellistica, comprensiva di un modulo previsionale sulle correnti (progetto Adricosm).

Strategico quindi risulta poter elaborare immagini in tempo reale per riuscire a rispondere alle richieste degli amministratori pubblici che presentano l'esigenza di prevedere il destino (affioramento, spiaggiamento ecc.) del materiale mucillaginoso.

L'attività di telerilevamento di cui trattiamo in questo lavoro si è coordinata con l'attività di osservazione in mare delle mucillagini stesse, svolta lungo la costa della nostra regione dalla Struttura oceanografica Daphne.

I dati MODIS vengono scaricati gratuitamente dal sito Internet della Nasa e sono preventivamente elaborati dalla Nasa stessa per correggere le interferenze atmosferiche (Vermote e Vermeulen, 2002) e per escludere i dati che non superano il controllo di qualità.

I canali di MODIS sono riportati in *tabella 1*. L'acquisizione dal satellite avviene ogni mattina ma lo scarico del prodotto dal sito Nasa è possibile solo 3-4 giorni dopo l'acquisizione.

L'area adriatica di interesse è coperta da due diverse scene MODIS che vengono da noi riunite. In *figura 1* è mostrato il mosaico completo delle due scene, che risulta assai più grande dell'area di studio. Se in futuro si volesse espandere ulteriormente l'area di monitoraggio al basso Adriatico, comunque non sarebbe possibile utilizzare lo stesso prodotto MODLAND poiché il dato distri-

buito dalla Nasa si presenta mascherato, come mostrato in *figura 1*.

ELABORAZIONI E

PROBLEMATICHE OPERATIVE

L'elaborazione dai noi svolta sui dati Nasa si basa sul calcolo dell'indice di mucillagine M così strutturato (Vescovi et al., 2003):

$$M = (0.5(C2 + C4) - C3)/C6$$

Il numeratore della formula esalta il calo di riflettanza tipico del materiale mucillaginoso nel canale 3 rispetto alla media dei valori dei canali 2 e 4. Il canale 2 del sensore MODIS è ritenuto particolarmente sensibile alle mucillagini (Tassan, 1993). Il canale 6 è al denominatore perché di solito ha un valore molto alto nel caso delle nubi e molto basso nel caso delle mucillagini. La formula, quindi, esalta le proprietà ottiche delle mucillagini e discrimina le nubi. L'indice è stato derivato grazie anche al contributo di dati radiometrici rilevati a mare (Berthon, 2000).

La procedura seguita operativamente per arrivare al prodotto finale è complessa e consiste di numerose operazioni di importazione, copia e pulitura dei dati, creazione del mosaico, applicazione della formula, applicazione

della scala cromatica per le mucillagini utilizzata da Arpa-Struttura oceanografica Daphne, esportazione in formato grafico ed elaborazione geografica finale.

Il controllo a mare sullo stato di aggregazione del materiale mucillaginoso nella colonna d'acqua viene effettuato periodicamente mediante la visualizzazione con telecamera subacquea, della morfologia degli stati di aggregazione. Durante il periodo primaverile-estivo l'attività di controllo viene intensificata e, qualora sia riscontrata la presenza di sostanze mucillaginosi aggregate, il monitoraggio viene esteso su transetti dal delta Po a Cattolica e da costa fino a 20 km al largo, con scale temporali a carattere settimanale. La finalità è di seguire l'evoluzione delle fasi di sviluppo del materiale gelatinoso individuandone l'estensione, il posizionamento nella colonna d'acqua, gli affioramenti nonché la distribuzione spaziale.

Nel corso dell'estate 2004 le zone antistanti la costa emiliano-romagnola sono state interessate dalla presenza di mucillagine. Il fenomeno si è sviluppato nel periodo giugno-luglio ed è stato limitato come intensità ed estensione rispetto agli anni precedenti

CANALE	INTERVALLO (µm)	RISOLUZIONE (m)	BANDA
1	620-670	250	visibile
2	840-880	250	infrarosso
3	460-480	500	visibile
4	550-570	500	visibile
5	1230-1250	500	infrarosso
6	1630-1650	500	infrarosso
7	2110-2160	500	infrarosso

Tab. 1 - Canali del sensore MODIS (satellite Terra, NASA). Nel prodotto distribuito (MODIS/TERRA - LAND: Surface Reflectance Daily L2G Global 500M SIN GRID V004 - MOD09GHK), i canali 1 e 2 sono ricampionati a 500 m per omogeneità. La dimensione reale del pixel è in effetti di ca. 463 m. I canali 1 e 2 sono comunque scaricabili anche a 250 m (prodotto MOD09GQK).



