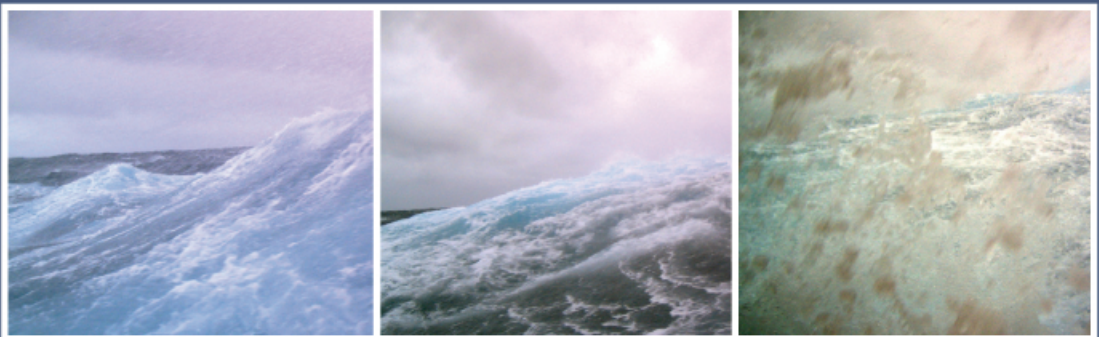


Oceanografia in Operativa Italia verso una gestione sostenibile del mare

Operational Oceanography in Italy
toward a sustainable management of the sea



I quaderni di Arpa

Membri dello GNOO



AGENZIA NAZIONALE PER LE NUOVE TECNOLOGIE,
L'ENERGIA E LO SVILUPPO ECONOMICO SOSTENIBILE



© 2012 Arpa Emilia-Romagna
Via Po 5, 40139 - Bologna. Tel. 0516223887 - Fax 0516223801
<http://www.arpa.emr.it> - arpared@arpa.emr.it

Le immagini alle pagine: 17, 29, 43, 59, 60, 61, 82, 88, 108, 114, 123, 124, 131, 139, 149, 161, 174, 175, 194, 237, 258, 263 sono a opera di Volfango Rupolo

La traduzione in inglese è stata curata dall'INGV

I quaderni di Arpa

Direttore **Stefano Tibaldi**
Direttore responsabile **Giancarlo Naldi**
Coordinamento editoriale **Giancarlo Naldi**
Impaginazione **Nicolas Campagnari (Odoya srl)**

Stampato da Premiata stabilimento tipografico dei comuni, Santa Sofia (Fc)
Registrazione Trib. di Bologna n.7988 del 27-08-2009
Su carta Cocoon Offset



Chiuso in redazione nel mese di novembre 2012
ISBN 978-88-87854-29-9

Oceanografia Operativa in Italia
verso una gestione sostenibile del mare

*Operational Oceanography in Italy
toward a sustainable management of the sea*

a cura di

Paolo Oddo
Giovanni Coppini
Roberto Sorgente
Vanessa Cardin
Franco Reseghetti

Indice

Prefazione	11
Attività di monitoraggio e studio nell'Adriatico Nord-occidentale <i>Monitoring and Study Activities in the North-Western Adriatic</i> A. Rinaldi	13
Il sistema di Oceanografia Operativa nazionale ed europeo <i>Italian and European Operational Oceanography Systems</i> N. Pinardi, G. Coppini, S. Dobricic, C. Fratianni, P. Oddo, M. Tonani	19
Introduzione ai sistemi osservativi dell'oceanografia operativa <i>An Introduction to Operational Oceanography Observation Systems</i> V. Cardin, M. Ravaioli, F. Reseghetti	37
Sistema cooperativo nel campo dell'osservazione marina: vantaggi e problemi <i>A Co-operative System in the Field of Marine Observation: Advantages and Problems</i> G.M.R. Manzella	47
Le reti di monitoraggio dello stato ecologico nelle acque costiere marine antistanti l'Emilia-Romagna <i>Ecological-State Monitoring Networks in Marine Coastal Waters off Emilia-Romagna</i> G. Montanari	53
La nuova rete ondometrica nazionale: una infrastruttura di osservazione in tempo reale a servizio dell'oceanografia operativa <i>The New National Wave-Measuring Network: A Real-Time Observation Infrastructure for Operational Oceanography</i> M. Bencivenga, G. Nardone	65
L'impiego delle reti di monitoraggio in tempo reale nei sistemi di previsione dei fenomeni di storm surge lungo i litorali e nelle lagune nord adriatiche <i>The Use of Real-Time Monitoring Networks in Storm-Surge Phenomenon Forecasting Systems for Northern Adriatic Coasts and Lagoons</i> M. Ferla, M. Cordella, A. Defina, B. Matticchio	73
Sistemi osservativi in Adriatico a supporto dell'oceanografia operativa <i>Observation Systems in the Adriatic for Supporting Operational Oceanography</i> P.M. Poulain, V. Cardin, R. Gerin, F. Brunetti	85
Il sistema di osservazione Mediterraneo basato su navi di opportunità e boe <i>The Mediterranean Ship-of-Opportunity and Buoy-Based Observation System</i> G.M.R. Manzella, V. Cardin, F. Reseghetti, M. Bensi, R. Bozzano	93

L'utilizzo dei dati derivanti da boe oceanografiche nei modelli previsionali idrodinamici <i>Using Data from Oceanographic Buoys in Hydrodynamic Forecasting Models</i> M. Ravaioli, M. Pastore, A. Guarnieri, V. Cardin, M. Bensi, G. Bortoluzzi, R. Bozzano, P. Focaccia, S. Pensieri, N. Pinardi, P. Picco, A. Russo, G. Stanghellini	99
In ricordo di Volfrango <i>Remembering Volfrango</i> V. Artale	113
Il sistema di previsioni numeriche ad alta risoluzione del CNMCA (Servizio Meteorologico dell'Aeronautica Militare), recenti sviluppi e applicazioni operative <i>The CNMCA (Air-Force Meteorological Service) high-resolution numerical forecasting system: recent developments and operational applications</i> L. Torrisi	127
Il sistema di previsioni del Mar Mediterraneo: a 10 anni dal suo inizio <i>The Mediterranean Sea Forecasting System: Ten Years On</i> C. Fratianni, M. Tonani, N. Pinardi, M. Adani, G. Coppini, S. Dobricic, M. Drudi, A. Grandi, P. Oddo, D. Pettenuzzo, S. Lyubartsev	135
Il sistema nazionale di Previsione dei Mari Regionali Italiani <i>The National Forecasting System for Italian Regional Seas</i> L. Fazioli, R. Sorgente, A. Olita, A. Guarnieri, P. Oddo, E. Napolitano, R. Iacono	145
Un sistema previsionale di storm surge in Mar Mediterraneo <i>A Storm-Surge Forecasting System for the Mediterranean</i> C. Ferrarin, G. Umgiesser, A. Cucco, A. Roland, M. Bajo, S. Davolio, A. Buzzi, P. Malguzzi, O. Drofa, M. Fantini, C. Rendina	157
Modello di dispersione di idrocarburi in mare per previsioni a breve termine nel Mar Mediterraneo <i>A model for short-term forecasts of hydrocarbon dispersion in the Mediterranean Sea</i> M. De Dominicis, G. Coppini, N. Pinardi, G. Zodiatis, R. Lardner	169
Spunti per superare i problemi legati al passaggio delle previsioni operative dal mare aperto alla linea di riva <i>Overcoming Problems Connected with Operational Forecasts from the Open Sea to the Shoreline</i> A. Russo, M. Brocchini	181
Modellistica biogeochimica nel Mar Mediterraneo: il nuovo modello operativo OPATM-BFM VI <i>Biogeochemical Modelling in the Mediterranean Sea: The New OPATM-BFM VI Operational Model</i> A. Teruzzi, P. Lazzari, G. Bolzon, S. Salon, V. Ibello, C. Solidoro, A. Crise	189
L'oceanografia operativa di ARPA-SIMC a supporto del Centro Funzionale dell'Emilia-Romagna e del Centro di Competenza del Sistema Nazionale di Protezione Civile <i>ARPA-SIMC Operational Oceanography for the Emilia-Romagna Support Centre and Centre of Competence of the National Civil Protection System</i> C. Cacciamani, M. Deserti, A. Valentini, S. Nanni, T. Paccagnella	201

Modelli numerici integrati in aree costiere: un esempio di applicazione nel nord Adriatico <i>Integrated Numerical Models in Coastal Areas: An Example of Their Application in the North Adriatic Sea</i> S. Carniel, M. Sclavo, M. Tondello, P. Ciavola	211
Simulazione numerica di onde e correnti in acque basse <i>Numerical Simulation of Waves and Currents in Shallow Water</i> F. Lalli, A. Bruschi, V. Pesarino	221
Grandezze oceanografiche e fisiche di interesse per la definizione del Buono Stato Ambientale: il caso dell'Elemento di Qualità Biologica Fitoplancton <i>Oceanographic and Physical Parameters of Interest for the Definition of Good Environmental Status: The Case of Phytoplankton as a Biological Quality Element</i> F. Giovanardi	233
Ufficio di MOON per le risposte alle emergenze: supporto a REMPEC per la gestione delle emergenze da idrocarburi in mare attraverso la fornitura di prodotti di sistemi di monitoraggio e previsione. <i>MOON Emergency Response Office: Support for REMPEC for the Management of Oil-Spill Emergencies at Sea through the Provision of Monitoring and Forecasting System Products</i> G. Coppini, M. De Dominicis, V. Lyubartsev	241
Gestione delle emergenze in mare e lotta all'inquinamento marino <i>Management of Emergencies at Sea and the fight against Marine Pollution</i> a cura del C.V.(CP) G. Gravina	253
Il Progetto Adricosm-Star per gli impatti climatici <i>The ADRICOSM-STAR climate impact project</i> A. Guarnieri, N. Pinardi	269
Fishery observing system (FOS): uno strumento per la raccolta di dati di pesca e dati oceanografici nel Mare Adriatico <i>Fishery observing system (FOS): a tool for collecting oceanographic data and data on fish in the Adriatic</i> M. Martinelli, P. Falco, A. Belardinelli, N. Cingolani, E. Arneri, A. Russo, A. Santojanni	277
Quale e quanta energia disponibile nei nostri mari? <i>What Energy Is Available in Our Seas, and How Much of It Is There?</i> R. Archetti, N. Pinardi, A. Lamberti, F. Cesari, G. Passoni, D. Pettenuzzo	285

A Volfango

Prefazione

il Gruppo Nazionale di Oceanografia Operativa (GNOO) dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV) ha organizzato il secondo convegno nazionale presso la sede del Centro Ricerche Marine di Cesenatico nelle giornate del 27-28 maggio 2010 e questo volume contiene gli atti del convegno stesso.

L'oceanografia operativa è una disciplina che si propone di realizzare un sistema integrato di sistemi osservativi in tempo reale e di modelli previsionali allo scopo di valutare lo stato dei mari per lo sviluppo sostenibile delle attività produttive e per la protezione dell'ambiente marino. Questo sistema integrato è "continuo ed in tempo reale" ed opera in modo simile ai sistemi/servizi meteorologici, usando le più moderne tecnologie di monitoraggio del mare e di modellistica oceanografica idrodinamica e biochimica.

Il GNOO opera dal 2004 a sostegno e coordinamento delle attività nazionali di monitoraggio e previsioni marine ed è governato da un collegio composto da dieci membri. Oltre all'INGV, ne fanno parte l'ARPA-ER, il CNR con i suoi diversi istituti (CNR-ISMAR, CNR-ISSIA, CNR-ISAC, CNR-IAMC), il CoNISMa, l'ENEA, l'Istituto Idrografico della Marina, l'OGS, l'Ufficio Spazio Aereo e Meteorologia dell'Aeronautica Militare Italiana, il Comando generale del Corpo delle capitanerie di porto e l'ISPRA. Il GNOO fa riferimento alla strategia tematica del Ministero Italiano dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare mentre il quadro di riferimento internazionale è dato dal Programma Intergovernativo dell'UNESCO - Global Ocean Observing System (GOOS) e dall'azione europea per il Monitoraggio Globale dell'Ambiente e la Sicurezza (Global Monitoring For Environment and Security, GMES). Questo secondo convegno ha messo in luce il livello d'avanguardia di ricerca e servizi rag-

Foreword

The National Group of Operational Oceanography (GNOO) of the National Institute of Geophysics and Volcanology (INGV) organized its second national conference in the Cesenatico Marine Research Centre on the 27th and 28th of May 2010, and this volume contains the proceedings of that meeting.

Operational oceanography is a discipline that aims at realizing an integrated system of forecasting models and real-time observation systems in order to provide an accurate assessment of the state of the seas and oceans, bearing in mind the sustainable development of maritime and marine-based economic activities and the protection of the marine environment. This integrated system is 'real-time and continuous', and works in a similar way to meteorological systems and services, using the most up-to-date sea monitoring technologies and hydrodynamic and biochemical oceanographic modelling.

Since 2004, GNOO has been working to support and coordinate Italian marine monitoring and forecasting activities. It is managed by a board made up of ten members: besides INGV, these are ARPA-ER, the CNR and its various Institutes (CNR-ISMAR, CNR-ISSIA, CNR-ISAC, CNR-IAMC), CoNISMa, ENEA, the Hydrographic Institute (IIM), OGS, the Italian Air Force Meteorological Office (USAM), the central command of the coastguards and ISPRA.

GNOO works within the Italian Ministry of the Environment, Land and Sea's strategy, and its international reference framework is the inter-governmental UNESCO Global Ocean Observing System (GOOS) and the European Global Monitoring for Environment and Security (GMES) program.

Our second conference highlighted how GNOO's research and services are at the cutting edge: basin-scale analyses and forecasts

giunto dal GNOO: analisi e previsioni a scala Mediterranea sono disponibili quotidianamente per i dieci giorni successivi, sia per l'idrodinamica e le onde, sia per la biochimica, assieme a previsioni modellistiche ad area limitata per i Mari Italiani che utilizzano una più alta risoluzione per rappresentare i processi sia in mare aperto che vicino alla costa. Utenti istituzionali e privati usufruiscono dei servizi e contribuiscono a definirne caratteristiche e accuratezza richieste, a dimostrazione di un percorso completo che, partendo dalla ricerca di base, arriva ai fruitori del servizio.

Il volume è dedicato a un giovane ricercatore che ha partecipato attivamente alla costruzione del GNOO, il Dott. Volfango Rupolo dell'ENEA-Casaccia. Il suo contributo scientifico e operativo è ricordato nel volume dal collega Vincenzo Artale.

Si dà credito alla Struttura Oceanografica Daphne dell'ARPA Emilia-Romagna per l'efficiente supporto logistico e organizzativo locale, ai membri dello GNOO, al Comune di Cesenatico, all'Apt Servizi, alla Fondazione Cassa di Risparmio di Ravenna, Cesena e Forlì, alle Terme di Cervia, all'Unità di Progetto di Oceanografia Operativa della Sezione di Bologna, ed in particolare a Claudia Fratianni, a Damiano Delrosso e a Livia Cassai per il contributo all'organizzazione del programma dei lavori del convegno.

for the Mediterranean are available daily for the following ten days for both hydrodynamics/waves and biochemistry, as well as limited-area modelling forecasts for the areas surrounding Italy using higher resolutions to represent processes both in the open sea and coastal areas. Institutional and private users use the services and contribute to defining the system characteristics and the required level of accuracy, thus giving an example of a process that starts with basic research and finishes with end users.

This volume is dedicated to a researcher who was an active participant in building GNOO, Dr. Volfango Rupolo of ENEA-Casaccia. His substantial scientific contribution is remembered in this volume by his colleague Vincenzo Artale. We would like to thank ARPA Emilia-Romagna's 'Daphne' Oceanographic Structure for their highly effective local logistic and organizational support, the members of GNOO, the City of Cesenatico, Apt Servizi, Fondazione Cassa di Risparmio di Ravenna, Cesena e Forlì, Terme di Cervia, the Bologna Section Operational Oceanography Project Unit and, in particular, Claudia Fratianni, Damiano Delrosso and Livia Cassai for helping to organize the conference's work programme. INGV is responsible for the English translation and ARPA-ER for editing and printing.

Nadia Pinardi

Direttore dell'INGV-GNOO, Sezione di Bologna e Università di Bologna

Carla Rita Ferrari

Responsabile della Struttura Oceanografica Daphne dell'ARPA-ER, Cesenatico (FC)

Attilio Rinaldi

Presidente del Centro Ricerche Marine, Cesenatico (FC)

Stefano Tibaldi,

Direttore Generale dell'ARPA-ER

Attività di monitoraggio e studio nell'Adriatico Nord-occidentale

Monitoring and Study Activities in the North-Western Adriatic

A. Rinaldi

Centro Ricerche Marine di Cesenatico

La letteratura scientifica riguardante l'alto Adriatico è ricca di riferimenti sulle sue condizioni trofiche e sugli effetti indesiderati che ricorrentemente si manifestano. I più consistenti apporti di sostanze ad effetto eutrofizzante (fosfati, nitrati e silicati) sono da attribuire agli apporti del fiume Po anche se non sono da considerare trascurabili, quelli immessi dai fiumi minori del sistema drenante compreso tra Trieste e Cattolica. La stessa distribuzione delle aree che possono manifestare condizioni ascrivibili allo stato eutrofico-mesotrofico rappresentano in maniera speculare tale condizione e sono in genere distribuite nell'arco di costa nord-occidentale dell'Adriatico. I fenomeni indesiderati sono per lo più ascrivibili a condizioni di sottosaturazione di ossigeno nelle acque di fondo con stati di sofferenza e morie degli organismi bentonici, anomale colorazioni delle acque, cattivi odori delle stesse e favorevoli condizioni di specie microalgali tossiche (per l'uomo e per gli organismi marini).

Le problematiche conseguenti hanno richiesto e richiedono attenzione sia da parte delle pubbliche amministrazioni preposte al governo del territorio sia da parte del mondo della ricerca. I Ruoli e gli obiettivi che entrambi le richiamate entità debbono perseguire possono essere rappresentati nella **figura 1**. Lo schema del sottosistema "A", si riferisce agli aspetti di competenza prevalentemente scientifica, ha l'obiettivo di definire in maniera esaustiva la conoscenza del sistema biologico e chimico-fisico, cioè l'insieme dei processi che determinano il suo funzionamento sia in condizioni non disturbate (naturali), sia in condizioni alterate. Lo schema contrassegnato con "B" si riferisce agli aspetti socio-economici legati all'uso del territorio e alle attività ivi insediate. Comprende quindi considerazioni sui benefici ma anche sui danni (diretti e indiretti) che ne derivano. Dall'unione dei due

The scientific literature on the upper Adriatic has many references to its trophic conditions and the unwanted effects that recur in them. The most consistent source of eutrophizing substances (phosphates, nitrates and silicates) is attributable to the River Po, although the contribution made by the minor rivers draining the area between Trieste and Cattolica should not be overlooked. The distribution of the areas that can manifest conditions ascribable to eutrophic and mesotrophic states mirror these conditions and are generally distributed along the north-west Adriatic coast. Unwanted phenomena are mostly ascribable to conditions of oxygen undersaturation in bottom waters, with the death of benthic organisms, anomalous water colour, bad-smelling water, and favourable conditions for microalga species that are toxic for both humans and marine organisms.

*The problems resulting from this require attention from both the local authorities governing the areas in question and academia. The roles played, and objectives to be pursued, by local authorities and scientific research are shown in **Figure 1**. Sub-system A, which involves primarily scientific aspects, has the aim of providing an exhaustive definition of our knowledge of the biological and chemical-physical system, i.e., of the collection of processes determining how it functions in both undisturbed (natural) and altered conditions. Sub-system B, on the other hand, involves socio-economic aspects connected with how land and sea is used in the area under question and the activities situated there. It therefore includes reflections not only on the benefits but also on the damage (direct and indirect) caused. What emerges from the union of the two sub-systems is what should be the basis of a correct Integrated Management of Coastal Systems (abbreviated to GIZC in Italian).*

The promotion and realization of pinpointed monitoring activities represents an important

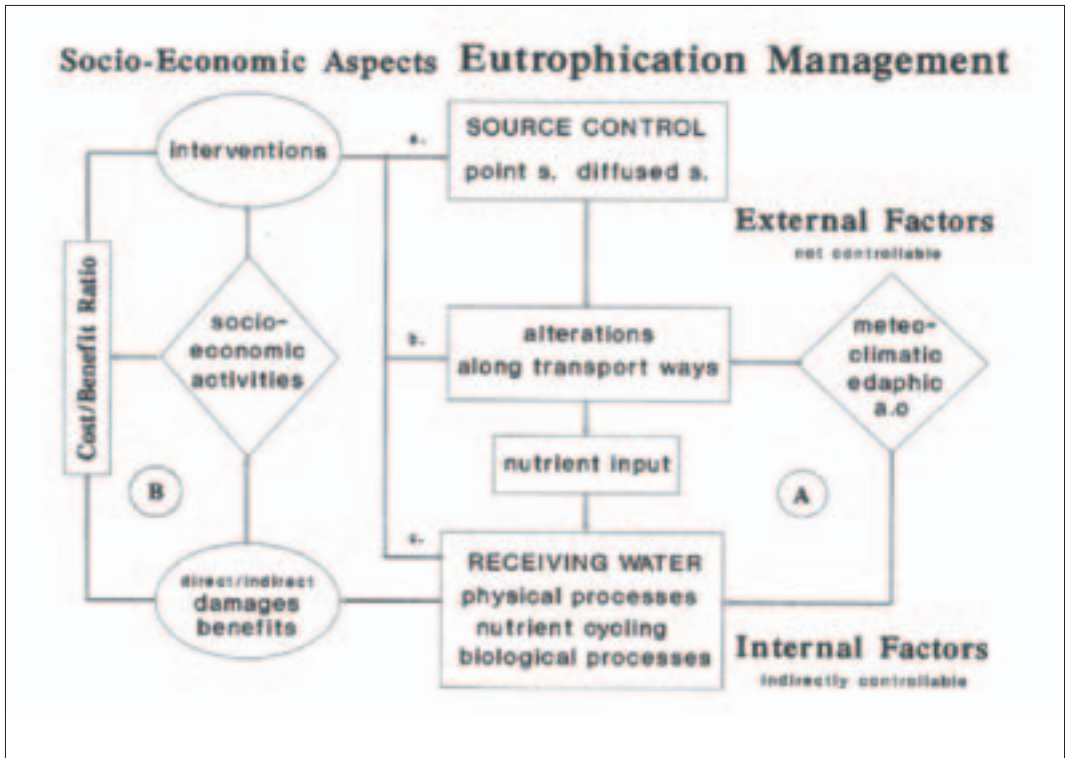


Figura 1
Figure 1

sottosistemi emerge quella che deve essere la base per una corretta Gestione Integrata dei sistemi Marino Costieri (GIZC).

Una importante azione per poter raggiungere un buon livello conoscitivo, quelli (richiamati nel sottoschema "A") e per poter misurare il successo degli interventi di mitigazione/risoluzione attuati sulle fonti di generazione dei carichi di sostanze ad effetto eutrofizzante (in parte previsti nel sottoschema "B"), è costituita dalla promozione e realizzazione di mirate attività di monitoraggio. Il monitoraggio deve essere organizzato in maniera tale da soddisfare le seguenti necessità:

- **Adattare il piano di monitoraggio al fenomeno/problema:** ottimizzare

action for reaching a good level of awareness (required by sub-system A) and being able to measure the success of actions taken to mitigate or remove sources generating eutrophizing substances (partly provided for by sub-system B). Monitoring should be organized in such a way as to meet the following requirements:

- **Adaptation of the monitoring plan to the phenomenon/problem:** optimizing the number and frequency of samples and measurements both spatially and temporally. Possibly in synchrony with the cyclicity of events to be monitored.
- **Selection of the measuring stations:** identifying the most representative sites in terms of both input and size of the area to monitor.

sia in senso spaziale che temporale il numero e le frequenze di prelievo e misura. Possibilmente in sincronia con le ciclicità degli eventi da monitorare;

- **Selezione delle stazioni di misura:** individuare i siti più rappresentativi sia in funzione delle immissioni che della estensione dell'area da controllare;
- **Selezione dei parametri da rilevare:** individuazione dei parametri "chiave" da rilevare per una esaustiva "interpretazione" del fenomeno da monitorare;
- **Adozione di metodiche standardizzate:** utilizzare procedure e metodiche standardizzate;
- **Analisi costi-benefici:** valutare le funzionalità dei piani di monitoraggio anche ai fini di una ottimale analisi dei costi e dei risultati attesi;
- **Estensione ai bacini idrografici afferenti:** considerare le fonti diffuse e puntiformi degli "inquinanti. Questo anche al fine di definire i piani di risanamento e orientare le decisioni di governo del territorio.

Non meno importante è stabilire gli obiettivi che si vogliono perseguire attraverso i piani di monitoraggio e la conseguente la raccolta di dati. Tra questi possono essere evidenziati:

- **Conoscenza dello stato di inquinamento nelle aree a rischio (hot spot):** rappresentazione dei livelli di inquinamento, individuazione delle fonti inquinanti e conoscenza dei processi che determinano i fattori causali;
- **Conoscenza sullo stato di conservazione delle risorse biologiche:** per ridurre i danni alle comunità biologiche, alla biodiversità e per tutelare settori produttivi quali la pesca e l'aquacoltura;
- **Conoscenza delle tendenze evolutive dei carichi inquinanti:** per testare

- **Selection of the parameters to be registered:** identifying the 'key' parameters to be registered for an exhaustive 'interpretation' of the phenomenon to be monitored.
- **Adoption of standardized methods:** using standardized procedures and methodologies.
- **Analysis of costs and benefits:** evaluating the functionality of monitoring plans with the aim of also providing the best possible analysis of costs and expected results.
- **Extension to the relevant hydrographic basins:** considering the diffused nature of the 'polluters'. This also has the aim of defining clean-up plans and guiding local government decisions.

No less important is the establishment of the objectives to be pursued through monitoring plans and the consequent data collection. Amongst these we may highlight:

- **Knowledge of the level of pollution in areas at risk (hot spots):** representation of pollution levels, identification of pollution sources and knowledge of the processes determining the causes.
- **Knowledge of the conservation state of biological resources:** to reduce damage to the biological community and biodiversity and to look after production sectors such as fishing and aquaculture.
- **Knowledge of the evolutionary tendencies of the pollutants:** to test the efficacy of current clean-up activities and changes in use (and abuse) patterns in society and the economy; to identify alternative, more efficient, strategies or rationalize/strengthen those already adopted.

Amongst the various activities connected to monitoring and research activities, one that should be highlighted is that involving the control and study of marine biotoxins with a microalgal origin. This activity has been carried out

l'efficacia degli interventi di risanamento attuati e dei cambiamenti negli usi (e abusi) nel tessuto socio-economico. Per individuare strategie alternative e più efficaci o razionalizzare/potenziare quelle adottate.

Tra le diverse componenti connesse alle attività di monitoraggio e ricerca va evidenziata quella relativa al controllo e allo studio delle biotossine marine di origine microalgale. Detta attività viene svolta da oltre 30 anni dal Centro Ricerche Marine di Cesenatico (CRM). Su formale mandato della Comunità Europea (Decisione del Consiglio 93/383/CEE del 14.06.93 e riconferma con Decisione 1999/312/CE – GUCE L. 120/37 8.7.99) al CRM viene assegnato il ruolo di "Laboratorio Nazionale per le Biotossine Marine". Il CRM svolge i suoi

for more than 30 years by the Centro Ricerche Marine in Cesenatico (CRM). A formal mandate of the European Community (Council Decision 93/383/CEE of 14.06.93, reconfirmed by Decision 1999/312/CE – GUCE L. 120/37 8.7.99) assigns CRM with the role of 'National Laboratory for Marine Biotoxins'. CRM carries out its institutional duties organizing and coordinating the activities of laboratories present in Italy that have the task of dealing with this problem; it also promotes comparison tests, diffuses sampling and analysis methodologies and helps the relevant state authorities in organizing control systems for marine biotoxins at a national scale.

A noteworthy amount of analytical work is carried out, with an annual average number of analyses of around 2000-3000. At the same time, important research activity is carried out aimed at developing new analytical procedures



compiti istituzionali organizzando e coordinando le attività dei Laboratori situati sul territorio italiano aventi il mandato di presidiare detta problematica: promuove prove comparative, provvede alla diffusione delle metodologie di campionamento e analisi e assiste l'Autorità competente dello Stato nell'organizzazione del sistema di controllo delle biotossine marine su scala nazionale. Viene svolta una notevole mole di attività analitica; il numero medio annuo delle analisi si aggira attorno alle 2.000-3.000. Nel contempo viene condotta una considerevole attività di ricerca mirata alla messa a punto di nuove procedure analitiche aventi lo scopo di superare, per ragioni etiche, il "mouse test". Attivo anche il fronte che presidia quelle che potremmo definire come le nuove minacce incombenti: la comparsa di specie microlagali aliene, in particolare quelle riconosciute tossiche o potenzialmente tossiche. Tra tutte si segnala il caso dell'*Ostreopsis ovata*.

Anche in questo caso si sottolinea l'importanza del monitoraggio quali-quantitativo delle specie microalgali presenti nelle aree costiere marine e nelle acque di transizione. Un analogo programma viene svolto nelle zone interessate da allevamenti di mitili.

*so as to replace the "mouse test" for ethical reasons. CRM is also actively involved in dealing with what we might call the new threats: the appearance of alien microalgal species, in particular those known to be toxic or potentially toxic. The case of *Ostreopsis ovata* should be mentioned in particular.*

This case once again underlines the importance of qualitative and quantitative monitoring of microalgal species present in coastal waters and transition waters. An analogous programme is in action in zones with commercial mussel beds.

Il sistema di Oceanografia Operativa nazionale ed europeo

Italian and European Operational Oceanography Systems

N. Pinardi

Dipartimento di Fisica, Università di Bologna e INGV,
Sezione di Bologna

G. Coppini

INGV, Sezione di Bologna

S. Dobricic

CMCC, Divisione Simulazioni Numeriche di Bologna

C. Fratianni

INGV, Sezione di Bologna

P. Oddo

INGV, Sezione di Bologna

M. Tonani

INGV, Sezione di Bologna

Introduzione

La vita di milioni di persone che vivono lungo le coste dipende dal monitoraggio del mare e dalla previsione del suo stato al fine di prevenire possibili danni provocati dall'inquinamento, dallo sfruttamento delle risorse ittiche, dall'eutrofizzazione costiera. Il monitoraggio e la previsione dello stato del mare permettono inoltre lo sviluppo sostenibile di tutte le attività produttive associate al mare, incluse le nuove frontiere delle energie rinnovabili e della maricoltura di altura e le autostrade del mare.

Fino agli anni settanta il mare e gli oceani erano monitorati solo tramite apposite campagne di misura e il mare era pensato come un elemento naturale con un movimento lento e prevedibile, ad eccezione delle onde superficiali il cui moto irregolare era evidente alla semplice osservazione visiva. Negli anni ottanta si capì invece che gli oceani, come l'atmosfera, sono un fluido turbolento che si evolve dalla superficie al fondo sulle scale veloci dei giorni, dominato dalla variabilità di mesoscala che si esprime con vere e proprie 'tempeste del mare' (Robinson, 1983). In pratica questo significa che la stima dello stato dell'oceano tramite osservazioni del passato non assicura una buona pianificazione delle attività a mare nel futuro, sia che si tratti di attività di salvataggio e recupero di oggetti a mare sia che si debba accertare lo stato di salute dell'ecosistema marino. Come in meteorologia, ma circa cinquant'anni più tardi, si è fatta largo l'idea di produrre le 'previsioni oceanografiche' per il "tempo del mare" ovvero le correnti, la temperatura, la salinità e il livello del mare che variano sulle scale di tempo veloci, dalle ore ai giorni.

Sul finire degli anni ottanta le osservazioni da satellite della superficie del mare diven-

Introduction

The lives of the millions of people living along coastlines depend on marine monitoring and prediction systems that encapsulate the best scientific and technological knowledge of the marine environment in order to avoid possible damage caused by pollution, overfishing and coastal eutrophication. Monitoring and sea-state predictions allow sustainable development of all productive activities linked to the sea, including the new frontier of offshore renewable energy and mariculture and the development of Motorways of the Sea.

Until the 1970s, the seas and oceans were monitored only through dedicated measuring campaigns, and it was thought the sea was a natural element undergoing a slow and predictable movement, with the exception of surface waves, which simple visual observations noted as clearly irregular. In the 1980s, however, it was understood that the oceans, just like the atmosphere, are a turbulent fluid evolving from the surface to the seabed over a scale measured in days: they are dominated by a mesoscale variability characterizable as 'sea storms' (Robinson, 1983). At a practical level, this means that estimating ocean state using past observations does not ensure good planning of sea activities in the future, whether these are search and rescue of people and objects lost at sea or assessment of marine ecosystem health. As happened in meteorology some fifty years earlier, the idea has come to prevail that what needs to be produced are 'oceanographic forecasts' of the 'weather of the sea': currents, temperature, salinity and sea level that vary over rapid timescales measured in hours and days.

Towards the end of the 1980s, satellite observations of sea surface became a reality (Le Traon, 2002), and a new discipline was created, operational oceanography, which had the aim

nero una realtà (Le Traon, 2002) e crebbe una nuova disciplina, l'oceanografia operativa, che si prefisse di mettere a punto un sistema operativo ed integrato di osservazioni e modelli, capace di ridurre l'errore nella stima dello stato del mare fino a rendere possibile la produzione sistematica di condizioni iniziali attendibili per le previsioni e potere sviluppare le applicazioni che dipendono da tali prodotti (Pinardi et al., 2002, Pinardi and Coppini 2010).

Osservazioni e modelli sono combinati tramite tecniche statistiche che producono serie temporali di dati chiamati 'analisi' che contengono l'informazione integrata più attendibile sullo stato passato e presente del mare: l'oceanografia operativa ha sviluppato il sistema capace di produrre queste analisi in modo standardizzato secondo regole scientifiche condivise e internazionali. Queste lunghe serie di analisi forniscono le informazioni più attendibili sulla variabilità e il cambiamento climatico, un dato utilizzato da molte comunità di utenti, fra le quali la ricerca stessa.

Nel Mare Mediterraneo, la comunità di ricerca nel campo dell'oceanografia operativa è nata negli anni Novanta al fine di sviluppare un sistema integrato di monitoraggio e previsioni delle condizioni marine, dal mare aperto alle zone costiere. La comunità di ricerca oceanografica del Mediterraneo iniziò a sviluppare le componenti principali del Mediterranean ocean Forecasting System (MFS) "Sistema di previsioni oceanografiche del Mediterraneo" e da allora non ha mai interrotto le sue attività. Il Mare Mediterraneo divenne una delle aree di maggiore sviluppo del servizio oceanografico di EuroGOOS (<http://www.eurogoos.org/>) e nel 1998 fu sviluppato un Piano Strategico e Scientifico per la realizzazione del sistema

of developing an integrated operational system of observations and models capable in principle of reducing errors in the sea-state estimation to a point allowing the systematic production of reliable initial conditions for forecasts and the development of applications depending on such products (Pinardi et al., 2002, Pinardi and Coppini, 2010).

Observations and models are combined using statistical techniques producing time series of data called 'analyses'. These contain the most reliable integrated information on the past and present sea state. Operational oceanography has developed a standardized system for producing these analyses according to shared international scientific rules. These long time series of analyses supply the most reliable information on climate variability and change, a datum used by many user communities, among them the research community.

In the Mediterranean, the operational oceanography research community was born in the 1990s with the aim of developing an integrated sea state monitoring and forecast system from the coastal zones to the open sea. The Mediterranean oceanographic research community began developing the principal components of the Mediterranean Ocean Forecasting System (MFS), and has continued its activities without interruption since then. The Mediterranean became one of the areas of development of the EuroGOOS oceanographic service (<http://www.eurogoos.org/>) and in 1998 a Strategic and Scientific Plan was developed for realizing an MFS observation and modelling system (Pinardi and Flemming, 1998).

From that moment onwards, various research and environmental monitoring institutions from the 20 countries bordering the Mediterranean have been working towards the implementation of the Plan and keeping the system opera-

di osservazione e modellistica di MFS (Pinardi e Flemming, 1998).

Da allora diverse Istituzioni di ricerca e monitoraggio ambientale dei 20 paesi rivieraschi del Mare Mediterraneo lavorano all'attuazione del Piano e mantengono il sistema operativo. Nei passati quindici anni, tre progetti della Commissione Europea (IV,V e VI Programma Quadro, Pinardi et al., 2003, Pinardi e Coppini, 2010, Desaubies, 2009) hanno contribuito ad elaborare una base scientifica internazionale per lo sviluppo del sistema di previsione a scala di bacino del Mediterraneo e i Mari Europei, efficiente ed accurato.

Si è formalizzato inoltre nel 2005 un accordo di programma, il Mediterranean Operational Oceanography Network (MOON: Rete Mediterranea per l'oceanografia operativa, <http://www.moon-oceanforecasting.eu/>) per coordinare l'MFS e le sue applicazioni. Parte del consorzio MOON è ora impegnato nella preparazione del GMES Marine Service (Servizio Marino Europeo del GMES, GMES-MS, <http://www.gmes.info/>), che tra il 2009 e il 2014 (VII Programma Quadro) verrà sviluppato dal progetto MyOcean (<http://www.myocean.eu/>) che includerà MFS per il Mediterraneo.

Il Sistema di previsione del Mare Mediterraneo (MFS)

MFS è un sistema integrato di osservazioni e modelli che calcola lo stato dell'oceano e la sua possibile evoluzione a breve termine (Pinardi and Coppini, 2010). Il sistema include quattro componenti principali:

- a) il sistema di osservazione in tempo reale;
- b) il modello numerico idrodinamico e di biochimica marina per la previsione;
- c) il sistema di assimilazione dati;

ational. In the last fifteen years, three European Commission projects (IV, V and VI Framework Programmes, Pinardi et al., 2003, Pinardi and Coppini, 2010, Desaubies, 2009) have contributed to elaborating an international scientific base for developing an efficient and accurate basin-scale forecasting system for the Mediterranean and the European Seas. Furthermore, an agreement was formalized in 2005, the Mediterranean Operational Oceanography Network (MOON: <http://www.moon-oceanforecasting.eu/>), for co-ordinating the MFS and its applications. Part of the MOON consortium is now involved in the preparation of the GMES Marine Service (European GMES Marine Service, GMES-MS, <http://www.gmes.info/>) which will be developed by the MyOcean project (<http://www.myocean.eu/>) between 2009 and 2014 (VII Framework Programme), and will include MFS for the Mediterranean.

The Mediterranean Forecasting System (MFS)

MFS is an integrated system of models and observations that calculates the ocean state and its possible short-term evolution (Pinardi and Coppini, 2010). It includes four main components:

- a) *A real-time observing system*
- b) *Hydrodynamic and marine biochemistry numerical modelling for forecasting*
- c) *A data assimilation system*
- d) *A product dissemination service for intermediate and end users*

The observational data collection system is one of the essential components of MFS, as it supplies the observations necessary for the correction of the initial forecast conditions. The components of the MFS observational system are:

- 1) *Satellite data, which produce the Sea Level Anomaly (SLA, Pujol and Larnicol, 2005) and the Sea Surface Temperature (SST, Buongiorno-Nardelli et al., 2003)*

d) il servizio di disseminazione dei prodotti per utenti intermedi e finali.

Il sistema di collezione delle osservazioni è una componente essenziale dell'MFS, in quanto fornisce i dati necessari per la correzione delle condizioni iniziali dei modelli di previsione. Le componenti del sistema osservativo di MFS sono:

- 1) i dati da satellite, che producono l'anomalia del livello del mare (Sea Level Anomaly, SLA, Pujol e Larnicol, 2005) e la temperatura superficiale del mare (Sea Surface Temperature, SST, Buongiorno-Nardelli et al., 2003) ;
 - 2) i dati *in situ* da navi di opportunità (Ship Of Opportunity Programme, SOOP, Manzella et al., 2007);
 - 3) i dati *in situ* dalle boe derivanti e profilanti ARGO (Poulain et al., 2007);
 - 4) i dati *in situ* delle piattaforme fisse di osservazione nel mare profondo, quali il Mediterranean Moored Multidisciplinary Array (M3A, Nittis et al., 2007).
 - 5) i dati *in situ* dalle boe derivanti di superficie (Poulain et al., 2007).
 - 6) I dati *in situ* dai gliders (<http://www.ego-network.org/>).
 - 7) I dati *in situ* di boe costiere fisse (posizionate a profondità minore di 100 m).
- Tutti questi dati sono attualmente collezionati ed analizzati in tempo reale, seguendo protocolli di controllo di qualità sviluppati negli anni e condivisi con la comunità internazionale del JCOMM (Joint Committee of Oceanography and Marine Meteorology).

Il modello numerico idrodinamico di MFS copre tutto il Mare Mediterraneo ed una parte dell'Atlantico (Fig. 1) per consentire di simulare lo scambio di acque che avviene a Gibilterra e che regola il clima del Mediterraneo a scale temporali lunghe (Pinardi et al., 2005). Il modello numerico odierno deriva da una versione del nuovo modello europeo NEMO

- 2) *In-situ data from ships of opportunity (Ship of Opportunity Programme, SOOP, Manzella et al., 2007)*
- 3) *In-situ data from ARGO free-drifting profiling floats (Poulain et al., 2007)*
- 4) *In-situ data from fixed observing platforms in the deep sea, such as the Mediterranean Moored Multidisciplinary Array (M3A, Nittis et al., 2007).*
- 5) *In-situ data from free-drifting surface buoys (Poulain et al., 2007)*
- 6) *In-situ glider data (<http://www.ego-network.org/>)*
- 7) *In-situ data from fixed coastal floats (positioned at depths under 100 m)*

All of these data are currently collected and analysed in real time, following quality-control protocols developed over the years and shared with JCOMM (Joint Committee of Oceanography and Marine Meteorology).

The MFS hydrodynamics numerical ocean model covers all of the Mediterranean and part of the Atlantic (Fig. 1) in order to allow the simulation of the water exchange that occurs at Gibraltar and regulates the climate of the Mediterranean over long time scales (Pinardi et al., 2005). The current numerical model derives from a version of the new European NEMO (Nucleus for European Modelling of the Oceans) model, and has been continuously updated over the last fifteen years (Pinardi et al., 1997, 2003, Tonani et al., 2008, Oddo et al., 2009).

The 6-7 km horizontal resolution and the variable vertical resolution (from metres towards the surface to tens of metres in the middle part of the water column) allow the representation of some fundamental processes associated with ocean mesoscales and 10-day forecasting of the ocean 'weather', thanks to the use of atmospheric forecasts supplied by the ECMWF (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts, Reading, UK).

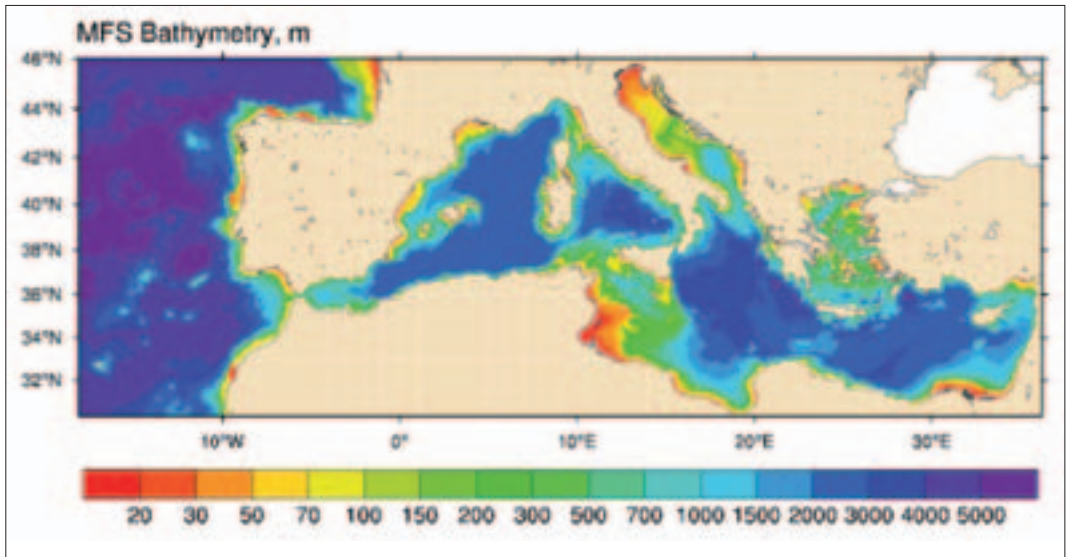


Figura 1: Il dominio del modello numerico del Mare Mediterraneo, chiamato nel testo MFS
 Figure 1: The domain of the numerical model for the Mediterranean, referred to in the text as MFS

(Nucleus for European Modelling of the Oceans) ed è stato continuamente aggiornato negli scorsi quindici anni (Pinaridi et al., 1997, 2003, Tonani et al., 2008, Oddo et al., 2009). La risoluzione di 6-7 km in orizzontale e quella variabile in verticale (dai metri verso la superficie alle decine dei metri nella parte intermedia della colonna d'acqua) permettono di rappresentare alcuni dei processi fondamentali associati alla mesoscala e di prevedere il "tempo" dell'oceano per i 10 giorni successivi, grazie all'uso delle previsioni meteorologiche dell'ECMWF (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts, Reading, UK).

MFS ha anche sviluppato l'accoppiamento con un modello di previsione della biochimica marina (Lazzari et al., 2010), chiamato OGS-OPATM, che al momento fornisce giornalmente per i dieci giorni successivi le previsioni dello stato dell'ecosistema pelagico. Le previsioni marine delle correnti sono possibili e utili solamente se le condizioni iniziali e al contorno del modello numerico sono conosciute con sufficiente accuratezza. A

MFS has also developed coupling with a marine biochemical numerical model (Lazzari et al., 2010), OGS-OPATM, which is currently providing daily 10-day forecasts for the state of the pelagic ecosystem.

Marine current forecasting is only possible and useful if the initial and boundary conditions of the numerical model are known with sufficient accuracy. The MFS system has therefore implemented an advanced assimilation scheme that corrects the numerical model with the observations, whenever available, for almost all of the available real-time observations (Dobricic et al., 2005, 2007, Dobricic and Pinaridi, 2008, Dobricic et al., 2010, Nilsson et al., 2011). It is this refined system of statistical estimation that allows model error to be kept under control and thus allows the system to function uninterruptedly.

Another important component of the oceanographic service aimed at end users is the production of error estimates and product quality indexes, and MFS has a long history of devel-

tal fine il sistema MFS ha implementato uno schema avanzato di assimilazione che corregge il modello numerico con le osservazioni, ovunque esse siano presenti, per quasi tutte le osservazioni in tempo reale disponibili (Dobricic et al., 2005, 2007, Dobricic e Pinardi, 2008, Dobricic et al., 2010, Nilsson et al., 2011). È questo sistema raffinato di stima statistica che permette di controllare l'errore del modello e quindi di avere il sistema che funziona in maniera continuativa.

Una delle altre componenti importanti del servizio oceanografico rivolto agli utenti finali è quello della produzione di stime degli errori e indici di qualità dei prodotti e MFS ha sviluppato da lungo tempo il controllo di qualità delle previsioni e delle analisi (Tonani et al., 2009). In Fig.2 è rappresentata la stima in termini di deviazione standard dell'errore per la temperatura, la salinità e il livello del mare per gli scorsi dieci anni. Il valore medio dell'errore per gli scorsi dieci anni è di 0,5 °C, 0,2 psu e 4 cm per la temperatura, salinità e il livello del mare.

Il servizio distribuisce le previsioni e le analisi ai sistemi nazionali dei Paesi rivieraschi del Mare Mediterraneo che annidano i loro modelli ad area limitata in MFS e arrivano così a una risoluzione orizzontale dell'ordine del km, risoluzione necessaria per la gestione integrata delle zone costiere e la risposta alle emergenze. I sistemi operativi oceanografici ad area limitata e di bacino in funzione oggi sono illustrati nella Tabella I. Altri modelli a scala di bacino, PAM di Mercator Océan (Francia) e Poseidon dell'Hellenic Centre for Marine Research (Grecia) producono anch'essi previsioni a scala di bacino ma a più bassa risoluzione rispetto ad MFS. Nel futuro, essi saranno usati per stimare l'incertezza delle previsioni attraverso tecniche multi-modello.

oping forecast and analysis quality control (Tonani et al., 2009). Fig.2 shows the assessment in root mean square error for temperature, salinity and sea level for the last ten years. The average error values for the last ten years are of 0.5 °C, 0.2 psu and 4 cm respectively.

The service distributes forecasts and analyses to the national systems of countries bordering the Mediterranean, which nest their limited-area models in MFS and thus achieve a horizontal resolution to be measured in km, the resolution necessary for integrated management of coastal zones and emergency response. The limited-area and basin-scale operational oceanographic systems currently being used are given in Table I. Other basin-scale models, Mercator Océan's PAM (France) and the Hellenic Centre for Marine Research's Poseidon (Greece) also produce basin-scale forecasts, but these have a lower resolution than MFS. In the future, these too will be used to evaluate forecast uncertainty through multi-model techniques.

The Italian national operational oceanographic system

In 2005, INGV instituted the National Operational Oceanography Group (GNOO), which co-ordinates operational oceanography developments at the Italian and international levels. GNOO is made up of representatives from the various Italian research agencies and institutions involved in in-situ and satellite monitoring systems, basin-scale Mediterranean forecasts for hydrodynamics and marine biochemistry, Mediterranean- and global-scale reanalyses, and limited-area forecasts for the Italian seas. Fig. 3 shows the national operational oceanographic network and its functionalities. It should be highlighted that the Italian seas are covered by limited-area models, with a horizontal resolution of 2-3 km and daily forecasts for the fol-

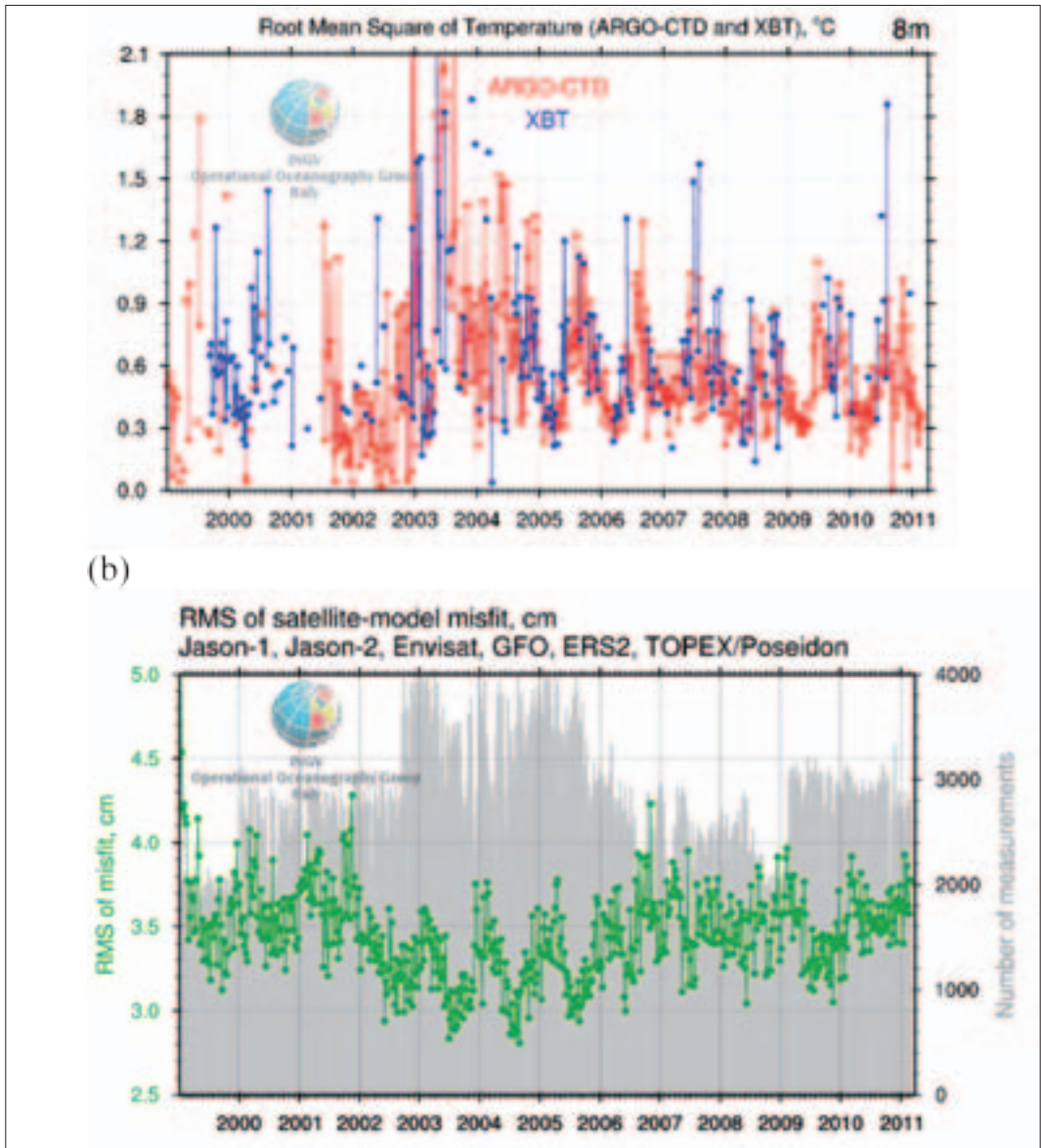


Figura 2: Controllo di qualità dei prodotti delle analisi del sistema MFS. Valore della deviazione standard dell'errore per la temperatura alla superficie (a) e il livello del mare (b) per gli scorsi dodici anni (1999-2010). Gli errori sono generalmente maggiori per i dati XBT (simboli blu) perché le rotte e i dati sono collezionati sporadicamente e quindi il dato viene inserito una unica volta nel modello in posizioni sempre diverse. Il colore grigio in sottoimpresione nel secondo grafico illustra il numero di dati dell'anomalia di livello del mare lungo le tracce del satellite assimilate ogni settimana.

Figure 2: Quality control for the analysis products of the MFS system. Root mean square error for surface temperature (a) and sea level (b) for the last twelve years (1999-2010). Errors are generally greater for XBT data (blue symbols) as routes and data are collected sporadically and data are therefore inserted only once into the model at positions that are always different. The underlying grey colour in the second graph illustrates the number of sea level anomaly data along the satellite track assimilated every week.

Il sistema nazionale di oceanografia operativa

Nel 2005 l'INGV ha istituito il Gruppo Nazionale di Oceanografia Operativa (GNOO) che coordina il piano di sviluppo dell'oceanografia operativa a livello italiano ed internazionale. Il GNOO è composto da rappresentanti delle diverse agenzie di ricerca e Istituzioni italiane che sostengono il sistema di monitoraggio in situ e da satellite, le previsioni a scala di bacino Mediterraneo per l'idrodinamica e la biochimica marina, le ri-analisi a scala Mediterranea e globale e le previsioni ad area limitata per i Mari Italiani. In Fig.3 è rappresentata la rete nazionale dell'oceanografia operativa e le sue funzionalità. Da mettere in luce è il fatto che tutti i Mari italiani sono coperti da modelli ad area limitata, fino alla risoluzione orizzontale di 2-3 km con una previsione giornaliera per i cinque o nove giorni successivi. Le previsioni del Mare Adriatico inoltre prevedono anche il contributo della marea astronomica, di rilevanza specifica per questo mare.

Il sistema nazionale ha inoltre sviluppato un modello di previsione del trasporto e trasformazione degli idrocarburi versati a mare che è accoppiato con le correnti di MFS e dei sistemi sotto-regionali dei mari italiani. Tale sistema è stato collaudato per la gestione di un grande incidente a mare avvenuto nel 2006 al largo del Libano (Coppini et al., 2010) e per altri progetti (De Dominicis et al., 2011).

Il sistema nazionale di oceanografia operativa produce inoltre la ricostruzione più attendibile dello stato del mare tramite tecniche di ri-analisi che contemplano l'uso combinato di osservazioni storiche e dei modelli numerici operativi (Adani et al., 2011). Le serie temporali prodotte contengono la stima del-

lowing five or nine days. Furthermore, forecasts for the Adriatic also allow for the contribution of the astronomical tide, as this has specific relevance for this sea.

The national system has also developed a forecasting model for the transport and transformation of hydrocarbons spilt at sea, which is coupled with MFS currents and the sub-regional Italian seas systems. This system was tested during the response to a serious incident that occurred in 2006 off the coast of Lebanon (Coppini et al., 2010), as well as during other projects (De Dominicis et al., 2011).

The national operational oceanography system also supplies the most reliable reconstruction of sea state using reanalysis techniques that combine historical observations and operational numerical models (Adani et al., 2011). The reanalysis time series offer the best estimate of sea-state variables for the last 20 years (more precisely, from 1987 to 2007) on a regular grid at a resolution of 5-7 km. Analysis of these time series has allowed a first reconstruction of the current climatology of the Mediterranean and the calculation of anomalies of interest for marine resource protection and planning of activities at sea.

The national system is also capable of offering a service to the ARPA coastal monitoring community through an integrated computer system collecting in-situ data and forecasts and analyses, visualizing them and allowing their combined analysis (Coppini, 2010).

The European GMES marine system

MFS will be a basic component of the future GMES Marine Service (<http://www.myocean.org.eu/>), which has systems analogous to MFS for the other European seas and the global

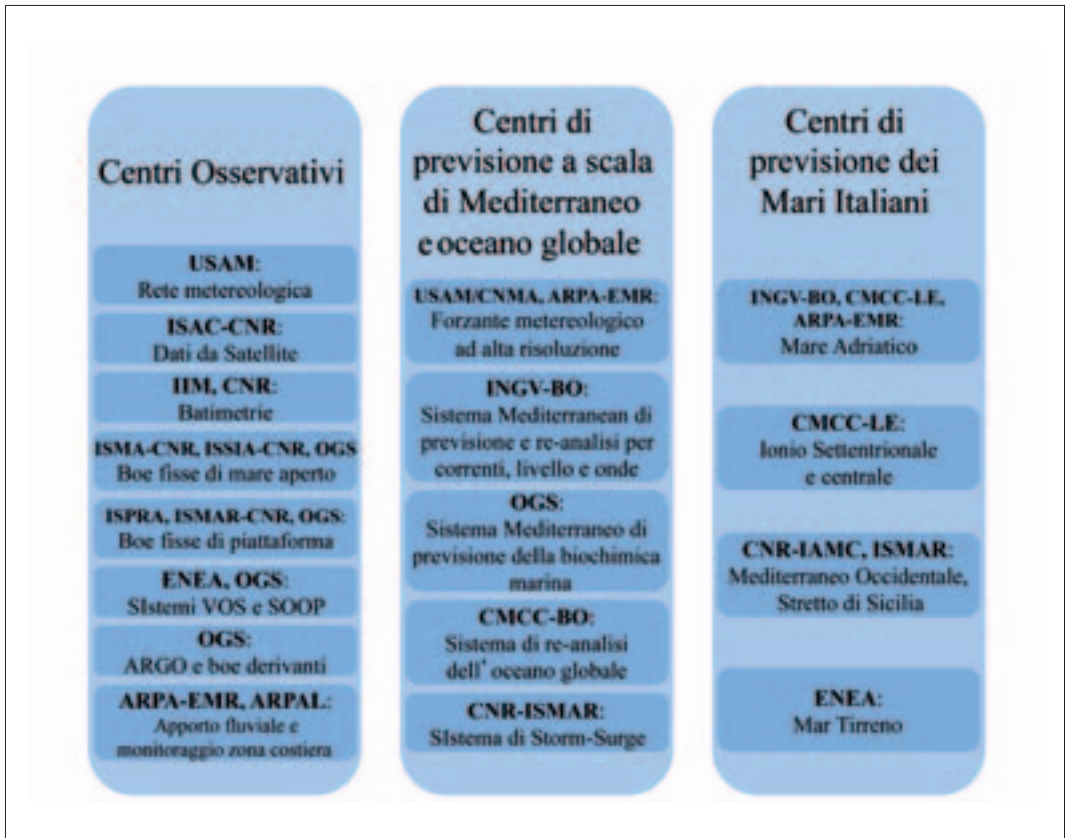


Figura 3. Le componenti del sistema italiano del GNOO.

Figure 3. The components of the Italian GNOO system.

le variabili di stato del mare per i passati 20 anni su una griglia regolare, più precisamente per gli anni che vanno dal 1985 al 2007, alla risoluzione di 5-7 km. L'analisi di queste serie temporali ha permesso la prima ricostruzione della climatologia delle correnti del Mare Mediterraneo e il calcolo delle anomalie di interesse per la pianificazione della protezione delle risorse marine e la pianificazione delle opere a mare.

Il sistema nazionale è in grado anche di offrire un servizio alle comunità di monitoraggio costiero delle ARPA, tramite un sistema informativo integrato che raccoglie i dati in situ e le previsioni o analisi, le visualizza e ne permette l'analisi combinata (Coppini, 2010).

ocean (Bahurel et al., 2010). The European GMES system is made up of a network of Production Centres both for observational and modelling products and of Dissemination Units linked by a central information system allowing access through a single registration point to a catalogue of approximately a hundred products, both observational and model.

The GMES Marine Service set-up is shown in Fig. 4: there are twelve Production Centres, five of which are called TACs – Thematic Assembly Centres – because they produce real-time quality-controlled observations and purely observational analyses of in-situ and satellite measurements, and seven are MFCs – Monitoring and Forecasting Centres – producing analyses and

Il sistema europeo marino del GMES

MFS sarà la componente di base del futuro Servizio Marino del GMES (<http://www.myocean.org.eu/>) che ha dei sistemi analoghi ad MFS per gli altri Mari Europei e l'oceano globale (Bahurel et al., 2010). Il sistema europeo di GMES è composto da Centri di Produzione a rete sia per prodotti osservativi che modellistici e da Unità di Disseminazione collegate da un sistema informativo che permette l'accesso attraverso un unico punto di registrazione ad un catalogo di circa un centinaio di prodotti sia osservativi che modellistici.

Lo schema del Servizio Marino del GMES è mostrato in Fig. 4: i Centri di Produzione sono dodici. Cinque sono chiamati TAC-Thematic Assembly Centers – perché producono osservazioni in tempo reale con controllo di qualità e analisi puramente osservative da misure in situ e da satellite, e sette sono MFC-Monitoring and Forecasting Centers – per la produzione di analisi e previsioni con modelli oceanografici, dall'oceano globale all'Artico, Mediterraneo e Mar Nero. Il sistema informativo connette le Unità di Disseminazione presso i Centri di Produzione con un Portale Web che mantiene un Service Desk per il supporto all'accesso ai dati e il monitoraggio dell'accesso e uso dei prodotti.

La qualità dei prodotti del Servizio Marino del GMES viene controllata a livello Europeo e lo sviluppo della modellistica viene coordinato dall'oceano globale ai mari regionali europei, tramite il consorzio che cura lo sviluppo del modello NEMO. Questo è uno dei contributi più significativi del Servizio Marino del GMES. La comunità scientifica Europea sviluppa modelli che vengono poi usati nelle previsioni e nelle applicazioni pratiche: uno sviluppo analogo a quello avvenuto più di trenta anni fa nella meteo-



forecasts with oceanographic models, ranging from the global ocean to the Arctic, Mediterranean and Black Seas. The information system connects the Dissemination Units with the Production Centres and a Web Portal that manages a Service Desk for data access support and monitoring of the access and the product usage.

GMES Marine Service product quality is controlled at a European level and modelling development is co-ordinated from the global ocean to the regional European seas through the consortium dealing with the development of the NEMO model. This is one of the GMES Marine Service's most significant contributions: the European scientific community is developing models that are then used in forecasts and practical applications. This is a development analogous to that which occurred more than thirty years ago in meteorology and led to important scientific discoveries in weather forecasting and climate modelling. Without operational oceanography, such a development for the ocean was not possible hitherto, and it is now expected that

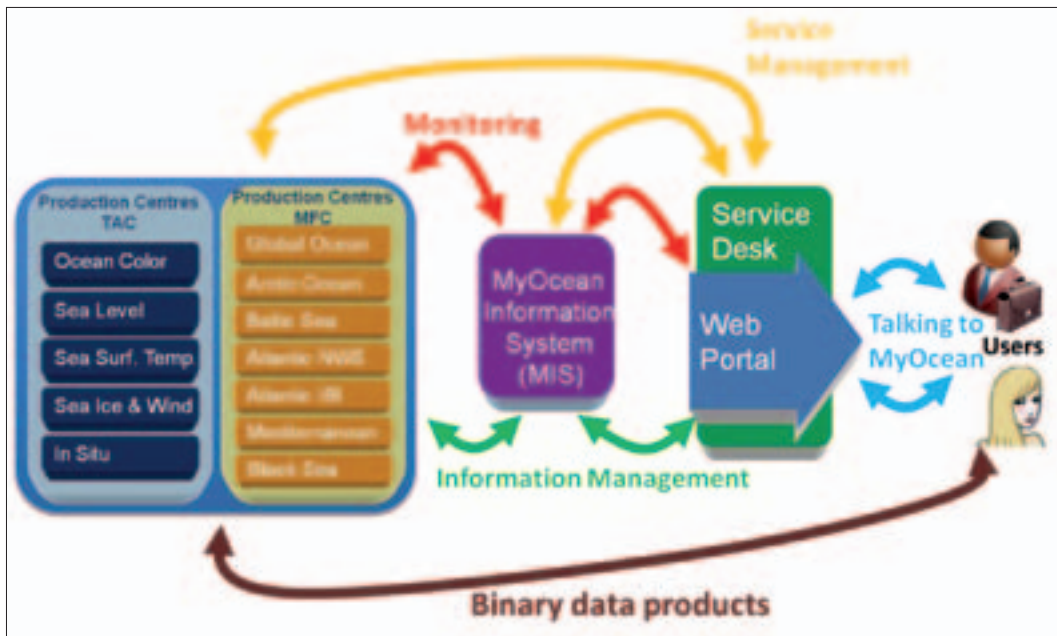


Figura 4: Le componenti del Servizio Marino Europeo del GMES e il flusso delle informazioni. Nel riquadro blu di sinistra sono rappresentati i Centri Tematici di Assemblaggio (Thematic Assembly Centers-TAC) che provvedono all'analisi e distribuzione di prodotti osservativi e i Centri di previsione e monitoraggio (Monitoring and Forecasting Centers-MFC). L'informazione viene gestita da un sistema informativo (MIS) che connette i Centri al portale Web e che supporta il Service Desk nella disseminazione dei prodotti.

Figure 4: The components of the European GMES Marine Service and the information flow. In the blue box to the left the Thematic Assembly Centres (TACs), responsible for analysis and distribution of observation products, and the Monitoring and Forecasting Centres (MFCs) are shown. Data transfer and access is managed by an information system (MIS), which connects the Centres to the Web Portal, and sustain a Service Desk for the dissemination of products.

rologia e che ha portato a grandi scoperte scientifiche nel campo delle previsioni del tempo dei modelli climatici. Senza l'oceanografia operativa tale sviluppo per l'oceano non è stato possibile fino ad oggi e ora ci si aspetta che la conoscenza degli oceani e dei mari cresca in maniera accelerata.

Il sistema operativo del Servizio Marino del GMES è unico al mondo, sia per qualità che per estensione dei prodotti offerti e fornisce i dati ambientali essenziali per tutte le applicazioni in mare e lo studio dei cambiamenti climatici nel mare.

our knowledge of seas and oceans will increase much more quickly.

The operational system of the GMES Marine Service is the only one of its type in the world, both in terms of quality and range of products offered, and it supplies essential environmental data for all marine applications and the study of marine climate change.

Conclusions

This brief paper has attempted to give an overview of operational oceanography activities at the Italian and European levels, and it appears

Tabella 1: Modelli oceanografici di previsione di MOON

Nome modello	Istituto	Paese	Risoluzione	Portale
MFS (scala di bacino)	INGV	Italia	5-6 km	http://gnoo.bo.ingv.it/mfs
OGS-OPATM (scala di bacino)	OGS	Italia	10-12 km	http://poseidon.ogs.trieste.it/cgi-bin/opaopech/mersea
PAM (scala di bacino)	Mercator	Francia	6-7 km	http://www.mercator-ocean.fr/
POSEIDON (scala di bacino)	HCMR	Grecia	8-10 km	http://www.poseidon.ncmr.gr/
Bacino Occidentale	IMEDEA-CSIC	Spagna	5 km	http://www.eseeo.org/servicios/oceano/eng/ESEOMED.html
Modelli del bacino Nord-occidentale	IFREMER	Francia	3 km	http://www.previmer.org/en/previsions/courants
Modello del Mare di Sardegna	CNR-IAMC	Italia	3 km	http://www.imc-it.org/progetti/mfstep/WMED/WMRW_results
Stretto di Sicilia	CNR-IAMC	Italia	3 km	http://www.imc-it.org/progetti/mfstep/mfs_SCRMresults.htm
ADRICOSM (Mare Adriatico)	INGV	Italia	2 km	http://gnoo.bo.ingv.it/afs
POSEIDON (Mar Egeo)	HCMR	Grecia	2 km	http://www.poseidon.ncmr.gr/
ALERMO (Mar Egeo e Levantino)	UAT	Grecia	3 km	http://pelagos.oc.phys.uoa.gr/mfstep/bulletin/
ROSARIO (Modello della piattaforma di Malta)	IOI-MOC	Malta	1.5 km	http://www.capemalta.net/MFSTEP/results.html
CYCOFOS (Modello dell'area costiera di Cipro)	Oceanogr. Center Cyprus	Cipro	1.5 km	http://www.oceanography.ucy.ac.cy/cycofos/forecast.html
Modelli del Nord-est Levantino	IMS	Turchia	1.5 km	http://linux-server.ims.metu.edu.tr/kilikya/ http://linux-server.ims.metu.edu.tr/klevant/
SELIPS (Modello del Sud-est Levantino)	IOLR	Israele	1.5 km	http://isramar.ocean.org.il/ShelfModel/default.asp

Table 1: MOON oceanographic forecasting models

Model name	Institute	Country	Resolution	Portal
MFS (basin-scale)	INGV	Italy	5-6 km	http://gnoo.bo.ingv.it/mfs
OGS-OPATM (basin-scale)	OGS	Italy	10-12 km	http://poseidon.ogs.trieste.it/cgi-bin/opaopech/mersea
PAM (basin-scale)	Mercator	France	6-7 km	http://www.mercator-ocean.fr/
POSEIDON (basin-scale)	HCMR	Greece	8-10 km	http://www.poseidon.ncmr.gr/
Western Basin	IMEDEA-CSIC	Spain	5 km	http://www.eseeo.org/servicios/oceano/eng/ESEOMED.html
Models of the North-western basin	IFREMER	France	3 km	http://www.previmer.org/en/previsions/courants
Sea of Sardinia model	CNR-IAMC	Italy	3 km	http://www.imc-it.org/progetti/mfstep/WMED/WMRW_results
Strait of Sicily	CNR-IAMC	Italy	3 km	http://www.imc-it.org/progetti/mfstep/mfs_SCRMresults.htm
ADRICOSM (Adriatic Sea)	INGV	Italy	2 km	http://gnoo.bo.ingv.it/afs
POSEIDON (Aegean Sea)	HCMR	Greece	2 km	http://www.poseidon.ncmr.gr/
ALERMO (Aegean and Levantine Seas)	UAT	Greece	3 km	http://pelagos.oc.phys.uoa.gr/mfstep/bulletin/
ROSARIO (Malta shelf model)	IOI-MOC	Malta	1.5 km	http://www.capemalta.net/MFSTEP/results.html
CYCOFOS (Cyprus coastal area model)	Oceanogr. Center Cyprus	Cyprus	1.5 km	http://www.oceanography.ucy.ac.cy/cycofos/forecast.html
North-eastern Levantine models	IMS	Turkey	1.5 km	http://linux-server.ims.metu.edu.tr/kilikya/ http://linux-server.ims.metu.edu.tr/klevant/
SELIPS (South-eastern Levantine model)	IOLR	Israel	1.5 km	http://isramar.ocean.org.il/ShelfModel/default.asp

Conclusioni

In questo breve scritto si è cercato di dare una panoramica delle attività di oceanografia operativa a livello nazionale ed europeo, evidenziando come il servizio operativo oceanografico sia in uno stato avanzato di realizzazione, sia sul territorio nazionale che internazionale. Tale servizio sarà di supporto ad una vasta rete di utenti istituzionali e privati, per l'uso sostenibile delle risorse marine, la protezione dell'ambiente marino, la gestione delle emergenze a mare e l'analisi dell'impatto dei cambiamenti climatici sulle coste e sull'ecosistema marino.

clear that operational oceanographic services are at an advanced stage of development both in Italy and internationally. Such services will be of great use to a vast array of private and institutional users interested in the sustainable use of marine resources, marine environmental protection, management of marine emergencies, and the analysis of the impact of climate change on coasts and the marine ecosystem.

Bibliografia

- Adani, M., S.Dobricic and M.Adani, 2011. Quality Assessment of a 1985-2007 Mediterranean Sea re-analysis. In press in the Journal of Atmospheric and Oceanic Technology.
- Bahurel, P., F. Adragna, M. J. Bell, F. Jacq, J. A. Johannessen, P.-Y. Le Traon, N. Pinardi, J. She, 2010. Ocean monitoring and forecasting core services, the European Myocean example. Proceedings of OceanObs09, <http://www.oceanobs09.net>.
- Buongiorno-Nardelli, B., Larnicol, G., D'Acunzo, G., Santoleri, R., Marullo, S., and LeTraon, P.-Y. Near Real Time SLA and SST products during 2-years of MFS pilot project: processing, analysis of the variability and of the coupled patterns. *Annales Geophysicae* 21 (2003), 103-121.
- Coppini, G., M. De Dominicis, G. Zodiatis, R. Lardner, N. Pinardi, R. Santoleri, S. Colella, F. Bignami, D. R. Hayes, D. Soloviev, G. Georgiou, G. Kallos, 2011. Hindcast of Oil Spill Pollution during the Lebanon Crisis, Eastern Mediterranean, July-August 2006. *Marine Pollution Bulletin*, 62, 140-153.
- Coppini, G., 2010. Development of operational oceanography applications: environmental indicators and decision support systems, Tesi di Dottorato in Scienze Ambientali, Università di Bologna.
- De Dominicis, M., N. Pinardi, G. Coppini, G. Zodiatis, R. Lardner, 2011. Modello di dispersione di idrocarburi in mare per previsioni a breve termine nel Mar Mediterraneo. Questo volume.
- Desaubies, Y., 2009. The MERSEA Project. Ocean Sciences, http://www.ocean-sci.net/special_issue15.html.
- Dobricic, S., N. Pinardi, M. Adani, A. Bonazzi, C. Fratianni and M. Tonani, 2005. "Medi-

- terranean Forecasting System: a new assimilation scheme for Sea Level Anomaly and its validation". *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 131, pp. 3627-3642.
- Dobricic, S., N. Pinardi, M. Adani, M. Tonani, C. Fratianni, A. Bonazzi and V. Fernandez, 2007. Daily oceanographic analyses by the Mediterranean basin scale assimilation system, *Ocean Sciences*, 3, 149–157.
- Dobricic, S. and N. Pinardi, 2008. An oceanographic three-dimensional variational data assimilation scheme, *Ocean modelling*, 22: 89-105 (2008).
- Dobricic, S., N. Pinardi, P. Testor and U. Send, 2010. Data assimilation of glider observations in the Ionian Sea (Eastern Mediterranean): a study of the path of the Atlantic Ionian Stream. *Dynamics of Atmospheres and Oceans*, 50, 78-92, doi:10.1016/j.dynatmoce.2010.01.001.
- Lazzari, P., A. Teruzzi, S. Salon, S. Campagna, C. Calonaci, S. Colella, M. Tonani, and A. Crise, 2010. Pre-operational short-term forecasts for Mediterranean Sea biogeochemistry, *Ocean Sci.*, 6, 25-39.
- Le Traon, P.-Y., 2002: Satellite oceanography for ocean forecasting. *Ocean Forecasting: Conceptual Basis and Applications*, N. Pinardi and J. D. Woods, Eds., Springer, 19–36.
- Manzella, G.M.R., F. Reseghetti, G. Coppini, M. Borghini, A. Cruzado, C. Galli, I. Gertman, T. Gervais, D. Hayes, C. Millot, A. Murashkovsky, E. Özsoy, C. Tziavos, Z. Velasquez, and G. Zodiatis, 2007. The improvements of the ships of opportunity program in MFS-TEP. *Ocean Sci.*, 3, 245-258, 2007
- Nittis, K., C. Tziavos, R. Bozzano, V. Cardin, Y. Thanos, G. Petihakis, M. E. Schiano, and F. Zanon, 2007. The M3A multi-sensor buoy network of the Mediterranean Sea. *Ocean Sci.*, 3, 229-243.
- Nilsson, J.A.U., S. Dobricic, N. Pinardi, V. Tailandier, P.-M. Poulain, 2011. On the Assessment of Argo Float Trajectory Assimilation in the Mediterranean Forecasting System. In press on *Ocean Dynamics*
- Oddo, P., M. Adani, N. Pinardi, C. Fratianni, M. Tonani, D. Pettenuzzo, 2009. A Nested Atlantic-Mediterranean Sea General Circulation Model for Operational Forecasting. *Ocean Sci.*, 5, 461-473.
- Pinardi, N. and N. Flemming, 1998. "The Mediterranean Forecasting System Science Plan" EuroGOOS Publication No. 11, Southampton Oceanography Center, Southampton, ISBN 0-904175-35-9.
- Pinardi, N., F. Auclair, C. Cesarini, E. Demirov, S. Fonda-Umani, M. Giani, G. Montanari, P. Oddo, M. Tonani, M. Zavatarelli, 2002. Toward marine environmental predictions in the Mediterranean Sea coastal areas: a monitoring approach. In: *Ocean Forecasting* (N. Pinardi and J. Woods Eds.) Springer & Verlag.
- Pinardi, N., I. Allen, E. Demirov, P. De Mey, G. Korres, A. Lascaratos, P.-Y. Le Traon, C. Maillard, G. Manzella, C. Tziavos, 2003. The Mediterranean ocean Forecasting System: first phase of implementation (1998-2001), *Annales Geophysicae*, 21: 3-20.
- Pinardi, N., E. Arneri, A. Crise, M. Ravaioli and M. Zavatarelli, 2005. "The physical, sedimentary and ecological structure and variability of shelf areas in the Mediterranean Sea". *The Sea Vol. 14* (A. R. Robinson and K. Brink Eds.), Harvard University Press, Cambridge, USA, 1243-1330.
- Pinardi, N., and G. Coppini, 2010. Operational oceanography in the Mediterranean Sea: the second stage of development. *Ocean Sci.*, 6, 263-267
- Poulain, P.-M., and Coauthors, 2007. MedArgo: A drifting profiler program in the Mediterranean Sea. *Ocean Sci.*, 3, 379–395.

- Pujol, M.-I., and G. Larnicol, 2005: Mediterranean Sea eddy kinetic energy variability from 11 years of altimetric data. *J. Mar. Syst.*, 58, 121–142.
- Robinson, A.R., 1983. *Eddies in Marine Science*. 609 pp., Springer-Verlag, New York/Heidelberg.
- Tonani, M., N. Pinardi, S. Dobricic, I. Pujol and C. Fratianni, 2008. A High Resolution Free Surface Model of the Mediterranean Sea. *Ocean Sciences*, 4, 1–14.
- Tonani, M., N. Pinardi, J. Pistoia, S. Dobricic, S. Pensieri, M. de Alfonso, and K. Nittis, 2009. Mediterranean Forecasting System: forecast and analysis assessment through skill scores, *Ocean Sci.*, 5, 649-660.

Introduzione ai sistemi osservativi dell'oceanografia operativa

An Introduction to Operational Oceanography Observation Systems

V. Cardin

Istituto Nazionale di Oceanografia
e di Geofisica Sperimentale (OGS)

M. Ravaoli

Istituto di Scienze Marine (ISMAR-CNR)

F. Reseghetti

Agenzia nazionale per le nuove tecnologie,
l'energia e lo sviluppo economico sostenibile (ENEA)

Introduzione

Il monitoraggio dell'ambiente marino oltre a costituire una sfida per la comunità scientifica è stato riconosciuto una priorità a supporto delle politiche e gestione ambientali. In un sistema marino dinamico e continuamente in evoluzione importanti temi come l'eutrofizzazione, lo sfruttamento della pesca, i cambiamenti climatici e le catastrofi ambientali, richiedono un monitoraggio a lungo termine delle variabili che descrivono le dinamiche ed i processi marini (figura 1). L'operazione è complessa, dato che il Mediterraneo, sebbene sia stato a lungo considerato come un singolo sistema sociale economico, ecologico e climatico, in realtà mostra una grande e complessa variabilità.

I sistemi di osservazione marini devono essere progettati per aiutare gli studi previsionali e a migliorare la comprensione della dinamica del Mediterraneo, permettendo il monitoraggio in continuo ed integrato nel tempo. Nel decennio passato sono stati compiuti progressi significativi nello svilup-

Introduction

Monitoring the marine environment not only constitutes a challenge for the scientific community, but is also recognized as a priority for policies aimed at managing the environment. In a dynamic marine ecosystem undergoing continuous change such important questions as eutrophication, over-fishing, climate change and environmental disasters require long-term monitoring of the variable affecting marine processes and dynamics (Figure 1). This is a complex operation, given that the Mediterranean, although long considered a single socio-economic, ecological and climatic system, is in fact extremely complex and variable.

Marine observation systems have to be designed to assist forecast studies and improve our understanding of the dynamics of the Mediterranean, allowing continuous time-integrated monitoring. Over the last decade significant advances have been made in the development of in-situ sensors and the implementation of marine observation systems. Italy is a European leader in developing these systems for the Mediterranean, with real-time data trans-



Figura 1.- Problemi Ambientali Attuali
Figure 1.- Current environmental problems

po di sensori in situ e nella implementazione di sistemi di osservazione marini. L'Italia è all'avanguardia in Europa nello sviluppo di tali sistemi per il Mare Mediterraneo, anche con la trasmissione dei dati in tempo reale, la collezione in data base e il confronto con gli sviluppi di modellistica ad alta risoluzione. Le applicazioni dei sistemi permettono contributi significativi al controllo dell'inquinamento marino, alla sicurezza del trasporto e alla pesca sostenibile.

Lo sviluppo sostenibile della zona costiera italiana, le attività commerciali, il turismo, il trasporto a mare e la pesca, esigono un sistema di sorveglianza continuo dei mari, per avere una valutazione oggettiva dello stato del mare e delle sue risorse, prevenire disastri e mitigare gli eventuali effetti degli stessi. L'oceanografia operativa sviluppa sistemi integrati e in tempo reale per il monitoraggio e la previsione e fornisce le conoscenze di base e le applicazioni per affrontare correttamente e rapidamente le eventuali emergenze e per ottimizzare la gestione del mare con particolare attenzione alla zona costiera.

Come funziona l'oceano in un sistema a differente scala temporale e/o spaziale?

Una delle domande più ricorrenti riguarda la determinazione di come funzioni l'oceano in un sistema coerente fisico, chimico e biologico avente differenti scale temporali e spaziali.

Per rispondere a questa domanda bisogna non solo pensare alle singole attività di monitoraggio (tramite navi oceanografiche da ricerca, boe costiere e di altura, floats, ecc.) ma anche definire un sistema completamente integrato che sfrutti i dati in tutto il loro potenziale di là dei ristretti confini regionali, collegando ricerca, gestori e controllori del

mission, collection of data in databases and data comparison with high-resolution model development. Application of the systems allows important contributions to be made to marine pollution control, transport security and sustainable fishing.

Sustainable development of Italian coastal areas, commercial activity, tourism, transport by sea and fishing: all of these require a system of continuous marine surveillance in order to have an objective evaluation of sea state and resources and to predict disasters and mitigate their effects. Operational oceanography develops integrated real-time systems for monitoring and forecasting, as well as supplying the necessary knowledge and applications for dealing with emergencies rapidly and correctly and optimizing marine management (with particular reference to the coasts).

How does the ocean function in a system with different temporal and/or spatial scales?

A very common question is how the ocean functions in a consistent physical, chemical and biological system with different temporal and spatial scales.

To answer this questions, we need to consider more than just single monitoring activities (oceanographic research ships, coastal and open-water buoys, floats etc...), and also define a fully-integrated system that makes use of all the possibilities in the data, moving beyond regional boundaries to connect research, policy- and decision-makers, small businesses and industry for the good of the country. In order to make a real difference, what is needed is co-ordination at the technical and scientific levels that takes place both through economic support of existing structures and serious politically-backed co-ordination. This would guarantee continuity, efficiency and data access in the interests of

territorio, piccole medie imprese, industria a servizio del paese. Per incidere realmente, un'attività di coordinamento deve avvenire a livello tecnico-scientifico sia attraverso un supporto economico delle strutture esistenti sia attraverso un serio coordinamento che sia avallato dagli organi politici e gestionali del nostro paese. Ciò deve garantire la continuità, l'operatività e l'accesso ai dati per le finalità di conoscenza, previsione e supporto ai decisori politici e ai gestori. L'oceanografia operativa riunisce un sistema automatico di monitoraggio e di previsione per l'ambiente marino (analogamente a quanto avviene da tempo per le previsioni atmosferiche) al fine contribuire a risolvere alcuni dei problemi urgenti relativi all'impatto umano sul mare.

La scienza e la tecnologia sviluppate in oceanografia negli ultimi venti anni hanno dimostrato che oggi è possibile monitorare il mare sia con satelliti che con misure in situ. I dati raccolti possono arrivare in tempi strettissimi ai data base organizzati e permettere di usare modelli per la previsione dello stato del mare e della sua evoluzione, dei parametri biotici e abiotici, nonché dalle correnti alla biochimica.

