

Utilizzo d'immagini ad alta e media risoluzione spaziale per lo studio delle zone costiere nel progetto RITMARE

Erica Matta, Mariano Bresciani, Mauro Musanti, Claudia Giardino

Consiglio Nazionale delle Ricerche-Istituto per il Rilevamento Elettromagnetico dell'Ambiente, CNR-IREA, via Bassini 15, 20133 Milano, Italia, tel. 0223699296, fax 0223699300, e-mail: matta.e@irea.cnr.it

Riassunto

Il progetto bandiera RITMARE (Ricerca ITALiana per il MARE) ha tra i suoi obiettivi la salvaguardia dell'ambiente marino e l'utilizzo sostenibile delle sue risorse. Per poter intraprendere decisioni programmatiche sulla gestione dello spazio marittimo costiero è necessario conoscere e monitorare i processi naturali che hanno luogo in questo ecosistema di transizione. In tale contesto il CNR-IREA contribuisce a fornire dati di supporto decisionale agli *stakeholder* del progetto tramite l'elaborazione d'immagini ottiche satellitari e aviotrasportate ad alta risoluzione spaziale. Il lavoro presentato riguarda le attività scientifiche condotte in alcune delle aree test individuate dal progetto (Oristano, delta del Po e foce del Volturno), focalizzate sull'integrazione tra attività di campo e analisi di immagini ottiche per la produzione di mappe tematiche relative alla concentrazione di solidi sospesi nelle acque, alla copertura del fondale e alla batimetria; questi ultimi due parametri calcolati nella fascia costiera entro i primi 10m di profondità. I risultati finali saranno integrati con i prodotti di altri partner di progetto al fine di descrivere morfologicamente le zone costiere d'interesse e le loro evoluzioni temporali.

Abstract

The preservation of the marine environment and the sustainable use of its resources are two of the main objectives of the Italian project RITMARE. Knowledge and monitoring of the main natural processes taking place in the coastal marine ecosystem are the starting points for the implementation of a good managing policy. Within this context the CNR-IREA institute supports stakeholders decisions providing maps derived from the analysis of optical medium to high spatial resolution images. The work here presented concerns the scientific activities performed in three of the target areas identified by the project: Oristano, Po delta and Volturno mouth. The integration between field activities and the elaboration of optical images lead up to the creation of thematic maps about the concentration of suspended solids, the bottom coverage classification and the bathymetry within the first 10m from the coast. Final results will be integrated with other project partners' products in order to describe the morphology and its temporal evolution in the coastal areas of interest.

Introduzione

L'Italia è bagnata per l'80% del suo perimetro dal mare che, grazie ad uno sviluppato settore ittico, alle numerose rotte commerciali e ad un intenso turismo, è una delle principali risorse economiche del Paese. Un così esteso e sfruttato accesso al mare è facilmente soggetto a fenomeni di degradazione dovuti ad inquinamento e ad eccessiva pressione antropica. A ciò si aggiunge una naturale tendenza erosiva delle coste causata dalle variazioni del livello del mare, ultimamente in sempre più forte innalzamento (Cazenave et al., 2001; Tsimplis et al., 2008). È stato dimostrato che esiste uno stretto legame tra il recente arretramento delle coste italiane e la loro gestione da parte dell'uomo (es. Anfuso et al., 2011; Alberico et al., 2012; Aiello et al., 2013). La cementificazione

