

N° 4
2009

Rivista bimestrale - anno 13 - Numero 4/09 - Speed in abb. postale 70% - Filiale di Roma

GEO MEDIA

Speciale H₂O

La prima rivista italiana di geomatica e geografia intelligente

► **ISMAR-CNR: un approccio a lungo termine
per la comprensione dei cambiamenti climatici**

► **Uso sostenibile delle risorse idriche con
dati telerilevati e software Open Source**

► **Modelli 1D/2D su base Lidar
del bacino del fiume Ofanto**

► **L'Istituto Idrografico
della Marina affronta il futuro**

► **Hinarche 2008: un rilievo
sul tetto del mondo**



L'esperienza di ISMAR-CNR in Adriatico

Un approccio a lungo termine per la comprensione dei cambiamenti climatici

FOCUS

di M. Marini, M. Ravaioli, F. Raich, P. Focaccia e F. Trincardi

L'attività dell'ISMAR-CNR nel Mar Adriatico è di fondamentale importanza per la comprensione degli effetti a lungo termine dovuti ai cambiamenti climatici e alle diverse condizioni ambientali. Nel nostro caso, il lavoro che si svolge in Adriatico è utile per comprendere l'ampia varietà di conoscenze richieste dallo studio dell'ambiente idrico. Se nell'articolo di apertura è stato fatto il punto principalmente sulle discipline idrografiche ed oceanografiche, nel contributo del CNR è possibile riscontrare l'utilità di un approccio integrato e multidisciplinare nello studio delle dinamiche marine; approccio che, come spesso accade, poggia sull'utilizzo di tecnologie geomatiche.

Il clima e le condizioni ambientali del pianeta Terra influenzano e sono a loro volta influenzati dal sistema marino nel suo complesso. Di conseguenza, anche i cicli degli elementi biologicamente più rilevanti – come carbonio, silicio, azoto e fosforo – sono coinvolti nei processi condizionati dal clima e pertanto oggetto di numerosi studi.

In questo contesto, risulta fondamentale promuovere tutti gli sforzi di ricerca che portino ad un aumento delle conoscenze integrate ed a lungo termine. La rete italiana di ricerche ecologiche di lungo termine (LTER-Italia) – dopo una gestazione quasi decennale – ha visto la luce nel 2006 entrando a far parte della rete internazionale ILTER (*International Long Term Ecological Research*). La strutturazione dei siti di ricerca LTER, tra cui il

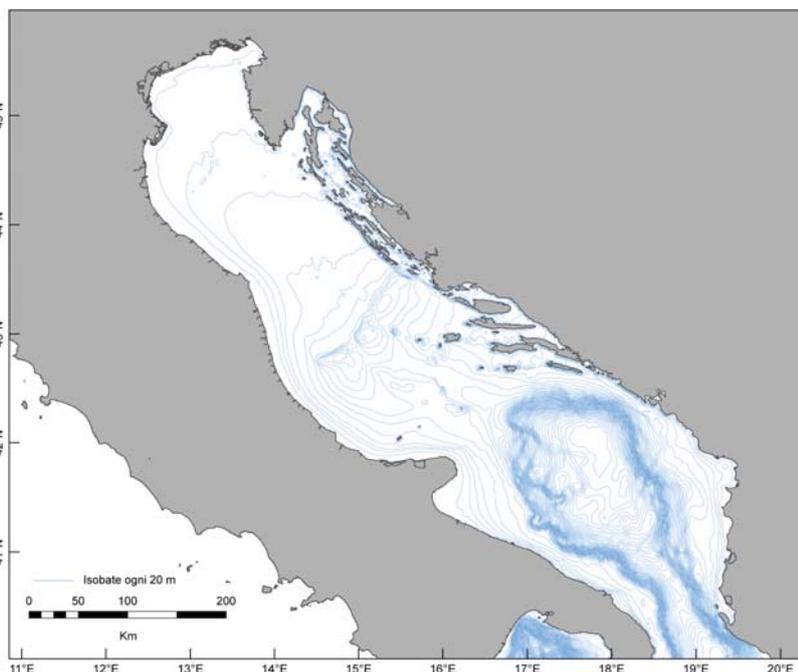
sito *Alto Adriatico*, evidenziano, in maniera particolare, il ruolo degli istituti del CNR, sia nella fase di costituzione della rete, che nella realizzazione diretta di siti di osservazione.