(periodo 2000-2003). Gli affioramenti sono stati sporadici e confinati nella parte settentrionale e meridionale della costa e occasionalmente hanno interessato la fascia costiera di balneazione. Il fenomeno ha avuto inizio nella prima decade di giugno presentandosi in forma di reticoli negli strati profondi delle zone *off-shore* antistante Ravenna. Nella seconda decade di giugno il processo di aggregazione della mucillagine si intensificava e si compattava soprattutto a livello del termoclino, particolarmente nella parte settentrionale della costa senza mostrare affioramenti compatti significativi a livello di superficie. Nella prima decade di luglio a seguito delle condizioni meteorologiche favorevoli caratterizzate prevalentemente da mare calmo

e temperature elevate, la mucillagine da un lato tendeva ad addensarsi ulteriormente formando ragnatele, nuvole e falsi fondi e dall'altro si spostava verso la superficie e verso costa. Il massimo degli affioramenti, che si mostravano compatti nella superficie con estensione stimata in 4-5 km², è stato riscontrato nella zona antistante P. Garibaldi il 7 luglio 2004, a partire da circa 1 km fino a 3-4 km dalla costa. In *figura 2* sono mostrate immagini MODIS riferite al 7 luglio, uno dei pochi giorni con condizioni meteo favorevoli. Partendo da sinistra si vede il dato a 250 m, corrispondente al prodotto MODIS MOD09GQK (RGB: 2,1,1), in cui gli aggregati mucillaginosi sono ben evidenti; al centro segue il prodotto a 500 m MOD09GHK (RGB: 2,1,4) uti-

lizzato per l'elaborazione dell'indice, e a destra l'immagine generata dall'indice con associata la scala cromatica di Arpa-Daphne. Si può notare come in questa immagine, sono classificate come mucillagini aree più estese di quelle che sono visibili dall'immagine a 250 m, tali aree possono essere state generate anche dalla presenza di materiale in sospensione diverso dalla massa mucillaginoso. Allo stesso tempo gli aggregati di maggiori dimensioni sono stati classificati in una scala variabile tra 2 e 3 (colori dal verde al giallo). Per migliorare l'individuazione dei fenomeni di maggiore dimensione, escludendo i valori confondibili anche con altri fenomeni, potrebbe essere utile restringere il campo di applicazione dell'indice (attualmente

vengono considerati i valori compresi tra 0 e 4). Alcune elaborazioni preliminari effettuate escludendo dall'intervallo i valori minori di 0,6, hanno in effetti mostrato che si ha una minore interferenza di altre sostanze presenti in mare. Questa problematica verrà maggiormente sviluppata nella fase di calibrazione, prevista nei prossimi mesi. In effetti si sono riscontrate alcune discrasie tra le informazioni da satellite e le osservazioni a mare, come per esempio confrontando alcune date relative alla seconda metà di agosto 2004, in cui i dati da satellite hanno individuato presenze mucillaginoso non confermate dai controlli visivi a mare.

Dopo la libeccata intervenuta dall'8-9 luglio, che ha determinato il completo ricambio delle acque costiere, il materiale mucillaginoso affiorato e quello nelle diverse fasi di aggregazione formatosi nella colonna d'acqua, è stato completamente dissolto e disperso al largo. Dagli inizi di agosto alla fine di settembre, in tutte le stazioni lungo i transesti di monitoraggio, dalle indagini effettuate con telecamera subacquea, non sono state rilevate aggregazioni di alcun tipo del materiale mucillaginoso nella colonna d'acqua. Complessivamente la procedura di monitoraggio da satellite si è dimostrata efficace nell'individuazione delle aree interessate dai fenomeni mucillaginosi,