Negli scorsi anni si è consolidata l'attività dell'Italia nel campo dell'oceanografia operativa tramite il Gruppo Nazionale di Oceanografia Operativa (GNOO), che ha tra i suoi obiettivi primari quelli di:

Coordinare le attività di oceanografia operativa a livello nazionale ed europeo;

Definire il sistema di monitoraggio dei Mari Italiani nell'ambito del "Mediterranean Forecasting System (MFS)" e sviluppare la sua sostenibilità a livello operativo;

Sostenere il sistema di previsioni del Mediterraneo e dei mari italiani collegandolo agli utenti finali;

Formulare e stimolare nuove proposte e iniziative di ricerca e sviluppo nel campo

knowledge, forecasting and offering support to policy- and decision-makers.

Operational oceanography brings together automatic monitoring and forecasting systems for the marine environment (similar to the situation with weather for atmospheric forecasting) in order to help resolve some of the most pressing problems connected with human impact on the sea.

Scientific and technological developments in oceanography over the last twenty years have shown that it is now possible to monitor the sea with both satellites and in-situ data. Data collected can arrive in organized databases very quickly, and allow the use of models for sea-state forecasting, as well as of sea-state evolution, biotic and abiotic parameters, currents, biochemistry and more.

In recent years, Italy's activity in operational oceanography has become consolidated through the National Operational Oceanography Group (GNOO), amongst the primary objectives of which are the following:

Co-ordination of operational oceanography activities at the national and European levels.

Definition of the monitoring system for the Italian seas within the framework of the Mediterranean Forecasting System (MFS) and development of its sustainability at the operational level.

Support for the Mediterranean and Italian seas forecasting systems by connecting them to end users.

Formulation and stimulation of new research and development proposals and initiatives in operational oceanography at the national and international levels.

European operational oceanography: the concept of Global Monitoring for Environment and Security (GMES)

In line with the strategy of the European Commission and the European Space Agency (ESA)

dell'Oceanografia Operativa a livello nazionale e internazionale.

L'Oceanografia Operativa Europea: Il concetto del Monitoraggio Globale Ambientale e della Sicurezza (GMES)

In linea con la strategia della Commissione Europea e della Agenzia Spaziale Europea (ESA) per lo sviluppo spaziale, è stata sottolineata l'importanza strategica per l'Europa di avere un accesso globale, indipendente e affidabile a informazioni aggiornate riguardanti il monitoraggio ambientale e la gestione dei rischi che permette di migliorare la protezione civile rafforzando la sicurezza, con particolare riguardo ai cambiamenti globali, stress ambientali e catastrofi.

L'informazione ambientale è di cruciale importanza perché ci permettano di capire il nostro pianeta e come esso sta cambiando, di analizzare l'incidenza delle attività umane in questo cambiamento e come questi influenzano la nostra vita. Il benessere e la sicurezza delle future generazioni dipendono dalle decisioni prese e dalle azioni intraprese nelle politiche ambientali.

Questa informazione è fondamentale per un'adeguata legislazione ambientale all'interno dell'UE e per una politica anche finalizzata ad intervenire sulla componente del cambiamento climatico riconducibile all'attività umana. Si tratta di un contributo vitale a questioni che riguardano l'ambiente e la sicurezza globale del nostro pianeta. Gli utenti maggiori di quest'informazione saranno i Policy makers. Su questi temi è finalizzato programma di sviluppo che è chiamato Monitoraggio Globale Ambiente e la Sicurezza (GMES).

Conviene ricordare che GMES (figura 2) consiste in un complesso insieme di sistemi

for space development, the strategic importance for Europe of having independent reliable global access to updated information on environmental monitoring and risk management permitting the improvement of civil protection and increased security, above all with regard to global change, environmental stress and catastrophes has been highlighted.

Environmental information is of vital importance, as it allows us to understand our planet and how it is changing, and how human activity affects these changes and how they affect our own lives. The well-being and security of future generations depend on the decisions taken and policies adopted regarding the environment.

This information is fundamental for a suitable EU environmental legislation, as well as for policies targeted at influencing climate change caused by human activity. This is a vital contribution to questions regarding the environment and our planet's global security. Policy-makers will be the chief users of this information. In this field a development programme called Global Monitoring for Environment and Security (GMES) has been finalized.

It should be remembered that GMES (Figure 2) consists of a complex collection of systems that collect data from all the instruments/technology available, elaborating this information and supplying end users with reliable current information using data dissemination systems. The Marine Core Service sends out the basic information from observation and modelling.

The Italian and European Mediterranean marine forecasting system (MOON)

The Mediterranean Operational Oceanography Network (MOON) (<http://www.moon-ocean-forecasting.eu/>) evolved out of EuroGOOS (European Global Ocean Observing System), that which co-ordinates centres of marine research

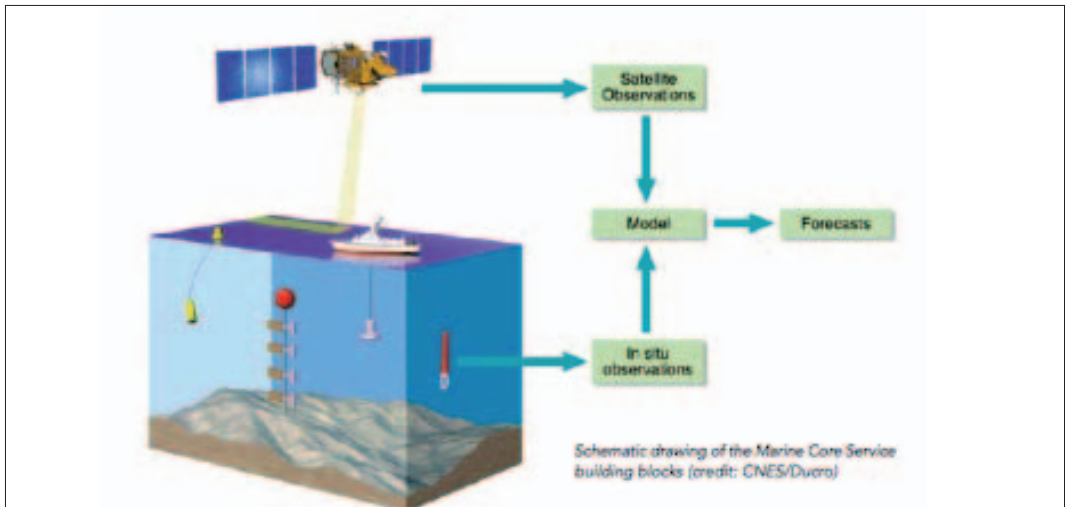


Figure 2.- Schema del Marine Core Service building blocks (da CNES/Ducra)

Figure 2.- Marine Core Service building blocks (from CNES/Ducra)

che raccolgono dati da tutte le strumentazioni/tecnologie disponibili, elaborando queste informazioni e fornendo agli utenti finali informazioni attuali ed affidabili attraverso sistemi di disseminazione dei dati. Il Marine Core Service divulga l'informazione di base, da osservazioni e da modelli.

Il sistema di previsione marino italiano ed europeo per il Mediterraneo (MOON)

Il Mediterranean Operational Oceanography Network (MOON) (<http://www.moon-oceanforecasting.eu/>) è un'evoluzione di EuroGOOS (European Global Ocean Observing System) operante nel Mediterraneo. Coordina centri di ricerca marina della regione per la pianificazione e l'implementazione del sistema osservativo operativo, promuovendo lo sviluppo e l'ottimizzazione della base scientifica, la tecnologia e il sistema d'informazione per l'oceanografia operativa. La sostenibilità a lungo termine

in the Mediterranean in the interests of planning and implementing an operational observation system, promoting the development and optimization of the scientific base, technology and computing system for operational oceanography. The long-term sustainability of the observation systems is, as mentioned above, of great importance for GMES (http://www.moon-oceanforecasting.eu/files/MOON_Science_Strategy_plan_.pdf).

Development of its operational capacity in the Mediterranean and – a fortiori – in Italy is advanced by:

Collaborations with multinational projects with the aim of developing observation and forecasting capacity at the basin and coast levels, generally financed by the European Community (EU).

National and regional programmes guaranteeing observation capacity of national seas and coastal areas.

An efficient observation system has to take into consideration a wide range of dynamic processes taking place at multiple temporal and spatial scales. In September 1999, an op-

dei sistemi osservativi è, come stato già menzionato, un argomento di grande importanza per il GMES (http://www.moon-oceanforecasting.eu/files/MOON_Science_Strategy_plan_.pdf).

Lo sviluppo della capacità operativa nel Mediterraneo e ancora di più in Italia sviluppato da:

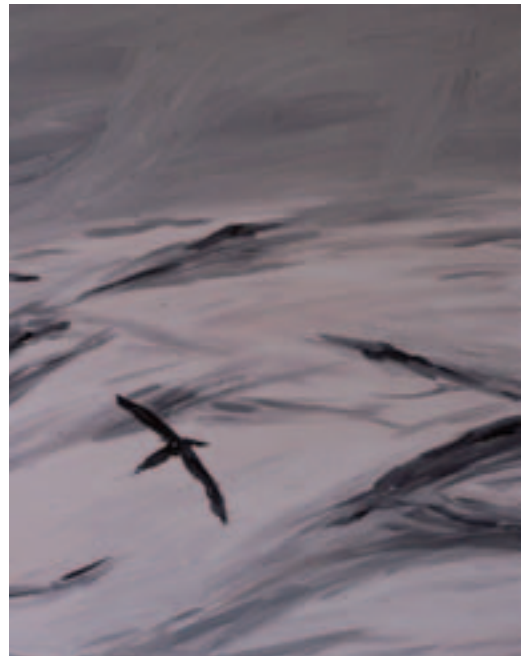
- Collaborazioni attraverso progetti multinazionali aventi lo scopo di sviluppare la capacità osservativa e di previsione a livello di bacino e costiero, generalmente finanziati dalla Comunità Europea (UE);
- Programmi Nazionali e Regionali che garantiscano la capacità osservativa dei mari nazionali e nelle zone costiere.

Un efficiente Sistema di Osservazione deve prendere in considerazione ampie varietà di processi dinamici che avvengono su molteplici scale temporali e spaziali. Nel settembre 1999 iniziò nel Mediterraneo, come parte del Mediterranean Forecasting System (MFS) (Pinardi et al., 1998) (figura 3), un Sistema Osservativo Operativo, inizialmente composto da navi di opportunità (programma VOS) (Manzella et al., 2007) e boe di altura (E1M3A - CRETA, E2M3A - ADRATICO, W1M3A - LIGURIA) (Nittis et al., 2007), cui furono aggiunte in seguito delle boe lagrangiane (floats) .

Col passare degli anni, l'uso integrato di gliders e degli altri elementi (navi, floats, misure da satelliti, ancoraggi) ha considerevolmente ampliato la quantità di dati oceanografici raccolti, riempiendo i gap dei sistemi operazionali precedenti. Sono stati inoltre sviluppati sistemi osservativi nelle zone costiere, sostenuti da progettualità europee e nazionale, Boe Mambo, SI, EI (Adricosm, Ecoop, Interreg, Emma-Life, Vector-Fisr, ecc). Nonostante questo progresso, le elevate variabilità spazio-temporali dei fenomeni negli oceani e la loro mutua interazione

erational observation system was set up in the Mediterranean as part of the Mediterranean Forecasting System (MFS) (Pinardi et al., 1998) (Figure 3); this was initially composed of ships of opportunity (the VOS programme) (Manzella et al., 2007) and open-water buoys (E1M3A - CRETA, E2M3A - ADRATICO, W1M3A - LIGURIA) (Nittis et al., 2007), to which Lagrangian buoys (floats) were later added.

As the years have passed, the integrated use of gliders and other equipment (ships, floats, satellite measurement, moorings) has considerably increased the quantity of oceanographic data collected, filling gaps in the previous operational systems. Furthermore, observation systems in coastal areas have been developed under the umbrella of European and national projects (Mambo buoys, SI, EI, Adricosm, Ecoop, Interreg, Emma-Life, Vector-Fisr etc.). Notwithstanding this progress, the high degree of variability in both space and time of ocean phenomena and their interaction still makes their study difficult. Oceanographic missions can give a good spatial cover, but without sufficient temporal



rendono tuttora difficile il loro studio. Le campagne oceanografiche possono fornire una buona copertura spaziale ma non una sufficiente risoluzione temporale. Perciò la necessità di un campionamento ad alta risoluzione temporale, che permetta di evidenziare eventi e processi rapidi così come di un monitoraggio prolungato di variabili intercorrelate dalla superficie al fondo marino, può essere risolta dall'uso di ancoraggi sistemati in aree specifiche.

I principali problemi ambientali del Mediterraneo che preoccupano MOON sono:

1. cambiamenti nel ciclo idrologico del bacino dovuti alle modifiche indotte nei bacini fluviali dall'uomo;
2. destino e dispersione di petrolio e contaminanti in mare aperto;
3. destino e dispersione di contaminanti derivanti da agricoltura, da navi, industrie, ecc ;
4. erosione costiera e rischi connessi;
5. attività della pesca e acquacultura;
6. fioritura algale e effetti avversi nelle zone costiere (anossia, turbidità, ecc.);
7. cambiamenti nell'ecosistema, invasione di specie e a lungo termine gli effetti delle tendenze marine.

Il sistema MOON di previsione si basa sui seguenti componenti osservativi:

Componente 1: sistema osservativo in tempo reale offshore

Sistema di monitoraggio italiano di una rete costiera disegnata nell'ambito di progetti europei, nazionali, regionali e sub-regionali

Componente 2: modelli numerici di previsione

Componente 3: assimilazione delle osservazioni e produzione di analisi

Componente 4: servizi ambientali per gli utenti finali (downstream service)

resolution. There is therefore a necessity for sampling at a high temporal resolution, allowing rapid events and processes to be highlighted, just as there is a need for long-term monitoring of intercorrelated marine variables from the surface to the seabed, which can be met using systematic moorings in specific areas.

The main environmental problems in the Mediterranean of interest to MOON are:

- 1. Changes in the hydrologic cycle of the basin due to changes in river input caused by human activity.*
- 2. Oil and contaminant spills in the open sea and their destinations.*
- 3. Destination and spill outdispersion of contaminants resulting from agriculture, ships, industry etc.*
- 4. Coastal erosion and connected risks.*
- 5. Fishing and aquaculture.*
- 6. Algal blooms and negative effects in coastal areas (anoxia, turbidity etc.).*
- 7. Changes in the ecosystem, species invasions and long-term effects of sea-state tendencies.*

The MOON forecasting system is based on the following observation components:

Component 1: real-time off-shore observation system.

Italian monitoring system of a coastal network planned within the context of European, national, regional and sub-regional projects.

Component 2: numerical forecasting models.

Component 3: observation assimilation and analysis production.

Component 4: environmental services for end users (downstream service).

Final considerations

The components of the in-situ Operation observation System (OOS) supply support for improving monitoring and forecasting, the products of which have to be rapidly distrib-

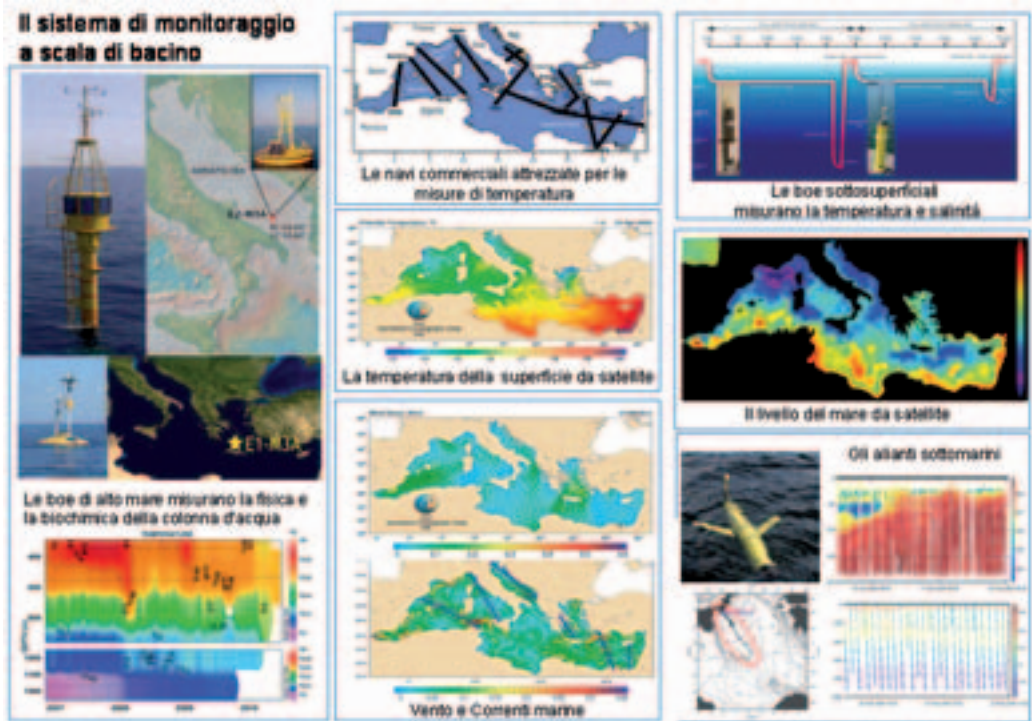


Figura 3.- Sistema di raccolta di dati a scala di bacino in tempo reale del Sistema Operativo Osservativo MOON

Figure 3.- The real-time basin-scale MOON operational data collection system

Considerazioni finali

I componenti del Sistema Osservativo Operativo in situ (OOS) forniscono il supporto per migliorare il monitoraggio e la previsione, i cui prodotti devono essere distribuiti rapidamente a utilizzatori industriali, agenzie governative e autorità di regolazione. Esempi di prodotti finali includono avvisi d'inondazioni costiere, danni per ghiaccio e tempeste, fioriture algali nocive e contaminanti, carte elettroniche, percorsi ottimali per le navi, previsione stagionale o annuale della produzione primaria, correnti oceaniche, variabilità del clima marino, ecc. In questo momento, il sistema si presenta (ahimè) ancora alquanto costoso e sogget-

to industrial users, government agencies and regulatory bodies. Examples of end products include: warnings of coastal flooding, hail and storm damage and harmful/contaminating algal blooms; electronic maps; ideal shipping routes; seasonal or annual primary production, ocean currents and marine climate variability forecasts; and more. At the moment, alas, the system is still rather expensive and subject to various types of error, but the application of new technologies will allow these problems to be significantly reduced within a reasonable period of time. It should be pointed out that only commitments for a long-term monitoring system will be able to convince industry to invest in research and technical development.

to a errori di vario tipo ma l'applicazione di nuove tecnologie consentirà, in un ragionevole lasso di tempo, di ridurre in maniera significativa questi inconvenienti. È da puntualizzare che solo impegni per un sistema di monitoraggio a lungo termine possono indurre l'industria a investire nella ricerca e nello sviluppo tecnologico.

Come considerazione conclusiva, va ricordato che la sicurezza e la salute del mare è un tema che deve essere condiviso tra scienziati, gestori, politici, cittadini, operatori economici e tutti sono invitati e devono avvertire la necessità di contribuire alla realizzazione di questo importante obiettivo.

Bibliografia

Nittis, K., Tziavos, C., Bozzano, R., Cardin, V., Thanos, Y., Petihakis, G., Schiano, M.E., Zanon, F., 2007: "The M3A multi-sensor buoy network of the Mediterranean Sea," *Ocean Science*, Vol. 3, 229-243.

Manzella, G.M.R., Reseghetti, F., Coppini, G., Borghini, M., Cruzado, A., Galli, C., Gertman, I., Gervais, T., Hayes, D., Millot, C., Murashkovsky, A., Ozsoy, E., Tziavos, C., Velasquez, Z., and Zodiatis, G.: The improvements of the ships of oppor-

As a final point, it should be remembered that the security and health of the sea is something that should be shared between scientists, policy-makers, politicians, citizens and industry, and all are invited to be aware of the need to contribute to the realization of this important goal.

tunity program in MFS-TEP, *Ocean Sci.*, 3, 245–258, 2007, <http://www.ocean-sci.net/3/245/2007/>.

Pinardi, N., Allen, I., Demirov, E., De Mey, P.G. Korres, A. Lascaratos, P.-Y. Le Traon, C. Maillard, G. Manzella, C. Tziavos, 2003: "The Mediterranean ocean forecasting system: first phase of implementation, 1998-2001", *Annales Geophysicae*, 21: 3-20.

Sistema cooperativo nel campo
dell'osservazione marina:
vantaggi e problemi

*A Co-operative System in the Field of Marine
Observation: Advantages and Problems*

G. M.R. Manzella
ENEA, La Spezia

Introduzione

Vari sistemi di osservazione operativa coesistono in Italia, sviluppati da enti pubblici aventi differenti finalità istituzionali. Alcuni di essi sono stati implementati come parte di collaborazioni tra enti di ricerca e governi regionali, altri nell'ambito di programmi internazionali svolti in ambito UNESCO e WMO, altri come parte di un sistema nazionale sotto la responsabilità governativa. I sistemi osservativi spesso si dimostrano essere complementari, ma nella sostanza essi sono completamente scoordinati. Campagne di monitoraggio svolte istituzionalmente dalle autorità ambientali regionali sono limitate alle zone costiere. Spesso si svolgono campagne oceanografiche a più grande scala in coincidenza temporale con quelle di monitoraggio ed in aree ad esse adiacenti. Allo stesso modo coesistono stazioni di misura in posizione fissa sia in aree costiere che in mare profondo. Utilizzando l'insieme dei dati provenienti dai diversi sistemi di osservazione operativa si potrebbe avere un quadro molto più ampio delle condizioni ambientali nei mari italiani. Date le diverse esigenze che hanno fatto nascere questi sistemi, è attualmente difficile pensare ad uno stretto coordinamento, tuttavia è possibile immaginare la costituzione di una federazione di sistemi in cui i dati sono accessibili per un mutuo vantaggio. Le difficoltà di un simile approccio sono essenzialmente legate ad una politica dei dati che spesso è diversa tra gli enti o addirittura assente. Pur lasciando libertà ai diversi sistemi di evolversi secondo le necessità operative legate ai programmi a cui fanno riferimento, sarebbe doveroso costruire un tavolo di coordinamento. Questo viene dettato dalla comunicazione della Commissione Europea COM2009(544) che richiede un sistema integrato di osservazione e previsione del mare, nella Politica Marittima Integrata

Introduction

Various operational observation systems are co-existing in Italy, part of them are developed by public bodies with different institutional goals. Some of these have been implemented as part of a collaboration between research bodies and regional governments, some as part of international UNESCO or WMO programmes, some as part of a national system under the responsibility of the government. Observation systems often reveal themselves to be complementary, but they are in fact totally unco-ordinated. Monitoring campaigns carried out by regional environmental authorities are limited to coastal areas. Larger-scale oceanographic campaigns are often carried out at the same time as monitoring in adjacent areas. Equally, fixed measuring stations co-exist in both coastal and open waters. Using all of the data collected by various operational observation systems it would be possible to have a much broader vision of environmental conditions in Italian seas. Given the varying needs that have given rise to this system, it is difficult to believe in the possibility of close co-ordination; however, it is possible to imagine the creation of a federation of systems in which data are accessible to everyone. It's mutual advantage. The difficulties of such an approach are essentially connected with data policies that often differ between bodies (and even, on occasion, with bodies that have no data policy). Although different systems must be left free to evolve according to the operational necessities of their programmes, a co-ordination board should be created. This follows European Commission report COM2009(540), which makes a request for an integrated marine observation and forecasting system within the framework of the Integrated Maritime Policy contained in the European Commission Blue Paper (2008) in the Marine Strategy Framework Directive, with its deadlines for monitoring actions. The abovementioned COM2009(540) says: There

contenuta nel Libro Blu della Commissione Europea (2008), nella Direttiva Quadro della Strategia Marina, con le sue scadenze in termini di azioni di monitoraggio. In particolare dal citata COM2009(544) recita: *Non può esistere una politica marittima senza informazioni e conoscenze adeguate sui mari e sulle coste dell'Europa. Per il momento le conoscenze oceanografiche sono ancora molto isolate e inefficienti sotto il profilo dei costi. La rete europea per l'osservazione e la raccolta di dati sull'ambiente marino (EMODNET), annunciata nel Libro blu, si prefigge lo scopo di migliorare l'affidabilità delle conoscenze oceanografiche e di ridurre i costi operativi per i soggetti che ne fanno uso. Occorre procedere a una valutazione delle basi dati e dei programmi di osservazione esistenti in termini di copertura, risoluzione e frequenza di rilevazione dei dati. I dati provenienti da diverse fonti devono essere raccolti nell'ambito di un sistema globale e compatibile e essere resi accessibili in quanto strumento per una migliore governance.*

Il modello di oceanografia operativa in Italia

Guardando i progetti pilota di oceanografia operativa, si può vedere che lo schema di sistema è composto da tre moduli relativi a: Sistema di Monitoraggio, Piattaforme, Sistema di analisi previsione e servizi. Un quarto modulo è relativo al sistema informativo che serve ad organizzare il flusso di dati e prodotti tra le varie componenti del progetto ed a fornire servizi per utenti esterni. Infine un modulo è dedicato alla dimostrazione e validazione dei prodotti sviluppati nel progetto.

Il sistema osservativo si basa su piattaforme diverse: navi da ricerca, navi commerciali (Ships Of Opportunity Program), boe ancorate, boe fisse, boe profilanti trasportate da correnti, boe superficiali trasportate da correnti, veicoli autonomi. Esistono pochi

can be no maritime policy without proper data and knowledge on Europe's seas and coasts. So far marine knowledge remains very scattered and cost-ineffective. The European Marine Observation and Data Network (EMODNET), as announced in the Blue Paper, aims to reduce uncertainty in knowledge of the seas as well as operational costs for those who use marine data. Existing databases and observation programmes need to be assessed in terms of coverage, resolution and data collection frequency. Data stemming from different sources should be compiled in a comprehensive and compatible way, and made accessible as a tool for better governance.

The operational oceanography model in Italy

Looking at operational oceanography pilot projects, we can see that the system plans are composed of three modules: monitoring system; platform; forecast analysis and services system. A fourth module concerns the IT system for organizing data and product flow between the various project components and supplying services to external users. Finally, a module is dedicated demonstrating and evaluating products developed within the project.

The observation system is based on various platforms: research ships, commercial shipping (the Ships of Opportunity Programme), anchored buoys, fixed buoys, profiling buoys transported by currents, surface buoys transported by currents, autonomous vehicles. There exist only a few sensors able to supply data with environmental and biological parameters to be used in platforms allowing real-time data transmission. For years integration of data collection systems using water pumped from the sea surface to sensors measuring salinity, chlorophyll and the presence of pollutants (ferry boxes) has been performed. Furthermore, ex-



Figura 1. Lo schema generico di un progetto pilota di oceanografia operativa.

Figure 1. The general plan of an operational oceanography pilot project.

sensori che possano fornire dati di parametri ambientali e biologici da utilizzare in piattaforme che consentano la trasmissione in tempo reale. Da anni si svolgono integrazioni di sistemi di raccolta dati che usano acqua pompata dalla superficie del mare verso sensori che misurano salinità, clorofilla, presenza di inquinanti (ferry box). Inoltre, parallelamente sono state condotte sperimentazioni per lo sviluppo di sensori ottici attivi (sensori laser) che interrogano da lontano la superficie marina. Questi sensori permettono di ricavare informazioni sul particolato organico disciolto (CDOM) e sospeso (pigmenti algali) oltre a rilevare la presenza di sostanze inquinanti derivate dal petrolio (greggio o suoi semilavorati). Il modello sopra presentato va modificato nel momento stesso che un sistema passa dalla fase di progetto pilota a quello operativo. Il sistema di osservazione deve cambiare per essere completamente automatizzato, sia nella logica del campionamento che in quella di gestione dati. Va cambiata anche la logica stessa del campionamento per passare dal concetto di monitoraggio basato su navi che effettuano transetti ben definiti al

periments have been carried out in parallel for the development of active optic sensors (laser sensors) that examine the sea surface from afar. These sensors allow information on coloured dissolved organic matter (CDOM) and suspended organic matter (algal pigments) to be gathered, as well as revealing the presence of pollutants deriving from oil (crude or semi-processed).

The model presented above is modified the moment a system passes from the pilot project phase to the operational phase. The observation system has to change in order to become fully automated in terms of both sampling logic and data management. The sampling logic must be changed to move from a concept of monitoring based on ships following well-defined routes to the concept of an observatory. An example is given in Figure 2.

The need of co-ordinating action

From what has been said above we may deduce that in order to realize an advanced monitoring and forecasting system we also need first

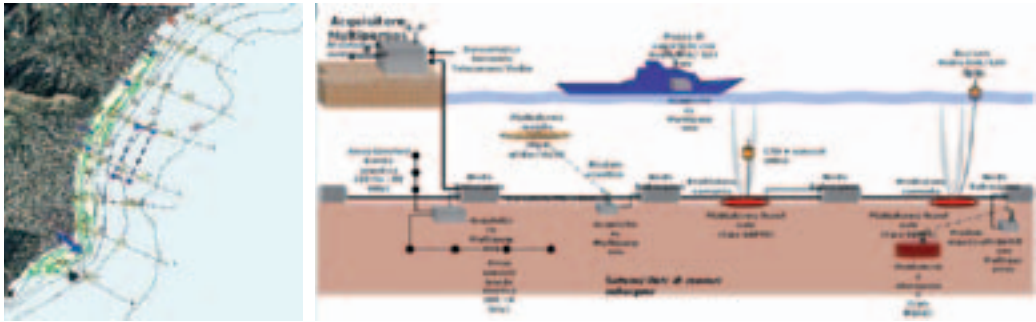


Figura 2. Il concetto di monitoraggio basato su stazioni fisse visitate da una nave (sinistra) e su un osservatorio.
 Figure 2. Monitoring concepts based on fixed stations visited by a ship (left) and on an observatory.

concetto di osservatorio. Un esempio viene fornito nella figura 2.

Necessità di coordinare le azioni

Da quanto esposto sopra, si può dedurre che per realizzare un sistema avanzato di monitoraggio e previsione occorre ancora avanzare nella tecnologia per le osservazioni e nei concetti generali di monitoraggio. Questo richiede una forte collaborazione tra enti di ricerca e agenzie operative. Nel momento attuale, la collaborazione porta ad un rafforzamento delle capacità di monitoraggio dei mari italiani e del Mediterraneo. La figura 3 mostra la rete mareografica e ondometrica di ISPRA, mentre la figura 4 mostra la rete di osservazione fatta nell'ambito del Mediterranean Operational Oceanography Network. Ci si può rendere conto che mettendo insieme i due sistemi si avrebbe un vantaggio reciproco notevole. È altresì da caldeggiare la possibilità di avere un "facile" accesso a tutti i dati. Tale eventualità, consentendo una conoscenza migliore delle condizioni fisiche del Mar Mediterraneo ed in particolare dei mari italiani, permetterebbe l'ottimizzazione ed il completamento dell'attività di monitoraggio grazie al feedback fornito dalle analisi sui dati raccolti.

to make advances in observation technology and general monitoring concepts. For this to happen, close collaboration between research and operational bodies is needed. As things currently stand, collaboration leads to a strengthening of monitoring capacities in Italian seas and the Mediterranean. Figure 3 shows ISPRA's tide-gauge and wave-measuring networks, whilst Figure 4 shows the observation network created under the aegis of the Mediterranean Operational Oceanography Network. Looking at these figures, it becomes clear that combining the two systems would lead to huge mutual advantages.

The possibility of having 'easy' access to all of the data should also be warmly supported. This possibility, which would allow better knowledge of the physical conditions of the Mediterranean, in particular the Italian sea, would allow the optimization and completion of monitoring activity thanks to feedback supplied by analysis of the data collected.

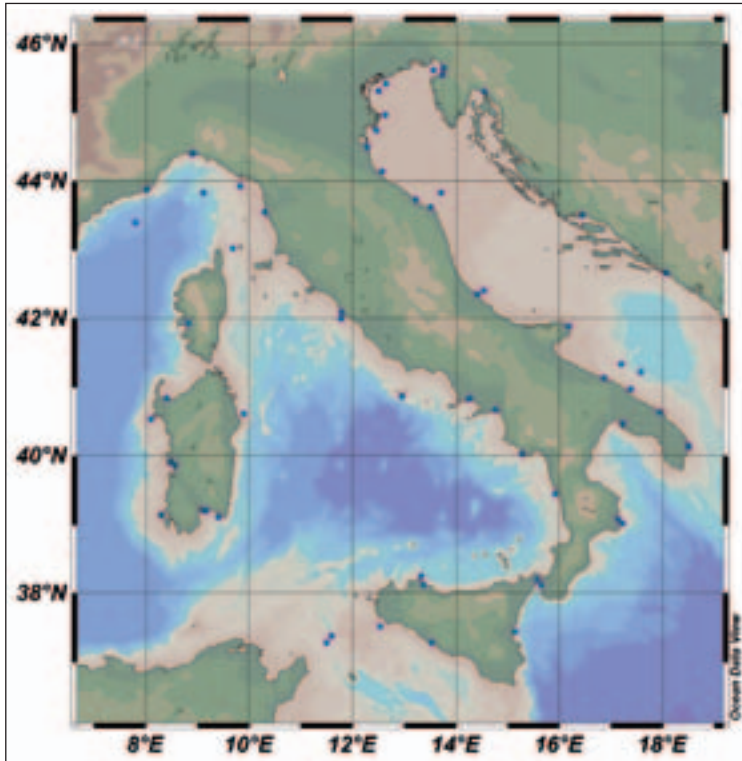


Figura 3: posizione dei mareografi ed ondametri di ISPRA.

Figure 3: Position of ISPRA sea level gauges and wave riders.

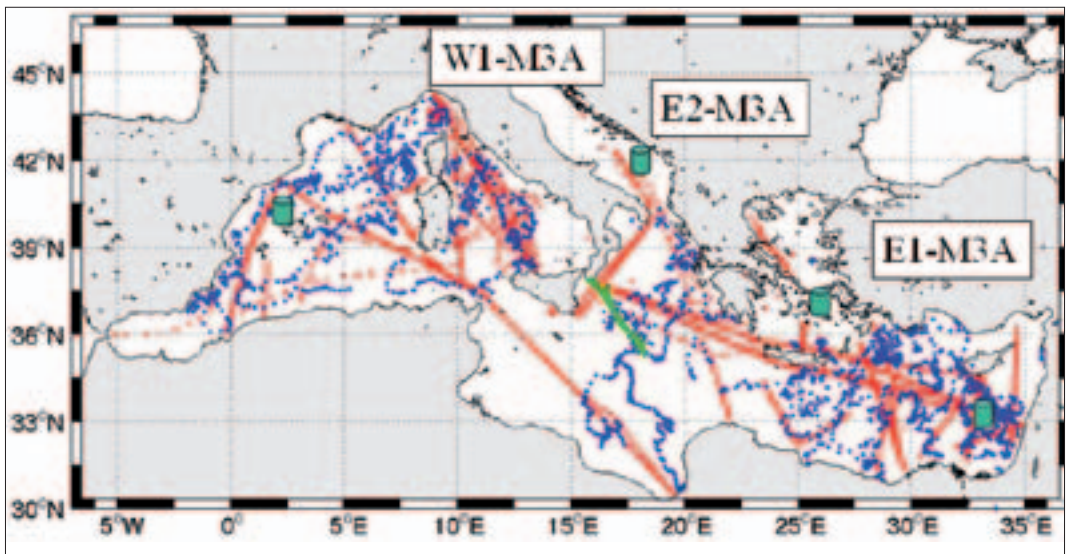


Figura 4. Dati raccolti nell'ambito del Mediterranean Forecasting System – TEP tramite differente strumentazione.

Figure 4. Data collected under the aegis of the Mediterranean Forecasting System-TEP using various instruments.

Le reti di monitoraggio dello stato ecologico
nelle acque costiere marine antistanti
l'Emilia-Romagna

*Ecological-State Monitoring Networks in Marine
Coastal Waters off Emilia-Romagna*

G. Montanari
già ARPA Daphne

Le acque costiere marine antistanti l'Emilia-Romagna, investite direttamente dagli apporti di nutrienti generati soprattutto nel bacino padano, sono periodicamente interessate da fenomeni eutrofici che, particolarmente nel periodo estivo, determinano alterazioni nell'ecosistema bentonico e riflessi negativi sul comparto della pesca e del turismo.

Considerate l'estensione e la frequenza delle fioriture microalgali, di conseguenza gli effetti sull'ecosistema marino, si può probabilmente affermare che i livelli di eutrofia caratteristici dell'Adriatico Nord-Occidentale rappresentano il problema principale dell'alterazione degli equilibri ambientali delle acque costiere italiane ed uno dei più gravi di tutto il Mediterraneo.

Le zone prospicienti il delta del Po e la costa emiliano-romagnola, essendo investite direttamente dagli apporti del bacino idrografico padano veicolati dal Po nonché dagli apporti dei bacini costieri, sono maggiormente interessate da processi di eutrofizzazione. L'influenza e l'effetto dell'apporto del bacino padano sull'area costiera, si evincano considerando anche il valore di salinità che si abbassa notevolmente lungo la fascia costiera rispetto al mare aperto; inoltre la grande massa di acqua dolce veicolata dal fiume Po (circa 1500 m^3 il secondo) rappresenta il motore e l'elemento caratterizzante del bacino dell'Adriatico Nord-Occidentale in grado di determinare e condizionare gran parte dei processi trofici e distrofici dell'ecosistema costiero.

Le manifestazioni spazio-temporali di eventi eutrofici sono molto diversificate essendo in relazione a diversi fattori; in estrema sintesi si può affermare che, nella zona compresa tra il delta Po e Ravenna, i processi di fioritura microalgale sono più frequenti e più intensi rispetto la parte centrale e meridionale della costa.

The marine coastal waters of the Emilia-Romagna region, which are mainly influenced by the inflow of nutrients from the Po river basin, periodically undergo eutrophication phenomena, which, especially during the summer period, cause alterations in the benthic ecosystem and have negative impacts on fishing and tourism activities.

If we consider the entity and frequency of microalgal blooms and the consequent effects on the marine ecosystem, we could probably argue that the North-western Adriatic eutrophic levels represent the main problem that provoke alterations in the environmental state of the marine coastal waters, as well as one of the most serious problems of the entire Mediterranean.

The areas off the Po delta and the coast of Emilia-Romagna, which are directly influenced by the runoff from the coastal river basins and the Po, are those undergoing frequent eutrophication events. The influence and effects of Po basin runoff on the coastal area can also be detected from the salinity, which is notably lower along the coastal strip than in the open sea. Furthermore, the large Po freshwater discharge (approximately 1500 m^3 per second) represents both the driving force and the characteristic element of the North-western Adriatic basin, capable to condition a large part of the trophic and dystrophic processes of the coastal ecosystem.

How eutrophic events manifest themselves in space and time differ according to various factors: to put it briefly, we may say that processes of microalgal blooms in the area between the Po delta and Ravenna are more frequent and more intense than those in the central and southern parts of the coast. The distribution of fertilizing elements and microalgal biomass, also follows a pattern that decrease from north to south, from coast to open sea, and from surface to seabed.

On average, over the winter period much of the coastal strip experiences an increase in micro-

Anche la distribuzione degli elementi fertilizzanti così come gli indici di biomassa microalgale seguono un modello con andamento in diminuzione da Nord a Sud, da costa verso il largo e dalla superficie verso il fondo.

Mediamente, nel periodo invernale gran parte della fascia costiera è interessata da incremento della biomassa microalgale dovuta agli apporti di nutrienti derivati dal bacino padano. Le fioriture che si susseguono sono determinate prevalentemente da Diatomee ed investono vaste aree anche verso il largo e verso la zona meridionale della costa.

Durante la primavera la distribuzione dei livelli di produttività primaria tende progressivamente a ridursi sia come estensione che frequenza e si localizza principalmente nelle aree a sud del delta Po in correlazione diretta con la salinità. Nel periodo estivo, a seguito della riduzione degli apporti dei bacini costieri e soprattutto in considerazione dei regimi dei venti favorevoli (lo Scirocco è il vento dominante del periodo che porta acque pulite dal largo verso costa e nello stesso tempo blocca e devia il flusso discendente delle correnti), i processi eutrofici tendono ulteriormente a ridursi in estensione ed intensità interessando principalmente le aree a sud del delta padano (Figura 1).

La stabilità meteo-marina gioca pertanto un ruolo fondamentale nello sviluppo dei processi eutrofici; infatti, se ad esempio ad un consistente apporto di nutrienti a mare è associato un campo di moto ondoso tale da diluire e disperdere l'input del carico trofico, gli eventi di sviluppo di biomassa microalgale saranno altamente improbabili. Per contro se l'apporto dei nutrienti coincide con un periodo di stabilità meteo marina, scarso ricambio delle acque, debole circolazione, lo sviluppo di condizioni trofiche diventa quasi automatico.

algal biomass caused by nutrients coming from the Po river basin. The blooms that follow are mainly caused by diatoms and cover vast areas extending offshore and in the south. During the spring the primary production biomass tends to be progressively reduced both in extension and frequency of events, and becomes principally localized in the areas in the immediate vicinity and south of the Po delta, positively correlated with salinity. In the summer period, following a reduction in inflow from the coastal river basins and, above all, the upwelling favourable winds (in this period the sirocco is the prevailing wind that brings offshore deep waters towards the coast), eutrophic processes tend to be further reduced in extension in intensity, effecting mainly the areas to the immediate vicinity of the Po delta (Figure 1).

Meteorology and marine currents play a fundamental role in the development of eutrophic processes; in fact, if a consistent inflow of nutrients occurs together with a field of currents that will disperse the nutrient inputs, microalgal biomass development will be highly improbable. On the contrary, if the nutrient inflow coincides with a period of meteorological weak conditions, low vertical exchange and weak circulation, then development of blooms will be almost automatic.

An active circulation dynamics very often produce beneficial effects, particularly during the summer, as they cause the dilution of the surface nutrient loads and the temperature and salinity mixing of the water column. This allows to resolve any hypoxic or anoxic conditions present that might affect bottom water.

The formation and spreading of anoxic bottom water masses which can extend over areas of more than 500 Km², is by far the main environmental problem of Emilia-Romagna coastal waters, as it has an harmful effect on the ecosystem, it produces a massive fish and bivalves death, as well as having a negative impact on tourism due to landing of dead organisms

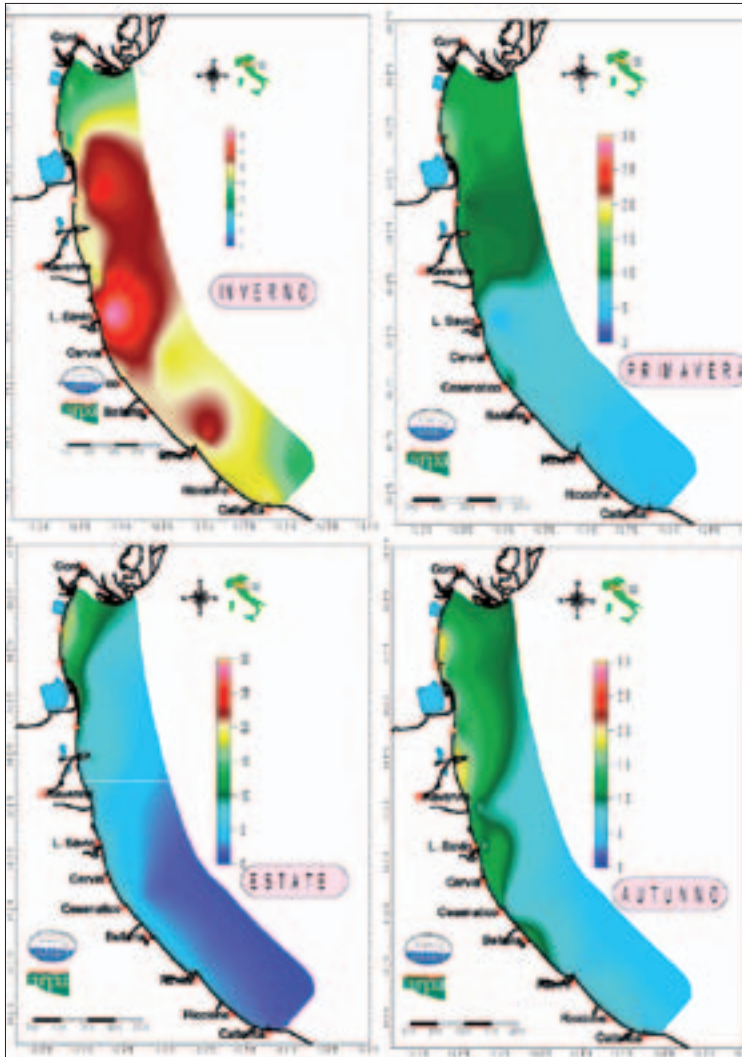


Figura 1 - Mappe di distribuzione della Clorofilla "a" ($\mu\text{g/l}$) lungo la costa emiliano-romagnola da costa fino 10 Km al largo nel periodo 1982-2003: medie stagionali

Figure 1 – Chlorophyll a ($\mu\text{g/l}$) distribution map for the Emilia-Romagna coast from the shoreline to 10 km offshore for the period 1982-2003: seasonal averages.

L'azione del moto ondoso produce sempre effetti benefici particolarmente durante il periodo estivo, poiché determina una riattivazione della dinamica costiera, la diluizione su vaste masse d'acqua degli elementi eutrofizzanti concentrati negli strati superficiali, una destratificazione della colonna d'acqua in termini di temperatura e salinità. Questo consente l'instaurarsi di moti convettivi dalla superficie al fondo e risolvendo in tal modo eventuali condizioni ipossiche o anossiche che possono interessare le acque di fondo.

onto beaches and the presence of unpleasant odours deriving from the degradation of organic substances (Figure 2).

Monitoring of the environmental state of coastal waters has been active since 1977, and covers a network of 32 stations positioned up to 10 km from the coast (Figure 3), where measurements are made and samples taken every week in the summer and every two weeks the rest of the year in order to meet the following goals, which are both scientific and practical:

La formazione e l'estensione di stati anossici delle acque di fondo, anche su aree superiori a 500 Km², sono il problema ambientale fondamentale delle acque costiere dell'Emilia-Romagna in quanto hanno un effetto deleterio sugli equilibri degli ecosistemi, un impatto negativo sul comparto della pesca per la moria di pesci e dei banchi di molluschi bivalvi e un riflesso negativo sul turismo per lo spiaggiamento di organismi morti e lo sviluppo di odori sgradevoli derivati dai processi di degradazione della sostanza organica (Figura 2).

Il monitoraggio dello stato ambientale è stato attivato fin dal 1977 e si attua su una rete di 32 stazioni fino a 10 Km dalla costa (Fi-

- *Definition of the intensity and size of any microalgal bloom and identification of the phytoplankton species.*
- *Observation of the effects deriving from the various phases of the blooms evolution (anomalous water colour, hypoxia and anoxia of the seabed, mass death of benthic organisms, etc.) and identification of the elements causing them.*
- *Determination of nutrient concentrations (especially of phosphorus and nitrogen) and their distribution in space and time, as well as identification of limiting factors.*
- *Determination of the main physical and chemical water parameters (temperature, salinity, oxygen saturation, pH, chlorophyll,*

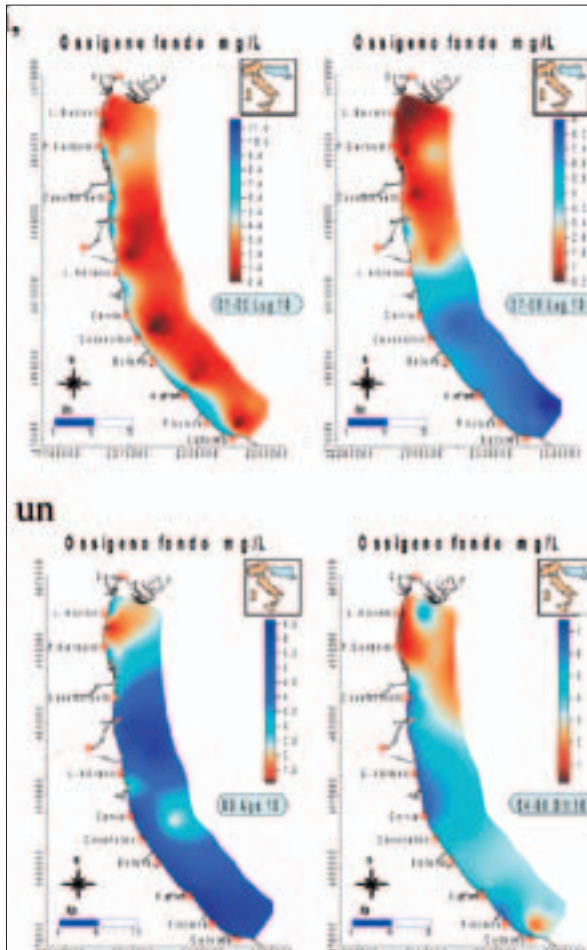


Figura 2 - Mappe di distribuzione delle condizioni anossiche (concentrazione di ossigeno disciolto inferiore a 1 mg/l) ed ipossiche (concentrazione di ossigeno disciolto compreso tra 1 mg/l e 3 mg/l) delle acque di fondo nel 2010, dal delta del Po a Cattolica e da costa fino a 10 Km al largo.

Figure2 – Distribution maps of anoxic (oxygen saturation concentrations under 1 mg/l) and hypoxic (oxygen saturation concentrations between 1 mg/l and 3 mg/l) conditions in bottom waters in 2010 between the Po delta and Cattolica and from the coasts to 10 km offshore.

gura 3), dove vengono eseguite settimanalmente nel periodo estivo e bisettimanale nel restante periodo dell'anno, misure e prelievi allo scopo di soddisfare obiettivi sia di carattere conoscitivo che di controllo gestionale, che possono essere così sintetizzati:

- definizione dell'intensità e dell'estensione della eventuale presenza di fioriture microalgali e determinazione delle specie fitoplanctoniche che sostengono le fioriture;
- controllo degli effetti derivanti dalle diverse fasi dell'evoluzione del fenomeno (anomale colorazioni delle acque, ipossie ed anossie dei fondali, morie di organismi bentonici, ecc.) ed individuazione degli elementi causali;
- determinazione della concentrazione dei nutrienti (fosforo ed azoto in particolare) e loro distribuzione spaziale/temporale e individuazione del fattore limitante;

transparency, turbidity), as well as the temporal and spatial trends of these with relation to eutrophic phenomena and meteorological and current conditions.

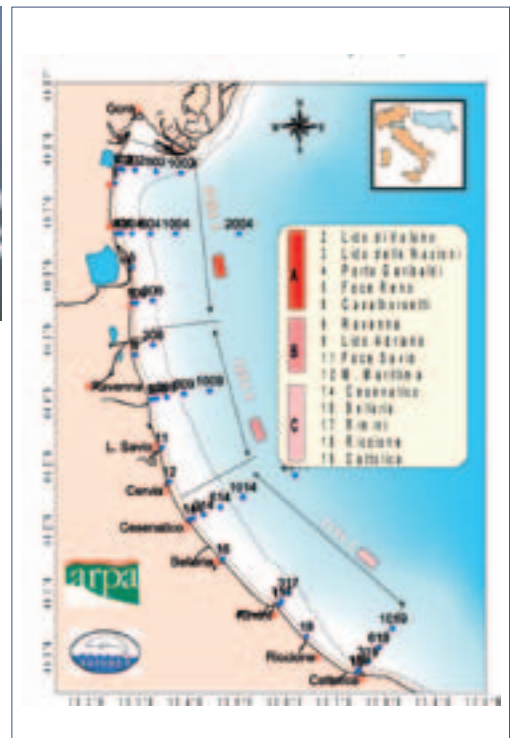
- *Monitoring of pollutant and trophic loads coming from the Po and their relation to those coming from the other sources along the coast.*
- *Evaluation of the long-term efficiency of clean-up activities with regard to protecting ecosystems and resources.*
- *Input into different databases of the monitoring data in order to be able to support forecasting models and support decision systems.*
- *Checking for the presence of toxic epiphytic microalgae in specific sites.*

All coastal stations are sampled for the presence of potentially toxic microalgae. Analyses are carried out by the Centro Ricerche Marine



Figura 3 - Motonave oceanografica Daphne II e rete delle stazioni di monitoraggio e controllo stato trofico delle acque costiere marine. L. R. 39/78, L. R. 3/99, L. R. 44/95, L. R. 979/82.

Figure 3 - The oceanographic motorboat Daphne II and the network of stations for monitoring marine coastal waters and checking their trophic state. L. R. 39/78, L. R. 3/99, L. R. 44/95, L. R. 979/82.



- determinazione dei principali parametri fisico-chimici delle acque (temperatura, salinità, ossigeno disciolto, pH, clorofilla, trasparenza, torbidità); loro andamenti temporali e spaziali in relazione ai fenomeni eutrofici ed alle condizioni meteo-marine;
 - valutazione con adeguata accuratezza della distribuzione dei carichi inquinanti e trofici di origine padana in rapporto a quelli costieri;
 - valutazione dell'efficacia, in un periodo prolungato, degli interventi di risanamento per la salvaguardia degli ecosistemi e per la tutela delle risorse;
 - alimentazione delle basi dati fondamentali per applicare modelli previsionali a supporto delle decisioni;
 - controllo, su siti specifici, dell'eventuale presenza di microalghe epifitiche tossiche.
- In tutte le stazioni costiere sono effettuati campionamenti per il controllo delle microalghe potenzialmente tossiche. Analisi eseguite dal Centro Ricerche Marine di Cesenatico, quale Centro di riferimento nazionale su questa specifica materia, indicato dalla Comunità Europea con GUCE NII66/31 del 14-6-93.

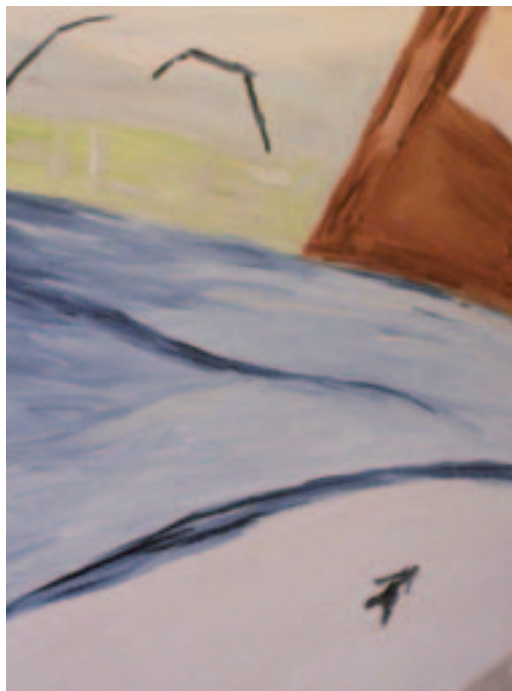
Le informazioni acquisite oltre ad alimentare la banca dati delle diverse matrici, rappresentano la base per la redazione di un bollettino "Mare-in-forma" che, unitamente alle mappe tematiche di distribuzione della temperatura, clorofilla "a", salinità, trasparenza e dell'ossigeno disciolto sul fondo viene inserito sul sito Internet "www.arpa.emr.it/daphne/".

Nell'ambito del processo di implementazione della FWD 60/2000 lungo la fascia costiera dell'Emilia-Romagna è stato concluso il processo di tipizzazione sia su base geomorfologica che su quella idrologica, nonché l'individuazione dei corpi idrici nelle acque marine, propedeutico alla definizione delle reti di monitoraggio. La costa emiliano ro-

of Cesenatico, the national centre for this type of analysis, as indicated in the European Community directive GUCE NII66/31 of 14-6-93.

The information acquired not only feeds the databases for the various environmental measurements but also represents the basis for a bulletin called 'Mare-in-forma' that is published on the website www.arpa.emr.it/daphne/ along with thematic maps of the distribution of temperature, chlorophyll-a, salinity, transparency and oxygen saturation at the seabed.

Under the recommendations of the Water Framework Directive, a characterization of the geomorphological and hydrological regimes along the Emilia-Romagna coastal strip was carried out in order to define the monitoring network structure. All of the Emilia-Romagna coast belongs to a single type, and is characterized by sandy coasts and flood plains. Two water bodies have been identified based on the analysis of the existing pressures, of the different water quality levels, the protected areas and the existence of long breakwaters off Ravenna port. The first wa-



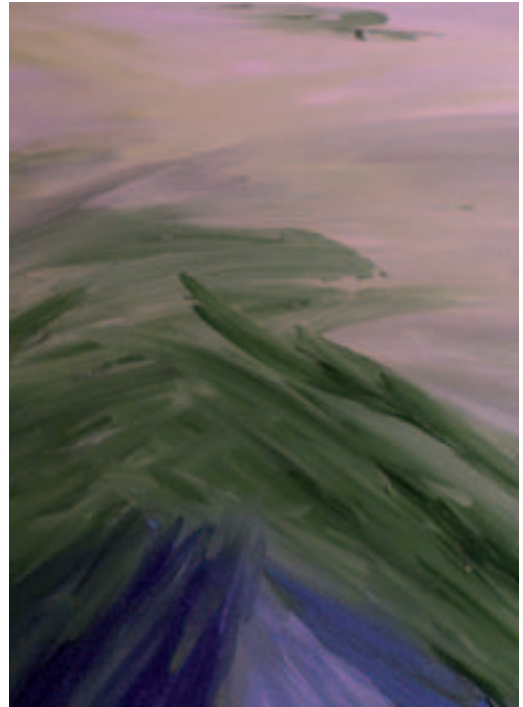
magnola appartiene ad un'unica tipologia caratterizzata da costa sabbiosa e pianura alluvionale integrata da alta stabilità della colonna d'acqua. Per quanto concerne i corpi idrici, dall'analisi delle pressioni esistenti sul territorio, dalle differenze dello stato di qualità e dell'estensione delle aree protette, dalle discontinuità importanti nella struttura della fascia litoranea (dighe foranee di Ravenna), nonché sulla base del giudizio che si evince dai monitoraggi poliennali sullo stato ambientale, nella costa dell'Emilia-Romagna sono stati individuati due corpi idrici. Il primo che va dal delta Po a Ravenna ed il secondo che si estende da Ravenna a Cattolica.

Nella nuova rete osservativa viene applicato il monitoraggio operativo poichè la fascia costiera dell'Emilia-Romagna, sulla base dell'Art 77 del D. Lgs 152/06, è dichiarata area sensibile, un'area soggetta a processi di eutrofizzazione i cui corpi idrici individuati sono assegnati alla categoria dei corpi idrici a rischio che prevede l'intensificazione della frequenza delle determinazioni analitiche riferite particolarmente alla componente biologica (fitoplancton e macrozoobenthos) che sono elementi basilari ai fini della classificazione dello stato ecologico, quando saranno definite le condizioni ed i siti di riferimento. Il monitoraggio operativo presenta le seguenti finalità:

- stabilire lo stato dei corpi idrici identificati "a rischio" di non soddisfare gli obiettivi ambientali dell'articolo 77 e seguenti del suddetto decreto legislativo;
- valutare qualsiasi variazione dello stato di tali corpi idrici risultante dai programmi di misure;
- classificare i corpi idrici.

Gli elementi qualitativi per la classificazione dello stato ecologico per le acque costiere marine si distinguono in:

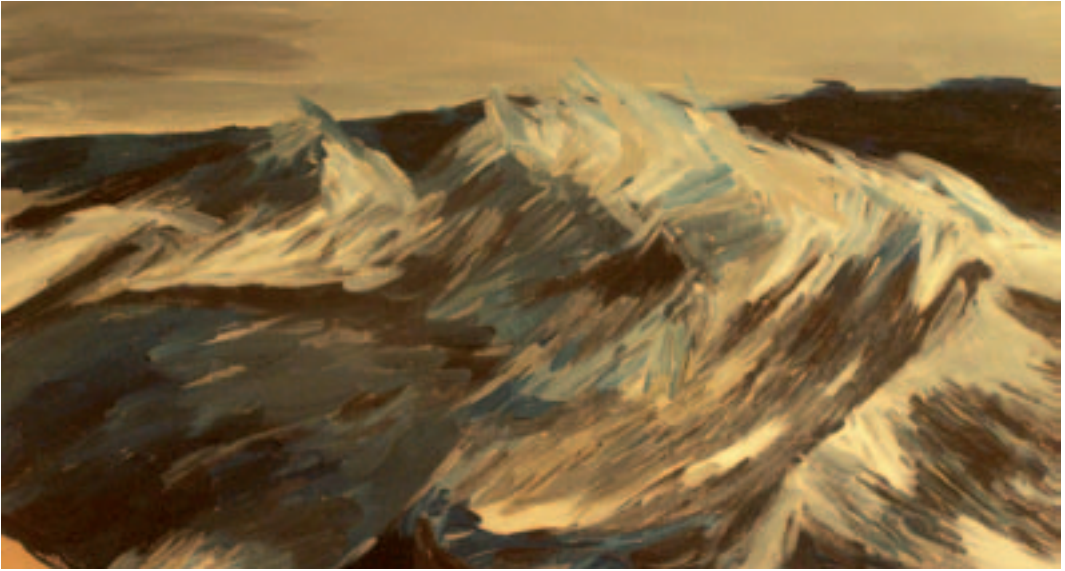
- *Elementi biologici*: Composizione, abbondanza e biomassa del fitoplancton. Segna-



ter body extends from the Po delta to Ravenna and the second from Ravenna to Cattolica.

The Emilia-Romagna coastal strip is monitored operationally since it has been declared a sensitive area to eutrophication, following Article 77 of Legislative Decree 152/06, and the identified water bodies have been assigned to the category of those at risk. This means an intensification in the frequency of the monitoring and the analysis frequency, with special reference to biological components (phytoplankton and macrozoobenthos) which are basic elements for classification of the ecological state. Operational monitoring has the following aims:

- Establish the state of water bodies identified as being 'at risk' and evaluate the risk of not satisfying the environmental objectives of Article 77 of the aforesaid legislative decree.
- Evaluating any change in the state of the water bodies as determined by the monitoring program.
- Classify the water bodies.



lazione di fioriture di specie potenzialmente tossiche o nocive. Composizione e abbondanza dei macroinvertebrati bentonici e segnalazione dei taxa sensibili.

- *Elementi idromorfologici a sostegno degli elementi biologici:* Profondità, morfologia del fondale, caratteristiche del sedimento (granulometria), regime di marea, regime correntometrico.
- *Elementi chimici e fisico-chimici a sostegno degli elementi biologici:* Trasparenza, Temperatura, Salinità, Ossigeno disciolto, Nutrienti, Clorofilla “a”.
- *Inquinanti specifici:* Inquinamento da altre sostanze di cui è stato accertato lo scarico nel corpo idrico in quantità significative.

Nella selezione delle stazioni di monitoraggio per i corpi soggetti a rischio di pressioni significative da parte di una fonte diffusa e/o puntuale, è stato previsto di posizionare i punti di monitoraggio sufficienti a valutare ampiezza e impatto delle pressioni.

In relazione alle frequenze di campionamento tenuto conto che l’Autorità competente al controllo per ulteriori situazioni locali specifiche può prevedere, per ciascuno degli

The qualitative elements for the classification of the ecological state of coastal waters may be distinguished as follows:

- *Biological elements: Phytoplankton composition, abundance and biomass. Determination of potentially toxic or harmful bloom species. Composition and abundance of benthic macroinvertebrates and determination of vulnerable taxa.*
- *Hydromorphological elements supporting biological elements: Depth, seabed morphology, sediment characteristics (granulometry), tidal and general current intensity.*
- *Chemical and physiochemical elements supporting biological elements: Transparency, temperature, salinity, oxygen saturation, nutrients, chlorophyll a.*
- *Specific pollutants: Pollution from other substances not mentioned above.*

Selecting monitoring stations for water bodies at risk of significant pressure from diffuse or non-diffuse land pollution sources, the principle has been to have enough stations in order to evaluate the extent and impact of these pressures.

In order to have sufficient data for environmental impact analysis, the operational monitoring

elementi di qualità da monitorare frequenze più ravvicinate, al fine di ottenere una precisione sufficiente nella validazione delle valutazioni dell'analisi degli impatti, nella progettazione del programma di monitoraggio operativo delle acque costiere marine, considerato anche che la costa Emiliano-Romagnola è definita Area Sensibile, le frequenze di campionamento/misure sono state intensificate rispetto alle frequenze minime previste dal D. Lgs 56/09. L'analisi delle serie temporali del fitoplancton, della biomassa microalgale, degli elementi chimici e più in generale dei fattori trofici lungo la costa dell'Emilia-Romagna, che risulta dai dati acquisiti in trent'anni di monitoraggi a frequenza settimanale, mostrano in linea di massima, una scala temporale di variazione ben più accentuata rispetto alla frequenza minima di misure preventivata dalla normativa. Valutato che nelle acque costiere dell'Emilia-Romagna gli elementi di qualità biologica sono rappresentati solo dal fitoplancton e dai macroinvertebrati e che tali elementi sono prioritari e fondamentali nel sistema di classificazione dello stato ecologico è stato deciso di pianificare un protocollo di monito-

plan for marine coastal waters has intensified the sampling frequency with respect to the minimum frequency provided for by Legislative Decree 56/09. The analysis of time series resulting from thirty years' worth of data acquired by weekly monitoring along the Emilia-Romagna coast for phytoplankton, microalgal biomass, chemical elements and trophic factors show as a continuous of time scales that require a sampling frequency that is far more frequent than the minimum measurement frequency foreseen by the regulations.

As the only elements of biological quality in Emilia-Romagna coastal waters are phytoplankton and macroinvertebrates, which are a fundamental priority for classifying the ecological state, it was decided to plan a monitoring protocol with phytoplankton sampling/ measurement taking place every two weeks (24 times a year for every station); this is also extended to physiochemical elements (temperature, salinity, oxygen, nutrients).

There are 14 network stations (Table 1) for qualitative and quantitative phytoplankton monitoring placed along 7 transects perpendicular to the coast (Goro, Porto Garibaldi, Casalborsetti, Lido Adriano, Cesenatico, Rimini

COD. STAZ.	Longitude ED50	Latitude ED50	DIS. COSTA (Km)	PROF. FOND. (m)	LOCALITA'	Comune	Provincia	Longitude WGS84	Latitude WGS84
2	12.25952	44.76374	0.5	3.9	L. Volano	Goro	Ferrara	1215.508	4445.799
4	12.25799	44.66238	0.5	3.7	P. Garibaldi	Comacchio	Ferrara	1215.416	4439.687
8	12.29194	44.55430	0.5	5.2	Casalborsetti	Ravenna	Ravenna	1217.454	4433.202
9	12.32654	44.40223	0.5	5.4	Lido Adriano	Ravenna	Ravenna	1219.470	4424.040
14	12.40053	44.21298	0.5	3.1	Cesenatico	Cesenatico	Forlì-Cesena	1224.090	4412.690
17	12.58524	44.07859	0.5	1.3	Rimini	Rimini	Rimini	1235.053	4404.656
19	12.74209	43.97254	0.5	1.1	Cattolica	Cattolica	Rimini	1244.464	4358.296
302	12.29109	44.76242	3.0	6.7	L. Volano	Goro	Ferrara	1217.402	4445.690
304	12.28906	44.66249	3.0	6.1	P. Garibaldi	Comacchio	Ferrara	1217.280	4439.694
306	12.32318	44.55765	3.0	10.2	Casalborsetti	Ravenna	Ravenna	1219.328	4433.403
309	12.35740	44.40610	3.0	9.4	Lido Adriano	Ravenna	Ravenna	1221.381	4424.310
314	12.43171	44.22201	3.0	8.3	Cesenatico	Cesenatico	Forlì-Cesena	1225.840	4413.294
317	12.60094	44.09794	3.0	1.1	Rimini	Rimini	Rimini	1235.988	4405.820
319	12.76077	43.96039	3.0	1.0	Cattolica	Cattolica	Rimini	1245.584	4359.367

Tabella 1 - Codici delle stazioni e coordinate geografiche della rete di monitoraggio del fitoplancton e degli elementi chimico-fisici

Table 1 - Station codes and geographical co-ordinates for the phytoplankton and physiochemical monitoring network

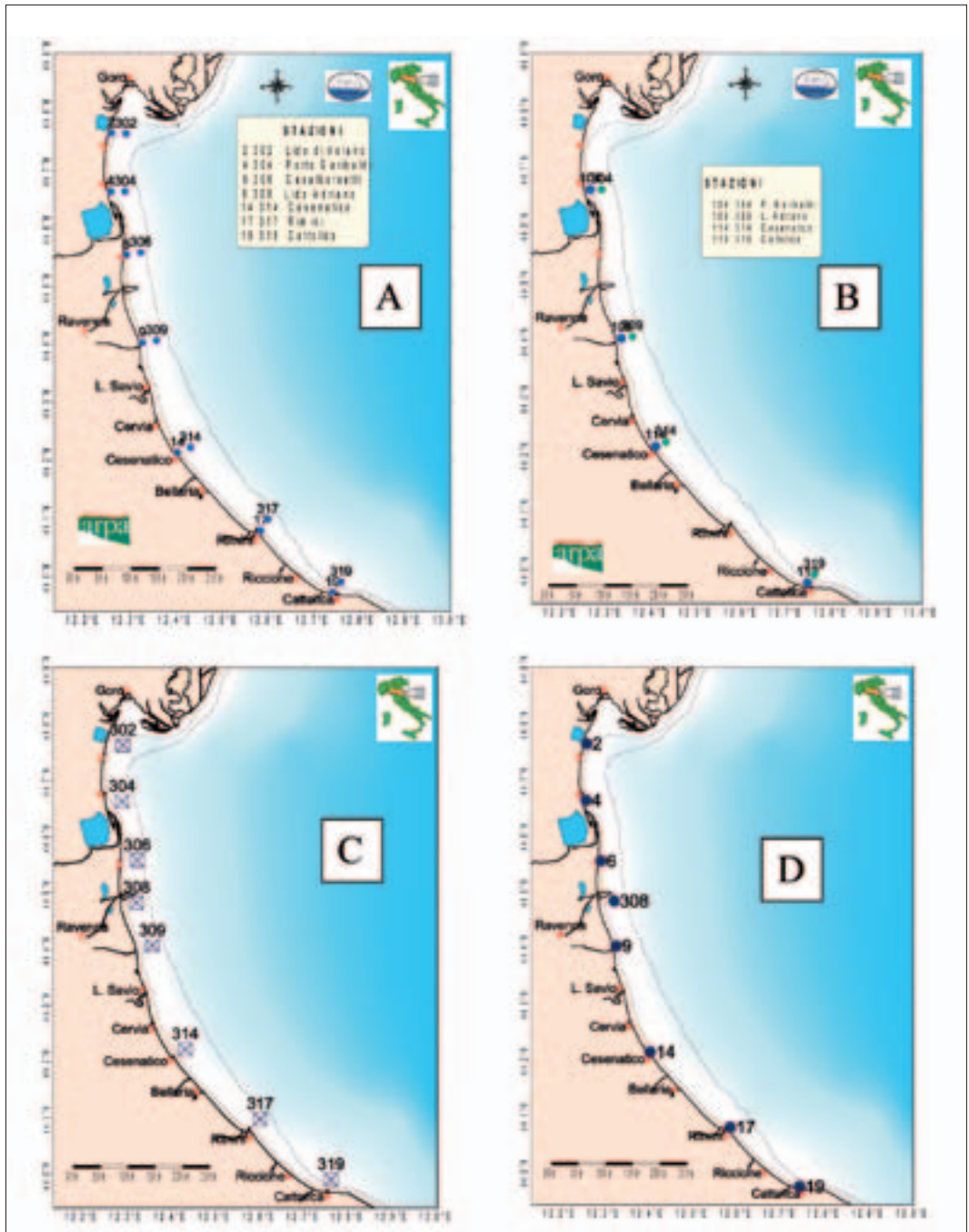


Figura 4 - Rete e codifica delle stazioni di monitoraggio fitoplancton e degli elementi chimico-fisici (A), del macrozoobenthos (B), dei sedimenti (C), e degli inquinanti chimici nell'acqua.

Figure 4 – Network and coding of monitoring stations for (A) phytoplankton and physicochemical elements, (B) macrozoobenthos, (C) sediments and (D) chemical pollutants in the water.

raggio operativo che prevede una frequenza di campionamento/misure del fitoplancton quindicinale (24 volte per anno per stazione), esteso anche agli elementi chimico-fisici (temperatura, salinità, ossigeno, nutrienti).

Le stazioni della rete di monitoraggio per la determinazione quali-quantitativa del fitoplancton sono 14 dislocate su 7 transetti perpendicolari alla costa. (Goro, P. Garibaldi, Casalboretto, Lido Adriano, Cesenatico, Rimini e Cattolica a 0.5 e 3 Km dalla costa (vedi Figura 4). Le caratteristiche di ogni stazione sono indicate nella Tabella I.

La nuova rete di monitoraggio attuata a partire da gennaio 2009 oltre a rispondere al Decreto del 14 aprile 2009 N 56 recante i criteri tecnici del monitoraggio, consentirà il raggiungimento di un livello conoscitivo adeguato e propedeutico alla definizione dei piani di risanamento e di tutela. Nello stesso tempo quando saranno definite le condizioni ed i siti di riferimento nonché il sistema di classificazione dello stato ecologico, permetterà di rappresentare adeguatamente zone scarsamente sottoposte a fonti di emissione e aree fortemente interessate da pressioni antropiche assegnando, a ciascun corpo idrico individuato dai transetti, lo stato ambientale delle acque marine ai fini della classificazione

and Cattolica) at 0.5 and 3 Km from the shore (see Figure 4).

The new monitoring network, implemented since January 2009, not only is in line with the requirements of the Decree of 14 April 2009 regarding technical criteria for monitoring, but will also allow a sufficient level of knowledge to start planning clean-up programs and protection actions for the marine coastal waters. Furthermore, it will allow to discriminate between heavily influenced areas by anthropic pressures and areas experiencing very little pollution, and it will allow to define environmental quality indices relative to the coastal water sampled by the transects in terms of their ecological status.

La nuova rete ondometrica nazionale:
una infrastruttura di osservazione
in tempo reale a servizio
dell'oceanografia operativa

*The New National Wave-Measuring Network:
A Real-Time Observation Infrastructure for
Operational Oceanography*

M. Bencivenga, G. Nardone
ISPRA - Servizio Mareografico

L'ISPRA, per i propri obiettivi istituzionali, ha di recente completato l'ormeggio nei mari circostanti l'Italia di boe meteo-ondametriche della nuova rete ondometrica nazionale RON, predisposta per la conoscenza delle caratteristiche fisiche dei mari italiani e per il supporto alla gestione delle emergenze ambientali.

La RON è stata attivata nel luglio 1989 dal Servizio Mareografico Nazionale (all'epoca organizzato nell'ambito dei Servizi Tecnici del Ministero dei Lavori Pubblici, e successivamente nel Dipartimento per i Servizi Tecnici Nazionali della Presidenza del Consiglio dei Ministri, poi nell'APAT ed oggi nell'ISPRA). Attualmente risulta costituita da quindici siti fissi di misura posizionati al largo delle coste italiane ad una distanza contenuta generalmente entro le 12 miglia nautiche e su fondali dell'ordine dei 100 metri, che trasmettono i dati acquisiti in tempo reale. Tutte le boe RON sono del tipo ondometrico direzionale (modello Watchkeeper): sono

As part of its mission, ISPRA has recently completed mooring wave-measuring weather buoys in the seas surrounding Italy for the new RON national wave-measuring network, set up to increase knowledge of the physical conditions of the Italian seas and support the management of environmental emergencies.

RON was activated in July 1989 by the National Marine Service (at that time organized under the aegis of the Technical Services Department of the Ministry of Public Works, later under that of the National Technical services Department of the Prime Minister's Office, then APAT and finally, today, ISPRA). It is currently made up of fifteen fixed measurement sites off the Italian coast, generally sited within 12 nautical miles and on the sea bed at around 100 metres; these transmit the data acquired in real time.

All RON buoys are wave-measuring and directional (of the Watchkeeper model), and are produced by the Canadian company Axys Ltd;



Fig.1 Stazioni della Rete Ondometrica Nazionale
 Fig.1 National Wave-Measuring Stations

prodotte dalla società canadese Axys Ltd. ed equipaggiate con riflettore radar con RCS di 10 m^2 , con fanale marino per segnalazione notturna, posizionato a 2.5 m dalla linea di galleggiamento, con portata di 3 miglia nautiche e sequenza di lampeggio configurata secondo le direttive standard ODAS/IALA.

Ogni boa realizzata in polietilene rotazionale internamente rinforzata con tondino d'acciaio, ha un peso di circa 540 Kg (comprensivo delle batterie), un diametro di 1.6 m ed altezza all'anemometro di 3.3 m. Il riempimento in EPS polistirene espanso sinterizzato (densità circa 16 Kg/m^3) al fine di mantenere la galleggiabilità in caso di collisione con apertura di vie d'acqua.

Il sensore ondometrico direzionale allo stato solido è il Triaxys. È poi presente una stazione

they are equipped with corner reflectors with an RCS of 10 m^2 and a beacon for night signalling positioned at 2.5 metres from its line of floatation with a range of 3 nautical miles and a sequence of flashes programmed in accordance with standard ODAS/IALA directives.

Each buoy is made of rotational polyethylene with internal steel bars for reinforcement. They weigh approximately 540 Kg (including the battery), are 1.6 m in diameter and the height to the anemometer is 3.3 m. The buoys are filled with expanded polystyrene (EPS) with a density of approximately 16 Kg/m^3 in order to maintain floatation even in the case of a collision causing water to be taken on.

The solid-state directional wave-measuring sensor used is Triaxys. There is also a full meteorological station on each buoy, as well as a

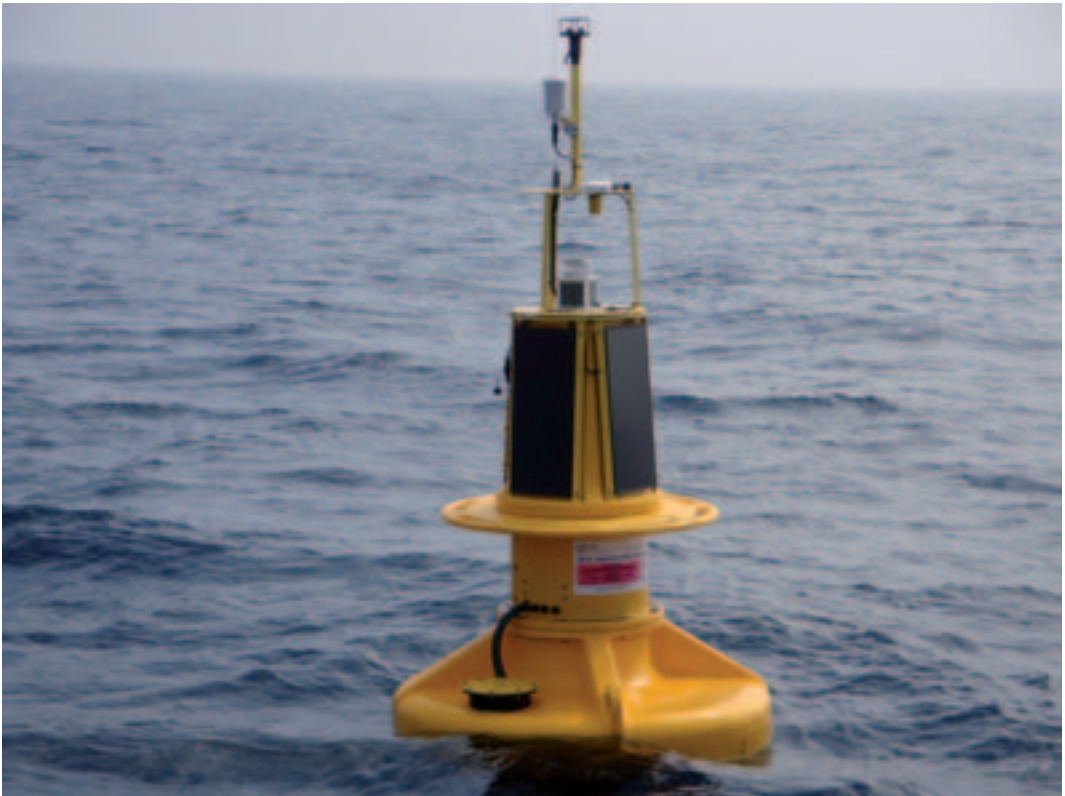


Fig.2 Boa RON Watchkeeper
Fig.2 RON Watchkeeper buoy

meteorologica completa, un termometro per la misura della temperatura superficiale delle acque ed in alcuni siti un CT di superficie.

Le boe ondamiche forniscono in tempo reale parametri sintetici descrittivi dello stato del mare: altezza d'onda significativa spettrale in metri, periodo di picco dell'onda in secondi, periodo medio in secondi, direzione media di provenienza delle onde in gradi. Inoltre, vengono registrati tutti i parametri spettrali d'interesse tecnico-scientifico (densità di energia, direzione media di provenienza, dispersione direzionale, asimmetria, curtosi) ed i parametri meteorologici.

Le boe trasmettono in tempo reale (ogni 30 minuti) i dati registrati a corrispondenti centri locali di ricezione sulla terraferma tramite un ponte radio VHF. La soluzione di rete per l'interconnessione dei centri locali di ricezione verso il Centro di controllo in ISPRA prevede la duplicazione delle vie di comunicazione e la diversificazione di tecnologie di rete, per aumentare l'affidabilità della raccolta dei dati registrati dalle boe. La comunicazione principale è realizzata mediante una Rete Privata Virtuale (VPN) in tecnologia IP MPLS o IPSec, che utilizza le infrastrutture di rete a larga banda di Telecom Italia (ADSL / BGAN), mentre la via di comunicazione secondaria è realizzata mediante accessi ISDN BRA, precedentemente utilizzati per la RON.

Un' interessante novità rispetto all'architettura precedente, già sperimentata con soddisfazione, è rappresentata dai comandi di riconfigurazione che dai centri locali di ricezione (e/o dal Centro di controllo) possono essere impartiti alle boe via VHF ed Inmarsat D+.

Considerate le difficoltà connesse con il mantenimento della rete osservativa in mare, l'ISPRA ha privilegiato le tematiche legate ai processi climatici e previsionali che rappresentano il principale campo applicativo della RON. Tale scelta è da porsi anche in relazione alla più che ventennale esperien-

thermometer for measuring sea-surface temperature and, in some sites, a surface CT.

The wave-measuring buoys supply real-time synthetic parameters describing sea state: significant wave spectrum height in metres; wave crest period in seconds; average direction of wave provenance in degrees. Furthermore, all spectrum parameters of technical and scientific interest are recorded (energy density, average direction of provenance, directional dispersion, asymmetry, kurtosis), as are meteorological parameters.

The buoys transmit data recorded to corresponding land-based local reception centres through a VHF radio bridge in real time (every 30 minutes). The network solution for connecting local reception centres with the ISPRA command centre allows for the duplication of communication paths and the diversification of network technologies in order to increase the reliability of the collection of data recorded by the buoys. Communication is chiefly realized through a Virtual Private Network (VPN) using IP MPLS or IPSec technology and Telecom Italia's broadband network (ADSL/BGAN), whilst secondary communication is realized through ISDN BRA access, which was previously used for RON.

An interesting innovation, which has already satisfied its users, with respect to the set-up used previously is the reconfiguration command that can be sent from local reception centres (and/or the command centre) to the buoys using VHF Inmarsat D+.

Given the difficulties connected with sea-based observation networks, ISPRA has decided to favour themes linked to climate and forecasting processes, which represent RON's main application field. This choice was also made bearing in mind ISPRA's over twenty years of experience in tide gauges. However, the presence in the seas surrounding Italy of a network of observational stations allowing the acquisition of real-time data could constitute an important

za acquisita nel campo dal Servizio Mareografico. Tuttavia, la presenza nei mari Italiani di una rete di stazioni di osservazione che consentono l'acquisizione dei dati in tempo reale può costituire un nucleo di riferimento forte per programmi di ricerca dedicati all'ambiente marino, anche integrando discipline complementari alla fisica oceanografica ed atmosferica. Le stesse boe, infatti, possono costituire utili supporti per l'installazione di strumentazione supplementare legata a specifiche ricerche. In tal senso, in coerenza con le politiche di sostenibilità ambientale perseguite, auspicando che le boe della RON possano essere al più presto connesse con le altre discipline della ricerca oceanografica, ISPRA ha avviato la sperimentazione di nuovi sensori con l'obiettivo di fornire utili indicazioni anche per gli aspetti chimici e biologici.

Altro obiettivo innovativo della nuova rete è quello di rispondere all'esigenza di calibrare e validare permanentemente i dati da satellite, utilizzati da una vasta comunità di Enti operativi e di ricerca, che ne fanno un uso crescente nell'ambito di diagnosi di modelli numerici e nella fase di inizializzazione degli stessi modelli (data assimilation). La raccolta di lunghe serie temporali di dati meteo-marini in sito ha da sempre costituito un'esigenza dei

point of reference for research programmes studying the marine environment, including the integration of disciplines complementary to oceanographic and atmospheric physics. The buoys themselves, in fact, could constitute an important support structure for the installation of supplementary instrumentation connected with specific research. It is for this reason, as well as to conform to policies of environmental sustainability, that ISPRA has begun experimentation with new sensors for supplying chemical and biological information in the hope that RON can be linked up with other disciplines in oceanographic research as soon as possible.

Another innovative objective of the new network is to meet the need for permanently calibrating and validating satellite data, which are used by a vast number of operational and research bodies that increasingly use them for diagnosing numerical models, as well as during their initialization phase (data assimilation). The collection of long in-situ meteorological and marine time series has always been a requirement of meteorologists and oceanographers. Notwithstanding the development of satellite observation and numerical modelling, buoy observations are still indispensable for validating data from signals extracted at a distance, as well as for the calibration and



Fig.3 La scatola nera della boa RON Watchkeeper
Fig.3 The RON Watchkeeper buoy black box

meteorologi e degli oceanografi. Nonostante lo sviluppo delle osservazioni satellitari e dei modelli numerici, le osservazioni da boe sono tuttora indispensabili per la validazione dei dati estratti dal segnale telerilevato e per la taratura e la validazione dei risultati delle simulazioni numeriche. Integrate con le altre metodologie, esse costituiscono un riferimento essenziale per gli studi climatici e per quelli previsionali legati sia all'ambiente atmosferico che a quello marino. Ciò risulta ancor più vero nel Mediterraneo, in cui, a fronte di una sostanziale maturità dello stato della ricerca, l'acquisizione diretta dei dati in mare aperto, oltre che fornire informazioni dirette per lo studio dei cambiamenti climatici, può portare a progressi sostanziali nella quantificazione delle connessioni esistenti nel funzionamento dell'intero bacino e contribuire ad un sensibile miglioramento delle previsioni meteorologiche a breve e medio termine.