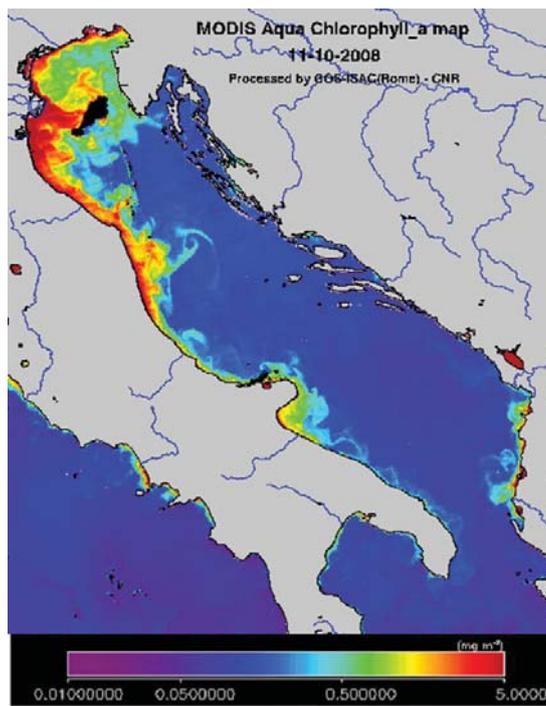
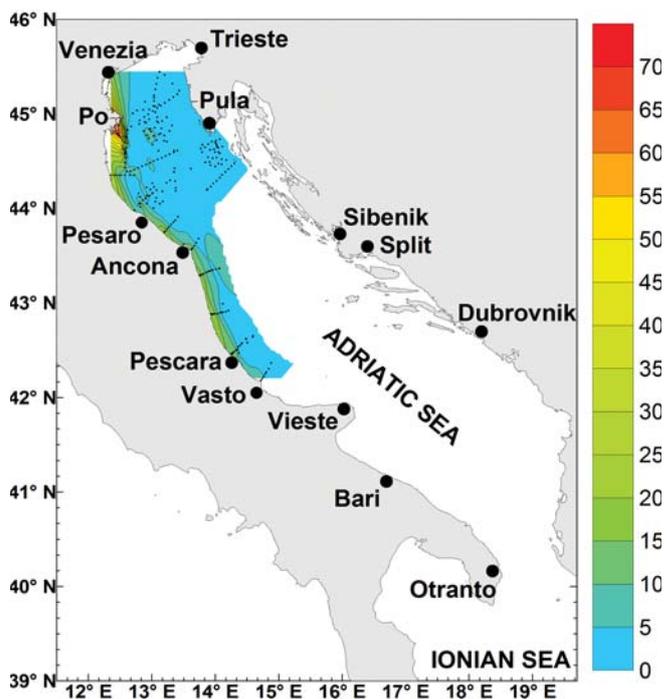
In particolare, i *cambiamenti climatici* sono in grado di influenzare fortemente le variazioni del livello del mare a scale temporali brevi e proprio a questo i media riservano molta attenzione; in realtà, però, tali cambiamenti caratterizzano la storia del pianeta già da prima che l'impatto delle attività umane diventasse rilevante. Il problema non è dunque il fatto in sé, ma è importante comprendere le dimensioni di tale cambiamento e quanto rapido possa essere su scale temporali estese per la stabilità delle società umane, dato che questo si riflette sulla capacità di adattarsi o mitigarlo.

A sinistra, figura 1 - Sito di osservazione: con struttura rigida sul fondo (largo di Senigallia) e con struttura mobile ancorata al fondo (largo della foce del Po).



A destra, figura 2 - Geografia con dettaglio della batimetria dell'Adriatico.





A sinistra, figura 3 - Distribuzione spaziale della concentrazione di azoto inorganico disciolto ($\mu\text{g/l}$) in superficie nel febbraio 2003 (i punti neri rappresentano le stazioni di misura, prese con GPS, effettuate durante due crociere con le navi G. Dallaporta e Knorr).