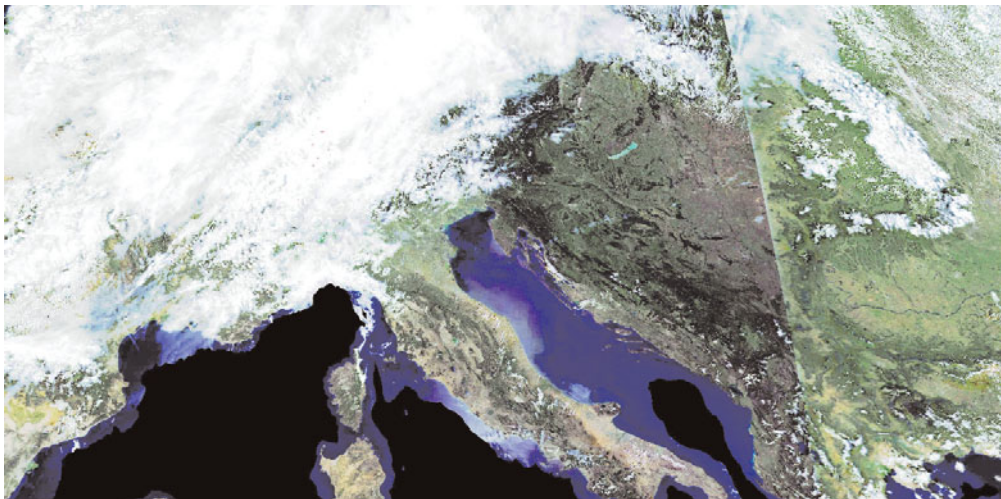


Fig. 1 - Mosaico risultante da h18v04 e h19v04 (colori reali, 04/06/29). Le aree visualizzate in nero sono maschere della NASA

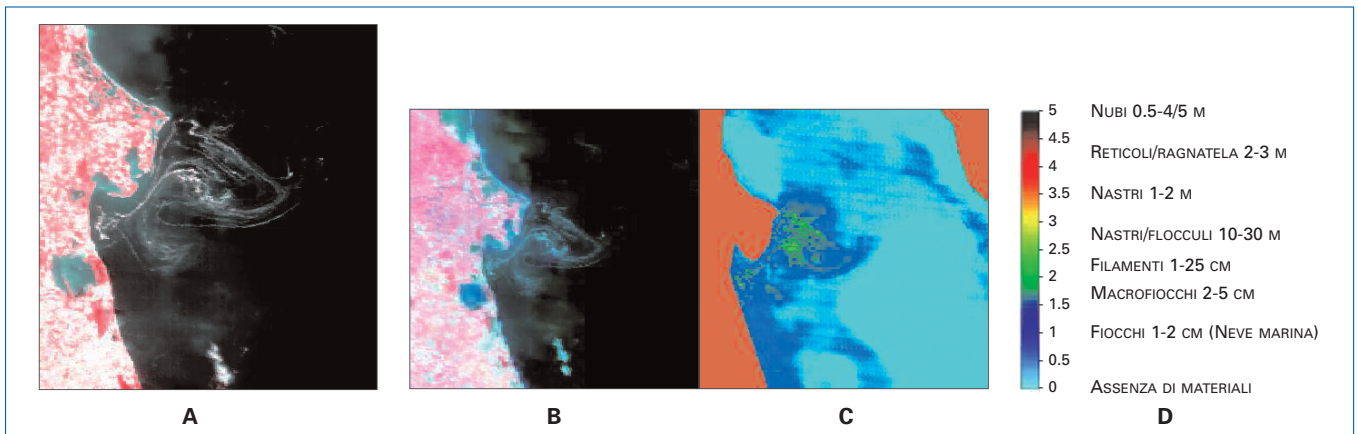


Fig. 2 - Fenomeni mucillaginosi 07/07/04. A= dato MODIS a 250m, B dato a 500m usato per l'elaborazione, C dato a 500m elaborato, D scala di colore Arpa-Struttura oceanografica Daphne.

anche se i dati da satellite possono presentare aree coperte da nuvole o le singole scene possono essere state create dalla Nasa con immagini acquisite in momenti diversi.

Un'interferenza che si presenta nell'individuazione delle mucillagini è prodotta dagli apporti ricchi di sostanza organica e detritica riversati in mare dal fiume Po. Tali pennacchi sono stati presenti per buona parte dell'estate 2004. Simili interferenze sono anche riscontrabili lungo la costa in caso di mareggiate con conseguente presenza di materiale detritico in sospensione. Talvolta inoltre le immagini Modis contengono dei pixel saturati che nelle elaborazioni possono risultare come mucillagini.

La bassa risoluzione dell'immagine rende difficoltosa la localizzazione precisa dei dati nel sistema Utm o in coordinate geografiche. Le scene MODIS vengono fornite proiettate nel sistema Sin che non è implementato sempre correttamente in tutti i software di elaborazione e GPS, con problemi nelle conversioni vettoriali di confini amministrativi regionali e città, da coordinate geografiche o UTM a Sin.

Dalla documentazione fornita si deduce che la co-registrazione tra i canali presenta un errore di 50 m lungo la direzione di scansione, mentre, per i canali 1-7 l'erro-

re è di 100 m lungo la direzione di movimento. Considerando la dimensione dei pixel gli errori sono di solito accettabili e paragonabili agli errori di localizzazione forniti dai sistemi Gps commerciali. Nell'estate 2004 non sono stati considerati errori legati ai movimenti dei corpi mucillaginosi dovuti a correnti e/o venti, ritenuti trascurabili in questa fase di sviluppo della procedura.