degli argini e l'estrazione di materiale dagli alvei fluviali hanno fortemente ridotto la capacità dei fiumi di trasportare sedimenti utili a mantenere il naturale equilibrio delle coste. Un'eccessiva urbanizzazione e industrializzazione costiera, in aggiunta all'utilizzo di tecniche di pesca poco attente alla conservazione ambientale, compromettono, invece, la sopravvivenza di numerosi ecosistemi costieri. Come evidenziato dalla Commissione Europea (Libro Blu COM2007/575 del 10 Ottobre 2007 e Direttiva 2008/56/CE), al fine di poter continuare ad accedere all'enorme potenziale dei mari in maniera produttiva e allo stesso tempo non dannosa, è necessario adottare politiche integrate, che considerino simultaneamente tutte le questioni connesse alla risorsa marina. In questo contesto s'inserisce il progetto nazionale RITMARE (Ricerca ITALiana per il MARE), un programma pluriennale (2012-2016) di ricerca scientifica e tecnologica che coinvolge numerosi soggetti pubblici e privati nello sforzo di salvaguardare la risorsa marina in tutta la sua complessità. Finanziato dal Ministero dell'Università e della Ricerca, il progetto RITMARE è coordinato e diretto dal Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR) e si pone tre obiettivi principali: i) la salvaguardia del mare in termini ambientali, ii) lo sfruttamento sostenibile delle sue risorse e iii) la prevenzione/mitigazione degli impatti naturali, considerando il mare come possibile fattore di rischio. RITMARE opera in diversi ambiti connessi allo studio del mare (es. tecnologie marittime, monitoraggio delle aree più sensibili, divulgazione dei dati marini), tra i quali la gestione sostenibile degli spazi marittimi costieri. In tale contesto si propone l'approfondimento della conoscenza relativa ai processi biologici, geofisici, idrologici e morfologici che caratterizzano le coste attraverso l'utilizzo di diverse tecniche di misura e la cooperazione di diversi gruppi di ricerca. Gli sforzi integrati sono focalizzati sulla quantificazione dei bilanci sedimentari e sull'osservazione e l'analisi delle variazioni morfo-batimetriche delle aree costiere.

In questo lavoro si presentano le attività di telerilevamento ottico, a supporto ed integrazione delle metodologie *in situ*, volte allo studio degli habitat costieri, per la fascia batimetrica 0-10 m. Il contributo del telerilevamento è mirato alla produzione di mappe descrittive sia del fondale (batimetria e presenza di fanerogame) sia della matrice acquosa (in particolare torbidità). Le attività presentate in questo lavoro sono state condotte nel primo anno e mezzo rispetto al quinquennio 2012-2016 di durata del progetto. Tali risultati vengono tipicamente raggiunti grazie all'acquisizione di prodotti di *Earth Observation* (EO), all'espletamento di campagne di misura con raccolta dati per attività di calibrazione/validazione e mediante l'utilizzo di tecniche d'analisi per la parametrizzazione degli algoritmi e la loro implementazione nelle catene di *image-processing* (Brando, Dekker, 2003; Braga et al., 2013).

Aree test

Il lavoro si è finora focalizzato sullo studio di tre differenti ambienti costieri, inclusi all'interno delle predefinite aree test RITMARE: acque trasparenti con fondali colonizzati da fanerogame (area di studio di Oristano), acque interessate da importanti fenomeni di trasporto solido (delta del Po) e aree in situazioni intermedie (foce del Volturno).

L'area test di Oristano è situata attorno a Capo San Marco e comprende una zona di golfo a est e una di mare aperto a ovest. Il golfo di Oristano è caratterizzato da una circolazione delle acque poco dipendente dalle maree e più influenzata dai venti, e la porzione inclusa nell'area test ha tempi di residenza delle acque relativamente più alti rispetto ad altre porzioni di golfo (Cucco et al., 2006). I fondali di gran parte del golfo sono coperti da praterie di *Posidonia oceanica* (De Falco et al., 2006), una pianta acquatica endemica del Mediterraneo, che, oltre a costituire habitat per diversi organismi animali, protegge la linea di costa dall'erosione. La parte occidentale dell'area test è esposta alle correnti marine mediterranee e presenta un fondale variegato con alternarsi di substrati rocciosi, sabbiosi e vegetati.

L'area test del delta del Po si sviluppa attorno ai principali sbocchi tramite i quali il fiume riversa le sue acque in mare: Pila (la bocca principale, a sua volta suddivisa in tre sbocchi: Pila, Pila Nord e Pila Sud), Tolle, Gnocca e Goro. In quest'area le acque sono caratterizzate da un forte apporto di sedimenti e materiale organico raccolti nel vasto bacino imbrifero del Po (71.057 km²), un'area

interessata da un forte sfruttamento agricolo e caratterizzata da una densità di popolazione molto elevata, nella quale trovano confluenza immissari provenienti dalle zone montuose delle Alpi e degli Appennini. Gli apporti fluviali in mare presentano due picchi stagionali: durante l'autunno, a causa delle abbondanti piogge, e in primavera, per lo scioglimento delle nevi (Tesi et al., 2011). Ne risulta un sistema molto dinamico, che presenta periodi variabili di accumulo e di erosione.