A destra, figura 4 - Immagine da satellite (SeaWiFS/Modis Aqua) della distribuzione superficiale di clorofilla. Le concentrazioni in rosso corrispondono ai valori massimi (fonte ISAC-CNR, Roma - <http://gos.ifa.rm.cnr.it/adricosm>).

Principali caratteristiche geografiche e oceanografiche dell'Adriatico

Il Mare Adriatico è un bacino di forma rettangolare orientato Nord Ovest-Sud Est, lungo circa 800km e largo mediamente 180km, per una superficie di circa 138.000km². Si distinguono tre aree: il Nord Adriatico che è profondo mediamente 30m, il centro che supera la batimetria dei 100m fino a raggiungere la massima profondità di 274m ed il Sud dove troviamo la maggiore profondità di 1252m nella fossa meridionale, di fronte a Bari.

L'Adriatico, grazie alle catene montuose che lo circondano è il sottobacino del Mediterraneo in cui gli apporti di acque continentali – dolci – sono più rilevanti; in particolare, la parte settentrionale contribuisce con un apporto del 20% al totale dell'acqua dolce del Mediterraneo. Tali acque continentali influenzano le dinamiche fisiche e chimiche, oltre ai processi biologici, condizionando l'apporto di nutrienti e la loro distribuzione ad opera della circolazione. In estate, queste acque formano un esteso strato superficiale sopra il termocline (doppio strato termico con netto salto di temperatura) e in inverno si distribuiscono in uno strato più costiero a causa della forte corrente costiera occidentale e dei venti di Bora.

Il mare Adriatico è un bacino continentale dove la circolazione delle acque e le principali caratteristiche idrologiche sono fortemente influenzate dalle condizioni atmosferiche, principalmente dal vento. I principali venti presenti nell'Adriatico sono la Bora e lo Scirocco. Il vento di Bora è un vento catabatico (ovvero un vento che scende da una collina, montagna o ghiacciaio), secco e freddo che proviene da Nord-Est ed è associato spesso ad un sistema di alta pressione collocato nell'Europa centrale.

In inverno la Bora determina rapidi e intensi raffreddamenti dell'acqua di mare con conseguente formazione di acque dense che raggiungono il fondo e dal Nord Adriatico e defluiscono verso Sud, attraverso il Canale di Otranto, raggiungendo il mar Ionio.

Il vento di Scirocco proviene da Sud-Est ed è associato ad un sistema di bassa pressione situato sopra il Mar Tirreno. Lo Scirocco è un vento caldo e umido ed è una delle principali cause di alta marea nel nord Adriatico, come si registra spesso nella Laguna di Venezia.

La circolazione ciclonica tipica del bacino Adriatico è legata al gradiente di densità e al forzante atmosferico (cioè ai venti dominanti) e gioca un ruolo fondamentale nella distribuzione dei nutrienti apportati dai fiumi soprattutto lungo la costa occidentale. La concentrazione di nutrienti lungo la fascia costiera determina la fioritura di fitoplancton che si deduce dall'immagine da satellite che riporta la concentrazione di clorofilla (figura 4).

Risultati di alcune recenti ricerche condotte in Adriatico

Il fenomeno dell'ipossia in prossimità del fondale nel nord Adriatico

Durante il periodo primaverile-estivo, in presenza di un doppio strato caratterizzato da masse d'acqua a differenti temperature (superficiali e di fondo), si osserva un naturale decremento della saturazione d'ossigeno nello strato di fondo dovuto al progressivo consumo di ossigeno da parte dei microrganismi che mineralizzano (attraverso reazioni chimiche di ossidazione) l'abbondante sostanza organica apportata dalle acque fluviali. Questa sostanza organica portata dai fiumi permane nell'area di piattaforma Nord adriatica grazie anche ai venti di Bora che, attraverso il raffreddamento invernale e l'aumento di densità delle acque superficiali, ne accelerano la deposizione sul fondo. Se non si verificano eventi di tempesta in grado di mescolare le masse d'acqua e risospingere i sedimenti dal fondo, l'ossigeno disciolto viene consumato e si giunge ad una situazione come quella verificatasi nell'ottobre 2002, dove si sono osservate concentrazioni particolarmente basse di ossigeno disciolto (*ipossia*) che possono essere spesso causa di una diffusa moria di specie ittiche. Questo fenomeno è particolarmente marcato nelle stazioni costiere di fronte a Cesenatico ed in quelle di Goro e di Punta della Maestra al largo del Po. La diminuzione d'ossigeno lungo la colonna d'acqua è interpretata come un effetto di una circolazione semi-chiusa e di una forte stabilità verticale della colonna d'acqua che si stratifica durante l'estate.