Uno sforzo notevole è dedicato dall'ISPRA alla diffusione del dato in tempo reale che viene effettuata, tramite il Servizio Meteorologico dell'Aeronautica Militare, verso la rete mondiale di trasmissione dati meteorologici GTS (Global Telecommunication System), ed al pubblico indistinto attraverso il sito web dedicato ([http://www.isprambiente.it/site/it-IT/Servizi per l'Ambiente/Rete Ondametrica Nazionale/](http://www.isprambiente.it/site/it-IT/Servizi%20per%20l'Ambiente/Rete%20Ondametrica%20Nazionale/)), attualmente tramite il mirror <http://www.telemisura.it/>). Un sottoinsieme di dati particolarmente indirizzato agli operatori marittimi è anche pubblicato alla pagina 719 del Televideo RAI.

In questi anni la RON ha mantenuto un altissimo standard di qualità per quanto riguarda l'efficienza degli strumenti, adeguandosi alle nuove esigenze e alle prospettive di sviluppo che le rapide innovazioni tecnologiche nel campo dell'informatica e della comunicazione hanno determinato.

La gestione della RON da parte del Servizio Mareografico ha consentito di progettare e

validation of numerical simulations. Integrated with other methodologies, buoy observations are an essential point of reference for climate and forecasting studies, whether atmospheric or marine. This is even truer for the Mediterranean, where direct data acquisition at sea, given the substantial maturity in the state of the art in research, not only supplies direct information for the study of climate change but can also lead to a substantial progress in the quantification of connections existing between the workings of the entire basin and contribute to an appreciable improvement in short- and mid-term weather forecasts.

ISPRA also dedicates itself wholeheartedly to real-time diffusion of its data, which takes place through the Meteorological Service of the Italian Air Force to the worldwide GTS (Global Telecommunication System) meteorological data transmission network, as well as to the general public through a dedicated web site ([http://www.isprambiente.it/site/it-IT/Servizi per l'Ambiente/Rete Ondametrica Nazionale/](http://www.isprambiente.it/site/it-IT/Servizi%20per%20l'Ambiente/Rete%20Ondametrica%20Nazionale/)), currently using the mirror <http://www.telemisura.it/>). A subset of data of particular relevance to sailors and seamen is also published on page 719 of Televideo RAI.

Over the years, RON has maintained an extremely high standard of quality insofar as regards instrument efficiency, adapting to new requirements and development prospective created by rapid technological innovations in computing and communication.

The management of RON by the Marine Service has allowed the planning and realization of a real-time data elaboration system that is now also distance integrated with measurements obtained from a new network of tide gauges (the National Marine Network, RMN). The project expects to integrate the two databases, hitherto separate, using geostatic models with directional analysis of wave motion and correlation models between wave and wind measurements. This will allow a comparison between buoy data

realizzare un sistema di elaborazione dei dati in tempo reale che è oggi integrato anche dalle misure ottenute da una nuova rete di mareografi in telemisura (la Rete Mareografica Nazionale RMN). Il progetto si prefigge di integrare attraverso modelli geostatistici i due database, fino ad oggi separati, attraverso l'analisi direzionale dei moti ondosi e modelli di correlazione tra eventi ondometrici ed anemometrici. Questo consentirà il confronto tra i dati provenienti da boe e da stazioni meteo costiere della RMN sia nello spazio che nel tempo, la valutazione dei parametri statistici di maggiore rilevanza, la generazione di modelli autoregressivi per la valutazione dei dati mancanti e la previsione dei dati futuri. La prima fase del progetto, attualmente in corso, ha dimostrato una netta stagionalità dei dati con presenza di componenti irregolari di breve periodo, nonché una forte correlazione tra i dati della RON e della RMN. L'analisi spaziale invece dimostra una relazione stretta tra dati relativi allo stesso sottobacino (Tirreno, Ionio, Adriatico). Considerato nel complesso, tale sistema è oggi il più completo strumento per l'analisi in tempo reale dello stato del mare in Italia, e costituisce un punto di riferimento nell'intero bacino del Mediterraneo, comprendendo il monitoraggio continuo dei moti superficiali marini per le diverse fenomenologie possibili: dalle maree alle mareggiate ed includendo inoltre informazioni meteorologiche in corrispondenza della costa.

È fondamentale che GNOO sia perfettamente consapevole del valore assunto dalla rete di boe meteo-ondametriche dell'ISPRA per gli sviluppi degli studi dedicati all'intero bacino del Mediterraneo, in quanto la rete fornisce uno strumento a disposizione della comunità scientifica nazionale ed internazionale per la verifica in situ (*ground truth network*), per la taratura e la validazione dei risultati delle simulazioni numeriche dei

and RMN coastal weather station data in both space and time, as well as the evaluation of the most relevant statistical parameters, the generation of autoregressive models for evaluating missing data and the prediction of future data. The first phase of the project, currently underway, has demonstrated a clear correlation of the data with the seasons, with the presence of irregular components of brief duration; there is also a strong correlation between RON and RMN data. Spatial analysis, on the other hand, shows a close relationship between data relating to the same sub-basins (Tyrrhenian, Ionian, Adriatic). Considered overall, this system is today the most complete real-time analysis tool for Italian sea state, and is a point of reference for the whole Mediterranean basin, including as it does continuous monitoring of sea surface movement for all the various possible types of phenomenon from tides to storms; it also includes meteorological information from along the coast.

It is vital that GNOO be fully aware of the value of ISPRA's network of weather- and wave-measuring buoys for developing basin-wide Mediterranean studies insofar as it constitutes a ground truth network for the calibration and validation of results from numerical simulations of meteorological and marine model as well as simultaneously offering the possibility of hosting general –interest scientific instruments.

In this context it should be stressed that in the course of its duties ISPRA has set up cooperation initiatives with other bodies in related scientific and technical fields with the aim of being recognized by the scientific community in Italy as a national focal point for real-time wave measurements.

Finally, ISPRA hopes that other observation structures present along the coasts, currently fragmented and with low levels of integration, can be inserted into a single network, thereby unifying measurement methods and instrumen-

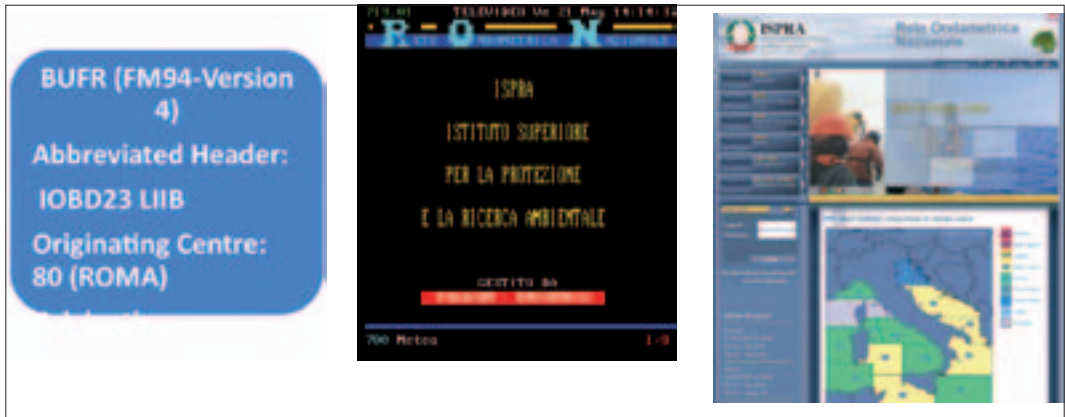


Fig.4 I servizi di diffusione del dato in tempo reale della RON

Fig.4 RON real-time data diffusion services

modelli meteo-marini e, allo stesso tempo, offre la disponibilità ad alloggiare strumentazione scientifica di interesse generale.

In questo consesso preme sottolineare che l'ISPRA, nel perseguire i propri compiti istituzionali, ha avviato iniziative di cooperazione con altri organismi tecnico-scientifici operanti in campi contigui, con l'obiettivo di essere riconosciuto dalla comunità scientifica nazionale quale *focal point* nazionale per le osservazioni ondametrische in tempo reale. ISPRA auspica infine che le altre strutture osservative esistenti nelle aree costiere, al momento molto frammentate e con scarso livello di integrazione, possano essere inserite in un unico network, unificando i metodi di misura e le strumentazioni. ISPRA si propone di coordinare le attività in questo settore in modo che l'Italia, anche in relazione alla posizione strategica che riveste nell'ambito dei paesi dell'area Mediterranea, sia presente a livello internazionale in maniera univoca e per finalizzare la ricerca stimolando lo sviluppo nel settore dell'Industria nazionale.

Con questo approccio, l'ISPRA persegue un ulteriore ed importante compito istituzionale consistente nel promuovere e indirizzare le attività di studio e di ricerca in campo ambientale.

ISPRA puts itself forward to co-ordinate activities in this sector so that Italy is unmistakably present at international levels (in view of its strategic position vis-à-vis other Mediterranean countries, amongst other things); this should also give a direction to research, stimulating its development in various sectors of Italian industry.

With this approach ISPRA is carrying out an important duty that consists in promoting and giving a direction to study and research activities regarding the environment.

L'impiego delle reti di monitoraggio in tempo reale nei sistemi di previsione dei fenomeni di storm surge lungo i litorali e nelle lagune nord adriatiche

The Use of Real-Time Monitoring Networks in Storm-Surge Phenomenon Forecasting Systems for Northern Adriatic Coasts and Lagoons

M. Ferla, M. Cordella

Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (ISPRA), Dipartimento Tutela Acque Interne e Marine, Servizio Laguna di Venezia

A. Defina

Università di Padova, Dipartimento IMAGE

B. Matticchio

IPROS Ingegneria Ambientale S.r.L., Padova

Introduzione

Le aree di pianura a ridosso del litorale Nord-Adriatico compreso tra la foce dell'Isonzo e le spiagge della Romagna rappresentano il distretto del territorio italiano maggiormente esposto al rischio di inondazione. Questo è causato dalla concomitanza di vari fattori quali la presenza dei tronchi terminali dei grandi fiumi del nord-est (Po, Adige, Piave, Livenza, Tagliamento, Isonzo), la presenza di diffusi fenomeni di subsidenza naturale ed antropica assai differenziati nell'arco di area costiera lunga circa 300 km tra le foci del Po e dell'Isonzo, la ricorrenza dei fenomeni di storm surge tipici dell'Alto Adriatico, quasi sempre accompagnati da violente mareggiate (Bondesan et al., 1995). L'entità degli innalzamenti del livello del mare nel Nord-Adriatico, in conseguenza dei citati fenomeni di storm surge, dipende dalla severità dei forzanti meteorologici quali la rapidità con cui si abbassa la pressione atmosferica nell'Alto Adriatico, l'evoluzione del gradiente barico tra il nord e il sud dello stesso Adriatico, l'intensità e la durata del vento di scirocco.

L'analisi e la modellazione di tali fenomeni viene di norma condotta decomponendo la marea reale in due contributi, uno di natura astronomica (tide) ed uno di natura meteorologica (residual). Al cessare dell'effetto delle forzanti, la marea meteorologica lascia il posto ad una componente periodica smorzata associabile al fenomeno di sessa che oscilla tra lo stretto di Otranto e il Golfo di Venezia con periodicità di circa 22 ore e con ampiezza che si riduce progressivamente fino ad annullarsi nel giro di pochi giorni per effetto delle azioni dissipative.

In termini di previsione, l'individuazione del contributo astronomico non presenta grossi problemi perché le cause che lo determinano si producono con periodici-

Introduction

The low-lying areas near the Northern Adriatic coast between the mouth of the Soča/Isonzo and the beaches of Romagna are the part of Italy most at risk from flooding. This is caused by a combination of various factors such as the presence of the lower courses of the large rivers of the north-east of Italy (Po, Adige, Piave, Livenza, Tagliamento, Soča/Isonzo); a general presence of various phenomena of natural and anthropic subsidence along the approximately 300 km of coastline between the mouths of the Po and Soča/Isonzo; and the recurrence of storm-surge phenomena typical of the Upper Adriatic, which are almost always accompanied by violent sea storms (Bondesan et al., 1995). The degree of rise in the sea level of the Northern Adriatic due to the storm-surge phenomena mentioned above depends on the severity of meteorological forcing such as the speed at which atmospheric pressure in the Upper Adriatic lowers, the evolution of the baric gradient from the north to the south of the Adriatic, and how long the sirocco lasts and how strong it is.

Analysis and modelling of these phenomena is normally carried out by breaking the real tide down into two components, one astronomical (tide) and meteorological (residual). When forcing effects cease, the residual tide gives way to a weak periodical component related to the seiche oscillating between the Strait of Otranto and the Gulf of Venice with a periodicity of approximately 22 hours and of a dimension that progressively diminishes until it vanishes after a few days due to dissipation.

In forecasting terms, identification of the astronomical component presents no real problems, as its causes have a constant periodicity. Methodologies for identifying the various components of a site's astronomical tide taking as one's departure point a series of observations from the area of interest have been extensively tested.

tà costante. Sono largamente sperimentate le metodologie per individuare le varie componenti della marea astronomica del luogo a partire dalle serie di osservazioni nel paraggio d'interesse. Nel caso dell'Alto Adriatico l'individuazione del contributo astronomico può ritenersi ormai sufficientemente preciso e descritto dalle sole prime sette componenti M2, S2, N2, K2, K1, O1, P1 (Tomasin et al., 1979).

Ben più complesso è invece il problema di prevedere il contributo meteorologico perché assai mutevole sono le cause che lo determinano e decisamente complessa è la dinamica del sistema. Per assistere gli organi istituzionalmente preposti a fronteggiare gli effetti indesiderati associati a tali fenomeni (allagamenti della città di Venezia e dei centri abitati presenti nelle lagune, accessibilità dei porti, rischio di esondazione dovuto al rigurgito alle foci fluviali, navigazione nei rii di Venezia, ecc.), negli ultimi trent'anni sono stati sperimentati diversi sistemi di previsione del contributo meteorologico basati essenzialmente su due distinte metodologie. Nella prima metodologia, definita "approccio statistico", il residual ad un istante $t+\tau$, successivo all'istante t della previsione, viene calcolato attraverso algoritmi di calcolo che non descrivono esplicitamente il processo fisico che genera il fenomeno (Canestrelli et al., 1986). ma si limita a ricercare la più soddisfacente forma di correlazione. Per esempio, attraverso una semplice regressione lineare multipla, tra il residual stesso ed alcuni fattori, cosiddetti predittivi. Nel caso del Nord Adriatico, tali fattori possono essere costituiti:

- dalla serie oraria dei valori dello stesso residual osservato nella località di interesse in un congruo intervallo di tempo precedente l'istante della previsione,
- dai valori orari dei parametri meteorologici, quali la pressione e il vento, osservati

In the case of the Upper Adriatic, we may now consider the identification of the astronomical component to be sufficiently precise, and described by just the first seven components M2, S2, N2, K2, K1, O1, P1 (Tomasin et al., 1979). The problem of forecasting the meteorological component, on the other hand, is far more complex, as its causes are changeable and its system dynamics decidedly complex. In order to help the institutional bodies that have to deal with the undesired effects associated with these phenomena (flooding of Venice and other urban centres in the lagoon, accessibility of harbours, the risk of rivers bursting their banks due to overflow at their mouths, navigability of the canals in Venice etc.), various forecasting systems for the meteorological component have been tried out over the last thirty years. These have essentially been based on two distinct methodologies. In the first methodology, called the 'statistical approach', the residual at a time $t+\tau$, following the time t of the forecast, is calculated using algorithms that do not explicitly describe the physical process generating the phenomenon (Canestrelli et al., 1986), but which are instead limited to looking for the most satisfactory form of correlation – for example, using a simple multiple linear regression between the residual and other factors considered predictive. In the case of the Northern Adriatic, these factors may be comprised of:

- *Hourly value series of the residual observed in the place of interest in a suitable time period before the moment of forecasting.*
- *Hourly values of meteorological parameters such as pressure and wind observed in the preceding 24-48 hours in suitably chosen locations.*
- *Exact atmospheric pressure and wind values deducible in the same locations from meteorological forecasting fields elaborated daily by global-scale meteorological models such as those of the European Centre for Medium Range Weather Forecast (ECMWF) in Reading (UK).*

nelle precedenti 24-48 ore in alcune località opportunamente selezionate,

- dai valori di pressione atmosferica e di vento puntuali deducibili presso le medesime località dai campi di previsione meteo giornalmente elaborati dai modelli meteorologici a scala globale come quelli dell'European Centre for Medium Range Weather Forecast (ECMWF) di Reading (UK).

La seconda metodologia è quella dell'“approccio deterministico” che si basa sulla soluzione numerica delle equazioni differenziali che descrivono le oscillazioni della superficie di tutto il Mediterraneo sotto l'effetto delle forzanti meteorologiche rappresentate dai campi di pressione e di vento disponibili attraverso l'ECMWF. In questo caso, la metodologia di calcolo è assai più complessa sia per gli aspetti concettuali che per quelli operativi in relazione alla mole di dati che occorre elaborare (Bargagli et al., 2002; Bajo et al., 2007). L'affidabilità modello viene quindi ottimizzata attraverso il confronto tra i risultati della previsione relativi alla località di interesse e il residual dedotto tramite le osservazioni mareografiche disponibili nel paraggio.

Il modello ISPRA_STAT2008

Dal 2008 l'ISPRA – Servizio Laguna di Venezia ha messo a punto un sistema di previsione del residual basato sull'approccio statistico (ISPRA_STAT2008) che mira a sfruttare le potenzialità del sistema italiano di rilevamento in tempo reale dei parametri meteo marini rappresentato dalla Rete Mareografica della Laguna di Venezia e dell'Alto Adriatico (RMLV) e dalla Rete Mareografica Nazionale (RMN). La procedura previsionale è stata implementata per 6 località del

The second methodology is that of the ‘deterministic approach’, which is based on the numerical solution of differential equations describing the oscillation of the surface of the entire Mediterranean under the effect of meteorological forcings represented by pressure and wind fields available through ECMWF. In this case, the calculation method is rather more complex in terms of both its conceptual aspects and its operative ones due to the mass of data that needs to be elaborated (Bargagli et al., 2002; Bajo et al., 2007). Model reliability is thus optimized through the comparison of forecasts relating to locations of interest and the residual deduced through observations from tide gauges in the relevant area.

The ispra_stat2008 model

since 2008 the Venetian Lagoon Service of ISPRA has finalized a forecasting system for the residual based on the statistical approach (ISPRA_STAT2008) aimed at exploiting the potential of the Italian real-time data collection system for meteorological and marine parameters – the Northern Adriatic and Venetian Lagoon Tide-Gauge Network (RMLV) and the National Tide-Gauge Network (RMN). The forecasting procedure has been implemented for six locations in the Northern Adriatic where there are RMLV tide-gauge stations: Grado, Venezia Lido Diga Sud and Porto Caleri, sited along the coast, and Venezia Punta della Salute, Burano and Chioggia, sited where there are the main urban centres of the Venetian Lagoon (Figure 1).

The statistical model, which, as has been said, serves only to calculate the meteorological component $\Delta(t+\tau)$, formally speaking may be represented as the following relationship connecting the height forecast $\Delta(t+\tau)$ with an advance τ with the linear combination of the predictors according to a series of coefficients



Figura 1 – Ubicazione delle stazioni mareografiche per cui è stato implementato il modello di previsione ISPRA_STAT2008

Figure 1 – Positions of the tide-gauge stations for which the ISPRA_STAT2008 forecasting model has been implemented

Nord Adriatico ove sono presenti stazioni mareografiche che fanno capo alla (RMLV): le stazioni di Grado, Venezia Lido Diga Sud e Porto Caleri, situate lungo il litorale, e le stazioni di Venezia Punta della Salute, Burano e Chioggia situate in corrispondenza dei principali centri abitati della laguna di Venezia (Figura 1).

Il modello statistico, che come si è detto serve a stimare la sola componente meteorologica $\Delta(t+\tau)$, dal punto di vista formale, può essere rappresentato dalla seguente relazione che lega la grandezza prevista $\Delta(t+\tau)$ con anticipo τ , alla combinazione li-

determined through the technique of ordinary least squares: (see Formula 1)

In the previous relationship t is the current moment, τ indicates the advance with which the height Δ is forecast, $a_0(t)$, $b_i^k(t)$, $c_i^k(t)$ are the regression coefficients, different for every value of τ , Π^k , Ξ^k are the predictors and Δt represents the time step marking the predictor values (in this specific case $\Delta t=1$ hour). This relation explicitly separates the component determined by the series of values recorded by the predictors before the current moment t (Π^k) from the component given by the value series forecast by the predictors for the time

$$\Delta(t+\tau) = a_0(\tau) + \sum_{k=1}^N \sum_{i=0}^{n(k)} b_i^k(\tau) \cdot \Pi^k(t-i\Delta t) + \sum_{k=2}^M \sum_{i=0}^{r/\Delta t-1} c_i^k(\tau) \cdot \Xi^k(t+\tau-i\Delta t)$$

Formula 1

neare dei predittori secondo una serie di coefficienti determinati mediante la tecnica dei minimi quadrati: (Vd Formula 1)

Nella precedente relazione t è l'istante attuale, τ indica l'anticipo con cui viene prevista l'altezza Δ , $a_0(\tau)$, $b_i^k(\tau)$, $c_i^k(\tau)$ sono i coefficienti della regressione, diversi per ogni anticipo τ , Π^k , Ξ^k sono i predittori e Δt rappresenta il passo temporale con cui sono scanditi i valori dei predittori (nel caso specifico $\Delta t=1$ ora). In questa relazione, è esplicitamente separato il contributo determinato dalla serie dei valori registrati dei predittori prima dell'istante attuale t (Π^k) dal contributo della serie dei valori previsti dei predittori per l'intervallo di tempo compreso tra l'istante attuale t e l'istante $t+\tau$, forniti da modelli di previsione meteo-climatici quali quello utilizzato dall'ECMWF Ξ^k . Il predittore Π^1 è costituito dai livelli misurati e compare solo nella prima sommatoria.

In definitiva, per ciascuna delle stazioni di interesse, i fattori predittivi adottati da ISPRAS_STAT2008 sono:

- i valori orari del residual registrati nelle 24 ore precedenti il tempo t della previsione presso la stessa stazione di interesse;
- i valori orari di pressione atmosferica registrati nelle 24 ore precedenti il tempo t della previsione presso le stazioni ISPRAS della Rete Mareografica Nazionale (RMN) di Genova, Porto Torres, Bari, e Venezia Lido Diga Sud;
- i valori orari dell'intensità del vento, selezionato sui settori di scirocco e di bora, registrati nelle 24 ore precedenti il tem-

interval between the current moment and the moment $t+\tau$, supplied as they are by meteorological and climate forecasts such as that used by the ECMWF, Ξ^k . The predictor Π^1 comprises measured levels and only appears in the first summation.

Finally, the forecast factors adopted for each station concerned by ISPRAS_2008 are as follows:

- Hourly residual values recorded in the 24 hours preceding time t of the forecast from the station concerned.
- Hourly atmospheric pressure values recorded in the 24 hours preceding the time t of the forecast from the ISPRAS stations of the National Tide-Gauge Network (RMN) at Genoa, Porto Torres, Bari and Venezia Lido Diga Sud;
- Hourly wind-intensity values selected from the scirocco and bora sectors recorded in the 24 hours preceding the time t of the forecast from the RMLV station on the CNR Oceanographic Platform situated approximately 8 miles off the Venetian Lagoon.
- Six-hourly atmospheric pressure values deduced from the ECMRWF forecast fields for the aforementioned RMN sites.
- Six-hourly wind-intensity values selected from the scirocco and bora sectors deduced from the ECMRWF forecast fields near the CNR Oceanographic Platform.

The model was calibrated using the values of the aforesaid predictors measured over five consecutive years (2002-2006) and successively verified by comparing the daily forecasts for 2009 with the tide levels in fact measured.

po t della previsione presso la stazione della RMLV posizionata sulla Piattaforma Oceanografica del CNR posta a circa 8 miglia al largo della laguna di Venezia;

- i valori esarari di pressione atmosferica dedotti dai campi di previsione ECMRWF per le predette località della RMN;
- i valori esarari di intensità di vento, selezionati sui settori di scirocco e di bora, dedotti dai campi di previsione ECMWF in prossimità della Piattaforma Oceanografica CNR.

Il modello è stato calibrato utilizzando i valori dei suddetti predittori misurati nell'arco di cinque anni consecutivi (2002-2006) e successivamente verificato riconfrontando le previsioni giornaliere relative all'anno 2009 con i livelli di marea effettivamente misurati. I test di affidabilità eseguiti sulle previsioni fornite da ISPRA-STAT2008 per le predette sei località nel corso del primo anno di esercizio del sistema evidenziano risultati più che soddisfacenti.

In particolare gli indicatori dell'accuratezza della previsione si discostano molto poco da quelli stimati nella fase di calibrazione del modello: ad esempio nella previsione a 48 ore a Punta della Salute, la deviazione standard sugli errori σ è stata valutata in 7 cm nella fase di calibrazione, ed è risultata pari a 8 cm, in fase operativa (Figura 2).

Questa sostanziale concordanza tra l'accuratezza stimata con riferimento agli stessi dati utilizzati per la calibrazione e quella determinata in fase operativa è riscontrabile anche per le altre stazioni mareografiche considerate per le quali, con riferimento alla verifica condotta, l'andamento dell'errore medio e gli andamenti degli estremi e $\pm 2\sigma$ sono illustrati in Figura 3.

Ancora con riferimento alla stazione di Punta della Salute, si è osservato che l'accuratezza della previsione si riduce nel caso di

The reliability tests carried out on the forecasts supplied by ISPRA_STAT2008 for the aforesaid six locations during the first year of system use show more than satisfactory results.

In particular, the indicators of forecast accuracy are very close to those calculated in the model calibration phase: for example, in the 48-hour Punta della Salute forecast, the standard deviation of the errors σ was calculated at 7 cm in the calibration phase and resulted as being 8 cm in the operational phase (Figure 2).

This substantial agreement between accuracy calculated with reference to the data used for calibration and that determined during the operational phase is also found for the other tide-gauge stations in question, for which (referring to the test carried out) the average error and the progress of the extremes $\pm 2\sigma$ are shown in Figure 3.

Still referring to the Punta della Salute station, it has been observed that the accuracy of the forecast is reduced when there is acqua alta. For example, isolating events over 80 cm the standard deviation increases to 12 cm. Furthermore, for these events the model demonstrates a tendency to underestimate the residual, with minimal gaps between the results of the operational phase and the calculations made during the calibration phase.

With reference to operational testing of the model, the comparison between forecast and measured full-tide values in 2009 are shown in Figure 4.

Finally, it was found that a significant cause of error has to do with uncertainties in the meteorological forecasts and, in particular, in the wind forecasts from the station taken as a point of reference, the CNR Oceanographic Platform off the Venetian coast. To illustrate this aspect, let us offer by way of example the reconstruction of the acqua alta event of 1 December 2008

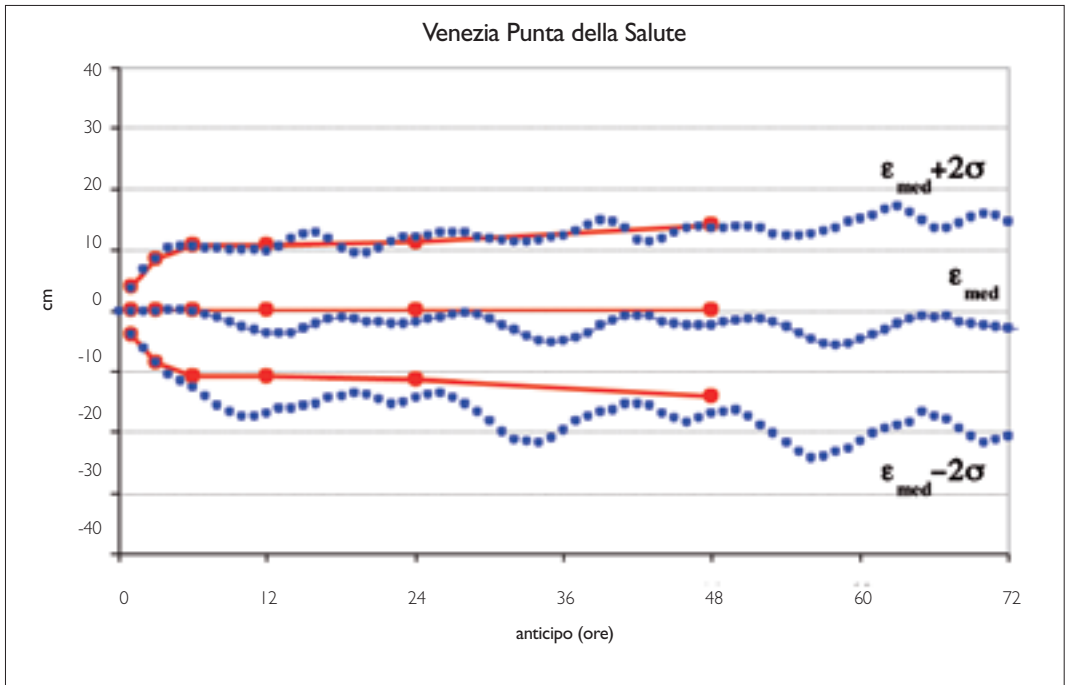


Figura 2 – Indice di accuratezza e $\pm 2\sigma$ calcolato per i diversi anticipi da 1 a 72 ore per la stazione di Punta della Salute in fase di calibrazione (punti rossi) e in fase operativa (punti blu).

Figure 2 – Accuracy index $\pm 2\sigma$ calculated for the different amounts of time before which forecasts are made (from 1 to 72 hours) for the Punta della Salute station during the calibration (red circles) and operational (blue dots) phases.

eventi di “acqua alta”. Ad esempio, isolando gli eventi superiori ad 80 cm la deviazione standard cresce fino a 12 cm. Inoltre, per questi eventi, il modello evidenzia una tendenza alla sottostima del residual con scostamenti minimi tra i risultati della fase operativa con le stime effettuate durante la fase di calibrazione.

Con riferimento alla verifica operativa del modello, il confronto tra i valori previsti e misurati dei colmi di marea durante il 2009, sono illustrati in Figura 4.

Si è infine riscontrato che una componente non trascurabile degli errori è legata ad incertezze nelle previsioni meteorologiche e, in particolare, nelle previsioni di vento nella stazione presa a riferimento dal mo-

when a maximum of 156 cm above the local zero level was reached at the Punta della Salute tide gauge station; this event was the fourth highest tide recorded in Venice in over 120 years of systematic observation.

A comparison has been made by comparing the tide curve forecast at Punta della Salute by the model 48, 24 and 12 hours before the event and the simulated tide curve obtained substituting the six-hourly forecast wind values (ECMWF) with hourly values measured afterwards at the same station. The comparison demonstrates that error determined by the uncertainties contained within the meteorological forecast wind data is substantially comparable to that of the model.

In the case of the event analysed, the underestimation of the full tide of 11 o'clock on 1 December 2008 is heavily conditioned by the

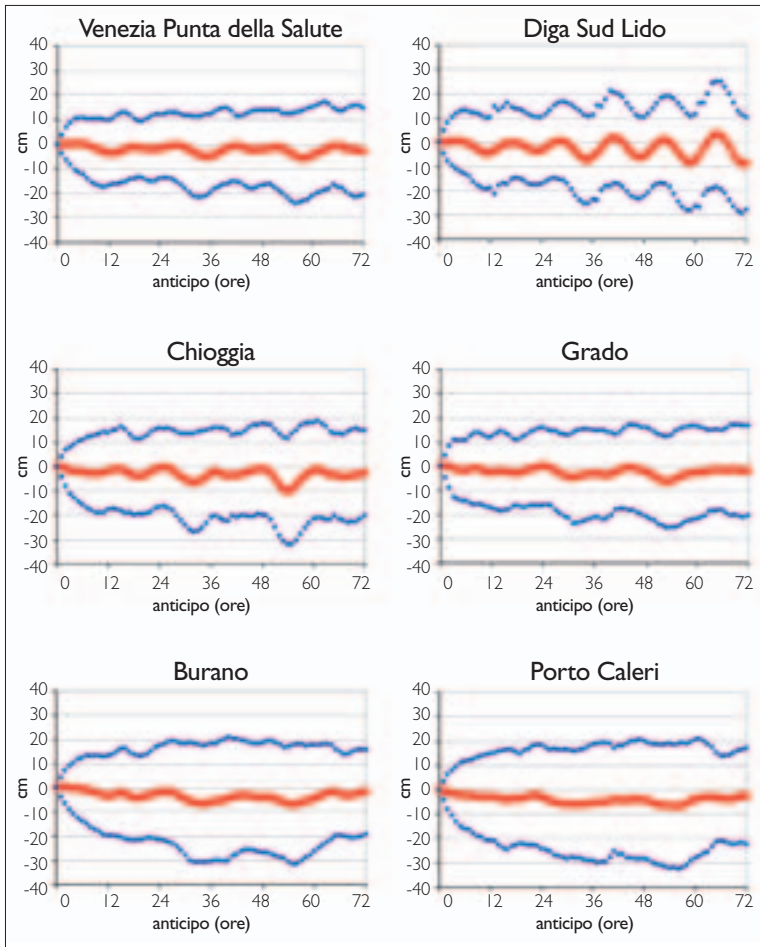


Figura 3 – Indice di accuratezza e $\pm 2\sigma$ calcolato per i diversi anticipi da 1 a 72 ore calcolato per tutte le stazioni in fase operativa
 Figure 3 – Accuracy index $\pm 2\sigma$ calculated for the different amounts of time before which forecasts are made (from 1 to 72 hours) for all the stations in the operational phase

dello (Piattaforma CNR al largo della costa veneziana). Per evidenziare questo aspetto si illustra, a titolo di esempio, la ricostruzione dell'evento di "acqua alta" del giorno 1 dicembre 2008 quando alla stazione mareografica di Punta della Salute si raggiunse la punta massima di 156 cm sopra lo Zero Mareografico locale, evento che si colloca al 4° posto nella scala delle più elevate maree eccezionali registrate a Venezia in oltre 120 anni di sistematiche osservazioni. Il confronto è stato effettuato tra le curve di marea prevista a Punta Salute dal modello con anticipi di 48, 24 e 12 ore dall'evento,

underestimation of forecast wind speed. This also confirms that the insertion of 'wind' as a predictor in the model is decisive in forecasting storm-surge events.

Conclusions

This paper has outlined the testing during the operational phase of the ISPRA_STAT2008 model set up by ISPRA for forecasting tides in various locations in the Upper Adriatic. Model performance overall may be regarded as being encouraging, to the point where it may

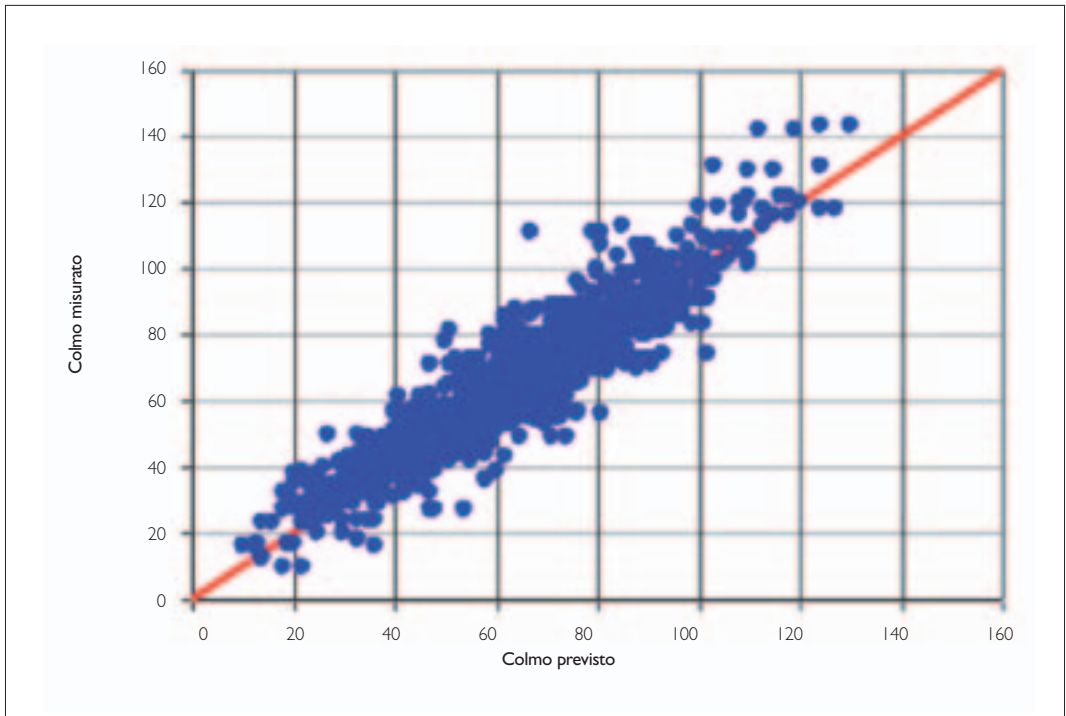
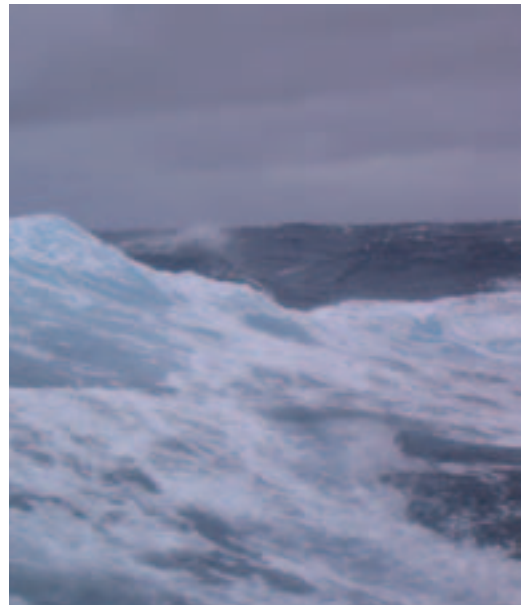


Figura 4 –Confronto dei valori misurati e previsti dei colmi di marea per la stazione mareografica di Punta della Salute (VE): fase operativa.

Figure 4 –Comparison of measured and forecast values of full tides for the Punta della Salute tide-gauge station (Province of Venice): operational phase.

e le curve di marea simulata ottenute sostituendo i valori esarari di vento puntuale previsto (ECMWF) in Piattaforma CNR con i valori orari misurati a posteriori presso la medesima stazione. Il confronto evidenzia che, l'errore determinato dalle incertezze contenute nei dati di vento della previsione meteorologica è sostanzialmente confrontabile con quello proprio del modello. Nel caso dell'evento analizzato, la sottostima del colmo di marea delle ore 11 del 1 dicembre 2008 è fortemente condizionata dalla sottostima della previsione della velocità del vento. Questo conferma inoltre che l'inserimento del predittore "vento" nel modello è determinante nella previsione di eventi di storm surge.



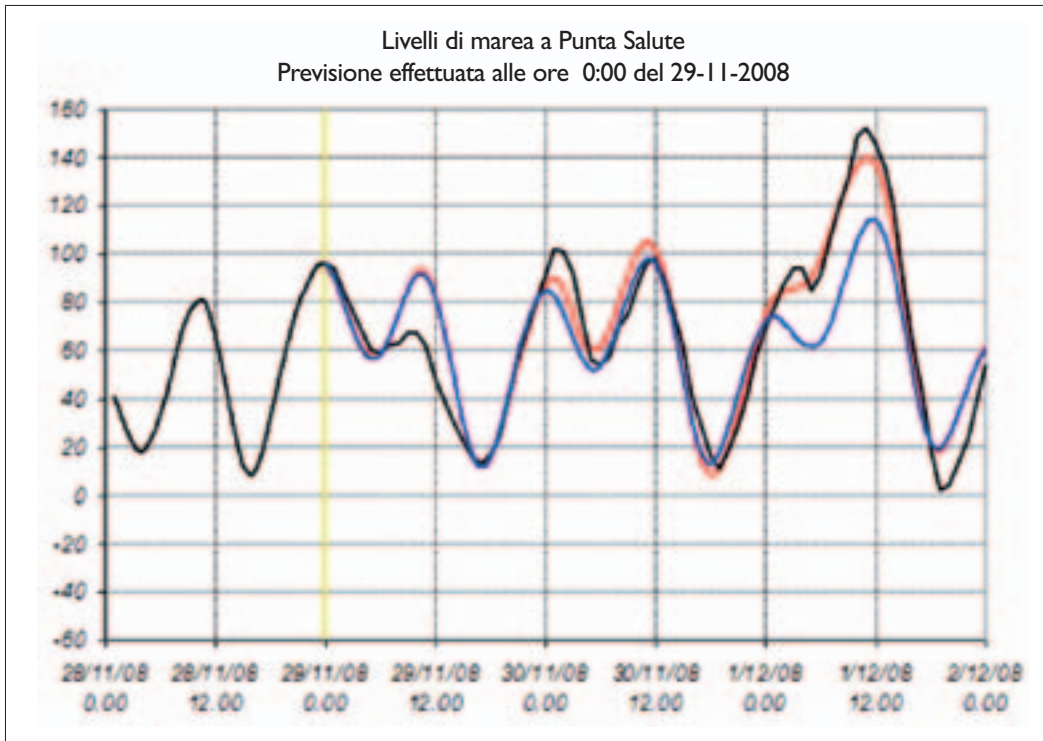


Figura 5 – Previsione del modello effettuata alle ore 0 del giorno 29 novembre 2008 per la stazione di Punta della Salute: confronto tra livelli previsti utilizzando i dati di vento registrati (linea rossa) e previsti da ECMWF (linea blu), e livelli misurati (linea nera).

Figure 5 – Model forecasts produced at hour 0 the 29 November 2008 for the Punta della Salute station: comparison between levels forecast using recorded wind data (red line), ECMWF forecast wind data (blue line) and levels measured (black line).

Conclusioni

In questo lavoro è stata sinteticamente illustrata la verifica in fase operativa del modello ISPRA-STAT2008 implementato da ISPRA per la previsione della marea in diverse località dell'alto Adriatico. Le prestazioni del modello, nel complesso, possono essere ritenute incoraggianti, tanto da rendere utile ed opportuna la divulgazione, tramite un apposito portale (<http://www.ispravenezia.it/ispra/>), delle previsioni della marea generate dal modello per le stazioni di Venezia Punta Salute, Burano, Chioggia,

be considered both useful and opportune to make the forecasts generated by the model for the stations of Venezia Punta Salute, Burano, Chioggia, Grado and Porto Caleri available to users through a dedicated portal (<http://www.ispravenezia.it/ispra/>). The system automatically updates forecasts every six hours and gives visual representation of levels forecast with reference to the Punta della Salute zero level for the following 48 hours.

Further margins for model improvement are being studied, such as refining the calculation of effects caused by the wind and the adoption of predictive factors (pressure and wind)

Grado e Porto Caleri. Il sistema aggiorna automaticamente le previsioni ogni sei ore e rappresenta graficamente l'andamento dei livelli previsti, riferiti allo Zero Mareografico di Punta della Salute, per le successive 48 ore.

Ulteriori margini di miglioramento del modello sono allo studio attraverso l'affinamento della valutazione degli effetti prodotti dal vento e l'adozione di fattori predittivi (pressione e vento) deducibili dai campi di previsione giornalmente elaborati da modelli meteorologici ad area limitata.

deducible from forecast fields produced daily by limited-area meteorological models.

Bibliografia

Bondesan M., Castiglioni G.B., Elmi C., Gabbianelli G., Marocco R., Pirazzoli P.A. and Tomasin A. (1995). Coastal areas at risk from storm surges and sea-level rise in Northeastern Italy. *Journal of Coastal Research*, 11, 4 pp. 1354-1379.

Bajo, M., Zampato, L., Umgiesser, G., Cucco, A., and Canestrelli, P. (2007). A finite element operational model for storm surge prediction in Venice. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 75(1-2):236-249. *Biodiversity and Ecosystem Functioning in Coastal and Transitional Waters*.

Bargagli A., Carillo A., Pisacane G., Ruti P.M., Struglia M.V., Tartaglione N. (2002). An

integrated forecast system over the Mediterranean Basin: extreme surge prediction in the Northern Adriatic Sea. *Monthly Weather Review*, Vol. 130, pp. 1317-1332.

Canestrelli, P., Pastore, F. e Tomasin A., Sviluppo di un modello operativo previsionale della marea di Venezia e revisione di casi rilevanti, Comune di Venezia, Assessorato Trasporti e SS.PP., 1986.

Tomasin A. e Frassetto R., Cyclogenesis and forecast of dramatic water elevations in Venice. In: *Marine forecasting*, J.C.J. Nihoul, Elsevier, 1979, 427-438.

Sistemi osservativi in Adriatico a supporto dell'oceanografia operativa

Observation Systems in the Adriatic for Supporting Operational Oceanography

P.M. Poulain, V. Cardin, R. Gerin, F. Brunetti
Istituto Nazionale di Oceanografia e di Geofisica Sperimentale, Trieste

Il mare Adriatico è un bacino semichiuso lungo circa 800 km e largo mediamente 150 km, orientato longitudinalmente da Nord-Ovest a Sud-Est. Esso si estende tra le coste Italiane e quelle della Slovenia, Croazia, Bosnia-Erzegovina, Montenegro ed Albania, risultando pertanto un mare di confine molto importante e complicato per settori quali sicurezza, trasporti, turismo, ambiente e pesca. Dal punto di vista strettamente oceanografico il Mare Adriatico è di fondamentale rilevanza per la circolazione dell'intero Mar Mediterraneo. Nell'Adriatico meridionale, infatti, si forma parte delle acque dense che affondano e rinnovano le acque profonde del Mediterraneo.

Per tali motivi, il Mare Adriatico viene costantemente monitorato e studiato dalla comunità scientifica. Negli anni sono stati sviluppati ed utilizzati vari e numerosi sistemi osservativi con lo scopo di monitorare e comprendere sempre di più le complicate dinamiche di questo Mare.

I sistemi osservativi impiegati possono essere suddivisi in sistemi fissi e sistemi mobili. Fanno parte dei sistemi fissi tutti quegli strumenti che eseguono misure Euleriane quali boe meteo-marine, boe ondametrichi, stazione mareografiche, "moorings" e radar costieri.

Le boe, le stazioni meteo-marine ed i "mooring" sono particolarmente versatili e possono essere equipaggiati con diversi sensori per la misura di svariati parametri. Attualmente, nel Mare Adriatico sono presenti varie boe per la misura di parametri oceanografici e meteorologici in zone costiere come la boa "Mambo" (gestita dal gruppo TECDEV di OGS), la boa "Paloma" (ISMAR Trieste) nel Golfo di Trieste e la boa "Vida" (Istituto Nazionale di Biologia di Pirano) al largo di Pirano (Slovenia). Altre boe sono situate nei pressi della foce dei fiumi Isonzo e Tagliamento e fanno parte del sistema di

The Adriatic Sea is a semi-closed basin running from north-west to south-east, approximately 800 km long and an average of 150 km wide. It is bordered by the coasts of Italy, Slovenia, Croatia, Bosnia and Herzegovina, Montenegro and Albania, which makes it a very important, not to mention complex, frontier in terms of security, transport, tourism, the environment and fishing, amongst others. From the purely oceanographic point of view, the Adriatic is of fundamental importance for the circulation of the entire Mediterranean. It is in the southern Adriatic, in fact, that part of the dense waters that sink and thus renew Mediterranean deep waters are formed.

For these reasons, the Adriatic is constantly monitored and studied by the scientific community. Over the years, several various observation systems have been developed with the goal of monitoring the complicated dynamics of this sea and continuously increasing our understanding of them.

The observation systems used can be divided into fixed and mobile systems. Fixed systems include all those instruments performing Eulerian measurements, such as meteorological and marine buoys, wave-measuring buoys, tide-gauge stations, moorings and coastal radars.

Buoys, meteorological and marine stations and moorings are particularly versatile and can be equipped with various sensors for measuring a range of parameters. Various buoys for measuring oceanographic and meteorological parameters are currently operating in coastal areas of the Adriatic, such as the buoys 'Mambo' (managed by TECDEV - OGS) and 'Paloma' (ISMAR Trieste) in the Gulf of Trieste and 'Vida' (Naciolnalni Inštitut za Biologijo Piran) off Piran (Slovenia). Other buoys are situated near the mouths of the Soca/Isonzo and Tagliamento, and are part of the Civil Protection's integrated marine environmental monitoring system. Since 1970 the oceanographic platform 'Acqua Alta' (ISMAR Venice) has been active off the Gulf of

monitoraggio ambientale marino integrato della Protezione Civile. Al largo del Golfo di Venezia è attiva dal 1970 la piattaforma oceanografica “Acqua Alta” (ISMAR Venezia). Al centro Adriatico sono presenti due boe denominate “SI” ed “EI” (ISMAR Bologna) collocate sempre in zona costiera nei pressi del Delta del Po e poco a nord della città di Rimini su un fondale rispettivamente di 23 e 9 metri. Infine bisogna ricordare la recente piattaforma meteo-oceanografica “E2M3A” corredata di mooring (OGS) e situata in acque profonde presso la Fossa del Sud Adriatico (1204 m) che fa parte della rete mondiale OCEANSITES di boe d’altura.

Un esempio di impiego ottimale di boe meteo-marine è la boa “Mambo” di Trieste-

Venice. In the central Adriatic there are two buoys, ‘SI’ and ‘EI’ (ISMAR Bologna), also situated in coastal areas, in this case near the Po delta and a little to the north of the city of Rimini, placed on the seabed at 23 and 9 metres respectively. Finally, we should also mention the new meteorological and oceanographic platform ‘E2M3A’, supplied with mooring (OGS) and located in deep water near the South Adriatic Trench. This platform is part of the worldwide OCEANSITES deep-water-buoy network. An example of optimal use of meteorological and marine buoys is the Trieste ‘Mambo’ buoy (Fig. 1). Development on it began in the late 1990s by TECDEV group (OGS) and it was installed in waters at the edge of the Miramare Marine Reserve (northern Adriatic) in 1998. It performs continuous high-frequency recording

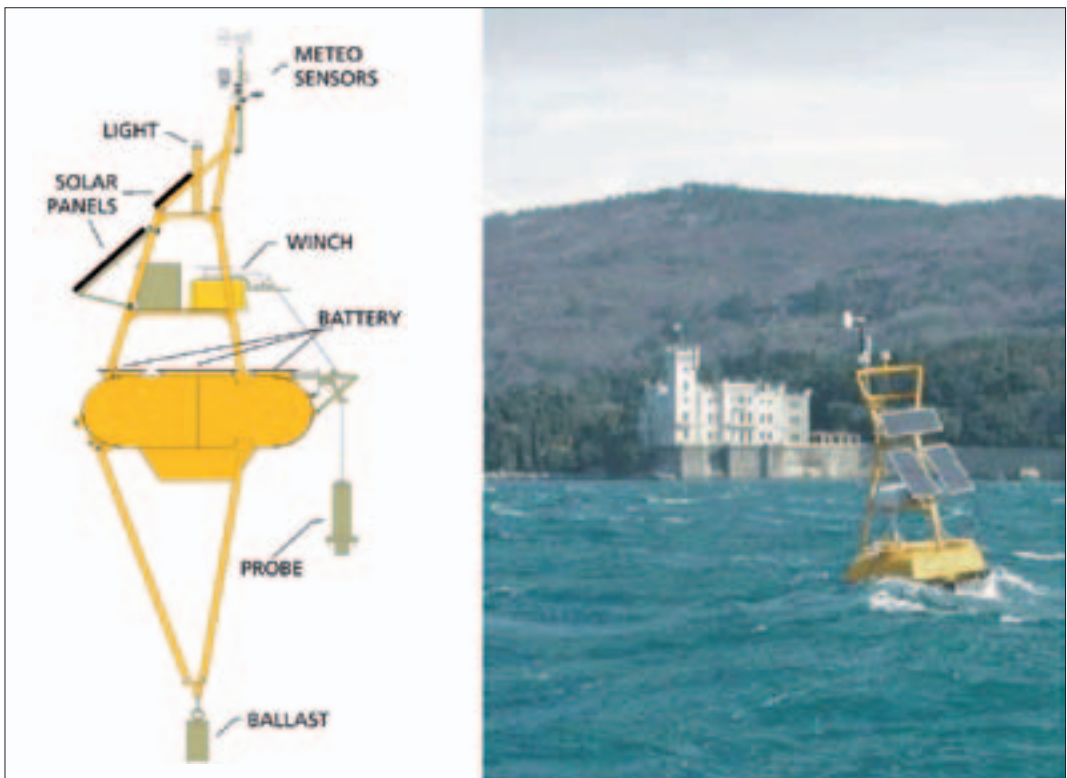


Fig. 1: Schema e foto della boa “Mambo” di Trieste

Fig. 1: Schematic diagram and photograph of the Trieste ‘Mambo’ buoy

ste (Fig. 1). Sviluppata dal gruppo TECDEV (OGS) a partire dalla fine degli anni 90 ed installata nelle acque al limite della Riserva Marina di Miramare (Adriatico settentrionale) nel 1998, essa registra in continuo ed ad alta frequenza parametri meteorologici (velocità e direzione del vento, temperatura ed umidità dell'aria, pressione atmosferica) ed oceanografici (pressione, temperatura, salinità, ossigeno disciolto, clorofilla, pH e torbidità) lungo tutta la colonna d'acqua mediante una sonda profilante multiparametrica azionata da un verricello. Essa è inoltre dotata di un ADCP, posizionato sul fondo del mare in prossimità della boa. La tecnologia radar ad alta frequenza viene largamente utilizzata come strumento per il monitoraggio e lo studio costiero delle correnti marine superficiali ormai da una ventina di anni. Un sito radar è composto da una o più antenne trasmettenti e riceventi. Tali antenne riescono a coprire una vasta area di mare che può estendersi teoricamente fino a 50-125 km con risoluzione spaziale di 750-1500 m a seconda della frequenza di funzionamento del radar. Ogni sito radar rileva le componenti radiali delle correnti superficiali dal segnale di backscattering delle onde gravitazionali. Dalla combinazione spaziale di almeno due siti radar si riesce ad ottenere una mappa vettoriale della circolazione.

I "drifter" costituiscono i più semplici ed economici strumenti scientifici per la misura delle correnti marine superficiali, risultando al tempo stesso molto affidabili ed efficaci. Sono dotati di sistemi di localizzazione (Argos o GPS) che permettono di stimare la corrente marina, inoltre possono essere equipaggiati con una serie di sensori per le misure di parametri chimico-fisici (il più comune dei quali è la temperatura), ottici e anche meteorologici. Tutti i dati vengono inviati a terra via satellite. A partire



of meteorological (wind speed and direction, air temperature and humidity, atmospheric pressure) and oceanographic (pressure, temperature, salinity, oxygen saturation, chlorophyll, pH and turbidity) parameters in the water column using a multi-parameter profiling probe on a winch. Furthermore, it has an ADCP positioned on the seabed near the buoy.

High-frequency radar has been used as an instrument for monitoring and studying coastal surface currents for about two decades. A radar base is made up of one or more antennae for transmitting and receiving. These antennae are able to cover a large sea area, with a theoretical range of up to 50-125 km with a spatial resolution of between 750 and 1500 m according to the radar's frequency. Each radar base measures the radial components of surface currents from the backscattering signal reflected by the gravitational waves. From the spatial combination of at least two bases it is possible to obtain a vectorial circulation map.

Drifters are the simplest and cheapest scientific instruments for measuring sea-surface currents, and are also both very reliable and efficient. They have a localization system (ARGOS or GPS) that allows currents to be calculated. Furthermore, they can be equipped with a series of sensors for measuring physical and chemical parameters (the most common of which being temperature), as well as optic and



Fig. 2: Mappa vettoriale della corrente superficiale in alto adriatico ottenuta dalla combinazione di quattro siti radar.
 Fig. 2: Vectorial map of surface currents in the upper Adriatic obtained from the combination of four radar bases.

dal 1986, la corrente superficiale del Mare Adriatico è stata studiata mediante l'impiego dei drifter durante vari progetti di ricerca. Come mostra la figura delle traiettorie dai drifter (Fig. 3), essi hanno esplorato uniformemente l'intero bacino evidenziando le strutture più caratteristiche.

I "float" invece sono profilatori autonomi flottanti in grado di cambiare la loro spinta di galleggiamento e quindi di affondare o risalire lungo la colonna d'acqua. Una missione standard di tali strumenti consiste nel lasciarsi trasportare dalla corrente ad una profondità prestabilita per 5 o 10 giorni, affondare fino ad una profondità programmabile (che può arrivare fino a 2000 metri) e risalire alla superficie. Durante la risalita, essi eseguono un profilo CTD (profondità, temperatura e conducibilità, vedi Fig. 4, da cui si può ottenere la salinità). Una volta in

meteorological parameters. All data are sent to shore via satellite. Since 1986, the surface circulation of the Adriatic has been studied using drifters during various research projects. As the figure showing the trajectories followed by the drifters illustrates (Fig. 3), they have explored the whole basin thoroughly, shedding light on its most characteristic structures.

Floats, on the other hand, are autonomous floating profilers that are able to change their buoyancy and rise/sink in the water column. A standard mission using these instruments consists of leaving them to be carried by the currents at a pre-established depth for 5 or 10 days, sink them to a programmable depth (up to 2000 metres) and then rise them back to the surface. As they rise, they perform a CTD (conductivity, temperature, depth – see Fig. 4; from these data a salinity profile can be obtained). Once they have returned to the sur-

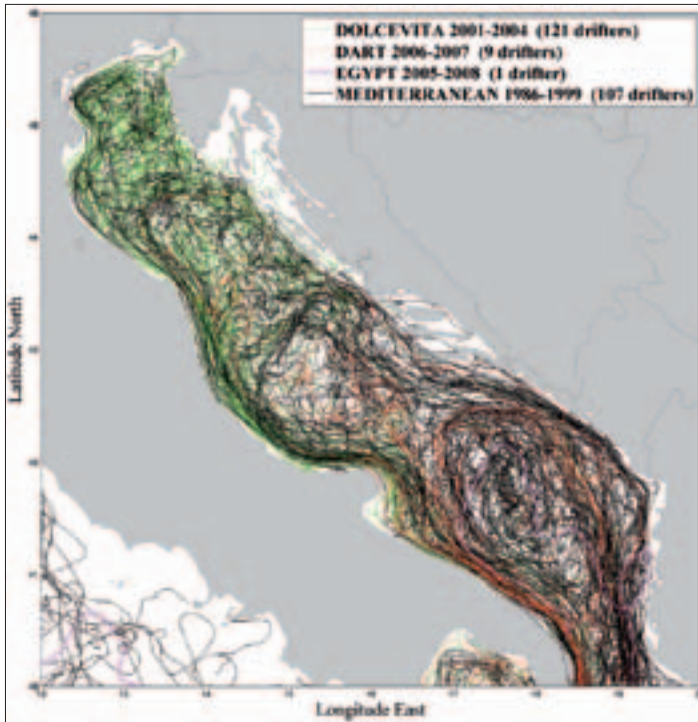


Fig. 3: Traiettorie dei drifter in Adriatico a partire dal 1986.

Fig. 3: Drifter trajectories in the Adriatic since 1986.

superficie, essi trasmettono i dati a terra via satellite per poi ridiscendere e continuare il viaggio. Analogamente ai “drifter”, anche i “float” possono montare sensori aggiuntivi per la misura di ulteriori parametri chimico-fisici.

Recentemente altri sistemi osservativi, che fino pochi anni fa esistevano solo a livello di prototipi, si sono affiancati agli strumenti Euleriani e Lagrangiani nello studio della dinamica dell’ecosistema adriatico. L’ultimo prodotto della tecnologia è il glider, un aliante-sottomarino. Si tratta di uno strumento rivoluzionario nel concetto e nelle possibilità operative: non è più un oggetto che segue passivamente la corrente, ma è in grado di navigare in modo autonomo senza propulsione lungo rotte programmate a priori. Esso è equipaggiato con una serie di sensori per misure oceanografiche tra cui temperatura, conducibilità, profondità, fluorescenza (per la misura della clorofilla),

face they transmit data to shore via satellite, and then sink again and complete their journey. Like drifters, floats can have additional sensors mounted on them for measuring other physicochemical parameters.

Recently, another instrument that until a few years ago existed only as prototypes has come into use alongside Eulerian and Lagrangian instruments in the study of the dynamics of the Adriatic ecosystem. This latest technological product is the underwater glider. This is a revolutionary tool in terms of both its concept and its operational possibilities: it is not an object passively following the current but rather a device capable of navigating autonomously and without any propulsion along routes programmed beforehand. It is equipped with a series of sensors for oceanographic measurements, amongst which temperature, conductivity, depth, fluorescence (for measuring chlorophyll), turbidity and oxygen saturation. Two-way communication takes place via satellite and HF

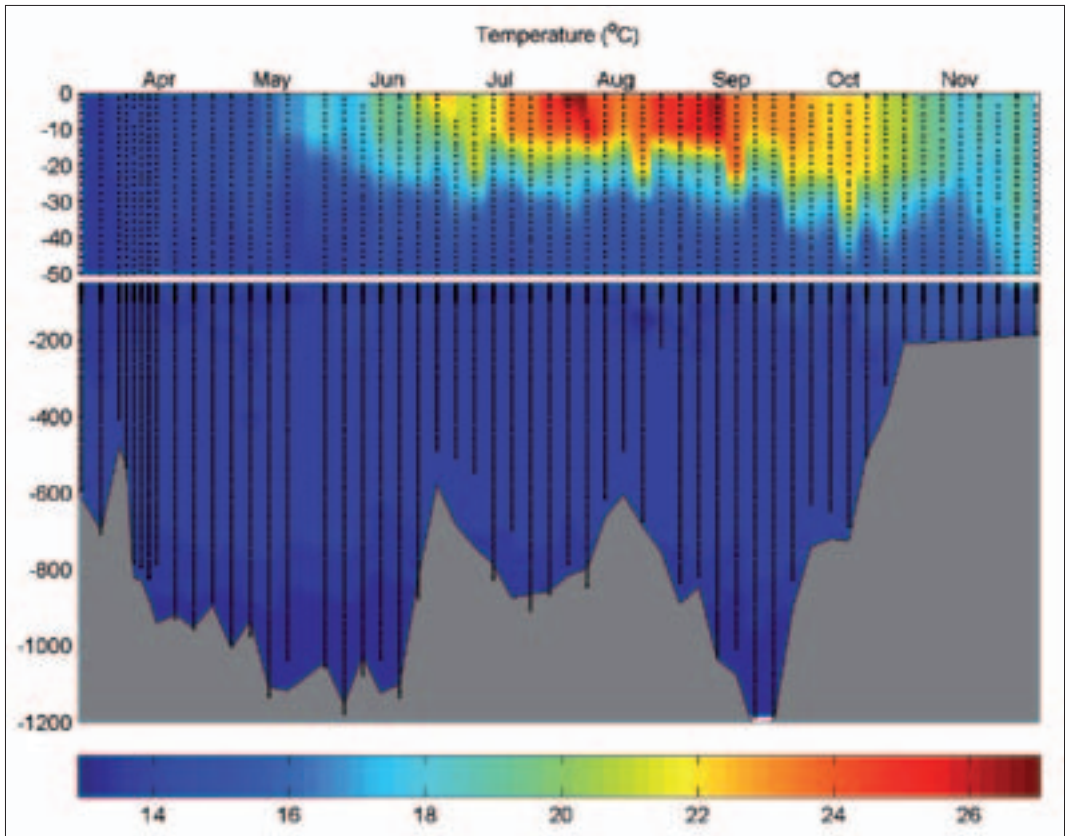


Fig. 4: Interpolazione dei dati di temperatura di 54 profili eseguiti da un “float” nel sud Adriatico durante circa 9 mesi (dal 27 febbraio 2010 a fine novembre 2010). In colore grigio viene indicativamente rappresentata la batimetria, mentre i puntini neri rappresentano le quote alle quali lo strumento ha eseguito i rilevamenti.

Fig. 4: Temperature data interpolation for 54 float profiles from the south Adriatic over approximately 9 months (27 February 2010 to the end of November 2010). The bathymetry is shown in grey and the black dots represent the depths at which the instrument took measurements.

torbidità ed ossigeno disciolto. Le comunicazioni avvengono via satellite o ponte radio (tipo bluetooth) in modo bi-direzionale, ovvero è possibile sia ricevere dal glider i dati a terra, sia trasmettere allo strumento nuovi comandi e rotte. I dati oceanografici che si ottengono da questo nuovo strumento sono ad altissima risoluzione sia spaziale che temporale, impensabile da ottenere con qualsiasi altro strumento.

I sistemi osservativi in situ vengono affiancati anche da misure effettuate da strumen-

radio (of the Bluetooth type), so it is possible both to receive glider data onshore and transmit new commands and routes to the glider. Oceanographic data obtained from this new instrument are at very high resolution both spatially and temporally, and obtaining them with any other instrument would be quite impossible.

In addition to in-situ measuring systems observations can be collected by instruments placed on aeroplanes and satellites (surface temperature and chlorophyll concentration, optical properties, sea height etc.).

ti posti su aerei e satellite (temperatura e concentrazione di clorofilla superficiale, proprietà ottiche, altezza del mare, ecc.).

La maggior parte dei sistemi di monitoraggio in Adriatico fornisce dati quasi in tempo reale ad oceanografi, Protezione Civile ed anche a utenti finali di qualsiasi natura. Dopo l'effettuazione dei controlli di qualità dei dati secondo procedure standard, i dati vengono archiviati in database, messi a disposizione per studi scientifici ed assimilati in modelli numerici di previsione.

The majority of Adriatic monitoring systems supply real-time data to oceanographers, Civil Protection and end-users of all types. Once the data have been quality controlled in accordance with standard procedures, they are archived in databases, made available for scientific studies and assimilated into numerical forecasting models.

Il sistema di osservazione Mediterraneo basato su navi di opportunità e boe

The Mediterranean Ship-of-Opportunity and Buoy-Based Observation System

G.M.R. Manzella
ENEA

V. Cardin
IN-OGS, Trieste

F. Reseghetti
ENEA

M. Bensi
IN-OGS, Trieste

R. Bozzano
CNR ISSIA, Genova

Introduzione

Nel 1999 nell'ambito del progetto Europeo Mediterranean Forecasting System - Pilot Project fu varato un programma di osservazione basato sull'utilizzo di boe d'altura e su navi di opportunità che furono selezionate in modo da avere la maggior parte dei dati da transetti orientati sull'asse nord-sud con l'aggiunta di un successivo transetto nella direzione est-ovest, vedi la figura 1.

Le boe d'altura erano posizionate nel Mar Ligure (tra Genova e Corsica), nel basso Adriatico e nel Mar Egeo, a nord di Creta. La figura 2 mostra la boa ancorata nel sud Adriatico che consta di una parte sub-superficiale e di una superficiale, che raccoglie i dati meteorologici. Le due boe comunicano tra di loro mediante modem acustici.

Un esempio dei dati che vengono registrati da tali installazioni è mostrato nella figura 3, in cui sono illustrate alcune delle acquisizioni della boa nella parte sud del mar Adriatico.

Introduction

In 1999 an observation programme based on the use of open-water buoys and ships of opportunity chosen in such a way as to have the majority of data coming from routes running along the north-south axis (with an east-west route later added; see Figure 1) was launched under the aegis of the Mediterranean Forecasting System – Pilot Project European project.

The buoys were positioned in the Ligurian Sea (between Genoa and Corsica), in the lower Adriatic, in the Aegean and north of Crete.

Figure 2 shows the buoys anchored in the southern Adriatic, which consist of a part below the surface and a part on the surface that collects meteorological data. The two buoys communicate between themselves using acoustic modems.

An example of the data recorded by these installations is given in Figure 3, where some of the data acquired by the southern Adriatic buoy are shown.

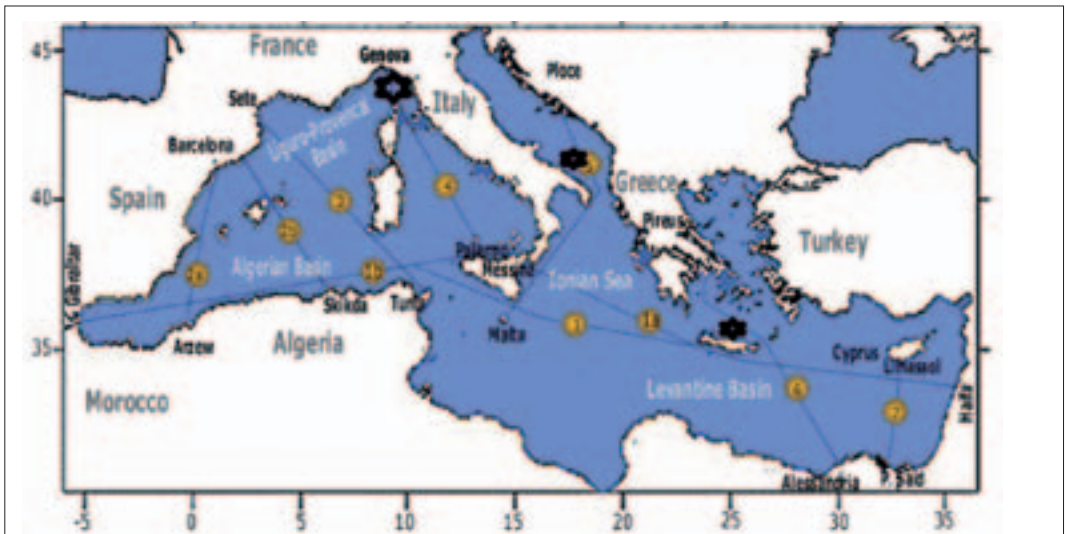


Figura 1. I transetti delle navi di opportunità durante il Mediterranean Forecasting System - Pilot Project. Le stelle indicano la posizione delle stazioni fisse in mare profondo.

Figure 1. Ship-of-opportunity routes during the Mediterranean Forecasting System – Pilot Project. Stars indicate deep-sea fixed station locations.

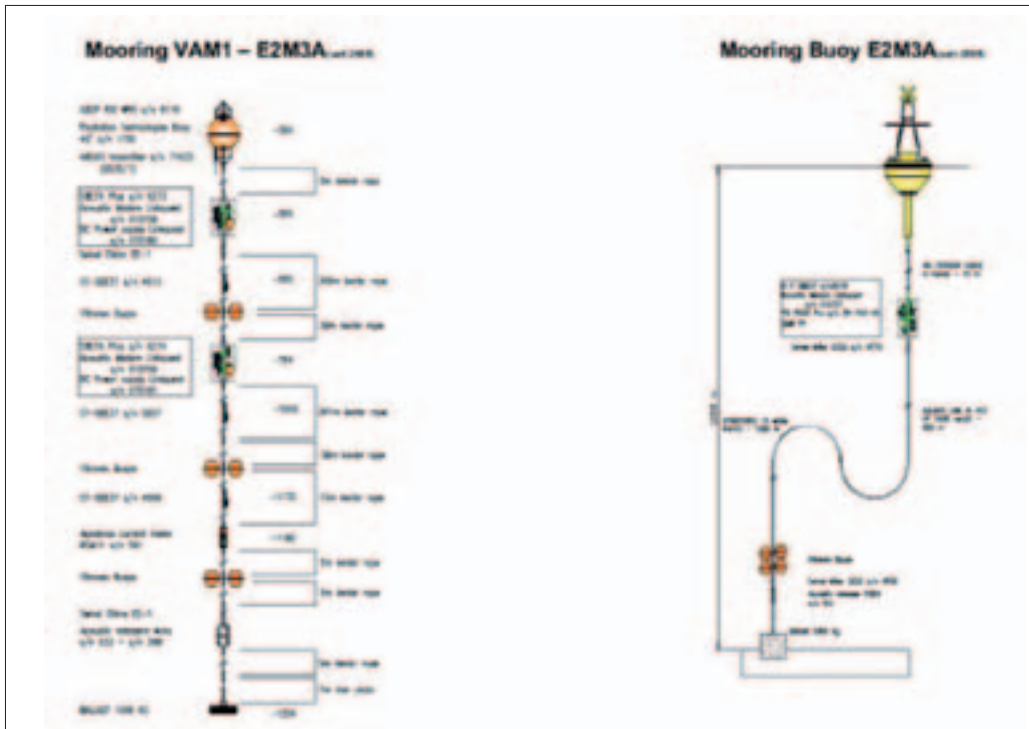


Figura 2. Boa d'altura in Adriatico
 Figure 2. Open-water buoys in the Adriatic

I gruppi di lavoro italiani, che ora fanno parte del Gruppo Nazionale di Oceanografia Operativa (GNOO), hanno coordinato e partecipato fin dall'inizio al sistema di osservazione operativo. In particolare essi hanno contribuito ai seguenti miglioramenti:

- trasmissione in tempo reale da navi di opportunità
 - Inizialmente sono state adottate le stesse metodologie utilizzate nel programma internazionale Ships Of Opportunity Program, basato sul sistema satellitare ARGOS, che inviava solo pochi punti significativi del profilo di temperatura; tuttavia il software di gestione era tale da considerare come erroneo un profilo che presentasse un aumento di temperatura con la profondità (inversione di temperatura), circostanza che avviene nel Me-

Italian work groups now part of the National Operational Oceanography Group (GNOO) have participated in the operational observation system and its co-ordination since the beginning. In particular, they have contributed to the following improvements:

- *Real-time transmission from ships of opportunity.*
 - *At first, the same methodologies as those used in the international Ships of Opportunity Programme were adopted, based on the ARGOS satellite system, which only sent a few significant points from the temperature profile; however, the management software was of a type that considered mistaken a profile that presented temperature rising with depth (temperature inversion), something that happens in the Mediterranean due to the presence of Levantine Water.*

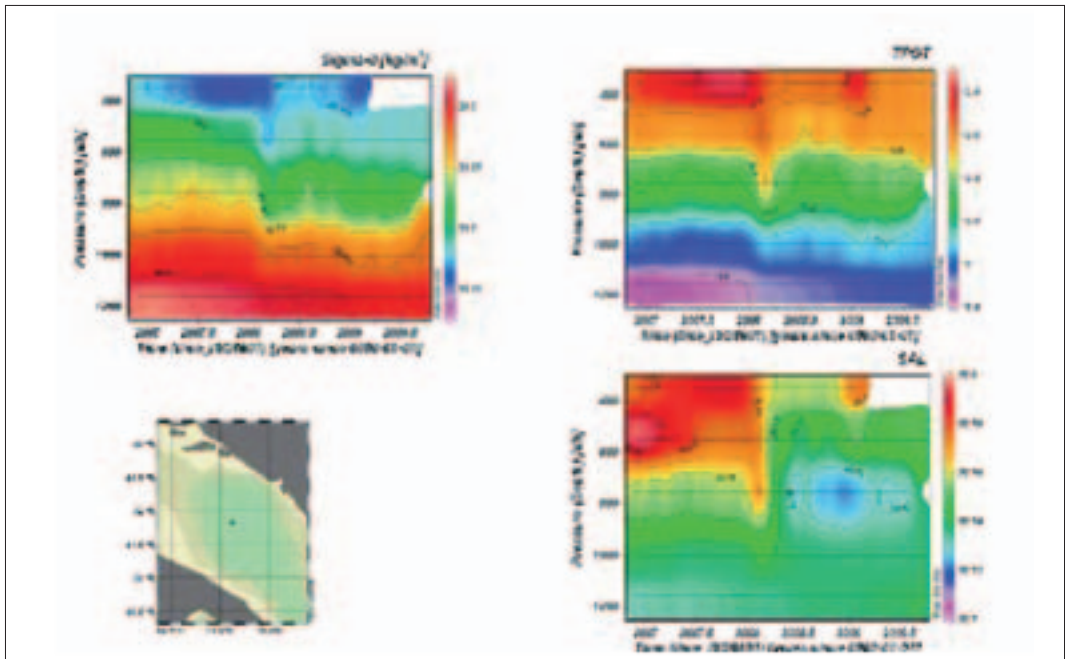


Figura 3. Dati provenienti dalle boe d'altura.

Figure 3. Open-water buoy data.

- diterraneo per la presenza di Acqua Levantina;
- Al fine di considerare le caratteristiche delle acque mediterranee e rilevare i valori di temperatura delle acque levantine, il software fu cambiato assieme a CLS in modo da prendere sempre 15 valori lungo il profilo e diminuendo il controllo sull'aumento di temperatura;
 - In seguito, si è passati alla trasmissione di profili a piena risoluzione tramite connessione telefonica (GSM, poi GPRS e UMTS), al momento dell'arrivo della nave in zona costiera. Con tale metodologia di trasmissione, veniva introdotto un ritardo di alcune ore tra l'acquisizione ed il momento in cui i dati erano a disposizione del centro tematico di raccolta;
 - Infine è stata sperimentata con successo anche la trasmissione satellitare,

- In order to consider the characteristics of Mediterranean waters and collect temperature values for Levantine waters, the software was changed along with the CLS so as to always record 15 values along the profile and lessening checks over temperature rises.
- The next step was the transmission of full-resolution profiles through telephone connections (GSM at first, then GPRS and UMTS) once ships arrived in coastal areas. This transmission methodology meant there was a delay of a few hours between when data were acquired and when they became available to the thematic collection centre.
- Finally, satellite transmission was successfully tried, even though it was more expensive than telephone transmission; it was not used in the end given the short length of routes in the Mediterranean

anche se più costosa della precedente, e non utilizzata in seguito data la ridotta lunghezza delle tratte nel Mediterraneo (in genere entro due giorni di navigazione si arriva in vicinanza della costa rendendo utilizzabile la connessione telefonica)

- software di controllo di qualità per profili di temperatura
 - è stata realizzata una climatologia del Mar Mediterraneo ed è stato implementato un software che elimina gli spikes, filtra i dati, effettua un controllo con i dati della climatologia della zona e assegna codici di qualità;
- sistema di comunicazione tra boe profonde
 - un sistema acustico di trasmissione di dati da boe sub-superficiali a quelle superficiali permette di inviare dati in tempo reale con sistemi satellitari;
- aggiunta di sensori per rendere le boe punti di verifica per i modelli fisici ed ecologici.

La figura 4 mostra la temperatura della colonna d'acqua misurata tramite sonde a perdere XBT lanciate da navi di opportunità lungo il transetto Genova-Palermo. Appare evidente la differenza tra i dati trasmessi con il sistema ARGOS (sinistra) ed i medesimi dati con risoluzione piena (destra). Nella figura di sinistra i profili sono troncati a causa della presenza di inversione termica e la decimazione impoverisce notevolmente la qualità del profilo globale. Sono ben chiari i motivi che hanno portato all'abbandono del sistema ARGOS per la trasmissione dati.

(two days' sailing is generally enough for a ship to arrive near enough to the coast for telephone transmission to work).

- *Quality-control software for temperature profiles.*
 - *A Mediterranean climatology was realized, and software that eliminated spikes, filtered data, checked area climatology data and assigned quality codes was implemented.*
- *Communication system between deep buoys.*
 - *An acoustic system or transmitting data from buoys below the surface to surface buoys allows data to be sent in real time using satellite systems.*
- *Addition of sensors to make the buoys test points for physical and ecological models.*

Figure 4 shows the temperature of the water column as measured with XBT probes launched from ships of opportunity along the Genoa-Palermo line. The difference between data transmitted with the ARGOS system (left) and the same data with full resolution (right) is clear. In the figure on the left, the profiles are cut short due to the presence of temperature inversion and this decimation makes the global profile quality notably poorer. The reasons for which ARGOS was abandoned as the data transmission system are obvious.

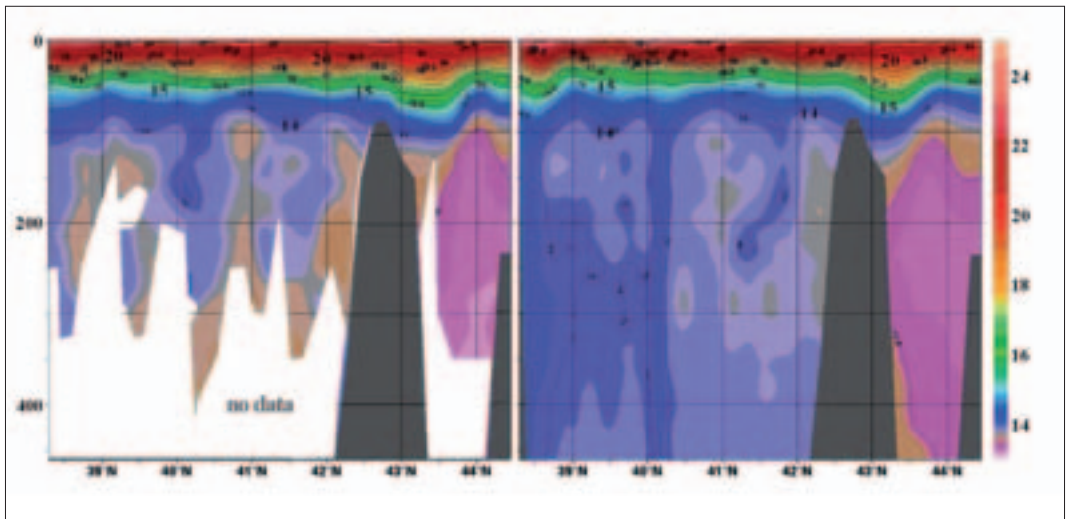


Figura 4. Transetto Genova-Palermo: sezione con profili di temperatura XBT trasmessi con il sistema ARGOS (sinistra) confrontati con i dati a risoluzione piena (destra)

Figure 4. Genoa-Palermo: section with XBT temperature profiles transmitted with the ARGOS system (left) compared with full-resolution data (right).

L'utilizzo dei dati derivanti da boe oceanografiche nei modelli previsionali idrodinamici

Using Data from Oceanographic Buoys in Hydrodynamic Forecasting Models

M. Ravaioli

Istituto di Scienze Marine (ISMAR-CNR)

M. Pastore, A. Guarnieri

Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV), Gruppo Nazionale di Oceanografia Operativa, Sezione di Bologna

V. Cardin, M. Bensi

Istituto Nazionale di Oceanografia e di Geofisica Sperimentale (OGS)

G. Bortoluzzi

Istituto di Scienze Marine (ISMAR-CNR)

R. Bozzano

Istituto di Studi sui Sistemi Intelligenti per l'Automazione (ISSIA-CNR)

P. Focaccia

Istituto di Scienze Marine (ISMAR-CNR)

S. Pensieri

Istituto di Studi sui Sistemi Intelligenti per l'Automazione (ISSIA-CNR)

N. Pinardi

Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV), Gruppo Nazionale di Oceanografia Operativa, Sezione di Bologna

P. Picco

Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo economico sostenibile (ENEA)

A. Russo

Università Politecnica delle Marche (UNIVPM)

G. Stanghellini

Istituto di Scienze Marine (ISMAR-CNR)

Introduzione

Nella nuova frontiera dell'oceanografia moderna relativa alla implementazione di modelli numerici in grado di prevedere lo stato chimico-fisico dei mari, risulta sempre più importante l'utilizzo dei dati raccolti da strumentazioni applicate a sistemi galleggianti ancorati (boe oceanografiche). Tali strumentazioni sono in grado di monitorare in tempo reale e con alta risoluzione temporale di campionamento:

- i principali parametri che descrivono le condizioni fisico-chimiche dell'ambiente marino, quali temperatura, salinità, velocità e direzione della corrente, pH, concentrazione di ossigeno disciolto clorofilla (con tecnica fluorimetrica), Eh, trasparenza, back-scattering;
- parametri meteorologici in prossimità della superficie, dove la dinamica degli scambi energetici fra atmosfera e mare rappresenta una notevole fonte di criticità per le previsioni numeriche.

Naturalmente la capacità di misurare diversi campi di interesse ad alta ed altissima risoluzione temporale compromette la risoluzione spaziale della misura che per la maggioranza dei casi è di tipo puntiforme. Le boe oceanografiche sono solitamente quindi usate per misurare processi oceanografici di tipo verticale, oppure per operazioni di "verità a mare" anche con misure su singoli livelli.

Le Boe Oceanografiche

Le boe ancorate sono fondamentali per il monitoraggio diretto degli ecosistemi, per meglio comprendere le dinamiche energetiche che li caratterizzano e le variazioni climatologiche in atto (Legrand et al., 2003).

Introduction

The implementation of numerical models able to forecast physiochemical sea states is the new frontier of modern oceanography; to do it, the use of data collected by instruments attached to floating anchored systems (oceanographic buoys) is increasingly important. These instruments are able to provide real-time monitoring with high temporal resolution sampling for:

- *The principal parameters describing the physiochemical conditions of a marine environment, such as temperature, salinity, current speed and direction, pH, oxygen saturation, chlorophyll (using fluorescence spectroscopy), ORP, transparency and backscattering;*
- *Meteorological parameters near the surface, where the dynamics of energy exchange between atmosphere and sea represents a noteworthy source of criticality for numerical forecasting.*

Naturally, the capacity to measure various fields at high and very high temporal resolutions compromises the spatial resolution of the measurements, which in the majority of cases is pointlike. Oceanographic buoys are therefore used to measure oceanographic vertical processes or for missions collecting data for a 'snapshot' of the sea state, which may include measurements from single levels.

Oceanographic buoys

Anchored buoys are fundamental for monitoring ecosystems in order to understand better the energy dynamics characterizing them and the on-going climate change (Legrand et al., 2003). In Italy, various independent research institutes, gathered in the National Operational Oceanography Group (GNOO), are responsible for the upkeep and management of the delicate instrumentation utilized on buoys. There are



Figura 1. la boa MAMBO nel golfo di Trieste

Figure 1: The positions of the 5 monitoring sites described in the text.