L'area test della foce del Volturno si estende in direzione nord-sud lungo la costa tirrenica del golfo di Gaeta e comprende lo sbocco in mare del fiume. Il Volturno è il fiume più lungo dell'Italia meridionale (175 km) e ha una portata media di $82 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$, caratterizzata da notevoli concentrazioni di sedimenti sospesi che possono talvolta indurre alla formazione di strutture filamentose nel periodo tra primavera ed estate (Iermano et al., 2012). I fondali presentano una grande varietà di tipologie, da suolo roccioso/sabbioso a copertura di fanerogame marine.



Figura 1. Aree di studio: a sinistra zoom sull'area test di Oristano, in alto a destra zoom sull'area test delta del Po e in basso a destra zoom sull'area test foce del Volturno.

Attività scientifica

L'attività scientifica compiuta si basa sull'analisi di immagini multispettrali satellitari o aviotrasportate ad alta e media risoluzione spaziale, con lo scopo di produrre mappe tematiche riguardo alla batimetria e alla composizione del fondale (Oristano e Volturno) e mappe di concentrazione di solidi sospesi (Po e Volturno). Le riflettanze (flusso radiante di energia/flusso incidente) derivate dalle immagini telerilevate, propriamente corrette per effetti geometrici ed atmosferici, sono direttamente confrontabili con le misure radiometriche effettuabili su campo e sono indicatori della qualità delle acque che si stanno osservando. L'utilizzo di modelli analitici (fisicamente basati), che descrivono le interazioni fisiche tra energia elettromagnetica, acqua e fondale, permette la stima di parametri ottici indicatori della qualità delle acque (es. solidi sospesi totali - TSM, clorofilla a - Chl-a, sostanze organiche disciolte colorate - CDOM) a partire da valori di riflettanza (Dekker et al., 2010; Giardino et al., 2012). Gli stessi modelli, integrando al loro interno le proprietà ottiche dei fondali, sono in grado di fornire valori batimetrici e di composizione relativa del fondale nel caso in cui si tratti di *shallow waters* (acque otticamente basse), cioè acque la cui trasparenza permette alla luce di raggiungere il fondo. La conoscenza e quantificazione di TSM, Chl-a e CDOM tramite misurazioni *in situ*, oltre a caratterizzare la matrice acquosa, è essenziale per la parametrizzazione dei modelli analitici. In questo caso i parametri sopra citati vengono anche descritti tramite le loro proprietà di assorbimento e retrodiffusione della luce,

conosciute come proprietà ottiche inerenti delle acque (IOP). Per la produzione di mappe di copertura del fondale è necessario caratterizzare le diverse tipologie di substrato tramite misure radiometriche *in situ* che descrivono la loro firma spettrale specifica.

Area test Oristano

Nel periodo 1-8 agosto 2013 è stata realizzata una campagna di misure per la caratterizzazione delle proprietà ottiche inerenti ed apparenti (riflettanze) delle acque. In totale sono state effettuate 50 stazioni, in corrispondenza delle quali sono state collezionate molteplici misurazioni. Le riflettanze sono state misurate tramite spettroradiometri di campo (WISP3-Water Insight, Spectrascan-Photo Research). Diversi campioni d'acqua sono stati filtrati e successivamente analizzati in laboratorio per la stima delle concentrazioni dei parametri otticamente attivi e delle proprietà di assorbimento delle componenti acquatiche. Le proprietà di retrodiffusione delle acque sono state misurate con Hydroscat-6 (HOBI Labs). Le diverse tipologie di substrato sono state caratterizzate tramite l'ottenimento delle specifiche firme spettrali. Inoltre, nelle diverse stazioni di misura sono state misurate trasparenza (tramite disco di secchi e LICOR-PAR) e batimetria. Le prime analisi relative alle firme di riflettanza raccolte durante la campagna permettono di fornire una prima suddivisione delle tipologie di acque e di fondali presenti nell'area di studio. In Figura 2 è rappresentata la posizione delle stazioni di misura e una firma spettrale rappresentativa di acque otticamente profonde (*deep waters*), di *shallow waters* con fondale ricoperto da Posidonia e di *shallow waters* con fondale libero da vegetazione.