Durante l'autunno, con il manifestarsi dei primi venti di Bora che si protraggono per più giorni, si ha il rimescolamento dell'intera colonna d'acqua, fino al fondo, con la conseguente distruzione

del doppio strato termico; l'apporto d'ossigeno sul fondo permette la sopravvivenza delle specie ittiche che vivono a profondità o all'interno del sedimento. Alcuni progetti Internazionali e nazionali coordinati da ISMAR-CNR, fra cui EMMA (UE-Life), Anossia (MIPAF) ed ANOCSIA (MIUR-Firb), hanno incentrato le loro attività sulla modellizzazione e previsione della distribuzione e concentrazione dell'ossigeno disciolto nelle acque.



Figura 5 - Laboratorio di chimica a bordo della nave Urania del CNR.



Figura 6 - La nave Urania, del CNR, usata per le ricerche oceanografiche nel mediterraneo.

Fattori oceanografici nella formazione di mucillagini in Adriatico

Durante il programma di ricerca MAT sullo studio dei processi di formazione delle mucillagini dell'Adriatico e del Tirreno e finanziato dal Ministero dell'Ambiente Italiano, si sono svolte 40 crociere oceanografiche mensili campionando parametri meteorologici, idrologici (fisici e chimici) e biologici, accompagnati da immagini subacquee, su tre transetti, dalla costa italiana alla costa croata. L'elaborazione di questi dati ha permesso una descrizione ad alta risoluzione della variabilità delle condizioni oceanografiche dell'Adriatico centro settentrionale che sono risultate indispensabili per lo studio delle variazioni idrologiche, per la correlazione delle variazioni di tutti i parametri biologici con le condizioni oceanografiche e climatiche e per comprendere il processo di formazione delle mucillagini.

Evoluzione del livello marino

Limitandosi al periodo successivo al picco glaciale di circa 21.000 anni fa, il rapporto dell'IPCC (*Intergovernmental Panel on Climate Change*) del 2001 riporta che tra 21.000 e 3.000 anni fa l'aumento medio del livello è stato di circa 67cm per secolo (per un totale di 120m), negli ultimi 6.000 anni di 5cm per secolo,

negli ultimi 3.000 anni di 1-2cm per secolo e negli ultimi 100 anni di 10-20cm; il rapporto IPCC del 2007 aggiunge che fra 3.000 e 2.000 anni fa il livello si è praticamente stabilizzato e tra 2000 e 100 anni fa l'aumento è stato inferiore a 2cm per secolo. Mentre per il periodo precedente (circa nel 1870) le stime sono essenzialmente basate su evidenze geologiche, successivamente esistono osservazioni dirette presso stazioni mareografiche e, dal 1992, osservazioni altimetriche da satellite. Varie stime sull'innalzamento medio del livello del mare concordano su valori di 1.5-2.0mm/a per il ventesimo secolo. Per queste stime si tiene conto dei movimenti verticali del suolo legati al *Glacial Isostatic Adjustment*, conseguenza della scomparsa delle calotte glaciali, che è generalmente minore di 1mm/a, mentre i movimenti verticali locali per subsidenza o attività tettonica non sono generalmente presi in considerazione. Le variazioni del livello marino globale sono la conseguenza delle variazioni di volume dei bacini oceanici e/o della massa d'acqua in essi contenuta.