CONCLUSIONI

Nei 102 giorni compresi tra il 20 giugno e il 30 settembre sono state elaborate 192 scene per un totale di 96 carte prodotte. Le date mancanti sono dovute a mancate distribuzioni da parte della Nasa o da errori riscontrati nei dati scaricati. In figura 3 è riportato un esempio del prodotto finale realizzato. Rispetto all'analisi che veniva compiuta negli anni passati è raddoppiata la quantità di dati processati. Indicativamente sono stati scaricati dal sito della Nasa 192 file per complessivi 40 gigabyte. Per ogni giorno monitorato sono necessarie due scene Modis. Per quanto riguarda i tempi, è richiesta un'ora e mezza per scaricare una scena, salvo picchi di accesso in cui i tempi possono anche triplicare. Considerando tale media sono state necessarie circa 290 ore di collegamento efficiente.

In un contesto di ottimizzazione

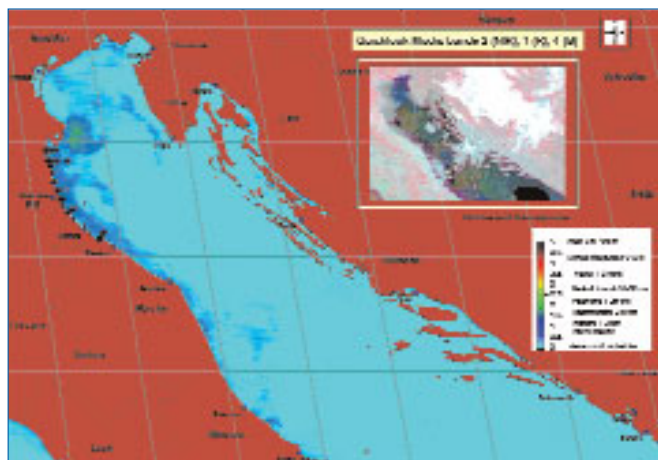


Fig. 3 - Esempio di prodotto cartografico elaborato (07/0704)

delle risorse e disponibilità dei dati in tempo reale, il servizio potrà essere ulteriormente potenziato con una convenzione diretta con un gestore di ricezione MODIS in modo da usufruire in tempi reali dei dati satellitari e avere a disposizione solo il quadrante interessato risparmiando tempo di collegamento. In tal senso sono stati presi alcuni contatti preliminari positivi per garantire, per la prossima estate, un monitoraggio da satellite in tempo "quasi reale". Di tutta la procedura impostata è stato creato un manuale in cui sono descritti i vari passaggi dell'analisi per facilitare la continuità del servizio operativo.

Per ulteriori informazioni sull'at-

tività di monitoraggio delle mucillagini degli anni precedenti (2001-2003) svolta da Arpa-Sim tramite MODIS si rimanda alla bibliografia (Vescovi et al., 2003). Al di là delle applicazioni strettamente marine l'archivio MODIS realizzato in questi anni si presenta comunque di grande interesse per altri studi regionali e continentali su di una vasta area europea.

Andrea Spisni
Vittorio Marletto
 Laboratorio di telerilevamento
 Servizio IdroMeteo
Carla Rita Ferrari
Giuseppe Montanari
 Struttura oceanografica Daphne
 Arpa Emilia-Romagna



Affioramenti di materiale mucillaginoso aggregato

BIBLIOGRAFIA

- Berthon J.F., Zibordi G., Stanford B.H., 2000, *Marine optical measurements of a mucilage event in the northern Adriatic Sea*, Limnol. Oceanogr. 45(2), 3222-3227.
- Justice C.O., Townshend J.R.G., Vermote E.F., Masuoka E., Wolfe R.E., Salcous N., Roy D.P., Morisette J.T., 2002, *An overview of MODIS Land data processing and product status*, Remote Sens. Environ. 83: 3-15.
- Tassan S., 1993, *An algorithm for the detection of the White-Tide ("Mucilage") phenomenon in the Adriatic Sea Using AVHRR Data*, Remote Sens. Environ. 45: 29-42.
- Townshend J.R.G., Justice C.O., 2002, *Towards operational monitoring of terrestrial systems by moderate resolution imaging*, Remote Sensing of Environment 83: 351-359.
- Vermote E.F., Vermeulen A., 2002, *Atmosphere correction algorithm: spectral reflectances (MOD09)*, eosps0.gsfc.nasa.gov/ftp_ATBD/REVIEW/MODIS/ATBD-MOD-08/atbd-mod-08.pdf, April 1999.
- Vescovi F.D., Marletto G., Montanari, 2003, *Monitoraggio MODIS di mucillagini nel Mare Adriatico*, Atti della VII Conferenza nazionale ASITA, Verona 28 - 31 ottobre 2003, 1847-1852.