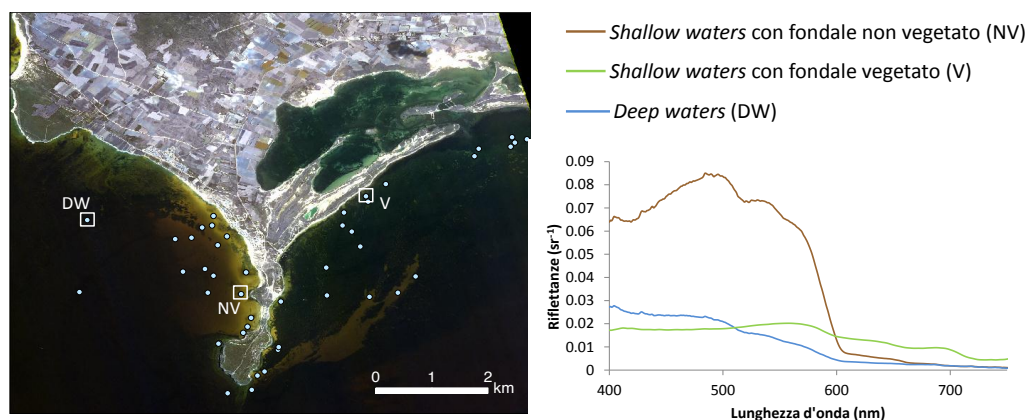


Figura 2. Immagine True Color Kompsat-2 con indicazione delle stazioni di misura. Nel grafico firme spettrali rappresentative di acque con diverse caratteristiche ottiche.

Area test delta del Po

61 immagini satellitari MERIS (*MEDium-spectral Resolution Imaging Spectroradiometer*) nel range temporale 2004-2010, sono state acquisite ed elaborate utilizzando il software BEAM-Visat (Fomferra, Brockmann, 2005). Alle immagini sono state applicate correzioni geometriche ed atmosferiche (Vermote et al., 1997) e sono state derivate le rispettive mappe di concentrazione di TSM, utilizzando un algoritmo basato su reti neurali FUB-WeW WATER Processor (Schroeder et al., 2007). L'analisi dei dati si sta svolgendo in corrispondenza di 6 transetti posizionati di fronte ai diversi sbocchi in mare (vedi Figura 1), ognuno costituito da una successione di 15 regioni d'interesse (ROI) posizionate ad intervalli regolari di distanza (1.5km circa) dalla linea di costa. I dati delle portate fluviali misurati presso la stazione di Pontelagoscuro sono stati acquisiti dal sito dell'Agenzia Regionale per la Protezione dell'Ambiente Emilia Romagna (www.arpa.emr.it). Le portate sono state classificate secondo i diversi regimi di magra, morbida, media e piena, corrispondenti a portate inferiori ai $400 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$, comprese tra 400 e 2000, tra 2000 e 4000 e superiori

a 4000 m³s⁻¹ rispettivamente. Il regime di morbida è risultato il più frequente, regimi di media e di piena sono concentrati principalmente nei mesi di aprile-maggio e novembre-dicembre, mentre i periodi di magra si riscontrano solo in estate, con picchi in luglio-agosto. Le immagini MERIS sono state scelte in modo da coprire gran parte della variabilità di regimi di portate del fiume Po. Dalle prime analisi condotte risulta che le portate del fiume Po sono sicuramente uno dei fattori che influenzano le concentrazioni di solidi sospesi nell'area prospiciente il delta. In Figura 3 sono visualizzate tre mappe di concentrazione di solidi sospesi e le rispettive portate giornaliere.