L'IPCC (2007) riporta stime dei trend delle componenti di livello marino corrispondenti alle variazioni di massa e volume, confrontandole con gli andamenti del livello osservati per i periodi 1961-2003 (osservazioni con mareografi) e 1993-2003 (osservazioni da satellite), ottenendo un sostanziale accordo (entro l'errore) in entrambi i casi. Si deve notare come l'effetto sterico sul livello, cioè dell'espansione termica, presenti una notevole variabilità temporale, che si sovrappone all'aumento medio. Le misure altimetriche da satellite durano dal 1992 grazie alle missioni TOPEX/POSEIDON, ERS, JASON e consentono di produrre mappe settimanali della superficie dell'oceano (www.aviso.oceanobs.com).

Come accade anche in molte altre zone del mondo, anche nel Mediterraneo la copertura delle osservazioni mareografiche è alquanto irregolare sia nello spazio che nel tempo. Le stazioni i cui dati sono riferiti a caposalda terrestri noti e che hanno almeno 20 anni di dati continui sono 45, di cui 9 nel Mar Nero.

Se si richiedono almeno 80 anni di dati, il numero di stazioni si riduce a 5 in Mediterraneo, cioè Venezia (inizio nel 1872), Trieste (1875), Genova (1884), Marsiglia (1885), Marina di Ravenna-Porto Corsini (1896), e 4 nel Mar Nero, cioè Poti (1874), Batumi (1882), Tuapse (1917) e Sebastopoli (1910).

Dai dati di Trieste, Genova e Marsiglia si stimano trend secolari di 1.2-1.3 mm/a. Venezia e Marina di Ravenna danno valori di 2.2 e 8.3 mm/a, ma sono affette dalla marcata subsidenza del suolo di origine antropica, dovuta alle attività estrattive effettuate nel passato. Questi trend non tengono conto dei movimenti verticali del suolo. Le informazioni su di essi non sono numerose; provengono essenzialmente da livellazioni eseguite sporadicamente e solo in tempi molto recenti è stato possibile ottenere misure continue (dati giornalieri) grazie all'impiego del GPS. A titolo di esempio, nel periodo 1996-2006, il mareografo di Marina di Ravenna ha subito un abbassamento medio di 5.4 mm/a e, nel periodo 2000-2005, quello di Trieste di 1.3mm/a.

In ogni caso, le stime degli andamenti fatte su periodi relativamente brevi sono molto sensibili al particolare periodo e alla posizione geografica del sito, anche in funzione della variabilità del forzante atmosferico, che gioca un ruolo importante nel condizionare le fluttuazioni interannuali e interdecadali.

Ricerche ecologiche di lungo termine

La ricerca ecologica di lungo termine, effettuata in siti stabili e con metodi confrontabili, ha già consentito di arrivare a una migliore comprensione delle dinamiche ecologiche e degli ecosistemi in ambienti terrestri, di transizione e marini. E' proprio con ricerche di questo tipo che sarà possibile valutare, nel tempo, l'impatto dei cambiamenti climatici già in atto. Ad esempio, la presenza di una rete di misura dello scambio di

carbonio tra ecosistemi terrestri ed atmosfera, ha reso possibile valutare l'effetto che l'estate anomala del 2003 ha avuto sulla produzione primaria in Adriatico. Il proseguimento di ricerche di questo tipo, effettuate su ecosistemi molteplici, consentirà di monitorare la risposta degli ecosistemi al cambiamento del clima e di capire i possibili meccanismi di adattamento.

Per questo il CNR, insieme ad altre istituzioni di ricerca italiane ed europee sostiene, anche con investimenti strutturali, la rete ed i siti di ricerca ecologica a lungo termine (programma europeo ENVEUROPE). A questo progetto ISMAR-CNR contribuisce anche con numerosi siti osservativi tra cui 5 stazioni fisse di misura che sono distribuite a partire dal Golfo di Trieste fino ad Ancona, a garanzia di una buona risoluzione delle osservazioni oceanografiche per l'alto Adriatico.

Considerazioni conclusive

Sono state illustrate alcune ricerche condotte nel mare Adriatico dai ricercatori di ISMAR-CNR per contribuire al dibattito scientifico nel contesto internazionale. Sono stati fatti riferimenti a metodologie utilizzate per il campionamento di parametri oceanografici di varia natura come: stazioni di misura in mare

acquisite tramite crociere oceanografiche con navi appositamente attrezzate e con sistemi di posizionamento e navigazione di precisione; stazioni fisse di misura in mare come boe e piattaforme; stazioni costiere di misura del livello del mare; sensori di vario tipo montati su satellite per rilevare la colorazione, la produttività ed il livello del mare.