In Italia, alcuni istituti di ricerca che fanno anche parte del Gruppo Nazionale di Oceanografia Operativa (GNOO), gestiscono e mantengono in funzione nel tempo, le delicate strumentazioni di cui sono dotate le boe. Sono presenti quattro principali siti storici dedicati all'osservazione dello stato del mare: il Golfo di Trieste presso il parco di Miramare, dov'è ormeggiata la boa Mambo (Monitoraggio Ambientale Operativo in gestione all'OGS di Trieste), il sito S1, a sud del delta del Po, dov'è ormeggiata la boa S1 (gestita dal CNR-ISMAR di Bologna), il sito EI a largo di Rimini, la cui boa è gestita sempre dal CNR-ISMAR di Bologna, ed infine la boa ODAS ITALIA I posizionata nel centro del Mar Ligure (con gestione a carico del CNR-ISSIA di Genova e dell'ENEA-CRAM di La Spezia). Da alcuni anni è aggiunta a questa lista anche la boa di monitoraggio denominata E2M3A, localizzata al centro della fossa Sud Adriatica.

La boa MAMBO (Monitoraggio Ambientale Operativo), collocata nel golfo di Trieste al

four principal long-standing locations dedicated to observing the sea state: the Gulf of Trieste near the Miramare reserve, where the Mambo (Monitoraggio Ambientale Operativo) buoy (run by the Trieste OGS) is moored; site S1 south of the Po delta, where buoy S1 (run by CNR-ISMAR in Bologna) is moored; site EI off Rimini, where the buoy is also run by CNR-ISMAR of Bologna; buoy ODAS ITALIA I positioned in the centre of the Ligurian Sea (run by CNR-ISSIA of Genoa and ENEA-CRAM of La Spezia). For some years now also the monitoring E2M3A buoy, located at the centre of the South Adriatic Trench, has been added to this list.

The MAMBO buoy (Monitoraggio Ambientale Operativo), is moored on a 20 m seabed at 45°41.95'N, 13°42.99'E (WGS84) in the Gulf of Trieste by the edge of the Miramare Marine Park. For nine years it has been collecting and transmitting real-time metrological and marine data visible on <http://poseidon.ogs.trieste.it/mambo/>: temperature and salinity are recorded continuously. The buoy is also an ideal laboratory for using advanced instrumentation, such

confine con il Parco Marino di Miramare, è ormeggiata su un fondale di 20 m di profondità nel punto di coordinate 45°41.95'N, 13°42.99'E (WGS84). Da nove anni rileva e trasmette in tempo reale dati meteo-marini visibili sul sito internet <http://poseidon.ogs.trieste.it/mambo/>: temperatura e salinità sono registrati in continuo. La boa è anche un laboratorio ideale per misure di correntometria tramite l'utilizzo di ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler), così come per il monitoraggio della concentrazione di anidride carbonica (CO₂) disciolta. Questa stazione di ricerca è inserita nel sito ALTO Adriatico ed è inoltre incluso fra i siti LTER-Italia (Rete Italiana per le Ricerche Ecologiche di Lungo Termine, <http://www.lteritalia.it/>) e sede di misurazioni biochimiche di varia tipologia che non sono distribuite in tempo reale. Tutta la strumentazione, la ma-

as ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler) for marine currents measurement and instruments for monitoring dissolved carbon dioxide (CO₂) concentration. This research station, inserted in the UPPER Adriatic, is part of the LTER-Italia sites (Italian Network for Long-term Ecological Research, <http://www.lteritalia.it/>) and performs various types of biochemical measurement not distributed in real time. Maintenance, instrumentation management and dissemination of the acquired data are co-ordinated by OGS (National Institute of Geophysics and Experimental Oceanography), Trieste.

The SI buoy, positioned at 44°44.55'N, 12°27.43'E (WGS84), a few miles to the south-east of the Po di Goro mouth in the Po delta, is moored at a depth of 22.5 m. It is the first of two monitoring sites, present along the Emilia-Romagna coast, managed by CNR-ISMAR Bologna, which is responsible



Figura 2. la boa MAMBO nel golfo di Trieste
Figure 2: The MAMBO buoy in the Gulf of Trieste.

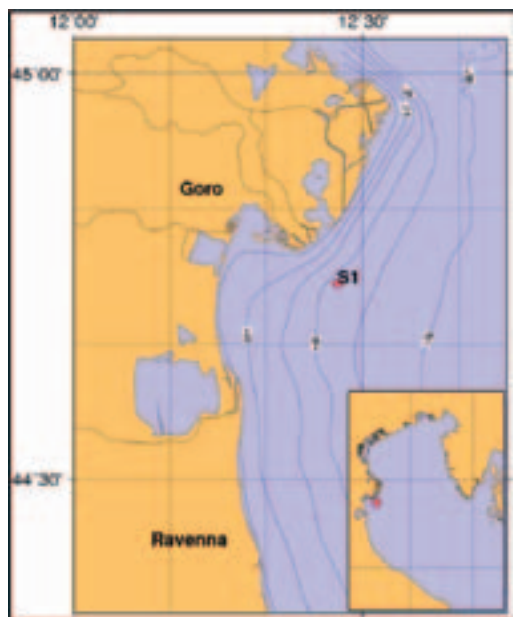


Figura 3 posizione della boa S1 a sud del Delta del Po.
 Figure 3: Position of buoy S1 south of the Po delta.

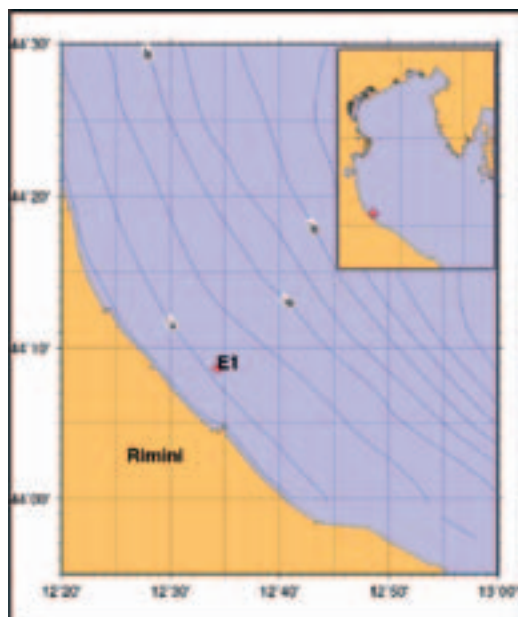


Figura 4: posizione della boa E1 a nord di Rimini.
 Figure 4: Position of buoy E1 north of Rimini.

nutenzione e la diffusione dei dati acquisiti sono coordinati dall'OGS (Istituto Nazionale di Geofisica e Oceanografia Sperimentale) di Trieste.

La BOA-S1, collocata nel punto di coordinate 44°44.55'N, 12°27.43'E (WGS84) poche miglia a sudest della foce del Po di Goro nel Delta del Po e ancorata ad una profondità di 22.5m, è il primo dei due siti di monitoraggio presenti nell'area costiera della Regione Emilia Romagna gestiti dal CNR-ISMAR di Bologna che ne cura manutenzione, ricezione e disseminazione in tempo reale dei dati sul sito internet <http://s1.bo.ismar.cnr.it/>. La boa acquisisce dati meteorologici e dati oceanografici a due livelli di profondità (Bortoluzzi et al., 2006). In particolare, per il comparto atmosferico sono misurate temperatura, pressione, direzione e velocità del vento, umidità relativa e radiazione netta, mentre per quello oceanografico sono acquisiti direzione ed

for maintenance, reception and real-time data dissemination at <http://s1.bo.ismar.cnr.it/> url. The buoy acquires meteorological and oceanographic data at two different depths (Bortoluzzi et al., 2006). In particular, as far as the atmosphere, it measures temperature, pressure, wind speed and direction, relative humidity and net radiation; for oceanography, it measures current direction and intensity, temperature, salinity, oxygen saturation, pH, ORP, turbidity and fluorescence. The site is located in a coastal area dominated by sea-river energy exchange; the local ecosystem is rather sensitive even to the minimal variations in any given environmental component. The site is therefore optimal for studying climate variability in the upper Adriatic, the role of the seabed in local dystrophic processes, sedimentation processes and sediment resuspension in prodelta areas. CNR-ISMAR Bologna manage the multi-parameter E1 buoy situated in the coastal area north of the city of Rimini. Sited at 44°08.60'N

intensità della corrente, temperatura, salinità, ossigeno disciolto, pH, ORP (potenziale di ossido riduzione), torbidità e fluorescenza. Il sito è collocato in un'area costiera dominata dagli scambi energetici fra fiume e mare; qui l'ecosistema è assai sensibile anche alla minima variazione di ciascuna componente ambientale. Il sito è pertanto ottimale per studi sulla variabilità climatica dell'alto Adriatico, sul ruolo dei fondali nei processi distrofici locali, sui processi di sedimentazione e risospensione del sedimento in area di prodelta.

Nell'area costiera, poco a nord della città di Rimini, il CNR-ISMAR di Bologna gestisce la boa multi-parametrica denominata EI. Ubicata a 44°08.60'N e 12°34.26'E (WGS84) e ancorata ad una profondità di 10.5 metri, questa stazione acquisisce, identicamente alla SI, temperatura, pressione, direzione e velocità del vento, umidità relativa e radiazione netta per il comparto meteorologico, direzione-velocità della corrente, temperatura, salinità, O₂ disciolto, pH, ORP, torbidità e fluorescenza per il comparto marino. La sua posizione la rende rappresentativa per un ampio tratto di zona costiera, fra Rimini ed Ancona, e viene impiegata in particolar modo in azioni di monitoraggio al fine di limitare gli episodi ipo-anossici che in passato hanno spesso caratterizzato questo settore litoraneo. I dati rilevati automaticamente ad alta frequenza temporale sono resi disponibili in tempo reale sul sito internet dedicato <http://el.bo.ismar.cnr.it/>.

Le boe SI, EI sono stazioni di ricerca del sito ALTO Adriatico, sopra citato.

Il sito E2M3A si trova nel centro della fossa Sud Adriatica (41°48.00'N, 17°43.00'E) in una zona considerata tra le principali aree di formazione di acque dense nel Mediterraneo. La dinamica oceanografica di quest'area è dominata da una circolazione di tipo ciclonico semi-permanente

e 12°34.26'E (WGS84) and moored at the depth of 10.5 m, this station – identically to SI – records temperature, pressure, wind speed and direction, relative humidity and net radiation for the meteorology and current velocity and direction, temperature, salinity, oxygen saturation, pH, ORP, turbidity and fluorescence for oceanography. Due to its position it is representative for a wide stretch of the coast between Rimini and Ancona. This buoys especially used for a monitoring, aimed at limiting hypoxic and anoxic episodes which in the past have often characterized this part of the coast. Data are automatically recorded at a high temporal resolution and are available on a dedicated website: <http://el.bo.ismar.cnr.it/>.

Amongst the above mentioned LTER-Italia sites, SI and EI Buoys are research stations included in the UPPER Adriatic site.

Site E2M3A is situated in the centre of the South Adriatic Trench (41°48.00'N, 17°43.00'E), one of the principal dense-water formation sites in the Mediterranean. The oceanographic dynamics of this area are dominated by a semi-permanent cyclonic circulation which increases in winter and creates the conditions for producing dense water with an high oxygen saturation due to atmospheric interaction. Afterwards dense water are sinking to approximately 600-800 m (Cardin et al., 2010) and transferred to the rest of the Mediterranean through the Strait of Otranto by thermohaline circulation. This marine observatory is part of the European network of ocean observatories foreseen by the EuroSITES project. Real-time data collected are made available at http://nettuno.ogs.trieste.it/eurosites/Real_time.html.

Buoy W1-M3A ODAS ITALIA 1 is moored in the centre of the Ligurian Sea (43°50.69'N, 9°7.59'E in the Sea Cetacean Sanctuary area) at a depth of 1300 m. It is managed and maintained by CNR-ISSIA (Genoa) and ENEA-CRAM (La Spezia) (Nittis et al., 2007; Picco et al., 2007). Also this site is included in

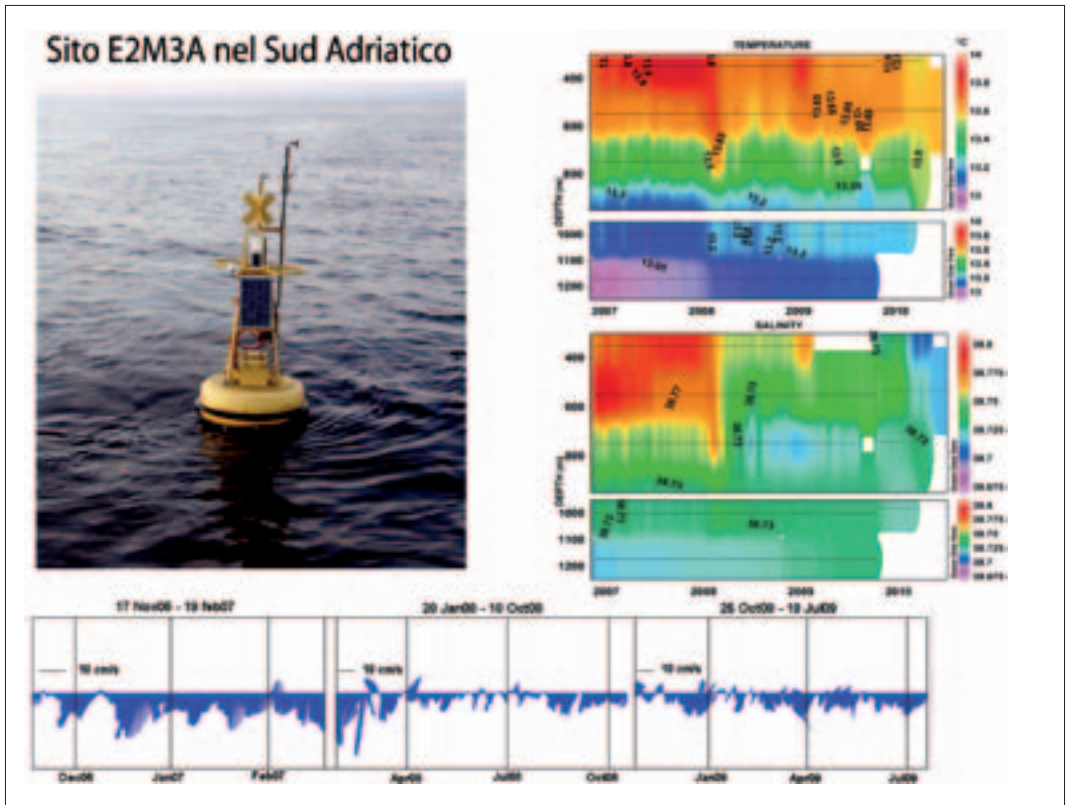


Figura 5: la boa E2M3A, profili verticali di temperatura e salinità e dati di corrente registrati a 1196 db (AAnderaa RCM).
 Figure 5: Buoy E2M3A; vertical temperature, salinity and current data profiles recorded at 1196 db (AAnderaa RCM).

che si intensifica nella stagione invernale creando i presupposti per la produzione di acque dense ad alto contenuto di ossigeno disciolto legato all'interazione con l'atmosfera e al successivo sprofondamento a profondità elevate (circa 600-800 m) (Cardin et al., 2010). Queste acque sono quindi trasferite al resto del Mediterraneo attraverso lo stretto di Otranto per mezzo della circolazione termalina. Questo osservatorio marino fa parte della rete europea di osservatori oceanici previsti nell'ambito del progetto EuroSITES. I dati acquisiti in tempo reali sono messi a disposizione nel sito: http://nettuno.ogs.trieste.it/eurosites/Real_time.html

Nel centro del Mar Ligure, in corrispondenza della zona denominata "Santuario

the EuroSites European network of ocean observatories (Lampitt et al., 2008). Amongst the real-time data collected and transmitted to the internet ([url: http://www.odas.ge.issia.cnr.it](http://www.odas.ge.issia.cnr.it)) are: temperature, pressure, radiation and precipitation for meteorological research, and temperature, current speed and direction (all at various depths) for oceanographic research. This sampling allows monitoring of parameter variability at all time scales in an ecosystem of particular importance and sensitivity for marine life, where sea-atmosphere energy exchange phenomena are particularly intense.

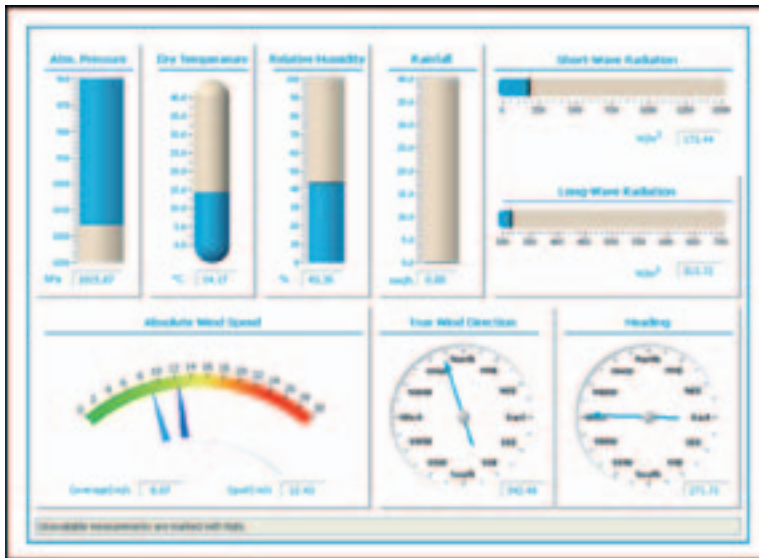


Figura 6: la boa ODAS-ITALIA1 nel mar Ligure e il pannello riassuntivo dei dati meteorologici distribuiti in tempo reale.

Figure 6: The ODAS-ITALIA1 buoy in the Ligurian Sea and the panel summarizing the real-time meteorological data distributed.

dei Cetacei” alla profondità di 1300m, è ancorata la boa WI-M3A ODAS ITALIA I (coordinate 43°50.69’N, 9°7.59’E) la cui gestione e manutenzione è coordinata da CNR-ISSIA di Genova e da ENEA-CRAM di La Spezia (Nittis et al., 2007; Picco et al., 2007). Anche questo sito è inserito nella rete europea di osservatori oceanici previsti nell’ambito del progetto EuroSITES (Lampitt et al., 2008). Fra i dati acquisiti e trasmessi in tempo reale sul sito internet <http://www.odas.ge.issia.cnr.it> si annoverano temperatura, pressione, irraggiamento e precipitazione per il comparto meteo, temperatura, direzione e velocità della corrente per il comparto oceanografico a vari livelli di profondità. Il campionamento consente il monitoraggio della variabilità dei parametri a tutte le scale temporali in un ecosistema

Hydrodynamic forecasting models

Operational oceanography has been undergoing a rapid process of evolution in recent years, by developing computerized mathematical models for predicting and simulating the variability of the physical and biochemical states of the sea, **as it was done in the past for weather forecasting** (Pinardi et al., 2003; Oddo et al., 2009; Pinardi and Coppini, 2010). Data supplied by oceanographic buoys are fundamental for improving forecast quality. These data have two principal applications in modeling: validating forecasts by comparing models with real data and assimilating real data into models. In the former case, statistical quality indices can be calculated, allowing estimation of the forecast accuracy; in the latter, data are used to correct the initial model conditions for

particolarmente importante e sensibile per la vita marina e dove sono particolarmente intensi i fenomeni di interazione energetica fra atmosfera e mare.

I modelli previsionali Idrodinamici

L'oceanografia operativa sta evolvendo velocemente in questi ultimi anni nel mettere a punto dei modelli matematici computerizzati che possano predire e simulare la variabilità dello stato-fisico e biochimico dei mari, alla stregua di quanto fatto nei decenni passati per le previsioni meteorologiche (Pinardi et al., 2003; Oddo et al., 2009; Pinardi and Coppini, 2010). I dati forniti dalle boe oceanografiche risultano fondamentali nel miglioramento continuo della qualità delle previsioni. In particolare, due sono le principali applicazioni in modellistica: la validazione delle previsioni mediante confronto fra il modello ed il dato reale e l'assimilazione del dato reale nel modello. Nel primo caso, si possono calcolare degli indici statistici di qualità che consentono di valutare l'accuratezza delle previsioni; nel secondo caso il dato va a correggere direttamente la condizione iniziale del modello, in una regione nell'intorno del dato stesso. Quest'ultimo caso non è stato ancora sviluppato per le boe oceanografiche in quanto i dati sono di recente disponibilità e le tecniche specifiche da usarsi per il loro inserimento nel modello idrodinamico ancora da valutare appieno. Ad esempio, da anni i dati della boa SI sono utilizzati per validare il modello AREG del sistema di previsioni dell'Adriatico del GNOO (AFS <http://gnoo.bo.ingv.it/afs>) (Guarnieri et. al, 2008) mediante il confronto di temperatura, salinità e correnti nell'ambito del progetto ADRI-COSM (<http://gnoo.bo.ingv.it/adricosm-partnership/>). Anche i dati forniti dalla boa

the region where data has been measured. This has not yet been developed for oceanographic buoys, as their data have only recently become available, and the specific techniques to be used to insert them into hydrodynamic models have yet to be fully worked out. For models validation, however, data from buoy SI have for years been used to validate the AREG model of GNOO's Adriatic forecasting service (AFS – <http://gnoo.bo.ingv.it/afs>) (Guarnieri et. al, 2008) by comparing temperature, salinity and currents under the aegis of the ADRICOSM project (<http://gnoo.bo.ingv.it/adricosm-partnership/>). The data supplied by buoy W1-M3A about temperatures recorded at 0, 6, 12, 20, 29 and 36 metres are also used to validate the forecasts of the MFS model (Mediterranean Forecasting System - <http://gnoo.bo.ingv.it/mfs/myocean>) as part of the European MyOcean project (<http://www.myocean.eu.org/>). Quality indices are typically based on calculations of bias and mean squared error (Tonani et al., 2009). Buoy EI, located near the Rimini coast, on the other hand, supplies data required for validating the ROMS model. This model is aimed for forecasting anomalous O₂ levels linked to possible episodes of hypoxia and anoxia (Russo et al., 2009). By subtracting from the model forecast the mean bias calculated from real-time data received from the buoy in the previous ten days, we obtain a clear improvement in 3-day forecasts of bottom hypoxia in the Rimini area.

Conclusion

Fixed measuring stations and oceanographic buoys are fundamental for following and understanding the evolution of the marine environment. This is particularly important in coastal areas, which are characterized by greater variability over time of environmental parameters and by higher vulnerability, given the delicate

WI-M3A relativamente alla temperatura misurata a 0,6,12,20,29 e 36 metri sono utilizzati per validare le previsioni del modello previsionale MFS (Mediterranean Forecasting System, <http://gnoo.bo.ingv.it/mfs/myocean>), all'interno del progetto europeo MyOcean (<http://www.myocean.eu.org/>). Gli indici di qualità sono basati tipicamente sul calcolo della differenza (bias) e dell'errore quadratico medio (Tonani et al., 2009). La boa EI, situata in prossimità della costa riminese, fornisce invece dati necessari alla validazione del modello ROMS, finalizzato alla previsione di livelli anomali di O₂ collegati a possibili episodi di ipo-anossia (Russo et al., 2009). Sottraendo alle previsioni prodotte dal modello il Mean Bias calcolato in base ai dati trasmessi in tempo reale dalla boa nei dieci giorni precedenti, si ottiene anche un netto miglioramento della previsione a 3 giorni delle ipossie sul fondo nell'area di Rimini.

Considerazioni conclusive

Stazioni di misura fisse o boe oceanografiche sono fondamentali per seguire e comprendere l'evoluzione dei cambiamenti dell'ambiente marino, soprattutto nelle aree costiere, che sono caratterizzate da maggiore variabilità nel tempo dei parametri ambientali e dalle più elevate vulnerabilità, visto il delicato equilibrio qui esistente fra fattori ambientali, gestionali e socio-economici.

Il loro utilizzo per la validazione dei modelli idrodinamici di previsione è ad uno stadio avanzato di sviluppo in Italia e dimostra l'importanza di questo sistema di monitoraggio per il costituendo sistema europeo e mondiale di osservazione dell'oceano e dei mari. Inoltre, gli stessi modelli necessitano di dati campionati e distribuiti in tempo



balance that exists between environmental, management and socio-economic factors.

Their use in validating hydrodynamic forecasting models is at an advanced stage of development in Italy and demonstrates the importance of this type of monitoring system for the European and worldwide sea and ocean observation systems that are being formed. Furthermore, models themselves need real-time distribution of sampled data for correcting forecasting fields using data assimilation methods, which are necessary if the goal is the improvement of forecasts quality.

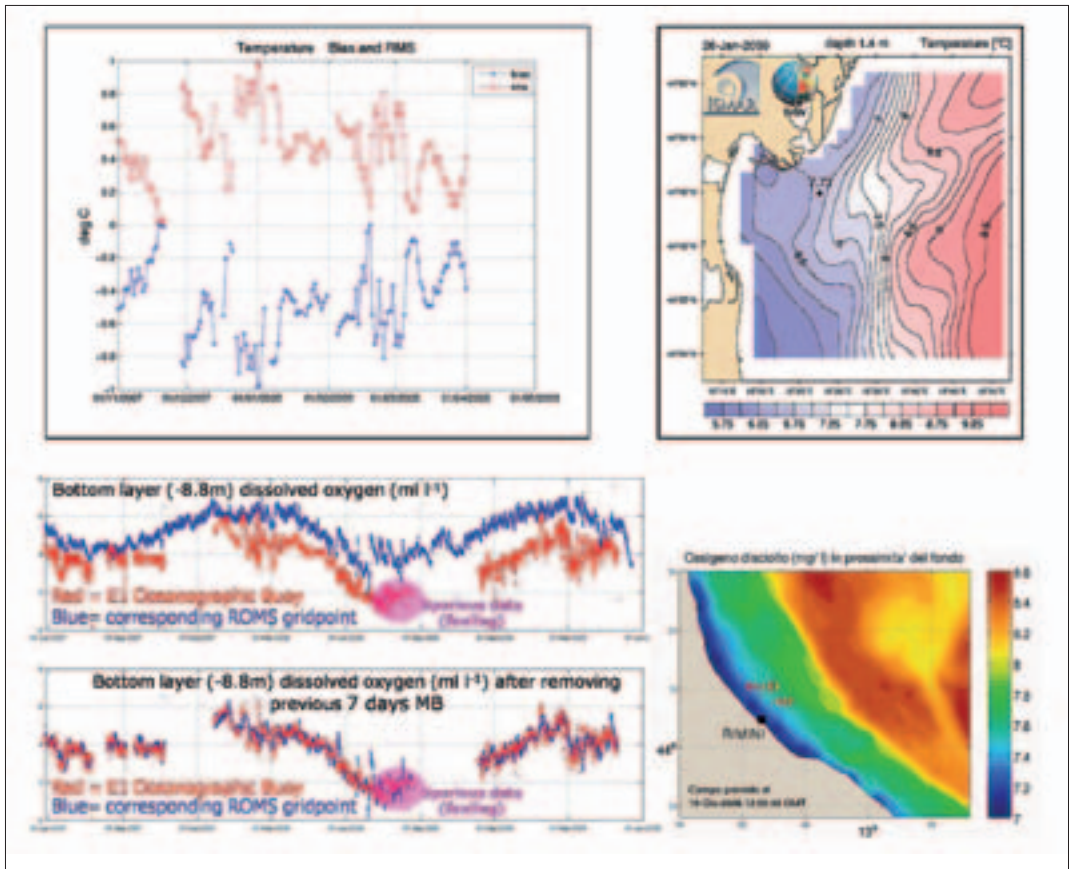


Figura 7 : Esempio di rappresentazioni grafiche per il confronto tra la boe (WI-M3A,SI,EI) ed i modelli (MFS,AFS,ROMS, rispettivamente).In alto a sinistra: indici di qualità calcolati come errore quadratico medio e differenza tra i valori di temperatura della boe WI-M3A ed il modello MFS, in alto a destra campo di temperatura dal modello AFS e valori di temperatura misurati dalla boe SI. In basso a sinistra confronto fra il dato di ossigeno disciolto registrato dalla boe EI e quello previsto dal modello ROMS senza e con sottrazione del bias medio registrato negli ultimi 7 giorni. In basso a destra, campo di O₂ disciolto previsto dal modello ROMS e posizione della boe EI.

Figure 7: An example of graphic representations of the comparison between buoys (WI-M3A, SI, EI) and models (MFS, AFS, ROMS respectively). Top left: quality indices calculated as mean squared error and difference between temperature values from buoy WI-M3A and the MFS model. Top right: temperature field from the AFS model and temperature values measured by buoy SI. Bottom left: comparison between oxygen saturation data recorded by buoy EI and oxygen saturation forecast by the ROMS model with and without subtraction of the mean bias recorded in the last 7 days. Bottom right: Oxygen saturation field forecast by the ROMS model and the position of buoy EI.

reale anche per la correzione dei campi di previsione nell'ambito di quelli che sono definiti processi di assimilazione dei dati, i quali sono necessari al continuo miglioramento delle capacità previsionali.

Lo sviluppo tecnologico sta già puntando, anche a livello europeo, a rendere possibile la misura automatizzata di altre variabili di stato del sistema marino, con particolare attenzione al monitoraggio della qualità delle acque (balneazione, salute pubblica, sicurezza alimentare, protezione dell'ambiente), del cambiamento climatico e alla sua comprensione. La presenza della rete di stazioni fisse e delle boe oceanografiche, già pronte ad ospitare i futuri sensori e a diffonderne in tempo reale le misure, faciliterà notevolmente l'introduzione, sperimentazione e implementazione di queste nuove tecnologie, nonché il rapido utilizzo dei nuovi dati in un contesto sempre più ampio.

Also at the European level, the technological development is already evolving to make possible the automatic measurement of other sea state variables, with particular attention for monitoring water quality (swimming, public health, food safety, environmental protection) and monitoring and understanding climate change. The presence of a network of fixed stations and oceanographic buoys, already ready to host new sensors and to transmit their findings in real time, will make it easier the introduction, experimentation and implementation of these new technologies, as well as the rapid use of the new data in a wider context.

Bibliografia

- Bortoluzzi G., Frascari F., Giordano P., Ravaioli M., Stanghellini G., Coluccelli A., Biasini G. and Giordano A., The SI Buoy station, Po-River Delta: data handling and presentation, 2006, *Acta Adriatica*, 47(Suppl):113-131.
- V. Cardin, M. Bensi, M. Gacic, 2010. "Deep Ocean Observing System over middle and long time scale: The E2M3A site in the southern Adriatic". In *Proceedings of OceanObs'09: Sustained Ocean Observations and Information for Society (Annex)*, Venice, Italy, 21-25 September 2009, Hall, J., Harrison, D.E. & Stammer, D., Eds., ESA Publication WPP-306.
- Guarnieri, A.; Oddo, P.; Bortoluzzi, G.; Pastore, M.; Pinardi, N.; Ravaioli, M.: "The Adriatic Basin Forecasting System: new model and system development", 2008, Dahlin, H.; EuroGOOS, Conference Papers.
- R. S. Lampitt, K. E. Larkin, S. E. Hartman, M. R. Pagnani, D. S. M. Billett, C. Berndt, V. Huehnerbach, S. Østerhus, K. Nittis, V. Lykousis, G. Petihakis, V. Cardin, F. Brunetti, R. Bozzano, S. Pensieri, D. Wallace, J. Karstensen, L. Cotrim da Cunha, I.G. Priede, A. Holford, L. Coppola, C. Tamburini, D. Lefeuvre, S. Pouliquen, T. Carval, S. Ghiron, O. Llinás-González, A. Cianca, O. Melicio, C. Santos, P. Silva, M. González-Dávila, M. Santana-Casiano, EuroSITES: Integrating Europe's deep ocean observatories from the ocean interior to the seafloor and subseafloor, *Geophysical Research Abstracts*, Vol. 10, EGU2008-A-08764, 2008, Vienna, Austria.

- J. Legrand, M. Alfonso, R. Bozzano, G. Goasguen, H. Lindh, A. Ribotti, I. Rodrigues, C. Tziavos, "Monitoring the Marine Environment Operational Practices in Europe," in Building the European Capacity in Operational Oceanography, Proceedings of the 3rd Int. Conference on EuroGOOS, Elsevier, 2003, pp. 304-310.
- K. Nittis, C. Tziavos, R. Bozzano, V. Cardin, Y. Thanos, G. Petihakis, M.E. Schiano, and F. Zanon, "The M3A multi-sensor buoy network of the Mediterranean Sea," *Ocean Science*, Vol. 3, 229-243, 2007.
- Oddo, P., M. Adani, N. Pinardi, C. Fratianni, M. Tonani, D. Pettenuzzo, 2009. "A Nested Atlantic-Mediterranean Sea General Circulation Model for Operational Forecasting" *Ocean Sci.*, 5, 461-473.
- P. Picco, R. Bozzano, M. E. Schiano, A. Bordone, M. Borghini, G. Di Nallo, S. Pensieri, A. Schirone, S. Sparnocchia, "Marine Observing System from fixed platform in the Ligurian Sea", *Bollettino di Geofisica Teorica ed Applicata*, Trieste, Settembre 2007, Vol 48 n.3, pp. 227-239.
- Pinardi, N., I. Allen, E. Demirov, P. De Mey, G. Korres, A. Lascaratos, P.-Y. Le Traon, C. Maillard, G. Manzella, C. Tziavos "The Mediterranean ocean Forecasting System: first phase of implementation (1998-2001)", *Annales Geophysicae*, 21: 3-20 (2003).
- Pinardi, N. and G. Coppini, 2010. "Operational oceanography in the Mediterranean Sea: the second stage of development" *Ocean Sci.*, 6, 263-267.
- Russo, A., A. Coluccelli, I. Iermano, F. Falcieri, M. Ravaioli, G. Bortoluzzi, P. Focaccia, G. Stanghellini, C.R. Ferrari, J. Chiggiato e M. Deserti (2009). An operational system for forecasting hypoxic events in the northern Adriatic Sea. *Geofizika*, 26(2), 191-213.
- Tonani, M., N. Pinardi, J. Pistoia, S. Dobricic, S. Pensieri, M. de Alfonso, and K. Nittis, 2009. "Mediterranean Forecasting System: forecast and analysis assessment through skill scores" *Ocean Sci.*, 5, 649-660.

In ricordo di Volfango

Remembering Volfango

V. Artale
ENEA

E' facile immaginare quanto sia difficile per me scrivere questo articolo, anche se sono passati diversi mesi, è ancora viva la sensazione di tremenda incredulità, è ancora forte il dolore per una perdita impossibile da assorbire e metabolizzare.

Sono sinceramente immobilizzato nel decidere una qualsiasi azione che mi sproni a prendere in mano tutte le numerose attività scientifiche che Volfango portava avanti, e dargli così continuità, come immagino lui avrebbe tanto desiderato.

Per cui ringrazio gli organizzatori di questa conferenza che mi stanno obbligando a rimuovere l'evento ed a iniziare una elaborazione costruttiva del contributo scientifico di Volfango all'interno del settore dell'oce-

It may easily be imagined how difficult it is for me to write this article. Although few years have passed, it is still difficult to believe the loss that has occurred, a loss that still causes pain and cannot be absorbed or metabolized.

I am truly immobilized when I try to decide to do anything that would make me take in hand all the numerous scientific activities that Volfango was involved with and continue with them, as I imagine he would have so desired.

I would therefore like to thank the organizers of this conference for forcing me to move past what has happened and begin a constructive elaboration of Volfango's scientific work in physical oceanography in general and operational oceanography more specifically.



Volfango Rupolo: Autoritratto I. Olio su tela 60 x 60
Volfango Rupolo: Self-portrait I. Oil on canvas 60 x 60

anografia fisica e più specificatamente di quello dell'oceanografia operativa.

I. La formazione

Volfango venne a chiedermi la tesi, forse agli inizi del 1990 o forse prima non ricordo bene. Il suo desiderio era quello di occuparsi di argomenti che avrebbero richiesto un uso massiccio del calcolo numerico, anzi semplicemente del “calcolatore”. Era affascinato da questo straordinario “strumento”, con cui in seguito avrebbe sviluppato un rapporto di amore-odio complesso ed appassionato. Chissà da dove gli proveniva tale attrazione: solo ora provo a fare alcuni accostamenti ed azzardare qualche ipotesi. Anche se a livello personale lo conoscevo poco, comunque qualcosa nel tempo ho intuito della sua infanzia. Credo che fosse un bambino, come molti di noi, introverso e con delle straordinarie capacità di “calcolo”: faceva a mente dei conti pazzeschi, qualità che si poteva riscontrare ancora adesso quando lavoravamo insieme. Inoltre gli ho sempre riconosciuto una intelligenza analitica veramente fuori del comune; era impossibile non intravedere in lui indubbi elementi se non di “genialità” almeno di “straordinarietà”, anche se personalmente sono propenso più sul primo elemento. Ho sempre temuto i suoi giudizi e spesso me ne sono avvalso, perchè il più delle volte ci prendeva. È difficile sostituirlo.

All'inizio stabilimmo un rapporto di straordinaria intesa, tanto che seguì i miei consigli cambiando il suo piano di studio, includendo degli esami particolari che a mio avviso gli sarebbero stati utili per la sua futura carriera scientifica. È impossibile non ricordare il travaglio passato per seguire il mitico ma faticoso corso di Meccanica dei Fluidi del Prof. Gallavotti, un fisico matematico

I. The education

Volfango asked to me to be the supervisor for his dissertation in early 1990, or perhaps a little earlier; I no longer remember exactly. He wanted to work on subjects requiring a massive use of numerical analysis – or, quite simply, of a computer: he was fascinated by this ‘tool’, with which he was to develop a complex and impassioned love-hate relationship. I do not know where this interest was born I can only speculate. At the time I hardly knew him on a personal level, but with time I began to have some idea about his childhood. I believe he was a child who – like many of us – was rather introverted but with an extraordinary ‘computation’ ability. He did the most remarkable calculus in his head, and would continue to do so when we worked together. I always saw in him too an analytical intelligence that was truly out of the ordinary: it was impossible not to see in him elements that were at the very least extraordinary, if not of genius – and I would personally tend more to suggesting the latter! I was always in awe of his judgements, and I often made use of them, as most of the time he hit the nail on the head. Finding another like him will be difficult.

We established from the very beginning an extraordinarily intense relationship, to the point where he followed my advice and changed his study plan to include particular exams I thought would be useful for his future scientific career. I will never forget the huge amount of work he did during the legendary but very difficult course on Fluid Mechanics given by Professor Giovanni Gallavotti, one of the best mathematical physicists of the last few decades. That exam, I believe, shaped him significantly.

In those years I was beginning to work a lot on numerical modelling, and my contact with students was above all in my course and seminars in collaboration with Ettore Salusti at the Uni-

dei più geniali degli ultimi decenni. Penso che quell'esame l'abbia formato in modo significativo.

Erano quelli gli anni in cui stavo iniziando ad occuparmi fortemente di modellistica numerica e il mio contatto con gli studenti avveniva soprattutto all'interno dei corsi e seminari che tenevo presso l'Università di Roma in collaborazione con Ettore Sallusti e Volfango era uno di questi studenti. Alla fine la tesi che scelse riguardava l'analisi di dati lagrangiani (drifter) e lo studio della circolazione del Mar Tirreno all'interno dell'esperimento TEMPO in cui era coinvolta una parte significativa dell'oceanografia europea. Scoprimmo la stabilità del vortice a Nord di Bonifacio, le sue caratteristiche dinamiche e le proprietà turbolente e diffusive del bacino in generale, applicando tecniche frattali allora molto di moda in collaborazione con Antonello Provenzale. Volfango durante il periodo di tesi sviluppò tanto di quel materiale, che una singola tesi difficilmente poteva contenere, il peggio (o il meglio) è che ne continuava a produrre sempre di nuovo. Alla fine dopo una lotta furibonda, riuscii a fargli scrivere definitivamente la tesi nel 1993, che ovviamente andò molto bene.

2. I risultati scientifici

2.1 Le leggi della diffusione lagrangiana.

Già al tempo della tesi era già inserito in progetti internazionali come il progetto TAO dell'ESF, nel 1994 decise così di partire per Brest per lavorare con Li Hua, dove ottenne anche il D.E.A. all'Università de Bretagne Occidentale. Da questa permanenza nacque uno tra i suoi migliori lavori (Rupolo et al., 1996). Questo studio analizzava tutte le boe lagrangiane, allora disponibili, poste a 700 m di profondità. Tra i tanti risultati

iversity of Rome, and Volfango was one of those students. The dissertation he chose to write was on the analysis of Lagrangian data (drifters) in relationship with the study of circulation in the Tyrrhenian Sea as part of the TEMPO experiment, in which a significant amount of European oceanographers were involved. We discovered the stability of the eddy to the north of Bonifacio and its dynamic characteristics, as well as the general turbulence and diffusion properties of the basin, applying fractal techniques that were very fashionable at that time in collaboration with Antonello Provenzale. Whilst he was working on his dissertation Volfango came up with so much material that it would have been difficult for a single dissertation to contain it all; unfortunately (or, rather, fortunately!), he continued to come up with more and more, until after a furious struggle I finally managed to get him to write his dissertation in 1993. Unsurprisingly, it was a great success.

2. Scientific results

2.1 Laws of Lagrangian diffusion

Volfango was already part of international projects such as the ESF's TAO, and in 1994 he decided to leave for Brest to work with Li Hua, where he obtained his DEA at the University of Western Brittany. One of his best works was produced by his time there (Rupolo et al., 1996). This work analysed all the Lagrangian buoys situated at a depth of 700 m then available. The result of this work – one of its many results – I would like to mention here is one of the form (which we may describe as universal) of the Lagrangian spectrum with three different characteristic gradients. Starting from the lowest frequency, the spectrum identifies the so-called saturation phase typical of diffusion law for a particle in a homogenous stationary

di quel lavoro, il più rilevante che mi sento di indicare, è quello relativo alla forma, che potremmo definire universale, dello spettro lagrangiano con tre differenti pendenze caratteristiche. Partendo dalle frequenze più basse, lo spettro individua la cosiddetta fase di saturazione tipica della legge di diffusione di una particella in un fluido omogeneo e stazionario (Taylor, 1921), che va dalla frequenza più bassa fino a circa $30 T_L$ (T_L è il tempo di decorrelazione lagrangiano), dopo si osserva una pendenza intermedia con $\alpha=0.25$ fino a $2-4 T_L$ e l'ultima molto pendente con $n \geq 3$ per le frequenze più alte. Le tre fasi hanno una corrispondente spiegazione in termini di dinamica oceanografica. Ossia la fase di saturazione corrisponde a quella in cui ormai la particella non ha più memoria delle condizioni iniziali e risente solamente della grande scala, invece quella intermedia, forse la più interessante, è determinata dalle strutture coerenti (vortici, fronti, etc...) che la particella intercetta lungo il suo percorso, infine quella iniziale iperdiffusiva (o balistica) è quella fortemente condizionata dalle condizioni iniziali. Nel 1996, tornato a Roma perchè assunto in ENEA, incominciò ad occuparsi sia di modellistica numerica che di analisi lagrangiana. È in quest'ultimo campo che ha raggiunto il massimo di creatività e di successo e sicuramente il suo lavoro, abbastanza recente del 2007, ne è l'esempio più completo e significativo. In questo scritto Volfango individua l'utilità del rapporto tra la scala temporale dell'accelerazione e quella della velocità delle traiettorie lagrangiane per classificare queste traiettorie, in quattro classi omogenee, sostanzialmente in funzione delle loro proprietà di correlazione e dispersione (vedi figura 2). Tale classificazione è meglio nota come *trajectories taxonomy*.

fluid (Taylor, 1921), which runs from the lowest frequency up to about $30 T_L$ (T_L is the Lagrangian decorrelation time); there is then an intermediate gradient with $\alpha=0.25$ up to $2-4 T_L$, and the last gradient is very steep with $n \geq 3$ for the highest frequencies. These three phases have corresponding explanations in terms of oceanographic dynamics. The saturation phase corresponds to the phase in which the particle no longer has any memory of its initial conditions and is only affected by the larger scale; the intermediate phase (perhaps the most interesting) is determined by coherent structures (eddies, fronts etc.) that the particle meets as it travels; finally the initial hyperdiffusive (or ballistic) phase is that part of the spectrum highly conditioned by the initial conditions.

In 1996, back in Rome to work for ENEA, Volfango started to work on both numerical modeling and Lagrangian analysis. It was in the latter field that he achieved the pinnacle of creativity and success, and his rather recent 2007 work is undoubtedly the fullest and most important example. In this, he identified the utility of the relationship between the time scale of acceleration and that of the velocity of Lagrangian trajectories, and classified these trajectories into several homogenous classes basically according to their correlation and dispersion properties (see Figure 2). This classification is better known as trajectories taxonomy.

*This work clearly highlights the role of consistent structures in defining time scales for the diffusion of, for example, a tracer, as well as developing methods of Lagrangian analysis for identifying the average trend of ocean currents (see Figure 3). This work had a high international impact, and Volfango came to be included amongst the most innovative researchers in the field of Lagrangian analysis. His ideas and stimulating discussions also greatly contributed to the success of numerous European projects. The one that he liked the most was undoubtedly TRACMASS (**T**racing water **M**asses in the*

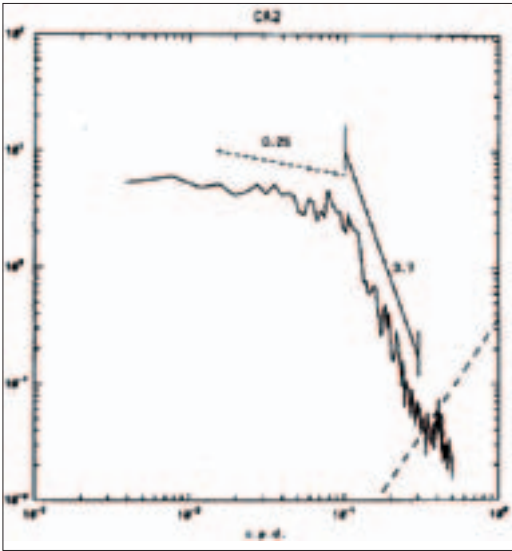


Figura 1
Figure 1

Il lavoro pone fortemente in evidenza il ruolo delle strutture coerenti nel definire le scale temporali della diffusione, per esempio di un tracciante, e sviluppa metodi di analisi lagrangiana per individuare ed analizzare l'andamento medio delle correnti oceaniche (vedi Figura 3). Questi lavori hanno avuto una elevata risonanza internazionale includendolo tra i ricercatori più innovativi nel campo dell'analisi lagrangiana. Inoltre le sue idee e stimolanti discussioni hanno contribuito non poco al successo di numerosi progetti europei. Quello a cui sicuramente era maggiormente affezionato è **TRACMASS** (**TRAC**ing water **MASS**es in the North Atlantic and the Mediterranean); comunque ricorderei anche i suoi contributi ai progetti Sinapsi e Ambiente Mediterraneo, in cui ha sviluppato delle parametrizzazioni dei processi di diffusione e soprattutto la diagnostica lagrangiana applicata agli OGCM come discusso anche sopra.



Figura 2
Figure 2

North Atlantic and the Mediterranean), but I would also like to mention his contributions to the Sinapsi and Ambiente Mediterraneo national projects, within which he developed parameterization of diffusion processes as well as – above all – Lagrangian diagnostics applied to the OGCM, as also mentioned above.

2.2 Applications for Operational Oceanography.

At the end of the 1990s, Volfrango brought his massive scientific expertise to the field of 'Lagrangian diagnostics for operational oceanography' and gave a relevant contribution to the project co-ordinated by Nadia Pinardi, MFSTEP (Mediterranean Forecasting System).

Like meteorological forecasting, oceanographic forecasting requires an efficient in-situ measuring network in order to be able to then assimilate measurements into a numerical oceanographic model. Lagrangian measurements are particularly effective for real-time tracking of tracer diffusion, whether of Saharan dust or oil spills. Volfrango developed a methodology and

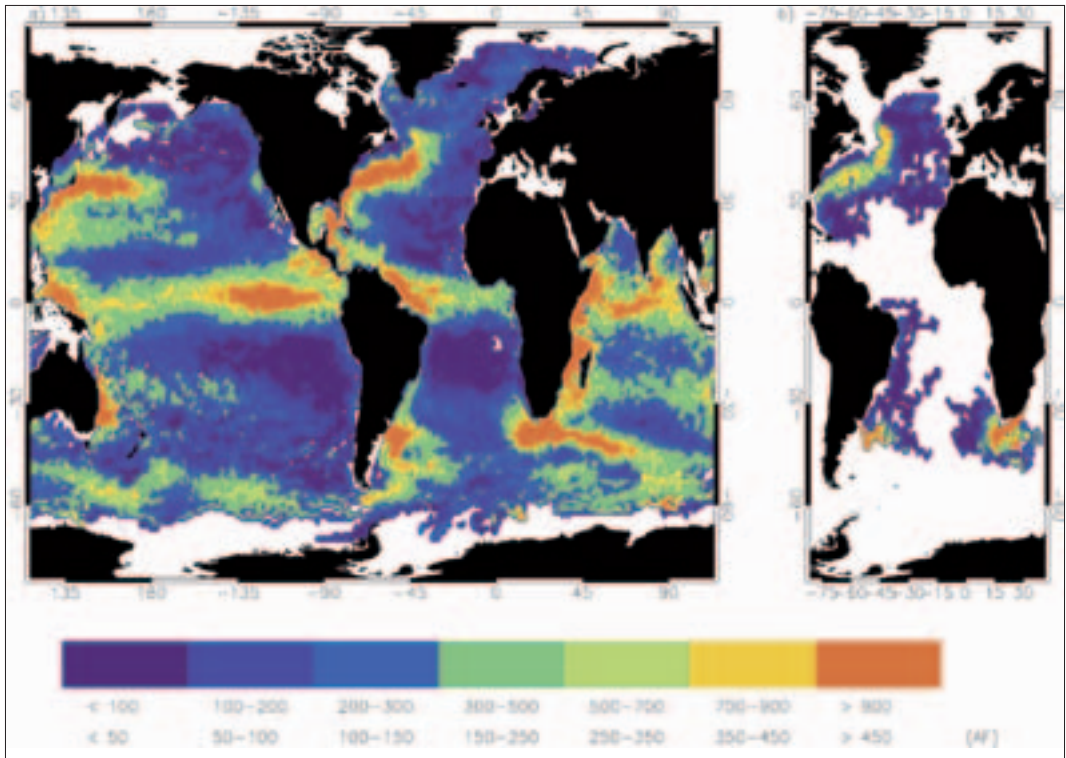


Figura 3 Distribuzione spaziale dell'Energia cinetica lagrangiana e tempo di decorrelazione.

Figure 3 Spatial distribution of kinetic Lagrangian energy and its decorrelation time.

2.2 Applicazioni all'oceanografia operativa.

Con un bagaglio di enorme conoscenza alla fine degli '90 ecco comparire finalmente la sua passione scientifica per "la diagnostica lagrangiana ai fini dell'oceanografia operativa" ed il suo conseguente contributo al progetto coordinato da Nadia Pinardi MFSTEP (Mediterranean Forecasting System).

Similmente alla previsione meteorologica, quella oceanografica richiede una rete efficiente di misure in situ da poter poi assimilare in un modello numerico oceanografico, tra queste le misure lagrangiane sono particolarmente efficaci per tracciare in tempo reale la diffusione di traccianti, dalle polveri sahariane all'oil spil. Volfango ha sviluppato una metodologia ed una procedura, facile da usare anche via web per

procedure that was easy to use on the web to compute various Lagrangian parameters, amongst which, for example, were probability distribution maps for dispersion. Trajectories are generated integrating Eulerian velocity fields obtained from an operational oceanography model using an off-line Lagrangian algorithm (see Figure 4).

Of course, this technique still has many problems that need resolving, such as the space/time resolution, which in some cases, such as those involving search and rescue missions, can be crucial. Another example is when the diffusion of floating chemical materials is strongly influenced by its chemical reactions, which are obviously not represented in the algorithm generating the Lagrangian trajectory. Finally, a representation that is necessarily two dimensional does not take into account divergence zones

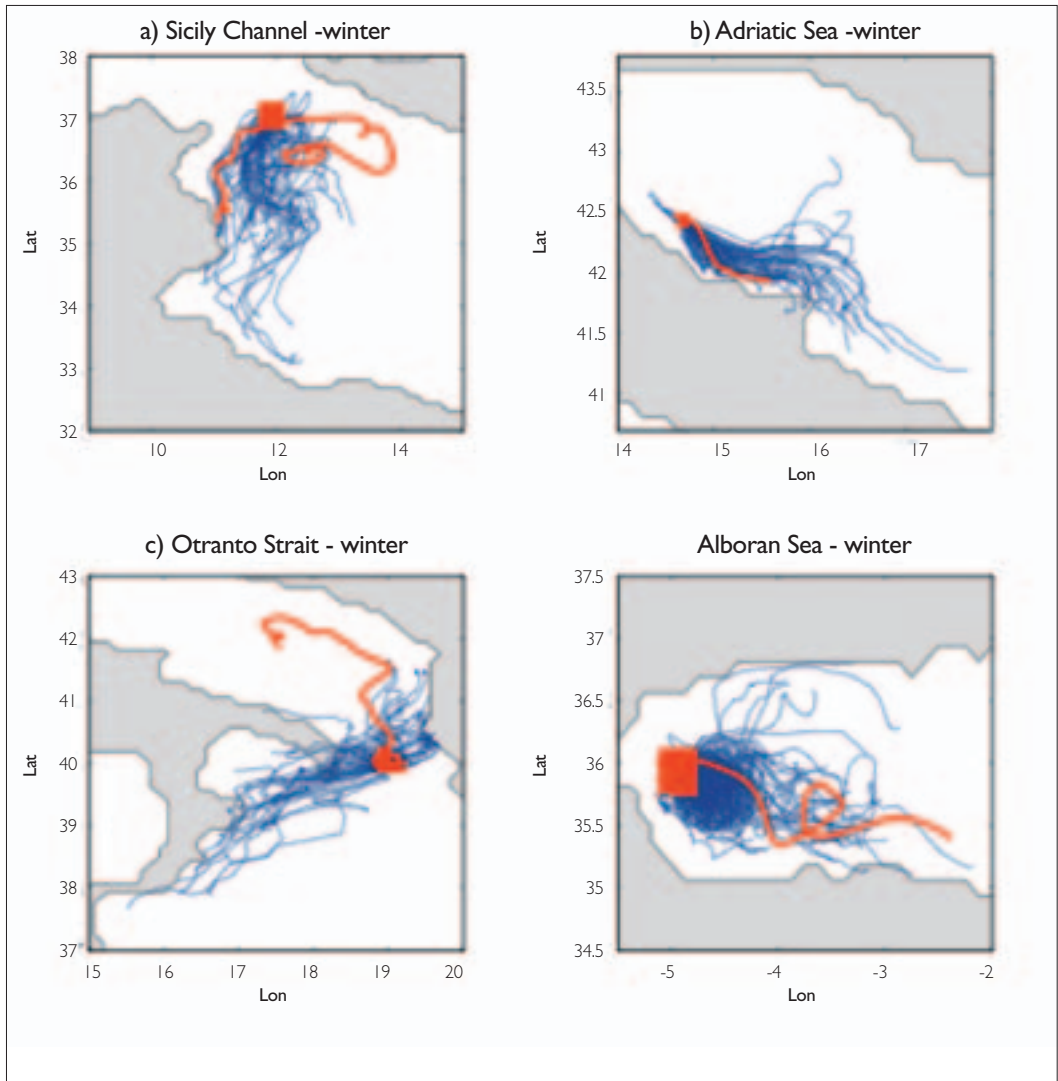


Figura 4, In questa figura si mettono a confronto, in quattro aree del Mediterraneo, le traiettorie osservate con quelle simulate numericamente rilasciate all'interno del box rosso.

Figure 4 This figure shows a comparison between observed trajectories and numerically simulated ones released inside the red square in four areas of the Mediterranean.

calcolare vari parametri lagrangiani tra cui per esempio mappe della probabilità di dispersione. Le traiettorie sono generate integrando, con un algoritmo lagrangiano off-line, i campi di velocità eulerei ottenuti dal modello oceanografico operativo (vedi figura 4)

determined by advective consistent structures (e.g. convection zones, upwelling and front instability), the sea surface, as is well known, is very non-homogenous and divergent.

Ovviamente questa tecnica contiene ancora molti problemi da risolvere, come risoluzione spazio-temporale, che per alcuni problemi, come quelli connessi alla ricerca e recupero di persone e materiali, è cruciale. Oppure nei casi in cui la diffusione e il galleggiamento di materiale chimico in superficie è fortemente condizionato dalle sue reazioni chimiche, che ovviamente non sono rappresentate nell'algoritmo generante le traiettorie lagrangiane. Infine una rappresentazione forzosamente bidimensionale non tiene conto delle zone di divergenza determinate dalla complessità delle strutture coerenti avvertite (e.g. zone di convezione, upwelling ed instabilità dei fronti), la superficie del mare, come è ben noto, è altamente disomogenea e porosa.

2.3 Applicazione alla modellistica numerica.

Un altro contributo di Volfango, ma chissà quanti altri ne sto dimenticando, è nel settore fondamentale delle parametrizzazioni dei processi fisici della circolazione oceanica, che i modelli numerici (OGCM) non sono ancora capaci di risolvere direttamente, come ad esempio la diffusività dei traccianti. L'idea su questa parametrizzazione nasce durante una delle sue periodiche visite a Parigi all'LMD, e si basa su una generalizzazione del lavoro di Babiano et al. del 1987 (che in seguito chiameremo BBRS), in cui attraverso simulazioni numeriche venivano studiate le caratteristiche del decadimento della turbolenza bidimensionale. Durante questa fase si formano delle concentrazioni di vortici coerenti con una complessa dinamica, la cui descrizione si rimanda all'articolo di BBRS, tuttavia le simulazioni numeriche mostrano l'*eddy diffusion* proporzionale all'*eddy kinetic* e quindi inversamente proporzionale alla radice quadrata dell'entropia ($K \propto \langle \sigma^2 \rangle \langle Z^{-1/2} \rangle$). Importan-

2.3 Application of numerical modelling.

Another contribution of Volfango's – and who knows how many more I'm forgetting – is in the fundamental sector of parameterizing the physical processes of ocean circulation, which numerical models (OGCM) are not yet able to resolve directly. An example is the diffusivity of tracers. His ideas on parameterization came from one of his periodical visits to the LMD in Paris, and are based on a generalization of the 1987 work of Babiano et al. (hereafter BBRS), in which numerical simulations are used to study two-dimensional turbulence decay. During this phase a concentration of consistent eddies with complex dynamics are formed (descriptions of which may be found in BBRS). Numerical simulations show eddy diffusion proportional to the eddy kinetic and thus inversely proportional to the square root of the entropy ($K \propto \langle \sigma^2 \rangle \langle Z^{-1/2} \rangle$). An important consequence of this relationship is its effect on oceanography insofar as it minimizes diffusion through the eddy front, with a consequent improvement in the consistency of the coherent structures generated by the atmosphere-ocean interaction (deep convection). This is evident if we compare BBRS with other parameterizations (see Figure 5). Volfango applied these concepts, developing a routine for MOM-OGCM that improved the simulation of tracer transport caused by eddy advection, thereby guaranteeing realistic stratification and the correct progress of all the phases determining convective processes, as, for example, in the Gulf of Lion (see Figure 5). Furthermore, the use of BBRS has allowed MOM to be run for more than a thousand years (without any meaningful shift in its physical characteristics), which has allowed the impact of advective and convective feedback on the internal variability of thermohaline circulation to be studied (see Pisacane et al., 2006). This has identified two average equilibrium states around which the Mediterranean circulation naturally oscillates.

te conseguenza di questa relazione è la sua ricaduta oceanografica nel minimizzare la diffusione attraverso il fronte dei vortici, con un conseguente miglioramento della coerenza delle strutture generate dall'interazione atmosfera-oceano (deep convection). Questo è evidente confrontando BBRS con altre parametrizzazioni (vedi figura 5). Volfango applicò questi concetti sviluppando una routine per il MOM che migliorava la simulazione del trasporto di traccianti dovuto all'avvezione dei vortici, garantendo così una stratificazione realistica e il corretto procedere di tutte le fasi che determinano i processi convettivi per esempio nel Golfo del Leone (vedi figura 5). Inoltre l'uso di BBRS ha permesso di far gi-

This result may have very important implications for generating and interpreting the EMT (Eastern Mediterranean Transient).

3. The end of the story

Volfango was complex, protean and brilliant. He acted for the common good and helped the weak and the marginalized with a boundless generosity that could on occasion be self-destructive, as all true goodness nearly always can be.

I had various arguments with him caused by his insistence on an exaggerated intellectual rigour; during one of these a breaking point occurred, determined, naturally, by freedom from

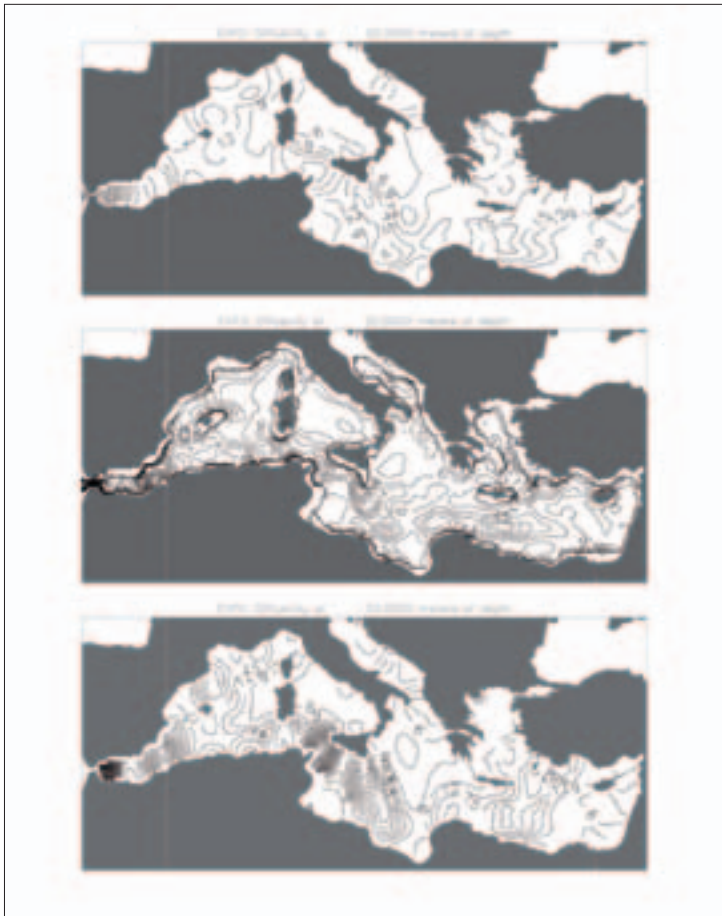


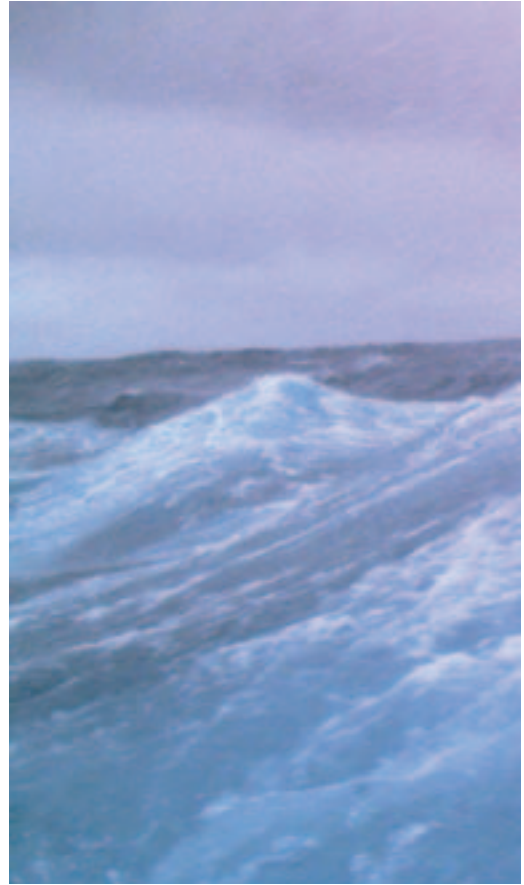
Figura 5, iniziando dall'alto, le figure mostrano la distribuzione orizzontale dell'eddy diffusivity applicando tre diverse parametrizzazioni, rispettivamente Smagorinsky, BBRS e la parametrizzazione in cui si impone una relazione lineare tra eddy diffusivity e l'eddy kinetic.

Figure 5 The figures show the horizontal distribution of eddy diffusivity applying three different parameterizations. From the top, these are: Smagorinsky, BBRS and a parameterization in which a linear relationship between eddy diffusivity and eddy kinetic is imposed.

rare il MOM per più di mille anni (senza un significativo shift delle sue caratteristiche fisiche), permettendo di studiare l'impatto dei feedback avvettivi-convettivi sulla variabilità interna della circolazione termoalina (vedi Pisacane et al., 2006), individuando due stati medi di equilibrio attorno ai quali la circolazione del Mediterraneo oscilla naturalmente. Quest'ultimo risultato peraltro potrebbe avere delle notevoli implicazioni nella generazione ed interpretazione dell'EMT (Eastern Mediterranean Transient).

3. Conclusione di una storia

Volfrango era un uomo complesso, multiforme, geniale, animato ad agire per il bene comune, accoglieva i deboli e gli esclusi con una generosità senza confini, a volte autodistruttiva, come quasi sempre è la bontà assoluta. Mi sono scontrato con lui diverse volte quando eccedeva nel suo rigorismo, ed in particolare durante uno di questi eventi si verificò una rottura profonda, naturalmente determinata da un affrancamento da chi forse lo opprimeva su troppi versanti. Negli ultimi anni ho poi ritrovato un Volfrango più maturo ed autonomo professionalmente, ricco di idee e generoso come sempre, forse più malinconico: gli mancavano i suoi viaggi in Antartide, che lo caricavano e rigeneravano come una lucertola al sole. I ghiacci, il freddo, i lunghi viaggi sul rompighiaccio Argentino Almirante Irizar gli fornivano una carica ed una felicità immensa: ben cinque volte aveva attraversato le correnti di Drake, ben cinque volte aveva affrontato terribili diete per passare le visite mediche necessarie per imbarcarsi. Con lui ho iniziato la grande avventura della creazione di un gruppo di modellistica numerica in ENEA, seguendo con testardaggine questo progetto, iniziato con la sua as-



one who had perhaps oppressed him on too many sides.

In recent years I saw a Volfrango who was more mature and professionally autonomous, full of ideas and as generous as ever. He was perhaps more melancholic: he missed his trips to Antarctica, which recharged him like the sun recharges a lizard. The ice, the cold, and the long journey aboard the Argentinian icebreaker Almirante Irizar: these filled him with energy and happiness. He had crossed the Drake Passage five times; five times had he faced strict diets to pass the medical check-ups to be allowed to sail.

With him I began the great adventure that was the creation of a numerical modelling group inside ENEA, stubbornly following this project, which began with his hiring by ENEA in 1996

sunzione in ENEA nel 1996 ed ora in parte realizzato. Senza di lui tutto ciò di cui godiamo adesso, sarebbe stato quasi impossibile da raggiungere: molti devono ringraziarlo e primo fra tutti io stesso.

La morte è ingiusta, incomprensibile ed inaccettabile, la fine di un sogno, ma resta l' eredità scritta nei suoi sogni, nella sua scienza e soprattutto nei suoi quadri, dove è inciso con forza il carattere visionario di un amore cosmico ed irraggiungibile. Sarà impossibile dimenticarlo e starà a noi valorizzare ciò che di materiale ed immateriale ci ha tramandato.

and is now partly realized. Without him everything we now enjoy would have been almost impossible to achieve: a lot of people owe him thanks, myself most of all.

Death is unfair, and cannot be understood or accepted. It is the end of a dream. What remains is written in his dreams, in his science and, above all, in his paintings, where the visionary character of an unachievable cosmic love is powerfully dawn. It will be impossible to forget him, and we now have the task of making the most of everything he has left us.



Volfango Rupolo: Foresta del Cansiglio IV. Olio su tela 70 x 50

Volfango Rupolo: Forest of Cansiglio IV. Oil on canvas 70 x 50

Bibliografia

- Babiano, A., C. Basdevant, P. L. Roy, and R. Saldoumy, 1987: Single particle dispersion, Lagrangian structure function and Lagrangian energy spectrum in two-dimensional incompressible turbulence. *J. Mar. Res.*, **45**, 107–131;
- V. Rupolo, B.L. Hua, A. Provenzale and V. Artale: “Lagrangian velocity spectra at 700m in the western North Atlantic”, *J. Phys. Oceanography* 26,8, 1591-1607, 1996
- Rupolo V., A. Babiano, V. Artale and D. Iudicone (2003); New space-time tracer diffusivity field for an OGCM. The Mediterranean Sea case, *Il Nuovo Cimento C*, 26 (4): 387-415, JUL-AUG 2003.
- Pisacane G., V. Artale, S. Calmanti and V. Rupolo; Decadal Oscillations in the Mediterranean Sea: A Result of the Overturning Circulation Variability in the Eastern Basin? *Climate Research*, Vol. 31, N. 2-3, July 27, 2006;
- Rupolo, Volfango, 2007: A Lagrangian-Based Approach for Determining Trajectories Taxonomy and Turbulence Regimes. *J. Phys. Oceanogr.*, **37**, 1584–1609;
- Pizzigalli, C., V. Rupolo, E. Lombardi, and B. Blanke (2007), Seasonal probability dispersion maps in the Mediterranean Sea obtained from the Mediterranean Forecasting System Eulerian velocity fields, *J. Geophys. Res.*, 112, C05012, doi:10.1029/2006JC003870.

Il sistema di previsioni numeriche ad alta risoluzione del CNMCA (Servizio Meteorologico dell'Aeronautica Militare), recenti sviluppi e applicazioni operative

The CNMCA (Air-Force Meteorological Service) high-resolution numerical forecasting system: recent developments and operational applications

L. Torrisi
CNMCA

Negli ultimi anni i modelli atmosferici ad alta risoluzione hanno raggiunto un livello di affidabilità sempre più elevato divenendo strumenti di largo impiego nelle attività di previsione a brevissimo e breve termine dei centri meteorologici operativi. In questo ambito il CNMCA (Centro Nazionale Meteorologia e Climatologia Aeronautica - Servizio Meteorologico dell'Aeronautica Militare) utilizza operativamente il modello non-idrostatico sviluppato nell'ambito del consorzio COSMO (Consortium for Small-Scale Modelling – www.cosmo-model.org) istituito tra i Servizi Meteorologici Nazionali di Germania, Svizzera, Italia, Grecia, Polonia, Romania e Russia.

Il modello COSMO è utilizzato in due configurazioni:

- COSMO-ME, integrato su una griglia con passo di 7 km e 40 livelli verticali, che copre l'Europa centro-meridionale ed il bacino del Mediterraneo (1 Giugno 2010: allargamento dominio per includere quello di MFS, Fig.1) ;
- COSMO-IT, integrato su una griglia con passo di 2.8 km e 50 livelli verticali, che copre l'Italia.

COSMO-ME è inizializzato dal sistema di assimilazione dati del CNMCA basato sull'algoritmo 3DVAR (Bonavita e Torrìsi, 2005) e utilizza i campi del modello dell'ECMWF (European Center for Medium-Range Weather Forecasts) come condizioni al contorno. Il sistema di assimilazione utilizza operativamente osservazioni di superficie (SYNOP, SHIP, BUOY, Wind-PROFILER, PILOT, TEMP), da aeroplano (AIREP, AMDAR, ACAR) e da satellite (AMV, venti da scatterometro, radianze AMSU-A).

COSMO-IT, in configurazione operativa da ottobre 2006, è in grado di risolvere la convezione intensa e verrà utilizzato nel prossimo futuro per generare prodotti per le

In recent years, high-resolution atmospheric models have reached increasingly high levels of reliability, and have come to be widely used in short-term and very-short-term forecasting activities by operational meteorological centres. In this context, the CNMCA (National Meteorological and Climatological Centre of the Italian Air Force Weather Service) makes operational use of the non-hydrostatic model developed within COSMO (Consortium for Small-Scale Modelling, www.cosmo-model.org) set up by the national meteorological services of Germany, Switzerland, Italy, Greece, Poland, Romania and Russia.

The COSMO model is used in two configurations:

- *COSMO-ME, integrated on a grid with a step of 7 km and 40 vertical levels, covering south-central Europe and the Mediterranean basin (1 June 2010: domain enlarged to include that of MFS, Fig. 1).*
- *COSMO-IT, integrated on a grid with a step of 2.8 km and 50 vertical levels, covering Italy.*

COSMO-ME is initialized by the CNMCA data assimilation system based on the 3DVAR algorithm (Bonavita and Torrìsi, 2005) and uses ECMWF (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts) model fields as boundary conditions. The assimilation system makes operational use of surface (SYNOP, SHIP, BUOY, Wind-PROFILER, PILOT, TEMP), aeroplane (AIREP, AMDAR, ACAR) and satellite (AMV, scatterometer winds, AMSU-A radiance) observations. COSMO-IT, operationally configured since October 2006, is able to resolve intense convection and will be used in the near future to generate products for very-short-term forecasting activities. At the moment, COSMO-IT is initialized by a nudging-type assimilation run and is nested in COSMO-ME.

The quality of forecasts undergoes continuous validation both at CNMCA and the COSMO

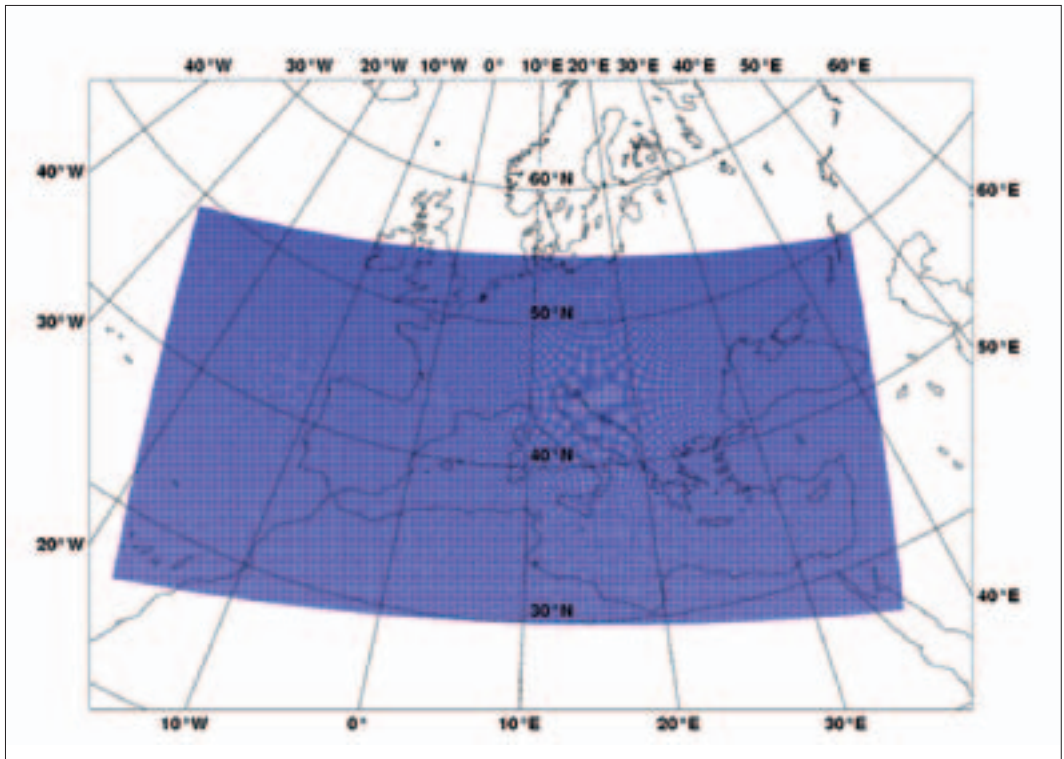


Fig 1 Dominio di integrazione COSMO-ME (dal 1 Giugno 2010)

Fig. 1 COSMO-ME integration domain (from 1 June 2010)

attività di previsione a brevissimo termine. Attualmente COSMO-IT è inizializzato da una corsa di assimilazione di tipo nudging ed è innestato in COSMO-ME.

La bontà delle previsioni è oggetto di continua valutazione sia al CNMCA e sia nell'ambito del consorzio COSMO. I risultati del confronto con le osservazioni mostrano che il modello COSMO-ME è tra quelli più competitivi del consorzio.

I campi numerici di previsione di COSMO-ME vengono impiegati per la generazione di una molteplicità di prodotti distribuiti ad utenti militari (NATO, Aeronautica Militare, Marina, Esercito) e civili (Protezione Civile, RAI, ecc.). Un esempio di prodotto sono le mappe di previsione del fenomeno meteo prevalente denominate AWI (Automatic

consortium. Results of comparison with observations show COSMO-ME to be amongst the consortium's most competitive models.

COSMO-ME's numerical forecasting fields are used to generate a multitude of products distributed to military (NATO, Air Force, Navy, Army) and civil (Civil Protection, RAI etc.) users. An example of a product are the forecasting maps of prevailing meteorological phenomena known as AWI (Automatic Weather Interpretation), an example of which is given in Fig. 2 for the snowfall in Rome of 12 February 2010.

A sea-state forecasting system known as Nettuno has been developed in collaboration with ISMAR of Venice. This system is based on the ECMWF version of the WAM wave model. Nettuno's principal configuration, forced by wind from COSMO-ME, is integrated over the entire

Weather Interpretation), come rappresentato in Fig.2 per il caso della nevicata su Roma del 12 Febbraio 2010.

In collaborazione con l'ISMAR di Venezia è stato sviluppato un sistema di previsione dello stato del mare, denominato Nettuno, basato sulla versione ECMWF del modello delle onde WAM. La configurazione principale di Nettuno, forzata dal vento di COSMO-ME, è integrata sull'intero Mar Mediterraneo con un passo di griglia di 3' risolvendo 30 frequenze e 36 direzioni. I prodotti Nettuno sono disponibili sul sito www.meteoam.it. Un'altra configurazione di Nettuno è integrata sui mari circostanti il territorio italiano con passo di griglia di 1' utilizzando il vento di COSMO-IT.

I dati di Nettuno sono utilizzati per il supporto alle operazioni navali e come condi-

Mediterranean with a grid step of 3' resolving 30 frequencies and 36 directions. Nettuno products are available at www.meteoam.it. Another configuration of Nettuno is integrated on the seas surrounding Italy with a grid step of 1', using wind from COSMO-IT.

Nettuno data are used for supporting naval operations and as boundary conditions for higher-resolution runs of the SWAN model as part of a collaboration with the Naval Hydrographic Institute and the Inter-University Centre for Predicting and Preventing Major Risks (CUGRI).

Development activities

Over the last decade, the CNMCA NWP (Numerical weather Prediction) sector that has wit-

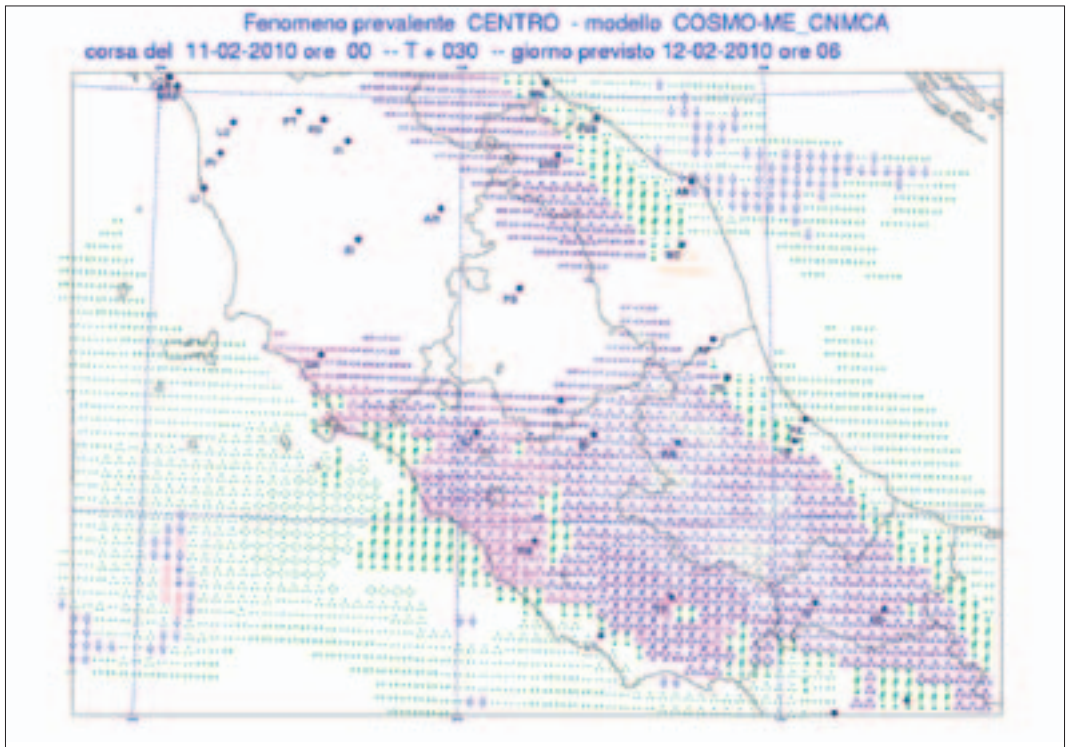


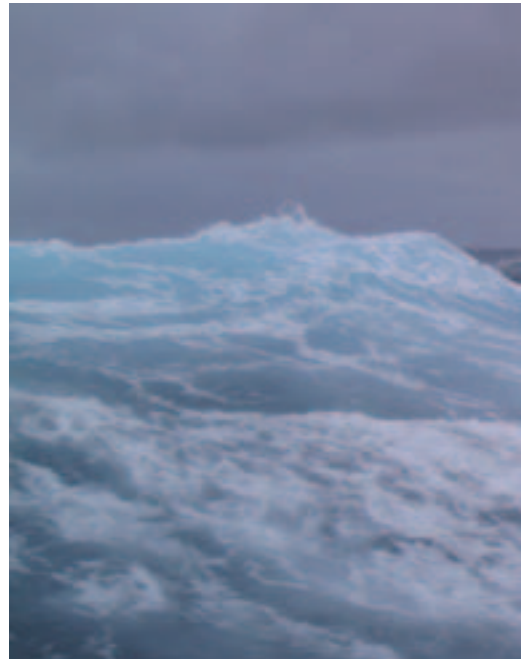
Fig. 2 Previsione del fenomeno meteo prevalente (AWI). Caso della nevicata su Roma del 12 Febbraio 2010
Fig. 2 Forecast of the prevailing meteorological phenomenon (AWI). The case of the snowfall in Rome of 12 February 2010

zioni al contorno per corse a più alta risoluzione del modello SWAN nell'ambito di una collaborazione con l'Istituto Idrografico della Marina e il Centro inter-Universitario per la Previsione e Prevenzione dei Grandi Rischi (CUGRI).

Attività di sviluppo

Nell'ultimo decennio il settore NWP (Numerical Weather Prediction) di maggiore sviluppo del CNMCA è stato quello dell'assimilazione dati. Il lavoro più recente riguarda l'implementazione del Filtro di Kalman stocastico (Ensemble Kalman Filter, EnKF) nell'ambito del sistema operativo di previsione numerica del CNMCA (Bonavita, Torrisi e Marcucci, 2008, 2010). Per EnKF si intende una classe di algoritmi che negli ultimi anni hanno ricevuto una crescente attenzione quale possibili candidati alla sostituzione della generazione corrente di sistemi variazionali di assimilazione dati in ambito meteorologico ed oceanografico. La particolare versione di EnKF usata al CNMCA è nota come Local Ensemble Transform Kalman Filter (LETKF). I risultati finora ottenuti dimostrano che questa tecnica ha successo nella configurazione operativa utilizzata al CNMCA (40 membri) ed è capace di produrre analisi dei campi meteorologici di qualità superiore a quelli correntemente ottenuti tramite la tecnica variazionale 3DVAR. L'implementazione operativa è prevista ad inizio 2011.