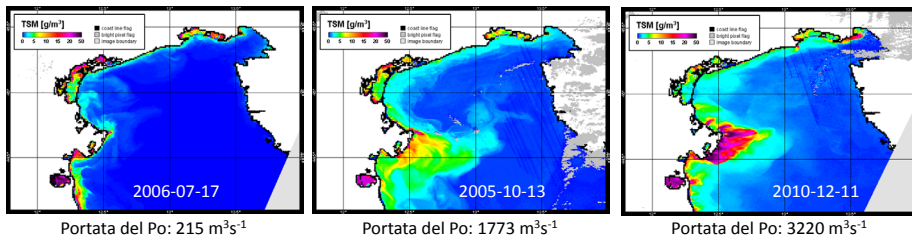


Figura 3. Mappe di concentrazione di TSM derivate da immagini MERIS con rispettive portate del fiume Po misurate a Pontelagoscuro.

Si è inoltre evidenziata una correlazione positiva tra portate e TSM stimato da dati MERIS in corrispondenza delle prime tre stazioni dei transetti fino ad una distanza massima di 3.5 km dalla costa, con valori di indice di Pearson variabili da 0.65 a 0.8. Allontanandosi dalla costa la correlazione diminuisce fino a valori di 0.4 ad una distanza di circa 20 km dalla costa. In Figura 4 è raffigurato l'andamento delle concentrazioni di TSM lungo i transetti, mediando le concentrazioni per i diversi regimi di portata del fiume e mediando tutti i transetti.

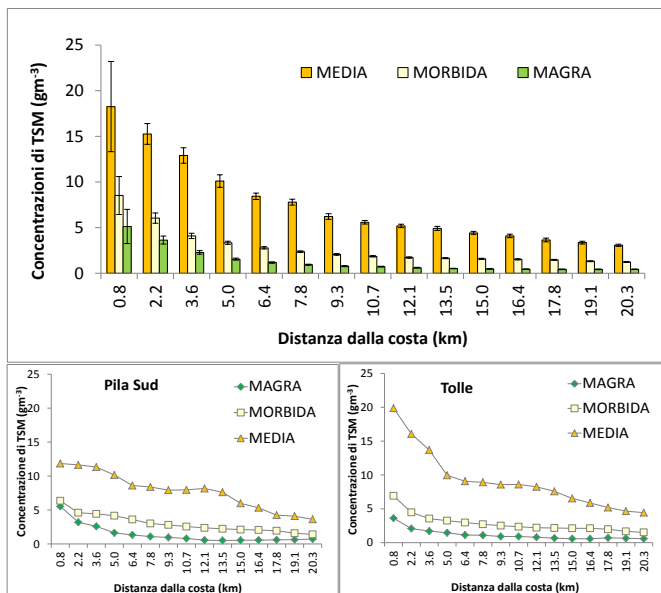


Figura 4. Concentrazioni medie di TSM per i diversi regimi di portata calcolati mediando i valori delle ROI dei sei transetti alla stessa distanza dalla costa (in alto) ed estraendo i valori delle ROI dei singoli transetti di Pila S. e Tolle (in basso).

Si è notato che i TSM trasportati in mare dal fiume Po tendano successivamente ad occupare prevalentemente le acque superficiali poste a sud del delta, probabilmente per effetto di venti e maree. Difatti, i transetti in corrispondenza di Tolle e Gnocca registrano in media concentrazioni confrontabili al transetto di Pila, sebbene contribuiscano solo per il 7% e 10% rispettivamente allo sversamento delle acque del fiume Po (Pila=75%). In Figura 4 si può notare che in regimi di portate relativamente elevate (regime di media), lungo i transetti orientati più a sud (es. Pila S. e Tolle), le concentrazioni di TSM rimangono elevate anche ad una distanza significativa dalla costa, assumendo un andamento poco regolare. Da questa osservazione risulta chiaro che la relazione tra portate e TSM sia complicata da ulteriori fattori idrologici (es. correnti marine) e meteorologici (es. vento, precipitazioni).