Tutte le strumentazioni e le metodologie mostrate evidenziano l'importanza di investire in risorse umane, tecnologia e studi per poter continuare l'esplorazione dei mari anche al fine di interpretare al meglio i cambiamenti climatici in atto e trovare risposte all'uso sostenibile delle molteplici risorse marine. I principali vantaggi derivanti da questi studi si possono brevemente riassumere in: continuità temporale delle registrazioni da sensori posti su strutture fisse o mobili – che consente di conoscere la variabilità su scale da giornaliera ad annuale e interannuale; copertura spaziale e temporale dell'intero pianeta per l'acquisizione tramite satellite.

Per quest'ultimo aspetto è rilevante la continua validazione e calibrazione dei sensori attraverso studi sinottici in mare che permettono di tarare le misure remote aumentando la quantità e la qualità di questo tipo di osservazioni. **G**

Bibliografia

Artegiani A., M. Gacic, A. Michelato, V. Kovacevic, A. Russo, E. Paschini, P. Scarazzato, A. Smircic, 1993. *The Adriatic Sea hydrology and circulation in spring and autumn* (1985-1987), Deep Sea Research II, 40, (6): 1143-1180.

IPCC, 2001: *Climate Change 2001: The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Houghton, J.T., et al., Ed., Cambridge University Press, Cambridge, UK, e New York, NY, USA, 881 pp.

IPCC, 2007: *Observations: Oceanic Climate Change and Sea Level. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Solomon, S., et al., Ed., Cambridge University Press, Cambridge, UK, e New York, NY, USA, 385-432.

Levitus S., J.I. Antonov e T.P. Boyer, 2005: *Warming of the World Ocean, 1955-2003*. Geophys. Res. Lett., 32, L02604, doi:10.1029/2004GL021592.

Peltier, W.R., 2001: *Global glacial isostatic adjustment and modern instrumental records of relative sea-level history*. In "Sea Level Rise: History and Consequences", Douglas, B.C., M.S. Kearney, e S.P. Leatherman, Ed., Academic Press, San Diego, 65-95.

Marini, M., B. H. Jones, A. Campanelli, F. Grilli, and C. M. Lee, 2008. *Seasonal variability and Po River plume influence on biochemical properties along western Adriatic coast*, J. Geophys. Res., 113, C05S90,

Poulain P. M. and F. Raicich, 2001. Forcings In: *Physical Oceanography of the Adriatic Sea* edited by B. Cushman-Roisin et al., Kluwer Academic Publishers, Netherlands, 45-65.

Zoppini A., Pettine M., Totti C., Puddu A., Artegiani A., Pagnotta R. 1995. *Nutrients, standing crop and primary production in western coastal waters of the Adriatic sea*. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 41, 493-513.

Abstract

Variability of the oceanographic structure in the Adriatic Sea and the its relation to climate change: the activity of ISMAR-CNR.

Over the last few decades, ISMAR-CNR carried out several oceanographic studies in the Adriatic sea using research vessels, buoys, moored instrumentations and satellite remote sensing for earth exploration and climate change interpretation. The present paper describe the activities of ISMAR-CNR finalized to the answering of key scientific questions and defines the drivers for sea-level rise, eutrophication, hypoxia, and mucilage. In particular, the importance of long term research for spatial and temporal observations of semienclosed marine basins as a key environment for the earth system as a whole is highlighted.

Autori

MAURO MARINI
MARIANGELA RAVAIOLI
FABIO RAICICH
PAOLA FOCACCIA
FABIO TRINCARDI

Istituto di Scienze Marine,
Consiglio Nazionale delle Ricerche (ISMAR-CNR)

MAURO.MARINI@AN.ISMAR.CNR.IT
MARIANGELA.RAVAIOLI@BO.ISMAR.CNR.IT
FABIO.RAICICH@TS.ISMAR.CNR.IT
PAOLA.FOCACCIA@BO.ISMAR.CNR.IT
FABIO.TRINCARDI@BO.ISMAR.CNR.IT