Nell'ambito della cooperazione all'interno del Gruppo Nazionale Oceanografia Operativa (GNOO) e del progetto My-Ocean si sta valutando l'impatto dell'uso del prodotto temperatura del mare del CNR. Da una prima analisi l'uso di tale prodotto non ha un impatto significativo dal punto di vista statistico sulle previsioni di COSMO-ME. Si



nessed most development is that of data assimilation. The most recent development concerns the implementation of an Ensemble Kalman Filter (EnKF) as part of a CNMCA numerical forecasting operational system (Bonavita, Torrisi and Marcucci, 2008, 2010). By EnKF we mean a class of algorithms that has received growing attention over the last few years as a possible successor to the current generation of variational data assimilation systems used in meteorology and oceanography. The particular version of EnKF used by CNMCA is known as the Local Ensemble Transform Kalman Filter (LETKF). The results obtained so far demonstrate that this technique works successfully in the operational configuration used by CNMCA (40 members) and is able to produce analyses of meteorological fields of a higher quality than those currently being obtained using a 3DVAR variational technique. Operational implementation is scheduled for the beginning of 2011. Within the National Operational Oceanography Group (GNOO) and the MyOcean project, the impact of using the CNR sea-temperature

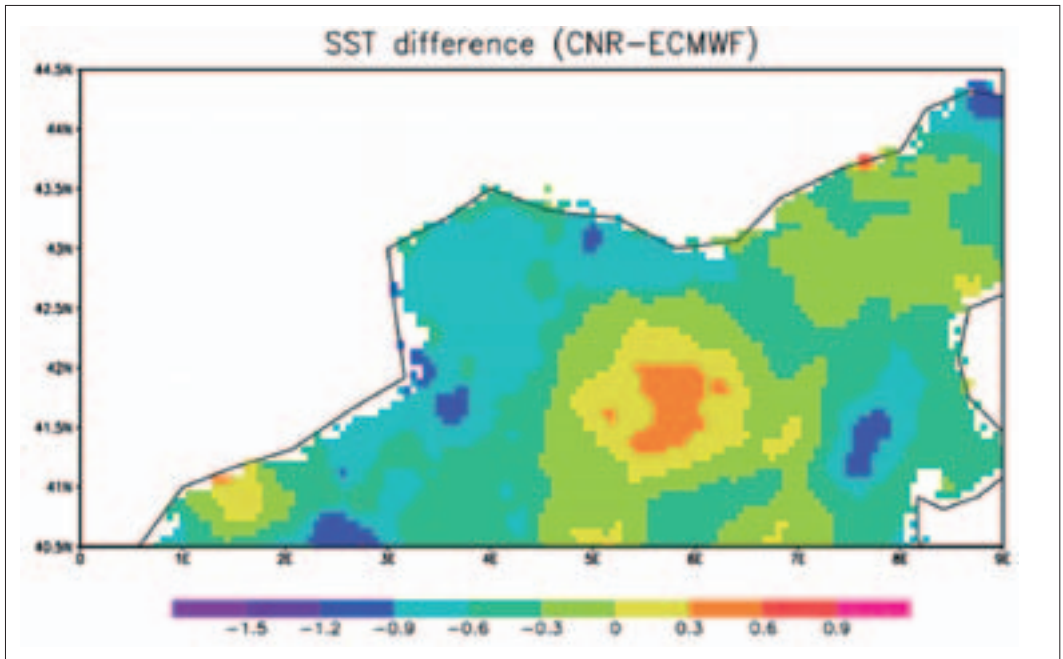


Fig. 3 Differenze tra i campi di analisi della temperatura del mare del CNR e di ECMWF.

Fig. 3 Differences between CNR and ECMWF sea-temperature analysis fields.

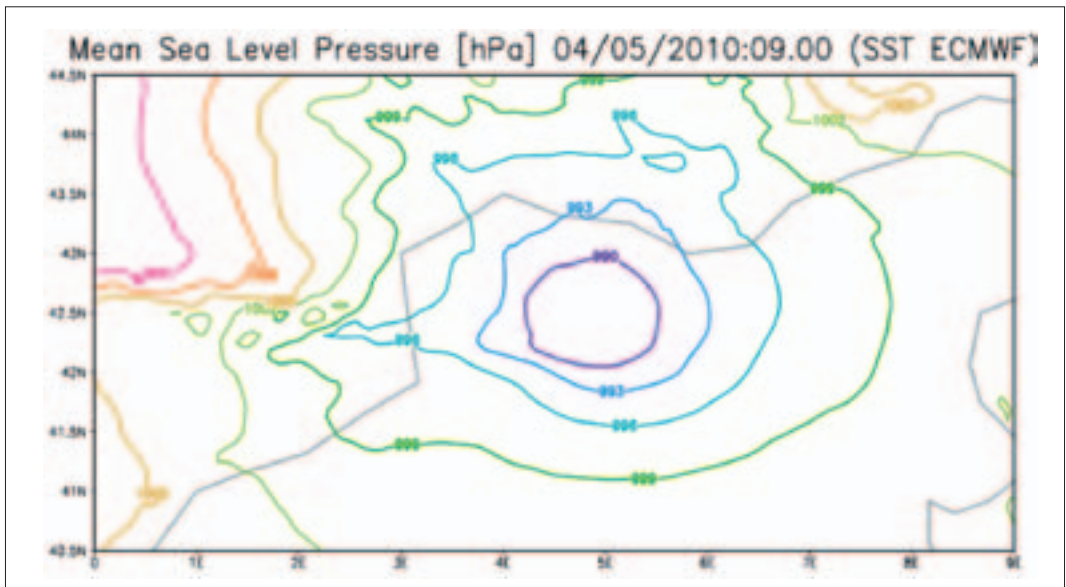


Fig. 4 Previsione COSMO-ME 03/05/2010 00UTC +33h della Pressione al livello del mare: analisi della temperatura del mare ECMWF

Fig. 4 COSMO-ME forecast, 03/05/2010 00UTC +33h, of pressure at sea surface: ECMWF sea-temperature analysis.

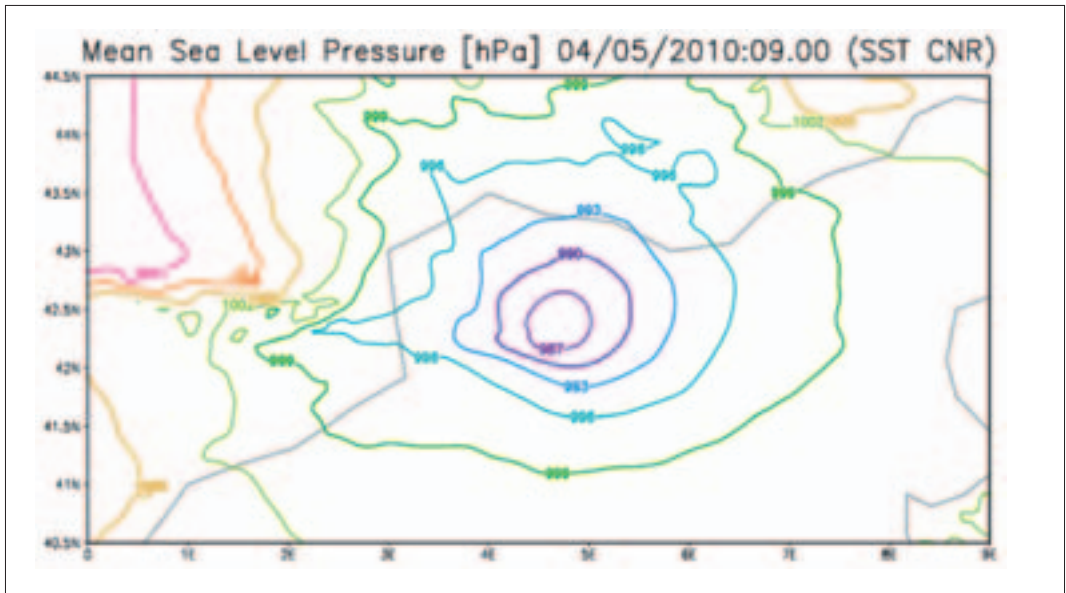


Fig. 5 Previsione COSMO-ME 03/05/2010 00UTC +33h della Pressione al livello del mare: analisi della temperatura del mare CNR

Fig. 5 COSMO-ME forecast, 03/05/2010 00UTC +33h, of pressure at sea surface: CNR sea-temperature analysis.

è cercato quindi di valutare l'impatto in alcuni casi di studio. Nel caso dello sviluppo del ciclone extra-tropicale del 3-4 Maggio 2010 sul Mediterraneo Occidentale si è osservato un debole impatto sulla profondità del minimo barico previsto. Con differenze dell'analisi della temperatura (CNR – ECMWF) del mare di circa $+0.5^{\circ}\text{K}$ al largo del Golfo del Leone si è trovata una differenza di circa -3 hPa nel pressione minima in superficie. Altro lavoro è necessario per completare lo studio e per valutare l'uso della temperatura del mare prevista da MFS.

product is being evaluated. At a first analysis, using this product would not have any significant impact on COSMO-ME forecasts from the statistical point of view. We have therefore tried to evaluate the impact in certain case studies. In the case of the development of an extra-tropical cyclone the 3 and 4 May 2010 over the western Mediterranean, we observed a slight impact on the depth of the baric minimum forecast. With a difference in temperature analysis between CNR and ECMWF of approximately $+0.5^{\circ}\text{K}$ off the Gulf of Lion, a difference of approximately -3 hPa in the minimum pressure at the surface. Further work is needed to complete the study and evaluate the sea-surface temperature forecast by MFS.

Bibliografia

- Bonavita M, Torrasi L. 2005. Impact of a variational objective analysis scheme on a regional area numerical model: The Italian Air Force Weather Service experience. *Meteorol. Atmos. Phys.* **8**, 2005.
- Bonavita M, Torrasi L, Marcucci F. 2008. The ensemble Kalman filter in an operational regional NWP system: Preliminary results with real observations. *Q. J. R. Meteorol. Soc.* **134**: 1733-1744.
- Bonavita M, Torrasi L, Marcucci F. 2010. Ensemble data assimilation with the CN-MCA regional forecasting system. *Q. J. R. Meteorol. Soc.* **136**: 132-145.

Il sistema di previsioni del Mar Mediterraneo: a 10 anni dal suo inizio

The Mediterranean Sea Forecasting System: Ten Years On

C. Fratianni, M. Tonani

Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia,
Gruppo di Oceanografia Operativa

N. Pinardi

Alma Mater Studiorum Università di Bologna
Centro Interdipartimentale
per la Ricerca sulle Scienze Ambientali

M. Adani, G. Coppini

Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Gruppo di Oceanografia Operativa

S. Dobricic

Centro Euro-Mediterraneo per i Cambiamenti Climatici

M. Drudi

Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia,
Gruppo di Oceanografia Operativa

A. Grandi, P. Oddo, D. Pettenuzzo

Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Gruppo di Oceanografia Operativa

S. Lyubartsev

Centro Euro-Mediterraneo per i Cambiamenti Climatici

Introduzione

Il sistema MFS è stato sviluppato nell'ambito di diversi progetti europei quali MFSP (Mediterranean ocean Forecasting System Pilot Project), MFSTEP (Mediterranean ocean Forecasting System Toward Environmental Predictions), MERSEA (Marine Environment and Security for the European Area), BOS4GMES (Building Operational Sustainable Services for GMES) e MyOcean.

Il sistema produce previsioni oceanografiche a breve termine per i successivi dieci giorni per i campi di temperatura, salinità, corrente ed elevazione della superficie libera del mare. Nella fase di sviluppo iniziale del sistema di previsione, il ciclo di produzione era settimanale (Pinardi et al., 2003), da settembre 2005 invece il sistema è giornaliero, ovvero ogni giorno vengono prodotte le previsioni per i successivi dieci giorni e una volta alla settimana viene prodotto un ciclo di analisi per i precedenti 15 giorni (Tonani et al., 2008B). I prodotti di analisi e di previsione sono messi a disposizione degli utenti e pubblicati sul sito web <http://gnoo.bo.ingv.it/mfs> sottoforma di mappe liberamente accessibili.

I principali aggiornamenti e miglioramenti scientifici e tecnici hanno riguardato tutte le componenti del sistema.

Modello

Il codice numerico alle differenze finite implementato nel bacino del Mediterraneo nella prima versione del sistema si basava sul Modular Ocean Model (MOM) con una risoluzione orizzontale di $1/8^\circ \times 1/8^\circ$ e 31 livelli verticali, successivamente sostituito dal codice OPA8.2 e OPA9.0 (distribuito all'interno dell'ambiente modellistico

Introduction

The MFS system was developed as part of various European projects such as MFSP (Mediterranean Ocean Forecasting System Pilot Project), MFSTEP (Mediterranean Ocean Forecasting System Toward Environmental Predictions), MERSEA (Marine Environment and Security for the European Area), BOS4GMES (Building Operational Sustainable Services for GMES) and MyOcean.

The system produces short-term oceanographic forecasts for the following ten days for fields of temperature, salinity, currents and free sea surface height. In the initial phase of the forecasting system development, the production cycle was weekly (Pinardi et al., 2003); since September 2005, however, the system has been daily. In other words, every day forecasts for the following ten days are produced and once a week an analysis cycle is produced for the previous 15 days (Tonani et al., 2008B). Analysis and forecasting products are made available to users and published on the web site <http://gnoo.bo.ingv.it/mfs> in the form of freely-available maps.

The main updates and scientific and technical improvements regard all of the system components.

Model

The finite-difference numerical code implemented in the Mediterranean basin in the first version of the system was based on the Modular Ocean Model (MOM), with a horizontal resolution of $1/8^\circ \times 1/8^\circ$ and 31 vertical levels, successively substituted by codes OPA8.2 and OPA9.0 (distributed within the NEMO modeling community, both of which have horizontal resolutions of $1/16^\circ \times 1/16^\circ$ and 72 levels distributed non-homogeneously. (Tonani et al.,

NEMO) entrambi aventi risoluzione orizzontale di $1/16^\circ \times 1/16^\circ$ e 72 livelli verticali non omogeneamente distribuiti (Tonani et al. 2008A). L'aumento della risoluzione orizzontale deriva dalla necessita' di meglio risolvere le strutture di mesoscala ritenute fondamentali per una corretta riproduzione della dinamica dell'intero bacino. La maggiore risoluzione verticale ha permesso di includere anche l'Adriatico settentrionale che nella prima versione del modello non era presente come conseguenza della bassa profondita' che lo caratterizza (Figura 1).

2008A). The increase in the horizontal resolution derives from the necessity of resolving the mesoscale structures held to be fundamental for a correct reproduction of the dynamics of the whole basin better. The greater vertical resolution allowed the northern part the Adriatic to be included too, as it was not included in the first version of the model because of the shallowness characterizing it (Figure 1).

With the changeover from MOM to the OPA versions described above an explicit parameterization of the free surface was introduced that had been omitted from the dynamics re-

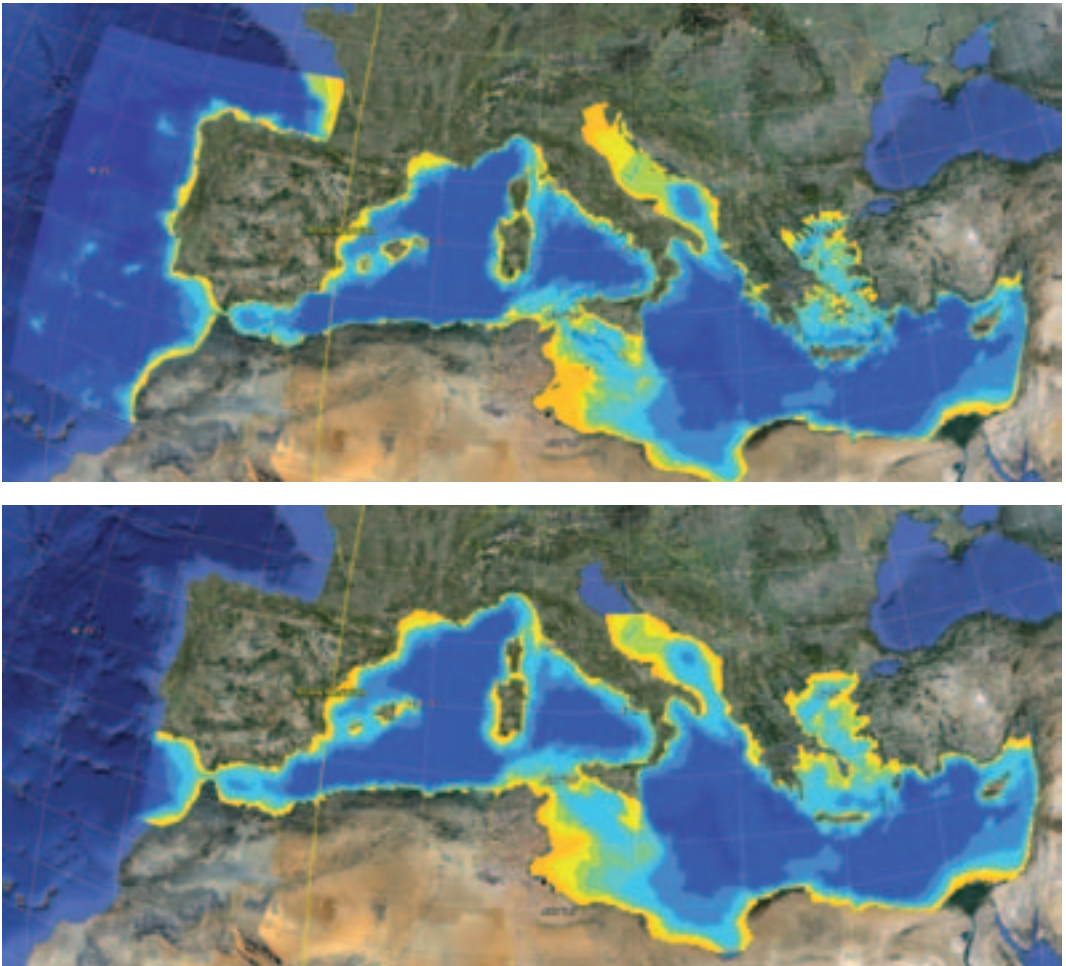


Figura 1: Dominio del modello MOM (sopra) e NEMO (sotto)

Figure 1: MOM (top) and NEMO (bottom) model domains

Con il passaggio da MOM alle versioni di OPA sopra descritte si è anche introdotta una esplicita parametrizzazione della superficie libera che nella versione precedente era stata omessa dalle dinamiche risolte. Questo ha permesso di simulare la variabilità della variazione di elevazione della superficie libera del mare. Nell'ultima versione del modello si è anche passati da condizioni al contorno chiuse a condizioni al contorno aperte, nella parte atlantica del dominio, fornite dal modello globale di MERCATOR, permettendo una migliore riproduzione delle masse d'acqua entranti a Gibilterra e una corretta riproduzione della variabilità stagionale del livello del mare (Oddo et al., 2009). Futuri sviluppi riguarderanno l'interazione onda-corrente e la parametrizzazione dell'interazione aria-mare.

Lo schema di assimilazione

Il sistema di assimilazione utilizzato fino al 2008 è stato il System for Ocean Forecast and Analysis (SOFA) (De Mey and Benkiran, 2002): un sistema d'interpolazione ottimale, sostituito dallo schema OceanVar (Dobricic and Pinardi, 2008), basato su di uno schema variazionale tridimensionale. Questo schema di assimilazione permette di assimilare osservazioni provenienti da una più ampia gamma di strumenti e aumenta l'area geografica soggetta a possibili correzioni dovuta alla presenza di osservazioni. Il ciclo di assimilazione inizialmente settimanale è ora giornaliero. OceanVar, oltre che essere utilizzato nel sistema operativo, è stato utilizzato in numerosi esperimenti atti ad assimilare, oltre ai profili verticali di temperatura e salinità e le osservazioni dei anomalie del livello del mare, anche i dati di traiettorie forniti da drifters e gliders.

solved in the earlier version. This allowed the simulation of the elevation variation variable for the free sea surface. In the later version of the model there was also a change from a closed-boundary situation to an open-boundary one in the Atlantic part of the domain, supplied by the MERCATOR global model, which allowed a better reproduction of the water mass entering at Gibraltar and a correct reproduction of the seasonal variability in sea level (Oddo et al., 2009). Further developments will involve wave-current interaction and the parameterization of air-sea interaction

The assimilation scheme:

The assimilation system used until 2008 was the System for Ocean Forecast and Analysis (SOFA) (De Mey and Benkiran, 2002), an optimal interpolation system that was substituted by the OceanVar scheme (Dobricic and Pinardi, 2008), based on a three-dimensional variational scheme. This assimilation scheme allows the assimilation of observations coming from a wider range of instruments, as well as increasing the geographic area subject to possible corrections due to the presence of observations. The assimilation cycle was initially weekly, but is now daily. OceanVar, besides being used in the operational system, has also been used in numerous experiments aimed at assimilating not only vertical temperature and salinity profiles and sea-level anomaly observations, but also trajectory data from drifters and gliders.

Forecast schedule and release

A lot of work has been done with regards to scheduling and releasing forecasts. Indeed, the length of time passing between forecast initialization and its release has been dramatically

Tempistica e rilascio della previsione

Numerosi sforzi sono stati investiti relativamente alla tempistica e al rilascio delle previsioni. Il tempo che intercorre tra l'inizializzazione della previsione e il suo rilascio, infatti, è stato drasticamente ridotto passando da 3 giorni nel 1999 a circa 14 ore allo stato attuale.

Per meglio comprendere questo miglioramento bisogna considerare tutte le fasi che caratterizzano il sistema. La prima fase consiste nella raccolta dei dati che servono per produrre le previsioni e che sono le previsioni meteo, utilizzate per forzare il modello alla superficie, i dati in situ e da satellite, utilizzati per correggere, tramite lo schema di assimilazione, l'OGCM. Tutti i datasets sono rilasciati in near-real time e non più su base settimanale come avveniva all'inizio.

Dal 1999 numerosi passi in avanti sono stati fatti relativamente al sistema osservativo che è stato migliorato sia in termini di disseminazione che di disponibilità delle osservazioni.

In particolare per i dati *in situ* di XBT, si è passati dalla disseminazione di profili decimati attraverso il sistema ARGOS a profili continui tramite GSM. Questo ha permesso di aumentare l'affidabilità e la qualità dei profili trasmessi, supportate anche da specifiche procedure di controllo di qualità che permettono di utilizzare l'osservazione direttamente. Ai dati in situ di XBT si sono aggiunti a partire dal 2001 i dati di ARGO. Le mappe di temperatura della superficie del mare ottenuta da satellite, inizialmente disponibili come medie settimanali una volta alla settimana, sono ora disponibili come media giornaliera su base giornaliera.

Per i dati di forzante atmosferico, la svolta che ha segnato il passo nella riduzione



reduced from three days in 1999 to approximately 14 hours as things currently stand.

In order to have a better understanding of this improvement, it is necessary to consider all of the phases characterizing the system. The first phase consist of the collection of data necessary for producing forecasts: weather forecasts, used to force the model at the surface, and in-situ and satellite data, used to correct the OGCM through the assimilation scheme. All the datasets are released in near-real time rather than weekly, as was the case at the beginning. Since 1999 much progress has been made in relation to the observation system, which has been improved in terms of both dissemination and availability of the observations.

For XBT in-situ data in particular, there has been a change from disseminating decimated profiles through the ARGOS system to continuous profiles through GSM. This has allowed an increase in reliability and quality of the profiles transmitted, which is also supported by specific quality control procedures allowing di-

dei tempi della produzione delle previsioni è stata la stretta collaborazione che si è instaurata con l'Ufficio Generale Spazio Aereo e Meteorologia (USAM), che è divenuto il fornitore ufficiale degli stessi ed ha permesso un più rapido accesso ai dati.

Lo sviluppo del sistema in termini di modularità e automatizzazione ha permesso un'ulteriore riduzione dei tempi: all'inizio tutte le procedure di gestione del sistema richiedevano la presenza di un operatore, successivamente sono state automatizzate e organizzate in moduli che sono stati tra loro sincronizzati.

La possibilità di avere a disposizione una risorsa di calcolo dedicata, ha svolto un enorme ruolo nella riduzione dei tempi di produzione e rilascio.

Prodotti e servizi per gli utenti:

Oggi il sistema MFS è in grado di rilasciare ogni giorno le previsioni per i successivi 10 giorni. Una volta alla settimana il sistema viene ri-inizializzato e vengono rilasciate le analisi dei 15 giorni precedenti fornendo una migliore stima delle condizioni fisiche del mare.

I prodotti sono distribuiti tramite un servizio FTP con accesso libero agli utenti di ricerca e tramite contratti specifici agli utenti commerciali. I dettagli dei prodotti messi a disposizione per entrambe le categorie di utenti sono indicate in un apposito catalogo dati (<http://gnoo.bo.ingv.it/mfs/dataaccess/>). Ogni giorno inoltre le previsioni sono accessibili sotto forma di mappe dal sito web <http://gnoo.bo.ingv.it/mfs>.

I prodotti dell'MFS sono usati da diversi sistemi sotto-regionali e di piattaforma ad alta risoluzione (Figura 2) e sono utilizzati

rect use of observations. ARGO data have been added to in-situ XBT data since 2001.

Sea-surface temperature amps obtained by satellite, which were initially available as weekly averages once a week, are now available as daily averages every day.

For atmospheric forcing data, the turning point in reducing the forecast production time was the close collaboration with the Ufficio Generale Spazio Aereo e Meteorologia (USAM), which became the official supplier for these data, thus allowing more rapid access to them.

Development of the system in terms of modularity and automatization has allowed a further reduction in time: at the start all the system management procedures required the presence of an operator; these were then automatized and organized into modules synchronized amongst themselves.

The possibility of having a dedicated calculation service available was a significant turning point in reducing production and release times.

Products and services for users:

Today the MFS system is able to release forecasts for the following ten days every day. Once a week the system is re-initialized and analyses for the previous fifteen days are released, giving a better estimate of the physical conditions of the sea.

Products are distributed through an FTP service with free access for research users, as well as through specific contracts for commercial users. Details of the products made available to both user categories are shown in a dedicated data catalogue (<http://gnoo.bo.ingv.it/mfs/dataaccess/>). Every day, the forecasts are also available as maps from <http://gnoo.bo.ingv.it/mfs>.

MFS products are used by various sub-regional systems and high-resolution platforms (Figure

per numerose applicazioni quali il monitoraggio e previsione in caso di fuoriuscite di idrocarburi, attività di ricerca e soccorso, nonché attività di Rapida Valutazione Ambientale (Rapid Environmental Assessment, REA).

A livello europeo MFS è stato inserito nel progetto MyOcean che si propone di creare un sistema integrato pan-europeo per il monitoraggio e la previsione degli oceani, utilizzando le competenze a livello nazionale e le risorse disponibili.

Controllo di qualità del sistema

In ogni sistema di analisi e previsioni, risulta di vitale importanza la fase relativa alla valutazione della qualità dei prodotti del modello attraverso il confronto con dati in-situ e da satellite. Ogni mercoledì vengono resi disponibili in un'apposita sezione dedicata

2), as well as being used for numerous applications such as monitoring and forecasting for oil spills, search and rescue activities, and Rapid Environmental Assessments (REAs).

At the European level, MFS has been inserted into the MyOcean project, which has the aim of creating an integrated pan-European system for ocean monitoring and forecasting using national-level expertise and available resources.

Quality control system:

In any system of analysis and forecasting, the phase evaluating the quality of model products through a comparison with in-situ and satellite data is of vital importance. Every Wednesday the results of the system quality control are made available in a dedicated section of the web site in the form of time series (<http://gnoo.bo.ingv.it/mfs/Forecast/stat.htm?link=H>).

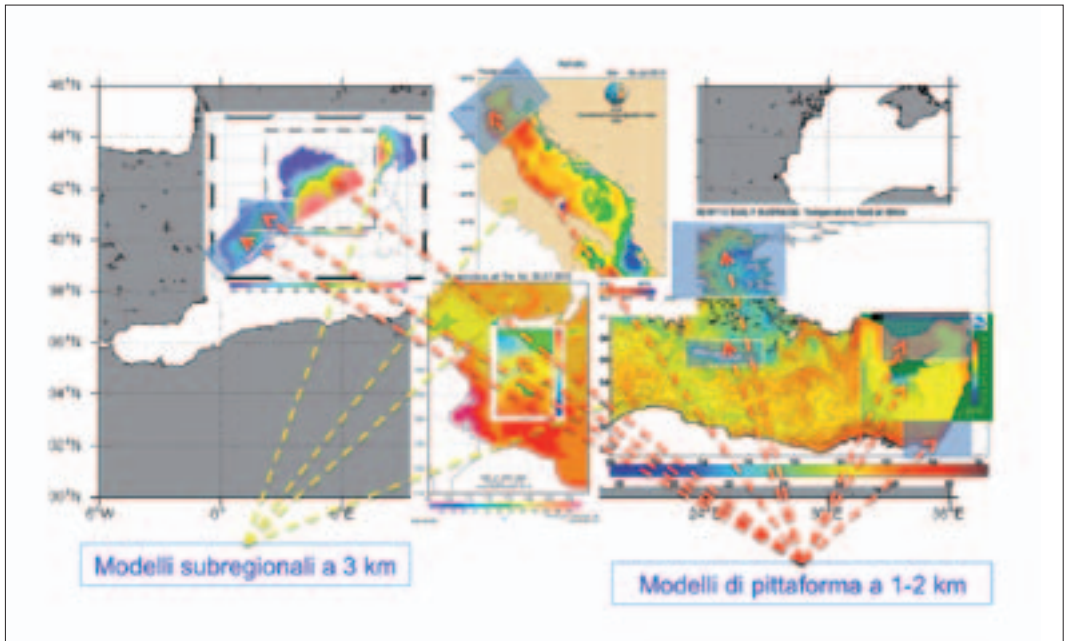


Figura 2 : Modelli operativi di piattaforma e costieri nel Mar Mediterraneo
Figure 2 : Operational platform and coastal models in the Mediterranean

della pagina web, i risultati del controllo di qualità del sistema sotto forma di serie temporali (<http://gnoo.bo.ingv.it/mfs/Forecast/stat.htm?link=H>).

Attualmente, il sistema MFS viene validato tramite il confronto con:

- 1) l'anomalia del livello del mare da satellite (SLA)
- 2) i profili di temperatura e la salinità misurati dalle boe derivanti ARGO
- 3) i profili di temperatura collezionati con le sonde XBT
- 4) la temperatura alla superficie del mare da satellite (SST).

The MFS system is currently validated through comparison with:

- 1) Sea level anomaly from satellite data (SLA).
- 2) Temperature and salinity profiles measured by ARGO drifters.
- 3) Temperature profiles collected with XBT probes.
- 4) Sea-surface temperatures from satellite data (SST).

The Root Mean Square (RMS) of the differences between the sea level value from the model and that measured by satellite for the various

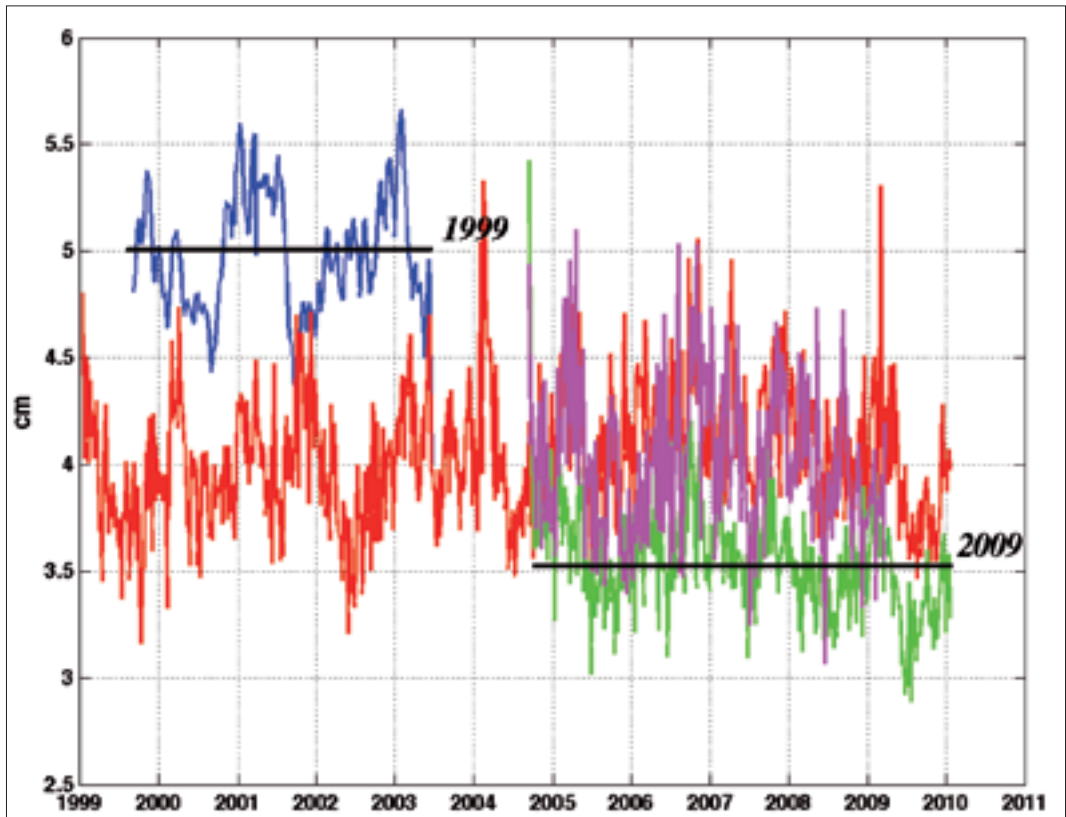


Figura 3: RMS delle differenze fra il valore calcolato dal modello MFS e quello misurato da satellite. In blu il MOM, in ciano l'OPA8.2+SOFA, in rosso OPA8.2+OceanVar, in verde OPA9.0+OceanVar.

Figure 3: RMS of the differences between the sea level value from the model and that measured by satellite. MOM in blue; OPA8.2+SOFA in cyan; OPA8.2+OceanVar in red; OPA9.0+OceanVar in green.

Di seguito è riportato l'andamento della radice quadratica media (Root Mean Square-RMS) delle differenze fra il valore del livello del mare del modello e quello misurato da satellite per i sistemi che si sono susseguiti nel corso dei 10 anni di funzionamento del sistema di previsione. Si osserva un progressivo miglioramento della qualità del sistema.

Conclusioni

Il sistema di previsione del Mar Mediterraneo è in funzione in modo operativo da oltre 10 anni. Il sistema è continuamente aggiornato e nuove funzionalità vengono aggiunte per meglio rispondere alle esigenze degli utenti. I prodotti di oceanografia operativa sono utilizzati da una vasta comunità di utenti finali che hanno contribuito alla valutazione della qualità del prodotto stesso.

Bibliografia

De Mey P. and P. Benkiran: A multivariate reduced-order optimal interpolation method and its application to the Mediterranean basin-scale circulation. In: Pinardi N., Woods J. (Eds.), Ocean Forecasting, Springer Verlag, pp281-306,2002
Dobricic, S. and N. Pinardi, 2008. An oceanographic three-dimensional variational data assimilation scheme. Ocean Modelling, 22, 3-4, 89-105
Oddo P., M. Adani, N. Pinardi, C. Fratianni, M. Tonani and D. Pettenuzzo: A Nested Atlantic-Mediterranean Sea general circulation model for operational forecasting, Ocean Sci., 5, 461-473, 2009
Pinardi, N., I. Allen, E. Demirov, P. De Mey, G. Korres, A. Lascaratos, P.Y. Le Traon,

systems over the ten years the forecasting system has been functioning is shown below. It may be seen that there has been a progressive improvement in system quality.

Conclusions

The forecasting system for the Mediterranean has been functioning operationally for more than ten years. The system is continually updated and new functions are added in order to meet user requirements better. Operational oceanography products are used by a large community of end users who have themselves contributed to evaluating the quality of the product.

C. Maillard, G. Manzella, and C. Tziavos (2003). The Mediterranean ocean forecasting system: first phase of implementation (1998-2001). Annales Geophysicae, 21:3-20 c
Tonani, M., N. Pinardi, S. Dobricic, I. Pujol and C. Fratianni (2008A). A High resolution Free Surface Model on the Mediterranean Sea. Ocean Science, 4, 1-14.
Tonani M., N. Pinardi, M. Adani, A. Bonazzi, G. Coppini, M. De Dominicis, S. Dobricic, M. Drudi, N. Fabbroni, C. Fratianni, A. Grandi, S. Lyubartsev, P. Oddo, D. Pettenuzzo, J. Pistoia and I. Pujol, 2008B. The Mediterranean ocean Forecasting system, Coastal to Global Operational Oceanography: Achievements and Challenges.

Proceedings of the Fifth International Conference on EuroGOOS 20-22 May 2008, Exeter, UK, edited by H. Dahlin, EuroGOOS Office, Norrkoping, Sweden, M. J. Bell, Met Office, UK, N. C. Fleming,

UK, S. E. Pietersson, EuroGOOS Office, Norrkoping, Sweden. First Published 2010, EuroGOOS Publication no.28, ISBN 978-91-974828-6-8.

Il sistema nazionale di Previsione dei Mari Regionali Italiani

The National Forecasting System for Italian Regional Seas

L. Fazioli, R. Sorgente, A. Olita

Consiglio Nazionale delle Ricerche – Istituto Ambiente
Marino Costiero U.o.S. Oristano

A. Guarnieri, P. Oddo

Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia,
Gruppo di Oceanografia Operativa, Bologna, Italy

E. Napolitano, R. Iacono

ENEA-UTMEA-CLIM Centro Ricerche Casaccia, Roma

La previsione della struttura verticale dell'idrodinamica marina nel Mar Mediterraneo è di fondamentale importanza per il raggiungimento dell'obiettivo della gestione sostenibile delle risorse marine e la protezione dell'ambiente costiero (Pinardi et al., 2003). Uno degli approcci più promettenti per eseguire studi predittivi della circolazione marina è quello di sviluppare modelli numerici di simulazione ad alta risoluzione spaziale in grado di riprodurre, il più fedelmente possibile, i principali processi caratteristici della circolazione marina dalla scala di bacino sino a quella costiera. Ciò è stato possibile grazie ai continui sviluppi scientifici e tecnologici nel campo dell'oceanografia operativa, in particolare all'aumento delle capacità di calcolo dei sistemi computazionali, la trasmissione automatica in Tempo Quasi Reale (Near Real Time) di osservazioni in situ e da satellite e lo sviluppo di metodi per l'assimilazione di tali parametri nei modelli fisici. Questo ha permesso, negli ultimi decenni, di sviluppare il sistema di monitoraggio e di previsione della dinamica a partire dalla scala di bacino (Manzella et al., 2003; Pinardi and Coppini, 2010) sino a quella regionale, di seguito descritta.

Il servizio di previsione della circolazione marina a scala regionale dei mari italiani è costituito da quattro sotto-sistemi ad area limitata che coprono il Mar Adriatico, lo Stretto di Sicilia, il Mar Tirreno e il Mediterraneo Occidentale (Figura 1). Le previsioni per lo Stretto di Sicilia (SCRMFS - **S**icily **R**egional **M**odel **F**orecasting **S**ystem) e Mediterraneo Occidentale (WMEDFS - **W**estern **M**editerranean **F**orecasting **S**ystem) sono fornite dal Consiglio Nazionale delle Ricerche (Istituto per l'Ambiente Marino Costiero di Oristano); per il Mar Adriatico (AFS - **A**driatic **F**orecasting **S**ystem) dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, sezione di Bologna e quelle per il Mar Tirreno (TYREM-

Forecasting the vertical structure of marine hydrodynamics in the Mediterranean is of fundamental importance for achieving sustainable management goals for marine resources and protection of the coastal environment (Pinardi et al., 2003). One of the most promising approaches for carrying out predictive studies of marine circulation lies in developing numerical simulation models at high spatial resolutions that are able to reproduce the main characteristic processes of marine circulation from the basin to the coastal scale as faithfully as possible. This has been made possible thanks to continuous scientific and technological developments in the field of operational oceanography, and in particular to increases in the calculating power of computer systems, automatic transmission in Near Real Time of in-situ and satellite observation data and the development of methods for assimilating parameters into physical models. Over recent decades this has allowed development of the monitoring system and forecasting of dynamics from the basin scale (Manzella et al., 2003; Pinardi and Coppini, 2010) up to the regional scale, which is described below.

*The regional-scale marine circulation forecasting service for Italian seas is made up of four limited-area sub-systems covering the Adriatic Sea, the Sicily Strait, the Tyrrhenian Sea and the Western Mediterranean (Figure 1). Forecasts for the Sicily Strait (SCRMFS - **S**icily **R**egional **M**odel **F**orecasting **S**ystem) and the Western Mediterranean (WMEDFS - **W**estern **M**editerranean **F**orecasting **S**ystem) are supplied by the National Research Council (Institute for the Coastal Marine Environment, Oristano); for the Adriatic Sea (AFS - **A**driatic **F**orecasting **S**ystem) they are supplied by the Bologna section of the National Geophysics and Volcanology Institute; and for the Tyrrhenian (TYREM - Tyrrhenian Sea Circulation Forecasting System) they are supplied by ENEA. The marine forecasting service is available on: http://gnoo.bo.ingv.it/static/Servizi_GNOO.htm.*

Tyrrhenian Sea Circulation Forecasting System) dall'ENEA. Il servizio di previsione marina è consultabile al seguente indirizzo: http://gnoo.bo.ingv/static/Servizi_GNOO.htm.

I modelli di previsione dei sottosistemi regionali sono basati sul Princeton Ocean Model a superficie libera e coordinate verticali sigma, costituito da equazioni tridimensionali, primitive e alle differenze finite (Blumberg and Mellor, 1987). La risoluzione spaziale orizzontale dei modelli numerici di simulazione, da un massimo di 3.5 Km a un minimo di 2.0 Km, è tale da risolvere adeguatamente le principali scale spaziali caratteristiche delle aree di studio. Le batimetrie sono ottenute per interpolazione bilineare dai dati U.S. DBDBI a $1/60^\circ$ (Navy Digital Bathymetric Data Base). Comune ad ognuno dei sottosistemi è l'accoppiamento numerico ai bordi laterali aperti, ad una via, col modello di previsione a scala di bacino per il Mar Mediterraneo, MFS1671 (INGV-Bologna), in modo da poter simulare la rilevante componente dinamica di larga scala e gli effetti dinamici non locali (Sorgente et al., 2003; Oddo and Pinardi, 2008). Nel Sistema dell'Adriatico (AFS) il forzante mareale è introdotto al contorno aperto attraverso la formulazione sulla velocità barotropica proposta da Flather (1976) e generalizzata da Oddo a Pinardi (2008), mentre l'apporto di acqua fluviale è introdotto con climatologie mensili per tutti i fiumi del bacino, tranne che per il Po, per il quale vengono utilizzate le medie giornaliere osservate.

Il forzante meteorologico è costituito dai campi di previsione forniti dal Centro Meteorologico Europeo (European Centre for Medium range Weather forecast – 6h, 0.25°), utilizzati per la parametrizzazione dei flussi di momento, calore ed acqua all'interfaccia aria mare attraverso le Bulk Formulae (Castellari et al., 1998). Il sottosistema SCRMFS, oltre all'utilizzo del modello atmosferico

Regional sub-system forecasting models are based on the vertical sigma co-ordinate free-surface Princeton Ocean Model, which comprises finite-difference and primitive three-dimensional equations (Blumberg and Mellor, 1987). The horizontal spatial resolution of the numerical simulation models ranges from 3.5 km to 2.0 km, enough to resolve the principal spatial scales characteristic of the area studies adequately. Bathymetries have been obtained through bilinear interpolation of U.S. DBDBI data at $1/60^\circ$ (Navy Digital Bathymetric Data Base). All of the sub-systems have in common one-way numerical coupling at the open side boundaries with a basin-scale Mediterranean forecasting model, MFS1671 (INGV Bologna), so as to be able to simulate the relevant wide-scale dynamic component and non-local dynamic effects (Sorgente et al., 2003; Oddo and Pinardi, 2008). In the Adriatic System (AFS), tide forcing is introduced at the open boundary through the formulation for barotropic speed proposed by Flather (1976) and generalized by Oddo and Pinardi (2008), whilst river-water inflow is introduced with monthly climatologies for all of the basin's rivers except the Po, for which daily observed averages are used.

Meteorological forcing is made up of forecast fields from the European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (6h, 0.25°), used for parameterizing the flow of moment, heat and water at the air/sea interface through Bulk Formulae (Castellari et al., 1998). The SCRMFS subsystem, besides using the ECMWF atmospheric model, also uses hourly forecasting fields from the Skiron meteorological model, which has a very high spatial and temporal resolution (Kallos et al., 1997) so as to supply two forecasting products forced by two atmospheric models with different spatial and temporal resolutions.

Forecasting capability and reliability of the regional numerical forecasting system rely on the accuracy of the definition of the initial condi-

ECMWF, si avvale inoltre dei campi orari di previsione del modello meteorologico Skiron ad altissima risoluzione spaziale e temporale (Kallos et al., 1997) in modo da fornire due prodotti di previsione forzati da due modelli atmosferici a differente risoluzione spazio temporale.

La capacità predittiva e l'attendibilità del sistema numerico di previsione regionale dipendono, oltre che dall'implementazione delle leggi fisiche e dagli algoritmi di calcolo utilizzati, dall'accuratezza nella definizione della condizione iniziale. Tale dipendenza, infatti, rappresenta uno degli aspetti cruciali al fine di ottenere previsioni attendibili. Conoscere lo stato iniziale significa determinare il valore delle variabili che descrivono la dinamica tridimensionale del mare, la cui misura diretta è spesso discontinua nello spazio e nel tempo, a causa della scarsa disponibilità di osservazioni in NRT. Questo rappresenta una fonte di notevoli incertezze che possono propagarsi durante l'integrazione numerica ed essere causa di errori sensibili nella previsione marina. Le principali caratteristiche dei sistemi di previsione sono riassunte in Tabella 1.

Nei sistemi WMEDFS e SCRMFS la condizione iniziale è ottenuta in "cold start" attraverso il downscaling diretto dei campi di previsione prodotti dal modello di circolazione a scala di bacino. In tal caso la previsione risulta essere strettamente dipendente dall'accuratezza dei campi di previsione di MFS e dalla metodologia di interpolazione sulla griglia di calcolo (orizzontale e verticale) del modello a scala regionale. Tale modalità di inzializzazione è indicata anche come modalità di previsione in "slave mode". Lo svantaggio principale della metodologia slave è legato alla diversa risoluzione spaziale, sia in orizzontale che in verticale, dei modelli regionali e quello a scala di bacino. Il non corretto bilanciamento dinamico dei

as well as on the implementation of the physical laws and calculation algorithms used. This fact is crucial for obtaining reliable forecasts. Knowing the initial state means determining the value of the variables describing the three-dimensional dynamics of the sea, direct measurement of which is often discontinuous in space and time due to a lack of availability of NRT observations. This represents an important source of uncertainty, which can be propagated during numerical integration and cause appreciable errors in marine forecasting. The main characteristics of the forecasting systems are summarized in Table 1.

In the WMEDFS and SCRMFS systems, the initial conditions are obtained in a 'cold start' through direct downscaling of the forecast fields produced by the basin-scale circulation models. In this case, the forecasts results as being closely dependant on the accuracy of the MFS forecasting fields and the methodology used for interpolating the regional-scale model on the calculation grid (horizontal and vertical). This method of initializing is also known as a 'slave mode' forecasting mode. The main disadvantage of this methodology has to do with the different resolutions, both horizontal and vertical, of the regional and basin-scale models. Incorrect dynamic balancing of interpolated fields leads, in fact, to the generation and propagation of gravity waves during the spin-up time (Auclair et al., 2000). To minimize this 'noise' in the downscaling procedure, a best-interpolation method based on VIFOP (Variational Initialization and Forcing Platform) variational analysis is used (Gaberšek et al., 2007).

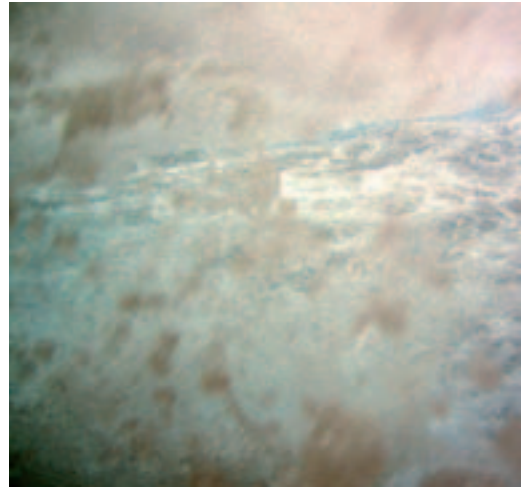
The AFS system uses an initialization system known as 'active mode' as it is implemented in a semi-closed basin, the Adriatic, that is only connected to the rest of the Mediterranean by the Strait of Otranto. The model was initialized using MFS fields from 1 January 1999 and then left to evolve freely. Each forecasting day, therefore, is initialized using the corresponding

campi interpolati, infatti, induce, durante la fase iniziale dell'integrazione numerica (*spin-up time*), la generazione e la propagazione di onde di gravità (Auclair et al., 2000). Per minimizzare questo "rumore" nella procedura di downscaling viene utilizzato un metodo di ottima interpolazione basato sull'analisi variazionale VIFOP (*Variational Initialization and FORcing Platform*) (Gaberšek, et al., 2007).

Il sistema AFS utilizza una modalità di inizializzazione definita "*active mode*" poiché implementato in un bacino semichiuso, l'Adriatico, connesso con il resto del Mediterraneo solo attraverso lo Stretto di Otranto. Il modello è stato inizializzato utilizzando i campi di MFS il 1-gennaio-1999 ed è poi stato lasciato libero di evolvere. Tutti i giorni di previsione vengono inizializzati utilizzando, quindi, come condizione iniziale il corrispondente "*snap shot*" della precedente integrazione del sistema stesso. In questa maniera vengono sviluppate le dinamiche proprie del sottosistema, indipendentemente da quelle del sistema a scala di bacino (MFS).

Il sistema TYREM viene inizializzato, in modalità "*hindcast*", una volta alla settimana (il martedì), cioè quando vengono prodotte e rese disponibili le simulazioni di analisi del modello generale MFS. Alla simulazione di *hindcast* segue quella di *forecast* a sette giorni. Questa procedura permette, durante i primi sette giorni di simulazione, di eliminare le onde spurie barotropiche che si innescano durante la fase di inizializzazione. Tra il mercoledì ed il lunedì i *forecast* (a sette giorni) vengono prodotti inizializzando il modello con il restart del forecast del giorno precedente.

I sistemi regionali forniscono ogni giorno dai 5 ai 7 giorni di campi di previsione medi giornalieri di temperatura, salinità e correnti lungo tutta la colonna d'acqua ed elevazione della superficie libera, flusso d'acqua e di calore all'interfaccia aria-mare. È inoltre prodotta una versione



'*snap shot*' of the preceding system integration. Dynamics belonging to the subsystem are thus developed independently of those of the basin-scale system (MFS).

The TYREM system is initialized, in hindcast mode, once a week (Tuesday) – that is, when analysis simulations from the general MFS model are produced and made available. The hindcast simulation is followed by a seven-day forecast. This procedure allows spurious barotropic waves set off during the initialization phase to be eliminated. Between Wednesday and Monday forecasts (seven days) are produced initializing the model with the restart from the previous day's forecast.

Every day, the regional systems supply 5- to 7-day average daily forecasting fields for temperature, salinity and currents for all of the water column, elevation of the free surface, and water and heat fluxes at the air/sea interface. An hourly version of the output is also supplied (in NetCDF format) for specific applications. Amongst the forecasting products available there are also SST OVFs (Sea Surface Temperature On-line Validation Facility), developed for operational checking of SST forecasting fields against satellite data supplied by the Satellite Oceanography Group (GOS – CNR/ISAC, Rome).

Sistema	Risoluzione		Forzanti				Inizializzazioni	Output	
NOME	ORIZ.	VERT.	MARINO	METEO	MAREA	FIUMI	METODO	FREQUENZA	GIORNI
WMEDFS	3.5km	30 σ	MFS1671	Ecmwf	NO	NO	VIFOP	Giornaliera Oraria	+5gg
SCRM FS	3.5km	30 σ	MFS1671	Ecmwf Skiron	NO	NO	VIFOP	Giornaliera Oraria	+5gg
TYREM	2.0km	41 σ	MFS1671	Ecmwf	NO	NO	Interp.. bilineare	Giornaliera Oraria	+7gg
AFS	2.2km	31 σ	MFS1671	Ecmwf	O.T.I.S.	Osservazioni (fiume PO) Medie climatologiche mensili (altri fiumi)	Snap Shot da AFS (active mode)	Giornaliera Oraria	+7gg

Tabella 1 – Principali caratteristiche dei sottosistemi regionali di previsione dei Mari Italiani.

System	Resolution		Forcings				Initialization	Output	
NAME	ORIZ.	VERT.	MARINE	METEO	TIDE	RIVER	METHOD	FREQUENCY	Days
WMEDFS	3.5km	30 σ	MFS1671	Ecmwf	NO	NO	VIFOP	Daily Hourly	+5 days
SCRM FS	3.5km	30 σ	MFS1671	Ecmwf Skiron	NO	NO	VIFOP	Daily Hourly	+5 days
TYREM	2.0km	41 σ	MFS1671	Ecmwf	NO	NO	Bilinear interpolation	Daily Hourly	+7 days
AFS	2.2km	31 σ	MFS1671	Ecmwf	O.T.I.S.	Observations (River Po) Monthly climatological averages (other rivers)	AFS snap shot (active mode)	Giornaliera Oraria	+7gg

Table 1 – Main characteristics of the regional forecasting subsystems for Italian seas.

oraria degli output (in formato NetCDF) per applicazioni specifiche. Tra i prodotti di previsione sono disponibili anche gli SST OVF (Sea Surface Temperature On-line Validation Facility), sviluppati per un controllo operativo dei campi di previsione di SST contro i dati satellitari forniti dal Gruppo

The oceanographic service supplies support to monitoring, forecasting and prevention through: a modular operational system for continuous surveillance of hydrocarbon pollution at sea; support to the Coast Guard for search and rescue activity; planning ways to mitigate climate change and eventually adapt to it; monitoring

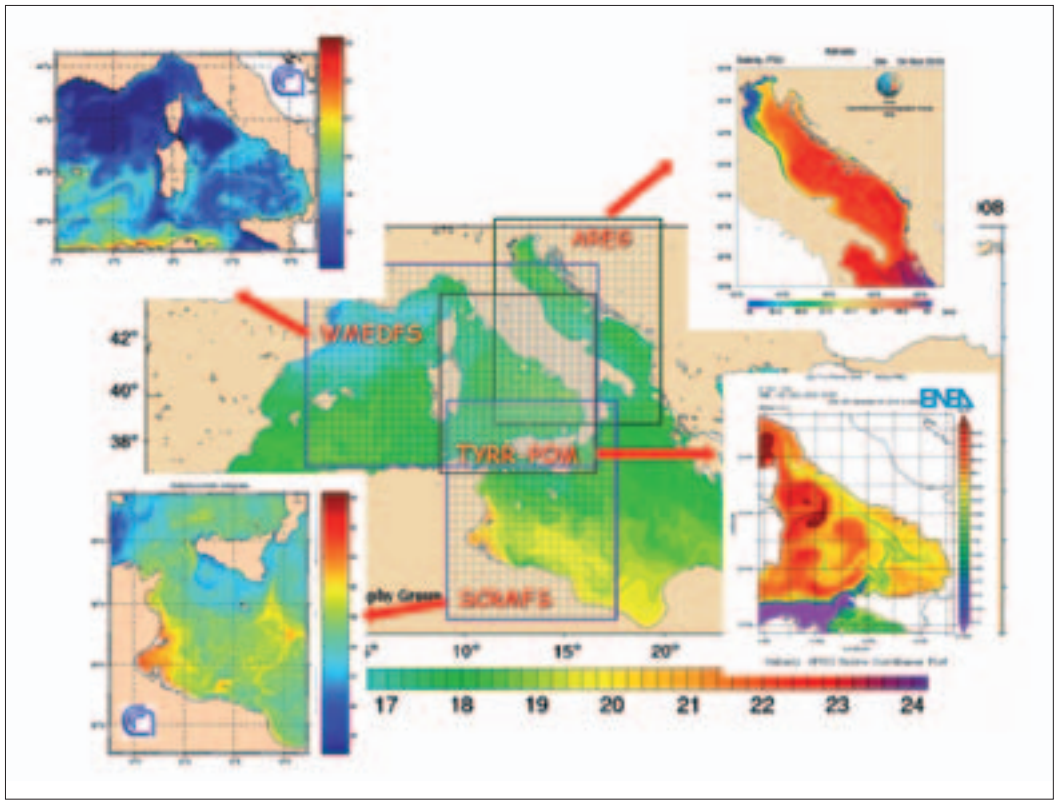


Figura 1 – Distribuzione spaziale dei sistemi di previsione della circolazione marina a scala regionale. Ai contorni aperti i modelli sono accoppiati numericamente con il modello di previsione a scala di bacino per l'intero Mar Mediterraneo.

Figure 1 – Spatial distribution of regional-scale marine circulation forecasting systems. At the open boundaries models are coupled numerically with the basin-scale forecasting model for the whole Mediterranean.

di Oceanografia da Satellite (GOS – CNR/ISAC, Roma).

Il servizio oceanografico fornisce supporto alle attività di monitoraggio, previsione e prevenzione mediante: un sistema operativo modulare per la sorveglianza continua dell'inquinamento marino da idrocarburi; supporto alle Guardie Costiere per attività di ricerca e recupero ("Search and Rescue"); pianificazione di azioni di mitigazione ed adattamento ai cambiamenti climatici; monitoraggio dei cambiamenti climatici attraverso una stima accurata del mare (ri-analisi) accoppiando modelli ed osservazioni; gestione razionale e sostenibile dell'ecosistema

of climate change through and accurate calculation of the sea (re-analysis) coupling models and observations; rational sustainable management of the marine ecosystem (e.g. sustainable fishing); monitoring of the state of health of the resource represented by the sea, which faces a large amount of anthropic pressure (pollution, tourism, tropicalization of invasive species etc.). The operational products of the national regional-scale forecasting system are available on the dedicated web page http://gnoo.bo.ingv.it/static/Servizi_GNOO.htm.

The service supplied by the **SCRMFS** regional model (Figure 2) has been active since 2004 and currently supplies +5 days of daily fore-

marino (es. pesca sostenibile) nonché al monitoraggio dello stato di salute della risorsa Mare sottoposta a forte pressione antropica (inquinamento, turismo, tropicalizzazione da specie invasive etc etc).

I prodotti operativi del sistema nazionale di previsione a scala regionale sono disponibili alla pagina Web dedicata http://gnoo.bo.ingv.it/static/Servizi_GNOO.htm.

Il servizio fornito dal modello regionale **SCRMFS** (Figura 2) è attivo dal 2004 ed attualmente fornisce operativamente +5 giorni di campi di previsione giornaliera consultabili sul portale dedicato del CNR <http://www.seaforecast.cnr.it>.

I campi di previsione del **WMEDFS** (Figura 3) sono operativi dal 2005 e disponibili inoltre sul portale dedicato del CNR <http://www.seaforecast.cnr.it>.

Il servizio fornito dal sistema **AFS** (Figura 4), operativo dall'Aprile 2003, è disponibile all'indirizzo <http://gnoo.bo.ingv.it/afs>.

casting fields operationally. These can be consulted on the dedicated CNR portal <http://www.seaforecast.cnr.it>.

*The **WMEDFS** (Figure 3) forecasting fields have been operational since 2005 and are also available on the dedicated CNR portal <http://www.seaforecast.cnr.it>.*

*The service supplied by the **AFS system** (Figure 4), operational since April 2003, is available at <http://gnoo.bo.ingv.it/afs>.*

*The forecasting system for the central Tyrrhenian supplied by the **TYREM** system (Figure 5) is available at <http://clima.casaccia.enea.it/MEDMOD/>*

Various National and European Projects have allowed the development and maintenance of the national forecasting system for Italian seas at basin and regional scales.

MFSP-EU (Mediterranean Forecasting System Pilot Project), MFSTEP-EU (Mediterranean Forecasting System Toward Environmental Pre-

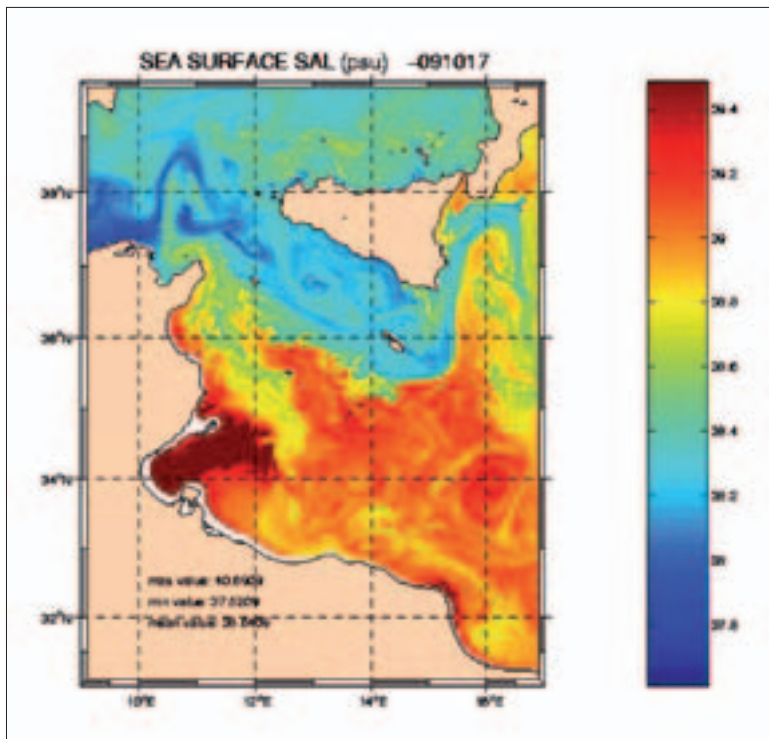


Figura 2 – In questa figura è rappresentata la previsione del campo medio giornaliero della salinità superficiale fornito dal modello SCRMFS per il giorno 17 Ottobre 2009.

Figure 2 – This figure shows the average daily surface salinity field supplied by the SCRMFS model for 17 October 2009.

Il servizio di previsione per il Tirreno centrale fornito dal sistema **TYREM** (Figura 5) è disponibile all'indirizzo <http://clima.casaccia.enea.it/MEDMOD/>

Diversi Progetti Europei e Nazionali hanno consentito lo sviluppo ed il mantenimento del sistema nazionale di previsione dei mari italiani a scala di bacino e regionale:

MFSPPEU (*Mediterranean Forecasting System Pilot Project*), MFSTEP-EU (*Mediterranean Forecasting System Toward Environmental Prediction*), MERSEA-EU (*Marine Environment and security for the European Area*), ECOOP-EU (*European COastal sea Operational observing and Forecasting System*), ADRI-COSM-EU (*ADRIatic sea integrated COastal areaS and river basin Management system pilot project*), ADRICOSM-STAR-EU, PRIMIASI (*Progetto Pilota Inquinamento Marino da Idrocarburi*), MyOcean-EU, SOS-Bonifacio-Ministero dell'Ambiente e della tutela del territorio e del mare - Direzione Generale Protezione Della Natura.

diction), MERSEA-EU (*Marine Environment and security for the European Area*), ECOOP-EU (*European COastal sea Operational observing and Forecasting System*), ADRICOSM-EU (*ADRIatic sea integrated COastal areaS and river basin Management system pilot project*), ADRICOSM-STAR-EU, PRIMIASI (*Progetto Pilota Inquinamento Marino da Idrocarburi*), MyOcean-EU, SOS-Bonifacio-Ministero dell'Ambiente e della tutela del territorio e del mare - Direzione Generale Protezione Della Natura.

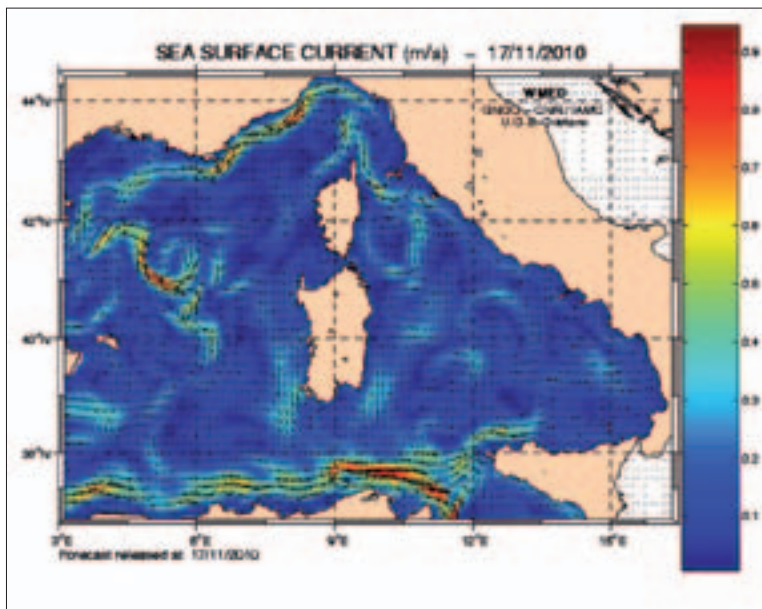


Figura 3 - Campo medio giornaliero della corrente superficiale fornito dal sistema regionale WMEDFS per il giorno 17 Novembre 2010.

Figure 3 – Daily average filed for the surface current supplied by the WMEDFS regional system for 17 November 2010.

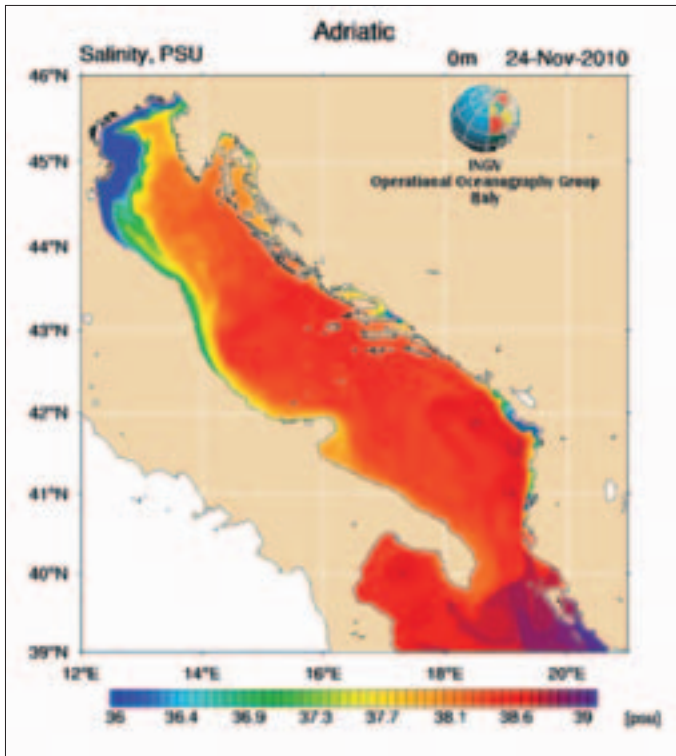


Figura 4 - Campo medio giornaliero di temperatura superficiale fornito dal sistema AFS per il giorno 24 Novembre 2010.

Figure 4 – Daily average surface temperature field supplied by the AFS system for 24 November 2010.

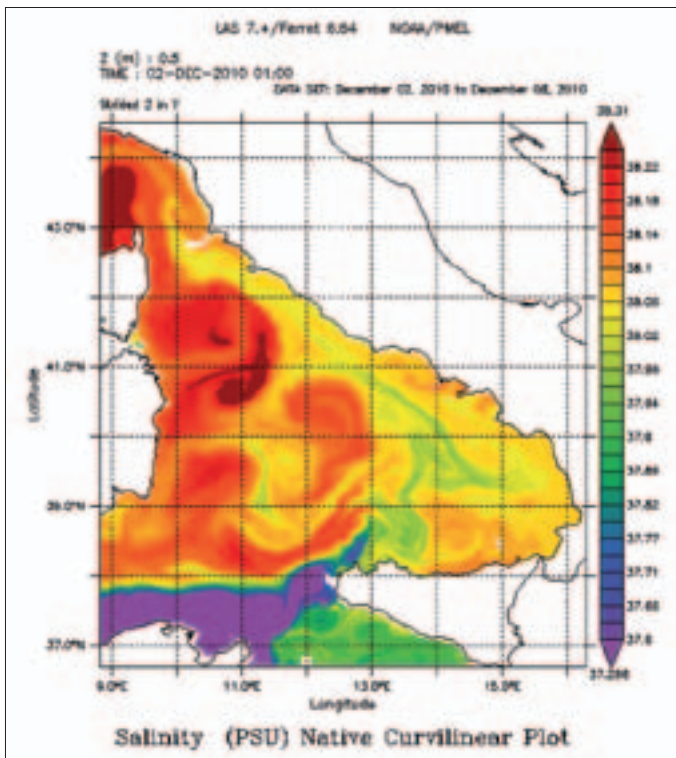


Figura 5 - Campo medio giornaliero di salinità superficiale fornito dal sistema TYREM per il giorno 2 Dicembre 2010.

Figure 5 – Daily average surface salinity field supplied by the TYREM system for 2 December 2010

Bibliografia

- Auclair, F., Casitas, S., Marsaleix, P., 2000. Application of an Inverse Method to Coastal Modeling. *J. Atmos. Ocean Technol.*, 17, 1368-1391.
- Blumberg, A. F., Mellor, G.L., 1987. A description of a three-dimensional coastal ocean circulation model. In Heaps NS editor. *Three-dimensional coastal ocean models*, American Geophysical Union, Washington D.C., 208.
- Castellari, S., Pinardi, N., Leaman, K., 1998. A model study of air-sea interaction in the Mediterranean Sea. *Journal Marine System*, 18, 89-114.
- Flather, R.A., 1976. A tidal model of the northwest European continental shelf. *Memories de la Societe Royale des Sciences de Liege* 6 (10), 141-164.
- Gabersèk, S., Sorgente, R., Natale, S., Ribotti, A., Olita, A., Astraldi, M., Borghini, M., 2007. The Sicily Channel Regional Model Forecasting system: initial boundary conditions sensitivity and case study evaluation. *Ocean Sci.*, Vol. 3, pag. 31-41.
- Kallos, G., Nickovic, S., Papadopoulos, A., Jovic, D., Kakaliagou, O., Misirlis, N., Boukas, L., Mimikou, N., G., S., J., P., Anadranistakis, E., and Manousakis, M.: The regional weather forecasting system Skiron: An overview, in: *Proceedings of the Symposium on Regional Weather Prediction on Parallel Computer Environments*, 109-122, Athens, Greece, 1997.
- Manzella, G.M.R., Scoccimarro, E., Pinardi, N., Tonani, M., 2003. Improved near real-time data management procedures for the Mediterranean ocean Forecasting System-Voluntary Observing Ship program, *Annales Geophysicae*, Vol. 21, pag. 49-62.
- Oddo P. and N. Pinardi 2008. Lateral open boundary conditions for nested limited area models: A scale selective approach. *Ocean Modelling* 20 (2008) 134-156.
- Pinardi, N., Allen, I., Demirov, E., De May, P., Korres, G., Lascaratos, A., Le Traon, P.Y., Maillard, C., Manzella, G.M.R., Tziavos, C., 2003. The Mediterranean Ocean forecasting system: first phase of implementation (1998-2001). *Annales Geophysicae*, Vol. 21, pag. 3-20.
- Pinardi, N., Coppini, G., 2010. Operational oceanography in the Mediterranean Sea: the second stage of development. *Ocean Sci.*, Vol. 6, pag. 263-267.
- Robinson, A. R., Wayne, G., Thecharis, A., Lascaratos, A., 2001. Mediterranean Sea circulation. In: Steele, J., Turekian, K., Thorpe, S. (Eds.), *Encyclopedia of Ocean Sciences*, Academic Press.
- Sorgente, R., Drago, A. F., Ribotti, A., 2003. Seasonal variability in the Central Mediterranean Sea circulation, *Ann. Geophys.* 21, 299-322.

Un sistema previsionale di storm surge in Mar Mediterraneo

A Storm-Surge Forecasting System for the Mediterranean

C. Ferrarin

Institute for the Coastal Marine Environment - IAMC-CNR, Oristano, Italy

Institute of Marine Science, ISMAR-CNR, Venezia, Italy

G. Umgiesser

Institute of Marine Science, ISMAR-CNR, Venezia, Italy

A. Cucco

Institute for the Coastal Marine Environment - IAMC-CNR, Oristano, Italy

A. Roland

Dep. of Hydraulic Engineering, Darmstadt University of Technology, Germany

M. Bajo

Institute of Marine Science, ISMAR-CNR, Venezia, Italy

S. Davolio, A. Buzzi, P. Malguzzi, O. Drofa, M. Fantini

Institute of Atmospheric Sciences and Climate, ISAC-CNR, Bologna, Italy

C. Rendina

Institute of Atmospheric Sciences and Climate, ISAC-CNR, Bologna, Italy

Dep. Of Physics, University of Ferrara, Italy

Introduzione

Molti autori (Wolf, 2009; Kim et al., 2008; Brown and Wolf, 2009; Roland et al., 2009) hanno evidenziato come l'accoppiamento di modelli di onde, storm surge e marea astronomica migliori notevolmente la previsione nelle zone costiere. Le interazioni tra onde e livello includono processi come il wave setup, i contributi della marea astronomica e dello storm surge alla profondità totale della colonna d'acqua, la rifrazione delle onde da onde e profondità, l'influenza della rugosità superficiale causata dalle onde sulla parametrizzazione dello stress del vento.

La simulazione della circolazione delle acque e dei principali processi fisici che interessano le aree costiere necessita l'utilizzo sia di modelli numerici ad alta risoluzione spaziotemporale sia di procedure di "downscaling" in grado di riprodurre le interazioni e gli scambi di massa che avvengono tra l'ambiente di mare aperto e l'ambiente costiero. Tale obiettivo può essere raggiunto sia mediante l'implementazione di procedure di "nesting" tra modelli numerici basati su griglie di calcolo regolari (Kim et al., 2008; Brown and Wolf, 2009) sia mediante l'utilizzo di modelli numerici basati su griglie non strutturate in grado di riprodurre i processi di interesse con una risoluzione spaziale variabile (Roland et al., 2009, Bajo et al., 2007, Bajo and Umgiesser, 2010). Il primo approccio è comunemente utilizzato all'interno di diversi sistemi operazionali per effettuare procedure di "nesting" da sistemi di previsione a scala di bacino a scala regionale. Tali procedure di accoppiamento sono generalmente robuste e ben testate tuttavia non prevedono la possibilità di riprodurre le interazioni tra le diverse scale spaziali in modo biunivoco (downscaling e upscaling). Il secondo approccio basato sull'utilizzo di

Introduction

Several authors (Wolf, 2009; Kim et al., 2008; Brown and Wolf, 2009; Roland et al., 2009) have pointed out that coupling wave, storm-surge and astronomical tide models brings about significant improvement in forecasting in coastal areas. The interaction between waves and water level includes such processes as wave setup, the contribution of the astronomical tide and storm surge to the total depth of the water column, wave refraction from waves and depth, and the influence of surface roughness caused by waves on wind stress parameterization.

Simulation of water circulation and the principal physical processes concerning coastal areas requires the use of both numerical models at high spatial and temporal resolutions and downscaling capable of reproducing mass interaction and exchange taking place between the open sea and coastal waters. This goal can be met through both implementation of nesting numerical models based on regular calculation grids (Kim et al., 2008; Brown and Wolf, 2009) and numerical models based on unstructured grids able to reproduce processes of interest with variable spatial resolutions (Roland et al., 2009, Bajo et al., 2007, Bajo and Umgiesser, 2010). The first approach is commonly used within various operational systems to effect nesting procedures from basin-scale forecasting systems to regional-scale ones. These coupling procedures are generally robust and well tested; however, they do not allow for the possibility of reproducing interaction between various spatial scales with a one-to-one correspondence (downscaling and upscaling). The second approach, based on using unstructured grid models, such as those based on finite-element or finite-volume methods, by varying the spatial resolution of the calculation domain, allows easy reproduction of one-to-one interactions (downscaling and upscaling) between coastal areas and the open

modelli a griglia non-strutturata, quali quelli basati sul metodo degli elementi finiti o dei volumi finiti, permettono, variando la risoluzione spaziale del dominio di calcolo, di riprodurre facilmente le interazioni biunivoche (downscaling e upscaling) tra gli ambienti costieri e gli ambienti di mare aperto. In tal caso, l'elevato costo computazionale e la non facile implementazione, hanno reso tale approccio solo in parte utilizzato all'interno di sistemi operazionali di previsione.

Anche se il bisogno di scalare la risoluzione a livello costiero sembra ovvio, sembra meno ovvio che anche un approccio di upscaling è necessario per implementare modelli costieri. Tutti i modelli necessitano di condizioni al contorno, che sono fornite da un modello a scala maggiore. Nel caso di simulazioni di storm surge questo sembra essere di grande importanza. Per utilizzare questo approccio nel mar Mediterraneo, si è creato un modello di storm surge con griglia non strutturata. La catena di modelli consiste in un modello idrodinamico 3D agli elementi finiti, che include il modello astronomico, accoppiato con un modello spettrale di onde.

I principali forzanti per i modelli idrodinamici e di onde sono il vento sulla superficie del mare e la pressione atmosferica. È ben noto (Cavaleri et al, 2010) che i campi di vento sul Mar Mediterraneo sono modulati dalla complicata orografia che quindi richiede modelli ad alta risoluzione per essere descritti adeguatamente. Al fine di implementare una sistema oceanografico di previsione, i campi meteorologici sono forniti dai modelli ad alta risoluzione BOLAM e MOLOCH, sviluppati ed implementati ad ISAC-CNR.

sea. In this case, the higher computing cost and difficult implementation have meant that this approach is only partially used within operation al forecasting systems.

Although the need to scale the resolution at the coastal level might appear obvious, it would appear less obvious that an upscaling approach is also necessary for implementing coastal models. All models need boundary conditions, which are supplied by a model at a larger scale. In the case of storm-surge simulation, this appears to be of great importance. In order to use this approach in the Mediterranean, an unstructured-grid storm-surge model has been created. The model chain consists of a finite-element 3D hydrodynamic model that includes the astronomical model coupled with a spectral wind wave model.

The principal forcings for hydrodynamic and wave models are wind on the sea surface and atmospheric pressure. It is well known (Cavaleri et al., 2010) that Mediterranean wind fields are modulated by a complicated orography requiring high-resolution models in order to be described adequately. In order to implement an oceanographic forecasting system, meteorological fields are supplied by the BOLAM and MOLOCH high-resolution models developed and implemented at ISAC-CNR.

Instruments and methods

The model presented here is a fully-coupled wave, current and astronomical-tide model using the same computational grid. This is important in coastal waters, where the wave field is influenced a lot by local depths, meaning that correct wave forecasting is only possible through coupling with a hydrodynamic model the system considers many of the wave/current interactions described previously.

Strumenti e metodi

Il modello qui presentato è un modello pienamente accoppiato di corrente, onde e marea astronomica, che utilizza la stessa griglia computazionale. Questo è importante nelle acque costiere, dove il campo d'onde è influenzato fortemente dalla profondità locale e quindi una corretta previsione delle onde può essere fatta solo con un accoppiamento ad un modello idrodinamico. Il sistema considera molte delle interazioni onda-corrente descritte precedentemente.

Il sistema consiste in un modello idrodinamico agli elementi finiti (SHYFEM, Umgiesser et al, 2004), che include un modello mareale, accoppiato ad un modello spettrale di onde agli elementi finiti (WWMII, Roland et al, 2009).

La griglia numerica utilizzata dal modello idrodinamico e da quello delle onde, copre l'intero mar Mediterraneo con circa 140.000 elementi triangolari ed una risoluzione che varia da 15-20 km nel mare aperto a 5 km nelle zone costiere e ad 1 km sulle coste italiane (Figura 1). Il metodo agli elementi finiti permette di seguire i dettagli della batimetria e della morfologia nelle zone costiere, descrivendo le aree di interesse con risoluzione maggiore.

La colonna d'acqua è stata discretizzata in 16 livelli verticali con uno spessore variabile da 2 m per i primi 10 m a 500 m per lo strato più profondo, al di fuori della piattaforma continentale. La marea astronomica calcolata dal modello globale FES2004 viene imposta come condizione al contorno allo stretto di Gibilterra. Il modello considera 4 componenti semi-diurne (M2, S2, N2, K2), 4 diurne (K1, O1, P1, Q1) e 3 a lungo termine (Mf, Mm, Ssa).

The system consist of a finite-element hydrodynamic model (SHYFEM, Umgiesser et al., 2004) that includes a tidal model, fully coupled with a third -generation finite-element spectral wind wave model (WWMII, Roland et al., 2009).

The numerical grid used by the hydrodynamic and the wave model covers the whole of the Mediterranean with approximately 140000 triangular elements and a resolution that varies from 15-20 km in the open sea to 5 km in coastal waters and 1 km on the coasts of Italy (Figure 1). The finite-element method allows details of coastal bathymetry and morphology to be followed, thereby describing areas of interest with a greater resolution.

The water column is discretized into 16 vertical levels with a thickness varying from 2 m for the first 10 m to 500 m for the deepest layer, beyond the continental shelf. The astronomical tide calculated by the global FES2004 model is imposed as a boundary condition at the Strait of Gibraltar. The model considers four semi-diurnal components (M2, S2, N2, K2), four diurnal ones (K1, O1, P1, Q1) and three long-term ones (Mf, Mm, Ssa).

Baroclinic terms, river input and heat fluxes are not considered.

Model validation

This section shows the preliminary results of the hindcast simulations. The accuracy of the model was evaluated based upon the correct reproduction of the levels and characteristics of waves according to a comparison with observations made along the Italian coast (Figure 2). In this three-year simulation meteorological wind and pressure fields from ECMWF were used.

Analysis simulation results are presented in terms of RMSE (root mean square error) in

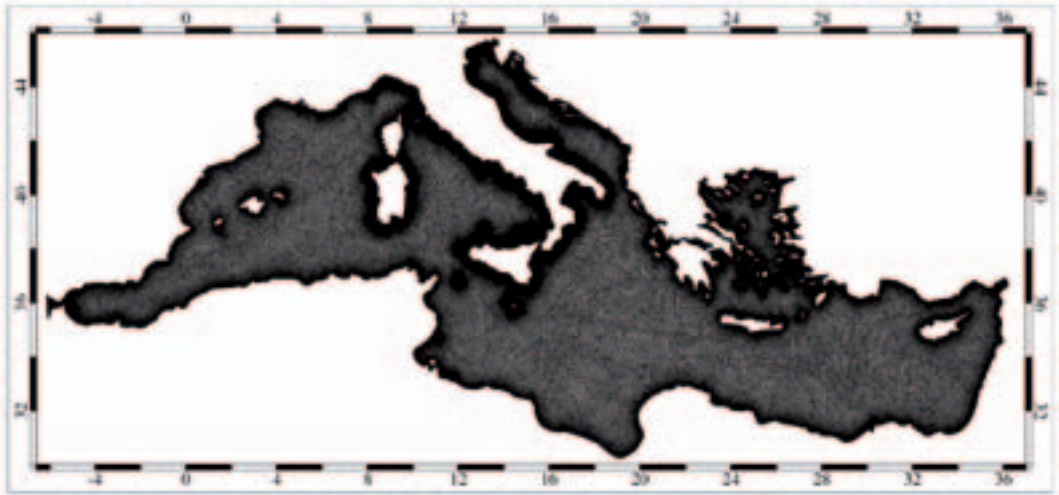


Figura 1: Griglia non strutturata del mar Mediterraneo.

Figure 1: Unstructured grid of the Mediterranean Sea.

Non vengono considerate in queste simulazioni i termini baroclini, la portata dei fiumi e i flussi di calore.

Validazione del modello

In questa sezione si espongono i risultati preliminari delle simulazioni di hindcast. L'accuratezza del modello è stata valutata in base alla corretta riproduzione dei livelli e delle caratteristiche delle onde, mediante il confronto con osservazioni lungo la costa italiana (figura 2). In questa simulazione di tre anni si sono utilizzati campi meteorologici di vento e pressione dell'ECMWF.

I risultati delle simulazioni di analisi vengono presentati in termini di RMSE (root mean square error, in cm), BIAS (differenza tra la media dei valori osservati e simulati, in cm) per le componenti di marea astronomica, e in termini di RMSE (in cm), BIAS (in cm), R^2 (coefficiente di correlazione) e SI (Scatter Index) per il livello residuo e per l'altezza significativa d'onda.

cm, BIAS (the difference between the average of observed and simulated values) in cm for the astronomical tide component, and in terms of RMSE (in cm), BIAS (in cm), R^2 (correlation coefficient) and SI (Scatter Index) for the residual level and significant wave height.



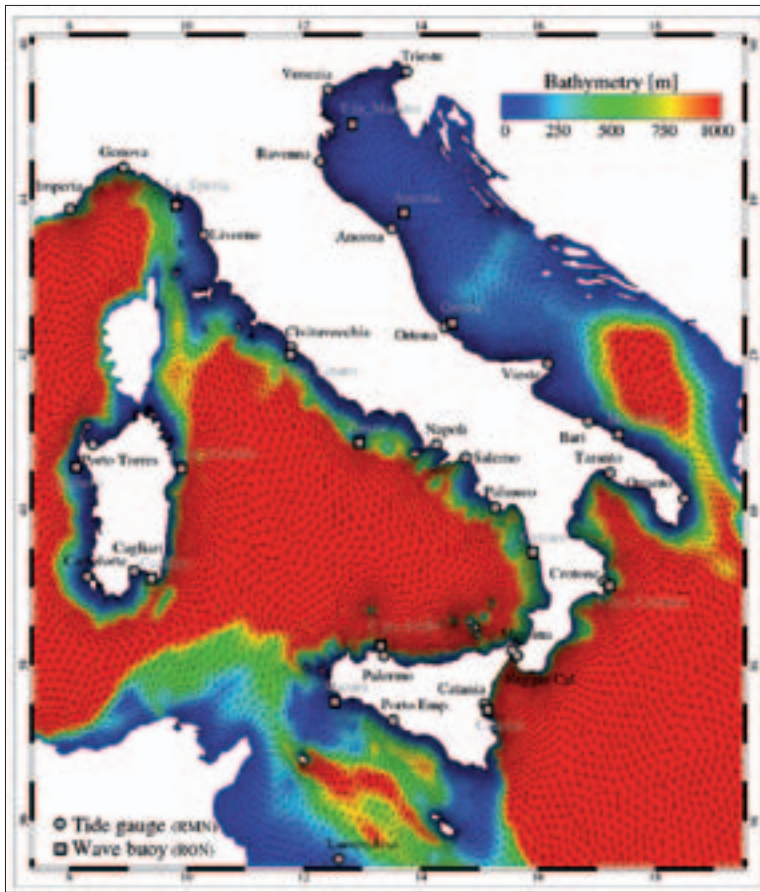


Figura 2: Griglia di calcolo lungo la costa italiana con posizione delle stazioni di misura.

Figure 2: Numerical grid along the Italian coast with location of measuring stations.

I livelli calcolati con il modello accoppiato sono stati confrontati con i livelli misurati segnati con dei cerchi in Fig. 2. È stata eseguita un'analisi armonica delle componenti mareali sia sui dati del modello sia sulle osservazioni, per poter validare il modello sia per la riproduzione della marea astronomica che per quella dello storm surge.