Area test foce del Volturno

Il giorno 1 agosto 2012 è stata acquisita un'immagine ottica del sensore multispettrale aviotrasportato DAEDALUS di TELAER/AGEA, con risoluzione spaziale di 1,3 m. In concomitanza al sorvolo è stata effettuata una campagna di misura con utilizzo di spettrometro FieldSPec ASD-FR a supporto delle attività di calibrazione. In seguito alla correzione atmosferica dell'immagine effettuata con il codice *6S-Second Simulation of the Satellite Signal in the Solar Spectrum* (Vermote et al., 1997), con dati di AOT (*Aerosol Optical Thickness*) acquisiti *in situ* con fotometro EKO MS-120, sono state adottate diverse tecniche per la derivazione della linea di costa. L'utilizzo di metodi di classificazione automatica, combinata alla sogliatura di bande nella regione dell'infrarosso, ha permesso di mappare la linea di costa dell'area in esame. Grazie all'applicazione del modello analitico contenuto nel programma BOMBER (Giardino et al., 2012) è stato possibile mappare la trasparenza delle acque nell'area di foce, evidenziando le zone più interessate dal trasporto solido fluviale. L'utilizzo del *tool* BOMBER in modalità batimetrica ha inoltre permesso il riconoscimento di una struttura sommersa che costeggia la linea di costa ad una profondità media di circa 1 metro sotto il livello del mare (variabile in base al livello di marea).

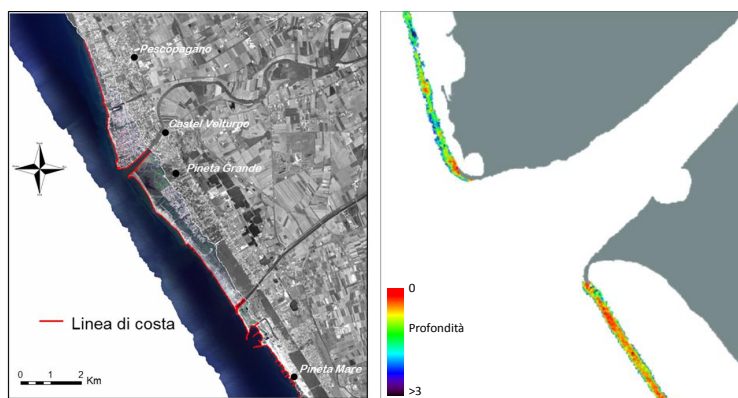


Figura 5. A sinistra in rosso la linea di costa ottenuta dall'immagine DAEDALUS, a destra mappatura della scogliera sommersa con indicazione della profondità.

Obiettivi futuri

Nell'area test di Oristano i dati raccolti durante la campagna di agosto 2013 verranno utilizzati per parametrizzare e successivamente validare, modelli analitici da applicare ad immagini satellitari ad alta risoluzione spaziale (es. WorldView-2, Kompsat-2) per l'ottenimento di mappe batimetriche e di composizione del fondale nella fascia costiera compresa tra 0 e 10m.

Nell'area test del delta del Po sono in corso di elaborazione i dati raccolti durante diverse campagne svoltesi in collaborazione con CNR-IGAG Roma e CNR-ISMAR Venezia. I dati raccolti saranno

utilizzati per la definizione di un algoritmo semi-empirico in grado di descrivere la distribuzione spazio-temporale dei solidi sospesi suddividendo la loro componente organica ed inorganica e valutando il contributo nel segnale di riflettanza delle dimensioni dei sedimenti sospesi. Il *data-set* verrà inoltre utilizzato nello studio delle relazioni tra torbidità delle acque e segnale *multi-beam*, il quale può risentire della presenza di forti carichi di solidi sospesi.

Nell'area test della foce del Volturno è in programma una futura campagna di misura (nel 2014) per integrare le misure *in situ multi-beam* con una più dettagliata descrizione delle proprietà ottiche inerenti e apparenti delle acque.

Ringraziamenti

L'attività di ricerca è finanziata dal progetto RITMARE (MIUR-CNR) e dal progetto CLAMPHYM (ASI contratto n. I/015/11/0). Si ringrazia per la collaborazione relativa alle misure *in situ* del delta del Po Alessandro Bosman (CNR-IGAG) e Federica Braga (CNR-ISMAR), il CNR-IAMC e Martina Aiello per la campagna nel sito test di Oristano, Massimo Antoninetti del CNR-IREA per la campagna nel sito test foce del Volturno. Si ringrazia TELAER/AGEA per le immagini DAEDALUS, ed in particolare Vittorio De Cosmo. Le immagini MERIS sono state acquisite tramite il progetto ESA AO-553 MELINOS.

Bibliografia

- Aiello A., Canora F., Pasquariello G., Spilotro G., (2013), "Shoreline variations and coastal dynamics: A space-time data analysis of the Jonian littoral, Italy", *Estuarine Coastal and Shelf Science*, 129: 124–135.
- Alberico I., Amato V., Aucelli P. P. C., Di Paola G., Pappone G., Roszkopf C. M., (2012), "Historical and recent changes of the Sele River coastal plain (Southern Italy): natural variations and human pressures", *Rend. Fis. Acc. Lincei*, 23:3–12.
- Anfuso G., Pranzini E., Vitale G., (2011), "An integrated approach to coastal erosion problems in northern Tuscany (Italy): Littoral morphological evolution and cell distribution", *Geomorphology*, 129: 204–214.
- Braga F., Giardino C., Bassani C., Matta E., Candiani G., Strömbeck N., Adamo M., Bresciani M., (2013), "Assessing water quality in the Northern Adriatic Sea from HICO™ data", *International Journal of Remote Sensing and Remote Sensing Letters*, 4 (10): 1028–1037.
- Brando V. E., Dekker A. G., (2003), "Satellite Hyperspectral Remote Sensing for Estimating Estuarine and Coastal Water Quality", *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 41 (6): 1378–1387.
- Cazenave A., Cabanes C., Dominh K., Mangiarotti S., (2001), "Recent Sea Level Change in the Mediterranean Sea Revealed by Topex/Poseidon Satellite Altimetry", *Geophysical Research Letters*, 28 (8): 1607–1610.
- Cucco A., Perilli A., De Falco G., Ghezzi M., Umgiesser G., (2006), "Water circulation and transport timescales in the Gulf of Oristano", *Chemistry and Ecology*, 22 (Suppl. 1): 307–331.
- De Falco G., Baroli M., Murru E., Piergallini G., Cancemi G., (2006). "Sediment analysis evidences two different depositional phenomena influencing seagrass distribution in the Gulf of Oristano (Sardinia—western Mediterranean)", *Journal of Coastal Research*, 22 (5): 1043–1050.
- Dekker A. G., Phinn S. R., Anstee J., Bissett P., Brando V. E., Casey B., Fearn P., Hedley J., Klonowski W., Lee Z. P., Lynch M., Lyons M., Mobley C., Roelfsema C., (2011), "Intercomparison of shallow water bathymetry, hydro-optics, and benthos mapping techniques in Australian and Caribbean coastal environments", *Limnology and Oceanography: Methods*, 9: 396–425.
- Fomferra N., Brockmann C., (2005), "Beam – the ENVISAT MERIS and AATSR toolbox, Proc. MERIS-(A)ATSR", Workshop, Frascati, Italy, ESA/ESRIN, [<http://www.brockmann-consult.de/beam/>].

- 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*. DOI: 10.1016/j.cageo.2011.11.022.
- Schroeder T., Schaale M., Fischer J., (2007). "Retrieval of atmospheric and oceanic properties from MERIS measurements: A new Case-2 water processor for BEAM", *International Journal of Remote Sensing*, 28(24): 5627–5632.
- Iermano I., Liguori G., Iudicone D., Nardelli B. B., Colella S., Zingone A., Saggiomo V., d'Alcalà M. R., (2012), "Filament formation and evolution in buoyant coastal waters: Observation and modelling", *Progress in Oceanography*, 106: 118–137.
- Tesi T., Miserocchi S., Goni M. A., Turchetto M., Langone L., De Lazzari A., Albertazzi S., Correggiari A., (2011), "Influence of distributary channels on sediment and organic matter supply in event-dominated coastal margins: the Po prodelta as a study case", *Biogeosciences*, 8(2): 365–385.
- Tsimplis M., Marcos M., Somot S., Barnier B. (2008), "Sea level forcing in the Mediterranean Sea between 1960 and 2000", *Global and Planetary Change*, 63: 325–332.
- Schroeder T., Behnert I., Schaale M., Fischer J., Doerffer R., (2007). "Atmospheric correction algorithm for MERIS above case-2 waters". *International Journal of Remote Sensing*, 28(7): 1469–1486.
- Vermote E. F., Tanre D., Deize J. L., Herman M., Morcrette 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. doi: <http://dx.doi.org/10.1109/36.581987>.
- www.arpa.emr.it