The levels calculated with the coupled models were compared with the levels measured in location marked with a circle in Fig. 2. A harmonic analysis of tidal components was carried out for both model data and observational data so as to validate the model for the reproduction of both the astronomical tide and the storm surge.

L'analisi statistica del segnale di marea per le 4 componenti principali diurne e per le 4 semidiurne viene riportata in Tabella 1. Il RMSE dell'ampiezza relativo a tutte le componenti è minore a 1 cm.

Statistical analysis of the tide signal for the four principal diurnal components is given in Table 1. The RMSE relative to all of the components is less than 1 cm.

I risultati ottenuti sono stati confrontati con i risultati del modello di Tsimplis et al. (1995) considerando le differenze vettoriali

The results obtained were compared with the results from the model in Tsimplis et al. (1995), taking into account the vectorial differences for the M2, S2, K1 e O1 components (Table 2), re-

	M2		S2		N2		K2	
	Amp	Pha	Amp	Pha	Amp	Pha	Amp	Pha
BIAS	-0.20	-0.93	-0.05	-3.76	-0.16	1.40	-0.19	3.82
RMSE	0.66	6.74	0.30	7.74	0.22	8.64	0.31	11.17
	K1		O1		P1		Q1	
	Amp	Pha	Amp	Pha	Amp	Pha	Amp	Pha
BIAS	0.29	3.46	0.46	2.36	0.23	20.34	-0.07	-6.49
RMSE	0.37	70.61	0.57	21.63	0.28	24.08	0.13	13.78

Tabella 1: Statistica per il segnale di marea astronomica in termini di BIAS (cm) e RMSE (cm).

Table 1: Astronomical tide signal statistics in terms of BIAS (cm) and RMSE (cm),

	M2	S2	K1	O1
This study	0.92	0.57	1.23	0.84
Tsimplis et al., 1995	1.62	1.09	1.54	0.39

Tabella 2: Differenze vettoriali per M2, S2, K1, O1 dal modello esposto in questo studio e da Tsimplis et al. (1995).

Table 2: Vectorial differences for M2, S2, K1, O1 between the model described in this study and that in Tsimplis et al. (1995).

per le componenti M2, S2, K1 e O1 (Tabella 2), rivelando una buona accuratezza nella riproduzione della propagazione dell'onda mareale nel mar Mediterraneo.

Per analizzare il contributo del vento e delle onde sul livello marino, si sono calcolate le differenze tra il livello misurato e la marea astronomica e si sono comparate con i risultati del modello. L'analisi statistica dei livelli residui è riportata in Tabella 3. Il RMSE per i livelli residui è di 15.5 cm con un coefficiente di correlazione di 0.57. L'elevato valore della BIAS nei risultati del modello per il mar Ionio si può in parte attribuire alla circolazione termalina che non è considerata nelle simulazioni.

La verifica dei risultati del modello delle onde è stata fatta confrontando l'altezza

vealing good accuracy in reproducing tide wave propagation in the Mediterranean.

In order to analyse the contribution of wind and waves to the sea level, the differences between the level measured and the astronomical tide were calculated and compared with model results. Statistical analysis of the residual levels is given in Table 3. The RMSE for the residual levels is of 15.5 cm, with a correlation coefficient of 0.57. The high BIAS value in the model results for the Ionian may in part be attributed to the thermohaline circulation, which is not considered in the simulations.

Verification of wave model results was performed comparing the significant height of modelled waves with hourly data measured by ten

	RMSE	CORR	BIAS	SI
Adriatic	17.3	0.67	11.3	1.54
Ionian	26.8	0.49	25.0	2.28
Thyrrhenian	17.1	0.51	15.1	2.00
Ligurian	8.3	0.6	1.5	1.1
Sicily	9.8	0.52	3.3	1.39
Sardinia	13.6	0.45	-10.4	1.46
Average	15.5	0.57	8.3	1.61

Tabella 3: Statistiche del livello residuo in termini di RMSE (cm), coefficiente di correlazione, BIAS (cm) e SI.
Table 3: Statistics of the residual level in terms of RMSE (cm), correlation coefficient, BIAS (cm) and SI.

significativa dell'onda modellata con i dati orari misurato in 10 boe lungo la costa italiana. I siti delle boe sono indicati con dei quadrati in Fig. 2 e le statistiche sono riportate in Tabella 4. Il RMSE per l'altezza d'onda per il periodo simulato è di 27.5 cm con un coefficiente di correlazione di 0.93, il che rivela un'accuratezza soddisfacente nella riproduzione della dinamica delle onde provocate dal vento nella zona di interesse. I risultati del modello si accordano bene con le osservazioni dimostrando l'applicabilità del modello d'onde nell'area interessata.

Il sistema operativo

Il sistema di storm surge è stato recentemente implementato operativamente ed è stato denominato *Kassandra*. Gli input meteorologici (vento, temperatura, umidità, pressione e radiazione solare alla superficie e copertura nuvolosa) sono forniti da una catena di modelli meteorologici sviluppati all'ISAC-CNR. La catena di modelli meteorologici che comprende anche il modello globale GFS del National Centers for Environmental Prediction (NCEP) degli Stati Uniti (risoluzione di 50 km, 6 giorni di previsione), è costituita dal modello

buoys along the Italian coast. Buoy sites are shown with squares in Fig. 2, and the statistics are given in Table 4. The RMSE for wave height for the simulated period simulated is of 27.5 cm, with a correlation coefficient of 0.93, which reveals a satisfactory accuracy in reproducing wind wave dynamics in areas of interest. Model results have a good agreement with observations, demonstrating the applicability of the wave model in the area in question.

The operational system

The storm-surge system has recently been implemented operationally under the name of Kassandra. The meteorological inputs (wind, temperature, humidity, solar radiation and pressure at the surface, cloud cover) are supplied by a chain of meteorological models developed by ISAC-CNR. The chain of meteorological models, which also includes the GFS global model from the US National Centers for Environmental Prediction (NCEP) (50 km resolution, 6-day forecasting), is made up of the hydrostatic BOLAM model (11 km resolution, 3-day forecasting), covering the Mediterranean, and the non-hydrostatic MOLOCH model (2.3 km resolution, 2-day forecasting), covering the Italian peninsula. Both models are operational

	RMSE	CORR	BIAS	SI
Adriatic	28.6	0.93	4.5	0.44
Ionian	24.5	0.92	-14.5	0.38
Tyrrhenian	28.2	0.93	-8.1	0.37
Ligurian	26.9	0.93	-20.3	0.32
Sicily	24.9	0.95	-14.9	0.35
Sardinia	30.0	0.94	-18.9	0.35
Average	27.5	0.93	-11.0	0.37

Tabella 4: Statistica dell'altezza significativa d'onda in termini di RMSE (cm), coefficiente di correlazione, BIAS (cm) e SI.

Table 4: Significant wave height statistics in terms of RMSE (cm), correlation coefficient, BIAS (cm) and SI.

idrostatico BOLAM (risoluzione di 11 km, 3 giorni di previsione) che copre buona parte del Mar Mediterraneo, e dal modello non-idrostatico MOLOCH (risoluzione di 2.3 km, 2 giorni di previsione) che copre la penisola italiana, operativi presso l'ISAC. I modelli meteorologici (Malguzzi et al, 2007) sono attualmente operativi presso l'ISAC, nell'ambito di un'attività dimostrativa supportata dal Dip. Pro. Civ. nazionale.

Il sistema, che calcola inoltre la circolazione costiera, fornisce previsioni a cadenza giornaliera, con un'estensione temporale di 4 giorni su tutto il mar Mediterraneo, con passo temporale di tre ore. Questo modello riproduce bene la circolazione indotta dalla marea astronomica e dal vento nell'area di studio ed è stato applicato in 3D per poter calcolare le onde e le correnti superficiali. Non viene utilizzata nessuna tecnica di assimilazione dati.

Questo sistema di previsione è il risultato di una collaborazione tra ISMAR-CNR, IAMC-CNR (Gruppo di Oceanografia Operativa), ISAC-CNR e il Dr. Aaron Roland e il Prof. U. Zanke dal Dipartimento di Ingegneria

at ISAC. The meteorological models (Malguzzi et al., 2007) are currently operational at ISAC as part of a demonstration activity backed by the national Civil Protection.

The system, which also calculates coastal circulation, supplies daily four-day forecasts for the whole Mediterranean with a three-hour time step. This model gives a good reproduction of circulation induced by the astronomical tide and by wind in the area under study, and has been applied in 3D so as to be able to calculate surface waves and currents. No data assimilation technique is used.

This forecasting system is the result of collaboration between ISMAR-CNR, IAMC-CNR (Operational Oceanography Group), ISAC-CNR and Dr Aaron Roland and Professor U. Zanke of the Department of Hydraulic Engineering of the University of Darmstadt in Germany.

Idraulica dell'Università di Darmstadt, in Germania.

Conclusioni

È stato sviluppato ed applicato al mar Mediterraneo un modello completamente accoppiato di onde - marea astronomica – storm surge, che utilizza una griglia agli elementi finiti. Il modello spettrale d'onde di terza generazione WWM II è stato accoppiato con il modello idrodinamico SHYFEM 3D. Il metodo utilizzato e gli schemi numerici di entrambi i modelli sono stati testati con successo e dimostrano di essere efficaci nel simulare lo storm surge indotto dai fattori meteorologici e dalle onde nel mar Mediterraneo.

Il completo sistema modellistico, che include componenti meteorologiche ed oceanografiche, rappresenta un potente sistema di previsione per l'intero Mar Mediterraneo. L'alta risoluzione spaziale del sistema Cassandra lungo la penisola Italiana permette di descrivere nel dettaglio la circolazione costiera ed il campo di onde.

Le previsioni del sistema sono disponibili al sito web: www.ismar.cnr.it/kassandra.

Conclusions

A fully-coupled wave, astronomical-tide and storm-surge model has been developed and applied to the Mediterranean on a finite-element grid. The third-generation WWM II spectral wave model was coupled with the 3D hydrodynamic SHYFEM model. The method used and the numerical schemes of both models have been successfully tested and shown to be efficacious in simulating storm surges induced by meteorological factors and waves in the Mediterranean.

The full modelling system, which includes meteorological and oceanographic components, represents a powerful forecasting system for the whole Mediterranean. The high spatial resolution of the Cassandra system along the Italian peninsula allows the detailed description of coastal circulation and the wave field.

System forecasts are available at <http://www.ismar.cnr.it/kassandra>.

Bibliografia

- [1] Bajo, M., Zampato, L., Umgiesser, G., Cucco, A., Canestrelli, P., 2007. A finite element operational model for storm surge prediction in Venice. *Estuarine Coastal and Shelf Science* 75 (1-2), 236–249;
- [2] Bajo, M. and Umgiesser, G. (2010). Storm surge forecast through a combination of dynamic and neural network models. *Ocean Modelling*, Vol. 33 (1-2), 1-9.
- [3] Brown, J. M., and J. Wolf (2009), Coupled wave and surge modelling for the eastern Irish Sea and implications for model wind-stress, *Continental Shelf Research*, 29 (10), 1329-1342.
- [4] Burchard, H., and O. Petersen (1999), Models of turbulence in the marine environment - a comparative study of two equation turbulence models, *Journal of Marine Systems*, 21, 29-53.
- [5] Cavaleri, L., L. Bertotti, R. Buizza, A. Buzzi, V. Masato, G. Umgiesser, M. Zampieri, 2010: Predictability of extreme meteorological events in the Adriatic Sea. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, 136, 400-413.
- [6] Kim, S. Y., T. Yasuda, and H. Mase (2008), Numerical analysis of effects of tidal variations on storm surges and waves, *Applied Ocean Research*, 30 (4), 311-322.
- [7] Malguzzi, P., G. Grossi, A. Buzzi, R. Ranzi, and R. Buizza, 2006, The 1966 ‘century’ flood in Italy: A meteorological and hydrological revisit. *J. Geophys. Res.*, 111, D24106, doi:10.1029/2006JD007111.
- [8] Roland, A., A. Cucco, C. Ferrarin, T.-W. Hsu, J.-M. Liaw, S.-H. Ou, G. Umgiesser and U. Zanke 2009. On the development and verification of a 2-D coupled wave-current model on unstructured meshes. *Journal of Marine Systems*, Vol. 78 (Suppl. 1), 244-25.
- [9] Tsimplis M.N., Proctor R. and Flather, R.A., 1995. A two-dimensional tidal model for the Mediterranean Sea. *Journal of Geophysical Research*, 100 (C8), 16223-16239.
- [10] Umgiesser, G., D. Melaku Canu, A. Cucco, and C. Solidoro (2004), A finite element model for the Venice Lagoon. Development, set up, calibration and validation, *Journal of Marine Systems*, 51, 123-145.
- [11] Wolf, J. (2009), Coastal flooding: impacts of coupled wave-surge-tide models, *Natural Hazards*, 49 (2), 241-260.

Modello di dispersione di idrocarburi
in mare per previsioni a breve termine
nel Mar Mediterraneo

*A model for short-term forecasts of hydrocarbon
dispersion in the Mediterranean Sea*

M. De Dominicis, G. Coppini

Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Bologna, Italy

N. Pinardi

Corso di Scienze Ambientali, University of Bologna, Ravenna, Italy

G. Zodiatis, R. Lardner

Oceanographic Centre, University of Cyprus, Cyprus

I. I processi di trasporto: avvezione e diffusione

Il trasporto di idrocarburi in mare è governato dall'avvezione del campo idrodinamico e dalla dispersione generata dalla componente turbolenta del campo di moto. Inoltre, la concentrazione dell'idrocarburo varia a causa di numerosi processi di trasformazione chimico-fisici. L'utilizzo di un modello numerico di trasporto e dispersione di idrocarburi in mare consente di prevedere l'evoluzione della posizione della macchia d'olio e della sua concentrazione nel tempo. MEDSLIK-II è un modello Lagrangiano, questo significa che la macchia d'olio viene rappresentata da un gran numero di particelle. Ogni singola particella viene trasportata per effetto dell'avvezione e della dispersione turbolenta. L'equazione della traiettoria della particella è la seguente:

$$dx(t) = \begin{pmatrix} U(x,t) \\ V(x,t) \\ 0 \end{pmatrix} dt + dx'(t) \quad (1)$$

dove $U(x,t)$, $V(x,t)$ sono le componenti della velocità delle correnti marine, $dx'(t)$ è lo spostamento della particella dovuto alla componente turbolenta del moto. La velocità verticale è stata considerata trascurabile, perché di due ordini di grandezza più piccola delle componenti orizzontali della velocità.

Le particelle costituenti la macchia d'olio si spostano orizzontalmente trasportate dal campo di correnti orizzontale, il quale è generato dalle forze di galleggiamento, vento e onde. Il primo termine dell'equazione (1) può quindi essere riscritto nel seguente modo:

$$dx(t) = [U_c(x,t) + U_w(x,t) + U_s(x,t)] dt + dx'(t) \quad (2)$$

I. Transport processes: advection and diffusion

Oil transport at sea is governed by advection of the hydrodynamic field and dispersion generated by turbulence in the motion field. Oil concentration also varies according to numerous physical and chemical transformation processes. The use of a numerical model for hydrocarbon transport and diffusion at sea allows the evolution of the oil slick's position, as well as its concentration over time, to be predicted. MEDSLIK-II is a Lagrangian model, which means that the oil slick is represented by a large number of particles. Each single particle is transported by advection and turbulent dispersion. The particle trajectory equation is as follows:

$$dx(t) = \begin{pmatrix} U(x,t) \\ V(x,t) \\ 0 \end{pmatrix} dt + dx'(t) \quad (1)$$

where $U(x,t)$, $V(x,t)$ are the components of the current velocity and $dx'(t)$ is the particle displacement due to the turbulent flow component. Vertical velocity is taken to be so little that it can be overlooked, as it is two orders of magnitude smaller than the horizontal velocity components.

The particles composing the oil slick move horizontally, transported by the horizontal current field, which is generated by buoyancy, wind and waves. The first term of equation (1) may therefore be rewritten thus:

$$dx(t) = [U_c(x,t) + U_w(x,t) + U_s(x,t)] dt + dx'(t) \quad (2)$$

where $U_c(x,t)$ is the marine current velocity generated by buoyancy and non-local winds, $U_w(x,t)$ is the velocity caused by local winds (Ekman current) and $U_s(x,t)$ is the wave-induced particle velocity (Stokes drift velocity).

dove $U_c(x, t)$ è la velocità delle correnti marine generate dalle forze di galleggiamenti e venti non locali, $U_w(x, t)$ è la velocità dovuta ai venti locali (correnti di Ekman), $U_s(x, t)$ è la velocità della particella generata dall'azione del moto ondoso (velocità di Stokes drift). In passato, le velocità delle correnti marine utilizzate erano quelle delle correnti geostrofiche e climatologiche. La macchia di idrocarburi è, però, trasportata dalle correnti marine superficiali (correnti ageostrofiche). Per tale motivo, in passato, era necessario aggiungere alle correnti geostrofiche, una correzione dovuta al vento, il termine $U_w(x, t)$, per poter ricostruire correttamente la componente della corrente ageostrofica di Ekman. Il termine $U_w(x, t)$ consente di parametrizzare le correnti di Ekman superficiali, in funzione dell'intensità del vento e di un angolo di deviazione rispetto alla direzione del vento.

Con l'avvento dell'oceanografia operativa (Pinardi & Coppini 2010)(Coppini et al. 2010) è possibile avvalersi di modelli di circolazione marina avanzati: le correnti ageostrofiche possono essere fornite direttamente dalle analisi e previsione dei modelli di circolazione marina generale (Ocean General Circulation Model - OGCM). Quando si utilizzano le correnti superficiali prodotte da un OGCM non è più necessario aggiungere una correzione proporzionale al vento per poter ricostruire le correnti di Ekman superficiali, ma è tuttavia ammissibile utilizzare il termine $U_w(x, t)$ per tener conto di processi all'interfaccia aria-mare non risolti nel modello idrodinamico Euleriano che si utilizza.

Gli idrocarburi presenti sulla superficie marina si spostano anche per effetto del moto ondoso, la velocità generata dal moto ondoso è chiamata velocità di Stokes drift, $U_s(x, t)$. Tale velocità deve essere aggiunta alla velocità delle correnti prodotte da un model-

In the past, the marine current velocity used were those of geostrophic and climatological currents. Oil slick, however, are transported by marine surface currents (ageostrophic currents). It was therefore necessary in the past to add a wind correction, $U_w(x, t)$, to the geostrophic currents in order to be able to reconstruct the ageostrophic Ekman current component correctly. The term $U_w(x, t)$ allows the parameterization of surface Ekman currents for wind intensity and angle of deviation with respect to the wind direction.

With the advent of operational oceanography (Pinardi & Coppini 2010) (Coppini et al. 2010) it has been possible to use advanced marine circulation models: ageostrophic currents can be supplied directly by analyses and forecasts from the Ocean General Circulation Model (OGCM). When OGCM-produced surface currents are used, it is no longer necessary to add a correction, proportional to the wind velocity, in order to be able to reconstruct surface Ekman currents; however, using the term $U_w(x, t)$ is still admissible in order to take into account processes at the air-sea interface that the Eulerian hydrodynamic model used does not resolve.

Oil slicks on the sea surface also move because of wave motion: the velocity generated by wave motion is called Stokes drift velocity, $U_s(x, t)$. This velocity has to be added to the current velocity produced by an Eulerian hydrodynamic model, unless the model is directly coupled with a wave model. Stokes drift velocity has been introduced into MEDSLIK-II using an analytical formula in which the Stokes drift velocity is expressed according to the wave spectrum. The JONSWAP (Joint North Sea Wave Project, Hasselmann et al. 1973) spectrum parameterization was used, in which the spectrum is expressed according to the wind intensity and fetch. It has been assumed that the direction of wave propagation is the same as the wind direction.

lo idrodinamico Euleriano, se tale modello non è direttamente accoppiato con un modello d'onde. La velocità dello Stokes drift è stata introdotta all'interno di MEDSLIK-II utilizzando una formulazione analitica, nella quale la velocità dello Stokes drift è espressa in funzione dello spettro d'onda. Si è utilizzato la parametrizzazione dello spettro di JONSWAP - Joint North Sea Wave Project (K. Hasselmann et al. 1973), in cui lo spettro è espresso in funzione dell'intensità del vento e del fetch. Si è inoltre assunto, che la direzione della propagazione dell'onda è la stessa della direzione del vento.

I processi di trasporto dovuti alla dispersione turbolenta, l'ultimo termine dell'equazione (1), sono rappresentati da un modello di "random walk":

$$\begin{aligned} dx'(t) &= [2n - 1] \sqrt{6K_h dt} \\ dy'(t) &= [2n - 1] \sqrt{6K_h dt} \\ dz'(t) &= [2n - 1] \sqrt{6K_v dt} \end{aligned} \quad (3)$$

dove n è un numero random reale che può assumere valori tra 0 e 1, mentre K_h e K_v sono le componenti della diffusività nella direzione orizzontale e verticale.

1.1 I forzanti meteo-oceanografici

La precisione della previsione della propagazione e della trasformazione dell'idrocarburo dipende dalla accuratezza delle correnti marine e del campo di vento. MEDSLIK-II richiede in input il campo di vento, la temperatura superficiale e il campo di correnti tridimensionale. Il campo di vento, cioè le componenti della velocità del vento 10 m sopra la superficie marina, sono fornite da un modello euleriano di circolazione atmosferica generale, mentre le correnti e le temperature da un modello euleriano di circolazione oceanica marina. MEDSLIK-II

The transport processes due to turbulent dispersion, the last term in equation (1), are represented by a random-walk model:

$$\begin{aligned} dx'(t) &= [2n - 1] \sqrt{6K_h dt} \\ dy'(t) &= [2n - 1] \sqrt{6K_h dt} \\ dz'(t) &= [2n - 1] \sqrt{6K_v dt} \end{aligned} \quad (3)$$

where n is a random real number that can have any value between 0 and 1, K_h and K_v are the horizontal and vertical diffusivity components.

1.1 Meteorological and oceanographic forcings

The level of precision found when forecasting oil transport and transformation depends on the accuracy of the marine currents and the wind field. MEDSLIK-II requires the wind field, surface temperature and three-dimensional current field as input. The wind field, i.e., the components of wind velocity at 10 m above the sea surface, is supplied by an Eulerian general atmospheric circulation model, whilst currents and temperature are supplied by an Eulerian marine oceanic circulation model. MEDSLIK-II can use daily and hourly fields produced by the Mediterranean Forecasting System (MFS [<http://gnoo.bo.ingv.it/mfs>]) (Pinardi et al. 2003), which has a horizontal resolution of 1/16°, or regional models with a higher spatial resolution. The fields of three oceanographic models can currently be used by MEDSLIK-II: the Adriatic Forecasting System (AFS [<http://gnoo.bo.ingv.it/afs>]) (Oddo et al. 2006); the Sicily Channel Regional Model (SCRM) (Gaberšek et al. 2007); the Tyrrhenian Sea Model (Vetrano et al, 2010). These models are nested in the Mediterranean model and achieve a horizontal resolution up to 2 km.

MEDSLIK-II can also use current fields produced by a relocatable model, IRENOM (Interactive Relocatable Nested Ocean Model), which

può utilizzare forzanti meteo-oceanografici ad elevata risoluzione spaziale e frequenza temporale, provenienti da diversi modelli. MEDSLIK-II può utilizzare campi giornalieri e orari prodotti dal Mediterranean Forecasting System (MFS-<http://gnoo.bo.ingv.it/mfs>) (Pinardi et al. 2003), che ha una risoluzione orizzontale di $1/16^\circ$, o dai modelli regionali a più alta risoluzione spaziale. I campi di 3 modelli oceanografici sono attualmente utilizzabili da MEDSLIK-II: il modello del Mar Adriatico (Adriatic Forecasting System - AFS <http://gnoo.bo.ingv.it/afs>) (Oddo et al. 2006), il modello dello Stretto di Sicilia (Sicily Channel Regional Model - SCRM) (Gaberšek et al. 2007) e il modello del Mar Tirreno (Vetrano et al, 2010). Tali modelli sono annidati nel modello del Mar Mediterraneo e arrivano fino a 2 km di risoluzione orizzontale.

MEDSLIK-II può utilizzare anche i campi di corrente prodotti da un modello rilocabile (Interactive RElocatable Nested Ocean Model - IRENOM), il quale è annidato all'interno di MFS e produce correnti ad alta risoluzione (fino ad 1 km). Tale modello può essere utilizzato in caso di particolare emergenza (es. un incidente con rilascio di una ingente quantità di petrolio in mare), durante la quale siano necessari campi di corrente ad elevata risoluzione orizzontale in una determinata area del Mar Mediterraneo.

Il forzante ventoso utilizzato da MEDSLIK-II, prodotto dall'ECMWF (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts), sono campi di vento ogni 6 ore con una risoluzione orizzontale di 0.5° o 0.25° .

is nested within MFS and produces high-resolution (up to 1 km) currents. This model can be used in emergencies (e.g. accidents where there is a particular risk of a large oil spill), when it is necessary to have current fields with high horizontal resolutions in a given area of the Mediterranean.

The wind forcing used by MEDSLIK-II, which is produced by the ECMWF (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts), consists of wind fields every six hours with a horizontal resolution of 0.5° or 0.25° .

2. Hydrocarbon transformation processes.

As well as sea-surface transport processes, physical and chemical processes also modify oil slicks by transforming the hydrocarbons. MEDSLIK-II allows the processes of spreading, evaporation, dispersion, emulsification and coastal absorption to be simulated.

Because of transformation processes, every particle composing the oil slick modifies some of its properties – for example, its volume.

When the oil first enters the sea, the slick spreads on the sea surface because of gravitational forces. As it is transported, lighter oil components disappear through evaporation and heavier ones emulsify with the water or are dispersed in the water column. MEDSLIK-II is also able to take into account absorption of oil by the coast should the slick reach it.

3. Cases of validation

There has been careful validation of the model through comparison with drifter trajectories, satellite data from various regions of the Mediterranean.

This section present validation of the model with satellite data for the 2006 Lebanon in-

2. I processi di trasformazione degli idrocarburi

Oltre ai processi di trasporto sulla superficie marina, la macchia di petrolio si modifica per effetto di processi chimico-fisici, che trasformano gli idrocarburi. MEDSLIK-II permette di simulare i processi di espansione, di evaporazione, di dispersione, di emulsificazione e di assorbimento sulla costa. Per effetto dei processi di trasformazione, ogni particella costituente la macchia di petrolio modifica alcune sue proprietà, ad esempio il suo volume.

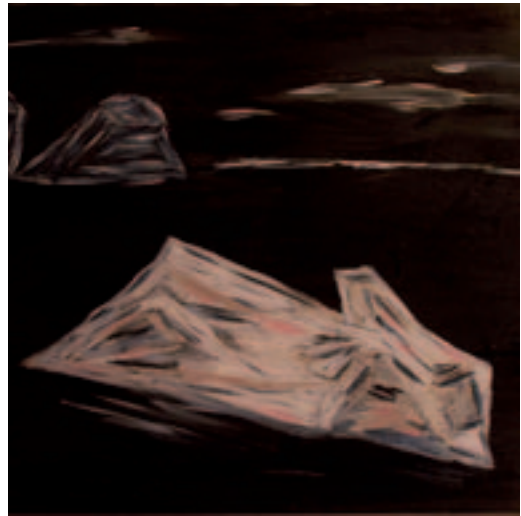
Nelle prime ore in cui il petrolio viene rilasciato in mare, si ha un processo di espansione della macchia di petrolio sulla superficie marina, per effetto delle forze gravitazionali. Durante il trasporto della macchia, le componenti più leggere degli idrocarburi scompaiono per effetto dell'evaporazione, mentre le componenti più pesanti vengono emulsionate con l'acqua o si disperdono nella colonna d'acqua. Inoltre, nel caso in cui la macchia di petrolio raggiunga la costa, MEDSLIK-II permette di considerare l'assorbimento del petrolio sulla costa.

3. Casi di validazione

Il modello è stato attentamente validato tramite il confronto con traiettorie di boe derivanti e con dati satellitari in diverse regioni del Mediterraneo.

In questa sezione verrà presentata la validazione del modello con utilizzo di dati satellitari durante l'incidente del Libano del 2006; tali simulazioni sono state descritte in maniera dettagliata nell'articolo Coppini et al. 2010.

L'incidente del Libano risale al periodo Luglio-Agosto 2006. Il 13-15 Luglio 2006 i serbatoi, contenenti olio combustibile, della



cident; this simulation is described in detail in Coppini et al. 2010.

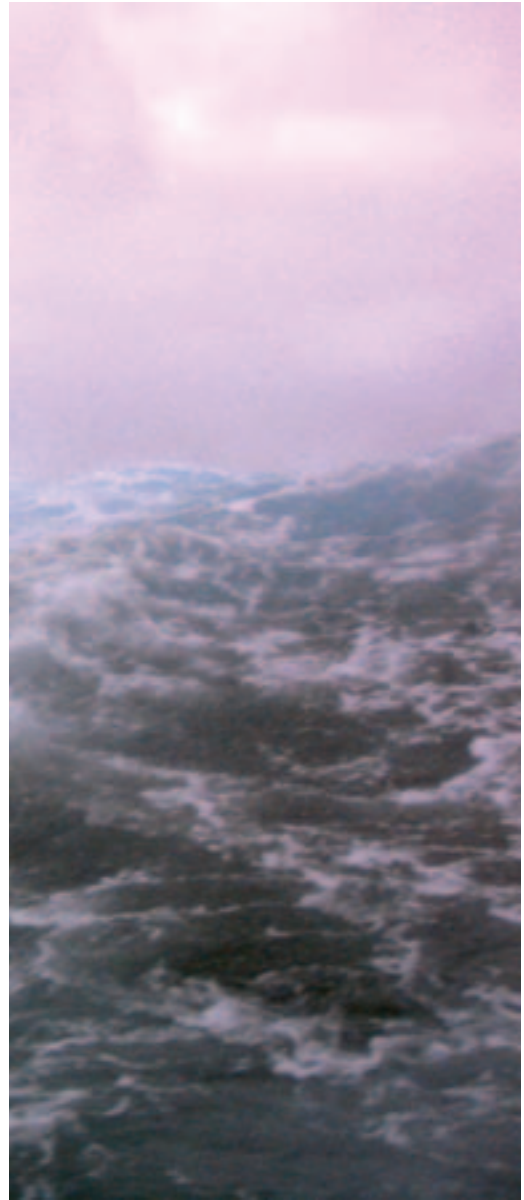
The Lebanon incident took place in July-August 2006. Between 13 and 15 July 2006 the fuel containers at the Jieh power station 30 km south of Beirut were bombed. They were located on the coast, so after the bombing twenty thousand tonnes of oil were spilt into the sea. The fuel was of the heavy fuel type (API = 20).

The simulation of the propagation of the slick was obtained using the MEDSLIK-II model, MFS current fields and winds produced by ECMWF (at a resolution of 0.5°). The simulated spill position was 33°41'N, and 35°10'E (in reality, the spill point was on land, but the MFS grid point nearest the coast was chosen). In the experiments carried out it was supposed that the spill began on 13 July 2006 at 8 o'clock, assuming a spill duration of 144 hours (no definite information on the incident is available). Simulation results were compared with the evolution of the slick as observed by satellite, using MODIS images (optic sensor) for this area for July-August 2006. In the simulation in Figure 1, it may be seen that the simulated slick and the slick observed by satellite overlap, notwithstanding the fact that the simulated slick

centrale elettrica di Jieh, a 30 km a sud di Beirut, sono stati bombardati. Tali serbatoi erano localizzati sulla costa, per tale motivo, in seguito al bombardamento 20.000 tonnellate di petrolio sono state rilasciate in mare. Il combustibile rilasciato era di tipo pesante (*heavy fuel*, API=20).

Le simulazioni della propagazione della macchia di idrocarburi in mare sono state ottenute utilizzando il modello MEDSLIK-II, i campi di corrente di MFS e i venti prodotti dall'EMCWF (risoluzione 0.5°). La posizione del rilascio simulato era 33° 41' N and 35° 10' E (nella realtà il punto di rilascio era sulla terra, ma è stato scelto il punto griglia del modello MFS più vicino alla costa). Negli esperimenti eseguiti si è supposto che il rilascio iniziasse il 13 Luglio 2006 alle ore 8, assumendo una durata del rilascio pari a 144 ore (non sono disponibili informazioni certe riguardanti l'incidente). I risultati della simulazione sono stati confrontati con l'evoluzione della macchia di idrocarburo osservata da satellite, utilizzando le immagini MODIS (sensore ottico) acquisite su quell'area durante Luglio-Agosto 2006. Nella simulazione in Figura 1 si nota come la macchia osservata da satellite e la macchia simulata siano sovrapposte, nonostante la macchia simulata sia spostata leggermente più a largo e non copra l'intera area interessata dalla macchia reale. In questa simulazione non è stato considerato lo spostamento dovuto alle onde e si è aggiunta una correzione dovuta al vento, pari all'1% dell'intensità del vento, per tener conto di processi all'interfaccia aria-mare non risolti dal modello MFS.

Ottenere un database vasto di osservazioni reali di idrocarburi in mare è difficile, per tale motivo la validazione di modelli Lagrangiani di dispersione e trasporto di particelle è spesso effettuata utilizzando i dati di traiettorie di boe derivanti, chiamate



is slightly farther out to sea and does not cover all of the area covered by the real slick. In this simulation movement caused by waves was not taken into account, and a correction for wind was added equal to 1% of the wind intensity in order to take into account processes at the air-sea interface not resolved by the MFS model. It is difficult to obtain a large database of real observations of hydrocarbons at sea, so vali-

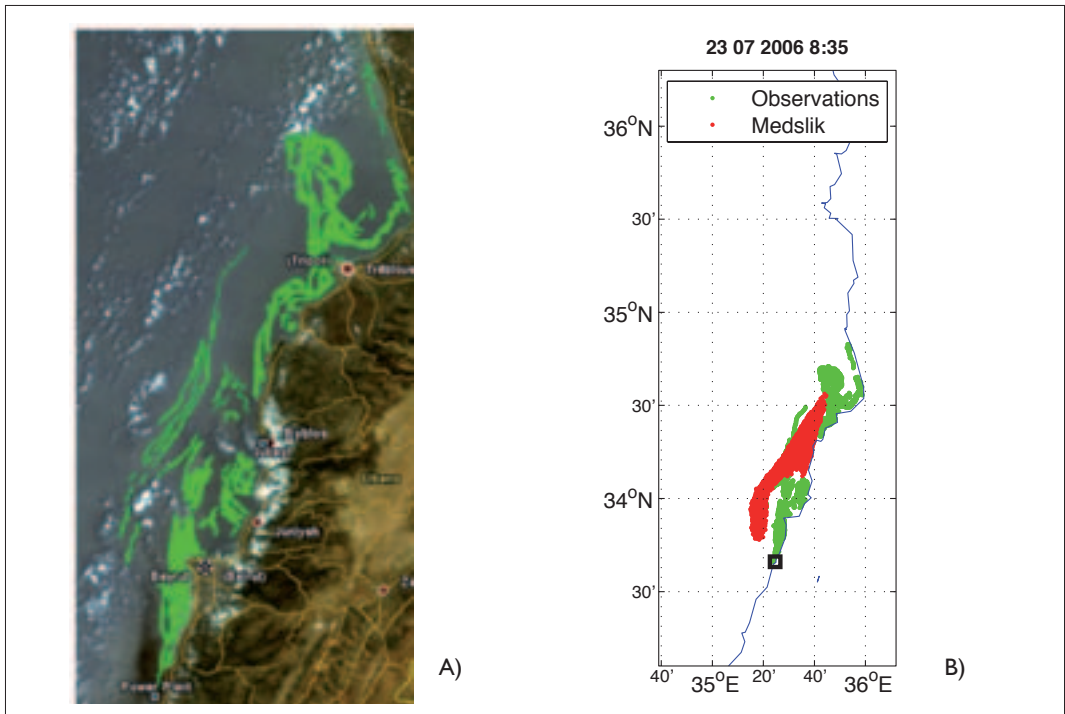


Figure 1. Confronto tra l'osservazione della macchia da satellite il 23 Luglio 2006 alle ore 8:35 e la simulazione di MEDSLIK-II: (a) zoom dell'immagine MODIS-ACQUA, la macchia di idrocarburo è evidenziata in verde; (b) la posizione prevista da MEDSLIK-II è indicata in rosso ed è sovrapposta all'osservazione da satellite indicata in verde.

Figure 1. Comparison between satellite observation of the slick at 08:35 on 23 July 2006 and the MEDSLIK-II simulation: (a) zoomed image from MODIS-ACQUA – the slick is coloured in green; (b) the position predicted by MEDSLIK-II is coloured in red and superimposed on the green satellite observation.

CODE drifters, le quali sono trasportate passivamente dalle correnti marine superficiali (Davis 1985).

Sono state simulate con il modello MEDSLIK-II le traiettorie dei drifters rilasciati nel Mar Ligure, durante l'esperimento MREA07 (Marine Rapid Environmental Assessment). I drifters simulati sono stati rilasciati il 14 Maggio 2007 alle ore 15:00 nelle vicinanze della boa meteo-marina ODAS (9.17° E 43.79° N). Per effettuare il confronto con le boe, nelle simulazioni con MEDSLIK-II non si è tenuto conto dei processi di trasformazione e di diffusione turbolenta. Sono stati utilizzati i campi di corrente di MFS (campi

of Lagrangian particle dispersion and transport models is often carried out using trajectories from drifters known as CODE drifters, which are transported passively by surface currents (Davis 1985).

MEDSLIK-II was used to simulate the trajectories of drifters released into the Ligurian Sea during the MREA07 (Marine Rapid Environmental Assessment) experiment. The drifters simulated were released on 14 May 2007 at 15:00 near the ODAS meteorological and oceanographic buoy (9.17°E 43.79°N). For this comparison, the MEDSLIK-II simulations did not take transformation and turbulent diffusion processes into account. MFS current fields were

medi orari e campi medi giornalieri), i campi medi orari prodotti dal modello rilocabile IRENOM e i campi di vento dell'ECMWF (risoluzione 0.5°). La figura 2 mostra il confronto tra le traiettorie delle boe osservate (linee nere) e le traiettorie simulate da MEDSLIK-II ottenute utilizzando i campi medi giornalieri delle correnti superficiali di MFS (linee azzurre), i campi medi orari delle correnti superficiali di MFS (linee verdi) e i campi medi orari delle correnti superficiali del modello IRENOM (la risoluzione orizzontale delle correnti prodotte per l'esperimento MREA07 è di 3 km) (linee rosa). Le traiettorie ottenute utilizzando i campi di MFS giornalieri non riproducono correttamente la direzione dello spostamento reale

used (hourly and daily average fields), as well as hourly average fields produced by the relocatable IRENOM model and ECMWF wind fields (at a resolution of 0.5°). Figure 2 shows the comparison between observed drifter trajectory (black lines) and MEDSLIK-II simulated trajectories obtained using MFS daily average surface current fields (blue lines), MFS hourly average surface current fields (green lines) and IRENOM hourly average surface current fields (the horizontal resolution of the currents produced for the MREA07 experiment is 3 km) (pink lines). The trajectories obtained using daily MFS fields fail to reproduce the real drifter movement direction correctly. By increasing the time frequency – that is, by using hourly MFS fields – it was possible to reproduce the

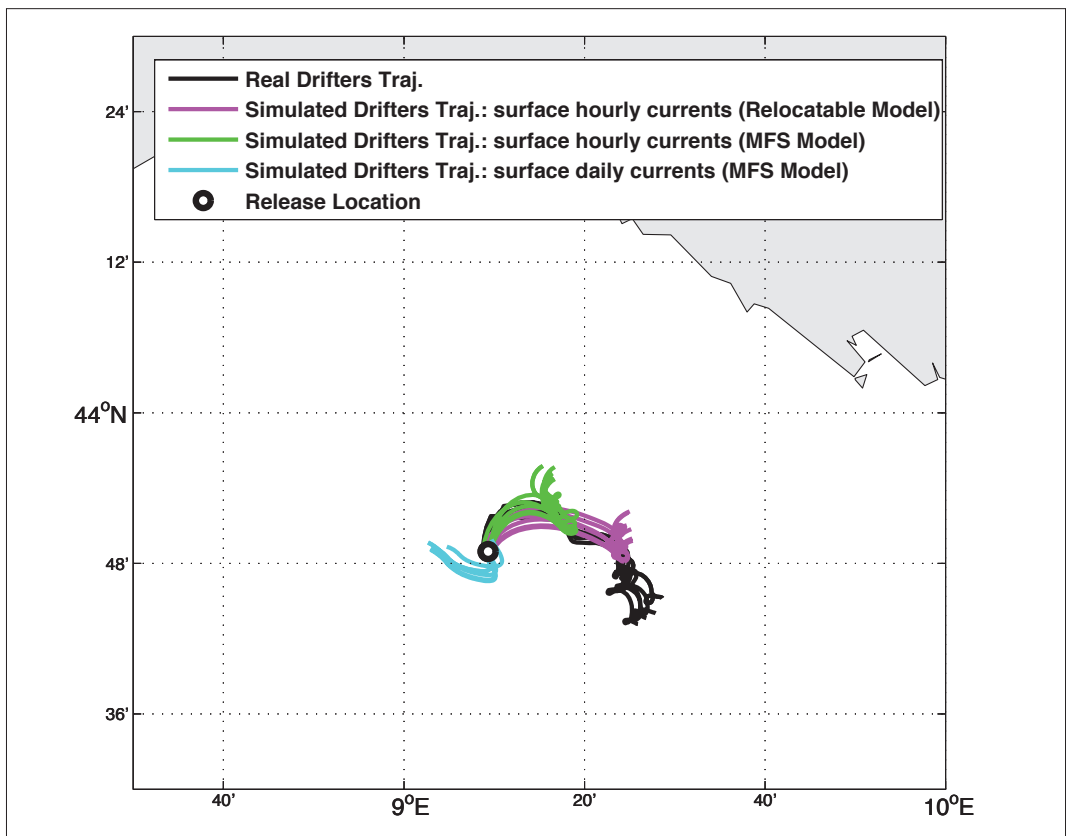


Figura 2. Traiettorie reali (linee nere) e traiettorie simulate con MEDSLIK-II dal 14/05/2007 al 17/06/2007.
 Figure 2. Real (black lines) and MEDSLIK-II-simulated trajectories from 14/05/2007 to 17/06/2007.

dei *drifters*. Aumentando la frequenza temporale, cioè utilizzando i campi medi orari di MFS, si è in grado di riprodurre, almeno per il primo giorno di simulazione, la direzione corretta di spostamento delle boe derivanti. Quando si utilizzano campi ad elevata risoluzione orizzontale delle correnti (prodotte dal modello IRENOM) si è in grado di ricostruire la traiettoria reale del *drifter*. Da questi risultati si evince, che aumentando la risoluzione orizzontale e la frequenza temporale del campo di corrente utilizzato, si ottiene una maggiore accuratezza nella riproduzione delle traiettorie reali.

correct drifter movement direction, at least for the first day of the simulation. When current fields with high horizontal resolution (those produced by the IRENOM model) are used, however, it becomes possible to reconstruct the real trajectory of the drifters. It may be seen from these results that by increasing the horizontal resolution and time frequency of the current field used a greater accuracy in reproducing real trajectories is obtained.

Bibliografia

- Coppini, G., De Dominicis, M., Zodiatis, G., Lardner, R., Pinardi, N., Santoleri, R., Colella, S., Bignami, F., Hayes, D. R., Soloviev, D., Georgiou, G., & Kallos, G. 2010. Hindcast of oil spill pollution during the Lebanon Crisis, July-August 2006. *Marine Pollution Bulletin*.
- Davis, R. E. 1985. Drifter observations of coastal surface currents during CODE: the method and descriptive view. *Journal of Geophysical Research*, 90(C3), 4741-4755.
- Gabèrsek S., R. Sorgente, S. Natale, A. Olita, M. Astraldi and M. Borghini. The Sicily Channel Regional Model forecasting system: initial boundary conditions sensitivity and case study evaluation, *Ocean Science*, Vol. 3, pp.31-41, 2007.
- Hasselmann, K., Barnett, T.P., Bouws, E., Carlson, H., Cartwright, D.E., Enke, K., Ewing, J.A., Gienapp, H., Hasselmann, D.E., Kruseman, P., Meerburg, A., Miller, P., Olbers, D.J., Richter, K., Sell, W., & Walden, H. 1973. Measurements of wind-wave growth and swell decay during the Joint North Sea Wave Project (JONSWAP). *Erganzungsheft zur Deutschen Hydrographischen Zeitschrift Reihe, A8-12*.
- Lardner, R., Zodiatis, G., Hayes, D., Pinardi, N., 2006. Application of the MEDSLIK Oil Spill Model to the Lebanese Spill of July 2006. *European Group of Experts on Satellite Monitoring of Sea Based Oil Pollution. European Communities*
- Oddo, P., N. Pinardi, M. Zavatarelli and A. Colucelli (2006). The Adriatic Basin forecasting system, 2006, *Acta Adriatica*, 47: 169-184.
- Pinardi, N., Allen, I., Demirov, E., Mey, P. De, Korres, G., Lascaratos, A., Le Traon, P.Y., Maillard, C., Manzella, G., & Tziavos, C. 2003. The Mediterranean ocean forecasting system: first phase of implementation (1998-2001). Pages 3-20 of: *Annales Geophysicae-European Geophysical Society*, vol. 21.
- Pinardi, N., & Coppini, G. 2010. Operational oceanography in the Mediterranean Sea: the second stage of development. *Ocean Science*, 6, 263-267.

Vetrano, A. and Napolitano, E. and Iacono, R. and Schroeder, K. and Gasparini, GP. 2010. Tyrrhenian Sea circulation and water mass fluxes in spring 2004: Observations and model results, *Journal of Geophysical Research*, Vol. 115, C06023

Zodiatis, G., Lardner, R., Hayes, D., Georgiou, G., Pinardi, N., De Dominicis, M.,

Panayidou, X., 2008. The Mediterranean oil spill and trajectory prediction model in assisting the EU response agencies, in: *Congreso Nacional de Salvamento en la Mar, Cadiz, 2-4 October*, libro de actas, pp. 535-547.

Spunti per superare i problemi legati al
passaggio delle previsioni operative dal
mare aperto alla linea di riva

*Overcoming Problems Connected with
Operational Forecasts from the Open Sea to
the Shoreline*

A. Russo

Dipartimento di Scienze del Mare, Università Politecnica delle Marche

M. Brocchini

Dipartimento di Idraulica, Strade, Ambiente e Chimica,
Università Politecnica delle Marche

Introduzione

Gli ultimi anni hanno visto un crescente successo delle previsioni operative in mare aperto, e parallelamente un crescente interesse degli *stakeholders* per previsioni operative in ambito prettamente costiero utili a varie finalità (erosione costiera, qualità delle acque di balneazione, immissioni in mare da fiumi e scarichi, etc.). L'obiettivo di arrivare con i modelli previsionali operativi fino alla linea di riva richiede una adeguata rappresentazione dei processi che avvengono nella regione nota come *surf zone*. Tra i processi più importanti abbiamo *shoaling*, irripidimento e frangimento delle onde (con conseguente redistribuzione di energia e quantità di moto su varie scale) e interazioni onda-onda. Negli ultimi 30 anni sono stati fatti grandi progressi nello studio dei processi che avvengono alla scala delle onde nella zona di battigia, specie per quanto riguarda la quantificazione delle interazioni onda-onda e la corretta valutazione della propagazione di onde a bassa frequenza verso il largo. In particolare, è stato evidenziato come la condizione artificiale di muro (pannelli di sinistra di figura 1), normalmente utilizzata come condizione al contorno di riva, comporti errori sia nella forma che nell'intensità delle onde radiate verso il largo rispetto al caso naturale (pannelli di destra di figura 1), e questo comporta errori rilevanti per i processi che si intendono simulare e prevedere in area costiera.

Possibili approcci al problema

Esaminiamo due possibili approcci per centrare l'obiettivo di ottenere previsioni operative in area costiera riducendo al minimo i problemi legati alla notevole differenza di

Introduction

Recent years have seen increasing success in operational forecasting in the open sea and, at the same time, growing interest amongst stakeholders in operational forecasts in coastal environments for various specific purposes (coastal erosion, bathing water quality, runoff from rivers and dumping etc.). Reaching the shoreline with operational forecasting models requires an adequate description of the processes which take place in the region known as the "surf zone". Amongst the most important processes are: shoaling and wave steepening and breaking (and the consequent redistribution of energy and momentum at various scales) and wave/wave interactions. Over the last 30 years much progress has been made in studying wave-scale swash zone processes, especially as far as quantification of wave/wave interactions and correct calculation of low-frequency wave propagation out to sea are concerned. In particular, it has been highlighted that artificially using a wall (left panel in Figure 1) to represent the shoreline boundary leads to errors in both the form and the intensity of waves radiated out to sea compared to the what happens in nature (right panel in Figure 1). and this leads to serious errors in the processes that are to be simulated and forecast in coastal areas.

Possible approaches to the problem

Let us now examine two possible approaches to meeting the goal of obtaining operational forecasts in coastal areas whilst reducing to a minimum the problems connected with the great differences in processes and time and space scales between the open sea and the shore. The best approach would seem that of nesting coastal circulation models inside regional and shelf operational models. Such a nesting should

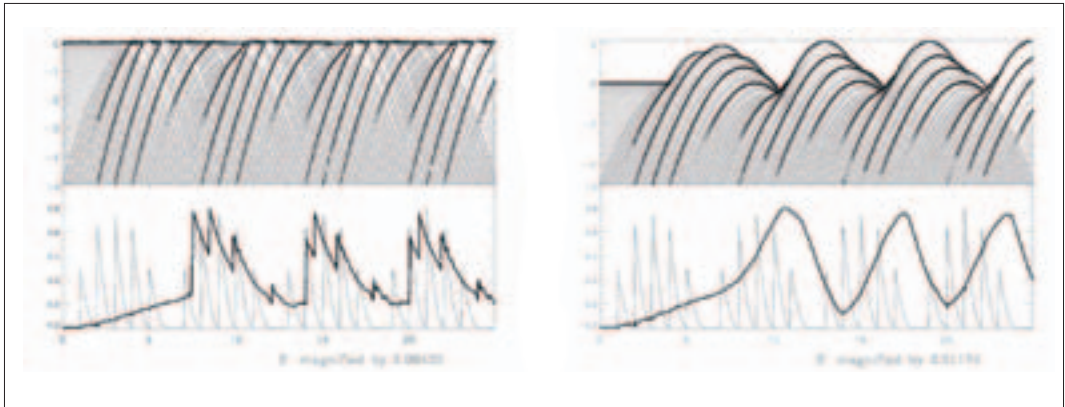


Figura 1: Illustrazione del ruolo delle condizioni al contorno di riva nel generare/riflettere onde lunghe. Pannelli di sinistra: gruppi d'onda riflessi ad un muro. Pannelli di destra: stessi gruppi d'onda che evolvono generando una zona di battigia. I pannelli superiori mostrano le curve caratteristiche incidenti e riflesse mentre i pannelli inferiori illustrano le onde incidenti (linee sottili) e quelle riflesse (linee spesse).

Figure 1: Illustration of the role of boundary conditions in generating/reflecting long waves. Left panel: wave groups reflected by a wall. Right panel: the same wave groups evolving and generating a swash zone. The top panels show the incident and reflected characteristic curves, and the bottom panels show the incident waves (thin line) and reflected waves (thick line).

processi e di scale spaziali e temporali che si hanno nel passaggio dal mare aperto alla linea di riva.

L'approccio migliore consisterebbe nell'innestamento (*nesting*) di modelli di circolazione costiera all'interno degli attuali modelli operativi regionali e di *shelf*. Tale *nesting* dovrebbe tener conto delle disparità delle scale dei processi risolti dai vari modelli. In particolare i modelli di circolazione costiera si dividono in *wave-resolving*, tali cioè da risolvere i moti a scale inferiori a quella delle onde da vento, e *wave-averaging*, che risolvono i moti a scale superiori a quella delle onde da vento. Sembra quindi appropriato un *nesting* successivo, da costa verso il largo, di un solutore *wave-resolving* (tipo *Nonlinear Shallow Water Equations*, NSWE) dentro un solutore *wave-averaging* (come SHORECIRC; Van Dongeren et al., 1994), a sua volta innestato dentro il modello operativo padre (AREG, ASHELF, etc.). In questo modo le dinamiche della battigia sarebbero

take into account the disparity of scales of the processes resolved by the various models. In particular, coastal circulation models may be divided into wave-resolving models, which can resolve motion at scales below that of wind-generated waves, and wave-averaging models, which resolve motion at scales above that of wind-generated waves. The most appropriate solution would, therefore, appear a successive nesting (from the coast out to sea) of a wave-resolving solver (such as Nonlinear Shallow Water Equations [NSWE]) inside a wave-averaging solver (such as SHORECIRC; Van Dongeren et al., 1994) that is, in turn, nested in the base model (AREG, ASHELF etc.). The swash zone dynamics would, thus, be represented best by the NSWE solver, breaker-zone dynamics by the SHORECIRC solver, and the rest of the circulation by the regional or shelf operational model. A solution of this type would mean a significant computational effort .

It is also possible to try an alternative approach with a lower computational cost and lower

rappresentare al meglio dal solutore NSW, quelle relative alla zona dei frangenti dal solutore SHORECIRC e il resto della circolazione dal modello operativo regionale o di shelf. Una soluzione di questo genere comporterebbe pesanti oneri computazionali. Si può sperimentare un approccio alternativo con minori oneri computazionali e minore complessità di *nesting* e interfacciamento. La recentissima versione del Regional Ocean Modelling System (ROMS; Haidvogel et al., 2008) permette di riprodurre alcuni dei fenomeni sopra menzionati con modalità simili al modello SHORECIRC, come evidenziato da Haas e Warner (2009) dal cui lavoro è tratta la Fig. 2 relativa alla simulazione di *rip-currents*.

interface and nesting complexity. The very recent Regional Ocean Modelling System (ROMS; Haidvogel et al., 2008) enables the reproduction of some of the phenomena mentioned above with modalities similar to those of SHORECIRC, as highlighted by Haas and Warner (2009), from whose work Figure 2, relative to a rip-current simulation, comes.

The latest version of ROMS has already been applied operationally to the Adriatic basin (Russo et al., 2009); the wave/current interaction mode has not yet been implemented, but steps are being taken to implement it in a domain in the northern Adriatic. The model, which is now available, represents an ideal platform for verifying improvements in treating processes occurring near the shoreline by using the boundary

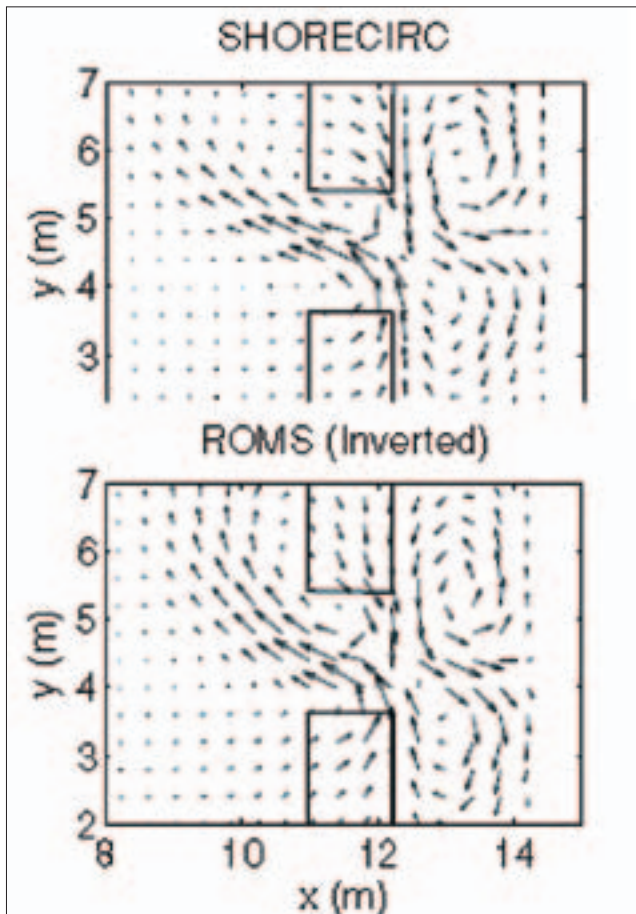


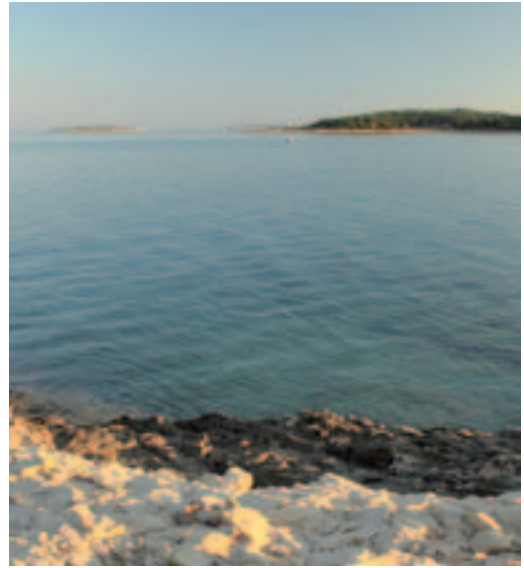
Figura 2: Correnti medie integrate sulla profondità con deriva di Stokes calcolate dai modelli SHORECIRC (in alto) e ROMS (in basso) per una porzione di 7x5 metri quadrati di un dominio in prossimità di riva con fondale inclinato a pendenza costante e in presenza di barriere sommerse (rappresentate dai due rettangoli) parallele alle riva; figura modificata da Haas e Warner (2009)

Wave averaged and depth-integrated bottom currents with Stokes drift from SHORECIRC (upper panel) and ROMS (lower panel) models in a 7x5 square meter portion of a coastal domain with a constant sloping bottom and with submersed breakwaters (represented by the two rectangles) parallel to the coastline; modified from Haas and Warner (2009)

L'ultima versione ROMS è già applicata operativamente sul bacino Adriatico (Russo et al., 2009); finora non è stata implementata l'interazione onda-corrente, ma si sta procedendo alla sua attivazione in un dominio nord-adriatico. Questo modello ormai disponibile rappresenta una piattaforma ideale per verificare il miglioramento della trattazione dei processi che avvengono in prossimità della linea di riva utilizzando le condizioni al contorno proposte in Brocchini et al. (1996, 2002), Bellotti et al. (2003), Antuono et al. (2007). Queste nuove condizioni al contorno consistono nell'integrare le NSW sulla regione di battigia, sostituendo alla linea di riva reale una linea di riva media che funge da "muro poroso" ove si impongono condizioni di scambio di massa e di quantità di moto. Le equazioni integrali sono mediate sul periodo delle onde marine e semplificate, e sono risolte per predire la posizione della linea di riva media nonché profondità e velocità a tale posizione in funzione di:

- 1) proprietà integrali del moto nella zona di *swash*
- 2) flussi di massa e quantità di moto delle onde in corrispondenza della linea di riva media
- 3) l'invariante di Riemann R_+ propagato dal largo a costa.

Per predire l'evoluzione della morfologia in prossimità della riva si usa l'equazione di conservazione della massa solida, nota come equazione di Exner, secondo cui la variazione nel tempo della quota del fondo dipende dalla divergenza del vettore di portata solida. Usando la procedura precedentemente descritta (integrazione sulla battigia e media sulle onde corte) si ottiene un'equazione analoga a quella di Exner ma per il moto medio. Tale equazione con opportune approssimazioni può essere semplificata fino ad arrivare ad una forma che



conditions proposed by Brocchini et al. (1996, 2002), Bellotti et al. (2003) and Antuono et al. (2007). Such new boundary conditions are based on the integration of the NSW over the swash zone width, substituting the actual shoreline with a mean shoreline (i.e. the envelope of the run-downs) which functions as a 'porous wall' where momentum and mass exchange conditions are imposed. The integral equations are averaged over the period of the short waves, as well as being simplified, and they are resolved to predict the average shoreline position as well as the depth and speed of the mean shoreline itself according to:

- 1) *Integral flow properties in the swash zone.*
- 2) *short wave height in correspondence of the mean shoreline.*
- 3) *The Riemann invariant R_+ propagating shoreward from the deep waters.*

In order to predict the evolution of the seabed morphology near the shore the conservation of solid mass equation known as the Exner equation is used. According to such an equation, variation in time of the bottom depth depends on the divergence of the sediment transport rate vector. Using the procedure described above (integration over the swash zone width and

indica come la quota del fondo alla linea di riva dipenda sia dalla posizione stessa della linea di riva che dalla componente di portata solida ortogonale alla linea di costa. Una prima validazione della condizione al contorno semplificata è stata effettuata utilizzando dati osservativi raccolti durante una campagna effettuata a Porto Ferro (Sardegna) nel febbraio 2005, ottenendo risultati incoraggianti.

Conclusioni

Il passaggio dalle attuali previsioni operative in mare aperto alle previsioni operative in area costiera, fino ad interessare la linea di riva, comporta notevoli problemi legati ai cambiamenti di scale e processi. Si è qui inteso proporre in maniera sintetica un approccio volto ad evitare il ricorso ad un solutore NSWE (necessario per la correttezza dei risultati in prossimità della linea di riva ma molto pesante computazionalmente), ricorrendo piuttosto all'implementazione di un modello integrale delle condizioni al contorno sulla linea di riva in un modello ricadente nella classe dei modelli *wave-averaging*. La validità di questo approccio può essere verificata attraverso la sua implementazione nel modello idrodinamico ROMS, potenzialmente già in grado di risolvere i processi fino alla zona dei frangenti. Una volta verificata l'applicabilità, la soluzione proposta potrà essere introdotta anche in altri modelli operativi per l'area costiera.

mean of the short waves) an equation analogous to the Exner equation is obtained for the mean motion of the seabed. Such an equation, with suitable approximations, can be simplified to the point of reaching a form indicating how the bottom depth at the shoreline depends on both the position of the shoreline itself and the sediment transport rate component orthogonal to the shoreline. A first validation of the simplified morphological boundary condition was carried out using observational data collected during a data-collection campaign at Porto Ferro (Sardinia) in February 2005. Encouraging results were found.

Conclusions

The passage from operational forecasting in the open sea to operational forecasting in coastal areas (up to the shoreline) currently brings with it significant problems connected with changes of scales and processes. Here we have illustrated a general approach for extending towards the shoreline the computational capabilities of regional models (like ROMS). Rather than proposing the nesting of a NSWE solver (needed to get a suitable flow description up to the shoreline, but very demanding in computational terms), we suggest to proceed to the implementation of suitable swash zone boundary conditions directly into a suitably-chosen regional model (i.e. ROMS, which is potentially already able to resolve the main flow processes up to the breaker zone) The validity of the proposed approach will be verified and, upon once a positive outcome is obtained, the proposed approach will be extensively tested over a wide range of conditions.

Bibliografia

- Antuono, M., Brocchini, M., Grosso, G., 2007. Integral properties of the swash zone and averaging. Part 3. Longshore shoreline boundary conditions for wave-averaged nearshore circulation models. *Journal of Fluid Mechanics*, 573, pp. 399-415.
- Bellotti, G., Archetti, R., Brocchini, M., 2003. Experimental validation of mean swash zone boundary conditions. *J. Geophys. Res. – Oceans*, 108(C8), 3250, doi:10.1029/2002JC001510.
- Brocchini, M., Peregrine, D.H., 1997. Equations for integral and mean flow properties in the swash zone. *Proceedings of the Coastal Engineering Conference*, 4, pp. 4134-4147.
- Brocchini, M., Bellotti, G., 2002. Integral flow properties of the swash zone and averaging. Part 2. Shoreline boundary conditions for wave-averaged models. *Journal of Fluid Mechanics*, 458, pp. 269-281.
- Haas, K.A., Warner, J.C., 2009. Comparing a quasi-3D to a full 3D nearshore circulation model: SHORECIRC and ROMS. *Ocean Modelling*, 26, 91–103.
- Haidvogel, D.B., Arango, H., Budgell, W.P., Cornuelle, B.D., Curchitser, E., Di Lorenzo, E., Fennel, K., Geyer, W.R., Hermann, A.J., Lanerolle, L., Levin, J., McWilliams, J.C., Miller, A.J., Moore, A.M., Powell, T.M., Shchepetkin, A.F., Sherwood, C.R., Signell, R.P., Warner J.C., Wilkin, J., 2008. Ocean forecasting in terrain-following coordinates: Formulation and skill assessment of the Regional Ocean Modeling System. *J. Comput. Phys.*, 227, 3595–3624.
- Russo, A., Coluccelli, A., Iermano, I., Falcieri, F., Ravaioli, M., Bortoluzzi, G., Focaccia, P., Stanghellini, G., Ferrari, C.R., Chiggia, J., Deserti, M., 2009. An operational system for forecasting hypoxic events in the northern Adriatic Sea. *Geofizika*, 26 (2), 191-213.
- Van Dongeren, A. R. , Sancho, F. E., Svendsen, I. A., Putrevu, U., 1994. SHORECIRC: A quasi 3-D nearshore model. *Proc., 24th Int. Conf. on Coast. Engrg.*, ASCE, 2741-2754.

Modellistica biogeochimica
nel Mar Mediterraneo:
il nuovo modello operativo
OPATM-BFM VI

*Biogeochemical Modelling
in the Mediterranean Sea:
The New OPATM-BFM VI
Operational Model*

A. Teruzzi, P. Lazzari, G. Bolzon, S. Salon, V. Ibello, C. Solidoro, A. Crise
Istituto Nazionale di Oceanografia e di Geofisica Sperimentale

Introduzione

La produzione di previsioni operative nel Mar Mediterraneo rappresenta uno degli obiettivi principali nell'ambito della ricerca oceanografica Europea. Tale esigenza, concepita e maturata attraverso i progetti MFSTEP (<http://mfstep.bo.ingv.it/>) e MERSEA (<http://www.mersea.eu.org/>) è oggi il tema principale del progetto FP7 MyOcean (<http://www.myocean.eu/>), il cui obiettivo è lo sviluppo e l'implementazione di un servizio paneuropeo per il monitoraggio e le previsioni dello stato del mare. Per quanto riguarda la modellistica biogeochimica, OGS ha attivamente partecipato a tale evoluzione, e in ambito GNOO, collaborando con INGV, CINECA e GOS-ISAC-CNR, ha sviluppato e messo in opera il primo sistema per la previsione a breve termine dello stato della biogeochimica nel Mar Mediterraneo. Scopo dell'attuale contributo è quello di descrivere l'attuale sistema operativo nell'ambito di MyOcean, presentare una rapida carrellata dei suoi risultati operativi e analizzare le linee di ricerca che in parallelo si stanno seguendo per svilupparne le capacità predittive.

Il modello OPATM-BFM

OPATM-BFM è un modello di trasporto e reazione che integra nel tempo e nello spazio le equazioni che descrivono l'evoluzione dei cicli biogeochimici in ambiente marino. Esso si basa sul modello OPA Tracer versione 8.1 (Madec et al. 1998) e sul modello BFM (Lazzari et al. 2010; Vichi et al. 2007). Il modello simula il trasporto advettivo e diffusivo di traccianti soggetti alla dinamica biogeochimica. Poiché il modello OPATM-BFM non è in grado di produrre i campi fisici (ovvero velocità, temperatura, ecc.),

Introduction

The production of operational forecasts in the Mediterranean Sea is one of the main goals of European oceanographic research. This aim, which came into being through the MFSTEP (<http://mfstep.bo.ingv.it/>) and MERSEA (<http://www.mersea.eu.org/>) projects, is now the main subject of the MyOcean FP7 project (<http://myocean.eu/>), the objective of which is to develop and implement a pan-European service for monitoring and forecasting the sea state. As far as biogeochemical modelling is concerned, OGS has been deeply involved in the above projects, and, within GNOO, it has collaborated with INGV, CINECA and GOS-ISAC-CNR to develop and set up the first short-term forecast system for the biogeochemical state of the Mediterranean.

The aim of this paper is to describe the current operational system within MyOcean, present a brief summary of its operational results and analyse the on-going lines of research currently being followed with the aim of developing forecasting abilities further.

The OPATM-BFM model

OPATM-BFM is a transport-reaction model that integrates temporally and spatially the equations describing the evolution of biogeochemical cycles in a marine environment. It is based on the OGS version of OPA Tracer model version 8.1 (Madec et al. 1998) and the BFM model (Lazzari et al. 2010; Vichi et al. 2007). The model simulates the advective and diffusive transport of tracers subject to biogeochemical dynamics. As the OPATM-BFM model is based on external dynamical fields (i.e., speed, temperature etc.), coupling with basin physics through the input of dynamic fields and thermohaline properties of water masses is necessary. A particular characteristics of this ap-

necessita l'accoppiamento con la fisica del bacino attraverso l'input di campi dinamici e delle proprietà termoline delle masse d'acqua. Caratteristica peculiare di questo approccio è la scala temporale dei forzanti fisici utilizzati nell'accoppiamento che sono medie giornaliere: in questo modo si filtra il rumore numerico che, quando influisce sulle velocità, può creare falsi negativi alle basse concentrazioni. Successivamente allo spin-up, il modello, sottoposto a un dettagliato monitoraggio, non ha mai prodotto questi artefatti numerici. Inoltre, l'irradianza fornita al modello biogeochimico è quella media giornaliera, responsabile in massima parte della fotosintesi (Cullen, 1990). Si aggiunga che le calibrazioni di molti vital rates sono state fatte utilizzando irradianze medie giornaliere. Le medie giornaliere dei forzanti fisici hanno come effetto negativo il filtraggio di tutte le frequenze più alte e vanno quindi a eliminare gli effetti mareali ed inerziali. Per quel che riguarda la marea il problema non è rilevante in quanto anche nelle aree a massima escursione mareale, le correnti residue non sono mediamente significative (Malacic et al, 2000). OPATM-BFM può essere forzato mediante un accoppiamento off-line usando forzanti fisici provenienti da un qualsiasi modello OPA-compatibile, interpolando linearmente nel tempo (e, se necessario, nello spazio) i forzanti medi. Questo permette di poter aver a disposizione i migliori forzanti fisici, anche ottenuti attraverso tecniche di assimilazione di dati.

La descrizione della catena alimentare del BFM è basata sui flussi di carbonio e di macronutrienti tra i comparti biotici (fitoplancton, zooplancton, batteri) e abiotici (DOM, macronutrienti, Ossigeno Disciolto). Bisogna ricordare che ogni comparto è costituito a sua volta da quattro diversi tipi funzionali per il fitoplancton (PFT) e da quattro

proach is the time scale of the physical forcings used for the coupling, which are daily means: numerical noise is thereby filtered out avoiding spurious negatives at low concentrations due to advective terms. After the spin-up, the model (which has undergone detailed monitoring) has never produced these numbers. Furthermore, solar radiation supplied to the biogeochemical model is average daily radiation, which is chiefly responsible for photosynthesis (Cullen, 1990). It should be added that the calibration of several vital rates has been carried out using daily average radiation. Daily averages of the physical forcings have the negative effect of filtering out the highest frequencies, thus eliminating tide and inertia effects. As far as tides are concerned, no significant problems are found, as, even in the areas most affected by tides, residual currents are not, on average, significant (Malacic et al. 2000). OPATM-BFM can be forced using off-line coupling with physical forcings from any OPA-compatible model, interpolating average forcings linearly in time (and in space if necessary). This allows us to have the best physical forcings available to use, including those obtained through data-assimilation techniques

Description of the BFM food chain is based on carbon and micronutrient flux between the biotic (phytoplankton, zooplankton, bacteria) and abiotic (DOM, macronutrients, oxygen saturation) components. It should be remembered that each component is in turn composed of four functional types for phytoplankton (PFT) and zooplankton (ZFT). The key aspects of the BFM model are its ability to limit macronutrients (nitrogen compounds, phosphate and silicate), the use of variable C:N:P:Si ratios, the relationship of the growth rates by the respective intracellular quotas and not by the concentrations present in the water, as well as the variable ratio between chlorophyll and carbon in the PFT. Details of the parameterization, the physical forms adopted and the structure of

per lo zooplankton (ZFT). Gli aspetti chiave del modello BFM sono le sue potenzialità per la co-limitazione da macronutrienti (composti azotati, fosfato e silicato), l'uso di rapporti variabili C:N:P:Si, la dipendenza dei tassi di crescita dalle rispettive quote intracellulari e non dalle concentrazioni presenti nell'acqua, nonché il rapporto variabile tra clorofilla e carbonio nei PFT. Dettagli della parametrizzazione, sulle forme funzionali adottate e della struttura del sistema operativo sono riportate in Lazzari et al. (2010).

La nuova versione OPATM-BFM VI

Rispetto alla versione descritta nel lavoro di Lazzari et al. (op. cit.) si sono introdotte alcune modifiche al codice BFM per tenere conto della specificità delle caratteristiche del bacino mediterraneo. In particolare:

- Nel codice originale la clorofilla, e quindi la sintesi di carbonio, viene limitata solo dalla concentrazione intracellulare di azoto; quando il fosforo risulta totalmente assente, il ciclo di Calvin, alla base della fissazione organica del carbonio, continua a produrre carbonio anche in assenza di fosforo. Per il Mediterraneo, questa condizione può essere molto diversa dalle osservazioni. Infatti, anche se i fattori limitanti della produzione sono ancora una questione in discussione, la concentrazione di fosfato, molto bassa nella zona eufotica, è stata spesso considerata come un possibile depressore per la crescita del fitoplancton (Krom et al., 1991). Per queste ragioni, si è introdotto un termine di dipendenza dalla concentrazione di fosfato nella formulazione del processo di sintesi della clorofilla, come già proposto da Flynn (2001).
- Il coefficiente di assorbimento (non spettrale) K_e per la luce è stato derivato dalle

the operating system may be found in Lazzari et al. (2010).

The new OPATM-BFM VI version

With respect to the version described in Lazzari et al. (op. cit.), various modifications have been introduced to the BFM code in order to take into account the specificities of the Mediterranean basin. In particular:

- *In the original code, chlorophyll (and therefore carbon synthesis) is only limited by the intracellular concentration of nitrogen; when phosphorus is totally absent, the Calvin cycle (which the basis of organic carbon fixing) continues to produce carbon even in the absence of phosphorus. In the case of the Mediterranean, this condition can be very different from that in observations. In fact, although the factors able to limit production are still debated, the concentration of phosphorus, which is very low in the eutrophic zone, has often been considered a possible limiting factor of phytoplankton growth (Krom et al. 1991). A term depending on the phosphate concentration has therefore been introduced into the formulation for the chlorophyll synthesizing process, as has already been proposed by Flynn (2001).*
- *The (non-spectral) light absorption coefficient K_e has been derived from estimated averages of measurements obtained by SeaWiFS between 1998 and 2004, which have been processed with site-specific algorithms by GOS-ISAC-CNR so as to include the spatial and temporal variability identified by satellite in the model. This takes into account the fact that in type I waters in the Mediterranean (especially in the west) the K_e obtained as Apparent Optical Property by bio-optical models is an underestimation, as it would appear that not only chlorophyll but also other contributions are relevant for determining*

medie stimate delle misure ottenute dal SeaWiFS nel periodo 1998-2004, processate con algoritmi sito-specifici dal GOS-ISAC-CNR, in modo da includere nel modello la variabilità spazio-temporale identificata dal satellite. Questo tiene conto del fatto che, anche in acque di tipo I nel Mar Mediterraneo, e in particolare in quello occidentale, il Ke ottenuto da modelli bio-ottici come *Apparent Optical Property* risulta sottostimato, in quanto sembra che, al di là della clorofilla, altri contributi siano rilevanti al fine di determinare le proprietà ottiche della colonna d'acqua (Morel et al., 2007).

Si sono introdotte nuove parametrizzazioni per l'input di nutrienti provenienti dai fiumi e dagli apporti atmosferici, elementi chiave per un bacino che è noto per essere oligotrofico e che ha un significativo deficit netto di azoto e fosforo inorganico in corrispondenza allo Stretto di Gibilterra. In particolare:

- I carichi fluviali (valutati sia in termini di sorgenti puntuali collegate agli estuari sia in termini di sorgenti distribuite lungo la linea di costa) sono stati inseriti come condizioni al contorno per tutti i fiumi più importanti (37) in base alle analisi proposte da Ludwig et al. (2009). Per i fiumi principali, dove è stato possibile, si è tenuto conto del ciclo stagionale dei carichi di nutrienti.
- Si sono inoltre considerati i contributi provenienti dall'input atmosferico per l'azoto e il fosforo (per la sola componente inorganica) sulla base delle analisi retrospettive delle varie stime storiche presentate in Ribera d'Alcalà et al. (2003). Al momento la scarsità di copertura spaziale di queste misure permette solo una stima di flusso medio annuale differenziato per sottobacino.

the optical properties of the water column (Morel et al., 2007).

Other new parameterizations have also been introduced for the nutrient input from rivers and for input from the atmosphere: these are key elements in a basin known to be oligotrophic, and that has a significant net deficit of nitrogen and inorganic phosphorus at the Strait of Gibraltar. In particular:

- *River runoff (calculated in terms of single source points at the estuaries as wells as of sources distributed along the coast) has been inserted as a surrounding condition for the most important rivers (37) following the analyses proposed by Ludwig et al. (2009). Whenever possible, the seasonal cycle of the nutrient load of principal rivers has been taken into account.*
- *Input from the atmosphere has also been considered for nitrogen and phosphorus (only the inorganic component) following retrospective analyses of the various historic estimates found in Ribera d'Alcalà et al. (2003). At the moment the low spatial cover of these measurements allows only an estimation of the average annual flux, differentiated according to sub-basin.*

The new initial conditions for the biogeochemistry, consistent with the new input, and the new parameterizations have been obtained through a re-analysis using analyses supplied by INGV with the MFS model over the period from April 2007 to October 2010 as physical forcings.

Results

The results obtained by the forecasting system have been analysed with regards to operational performance and validation in Teruzzi et al. (in press).

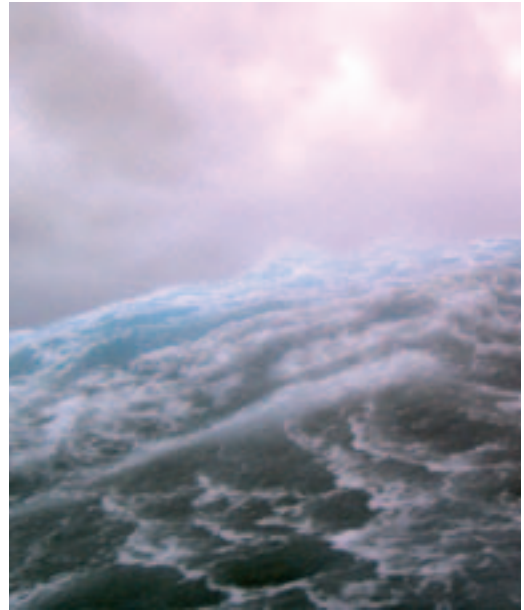
Le nuove condizioni iniziali per la biogeochimica coerenti con i nuovi input e la differente parametrizzazione sono state ottenute attraverso una re-analisi usando come forzante fisico le analisi fornite da INGV con il modello MFS nel periodo aprile 2007-ottobre 2010.

Risultati

I risultati ottenuti dal sistema di previsione sono stati analizzati sotto il punto di vista delle performance operative e della validazione in Teruzzi et al. (*in press*).

Performance operative

Il sistema V0 basato sul modello accoppiato OPATM-BFM, ha iniziato a funzionare in modalità pre-operativa dall'aprile 2007 durante il progetto MERSEA. La piena operatività è stata raggiunta durante MyOcean nell'ottobre 2009. Sono state fornite settimanalmente via web mappe di analisi a 7 giorni e di previsioni a 10 giorni di clorofilla superficiale e di altre variabili di interesse, mentre i dati di clorofilla (prodotti richiesti in MyOcean) erano disponibili per gli utenti MyOcean via FTP. A partire dal dicembre 2010 è entrata in funzione la versione VI di MyOcean e l'accesso ai dati è possibile tramite il web portal di MyOcean (www.myocean.eu). Oltre alle modifiche apportate al modello OPATM-BFM sopra descritte, nella versione VI il sistema di previsione fornisce prodotti (clorofilla e nutrienti) due volte a settimana. Dall'inizio del progetto MyOcean a dicembre 2010 il 79% dei run settimanali sono stati eseguiti con procedura automatica in meno di 8 ore (rispetto alle 24 previste). L'obiettivo della VI è quello di migliorare questi risultati aumentando la percentuale di run eseguiti in un tempo inferiore alle otto ore.



Operational performance

The V0 system based on the coupled OPATM-BFM model began functioning pre-operationally in April 2007 during the MERSEA project. It became fully operational during MyOcean, in October 2009. Seven-day analysis maps and ten-day forecasting maps of surface chlorophyll and other variables of interest were supplied weekly via the web, and chlorophyll data (a product request by MyOcean) were available to MyOcean users via FTP. Version VI of MyOcean has been in use since December 2010, and access to data is possible through the MyOcean web portal (www.myocean.eu). Besides the modifications to the OPATM-BFM model described above, in version VI the forecasting system supplies products (chlorophyll and nutrients) twice a week. Since the start of the MyOcean project in December 2010, 79% of the weekly runs have been carried out with automatic procedures in under eight hours (compared to the twenty-four expected). The aim of VI is to improve these results increasing the percentage of runs carried out in under eight hours.

Validazione

Dal punto di vista della validazione sono state utilizzate come confronto le osservazioni satellitari ottenute da MODIS-Aqua prodotte da GOS-ISAC-CNR (aprile 2007 – dicembre 2009). Si sono confrontati in particolare i risultati valutando l'evoluzione statistica aggregata a scala di bacino (Fig. 1) e si è inoltre stimato lo *skill* del modello attraverso i *target diagrams* (Jolliff et al., 2009)(Fig. 2).

Discussione

La re-analisi eseguita con la versione V1, confrontata con la V0, dimostra un miglioramento dello *skill* in particolare nel periodo autunno-inverno, come si può osservare nei *target diagram* (Fig. 2) praticamente per tutti i sottobacini. Il termine di co-limitazione del fosforo nel processo di fotosintesi riduce la sovrastima estiva (se comparate con la V0) che si riscontrano nei campi medi di clorofilla prodotti dal modello (Fig. 1). È da notare che la scala logaritmica riduce la sovrastima e amplifica la sottostima. Una relativa sottostima della clorofilla superficiale collegata a una bassa produzione primaria è coerente con la fenomenologia nota, ma risulta significativa rispetto a quanto osservato da satellite. Si noti che i valori di riferimento ottenuti da satellite sono al limite della sensibilità sperimentale del metodo (Volpe et al, 2007).

Svilupi futuri: tecniche di assimilazione 3DVar applicate alla biogeochimica.

In prospettiva di un ulteriore miglioramento delle prestazioni predittive del modello, è allo studio l'uso di tecniche basate su di

Validation

As far as validation is concerned, satellite observations obtained from MODIS-Aqua produced by GOS-ISAC-CNR (April 2007-December 2009) have been used as comparisons. Results in particular have been compared, evaluating the statistical evolution aggregated at the basin scale (Fig. 1) and the model's skill has also been estimated using target diagrams (Jolliff et al. 2009) (Fig. 2).

Discussion

Re-analysis comparing version V1 with version V0 demonstrates an improvement in skill over practically all of the sub-basins, especially in autumn and winter, as can be seen from the target diagram (Fig. 2). The co-limitation term for phosphorus in photosynthesis reduces the summer overestimation (in comparison to V0) seen in the average chlorophyll fields produced by the model (Fig. 1). It is worth noting that the logarithmic scale reduces overestimation and increases underestimation. A relative underestimation of surface chlorophyll linked to a low primary production is consistent with the known nature of the phenomena involved, but is significant when compared with what is observed by satellite. Note also that the reference values obtained from satellites are at the limit of the method's experimental sensitivity (Volpe et al. 2007).

Further developments: 3DVar assimilation techniques applied to biogeochemistry.

The use of a technique based on a 3DVar-type variational approach for operational assimilation of surface chlorophyll is currently being studied with the aim of improving the model's

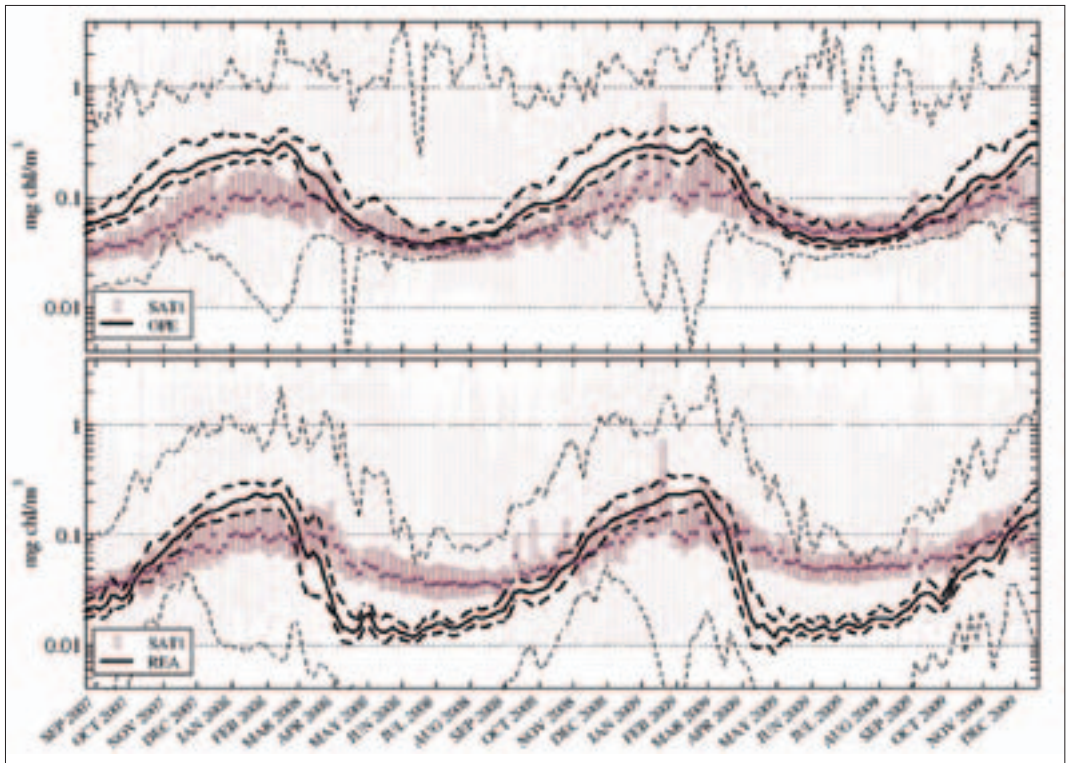


Figura 1: Evoluzione temporale della concentrazione di clorofilla superficiale mediata su 5 giorni nel Mediterraneo. Sono rappresentati i dati da satellite MODIS (boxplot) e i risultati del modello (mediana, venticinquesimo e settantacinquesimo percentile, minimo e massimo rappresentati rispettivamente dalla linea nera continua, dalle linee nere tratteggiate e dalle linee sottili tratteggiate). In alto, i risultati relativi al V0, in basso i risultati della re-analisi ottenuta con la nuova versione del modello.

Figure 1: Evolution over time of the concentration of surface chlorophyll averaged over five days in the Mediterranean. Shown are data from the MODIS satellite (boxplot) and the results from the model (median, twenty-fifth and seventy-fifth percentiles, minimum and maximum, represented by a solid black line, black dashes and thin dashes respectively). Above: results relative to V0; below: re-analysis results obtained with the new version of the model.

un approccio variazionale di tipo 3DVAR per l'assimilazione operativa della clorofilla superficiale (Teruzzi et al. 2012). Questo approccio estende alla clorofilla il metodo basato sulla decomposizione della matrice di covarianza proposto da Dobricic e Pinardi (2008). La tecnica prevede la riduzione dello spazio di controllo attraverso la decomposizione della matrice di covarianza dell'errore in una serie di operatori. Poiché attualmente i dati disponibili per l'assimilazione sono superficiali, un aspetto chiave è

forecasting abilities (Teruzzi et al. 2012). This approach extends the method based on the decomposition of the covariance matrix proposed by Dobricic and Pinardi (2008) to chlorophyll. This technique should reduce control space through the decomposition of the error covariance matrix into a series of operators. As the data currently available for assimilation only relate to the surface, a key aspect is the definition of the operator for vertical projection. This operator is based on vertical chlorophyll EOFs resulting from a seven-year simulation

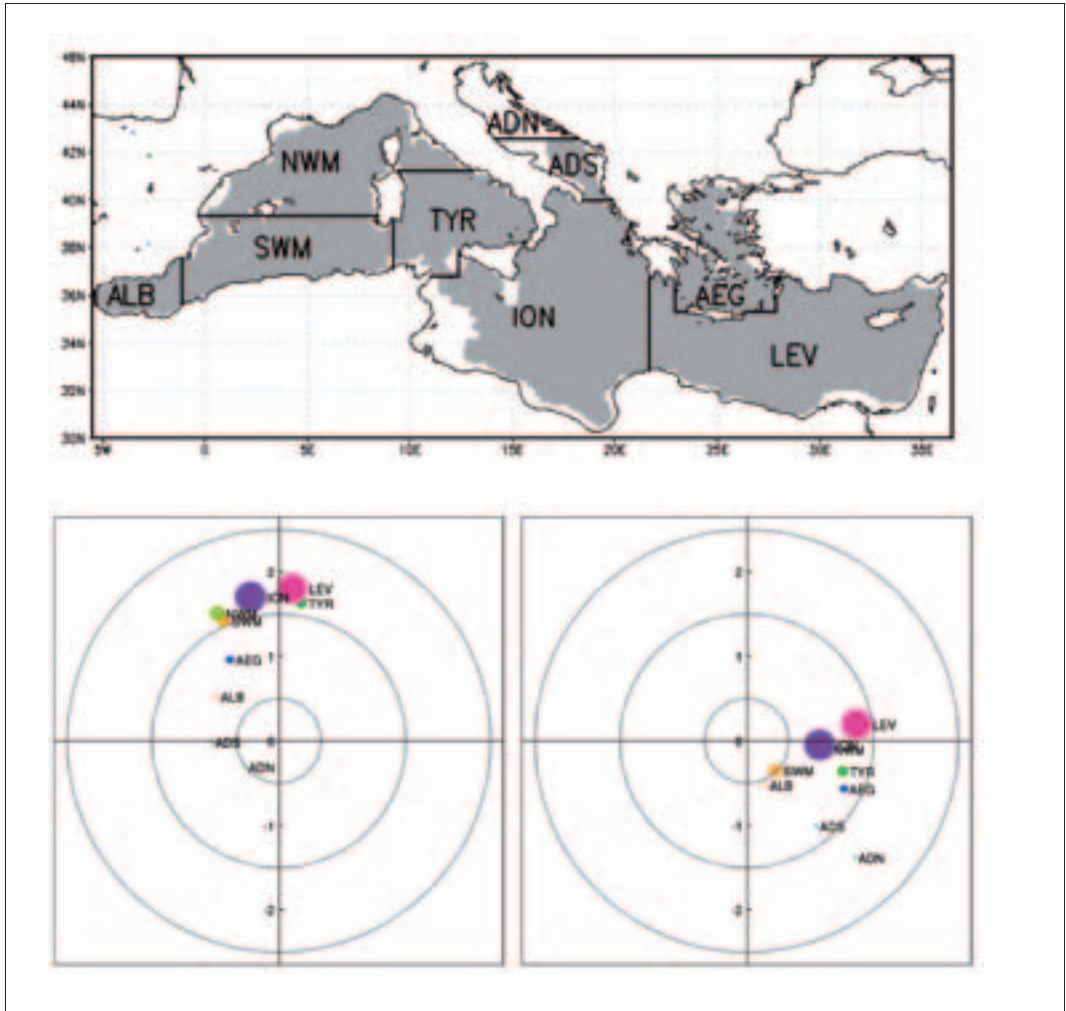


Figura 2. Sopra: mappa dei sottobacini del Mediterraneo (sono evidenziate in grigio le aree con profondità maggiore di 200 m). Sotto: *target diagram* per i sottobacini del Mediterraneo la stagione autunnale (definita come ottobre, novembre e dicembre) nel periodo settembre 2007 – dicembre 2009. L'asse orizzontale è proporzionale a $RMSD^*$ normalizzato (*unbiased mean square difference*); l'asse verticale rappresenta il bias normalizzato. A sinistra: confronto tra i risultati del modello relativi al V_0 e i dati da satellite MODIS. A destra: confronto dei risultati della re-analisi ottenuta con la nuova versione del modello e i dati da satellite MODIS. I centri dei cerchi rappresentano i baricentri della nuvola di punti relativa al sottobacino corrispondente; il raggio dei cerchi è invece proporzionale al numero di punti per il sottobacino.

Figure 2. Top: map of Mediterranean sub-basins (depths of over 200 m shown in grey). Bottom: target diagrams for Mediterranean sub-basins for autumn (October, November and December) for the period September 2007-December 2009. The horizontal axis is proportional to the unbiased mean square difference; the vertical axis represents the normalized bias. Left: comparison between the model results relative to V_0 and data from the MODIS satellite. Right: comparison of results from re-analysis obtained with the new version of the model and MODIS satellite data. The centres of the circles represent the barycentre of the cloud of points relative to the corresponding sub-basin; the radius of the circles is proportional to the number of points per sub-basin.

la definizione dell'operatore di proiezione sulla dimensione verticale. Questo operatore si basa su EOF verticali della clorofilla risultanti da una simulazione di sette anni con il modello OPATM-BFM. Questa impostazione applicata in casi preliminari produce risultati incoraggianti. L'applicazione operativa di questa tecnica è presente nella fase V2 del progetto MyOcean (iniziata a dicembre 2011).

obtained using the OPATM-BFM model. Preliminary application has produced encouraging results. Operational application of the technique is present in the phase V2 of MyOcean (started in December 2011).

Bibliografia

- Cullen J., 1990. *On models of growth and photosynthesis in phytoplankton*. Deep-Sea Res., 37,4,,667-683.
- Dobricic S., and Pinardi N., 2008. *An oceanographic three-dimensional assimilation scheme*. Ocean Modelling, 22, 89–105.
- Flynn KJ., 2001. *A mechanistic model for describing dynamic multnutrient, light, temperature interactions in phytoplankton*. J. Plankton Res. 23: 977–997.
- Jolliff J.K., Kindle J.C., Shulman I., Penta B., Friedrichs M.A.M., Helbert R., and Arnone R.A., 2009. *Summary diagrams for coupled hydrodynamic-ecosystem model skill assessment*, J. Marine Sys., 76(1–2):64–82
- Lazzari P., Teruzzi A., Salon S., Campagna S., Calonaci C., Colella S., Tonani M. and Crise A. 2010. *Pre-operational short-term forecasts for the Mediterranean Sea biogeochemistry*. Oc. Sci., 6:25-39.
- Ludwig W., Dumont E., Meybeck M. and Heussner S. 2009. *River discharges of water and nutrients to the Mediterranean Sea: Major drivers for ecosystem changes during past and future decades?* Prog. In Oceanogr., 80: 199-217.
- Krom M.D., Kress N. and Brenner S., 1991. *Phosphorus limitation of primary productivity in the eastern Mediteranean Sea*. Limnol. Oceanogr., 36,3, 424-432.
- Madec G., Delecluse P., Imbard M. and Lévy C. 1998. *OPA 8.1 Ocean General Circulation Model Reference Manual*, Note n.11, Laboratoire d'Océanographie DYnamique et de Climatologie, Institut Pierre Simon Laplace, Paris, France, 91 pp.
- Malacic V., Viezzoli D., Cushman-Roisin B., 2000. *Tidal dynamics in the northern Adriatic Sea* J. Geophys. Res., 105, C11,26,265–26,280.
- Morel A., Claustre H., Antoine D. and Gentili B., 2007. *Natural variability of bio-optical properties in Case 1 waters: attenuation and reflectance within the visible and near-UV spectral domains, as observed in South Pacific and Mediterranean waters*. Biogeosciences, 4, 913-925
- Ribera d'Alcalà M., Civitarese G., Conversano F. and Lavezza R. 2003. *Nutrient ratios and fluxes hint at overlooked processes in the Mediterranean Sea*. J. Geophys. Res., 108(C9), 8106, doi:10.1029/2002JC001650
- Teruzzi A., Salon S., Bolzon G., Lazzari P., Campagna S., Ficarelli F., Solidoro C., Crise A., (in press). *Operational Forecast*

- of the biogeochemical state of Mediterranean Sea.* Mercator Newsletter, 40, 15-25.
- Teruzzi A., Dobricic S., Solidoro C., Cossarini G., 2012. *A 3D variational assimilation scheme in coupled transport-biogeochemical models. Forecast of Mediterranean biogeochemical properties.* In preparation.
- Vichi, M., Pinardi N. and Masina S., 2007. *A generalized model of pelagic biogeochemistry for the global ocean ecosystem. Part I: Theory.* Jou. Mar. Sys., 64:89-109.
- Volpe G., Santoleri R., Vellucci V., Ribera d'Alcalà M., Marullo S. and D'Ortenzio F., 2007. *The colour of the Mediterranean Sea: Global versus regional bio-optical algorithms evaluation and implication for satellite chlorophyll estimates.* Remote Sens. Environ., 107: 625-638.

L'oceanoografia operativa di ARPA-SIMC
a supporto del Centro Funzionale
dell'Emilia-Romagna e del Centro
di Competenza del Sistema Nazionale
di Protezione Civile

*ARPA-SIMC Operational Oceanography
for the Emilia-Romagna Support Centre
and Centre of Competence
of the National Civil Protection System*

C. Cacciamani, M. Deserti, A. Valentini,
S. Nanni, T. Paccagnella
Agenzia Regionale Prevenzione e Ambiente
dell'Emilia-Romagna-Servizio Idro-Meto-Clima

Introduzione

Il servizio Idro-Meteo-Clima di ARPA svolge le funzioni di Centro Funzionale per l'Emilia Romagna ed è uno dei centri di competenza nell'ambito del sistema nazionale di protezione civile (Decreto N. 252 del 26 gennaio 2005 del Capo del Dipartimento della Protezione Civile). In questo ambito ARPA-SIMC è stato incaricato di svolgere un ampio spettro di attività finalizzate alla gestione ed alla manutenzione evolutiva dei sistemi di analisi meteorologica e modellistici idonei a fornire un supporto oggettivo alla previsione a brevissimo (poche ore), breve (2-3 giorni) e medio termine (5-6 giorni). Nello specifico sono stati assegnati al SIMC compiti e funzioni di "...sviluppo e uso ottimale della modellistica numerica per la previsione dello stato del mare anche a scala locale". Questi compiti sono integrati con le competenze in campo idrologico, dove SIMC è chiamato a svolgere le funzioni già svolte dagli Uffici periferici del Servizio Idrografico e Mareografico Nazionale (SIMN) del Dipartimento per i Servizi Tecnici Nazionali (DSTN), trasferiti alle Regioni nel 2002 (DPCM del 24 luglio), in attuazione del D.Lgs. 31 marzo 1998 n. 112, art. 92. Più precisamente, gli Uffici periferici dell'ex SIMN trasferiti alla Regione Emilia-Romagna e quindi al SIMC sono quello di Bologna, con competenza sul Reno e i fiumi romagnoli, e quello di Parma con competenza sull'intero bacino del Po. Nell'ambito dei compiti istituzionali di ARPA, SIMC svolge attività di valutazione previsione e informazione sulla zona costiera della regione per quanto riguarda il clima e la previsione meteorologica, dello stato del mare, delle acque alte e delle correnti, affiancando le attività di monitoraggio biologico svolte da Daphne, di supporto alla pianificazione, svolte dalla area di Ingegneria costiera della

Introduction

The Hydro-Meteo-Climate Service of ARPA (ARPA-SIMC) acts as a Support Centre for the Civil Protection Agency of Emilia-Romagna, and it is one of the Centres of Competence of the national civil protection system (Decree No. 252 of 26 January 2005 by the head of the national civil protection department). Within the limits of this directive, ARPA-SIMC has the task of carrying out a wide range of activities aimed at the management and maintenance of modelling and meteorological analysis systems able to supply support to very-short-term (a few hours), short-term (2-3 days) and medium-term (5-6 days) forecasts. Specifically, SIMC has the task of '...developing numerical models and their optimal use for the sea-state forecasting, also down to a very local scale'. This role is integrated with what it does in hydrology: SIMC carries out the functions previously performed by the peripheral offices of the National Hydrographic and Marine Service (Servizio Idrografico e Mareografico Nazionale, SIMN) of the Department for National Technical Services (Dipartimento per i Servizi Tecnici Nazionali, DSTN), which were transferred to the Italian regions in 2002 (DPCM of 24 July) in accordance with Legislative Decree 31 March 1998, no. 12 art. 92. More precisely, the ex-SIMN peripheral offices transferred to the Emilia-Romagna region are those of Bologna (with responsibility for the Reno and rivers in Romagna) and those of Parma (with responsibility for the whole Po basin). As part of ARPA's institutional role, SIMC carries out evaluations, forecasts and regional coastal area information regarding the climate and forecasts for the weather, sea state, floods and currents. These activities support the biological monitoring activity carried out by Daphne, the planning activities performed by the Technical Directorate's coastal engineering section and the bathing-water quality control done by provincial Offices.

Direzione Tecnica e di controllo della qualità delle acque di balneazione svolto dalle Sezioni provinciali.

Le attività ed i servizi

Il centro funzionale della Protezione Civile dell'Emilia-Romagna, operativo dal 2005, emette un avviso meteorologico per stato del mare e/o vento quando sono previste onde e/o intensità del vento superiori alle soglie critiche. Nell'avviso meteo viene inoltre indicata la possibilità che queste condizioni avverse siano associate ad acque alte. L'avviso meteorologico viene inoltrato all'Agenzia regionale di Protezione Civile (APC) ed al Dipartimento di Protezione Civile Nazionale (DPCN); APC provvede all'eventuale emissione di un'allerta regionale, diramata ai prefetti, alle autorità locali, alle autorità portuali ed alla guardia costiera, contenente indicazioni sulle precauzioni da adottare.

L'assistenza meteo-marina ad APC ed alle autorità locali include anche le situazioni a rischio di inquinamento delle acque costiere, come nel recente caso dello sversamento di idrocarburi nel Lambro-Po (febbraio 2010) o dell'incendio del cargo "UND Adriyatik" (febbraio 2008). L'assistenza viene effettuata con il supporto del modulo per la diffusione di idrocarburi GNOME (General NOAA Oil Modeling Environment; Beegle-Krause, 2001) che viene forzato con le correnti prodotte dal modello oceanografico Adria-ROMS e dai venti alla superficie previsti dal modello meteorologico COSMO. Anche i possibili episodi di intrusione salina lungo l'asta del Po in condizioni di magra vengono previsti con l'ausilio della modellistica numerica oceanografica (Casicci et al., 2006).

Le analisi numeriche combinate con le osservazioni vengono inoltre utilizzate per

Activities and services

The Funcional Support Centre of the Civil Protection in Emilia-Romagna has been operative since 2005 and delivers a weather warning for sea state and/or wind when waves and/or wind speeds above the critical threshold are forecast. In the weather warning it is also mentioned whether the adverse conditions may be combined with high sea water levels. Weather warnings are also sent to the regional Civil Protection Agency (APC) and to the National Civil Protection Department (DPCN); if necessary, the APC delivers a regional alert detailing the precautions to be taken to prefects, local authorities, the Coast Guard and other end-users.

The meteo-marine support given to the APC and local authorities also includes situations where there is a risk of pollution of coastal waters – for example, the oil spill in the Lambro and Po (February 2010), or the fire on board the cargo ship "Und Adriyatik" (February 2008). Support is given using the GNOME (General NOAA Oil Modeling Environment; Beegle-Krause, 2001) oil diffusion model. This is forced using current provided by the Adria-ROMS oceanographic model (Chiggiato and Oddo, 2008) and surface winds forecast by the COSMO meteorological model (COSMO Newsletter, 2004). Possible instances of saline intrusion in the Po, if river flow is low, are also forecast with the aid of numerical oceanographic modelling (Casicci et al., 2006).

A combination of numerical analysis and observations is also used to analyse the meteorological and marine climate for various applications (the Emilia-Romagna regional coastal information system; the Regional Coastal Plan), as well as for project studying the climatology of events such as storm surges and scenarios connected with climate change, such as the EU CADSEALAND (Ciavola et al., 2007) and MICORE (Valentini, et al., 2010) projects.

la ricostruzione del clima meteomarinario nell'ambito di varie applicazioni (Sistema Informativo della costa della Regione Emilia-Romagna, Piano coste regionale) o progetti dove vengono studiate la climatologia degli eventi di mareggiata e gli scenari legati ai cambiamenti climatici come i progetti UE CADSEALAND (Ciavola et. al, 2007) e MICORE (Valentini, et. al. 2010).

Il sistema modellistico integrato

Il sistema modellistico integrato utilizzato dal Servizio Idro-Meteo-Clima di ARPA per svolgere le proprie attività di servizio in campo marino-costiero, schematizzato nella figura 2, è formato da una catena modellistica di previsione delle onde, denominata MEDITARE (Valentini et. al., 2007) e dal modello oceanografico ROMS implementato sull'intero Adriatico denominato AdriaROMS (Chiggiato and Oddo, 2006). Entrambe le catene modellistiche utilizzano come forzante meteorologico il modello non idrostatico ad area limitata con un ciclo di assimilazione dei dati osservati COSMO-17.

Il modello non idrostatico COSMO-17 (COSMO Newsletter, 2004) è l'implementazione operativa italiana di Lokal Modell, LM (Steppeler et al., 2003), sviluppato dal consorzio COSMO (Consortium for Small scale MOdelling, www.cosmo-model.org). Gli enti italiani afferenti al consorzio sono: UGM (Ufficio Generale per la Meteorologia, Aeronautica Militare), ARPA Piemonte ed il Servizio Idro-Meteo-Clima dell'Emilia-Romagna ARPA-SIMC.

COSMO-17 (precedentemente denominato LAMI) è operativo presso ARPA-SIMC dal 2001; è implementato su un dominio che copre l'intero territorio italiano con una risoluzione orizzontale di 7 km. Fornisce previsioni a 72 ore due volte al gior-

The integrated modelling system

The integrated modelling system used by ARPA-SIMC for its marine and coastal activities (summarized in Figure 2) is made up of a wave-forecasting operational chain called MEDITARE (Valentini et. al., 2007) and the ROMS oceanographic model as implemented for the whole Adriatic Sea, AdriaROMS. Both models are driven by the non-hydrostatic limited-area COSMO-17 meteorological model.

The COSMO-17 model is the Italian operational implementation of the Lokal Modell (LM) (Steppeler et al., 2003), developed by the COSMO (Consortium for Small-scale Modelling, www.cosmo-model.org) consortium. Italian bodies belonging to the consortium are: UGM (Ufficio Generale per la Meteorologia, Aeronautica Militare), ARPA Piemonte and ARPA-SIMC Emilia-Romagna.

COSMO-17 (known previously as LAMI) has been used operationally by ARPA-SIMC since 2001; it is implemented over a domain covering the whole of Italy with a horizontal resolution of 7 km. It supplies 72-hour forecasts twice a day (at 00 and 12 UTC) with an hourly output; the boundary conditions are provided by the ECMWF IFS system. Initial fields are obtained with a 'nudging' (Schraff and Hess, 2003) data assimilation technique.

ARPA-SIMC has been producing sea-state forecasts since 1997, when beginning with the WAM model (Wave Model: WAMDI group, 1988) model, implemented over the Adriatic Sea. Then, in 2004, the domain was extended to cover the whole Mediterranean basin, and the WAM model gave way to SWAN. The current operational sea-state forecasting system is called MEDITARE (Valentini et al., 2007) and is based on the SWAN model (Simulating WAves Nearshore; Holthuijsen et al., 1989; Booij et al., 1999; Ris et al., 1999). The operational chain is made up of three models with nested domains at increasing resolutions. The

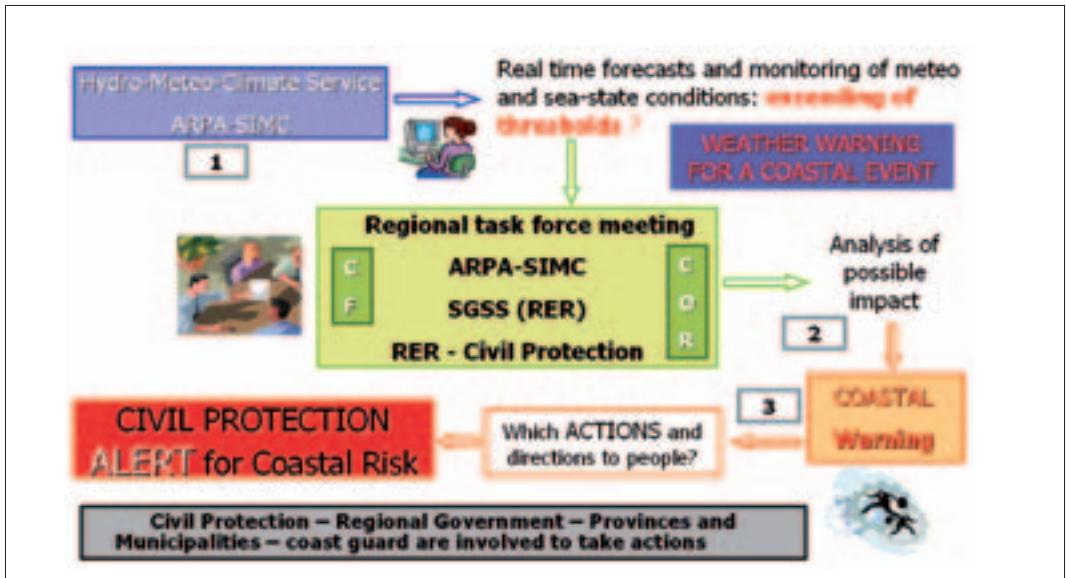


Fig. 1 – Flusso informativo e schema delle attività meteo-marine che il Servizio Idro-Meteo-Clima svolge per il Centro Funzionale di Protezione Civile dell'Emilia-Romagna

Fig. 1 – Information flow and scheme of the activities carried out by ARPA-SIMC for the Emilia-Romagna Civil Protection Support Centre

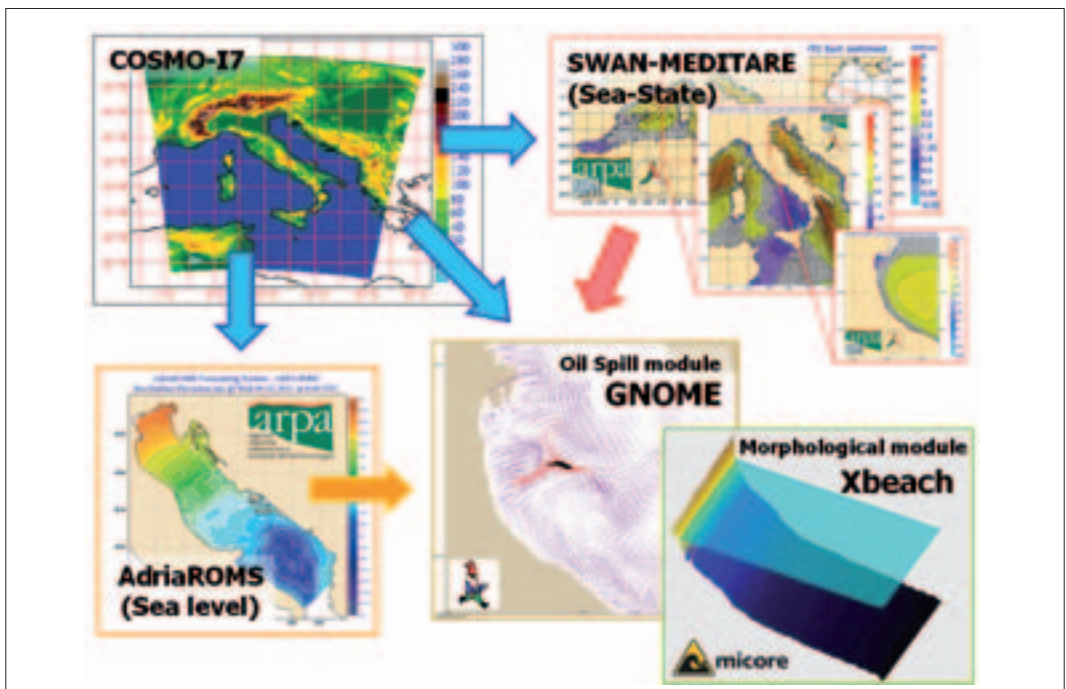


Fig. 2 – Il sistema di modelli operativi ed i prodotti meteo-marini forniti da ARPA-SIMC.

Fig. 2 – The operational modelling system and the meteo-marine products provided by ARPA-SIMC.

no (alle 00 ed alle 12 UTC) con cadenza oraria; le condizioni iniziali ed al contorno sono fornite dal modello IFS (ECMWF). I campi iniziali sono ottenuti con la tecnica di assimilazione dati del nudging (Schraff and Hess, 2003).

ARPA-SIMC produce previsioni dello stato del mare dal 1997, prima con il modello WAM (WAve Model: WAMDI group, 1988) sul solo dominio del Mare Adriatico; poi, dal 2004, si è esteso il dominio su tutto il Mediterraneo, con il progressivo passaggio dal modello WAM a SWAN. L'attuale sistema operativo per la previsione del moto ondoso denominato MEDITARE (Valentini et al., 2007) è basato sul modello SWAN (Simulating WAves Nearshore; Holthuijsen et al., 1989; Booij et al., 1999; Ris et al., 1999). La catena modellistica è composta da tre modelli con domini innestati a risoluzione crescente. Il modello SWAN viene prima integrato sull'intera area del Mar Mediterraneo ad una risoluzione di $\frac{1}{4}$ di grado (circa 25 Km). Da questa si generano le condizioni al contorno per il successivo "run" sul dominio Italia, la cui risoluzione orizzontale è stabilita a $\frac{1}{12}$ di grado (approssimativamente pari a 8 Km). Da questa corsa vengono poi prodotte tutte le condizioni dei campi d'onda ai limiti della zona litoranea, dati necessari per la successiva fase di "nesting" (annidamento) che consente di avere una più accurata previsione. In questa terza fase, infatti, il modello SWAN viene integrato sulle acque costiere della regione Emilia Romagna, aumentando il dettaglio spaziale che viene portato ad una risoluzione di calcolo di $\frac{1}{120}$ di grado (pari a circa 800 m). La catena operativa fornisce una corsa al giorno con una previsione fino a 72 ore successive all'orario di emissione (00 UTC) e con uno step temporale orario delle variabili di uscita.

Dal febbraio 2011, grazie ad una collaborazione tra ARPA-SIMC e il Dipartimento delle Scienze del Mare (DiSMar) dell'Uni-

SWAN model is first integrated over the whole Mediterranean at a resolution of $\frac{1}{4}$ of a degree (approximately 25 km). From this stage we generate the boundary conditions for the next 'run' over the Italy domain, the horizontal resolution of which is stabilized at $\frac{1}{12}$ of a degree (equal to approximately 8 km). From this run all of the wave-field conditions at the edges of the coastal areas are produced, and these are necessary data for the third phase of the nesting, which provides more accurate forecasting at a regional scale. In this third phase, the SWAN model is integrated to the coastal waters of Emilia-Romagna, increasing spatial detail, which is raised to a calculation resolution of $\frac{1}{120}$ of a degree (equal to approximately 800 m). The operational chain supplies one run a day at 00 UTC with a forecast range up to 72 hours and an hourly time step of the output variables.

Thanks to collaboration between ARPA-SIMC and the Sea Sciences Department (DiSMar) of the Università Politecnica delle Marche, a new version of the AdriaROMS system has been in use since February 2011. AdriaROMS has been operational at the Weather Service since 2005, and is based on the ROMS (Regional Ocean Modelling System, Shchepetkin McWilliams, 2005) model. The new version is implemented for the Adriatic Sea with a regular 2-km-resolution grid on a Lambert Conformal Conic cartographic projection. This grid lends itself better to implementing nested models and coupling ROMS with the SWAN wave model (under implementation) than the previous variable horizontal resolution grid.

The operational chain includes the analysis of the previous 24 hours and a prevision at +72 h from 00 UTC of the current day. Analytical fields from the COSMO-17 atmospheric model and the GNOO-MFS (the National Operational Oceanography Group's Mediterranean Forecasting System) are used for the analysis stage (the latter supplies open-boundary conditions

versità Politecnica delle Marche, è stata implementata una nuova versione del sistema AdriaROMS, già operativo dal 2005 presso il Servizio Meteo e basata sul modello ROMS (Regional Ocean Modeling System, Shchepetkin McWilliams, 2005). Il modello è implementato sul Mare Adriatico con una griglia regolare di 2 km di risoluzione in proiezione cartografica Lambert Conformal Conic. Questa griglia si presta meglio, rispetto alla precedente curvilinea a passo variabile, all'implementazione di modelli annidati e all'accoppiamento con il modello d'onda SWAN (in fase di implementazione).

La sequenza operativa prevede l'analisi delle 24 ore precedenti e la previsione a +72h a partire dalle ore 00:00 del giorno corrente. Per l'analisi vengono utilizzati i campi analitici del modello atmosferico COSMO-17 e del modello oceanografico GNOO-MFS (Mediterranean Forecasting System del Gruppo Nazionale di Oceanografia Operativa) che fornisce le condizioni al contorno al bordo aperto in corrispondenza del canale d'Otranto. Il modello utilizza come input fluviale per il fiume Po le osservazioni dirette di temperatura e portata effettuate nella sezione di Pontelagoscuro, mentre per gli altri fiumi modellizzati si usano le caratteristiche climatologiche da bibliografia. I campi atmosferici utilizzati per il calcolo dei flussi aria-mare hanno tutti cadenza oraria e anche gli output di AdriaROMS sono rilasciati con la stessa cadenza.

Gli output delle catene operative sopra descritte vengono utilizzati come dati di ingresso ad applicativi specializzati.

Oltre all'applicativo per la simulazione del trasporto e diffusione di idrocarburi già utilizzato in varie occasioni per scopi di Protezione Civile, è stata implementata, all'interno delle attività previste dal progetto FP7-MICORE, una catena operativa basata su un modello di morfodinamica co-

at the Strait of Otranto). The model uses direct flow and temperature observations from the Pontelagoscuro station for river input from the Po, whereas for other rivers it uses the climatological conditions from the literature. The atmospheric fields used for calculating air-sea flux are all hourly, as is the output of AdriaROMS. The output from the operational chains described above is used as input data for specialized applications.

In addition to an application for simulating hydrocarbon transport and diffusion, which has already been used with various aims by the Civil Protection Agency on various occasions, an operational chain based on a coastal morphodynamic model (XBeach; Roelvink et al, 2009) has been implemented as part of the FP7-MICORE project activities. At the moment it is being used for forecasts in the area around Lido di Dante (Ravenna), the Italian study site within the project.

Finally, a bathing-water quality pollution module is being realized within the regional Prevalbalneazione project; this numerical module will simulate the dynamics of the concentration and the diffusion of biological pollutants during temporary pollution episodes as prescribed by the European directive 2006/7/CE, that was acknowledged in Italy by the Legislative Decree 116/2008.

A final part of the meteorological and marine system in Emilia-Romagna is represented by the Nausicaa wave-measuring station, run by ARPA and moored off Cesenatico (44° 12'55.80"N, 12° 28'35.76"E, water depth = 10 m) The station was installed 23 May 2003 and is equipped with a Datawell Directional wave rider MkIII 70 wave-measuring buoy. The onshore receiving system is located in ARPA's Daphne Oceanographic Structure, and the data (collected every 30 minutes) are stored in SIMC's meteorological and marine database.

Model performance is often verified not only against data provided by the regional meteo-

stiera (XBeach; Roelvink et al, 2009), che al momento effettua la previsione nella zona di Lido di Dante (RA), sito studio italiano all'interno del progetto.

Infine è in corso di implementazione un modulo per gli inquinamenti delle acque di balneazione (progetto "previbalneazione") che servirà a simulare la dinamica della concentrazione e dell'estensione di fenomeni di inquinamento temporaneo così come previsto dalla normativa comunitaria 2006/71/CE recepita in Italia dal D.Lgs 116/2008.

Il sistema meteo-marino dell'Emilia-Romagna è completato dalla stazione ondometrica Nausicaa, gestita da ARPA e collocata al largo di Cesenatico su un fondale di circa 10 m di profondità. La stazione, installata il 23 maggio 2007, è equipaggiata con una boa ondometrica Datawell Directional wave rider MkIII 70. Il sistema ricevente a terra è situato presso la Struttura Oceanografica Daphne di ARPA ed i dati, acquisiti ogni 30', vengono archiviati nel Dbase meteo-marino del Servizio IdroMeteoClima.

Oltre che con i dati della rete meteorologica regionale, le catene modellistiche vengono regolarmente verificate con i dati della rete ondometrica e mareografica nazionale e di altri sistemi di osservazione presenti nelle acque regionali, quali le stazioni oceanografiche SI ed EI, gestite dal CNR-ISMAR di Bologna e con i dati di monitoraggio rilevati dal battello oceanografico Daphne di ARPA.

I prodotti di modellistica numerica e le osservazioni meteorologiche e marine vengono disseminati agli utenti istituzionali attraverso un portale riservato (Infomet), mentre la distribuzione al pubblico avviene attraverso il web di ARPA-SIMC dove è presente una sezione dedicata al MARE (www.arpa.emr.it/sim). Le serie storiche di dati osservati, incluse le onde, sono liberamente accessibili mediante il servizio di distribuzione dati (DEXTER).

marine regional network, which include the wave-measuring station and national tide-gauge station, but also against data byfrom other measurement systems located within regional waters. These include data from the oceanographic stations SI and EI managed by CNR-ISMAR Bologna and data collected by the Daphne, the ARPA's oceanographic vessel, during its institutional monitoring activity.

The numerical modelling products and meteorological and marine observations are disseminated to institutional users through a reserved portal (Infomet), whilst distribution of maps and plots to the public takes place through the ARPA-SIMC website, where there is a specific section dedicated to the sea (MARE, www.arpa.emr.it/sim/?mare). Historical observed data series, including wave data, are freely available through the data distribution service (DEXTER).

Bibliografia

- Booij N., Ris R.C. and Holthuijsen L.H.; 1999: *A third-generation wave model for coastal regions. Part I – Model description and validation*. J. Geophys. Res., **104**, 7649–7666.
- Casacci, L.; loio, C. e Pecora, S. An operational system for the Po flood forecasting in Italy. 7th International Conference on Hydroinformatics 2006, 4-8 settembre 2006, Nizza, Francia.
- Casacci, L.; loio, C. e Pecora, S. An operational system for the Po flood forecasting in Italy. 7th International
- Chiggiato, J, P Oddo, 2006. Operational Ocean Models in the Adriatic Sea: a skill assessment. Ocean Science, 4: 61-77.
- Ciavola, P, C Armaroli, J Chiggiato, A Valentini, M Deserti, L Perini and P Luciani, 2007. Impact of storms along the coastline of Emilia-Romagna: the morphological signature on the Ravenna coastline (Italy). Journal of Coastal Research, SI 50 (Proceedings of the 9th International Coastal Symposium). In press.
- COSMO Newsletter; 2004: Operational Applications – ARPA-SIM (BOLOGNA). Deutscher WetterDienst (DWD), Ofenbach, 6, 25-26.
- Holthuijsen L.H., Booij N. and Herbers T.H.C.; 1989: *A prediction model for stationary, short-crested waves in shallow water with ambient currents*. Coast. Eng., **13**, 23–54.
- Montani, A, “Operational applications: ARPA-SIM”, COSMO Newsletter No. 5, (Apr. 2005), Ulrich Schattler (DWD) and Andrea Montani (ARPA-SIM) editors, pp 24-26, <http://www.cosmo-model.org/content/model/documentation/newsLetters/default.htm>
- Ris R.C., Booij N. and Holthuijsen, L.H.; 1999: *A third-generation wave model for coastal regions. Part II -Verification*. J. Geophys. Res., **104**, 7667–7681.
- Roelvink, J.A, A. Reniers, A. van Dongeren, J. van Thiel de Vries, R. McCall, J. Lescinski, 2009. Modeling storm impacts on beaches, dunes and barrier islands. Coastal Engineering, 56: 1133-1152..
- Schraff C. and Hess R.; 2003: A description of Nonhydrostatic Regional Model LM – Part III: data assimilation. Available on the COSMO web site (www.cosmo-model.org).
- Shchepetkin, A. F., and J. C. McWilliams (2005), The Regional Ocean Modeling System: A split-explicit, free-surface, topography following coordinates ocean model, *Ocean Modelling*, **9**, 347-404.
- Stappeler, J., Doms G., Schättler U., Bitzer H. W., Gassmann A., Damrath U. and Gregoric G.; 2003: Meso-gamma scale forecasts using the nonhydrostatic model LM. Meteorol. Atmos., **115**, 488-504.
- Valentini A., Deserti M., Ciavola P., Armaroli C Masina M., Perini L., Calabrese L., “Un sistema previsionale per la comprensione e previsione dei fenomeni erosivi della costa: alcuni risultati dal progetto MICORE per l’inverno 2009-2010” ARPA Rivista, N. 6, 2010.
- Valentini, A, L Delli Passeri, T Paccagnella, P Patrino, C. Marsigli, D Cesari, M Deserti, J Chiggiato, S. Tibaldi, 2007. The sea state forecast system of ARPA-SIM. Bollettino di Geofisica Teorica e Applicata, 48: 333-349.
- WAMDI Group: Hasselman S., Hasselman K., Bauer E., Janssen P.A.E.M., Komen G.J., Bertotti L., Lionello P., Guillaume A., Cardone V.C., Greenwood J.A., Reistad M., Zambresky L. and Ewing J.A.: 1988: The WAM model - a third generation ocean wave prediction model. J. Phys. Ocean 18, 1775-1810.

Modelli numerici integrati in aree costiere:
un esempio di applicazione
nel nord Adriatico

*Integrated Numerical Models in Coastal Areas:
An Example of Their Application
in the North Adriatic Sea*

S. Carniel, M. Sclavo
CNR-ISMAR, Venezia

M. Tondello
Hydrosoil S.r.L., Padova

P. Ciavola
Dipartimento di Scienze della Terra, Università di Ferrara

Introduzione

Nelle ultime decadi si è assistito ad un considerevole sviluppo nel campo dei modelli numerici impiegati per simulare processi dinamici delle aree costiere, fatto che consente ora a questi complessi strumenti di fornire supporti anche quantitativi ai *decision makers* in ambiti quali l'erosione e la vulnerabilità dei litorali.

Il miglioramento di alcune formulazioni teoriche ed il progressivo aumento di potenza di calcolo (insieme ad una crescente disponibilità di osservazioni a lungo termine e di *output* numerici provenienti da modelli meteorologici e dello stato del mare) consentono oggi applicazioni ad alta risoluzione ed implementazioni nel lungo periodo.

In ogni caso, l'utilizzo efficace di tali strumenti numerici è funzione della loro capacità di descrivere correttamente una varietà di processi fisici tra loro "integrati". Partendo dall'interfaccia atmosfera-oceano, passando al mescolamento turbolento delle masse d'acqua ed arrivando alle interazioni acqua-sedimento, la modellistica numerica integrata si confronta con una serie di problematiche scientifiche ed applicative ancora aperte. Esempi sono rappresentati dalle interazioni non lineari onde-correnti, dal problema della turbolenza, dalla modellizzazione dei processi di risospensione e trasporto di sedimenti, dal ruolo delle onde di lungo periodo nel generare erosione di spiagge e dune. La loro trattazione nell'ambito dei modelli numerici è necessaria per una serie di applicazioni che spaziano dalla protezione dei litorali ad attività *search and rescue* o di supporto ad opere ingegneristiche marine e a strutture operazionali.

Introduction

Recent decades have witnessed considerable developments in the field of integrated numerical models used for simulating dynamic processes in coastal areas, that can now provide quantitative support to decision makers for questions such as erosion and coastal vulnerability.

Improvements in various theoretical formulations and an on-going increase in computing power (alongside the growing availability of long-term observations and numerical output from meteorological and sea-state models) allow the implementation of high-resolution and long-term applications.

However, the efficient use of these numerical tools is a function of their capacity to describe a variety of physical processes that are 'integrated' amongst themselves correctly. Indeed, from the air-sea interface to the turbulent mixing of water masses and the water-sediment interaction, integrated numerical modelling has to face a series of scientific and practical challenges still open. Examples include the non-linear interaction of waves and currents, the problem of turbulence, the modelling of resuspension and sediment-transport processes, the role of long-period waves in generating beach and dune erosion. Dealing with these using numerical models is necessary for a variety of reasons, from protecting the coast to search-and-rescue activities and support for marine construction work of all types.

The mouth of the river Bevano: a case study

This article will give a brief description of the implementation and using the ROMS integrated 3-D model (www.myroms.org) in a region of the NW Adriatic sea south of the town of Ravenna. The study area is located along the coast

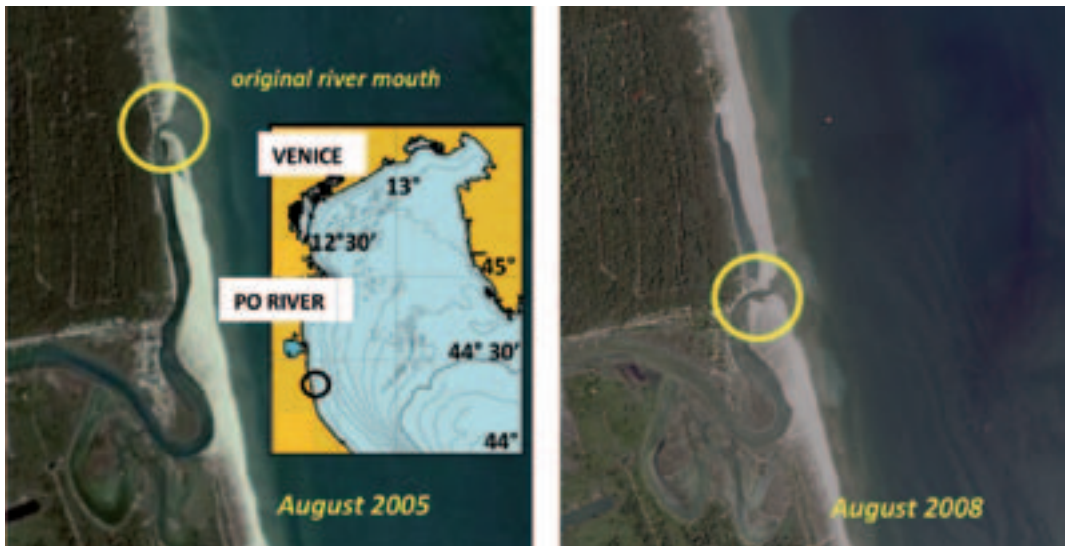


Figura 1. Immagine da satellite (Google Earth™) della zona del fiume Bevano prima (pannello di sinistra, 2005) e dopo (pannello di destra) l'apertura della nuova foce. I due cerchi gialli evidenziano la posizione delle due bocche.

Figure 1. Satellite image (Google Earth™) of the Bevano river region before (2005, left) and after (right panel) the new river opening. The two mouths are shown inside the yellow circles.

La foce del fiume Bevano: un caso di studio

L'articolo descrive succintamente alcuni risultati dell'implementazione prototipale del modello integrato 3-D ROMS (www.myroms.org) in un'area nord-occidentale del Mare Adriatico, a sud della città di Ravenna. L'area investigata si trova lungo la costa della regione Emilia-Romagna, più specificamente in prossimità della foce del fiume Bevano (si veda il riquadro in Figura 1).

La zona della foce del fiume Bevano è stata lasciata libera di evolversi naturalmente fino a circa il 2005 (Figura 1, pannello di sinistra), ed era caratterizzata da una progressiva migrazione della foce stessa verso nord (Ciavola et al., 2004). La foce esistente fu chiusa ad inizio 2006 (si veda di nuovo la Figura 1, pannello di destra) ed una nuova uscita dragata ca. 500-600 m più a sud. Ancora più a sud di que-

of the Emilia-Romagna region, more specifically in the proximity of the small Bevano river inlet (see inset in Figure 1).

The Bevano river mouth was left free to evolve naturally until about 2005 (Figure 1, left panel), and was characterized by a progressive migration to the north (Ciavola et al., 2004). The existing northern river mouth was closed at the beginning of 2006 (see again Figure 1, right panel), and a new inlet was dredged about 500-600 m to its south. South of this new mouth, a floodway has been created to increase the direct discharge to the sea in case of river flood. Finally, to limit the typical northward migration of the river mouth, the new river mouth was protected by a timber structure. Full description of the morphological evolution of the area before and after the intervention can be found in Ciavola (2009).

sta nuova foce, in corrispondenza dell'ultimo meandro, è stato realizzato uno scolmatore di piena, di modo da consentire al fiume di avere uno scarico diretto verso mare in caso di piene significative. Infine, per limitare la naturale migrazione verso nord della foce, la nuova bocca è stata protetta da una palizzata lignea. Una descrizione completa dell'evoluzione morfologica dell'area prima e dopo l'intervento è trattata in Ciavola (2009).

Il modello 3-D ROMS utilizzato è accoppiato con il modello di moto ondoso SWAN ed una suite di moduli dedicati al trasporto e risospensione di sedimenti; è in grado di riprodurre la circolazione idrodinamica dell'area, la propagazione locale del moto ondoso e la risultante mobilitazione e trasporto dei sedimenti. Il modello consente di simulare anche l'allagamento delle celle computazionali e di modellizzare fenomeni evolutivi del fondo.

Le simulazioni sono state condotte sia in condizioni di forzanti ordinarie (normali cicli "medi" di marea) che in condizioni di eventi estremi di portata e moto ondoso (solo queste ultime verranno brevemente discusse in questo contributo). Il modello ha permesso di descrivere la risposta del sistema alle forzanti esterne in termini di variazioni batimetriche e di trasporto dei sedimenti. Per una descrizione dettagliata delle capacità degli strumenti numerici adottati si rimanda a Warner et al. (2008) e Carniel et al. (2009). Lo studio ha utilizzato dati batimetrici, granulometrici, mareografici e valori della portata del torrente Bevano reperiti in letteratura (Ciavola et al., 2005; Gardelli et al., 2007) e altri dati raccolti dall'Università di Ferrara all'interno delle attività del Progetto MICORE (www.micore.eu). Il dominio di calcolo è rappresentato da una griglia curvilinea ortogonale con celle di dimensioni variabili, e copre un'area totale di 1500 m per 4000 m, risolto da 160 nodi lungo l'asse X (avente risoluzione variabile da 8.5 m

The 3-D ROMS model used is coupled with the SWAN wave model [www.swan.tudelft.nl] and a suite of routines describing sediment resuspension and transportation; it is able to reproduce the hydrodynamic circulation of the area, the local wave state and the related sediment transport. By simulating the flooding of part of the numerical domain and the seabed evolution, the model allows only to reproduce the submerged beach evolution.

Numerical simulations have been carried out during normal forcing conditions (i.e. average tide cycles) and extreme river flow and wave conditions (only the latter cases will be discussed here). The model allowed the description of how the system should respond to external forcing in terms of bathymetric variation and sediment transport. For a detailed description of the capacities of the numerical tools used, see Warner et al. (2008) and Carniel et al. (2009).

This study used data from bathymetry, granulometry, tide gauges and values for the flow of the Bevano from the scientific literature (Ciavola et al., 2005, Gardelli et al., 2007) as well as data collected by the University of Ferrara in the framework of the MICORE project (www.micore.eu). The area investigated is represented by a curvilinear orthogonal grid with cells of varying dimensions, covering in total 1500 m by 4000 m, with 160 nodes along the X axis (a resolution from 8.5 m to 23.5 m) and 115 along the Y axis (a resolution from 6.9 m to 56.9 m).

The goal of this research activity was to set up a numerical tool that, once calibrated using field data, could supply information on the evolution of the mouth of the Bevano and the sea area directly in front of it, including an estimate of morphological evolution and evolutionary tendencies responding to important extreme events (storms, river flooding, storm surges).

a 23.5 m) e da 115 nodi lungo l'asse Y (con risoluzione da 6.9 a 56.9 m).

L'obiettivo dell'attività di ricerca è stato quello di allestire uno strumento numerico che, una volta validato con dati acquisiti sul campo, potrebbe fornire indicazioni sull'evoluzione della foce del torrente Bevano e dello specchio di mare antistante, inclusa una stima dell'evoluzione morfologica e delle tendenze evolutive in risposta ad eventi esterni significativi (mareggiate provenienti dai settori di traversia principali del paraggio, piene).

Risultati

Simulazione in condizione di piena

La simulazione in condizioni di piena del torrente Bevano è stata condotta fornendo in *input* al modello, oltre alla forzante mareale, anche l'idrogramma di piena corrispondente ad un tempo di ritorno di 30 anni, schematizzato con andamento triangolare (picco corrispondente a 130 m³/s) e durata complessiva di 24 ore. Il picco della piena è stato fatto coincidere con un picco di alta marea. La Figura 2a mostra il campo della circolazione media integrata e del trasporto di sedimenti in corrispondenza del picco della piena.

Appare evidente come il flusso in uscita, di notevole intensità, interessi oltre che la foce principale anche lo scolmatore di piena realizzato all'altezza del meandro. Il trasporto solido mostra una maggiore concentrazione di sedimenti in uscita in corrispondenza della foce principale (a nord) e una quantità più modesta a sud, in corrispondenza dello scolmatore.

La Figura 2b mostra le variazioni del fondale rispetto all'istante iniziale (i.e. all'inizio della piena), rappresentate in termini di erosione/deposizione; i valori sono stati conven-

Results

River flood simulation

Simulation of a typical Bevano river flood was carried out forcing the model with both tide forcings and a flood corresponding to a return time of 30 years, schematized by a triangular shape (the peak corresponding to 130 m³/s) and lasting for 24 hours. Figure 2a shows the integrated average circulation field, as well as sediment transport, at the flood peak. It can be clearly seen how the outflow, which is of noteworthy intensity, is not only directed along the main mouth but also above the floodway created at the first meander. Sediment transport shows a greater concentration of outgoing sediment at the main mouth (north) and a smaller quantity to the south at the floodway.

Figure 2b shows sea bottom variations compared to the beginning of the simulation (i.e., at the beginning of the flood) represented in terms of erosion/deposition. Values have been conventionally adimensionalized with respect to the maximum erosion values. We can see that the sea bottom gets deeper in the area close by the river mouth, and that there is a slight tendency to deposition in the area in front of the river mouth.

Simulation with a Bora storm

A first type of simulation was carried out inputting into the model sea and weather conditions recorded by the Cesenatico buoy owned by the ARPA-SIMC during a typical wave event caused by the Bora (a wind coming from NE).

Figure 3a shows the significant wave height and relative directions. As the waves move towards the coast, the effects of refraction and wave-breaking cause a progressive variation of significant height and a rotation of their direction of propagation. There is also a certain

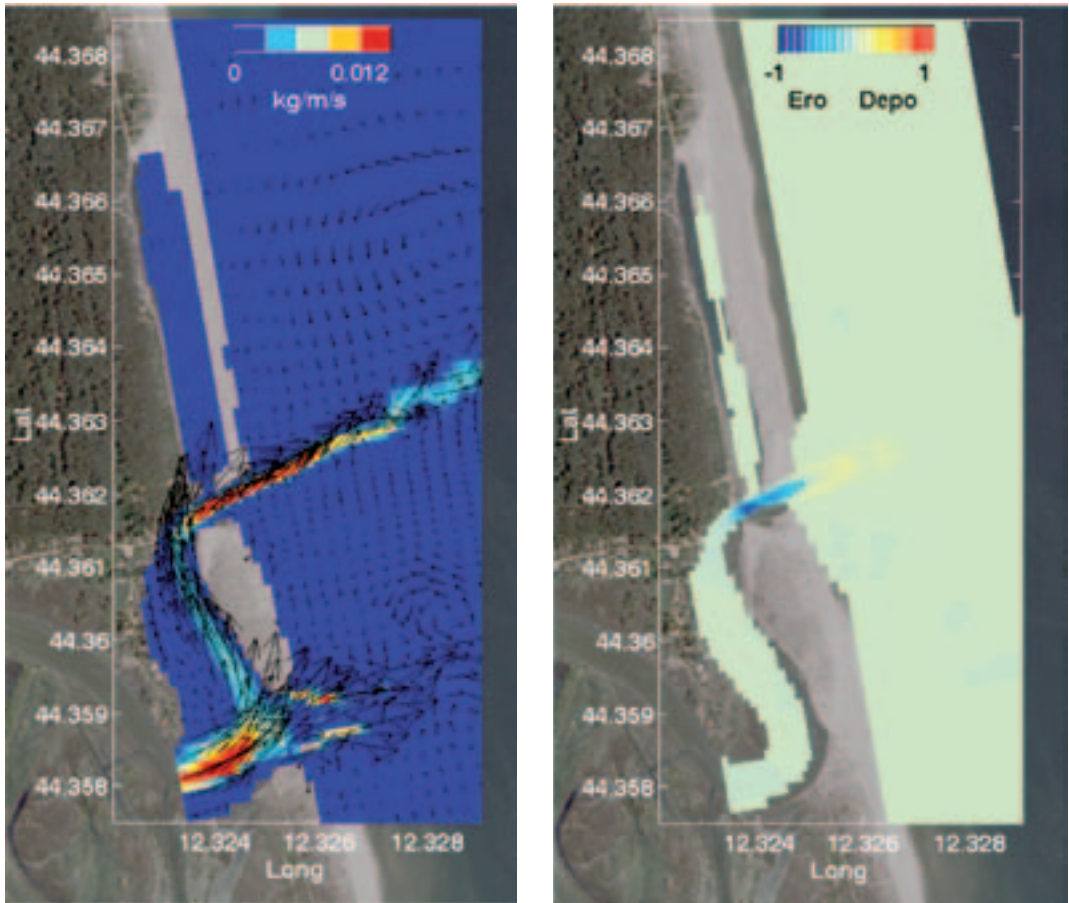


Figura 2. Simulazione di un evento di piena del fiume Bevano. Pannello di sinistra: trasporto solido (kg/m/s) e velocità verticalmente integrata (vettore massimo ca. 1.5 m/s) al picco della piena. Pannello di destra: variazione del livello del fondo alla fine della piena (unità adimensionali).

Figure 2. Simulation of the Bevano river flooding. Left: transport of solids (kg/m/s) and vertically integrated velocity (max. vector approx. 1.5 m/s) at the peak of the flood. Right: seabed variation at the end of the river flood (adimensionalized erosion and deposition values).

zionalmente adimensionalizzati rispetto al massimo valore di erosione. Si riscontra un approfondimento dei fondali in corrispondenza del tratto terminale di foce e una modesta tendenza alla deposizione nello specchio acqueo antistante.

Simulazione con mareggiata di Bora

Una prima tipologia di simulazione è stata condotta fornendo in input al modello le

wave propagation inside the inlet, favoured by wave set-up.

Figure 3b shows the integrated average circulation field and sediment transport at the peak of the storm, which generates a current directed from north to south. In particular, the highest velocities may be depicted at a certain distance from the shore, at the outer edge of the sandbar. In the proximity of the river mouth, the current tends to move away from the coast and follow the bathymetric convexities. Surface

caratteristiche meteomarine registrate dalla boa di Cesenatico di proprietà di ARPA-SIMC durante un tipico evento ondoso proveniente dalla traversa di Bora (proveniente da direzione NE).

In Figura 3a si riporta il piano d'onda della mareggiata: ai valori di altezza significativa

velocities peaks are about 0.8 m/s. As with currents, the sediment transport also heads south and concerns quite a large strip of coast, with greater intensity beyond the sandbar area.

Furthermore, we may observe a general tendency towards deposition in front of the river mouth; this is associated with the combined

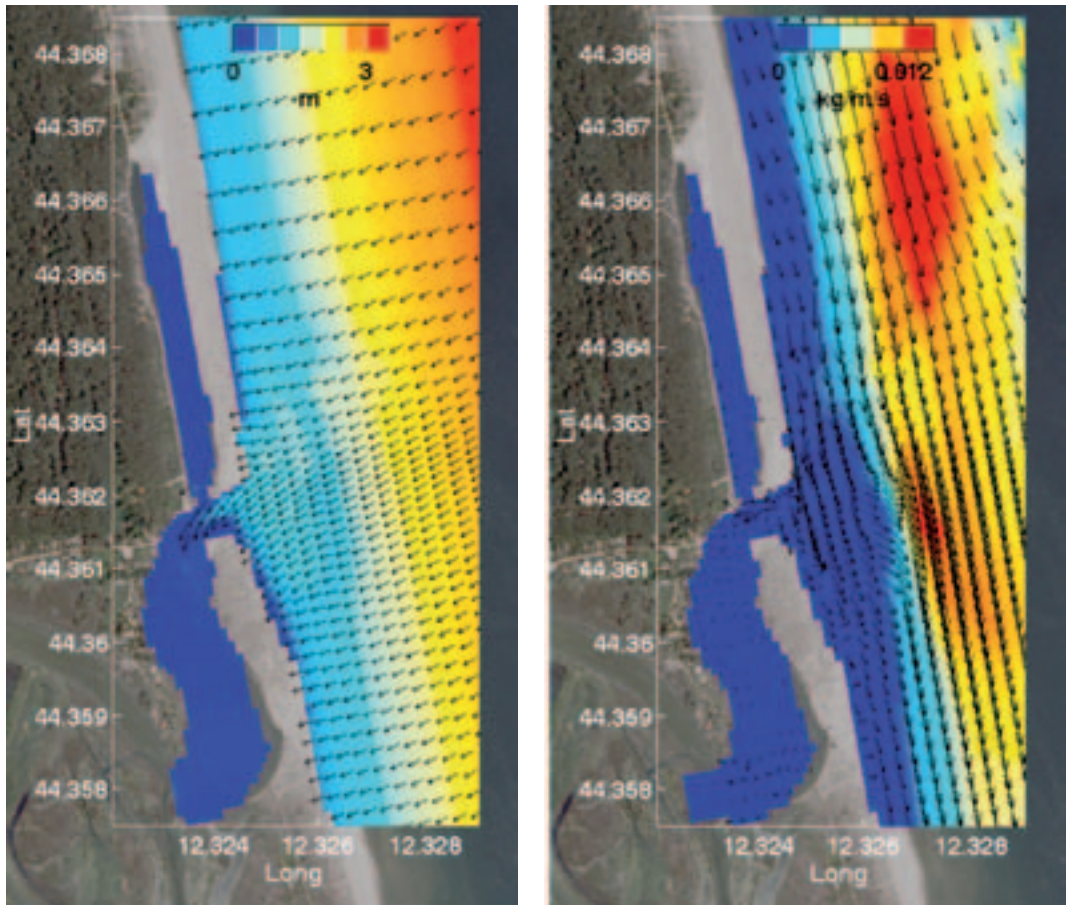


Figura 3. Simulazione di una tempesta di Bora. Pannello di sinistra: campo di altezza d'onda significativa (m) e relative direzioni di propagazione. Pannello di destra: associato trasporto totale di sedimenti (kg/m/s) con velocità verticalmente integrata (vettore massimo ca. 0.8 m/s).

Figure 3. Simulation during a typical Bora storm. Left: significant wave height fields (m) with relative directions. Right: total sediment transport (kg/m/s) and vertically integrated velocity vectors (max. vector approx. 0.8 m/s).

sono sovrapposte le direzioni locali dell'onda, indicate mediante vettori. Procedendo verso costa, l'effetto della rifrazione e del frangimento determina una progressiva riduzione dell'altezza significativa e una rotazione della direzione di propagazione, che tende a coincidere con la normale al litorale. Appare evidente anche una propagazione dell'onda all'interno della boca, favorita dal wave set-up.

La Figura 3b illustra il campo della circolazione media integrata e del trasporto di sedimenti in corrispondenza del picco della mareggiata, che genera una corrente diretta da nord verso sud; in particolare, le velocità più elevate si presentano ad una certa distanza da riva, sul lato esterno della barra. In corrispondenza della foce la corrente tende ad allontanarsi da costa, seguendo la convessità della batimetria. Le velocità superficiali presentano picchi massimi di ca. 0.8 m/s. Analogamente alle correnti, anche il trasporto solido è diretto verso sud ed interessa una fascia di litorale piuttosto ampia, con intensità maggiore oltre la zona delle barre. Si osserva inoltre una generale tendenza alla deposizione di fronte alla foce, cui prevedibilmente si associa una tendenza all'occlusione della foce per effetto combinato della crescita del getto sopraflutto e del ridotto flusso di marea.

Conclusioni

Il caso di studio dimostra come sia possibile impiegare strumenti numerici integrati ad altissima risoluzione per simulare in maniera dettagliata l'evoluzione di sistemi costieri complessi caratterizzati da una cospicua variabilità batimetrica e sedimentologica.

Ulteriori rilievi periodici della linea di riva e misure condotte *in situ* permetteranno di validare il prototipo implementato e di



effect of the reduced tidal flow and the wave action.

Conclusions

This case study demonstrates how it is possible to use integrated numerical tools with a very high resolution to provide detailed simulations of the evolution of complex coastal systems characterized by significant bathymetric and sedimentological variability.

Additional periodical coast line and hydrological *in-situ* measurements will allow the

fornire nel contempo indicazioni sugli intervalli di confidenza associabili alle variazioni modellizzate.

Ringraziamenti

Si ringrazia ARPA-SIMC Emilia Romagna per aver messo a disposizione i dati della boa di Cesenatico.

Bibliografia

- Carniel, S., Warner, J.C., Chiggiato, J. and Sclavo, M., 2009. Investigating the impact of surface wave breaking on modelling the trajectories of drifters in the Northern Adriatic Sea during a wind-storm event. *Ocean Modeling*, **30**, pp. 225-239. DOI:10.1016/j.ocemod.2009.07.001
- Ciavola, P., 2009. La morfodinamica della foce prima dell'intervento. In: Foce Bevano: l'area protetta e l'intervento di salvaguardia, Regione Emilia-Romagna, cap. 2.2, pp. 17-18.
- Ciavola, P., Billi, P., Armaroli, C., Preciso, E., Salemi, E., and Balouin, Y., 2005. Morphodynamics of the Bevano Stream out-

prototype presented here to be properly calibrated and used for planning maintenance engineering works of the inlet.

Acknowledgements

We acknowledge ARPA-SIMC Emilia Romagna for having made available the data of the Cesenatico buoy.

- let: the role of bedload yield. *Geologia tecnica ed Ambientale*, **2005/1**, pp. 41-57.
- Gardelli, M., Caleffi, S. and Ciavola, P., 2007. Evoluzione morfodinamica della foce del Torrente Bevano. *Studi Costieri*, **13**, pp. 53-74.
- Warner, J.C., Sherwood, C.R., Signell, R.P., Harris, C.K. and Arango, H.G., 2008. Development of a three-dimensional, regional, coupled wave, current, and sediment-transport model. *Computers & Geosciences*, **34(10)**, pp. 1284-1306

Simulazione numerica di onde e correnti in acque basse

Numerical Simulation of Waves and Currents in Shallow Water

F. Lalli, A. Bruschi, V. Pesarino

ISPRA, Istituto Superiore per Protezione e la Ricerca Ambientale

Introduzione

Lo studio dei flussi in acque basse costituisce la base per la progettazione in aree costiere. In tale ambito le più importanti caratteristiche di cui tenere conto sono: l'interazione onde-costa-strutture marine, il frangimento, la formazione o la presenza di getti e la mutua interazione tra moto ondoso e correnti.

L'approccio classico si basa sulla separazione tra modelli per le onde e per le correnti. Generalmente le onde vengono trattate con modelli spettrali, mentre per i flussi sono prevalentemente utilizzate le equazioni bidimensionali del moto, mediate lungo la verticale nell'ipotesi di distribuzione idrostatica delle pressioni. Il metodo utilizzato per realizzare l'accoppiamento tra i due diversi tipi di modelli si basa sul concetto di *radiation stress*. Tale termine, calcolato mediante i modelli di moto ondoso, viene introdotto come forzante nei modelli per le correnti, per tenere conto del flusso associato al moto ondoso mediato in un periodo d'onda.

Il limite principale dell'approccio classico risiede nell'utilizzo delle equazioni bidimensionali. In tale formulazione infatti il *back scatter* della cascata dell'energia non è sempre realistico nei casi in cui la dimensione verticale non sia molto inferiore a quella della scala orizzontale, ed inoltre non è possibile tenere conto degli effetti della stratificazione di densità. In aggiunta, l'accoppiamento dei modelli per le correnti e per le onde basato sull'utilizzo del radiation stress non permette di risolvere in maniera esauriente l'interazione tra moto ondoso e correnti.

In questo lavoro viene proposto un metodo per lo studio dei flussi costieri in grado di realizzare, nel dominio del tempo, un accoppiamento completo tra onde e correnti,

Introduction

The investigation of flow features in shallow water constitutes the basis of planning in coastal areas. The most important characteristics to be taken into account are: the interaction between waves, coast and marine structures; wave breaking; the formation or presence of inflowing jets of water; the interaction between waves and currents.

The classical approach is based on a separation of wave and current models. Generally, waves are dealt with using spectral methods, whereas coastal flows are studied by means of two-dimensional motion equations, averaged along the vertical direction in the hypothesis of hydrostatic distribution of pressure. The method used for coupling the two different model types is based on the concept of radiation stresses. This term, calculated by means of wave models, is introduced as a forcing term into the current model to take into account the wave-induced flow related to the time-averaged wave motion.

The main limitation of the classical approach lies in the use of two-dimensional equations. The backscatter of the energy cascade in this formulation is not always realistic when the vertical dimension is not at least two orders of magnitude less than the horizontal scale. In addition, within the two-dimensional approach the effects of density stratification cannot be taken into account. Furthermore, wave/current coupling based on radiation stress approach does not allow a satisfactory analysis of the interaction between waves and currents.

In this paper we propose a method of studying coastal flow aimed at obtaining a full two-way wave/current coupling in the time domain in which waves are modified by the effects of currents and currents are in turn forced and modified by the presence of perturbations of the free surface. An application of the study of waves and flow using finite-difference formulation of shallow-water equations will be outlined.

tale che le onde siano modificate dall'effetto delle correnti e queste ultime, a loro volta, siano forzate e modificate dalla presenza delle perturbazioni della superficie libera. In particolare, viene illustrata una applicazione dello studio di onde e flussi mediante formulazione alle differenze finite delle equazioni delle acque basse. Vengono anche descritti risultati relativi alla diffusione di un getto in assenza di moto ondoso, confrontando il comportamento 2D con quello dei flussi 3D idrostatici. Le soluzioni numeriche ottenute sono state inoltre confrontate con dati sperimentali di laboratorio.

Soluzione numerica

Il programma di calcolo SASHA (Staggered Anpa SHallow wAter), sviluppato presso ISPRA e ampiamente utilizzato nelle attività scientifiche e di servizio dell'Istituto [2, 3, 4, 5, 6, 8, 9], consente la soluzione delle equazioni per le acque basse con un metodo numerico alle differenze finite. L'uso di tali equazioni è comunemente accettato per lo studio dell'idrodinamica in ambienti costieri in cui la profondità possa essere considerata trascurabile rispetto alle dimensioni orizzontali. L'approssimazione di acque basse fornisce una descrizione bidimensionale del campo di moto in termini di velocità medie lungo la colonna d'acqua, trascurando le componenti verticali del flusso e assumendo una distribuzione idrostatica delle pressioni. Il modello idrostatico non consente di tenere conto degli effetti dispersivi nella propagazione ondosa, e nelle simulazioni non è quindi possibile realizzare la generazione e la propagazione di onde corte. L'operazione di media lungo la verticale, inoltre, non consente di considerare la presenza di fenomeni legati a variazioni verticali di densità, tra cui la stratificazione

Results concerning the diffusion of a jet in the absence of wave motion will also be described, with a comparison of 2D behaviour and 3D hydrostatic flow behaviour. The numerical solutions obtained are also compared with experimental laboratory data.

Numerical solution

The SASHA (Staggered ANPA SHallow Wa-ter) model, developed by ISPRA and widely used by the Institute for scientific issues and applications [2, 3, 4, 5, 6, 8, 9], allows the solution of equations for shallow water with a finite-difference numerical method. The use of these equations for studying hydrodynamics is widely accepted for coastal areas where depth can be considered of negligible importance compared to the horizontal dimensions. The approximation of shallow water supplies a two-dimensional description of the flow in terms of average velocity along the water column, neglecting the vertical flow component and assuming a hydrostatic distribution of pressure. The hydrostatic model cannot take into account dispersive effects in wave propagation, and only the simulation of long waves is possible. Furthermore, the two-dimensional model does not allow the presence of phenomena connected with vertical density variation, such as stratification of fresh and salt water (commonly observed near river mouths), to be considered. The equations, written in a conservative form, as well as in terms of primitive variables, are solved numerically by means of a finite-difference method. Time marching is implemented by applying the third-order Runge-Kutta scheme [10]. An algebraic formulation is used for turbulent viscosity: in this model, local depth is chosen as a fundamental turbulence scale, in order to take into account turbulence produced by the seabed. Smagorinsky's model is also used

di acqua dolce su acqua salata, comunemente osservata in prossimità di foci fluviali. Le equazioni, scritte in forma conservativa e in termini di variabili primitive, vengono risolte numericamente con un metodo alle differenze finite, applicando lo schema di Runge-Kutta al 3° ordine nel tempo [10]. Per la viscosità turbolenta viene utilizzato un modello algebrico, nel quale come scala fondamentale della turbolenza viene scelta la profondità locale, per tenere conto della turbolenza prodotta sul fondo. Viene inoltre utilizzato il modello classico di Smagorinsky per l'implementazione di griglie di calcolo nelle quali la dimensione della cella è molto maggiore della profondità [9]. La presenza di geometrie complesse viene risolta con un approccio basato sul concetto di "body force" [1].

La superficie libera viene trattata in forma debolmente non lineare. Tenendo conto che nel modello idrostatico vengono ipotizzate onde lunghe, di conseguenza poco ripide, tale assunzione non risulta restrittiva, mentre comporta notevoli semplificazioni per il calcolo. Infatti, nell'ambito di questa approssimazione il problema della delimitazione tra aree asciutte e bagnate nel dominio computazionale viene notevolmente semplificato, in quanto tale delimitazione viene stabilita una volta per tutte, trascurando quindi l'effetto del run-up delle onde.

L'introduzione del forzante di moto ondoso viene implementata tramite opportuni termini di sorgente, definiti sia per le componenti di velocità che per l'elevazione della superficie libera:

$$\begin{aligned} u_0 &= \frac{A\lambda}{T} \cos \vartheta \cdot \cos(k\psi - \alpha t) \\ v_0 &= -\frac{A\lambda}{T} \sin \vartheta \cdot \cos(k\psi - \alpha t) \\ \eta_0 &= A \cos(k\psi - \alpha t) \end{aligned}$$

when grid spacing is greater than depth [9]. The presence of complex geometries is implemented in the discrete formulation by means of an approach based on the concept of 'body force' [1].

The free surface is treated in a weakly nonlinear form. Bearing in mind that in the hydrostatic model only long waves (which are therefore not steep) can be considered, this assumption is not restrictive, and greatly simplifies the computation. Within this approximation, the problem of defining wet and dry areas in the computational domain is greatly simplified, as the definition is established once and for all, ignoring the wave run-up effect. The introduction of the wave motion forcing is implemented through suitable source terms defined both for the speed and free surface elevation components:

$$\begin{aligned} u_0 &= \frac{A\lambda}{T} \cos \vartheta \cdot \cos(k\psi - \alpha t) \\ v_0 &= -\frac{A\lambda}{T} \sin \vartheta \cdot \cos(k\psi - \alpha t) \\ \eta_0 &= A \cos(k\psi - \alpha t) \end{aligned}$$

where A , λ , T , k , and ω are width, length, wave period, wave number and angular frequency respectively,

$$\psi = x \cos(\vartheta) - y \sin(\vartheta)$$

and ϑ is the direction from which the wave comes. In this case, the formulation refers to a monochromatic wave, but it is possible to introduce a complete directional spectrum, bearing in mind that the hydrostatic model is not able to simulate dispersive waves and, therefore, the spectra cannot contain high-frequency components (the ratio between wave length and water depth should be 20). The term v_0 is negative

con A , λ , T , k , ω rispettivamente ampiezza, lunghezza, periodo dell'onda, numero d'onda e frequenza angolare,

$$\psi = x \cos(\vartheta) - y \sin(\vartheta)$$

e ϑ direzione di provenienza dell'onda. In questo caso la formulazione si riferisce ad un'onda monocromatica, ma è possibile introdurre spettri di frequenza e direzione, tenendo comunque conto che il modello idrostatico non è in grado di simulare onde dispersive, e gli spettri non possono contenere componenti ad alta frequenza. Il segno negativo nel termine v_0 è legato all'orientamento dell'asse y , tipicamente diretto verso il mare aperto, mentre le onde sono dirette verso la costa. I termini di sorgente u_0 , v_0 e η_0 vengono implementati tramite l'algoritmo denominato "spiaggia numerica", che prevede la definizione di una funzione $g(y)$ di generazione e assorbimento (definita lungo la direzione perpendicolare alla costa), che viene aggiunta a secondo membro nelle equazioni delle acque basse, rispettivamente, nella forma:

$$\begin{aligned} & -g(y) \cdot (\eta - \eta_0) \\ & -g(y) \cdot (u - u_0) \\ & -g(y) \cdot (v - v_0) \end{aligned}$$

con

$$g(y) = 0$$

all'interno del dominio

$$g(y) = \min \left[\left(\frac{|y - \tilde{y}|}{\lambda} \right)^2, \tilde{g} \right]$$

in una zona ampia 2λ situata presso i confini del dominio

con \tilde{y} limite della spiaggia numerica, e \tilde{g} valore massimo fissato per la funzione $g(y)$; tale funzione, oltre a generare la perturbazione ondosa desiderata, assicura l'assor-

due to the orientation of the y axis, typically oriented towards the open sea, whilst waves move towards the coast. The source terms u_0 , v_0 and η_0 are implemented using an algorithm we have called 'Numerical Beach' with the definition of a function $g(y)$ for generation and absorption (defined along the perpendicular direction of the coast), which is added as the second member of the shallow water equations in the following respective forms:

$$\begin{aligned} & -g(y) \cdot (\eta - \eta_0) \\ & -g(y) \cdot (u - u_0) \\ & -g(y) \cdot (v - v_0) \end{aligned}$$

with

$$g(y) = 0$$

inside the domain

$$g(y) = \min \left[\left(\frac{|y - \tilde{y}|}{\lambda} \right)^2, \tilde{g} \right]$$

in a large zone of amplitude 2λ , located near the domain boundaries

where \tilde{y} is the limit of Numerical Beach and \tilde{g} the maximum value fixed for the function $g(y)$. This function not only generates the desired wave perturbations, but also assures the absorption of oscillations near the boundaries, thereby avoiding the generation of reflections and related numerical 'pollution' in the solution due to the domain narrowness.

The SAM (Stratified ANPA Model) model, which was also developed by ISPRA and based on the same numerical integration scheme, represents a natural extension of SASHA to a three-dimensional level. Its formulation is currently based on hydrostatic approximation, but developments are underway to take non-hydrostatic pressure distribution into account for wave propagation.

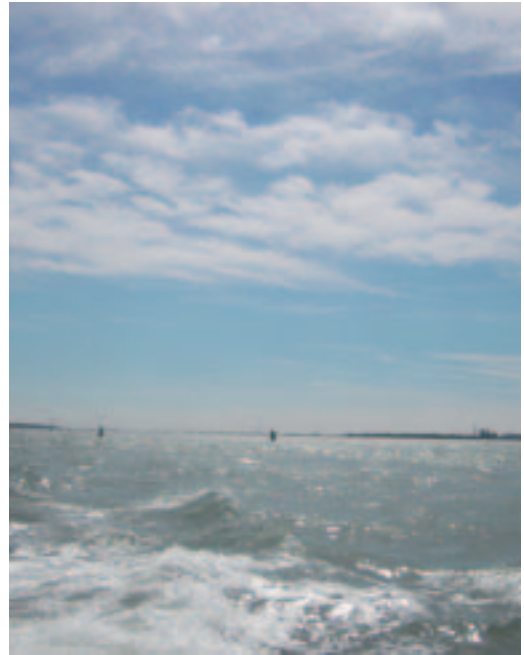
bimento delle oscillazioni in prossimità dei contorni evitando l'insorgere di riflessioni, e quindi alterazioni della soluzione dovuti al troncamento del dominio.

Il modello SAM (Stratified Anpa Model), anch'esso sviluppato presso ISPRA e basato sullo stesso schema di integrazione numerica, costituisce la naturale estensione al caso tridimensionale del modello SASHA. Attualmente la sua formulazione è basata sulla approssimazione idrostatica, ma sono in corso sviluppi per tenere conto della distribuzione non idrostatica delle pressioni nella propagazione di onde non approssimabili con il modello di onda lunga.

Risultati

La figura 1 descrive i risultati relativi alla diffusione del plume fluviale nell'ambiente costiero ottenuti con il modello SASHA, in presenza ed in assenza di moto ondoso. Il campo idrodinamico indotto dalle onde modifica in modo sostanziale i meccanismi di diffusione, e il risultato mostra la rilevanza della risoluzione della interazione onda-corrente nel dominio del tempo.

In figura 2 viene mostrato il flusso barotropico in un porto canale di forma semplice; l'immagine 2-a è riferita alla visualizzazione sperimentale, le immagini 2-b e 2-c rappresentano snapshot della vorticità, rispettivamente dei flussi 2D e 3D. Nel caso 3D, si tratta della componente verticale sulla superficie libera. Entrambe le soluzioni numeriche mostrano un buon accordo qualitativo con il dato sperimentale: sia il flusso 2D che quello 3D idrostatico sono caratterizzati dall'effetto Coanda, riconoscibile anche nell'esperimento, che induce nel flusso una deviazione verso sinistra, dovuta alla presenza della cavità. Il flusso 2D è caratteriz-



Results

Figure 1 shows the results relative to river plume diffusion in a coastal environment obtained by using SASHA with and without wave motion. The hydrodynamic field induced by the waves causes a meaningful modification to the diffusion pattern, and the result shows the relevance of solving wave/current interaction in the time domain.

Figure 2 shows the barotropic flow in a simple channel-harbour: image 2a shows experimental laboratory visualization, and 2b and 2c show vorticity snapshots of the 2D and 3D flows respectively. In the case of the 3D flow, the vertical component of vorticity at the free surface is considered. Both numerical solutions show good qualitative agreement with experimental data: both the 2D flow and the 3D hydrostatic flow are characterized by the Coanda effect, also recognizable in the experiment, which induces a variation to the left in the flow due to the presence of a cavity. The 2D flow, however, is characterized by very different behaviour of the

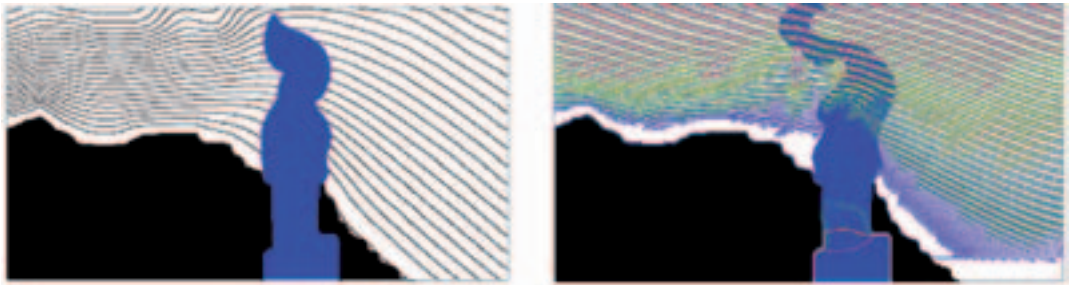


Figura 1: diffusione del plume fluviale in assenza (sn) e in presenza di onde (dx).

Figure 1: River plume diffusion with (right) and without (left) waves.

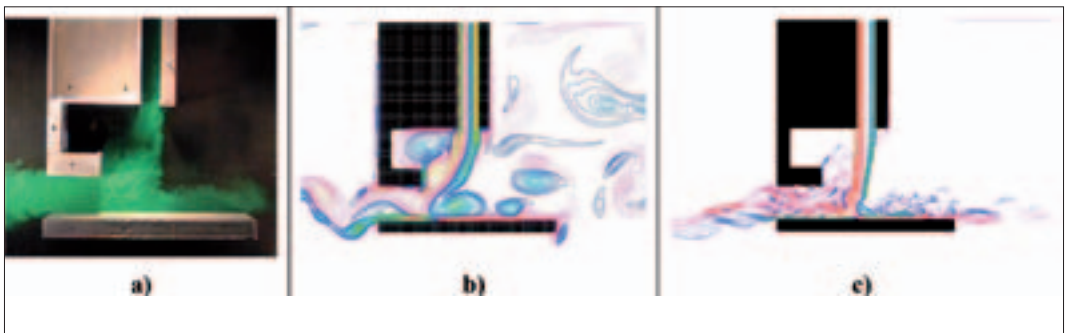


Figura 2: diffusione delle acque fluviali in un porto canale di forma semplice; a): visualizzazione sperimentale, b): soluzione numerica 2D, c): soluzione numerica 3D.

Figure 2: river plume diffusion in a simple channel-harbour; a): experimental visualization, b): 2D numerical solution, c): 3D numerical solution.

zato tuttavia da un comportamento molto diverso dal punto di vista del contenuto di energia nelle varie scale del flusso, mostrando una spiccata tendenza alla aggregazione delle strutture vorticosi (*back scatter*), che risultano molto più grandi e organizzate, rispetto a quelle visibili nel flusso 3D. Le conseguenze di questo comportamento sono un effetto Coanda più marcato e la formazione di una circolazione nella zona a destra del porto canale, non presente nell'esperimento e nel flusso 3D, nei quali il getto aderente alla diga foranea, sul lato a destra, prosegue pressappoco in linea retta in corrispondenza del trailing edge, anziché deviare verso la costa come avviene nel flusso 2D. Sono state svolte anche simulazioni in 3D con le equazioni di Navier Stokes, non

energy content at the various flow scales, with a marked tendency towards backscatter, which is larger and more organized here than is visible in the 3D flow. The consequences of this behaviour are (i) a more marked Coanda effect and (ii) the formation of a circulation pattern in the area to the right of the channel-harbour. This circulation is not observed either in the experiment or the 3D flow, where the jet adhering to the breakwater on the right-hand side follows exactly the trailing edge in an almost straight line rather than deviating towards the coast as it does the 2D flow. 3D simulations using the Navier-Stokes equations were also performed, but no significant differences were found compared to the hydrostatic 3D model.

Figure 3 shows the results of the 2D model and a laboratory experiment visualization regarding

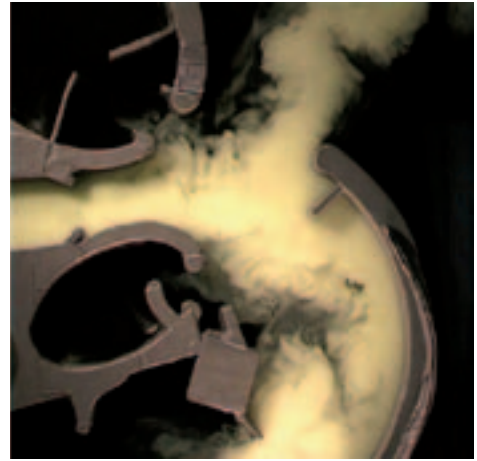
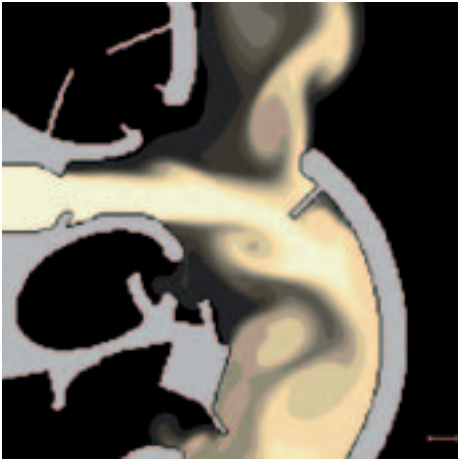


Figura 3: diffusione delle acque fluviali in un porto canale di forma complessa; confronto tra soluzione numerica 2D (sn) e visualizzazione in laboratorio (dx).

Figure 3: River-water diffusion in a complex channel-harbour: comparison between 2D numerical solution (left) and laboratory visualization (right).

riscontrando significative differenze con il modello 3D idrostatico.

La figura 3 mostra i risultati del modello 2D, confrontati con visualizzazioni di laboratorio, relativi alla diffusione del plume fluviale in un porto di forma complessa (proposta di progetto per il Porto di Latina). Anche in questo caso, il confronto tra soluzione numerica 2D ed esperimenti mostra un soddisfacente accordo qualitativo.

Infine, le figure 4 mostrano le linee di livello del modulo della velocità, in un flusso generato dalla propagazione di un'onda piana monocromatica. In figura 4-a il rapporto tra lunghezza d'onda e profondità è pari a 2; in questo caso (onde corte) la simulazione idrostatica fornisce risultati molto diversi dalla soluzione ottenuta con le equazioni di Navier Stokes che, a sua volta, mostra un ottimo accordo puntuale con la soluzione analitica. Infatti, nel caso idrostatico, l'annullamento dei gradienti verticali di velocità dà luogo ad una sovrastima del campo di moto, sempre più accentuata al crescere della profondità.

river plume diffusion in a complex harbour (Latina harbour design project). In this case too the comparison of the 2D numerical solution with experiments yields a satisfying qualitative agreement.

Finally, Figure 4 shows the velocity contour lines in a flow generated by the propagation of a monochromatic wave. In figure 4a the ratio between the wavelength and water depth is equal to 2; in this case (short wave), hydrostatic simulation supplies very different results from the solution given by Navier-Stokes equations, which shows excellent agreement with the analytical solution. In fact, in the hydrostatic solution the removal of vertical speed gradients gives rise to an overestimation of the velocity field.

For the solutions shown in figure 4b, the ratio between wavelength and water depth is 20 (long waves). In this case the hydrostatic solution is very similar to that obtained taking into account dynamic pressure distribution.

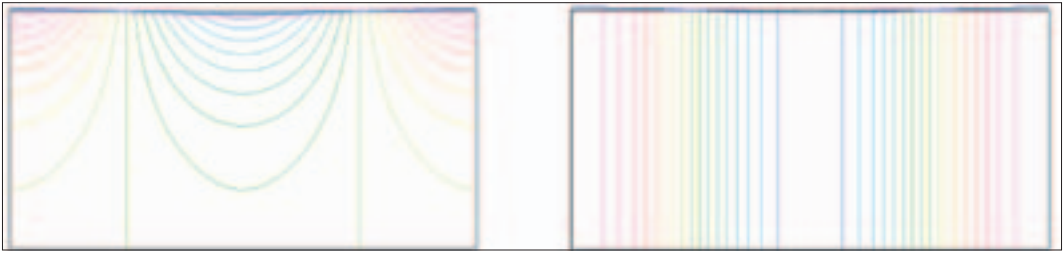


Figura 4a: linee di livello del modulo della velocità in una sezione verticale di un flusso associato alla propagazione di un'onda piana ($L/h=2$); Navier Stokes (sn) e modello idrostatico (dx).

Figure 4a: Velocity contour lines in a vertical section of a flow associated with the propagation of a 2D wave ($L/h=2$); Navier-Stokes (left) and hydrostatic model (right).

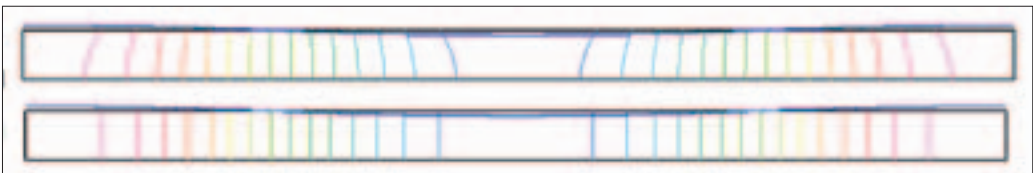


Figura 4b: propagazione di un'onda piana ($L/h=20$); linee di livello del modulo della velocità in una sezione verticale. Navier Stokes (in alto) e modello idrostatico (in basso).

Figure 4b: Propagation of a 2D wave ($L/h=20$); velocity contour lines in a vertical section. Navier-Stokes (top) and hydrostatic model (bottom).

In figura 4b il rapporto tra lunghezza d'onda e profondità è pari a 20 (onde lunghe) e in questo caso la soluzione idrostatica fornisce risultati molto simili a quelli ottenuti tenendo conto della distribuzione dinamica delle pressioni.

Conclusioni

In questo lavoro vengono messe in evidenza le principali differenze tra i diversi approcci per la modellistica costiera di onde e correnti. In particolare viene messa in evidenza la necessità di risolvere nel dominio del tempo l'accoppiamento tra onde e correnti, per ottenere una corretta simulazione dei fenomeni di mutua interazione. I risultati presentati in questo studio preliminare sono stati ottenuti utilizzando

Conclusions

This paper has highlighted the main differences between the various approaches to coastal wave/current modelling. In particular, the need for solving wave and current coupling in the time domain in order to obtain a correct simulation of mutual interaction phenomena has been highlighted. The results presented in this preliminary study were obtained using a two-dimensional model, but the method proposed may be extended to 3D models. Moreover, the simulations carried out show the main differences between 2D and 3D models in simulating river plume diffusion in the absence of wave motion, highlighting how the simplifying hypotheses inherent in their two-dimensional formulation lead to less realistic representation of turbulence phenomena. Finally, a comparison between results from hydrostatic and non-

un modello bidimensionale, ma il metodo proposto è estendibile al caso 3D. Inoltre, le simulazioni eseguite mostrano le principali differenze tra modelli 2D e 3D nella simulazione della diffusione di getti in assenza di moto ondoso, evidenziando come le ipotesi semplificative insite nella formulazione bidimensionale portino a una rappresentazione meno realistica dei fenomeni di turbolenza. Infine, il confronto tra risultati ottenuti con modelli idrostatici e non idrostatici mostra la necessità di tenere conto degli effetti della distribuzione dinamica delle pressioni nei modelli per la propagazione di onde corte.

Ringraziamenti

Il presente lavoro è stato svolto in collaborazione con il Prof. Paolo Blondeaux dell'Università degli Studi di Genova, il Prof. Giovanni Paolo Romano dell'Università degli Studi di Roma "La Sapienza" e il Prof. Roberto Verzicco dell'Università degli Studi di Roma "Tor Vergata".

Bibliografia

- [1] Fadlun, E.A., Verzicco, R., Orlandi, P., Mohd-Yusof, J., 2000. Combined Immersed-Boundary Finite-Difference Methods for Three-Dimensional Complex Flow Simulation. *Jou. Computational Physics*, 161, 35-60.
- [2] Lalli F., Berti D., Miozzi M., Miscione F., Porfidia B., Serva L., Vittori E., Romano G.P. (2001): "Analysis of Breakwater-Induced Environmental Effects at Pescara (Adriatic Sea, Italy) Channel-Harbor", 11th International Offshore and Polar Engineering Conference, Stavanger, Norway.
- [3] Lalli F., Berti D., Miozzi M., Miscione F., Porfidia B., Vittori E., De Girolamo, P. (2001): "Porto di Pescara: analisi degli effetti indotti sul litorale dal nuovo molo di levante", Rapporto Tecnico Gruppo di Lavoro ANPA-Ministero delle Infrastrutture.
- [4] Lalli, F., Miozzi, M., Romano, G.P., 2002. Some Remarks on River Mouth Flow. *Proc. 12th Int. Offshore and Polar Eng. Conference, Kyushu, Japan*.
- [5] Lalli, F., Gallina, B., Mozzi, M., Romano, G.P., 2004. Interaction Between River

hydrostatic models shows the need for taking into account the effects of dynamic pressure distribution in models for the propagation of short waves.

Acknowledgments

This work was carried out in collaboration with Professor Paolo Blondeaux of the Università degli Studi di Genova, Professor Giovanni Paolo Romano of the Università degli Studi di Roma 'La Sapienza' and Professor Roberto Verzicco of the Università degli Studi di Roma 'Tor Vergata'.

Mouth Flow and Marine Structures: Numerical and Experimental Investigations. Jirka & Uijtewaal eds, Taylor & Francis Group, London.

- [6] Lalli F, Falchi M, De Antoniis L, Romano GP (2004): "Analisi delle interazioni tra deflusso fluviale e opere marittime nel porto di Pescara: indagini sperimentali, simulazioni numeriche, osservazioni in campo", rapporto tecnico APAT.
- [7] Lalli, F., Bassanini, P., 2004. Wave-current interaction in shallow flows. *Int. Jou. Offshore and Polar Eng.*, 4 (2).
- [8] Lalli, F., Falchi, M., Romano, G.P., Romolo, A., Verzicco, R., 2007. Jet-wall interaction in shallow waters. *Int. Jou. Offshore and Polar Eng.*, 17 (2), 1-5.
- [9] Lalli, F., Bruschi, A., Lama, R., Liberti, L., Mandrone, S., Pesarino, V., 2010. Coanda effect in coastal flows, *Coastal Engineering*, 57, 278-289.
- [10] Le, H., Moin, P., 1991. An improvement of Fractional Step Methods for the Incompressible Navier-Stokes Equations. *Jou. Computational Physics*, 92, 369-379.

Grandezze oceanografiche e fisiche
di interesse per la definizione del Buono
Stato Ambientale: il caso dell'Elemento
di Qualità Biologica Fitoplancton

*Oceanographic and Physical Parameters
of Interest for the Definition of Good
Environmental Status:
The Case of Phytoplankton
as a Biological Quality Element*

F. Giovanardi
ISPRA

La Direttiva “Marine Strategy Framework Directive (MSFD)”¹ pone obiettivi e scadenze temporali che presuppongono l’adozione di criteri atti alla definizione non solo dello “Stato Ambientale”, ma anche della relativa scala di valori per la quantificazione del “GES” (Good Environmental Status), che costituisce appunto l’obiettivo finale da raggiungere e/o da mantenere.

Sul tema degli indicatori ecologici e del loro ruolo nel concorrere alla definizione di un criterio di classificazione dello Stato Ambientale, già l’applicazione della Direttiva 2000/60 “Water Framework Directive (WFD)”² ha messo in luce tutte le difficoltà legate all’approccio ecologico basato sulla scelta di Elementi di Qualità Biologica (EQB) rappresentativi degli Ecosistemi marino-costieri e di transizione. Si tratta infatti di ridurre la complessità intrinseca di questi sistemi ad un solo “indice di qualità”, il cui impiego è un passo fondamentale nello schema logico da adottare nella pianificazione degli interventi di risanamento. Molto schematicamente l’iter da percorrere è basato sui seguenti passi: monitoraggio, classificazione, individuazione degli obiettivi, adozione delle strategie di intervento.

Le difficoltà aumentano poi quando si cerca di relativizzare i valori di qualità ecologica a situazioni di riferimento che presuppongono l’assenza di impatto antropico (definizione delle condizioni di riferimento).

In questo processo così complicato, l’oceanografia operativa rappresenta un punto di riferimento importante. Essa può effettivamente rendere conto di comportamenti a volte molto diversi a carico degli EQB oggetto del monitoraggio biologico.

The Marine Strategy Framework Directive (MSFD)¹ sets objectives and deadlines for the adoption of criteria for the definition not only of the Environmental Status but also of the scale of the related values for quantifying GES (Good Environmental Status); this, of course, is the final goal to be achieved and maintained. As far as ecological indicators and their role in going towards an Environmental Status classification criterion are concerned, the application of Directive 2000/60, the Water Framework Directive (WFD), has already highlighted all the various difficulties connected to an ecological approach as regards the choice of Biological Quality Elements (BQEs) representing coastal and transitional marine ecosystems. The inherent complexity of these systems has to be reduced to a single ‘quality index’, the use of which would be a fundamental step in the logical scheme to be adopted in planning clean-up and restoration activities. Very briefly, the steps to be taken are: monitoring, classification, identification of quality objectives, adoption of adequate action strategies.

Difficulties increase when we try to relativize the ecological quality values to reference situations presupposing an absence of anthropogenic impact (i.e., the definition of reference conditions).

In this highly complex process, operational oceanography represents an important reference point. It is genuinely able to account for behaviour that may vary greatly in BQEs that are the subject of biological monitoring. The importance of this role is also recognized by WFD 2000/60 itself, which certainly privileges Biological Quality, yet also imposes the use of Hydromorphological, Physical and Physiochemical Elements in the Criterion formulation process, thereby recognizing their vital contribution to the correct definition of the Ecological Status.

¹ http://ec.europa.eu/environment/water/marine/directive_en.htm

² http://ec.europa.eu/environment/water/water-framework/index_en.html

¹ http://ec.europa.eu/environment/water/marine/directive_en.htm



Figura 1: Tipizzazione delle acque marine costiere italiane sulla base della stabilità verticale della colonna d'acqua.

Fonte: Elaborazione ISPRA su dati forniti dalla Banca dati Si.Di.Mar. (Monitoraggio marino costiero (ex lege 979/82)

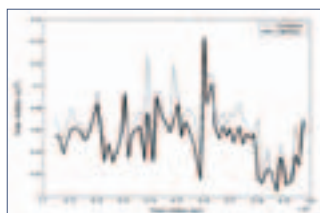
Figure 1: Italian coastal marine water typing based on the vertical stability of the water column. Source: ISPRA elaboration of data supplied by the Si.Di.Mar database. (Coastal marine monitoring [ex lege 979/82])

L'importanza di questo ruolo è d'altra parte riconosciuta dalla stessa WFD 2000/60, che privilegia sicuramente la Qualità Biologica, ma impone l'utilizzo degli Elementi Idro-morfologici, Fisici e Chimico-fisici nel processo di formulazione dei Criteri, riconoscendone il contributo essenziale per la corretta definizione dello Stato Ecologico. Nel seguito vengono perciò presentati alcuni esempi di procedure che prevedono l'impiego di grandezze oceanografiche di tipo fisico. In particolare viene presenta-

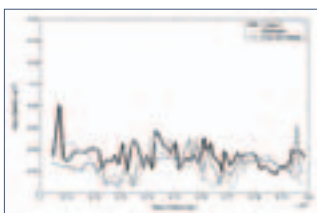
Below some examples of procedures, in which the use of oceanographic parameters of a physical type is expected, are therefore presented. In particular, the Typing of Marine coastal environments Criterion, based on the Stability of the water column (cf. Fig. 1 and Fig. 2) is presented. This criterion has already been adopted by Italy by means of a Legislative Decree (DM 131/2008 – All. I).

The structure of the water column can easily be arrived at from routine measurements carried out during monitoring campaigns (vertical

HIGH STABILITY:	$N > 0.045 \text{ s}^{-1}$ ($> 25.8 \text{ cph}$)
MEAN STABILITY:	$0.045 \text{ s}^{-1} \geq N > 0.02 \text{ s}^{-1}$
LOW STABILITY:	$N \leq 0.02 \text{ s}^{-1}$ ($< 11.5 \text{ cph}$)



Sites heavily affected by freshwater inputs



Sites affected by minor freshwater inputs or not directly affected



Sites not affected by minor freshwater inputs

Fig. 2. Andamenti temporali del parametro Stabilità in alcuni tratti costieri caratteristici dei mari Italiani. Fonte: Elaborazione ISPRA su dati forniti dalla Banca dati Si.Di.Mar. (Monitoraggio marino costiero (ex lege 979/82).
 Fig. 2. Temporal trends of the Stability parameter in selected coastal sites characteristic of Italian seas. Source: ISPRA elaboration of data supplied by the Si.Di.Mar database. (Coastal marine monitoring [ex lege 979/82])

to il criterio di Tipizzazione degli ambienti Marino-costieri, basato sulla Stabilità della colonna d'acqua (Cfr. Fig. 1 e Fig. 2). Questo criterio è già stato adottato dal Nostro Paese con apposito Decreto Legislativo (DM 131/2008 – All. I).

La struttura della colonna d'acqua è facilmente ricavabile dalle misure eseguite di routine nelle campagne di monitoraggio (Profili verticali di Temperatura e Salinità: cfr. Monitoraggio nazionale ai sensi della 979/82 "Difesa del Mare", condotto dalle Regioni in convenzione con il Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare – Direzione generale per la protezione della natura e del mare MATTM

Temperature and Salinity Profiles: cf. the national monitoring programme under as per the National Law 979/82 'Defence of the Sea', carried out by the Regions under a convention with the MATTM-DPN (Ministry of the Environment and Protection of Land and Sea – General Directorate for the Protection of Nature and the Sea). The analysis of these data and the study of the dynamic behaviour of the water column, provide information that is usually but little used in the process of interpreting the data collected, especially expressly biological data. In the case of phytoplankton ecology, the algal cells continuously experience a wide range of possible situations determined by the prevailing conditions of vertical mixing caused

– DPN). L'analisi di questi dati e lo studio del comportamento dinamico della colonna d'acqua forniscono informazioni solitamente poco utilizzate nel processo di interpretazione dei dati raccolti, compresi quelli di tipo espressamente biologico. Nel caso dell'ecologia del fitoplancton, esso incontra e sperimenta di continuo una gran varietà di situazioni possibili, determinate dal prevalere delle condizioni di rimescolamento verticale provocato dalla turbolenza, oppure dall'instaurarsi di condizioni di stabilità (stratificazione di densità), che si oppongono a questo rimescolamento (Denman e Gargett, 1983, Harris, 1986.). Occorre perciò fare riferimento alle scale temporali e spaziali dei fenomeni. Al riguardo nella tabella I sono riportate le grandezze fisiche di interesse da considerare nell'Ecologia del



by turbulence or by the prevailing conditions of stability (density stratification) that acts against remixing (Denman and Gargett, 1983, Harris, 1986). It is therefore necessary to refer to the spatial and temporal scales of the phenomena.

Ecologia del fitoplancton: grandezze fisiche di interesse		
Effetto del vento (Windstress)	$t = r_a C_{10} U_{10}^2 = r_a u_*^2 = r_w w_*^2$	$[M L^{-1} T^{-2}]$
Velocità di frizione turbolenta	$w_* = (t / r_w)^{1/2}$	$[M L^{-1} T^{-2} \times M^{-1} L^3]^{1/2} = [L T^{-1}]$
Gradiente della velocità	$\partial u / \partial z = w_* / (k z)$	
Tasso di dissipazione della TKE (Turbulence Kinetic Energy)	$e = (u'w') \partial u / \partial z = w_*^3 / (k z)$	$[L^3 T^{-3} L^{-1}] = [L^2 T^{-3}]$
Stabilità statica come N (Buoyancy frequency)	$N^2 = (g / r_w) (\partial r_w / \partial z)$	$[L T^{-2} M^{-1} L^3] [M L^{-3} L^{-1}] = [T^{-2}]$
Cicli per ora (Frequenza radiante oraria)	$cph = (3600 / 2\pi) \times N$	
Scala della stabilità verticale (Buoyancy length scale)	$L_b = e^{-1/2} N^{-3/2}$	$[L^2 T^{-3}]^{1/2} [T^{-1}]^{-3/2} = [L]$
Scala temporale del moto verticale (Time scale for vertical advection)	$T_b = L_b / u_t$	$[L] [L T^{-1}]^{-1} = [T]$
	con $u_t = (u'^2 + v'^2 + w'^2)^{1/2} \sim 2 w_*$	
Coefficiente di diffusione verticale turbolenta (Vertical eddy diffusion)	$K_z = 0.25 e N^{-2}$	$[L^2 T^{-3} T^2] = [L^2 T^{-1}]$
Spostamento verticale di una particella (Vertical displacement)	$Z(t)^2 = 2 K_z t$	$[L^2 T^{-1} T] = [L^2]$

Tab. I Ecologia del Fitoplancton: grandezze fisiche di interesse (Denman e Gargett, 1983)
 Tab. I Phytoplankton Ecology: Physical quantities of interest (Denman and Gargett, 1983)

		Acque costiere Adriatico Settentrionale			Acque costiere Tirreno Settentrionale		
		Stazione 314			Elba Nord		
Data			4-giu-03	16-giu-03	15-lug-03	02-apr-04	25-nov-04
Vento		$m s^{-1}$	1,75	2	3,15	5	5
Stabilità N (strato rimescolato)		s^{-1}	0,0038	0,00734	0,01805	0,00496	0,00065
		cph	2,2	4,2	10,3	2,8	0,4
		$z (m)$	4	4	4	34,5	48,5
Stabilità N (su tutta la colonna)		s^{-1}	0,05324	0,06717	0,01992	0,00561	0,00065
		cph	30,5	38,5	11,4	3,2	0,4
		$fondo (m)$	7,64	7,41	7,83	48,5	48,5
Windstress (t)		$kg m^{-1}s^{-2}$	0,00477	0,00624	0,01552	0,039	0,039
Velocità di frizione (w^*)		$m s^{-1}$	0,00216	0,00247	0,00389	0,00617	0,00617
TKE dissip. Rate (e)	Mix_Lr	m^2s^{-3}	6,11E-09	9,16E-09	3,59E-08	1,66E-08	-
	Water_col.		3,20E-09	4,94E-09	1,83E-08	1,18E-08	1,18E-08
2pLb	Mix_Lr	m	2,1	0,96	0,49	2,31	-
	Water_col.		0,03	0,03	0,3	1,63	42
Tb	Mix_Lr		12.9 min	5.15 min	1.7 min	5 min	-
	Water_col.		11 s	8 s	62 s	3 min	89 min
Kz	Mix_Lr	m^2s^{-1}	1,06E-04	4,25E-05	2,76E-05	1,68E-04	-
	Water_col.		2,82E-07	2,74E-07	1,16E-05	9,39E-05	7,07E-03
t_s	Mix_Lr		1.4 (d)	3.4 (d)	5 (d)	21 (h)	-
	Water_col.		512 (d)	528 (d)	12 (d)	37 (h)	0.5 (h)

Tab. 2 Scale temporali e spaziali relative a due stazioni dell'Adriatico Nord-occidentale (St. 314, Cesenatico) e del Tirreno Settentrionale (Isola d'Elba). L'esame di questa tabella rende conto di due situazioni diametralmente opposte, determinate in ultima analisi dalla diversa struttura verticale della colonna d'acqua (stabilità elevata nel caso dell'Adriatico, bassa nel caso del Tirreno).

Tab. 2 Temporal and spatial scales relative to two stations in the north-western Adriatic (St. 314, Cesenatico) and northern Tyrrhenian (Isle of Elba). Looking at this table, we can see two diametrically opposed situations, determined by different vertical structures in the water column (high stability in the case of the Adriatic; low stability in the Tyrrhenian).

fitoplancton. Nella tabella 2, vengono invece presentati i risultati dell'applicazione di queste procedure a due casi reali, relativi a misure effettuate nel mar Tirreno e nel mare Adriatico.

Il quadro di riferimento che è possibile ricostruire, ci permette dunque di affrontare il problema dei regimi trofodinamici in maniera più rigorosa: la bio-disponibilità dei nutrienti, i loro tempi di turnover, i fattori limitanti e, più in generale, l'efficienza dei sistemi costieri ad utilizzare i nutrienti (Innamorati e Giovanardi, 1992), sono tutti processi regolati dalle stesse scale spaziali e temporali con cui avviene il rimescolamento verticale degli strati superficiali.

Table 1 shows the physical quantities of interest to be considered in phytoplankton ecology. Table 2, on the other hand, shows the results of the application of these procedures to two real cases related to measurements taken in the Tyrrhenian and Adriatic Seas.

The reference framework that we are able to build up allows us to deal with the problem of trophodynamic regimes in a more rigorous way. The bioavailability of nutrients, their turnover rates, the factors limiting algal growth, and, more generally, the efficiency of coastal systems in using nutrients (Innamorati and Giovanardi, 1992): all of these are processes regulated by the same spatial and temporal scales as those governing vertical mixing of upper ocean layers.

Bibliografia

- Denman, K.L. & E. Gargett. 1983. Time and space scales of vertical mixing and advection of phytoplankton in the upper ocean. *Limnol. Oceanogr.*, 28(5): 801-815.
- Harris, G.P. 1986. *Phytoplankton Ecology. Structure Function and Fluctuations*. Chapman and Hall: 384 pp.
- Innamorati, M. & F. Giovanardi. 1992. Interrelationships between phytoplankton biomass and nutrients in the eutrophied areas of the Northwestern Adriatic Sea. *Proc. Int. Conf. Marine Coastal Eutrophication. Sci. Total Environ., Suppl.* 1992: 235-250.

Ufficio di MOON per le risposte alle
emergenze: supporto a REMPEC per la
gestione delle emergenze da idrocarburi
in mare attraverso la fornitura di prodotti
di sistemi di monitoraggio e previsione

*MOON Emergency Response Office: Support
for REMPEC for the Management of Oil-Spill
Emergencies at Sea through the Provision of
Monitoring and Forecasting System Products*

G. Coppini, M. De Dominicis
INGV

V. Lyubartsev
CMCC

Introduzione

La comunità di ricerca mediterranea dell'oceanografia operativa ha iniziato a sviluppare il sistema di previsioni del mar mediterraneo (Mediterranean ocean Forecasting System-MFS) all'inizio del 1998 e da allora ha continuato in progressione. Diversi progetti europei (FPIV, FPV, FPVI and FPVII) hanno contribuito allo sviluppo delle basi scientifiche internazionali per la messa in opera di un efficiente e accurato sistema di previsioni a scala di bacino, che oggi è utilizzato da molti istituti/agenzie provenienti da tutte le nazioni che si affacciano sul Mediterraneo.

Il risultato di questi sviluppi è la costituzione del nuovo network Mediterranean Operational Oceanography Network (MOON, <http://www.moon-oceanforecasting.eu/>) che coordina lo sviluppo di MFS, dei sistemi annidati sub-regionali, dei sistemi osservativi e delle applicazioni (Pinardi and Coppini 2010). I servizi di MOON sono basati su e contribuiscono a GMES (Global Monitoring for Environment and Security www.gmes.info) iniziativa europea che sta costruendo il servizio di base marino (Marine Core Service-MCS) per i mari europei attraverso il progetto MyOcean (www.myocean.eu.org). I partner di MOON forniscono i prodotti oceanografici generici per lo sviluppo dei servizi applicativi, uno dei quali è relativo al monitoraggio e previsioni degli idrocarburi. Diversi modelli di dispersione di idrocarburi sono stati sviluppati e adattati per essere interfacciati con i sistemi di previsione operativi di MOON. Durante l'emergenza per lo sversamento di idrocarburi in Libano nel 2006 (vedi Coppini et al 2010) i partner di MOON iniziarono a collaborare con REMPEC fornendo prodotti previsionali in tempo reale; la cooperazione è continuata

Introduction

The Mediterranean operational oceanography research community started to develop the Mediterranean ocean Forecasting System (MFS) in early 1998, and it has been in continual progress ever since. Several European projects (FPIV, FPV, FPVI and FPVII) have contributed to developing an international scientific basis for the deployment of an efficient and accurate forecasting system at basin scale, which is now used by many institutes and agencies from all the countries bordering the Mediterranean.

As a result of these developments, a new network was established, the Mediterranean Operational Oceanography Network (MOON, <http://www.moon-oceanforecasting.eu/>) co-ordinating the MFS upgrades, the sub-regional nested systems, the observation system and applications (Pinardi and Coppini 2010). MOON services are based on, and contribute to, the European GMES (Global Monitoring for Environment and Security www.gmes.info) initiative that, through the MyOcean project (www.myocean.eu.org), is building the Marine Core Service (MCS) for European seas. MOON partners provide the generic oceanographic data sets for the development of downstream services, one of which is related to oil spill detection and forecasting. Several oil spill models have been developed and adapted to interface with the MOON operational forecasting systems. During the 2006 Lebanon oil-spill crisis (see Coppini et al. 2010) MOON partners started to collaborate with REMPEC by providing real-time oil-spill forecasts; co-operation continued and was formalized in a collaboration agreement between MOON partners and REMPEC signed in 2009 and presented in this paper.

ed è stata poi formalizzata in un accordo di collaborazione fra i partner di MOON e REMPEC firmato nel 2009 e che viene qui presentato.

L'accordo di collaborazione fra MOON-REMPEC¹

MOON e REMPEC hanno firmato un accordo di collaborazione nell'aprile 2009. MOON partner e REMPEC hanno siglato l'Accordo per assicurare il livello massimo di coordinamento del lavoro e delle attività di REMPEC e MOON rispetto alle questioni di comune interesse.

L'Accordo ha i seguenti obiettivi di cooperazione:

1. condividere le informazioni e i risultati delle loro rispettive attività in questo ambito;
2. utilizzare l'esperienza dei partner MOON nelle attività che sono regolarmente svolte da REMPEC (es. formazione, organizzazione di workshops, conferenze e assistenza nei contingency planning);
3. collaborare nell'assistere gli stati costieri del Mediterraneo, su loro richiesta, in situazioni di emergenza. In particolare, i membri di MOON che abbiano rilevanza per l'area di interesse, forniscono dati di previsione meteoceanografica e dispersione di idrocarburi per l'area interessata, per una rapida disseminazione da parte di REMPEC laddove appropriato. I membri MOON si impegnano inoltre ad individuare e stabilire contatti con al-

The MOON-REMPEC collaboration agreement¹

MOON and REMPEC established a collaboration agreement in April 2009. MOON partners and REMPEC entered into the agreement with a view to ensuring maximum co-ordination of the work and activities of REMPEC and MOON with regards to matters of common interest.

The Agreement has the following scope of co-operation:

1. *Sharing of information and output from their respective activities in this field.*
2. *Use of MOON member expertise in activities regularly carried out by REMPEC (e.g. training, organization of workshops, conferences and assistance in contingency planning).*
3. *Collaboration in assisting Mediterranean coastal states, upon request, in emergency situations. In particular, relevant MOON members provide the Centre with meteorological and oceanographic forecasting data and oil-spill drift predictions for the affected area, for prompt dissemination by REMPEC as appropriate. MOON members also endeavour to identify and establish contact with other relevant oceanographic institutes able to assist REMPEC during the emergency phase.*
4. *Collaboration in the development of projects for the prevention of operational pollution from ships in the Mediterranean region. The relevant MOON members make meteorological and oceanographic data and oil-spill applications (forecast/hindcast modelling) available to enhance the possibility of identifying the polluting ship.*

¹ MOON-REMPEC collaboration agreement è disponibile al seguente link:
http://www.moon-oceanforecasting.eu/files/REMPEC-MOON_Agr_2_10_2008.pdf

¹ The MOON-REMPEC collaboration agreement is available at
http://www.moon-oceanforecasting.eu/files/REMPEC-MOON_Agr_2_10_2008.pdf

- tri istituti oceanografici che potrebbero essere utili REMPEC durante la fase di emergenza;
4. collaborare allo sviluppo di progetti per la prevenzione dell'inquinamento operativo causato da navi nella regione del Mediterraneo. I membri MOON rilevanti rendono disponibili i dati meteo-oceanografici e le applicazioni relative agli idrocarburi (modellistica di analisi e previsione) per migliorare la possibilità di identificare le navi inquinanti;
 5. collaborare allo sviluppo del network MOON, al fine di migliorare i sistemi di previsione meteoceanografica ad alta risoluzione nelle aree del Mediterraneo dove attualmente vi è una mancanza di dati; e
 6. cooperare nello sviluppo di mappe di rischio da idrocarburi per la regione mediterranea. REMPEC contribuisce al raffinamento dello sviluppo di queste mappe attraverso le sue conoscenze in materia di inquinamento marino da navi e, se possibile, fornendo dati sulle rotte di navigazione principali nella regione.

Uno dei primi passi per l'attuazione del contratto di MOON-REMPEC è stato la costituzione del ERO come descritto nella sezione seguente.

ERO – ufficio di risposta alle emergenze (emergency response office)

È stato istituito un ufficio virtuale di MOON per la risposta alle emergenze (ERO) che funge da organismo di coordinamento dei membri di MOON per ricevere, valutare e diffondere le informazioni.

ERO consiste di un consiglio di esperti nominati da ciascun partner MOON e da

5. *Collaboration in the development of the MOON Network with a view to enhancing high-resolution meteorological and oceanographic forecasting data in areas of the Mediterranean where at present there is a lack of data.*
6. *Co-operation in the development of oil-risk maps for the Mediterranean region. REMPEC contribute to fine tuning the development of these maps through its knowledge regarding marine pollution from ships and, where possible, by providing data on the main shipping lanes in the region.*

One of the first steps in the implementation of the MOON-REMPEC agreement was the constitution of the ERO, as described in the following section.

ERO – emergency response office

A virtual MOON Emergency Response Office (ERO) has been established to serve as the coordinating body for MOON members to receive, evaluate and disseminate information.

The ERO consists of an expert board to which each MOON partner and REMPEC have nominated one expert, and is headed by an ERO Manager nominated by the board.

MOON partners participating to the MOON&REMPEC agreement and the respective ERO experts are listed in Table 1.

In the event of an oil spill or other emergency, REMPEC will contact the ERO Manager, who will compile the information and transmit it to the Expert Board. The relevant members of the Expert Board will provide appropriate information, which the ERO manager will then relay to REMPEC. A description of MOON-ERO support in an emergency is available on REMPEC's web site,

http://www.rempec.org/rempec.asp?theID=2_164&theName=OPRC&theID=9&da

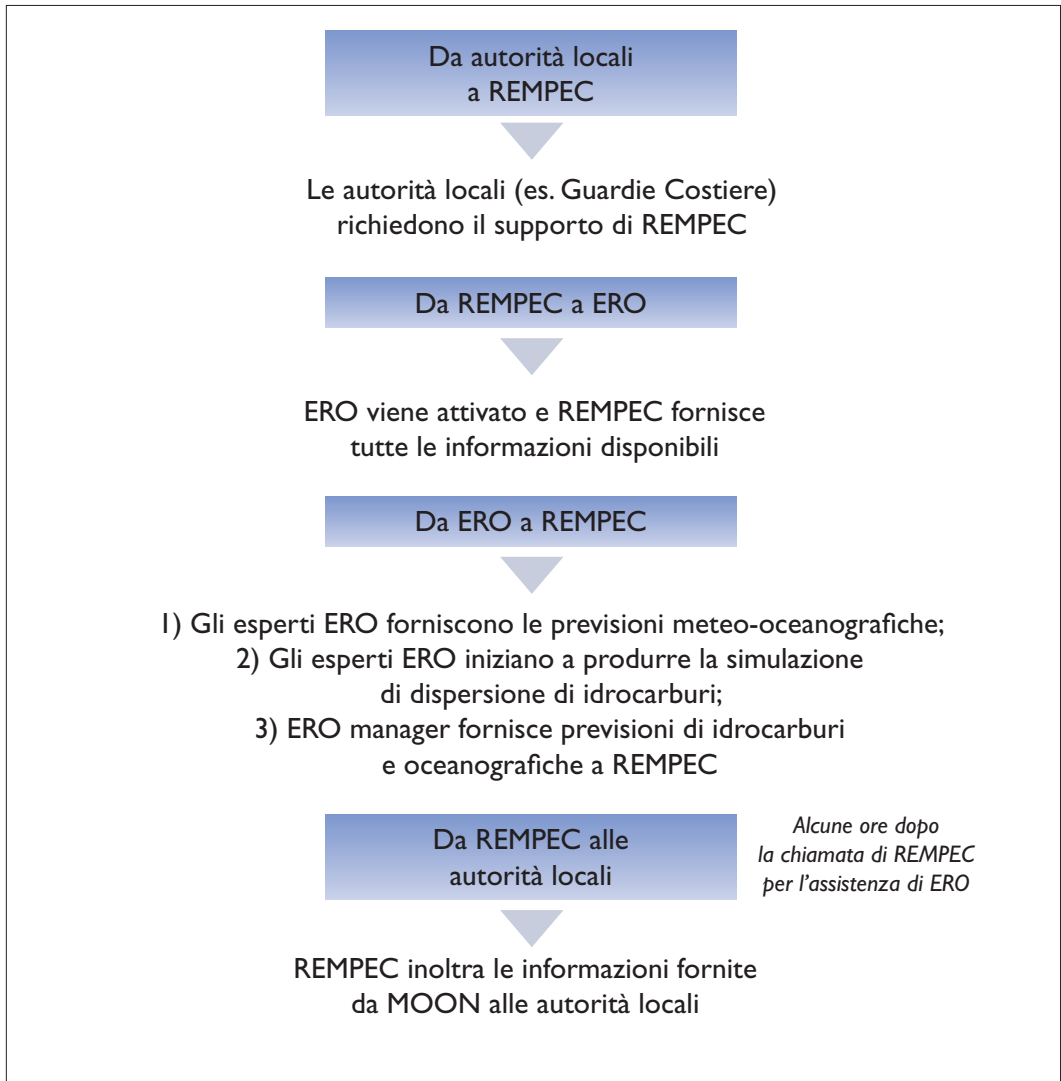


Figure 1: attivazione e funzionamento di ERO

REMPEC, ed è diretto dall'ERO manager designato dal consiglio stesso. I partner di MOON che partecipano all'accordo MOON&REMPEC e I rispettivi esperti ERO sono elencati nella tabella 1. REMPEC ha nominato Gabino Gonzalez come rappresentante REMPEC in ERO. Oltre agli esperti ERO elencati nella tabella 1 vorremmo menzionare il contributo di diversi scienziati che collaborano regolarmente in attività ERO come: Leo-

Chk=1&pgType=1, and on the MOON web site, http://www.moon-oceanforecasting.eu/index.php?option=com_content&task=view&id=86&Itemid=45.

In 2009 the ERO participated in the Coordinated Surveillance Operation in the Western Mediterranean (OSCAR-MED) organized in October 2009 by REMPEC (Figure 2).

OSCAR-MED demonstrated the importance of MOON products for combatting marine

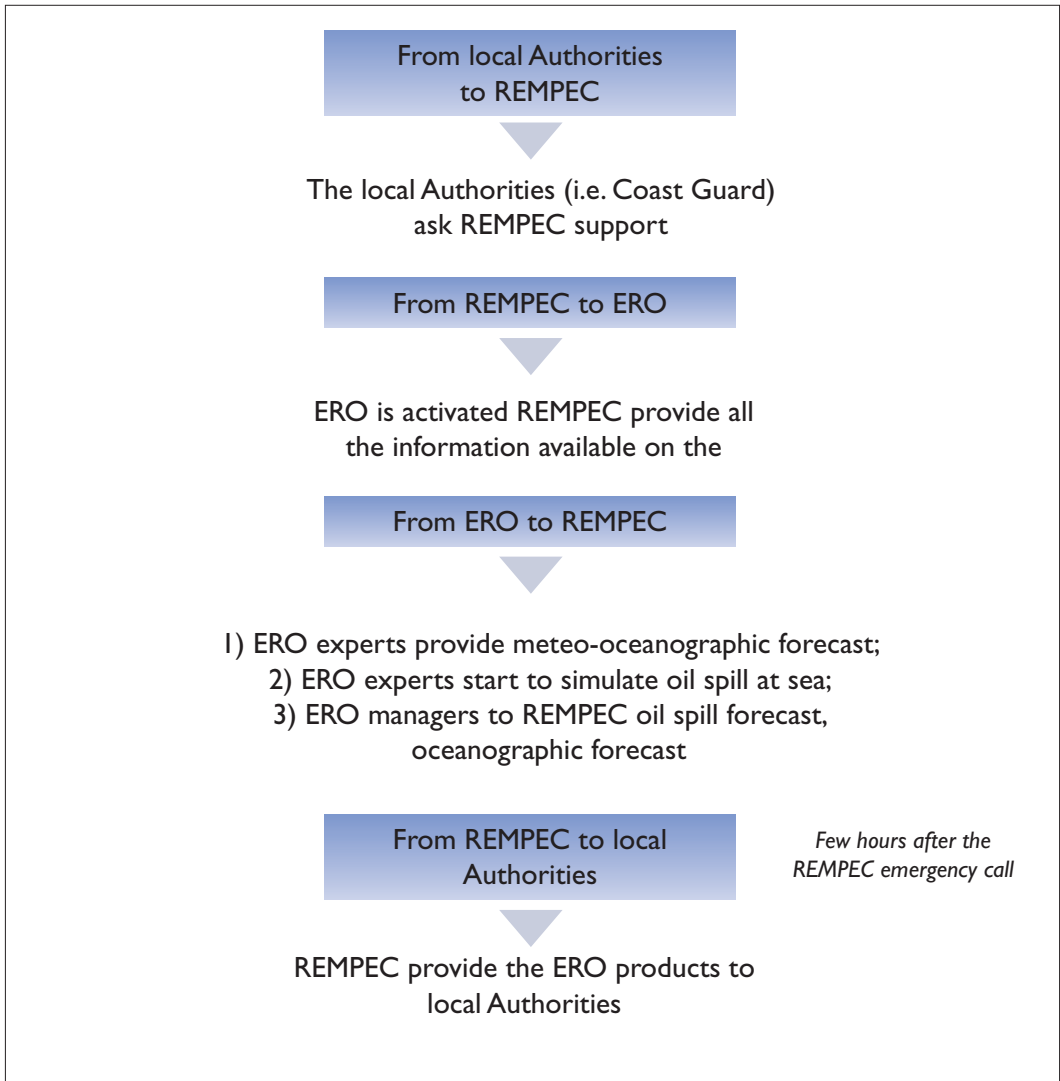


Figure 1: ERO activation and function

poldo Fazzioli (CNR-IAMC), Andrea Cucco (CNR-IAMC), Marina Tonani (INGV), Gianluca Volpe (CNR-ISAC), Simone Collella (CNR-ISAC), Guillermo Vizoso (CSIC), Galanis George (IASA), Crosnier Laurence (Mercator-oceano). Inoltre, Nadia Pinardi (INGV), co-chair di MOON, Sophie Martin (REMPEC) e Frederic Hébert, Direttore del REMPEC, contribuiscono al coordinamento delle attività di ERO.

pollution. The exercise fully demonstrated that regional co-operation in terms of surveillance and operational ocean forecasting is a key methodology for combatting illicit discharges in the Mediterranean. The support of MOON and MyOcean was considered of major benefit for the success of the operation.

The ERO was activated by REMPEC for support in the management of various cases of real emergency in the Mediterranean. During

Partner MOON che partecipano a ERO	Esperti ERO
1. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia	G. Coppini (ERO manager)
2. Cyprus Oceanography Center, University of Cyprus	G. Zodiatis
3. Hellenic Centre for Marine Research, Institute of Oceanography	L. Perivoliotis
4. MERCATOR OCEAN	D. Obaton
5. International Ocean Institute-Malta Operational Centre, Physical Oceanography Unit	A. Drago
6. Institut français de recherche pour l'exploitation de la mer	P. Garrau
7. Istituto Nazionale di Oceanografia e di Geofisica Sperimentale	P. Poulain
8. Consejo Superior de Investigaciones Científicas	J. Tintorè
9. Ente per le Nuove Tecnologie, l'Energia e l'Ambiente, Dipartimento Ambiente, Cambiamenti Globali e Sviluppo Sostenibile	G. Manzella
10. University of Athens, Division of Physics of the Environment – Meteorology	S. Sofianos
11. Consiglio Nazionale delle Ricerche, Istituto di Scienze dell'Atmosfera e del Clima	R. Santoleri
12. Israel Oceanographic & Limnological Research	I. Gertman
13. Institute of Accelerating Systems and Applications, Atmospheric Modelling and Weather Forecasting Group (IASA/AM&WFG)	G. Kallos
14. Consiglio Nazionale delle Ricerche, Istituto per l'Ambiente Marino e Costiero	R. Sorgente
15. Institute of Marine Science – Meadale East University	E. Ozsoy

Tabella 1: Partner di ERO ed esperti

MOON partners participating in ERO	ERO Expert
1. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia	G. Coppini (ERO manager)
2. Cyprus Oceanography Center, University of Cyprus	G. Zodiatis
3. Hellenic Centre for Marine Research, Institute of Oceanography	L. Perivoliotis
4. MERCATOR OCEAN	D. Obaton
5. International Ocean Institute-Malta Operational Centre, Physical Oceanography Unit	A. Drago
6. Institut français de recherche pour l'exploitation de la mer	P. Garrau
7. Istituto Nazionale di Oceanografia e di Geofisica Sperimentale	P. Poulain
8. Consejo Superior de Investigaciones Científicas	J. Tintorè
9. Ente per le Nuove Tecnologie, l'Energia e l'Ambiente, Dipartimento Ambiente, Cambiamenti Globali e Sviluppo Sostenibile	G. Manzella
10. University of Athens, Division of Physics of the Environment – Meteorology	S. Sofianos
11. Consiglio Nazionale delle Ricerche, Istituto di Scienze dell'Atmosfera e del Clima	R. Santoleri
12. Israel Oceanographic & Limnological Research	I. Gertman
13. Institute of Accelerating Systems and Applications, Atmospheric Modelling and Weather Forecasting Group (IASA/AM&WFG)	G. Kallos
14. Consiglio Nazionale delle Ricerche, Istituto per l'Ambiente Marino e Costiero	R. Sorgente
15. Institute of Marine Science – Middle East University	E. Ozsoy
Regional Marine Pollution Emergency Response Centre for the Mediterranean Sea	G. Gonzales

Table 1 ERO Partners and Experts

In caso di una fuoriuscita di idrocarburi o altre emergenze, REMPEC si metterà in contatto l'ERO manager, che raccoglie le informazioni e le trasmette al consiglio di esperti.

I membri rilevanti del Consiglio di esperti forniranno informazioni adeguate, che l'ERO manager poi riporterà a REMPEC. Una descrizione del supporto che MOON-

summer 2009 two ships collided in the Aegean and there was the risk of oil-spill pollution. The local authorities asked for the support of REMPEC, which activated the ERO, which in turn provided REMPEC with the relevant information for managing the emergency. Figure 3 presents the current forecast provided by the MFS system in the upper left panel; the upper right panel presents the oil-spill forecast (MED-



Figure 2: fotografia aerea di una nave che rilascia sostanze in mare collezionata durante l'esercitazione OSCAR-MED.
 Figure 2: picture of a polluting ship collected by airplane during the OSCAR-MED operation.

ERO fornisce in caso di emergenza è disponibile anche sul sito web del REMPEC:
http://www.rempec.org/rempec.asp?theIDS=2_164&theName=OPRC&theID=9&daChk=1&pgType=1 e sul sito di MOON:
http://www.moon-oceanforecasting.eu/index.php?option=com_content&task=view&id=86&Itemid=45

ERO ha partecipato nel 2009 alla Operazione di sorveglianza coordinata nel Mediterraneo occidentale (Coordinated Surveillance Operation in the Western Mediterranean, OSCAR-MED) organizzata da REMPEC nell'ottobre 2009 (Figura 2).

OSCAR-MED, ha dimostrato l'importanza dei prodotti MOON per combattere l'inquinamento marino. L'esercitazione ha pienamente dimostrato che la cooperazio-

SLIK/MFS-INGV) when the two ships were in their initial offshore position. The two bottom panels show the oil-spill forecasts provided by POSEIDON and UATH if one of the ships had been moved to a port along the coast. Luckily, no real oil spill was recorded.

Conclusions

2009 saw the birth of the MOON-REMPEC agreement, and since then the ERO has supported REMPEC in a series of emergency cases and anti-pollution exercises. The MOON community is continuing strategic planning by implementing the ERO and planning possible future services for oil-spill monitoring and forecasting. ERO experts have started to define and implement ERO pro-

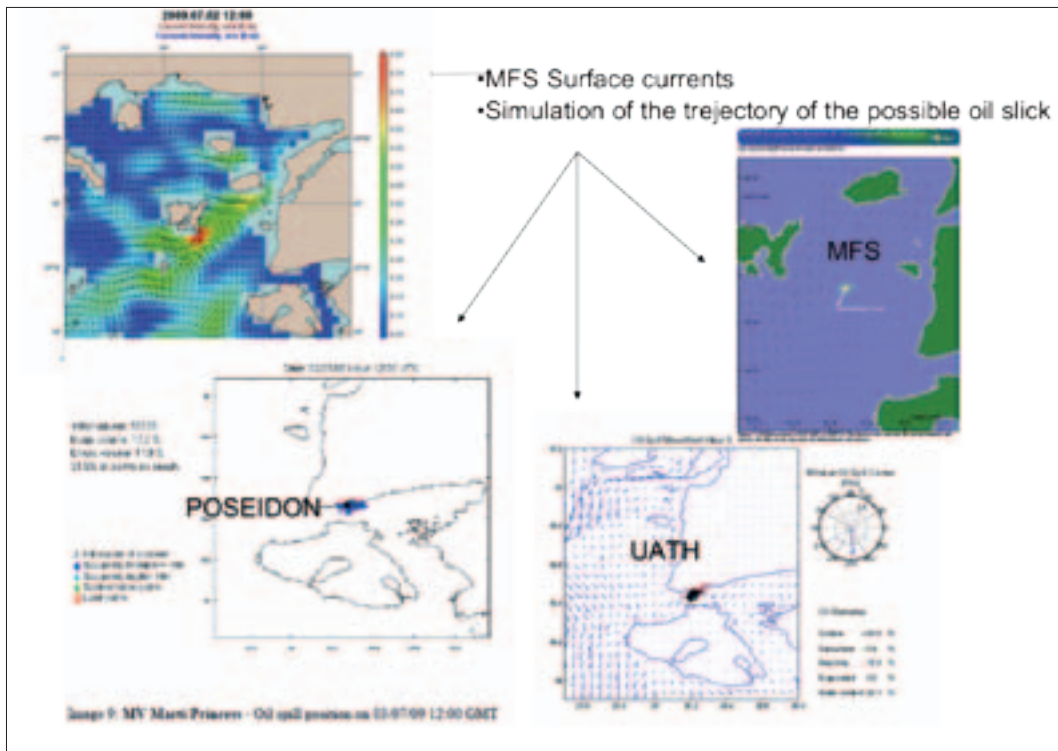


Figure 3: Esempio di previsioni di correnti prodotte dal sistema INGV-MFS (in alto a sinistra) e di previsioni di dispersione di idrocarburi in mare fornite da ERO utilizzando i sistemi MFS/MEDSLIK-INGV, POSEIDON-HCMR e dell'Università di Atene (UATH) durante l'emergenza Marti Princess nel Mare Egeo nell'estate 2009. *Figure 3: Example of current forecast (MFS-INGV) (upper left) and oil-spill predictions provided by the ERO using MFS-INGV, POSEIDON-HCMR and University of Athens (UATH) oil-spill forecasting systems during the Marti Princess emergency in the Aegean in summer 2009.*

ne regionale in termini di sorveglianza e di previsioni oceanografiche operative, risulta una metodologia fondamentale per la lotta contro gli scarichi illeciti nel Mediterraneo. Il sostegno di MOON e MyOcean è stato considerato di estrema importanza per il successo dell'operazione.

ERO è stato attivato da REMPEC per il supporto nella gestione di diversi casi di emergenze reali nel mar mediterraneo. Durante l'estate del 2009 due navi si incagliarono nel mar Egeo e si registrò il pericolo di una fuoriuscita di idrocarburi. Le autorità locali chiesero il supporto di REMPEC che attivò

cedures and to draft the ERO web structure that will support ERO experts in the communication and preparation of ERO bulletins

The ERO has ensured the provision of oceanographic and oil-spill forecasts to REMPEC and local government during several accidents since 2009. This success is built upon MOON expertise and previous experience, and underlines the growing capability of co-ordination among ERO experts.

REMPEC organized the first co-ordinated surveillance operation in the Mediterranean, OSCAR-MED, and the ERO provided 24h real-time support to the operation.

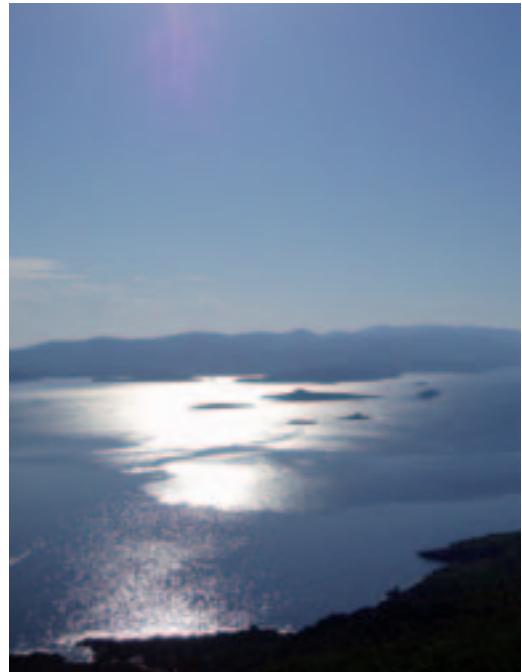
ERO. ERO fornì a REMPEC le informazioni rilevanti per la gestione dell'emergenza. La figura 3 mostra a sinistra in alto la previsione delle correnti fornita dal sistema MFS, la figura in alto a destra mostra la previsione di idrocarburi in mare (MEDSLIK/MFS-INGV) quando le due navi erano nella posizione iniziale al largo. Le due figure in basso mostrano le previsioni di idrocarburi fornite dai sistemi POSEIDON e UATH nell'ipotesi che una delle due navi fosse stata spostata in una porto lungo la costa. REMPEC fornì queste informazioni alle autorità locali che le avevano richieste. Fortunatamente non si verificò nessuna fuoriuscita di idrocarburi in mare.

Conclusioni

L'accordo MOON&REMPEC è stato lanciato nel 2009, e da allora ERO ha sostenuto REMPEC in una serie di casi di emergenza e di esercitazioni anti-inquinamento. La comunità di MOON sta continuando la pianificazione strategica attraverso l'attuazione di ERO e disegnando il possibile servizio futuro per il monitoraggio e la previsione di rilasci di idrocarburi in mare. Gli esperti di ERO hanno iniziato a definire e implementare le procedure ERO e hanno iniziato a elaborare la struttura web di ERO che sosterrà gli esperti ERO nella comunicazione e preparazione dei bollettini ERO.

ERO ha garantito la fornitura di previsioni oceanografiche e di dispersioni di idrocarburi in mare a REMPEC e autorità locali in occasione numerosi incidenti dal 2009. Questo successo è costruito sulle capacità e sulle esperienze precedenti di MOON e rileva la crescente capacità di coordinamento tra gli esperti ERO.

REMPEC ha organizzato la prima operazione di sorveglianza coordinata nel mar mediterraneo, OSCAR-MED, e ERO ha fornito



Experience with the ERO has already made several critical aspects become clear, such as:

- *The need for good co-ordination between ERO experts to provide real time support to REMPEC.*
- *The value of validation activities such as that carried out during OSCAR-MED.*
- *The need for homogenizing model outputs in order to provide succinct and clear products to the user.*
- *The need for further improving and standardizing ERO procedures and communication protocols.*
- *The need for developing the ERO web structure in order to automate part of the bulletin production.*

Well-co-ordinated communication plans amongst ERO experts during emergencies are very important for the success of emergency support. The quality and continuous upgrade of the monitoring and forecasting oceanographic and oil-spill systems is naturally of fundamental relevance for ERO activities.

supporto in tempo reale 24 ore su 24 per l'operazione.

L'esperienza di ERO ha già fatto comprendere alcuni aspetti cruciali quali:

- la necessità di un forte coordinamento tra gli esperti ERO per fornire supporto in tempo reale a REMPEC;
- il valore delle attività di validazione, come quella effettuata durante OSCAR-MED;
- la necessità di omogeneizzare l'output dei modelli al fine di fornire prodotti sintetici e chiari per l'utente;
- la necessità di migliorare ulteriormente e di standardizzare delle procedure ERO e protocolli di comunicazione;
- la necessità di sviluppare la struttura ERO-web, al fine di automatizzare parte della produzione dei bollettini.

Buoni piani di comunicazione ben coordinati tra gli esperti ERO durante l'emergenza risultano molto importanti per il successo del supporto all'emergenza. La qualità e il continuo aggiornamento dei sistemi di monitoraggio previsioni oceanografiche e di dispersioni di idrocarburi in mare è naturalmente di fondamentale importanza per le attività di ERO. ERO e REMPEC hanno anche presentato proposte congiunte di progetti = per sostenere lo sviluppo ERO.

REMPEC and the ERO have also submitted joint proposals to support ERO development.

Acknowledgments

In addition to the ERO experts listed in table I to we would also like to acknowledge the contribution of several scientists that regularly collaborate within ERO activities: Leopoldo Fazzoli (CNR-IAMC), Andrea Cucco (CNR-IAMC), Marina Tonani (INGV), Gianluca Volpe (CNR-ISAC), Simone Colella (CNR-ISAC), Guillermo Vizoso (CSIC), George Galanis (IASA), Laurence Crosnier (MERCATOR-OCEAN). Nadia Pinardi (INGV) co-chair of MOON, Sophie Martin (REMPEC) and Frederic Hébert, REMPEC Director, also contribute to the co-ordination of ERO activities.

Bibliografia

N. Pinardi and G. Coppini. Operational Oceanography in the Mediterranean Sea: the second stage of development". *Ocean Sci.*, 6, 263–267. (2010)
Coppini, M. De Dominicis, G. Zodiatis, R. Lardner, N. Pinardi, R. Santoleri, S. Co-

lella, F. Bignami, D. R. Hayes, D. Soloviev, G. Georgiou, G. Kallos. "Hindcast of Oil Spill Pollution during the Lebanon Crisis, July-August 2006". *Marine Pollution Bulletin*, Volume 62, Issue 1, January 2011, Pages 140-153

Gestione delle emergenze in mare e lotta all'inquinamento marino

Management of Emergencies at Sea and the fight against Marine Pollution

a cura del C.V.(CP) G. Gravina
Comando generale del Corpo delle Capitanerie di porto

Il presente articolo descrive le attività del Corpo delle Capitanerie di Porto in termini di gestione delle emergenze in mare per la salvaguardia delle vite umane e in termini di lotta all'inquinamento marino.

I. La salvaguardia della vita umana in mare

I.1 Modalità e normative nazionali ed internazionali relative alla ricerca e soccorso in mare.

L'ambito della ricerca e del soccorso in mare trova compiuta disciplina in una serie di disposizioni nazionali ed internazionali elaborate nel corso degli anni.

Per quanto concerne l'ambito nazionale, il Codice della Navigazione, emanato con Regio Decreto del 30 marzo 1942 n. 327, contempla due norme fondamentali in materia di ricerca e soccorso in mare: l'art. 69, il quale stabilisce un obbligo di provvedere immediatamente al soccorso in capo all'autorità marittima (personale del Corpo delle capitanerie di porto) "che abbia notizia di una nave in pericolo ovvero di un naufragio o di altro sinistro" ed il successivo art. 70 che dà facoltà alla suddetta autorità marittima di impiegare il naviglio anche privato a disposizione con il suo equipaggio per lo stesso fine.

Per ciò che riguarda la normativa internazionale, si può dire che a livello consuetudinario è sempre esistito un obbligo ("a longstanding humanitarian maritime tradition"), in capo al comandante di una nave, di prestare assistenza a coloro che si trovano in pericolo in mare, senza distinzioni relative alla loro nazionalità, allo status o alle circostanze nelle quali essi vengono trovati.

La Convenzione internazionale sulla ricerca ed il salvataggio marittimo (SAR '79), firmata ad Amburgo il 27.4.1979 ed entrata

This article describes the activity of the Italian Coast Guard in managing emergencies at sea to protect human life and in fighting marine pollution.

I. Protecting human life at sea.

I.1 National and international regulations and procedures for search and rescue at sea.

Search and rescue at sea is fully regulated by a series of national and international norms codified over the years.

As far as the national situation is concerned, the Navigation Code as contained in the Royal Decree of 30 March 1942, no. 327, provides for two cases concerning search and rescue at sea: Article 69 establishes the obligation of the maritime authority (Coast Guard offices) to give immediate help when they 'have notice of a ship in danger or a shipwreck or other accident', and Article 70, which allows the maritime authorities to use any vessel, including available private ones and their crews, in pursuit of the same goal. As far as international regulations are concerned, there has always existed a longstanding humanitarian maritime tradition for ships' captains to help anyone finding themselves in danger at sea, with no distinction of nationality or circumstances.

The International Convention on Maritime Search and Rescue (SAR '79) was signed in Hamburg 27 March 1979, and came into force 22 June 1985, with more than 90 countries following it. This is undoubtedly the most important international agreement on the subject, and signatory countries commit themselves to developing both individually and in co-operation with other states search and rescue services capable of helping and saving anyone in danger at sea.

Other regulations are contained in the United Nations Convention on the Law of the Sea

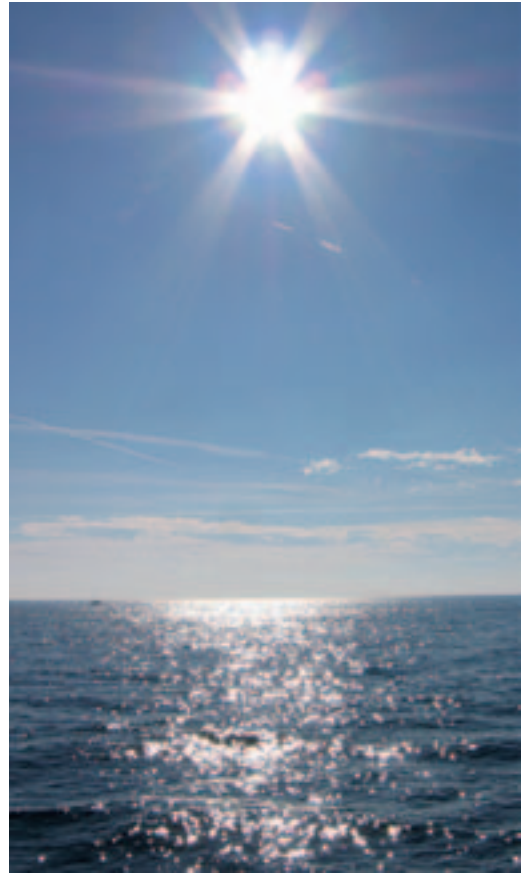
in vigore il 22.6.1985, di cui sono parte più di 90 Paesi, costituisce senz'altro l'accordo internazionale fondamentale in materia, con il quale i paesi contraenti si impegnano a sviluppare, tanto individualmente, quanto in cooperazione con altri Stati, servizi di ricerca e soccorso in grado di provvedere all'assistenza e al salvataggio in mare di ogni persona in pericolo.

Altre norme in materia sono contenute nella Convenzione delle Nazioni Unite sul diritto del mare (UNCLOS '82), che all'art. 98 ("Obbligo di prestare soccorso") sancisce che ogni Stato deve esigere che il comandante dell'unità battente la propria bandiera presti soccorso "a chiunque sia trovato in mare in condizioni di pericolo"; nonché nelle Regole 7 ("Servizi di ricerca e soccorso") e 33 ("Situazioni di pericolo: obblighi e procedure") del Capitolo V del Protocollo della Convenzione sulla salvaguardia della vita umana in mare (SOLAS '74).

Successive modifiche alla SAR '79 ed alla SOLAS '74, adottate nel 2004 in sede di Organizzazione Marittima Internazionale (IMO), hanno poi posto un obbligo altrettanto pregnante, per gli Stati contraenti, di cooperare nelle situazioni di soccorso e di consentire alle persone soccorse in mare di essere prontamente trasferite in un luogo sicuro.

In tale ottica è stata realizzata congiuntamente dall'Organizzazione Marittima Internazionale (IMO) e dall'Alto Commissariato delle Nazioni Unite per i Rifugiati (UNHCR) la "Guida a principi e pratiche da applicarsi a migranti e rifugiati" che può costituire utile strumento per i naviganti in caso di evento "search and rescue".

Per l'Italia, la legge 3.4.1989, n.147 di adesione, entrata in vigore il 2 agosto 1989 ed il successivo regolamento di attuazione (D.P.R. 28.9.1994, n. 662), hanno consentito all'Italia di dare piena esecuzione alla Con-



(UNCLOS '82), which, under Article 98 ('Duty to render assistance'), sets out that every state shall require the master of a ship flying its flag to render assistance 'to any person found at sea in danger', and Rules 7 ('Search and rescue services') and 33 ('Distress messages: obligations and procedures') of Chapter V of the International Convention for the Safety of Life at Sea (SOLAS '74).

Successive modifications to SAR '79 and SOLAS '74 adopted in 2004 by the International Maritime Organization (IMO) have made it equally obligatory for signatory states to cooperate in rescue operations and to allow people rescued at sea to be rapidly transferred somewhere safe.

In this context, the International Maritime Organization (IMO) and United Nations High

venzione internazionale sulla ricerca ed il salvataggio marittimo (SAR '79) e di delineare la struttura organizzativa deputata al soccorso marittimo, il cui vertice è costituito dal Comando Generale del Corpo delle capitanerie di porto del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti.

Deve aggiungersi, infine, il D.lgs. 9.5.2005, n. 96, il quale – nel rivedere la parte aeronautica del Codice della Navigazione all'art. 830 – ha assegnato in ambito nazionale la responsabilità dei soccorsi ad aeromobili incidentati in mare all'organismo istituzionale del Corpo delle capitanerie di porto.

1.2 La struttura dell'organizzazione del soccorso a mare del Corpo delle Capitanerie di porto – Guardia Costiera

La necessità di assicurare una pronta risposta in caso di emergenza in mare, ha spinto gli Stati contraenti la SAR '79 a suddividere i mari in aree di ricerca e soccorso (*Search and Rescue Regions – SRRs*), all'interno delle quali sono competenti uno o più Centri di coordinamento e soccorso (*Rescue Coordination Centres – RCCs*), a cui sono subordinati i Centri secondari di soccorso (*Rescue Sub-Centres – RSCs*).

L'Italia, adeguandosi alla predetta configurazione, ha individuato un IMRCC (*Italian Maritime Rescue Coordination Centre*) presso il Comando generale del Corpo delle capitanerie di porto con sede a Roma, che assicura l'organizzazione generale dei servizi marittimi di ricerca e salvataggio, coordina le operazioni di ricerca e salvataggio nell'ambito dell'intera regione d'interesse italiano sul mare e tiene i contatti con i centri di coordinamento del soccorso degli altri Stati e con i 16 MRSCs (*Maritime Rescue Sub-Centres*) ubicati presso le Direzioni Marittime presenti sul territorio e

Commissioner for Refugees (UNHCR) have together realized a 'guide to principles and practices as applied to migrants and refugees'; this may be a useful tool for mariners in search-and-rescue activities.

In Italy, law 3.4.1989, n.147, in force since 2 August 1989 and its successive implementation regulation (D.P.R. 28.9.1994, no. 662), have allowed us to fully execute the SAR '79 Convention and delineate the organizational structure dealing with maritime rescue, control of which lies with the Infrastructure and Transport Ministry's Coast Guard General Command.

Finally, it should also be added that Legislative Decree 9.5.2005, no. 96: this – revising as it does the aeronautic part of the Navigation Code under Article 830 – assigns national responsibility for assistance to aircraft having accidents at sea to the Coast Guard.

1.2 The Coast Guard maritime rescue organizational structure

The need to assure rapid response to emergencies at sea has led SAR '79 signatory states to subdivide seas up into Search and Rescue Regions (SRRs), within which responsibility lies with one or more Rescue Coordination Centres (RCCs) and their subordinate Rescue Sub-Centres (RSCs).

Italy, in line with the above configuration, has set up an IMRCC (Italian Maritime Rescue Coordination Centre) within the Coast Guard General Command in Rome. This assures the general organization of maritime search-and-rescue operations, co-ordinates search-and-rescue operations for the whole Italian sea region and keeps up contact with other states' Rescue Coordination Centres and the 16 MRSCs (Maritime Rescue Sub-Centres) located in Italy's various Maritime Directorates and the Maritime Authority of the Strait of Messina: each of these is responsible for co-ordinating maritime search-and-rescue operations in accordance with the specific directives of the

presso l’Autorità marittima dello Stretto di Messina, ognuno dei quali responsabile del coordinamento delle operazioni marittime di ricerca e salvataggio, secondo le direttive specifiche e le deleghe del centro nazionale, in una porzione dell’area SAR italiana come determinata nel D.P.R. 662/1994 ed ampia circa 500.000 Km².

Un terzo livello è individuato, con il D.P.R. 662/1994, nei Comandi di porto (Capitanerie di Porto, Uffici Circondariali Marittimi ed Uffici Locali Marittimi), denominati UCG (Unità Costiere di Guardia).

Lo stesso regolamento poi qualifica “unità di soccorso marittimo” le unità navali e gli aeromobili del servizio di Guardia Costiera del Corpo delle capitanerie di porto appositamente allestiti.

In merito ai mezzi aeronavali idonei ad effettuare operazioni di ricerca e soccorso in mare, essi si dividono in mezzi specializzati e mezzi concorrenti.

Per mezzi specializzati si intendono quelli costruiti e appositamente allestiti, nonché equipaggiati con personale appositamente addestrato, idonei per interventi in mare e nell’immediata disponibilità dei Comandi di Porto (UCG), quali i mezzi aeronavali del servizio di Guardia Costiera del Corpo delle capitanerie di porto e i rimorchiatori portuali; sono inoltre mezzi specializzati, ma non nell’immediata disponibilità dei Comandi di Porto (UCG) le unità aeronavali della Marina Militare e gli aeromobili dell’Aeronautica Militare.

Per mezzi concorrenti si intendono quelli non nella immediata disponibilità della Organizzazione SAR, perché costruiti od impiegati per gli altri scopi o fini istituzionali, quali mezzi di tutte le altre organizzazioni dello Stato (Carabinieri, Guardia di Finanza, Polizia di Stato, Vigili del Fuoco etc.) che possono utilmente intervenire, ovvero navi presenti in porto o in navigazione ed

national centre, for which they act as proxies. They cover a part of the Italian SAR area as per D.P.R. 662/1994; this is of approximately 500 000 km².

There is a third national level, as per D.P.R. 662/1994, made up of local authorities (harbourmasters, Uffici Circondariali Marittimi and Uffici Locali Marittimi),... tThis is referred to as the UCG (Coastal Guard Unit)

The same regulation qualifies suitably-equipped Coast Guard aircraft and vessels as ‘maritime search and rescue units’.

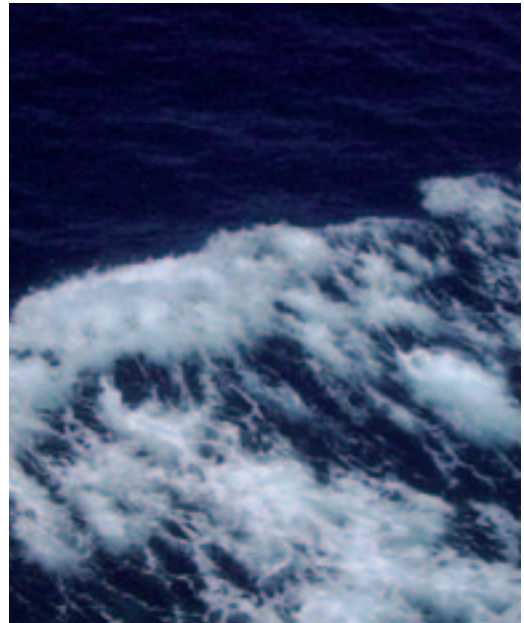
Aircraft and vessels suitable for carrying out search-and-rescue operations at sea may be divided into specialized and additional vehicles. Specialized vehicles are those designed, built and equipped and crewed by specially trained



in grado di portare soccorso ad una nave sinistrata, come pure mezzi navali ed aerei di altri Stati disponibili nell'area SAR di interesse italiano.

Il "Piano nazionale SAR", approvato il 25 novembre 1996 dal Ministro dei Trasporti e della Navigazione, disciplina nel dettaglio l'organizzazione della "macchina del soccorso" prevedendo tre situazioni operative di complessità crescente: una prima situazione in cui l'UCG è delegata a coordinare e dirigere il soccorso con i mezzi propri e con quelli privati (in forza dell'istituto della "requisizione in uso" previsto dall'art. 70 cod. nav.), pure potendo richiedere – ove necessario – il concorso dei mezzi aeronavali dei comandi locali delle altre Autorità statali (Guardia di Finanza, Carabinieri, Polizia di Stato e Vigili del Fuoco); una seconda situazione in cui è il MRSC responsabile a coordinare il soccorso, per la difficoltà (condimeteo avverse e distanza dalla costa) e/o la complessità delle operazioni (impiego dei mezzi aerei del Corpo o dell'Aeronautica Militare, dei mezzi aeronavali della Marina Militare); una terza situazione nella quale è direttamente l'IMRCC ad assumere il coordinamento. Ricorre quest'ultima possibilità nel caso di un disastro di notevoli proporzioni, di un intervento coinvolgente più MRSC o da condursi al di fuori dell'area SAR italiana, di azioni a favore di nave di bandiera nazionale in acque esterne ove manchi il coordinamento/supporto del competente MRCC.

Un particolare tipo di operazione di soccorso in mare è la *Medevac*, consistente nell'evacuazione di persone per ragioni mediche, effettuate con l'ausilio di unità navali ed aeree, per il successivo trasporto presso strutture sanitarie. Per lo svolgimento di tali operazioni, ci si può avvalere di personale medico e paramedico del 118 o di altri organismi quali la Croce Rossa.



personnel with the specific aim of carrying out search-and-rescue operations at sea. These are also immediately available for use by UCGs. An example would be those vehicles belonging to the Coast Guard and harbour tugs. There are also specialized vehicles that are not immediately available to UCGs, such as Navy aircraft and vessels and Air Force aircraft.

Additional vehicles are those not immediately available to the SAR Organization because they have been built for different purposes or are being used for other institutional aims. These would include vehicles belonging to all other state organizations (Carabinieri, Tax Police, Police, Fire Brigade etc.) that may intervene if need be: in other words, vessels present in port or at sea able to give assistance to a ship in trouble, as well as vessels and aircraft from other states available in the Italian SAR area.

The 'National SAR Plan', approved 25 November 1996 by the Ministry of Transport and Shipping, governs the organization of the 'rescue machine' in detail. It foresees three operational situations of increasing complexity: the first in which the UCG is delegated to co-

La classificazione dell'emergenza marittima è effettuata facendo ricorso a tre fasi: quella iniziale di incertezza (Incerfa), nella quale si sospetta della sicurezza di una nave e delle persone che vi sono a bordo, o di singole persone; quella di allerta (Alerfa), in cui si può temere per la sicurezza di una nave e delle persone che vi sono a bordo, o di singole persone; la fase di pericolo (Detresfa, dall'inglese *distress*), in cui si può ritenere che una nave o una persona siano minacciate da un grave ed imminente pericolo e che abbiano bisogno di soccorso immediato.

A seguito della responsabilità del soccorso ad aeromobile incidentato in mare attribuita all'organismo istituzionale del Corpo delle capitanerie di porto dal nuovo art. 830 del codice della navigazione, il Corpo, oltre ad adeguare il proprio dispositivo navale in prossimità degli aeroporti costieri, ha avviato una stretta collaborazione con l'Ente Nazionale dell'Aviazione Civile (ENAC), l'Ente Nazionale di Assistenza al Volo (ENAV) e l'Agenzia Nazionale per la Sicurezza del Volo (ANSV) al fine di implementare un tempestivo scambio di informazioni, nonché di fornire agli esecutori delle operazioni di soccorso in mare una formazione specialistica.

L'evoluzione tecnologica accompagna di pari passo la fornitura dei servizi di ricerca e soccorso. Nuovi orizzonti sulla gestione operativa delle informazioni di allarme e di sicurezza della navigazione sono stati aperti dalle telecomunicazioni di ultima generazione, in particolare quelle satellitari, recepiti nell'ordinamento interno con l'adozione degli emendamenti alla convenzione SOLAS del 74, inerenti il sistema mondiale del soccorso e di sicurezza in mare (*Global Maritime Distress and Safety System*) – GMDSS. Inoltre, un rilevante ausilio alla gestione delle operazioni inerenti il soccorso e più in generale la sicurezza in mare è fornito

ordinate and direct a rescue with its own vehicles as well as private ones (with 'requisition' as provided for by Article 70 of the Navigation Code), although it may if need be request assistance from vehicles in the area belonging to other state authorities (Tax Police, Carabinieri, Police and Fire Brigade); a second situation in which it is the relevant MRSC that has to coordinate the rescue due to its difficulty (adverse weather conditions and distance from the coast) and/or complexity (use of Coast Guard or Air Force aircraft or Navy vessels or aircraft); a third situation in which the IMRCC talks over the c-ordination directly. This last situation is a possibility in the case of disasters of large proportions, operations involving more than one MRSC or carried out outside the Italian SAR area, and action in favour of ships carrying the Italian flag in foreign waters where there is no support/c-ordination from the relevant MRCC. A particular type of marine rescue operation is the 'Medevac', which is the evacuation of someone for medical reasons carried out using ships and aircraft, with a subsequent transfer to a medical facility. For this type of operation, use may be made of doctors and paramedics from 118 emergency call-out service and other bodies, such as the Red Cross.

Classification of maritime emergencies is performed in three phases: the initial uncertainty phase (Incerfa), in which there is doubt over the safety of a ship and people, or a person, aboard her; the alert phase (Alerfa), in which there is cause for alarm over the safety of a ship and people, or a person, aboard her; the distress phase (Detresfa), in which is considered that a ship or person is at grave and immediate danger and in need of immediate assistance. The new Article 830 of the Navigation Code granted the Coast Guard institutional responsibility for aircraft assistance at sea. Following this, the Coast Guard has not only adapted its vessels stationed near coastal airports but has also initiated close collaboration with the

dal *Vessel Traffic Service* (VTS), un sistema complesso di mezzi di rilevazione (radar, radiogoniometri, comunicazioni di riporto in radiotelegrafia/radiotelex) sul territorio nazionale che ha lo scopo di fornire i dati che permettono la gestione completa del traffico marittimo.

Allo scopo di garantire sempre la massima immediatezza di risposta alle emergenze in mare, sin dal novembre 1994 il Comando Generale del Corpo delle capitanerie di porto ha attivato un servizio telefonico gratuito per il cittadino per le chiamate di emergenza marittima denominato “Numero Blu”, che risponde oggi alla numerazione “1530”. Il servizio è strutturato in modo che presso la Centrale Operativa del Comando Generale affluiscono tutte le chiamate al 1530 effettuate con telefono cellulare, da qualsiasi località del territorio nazionale o delle aree marittime circostanti la penisola ove vi sia copertura per la telefonia mobile.

La Centrale Operativa provvede poi a smistare la telefonata sull'ufficio marittimo periferico più vicino al luogo della segnalazione, per la massima rapidità di intervento. Le chiamate al 1530 effettuate invece da telefono fisso raggiungono direttamente la capitaneria di porto più vicina alla località del chiamante, sulla base delle ripartizioni in Aree telefoniche come tecnicamente operate dalla Telecom.

2. Compiti del Corpo delle Capitanerie di porto – Guardia Costiera in materia ambientale

Il Corpo delle Capitanerie – Guardia Costiera colloca la materia ambientale al centro dell'ordinario spiegarsi dei compiti istituzionali, attraverso la valorizzazione delle proprie capacità specialistiche divenute nel

National Civil Aviation Body (ENAC), the National Flight assistance Body (ENAV) and the National Flight Safety Agency (ANSV) in order to have rapid information sharing, as well as supplying specialized training to those carrying out rescue operations at sea.

Technological evolution goes hand in hand with the supplying of search-and-rescue services. New horizons in operational data management for shipping safety and warning have been opened by the most advances in telecommunications, and in particular in satellite communication. This has been recognized by the adoption of amendments to the '74 SOLAS convention connected with the Global Maritime Distress and Safety System (GMDSS).

Furthermore, an important aid to managing rescue operations (and sea safety more generally) comes from the Vessel Traffic Service (VTS), a complex system of data-gathering instruments (radar, radio direction finders, radiotelephony/radio telex reporting) for a given national area with the aim of supplying data allowing full management of maritime traffic.

In order to give a permanent guarantee of a minimum response time for maritime emergencies, in November 1994 the Coast Guard activated a Freephone number for making maritime emergency calls. This is known as the 'Numero Blu' and can be reached calling 1530. The service is structured in such a way that all 1530 calls made by mobile phone from anywhere in Italy or in the sea off Italy where there is network coverage are passed to the General Command's Operational Centre. The Operational Centre then transfers calls to the Coast Guard office nearest the location of the emergency so as to assure the fastest possible response time. Calls to 1530 from land lines, on the other hand, are sent directly to the Coast Guard office nearest the place of calling according to the division of Italy into telephonic areas by Italian Telecom.

tempo, per volontà del legislatore, a coronamento di un graduale percorso evolutivo e allo stesso tempo adattativo iniziato agli inizi degli anni '80, sempre più rilevanti a tal punto da veder ad esso riconosciuto un ruolo di centralità tra le Amministrazioni dello Stato cui sono riconosciute analoghe competenze in tal ambito.

Ciò, in ragione della sistematicità e continuità dell'azione di prevenzione e controllo esercitata dalla relativa articolazione periferica dislocata, in maniera quasi capillare lungo i circa ottomila chilometri di costa italiana, attraverso il fondamentale supporto del proprio articolato dispositivo operativo aeronavale, subacqueo e terrestre, caratterizzato da un sempre più crescente grado di spiccata professionalizzazione.

Tali delicate attribuzioni, risultano, da ultimo, ulteriormente consolidatesi, alla luce del decreto legislativo 3 aprile 2006, n. 152, recante "Norme in materia ambientale", ed, in particolare, dagli articoli 135 e 195, che individuano competenze di natura specialistica del Corpo, nella gestione, rispettivamente, dell'attività di prevenzione ed accertamento dei reati ed illeciti in materia di tutela delle acque dall'inquinamento e nella repressione dei traffici illeciti e degli smaltimenti illegali dei rifiuti.

Esse vanno ad aggiungersi, ampliandone, di fatto la relativa portata, alle già previste, precipue competenze funzionali in materia derivanti dalla legge sulla difesa del mare 31 dicembre 1982, n. 979¹, nonché, dalla legge

2. The Coast Guard's role regarding the environment

The Coast Guard places the environment at the centre of its institutional duties, valorizing its specialist characteristics, which, thanks to the legislative, have over time become increasingly relevant and crowned a gradual process of evolution and adaptation begun in the early 1980s. Indeed, the Coast Guard is now recognized as having a central role amongst all those state bodies dealing with the environment. This is because of the regularity and continuity of prevention and control exercised by the relevant network of peripheral stations located along almost eight thousand kilometres of Italian coastline using our aircraft and vessels, as well as land and underwater vehicles. All of these activities are characterized by an ever-increasing professionalism.

This has recently been consolidated by Legislative Decree 3 April 2006, no. 152, on 'Environmental Regulations', and in particular by Articles 135 and 195, which recognize the Coast Guard's specialized abilities in managing prevention and discovery of crimes and misdemeanours relating to the protection of water from pollution and reduction of illegal trafficking and disposal of rubbish, respectively.

These duties are in addition to the chief functional duties deriving from the law on the defence of the sea of 31 December 1982, no. 979¹, as well as from law 6 December 1991, no. 394, regarding protected sea areas and leg-

¹ Detto provvedimento normativo all'art. 23, riconosce al Corpo delle Capitanerie di Porto, e per esso al Comandante del Porto, la particolare funzione di direzione dell'attività di vigilanza e controllo sugli inquinamenti delle acque marine da idrocarburi e dalle altre sostanze nocive nell'ambiente marino e l'accertamento delle infrazioni alle norme relative. Attribuzione, quest'ultima, ribadita di recente dall'articolo 12 del decreto legislativo 9 novembre 2007, n. 202 re-

¹ This measure under Article 23 recognizes that the Coast Guard and harbourmasters have the specific function of directing activities regarding watching for the pollution of sea water by hydrocarbons and other substances harmful to the marine environment and preventing it, as well as determining that the laws in question have been broken. This last point was recently repeated in Article 12 of Legislative decree 9 November 2007, no. 202, on 'Implementation of Directive 2005/35/CE regarding pollution caused by ships and consequent sanctions'.

6 dicembre 1991, n. 394 in materia di aree marine protette, e dal decreto legislativo 24 giugno 2003, n. 182 (attuazione della Direttiva 2000/59/CE), che assegna al Corpo poteri ispettivi e polizia in materia di raccolta dei rifiuti delle navi e dei residui del carico, allo scopo di prevenirne l'immissione in mare.

In tale contesto, si colloca altresì, il Reparto Ambientale Marino del Corpo, posto alle dirette dipendenze del Ministro dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare per conseguire un più rapido ed efficace supporto per lo svolgimento di compiti istituzionali in materia ambientale.

Ulteriori qualificanti e specifiche competenze nel campo della tutela ambientale a favore del Corpo derivano altresì :

- dalla legge 8 luglio 1986, n. 349, istitutiva del Ministero dell'Ambiente, che all'art. 8 prevede che il Ministero stesso si avvalga, per la vigilanza, la prevenzione e la repressione di attività svolte a danno dell'ambiente marino, nell'accezione più ampia del termine, del Corpo delle Capitanerie di Porto;
- dalla legge 16 luglio 1998, n. 239, recante "Autorizzazione a definire in via stragiudiziale le controversie aventi ad oggetto risarcimenti dei danni subiti dallo Stato Italiano per l'evento Haven e destinazione di somma a finalità ambientali", che all'articolo 7, dispone che "Per la sorveglianza nelle aree marine protette di cui al comma 7 dell'articolo 19 della legge 6 Dicembre 1991, n. 394, e per l'attività di cui agli articoli 11 e 12 della legge 31 Dicembre 1982, n. 979, le locali Capitanerie di Porto operano sulla base di direttive vincolanti, generali e specifiche, del Ministero dell'Ambiente (ora Ministero dell'Ambiente e della Tutela

islative decree 24 June 2003, no. 182 (implementation of Directive 2000/59/CE), which assigns the Coast Guard inspection and policing powers regarding the collection of waste from ships and of cargo residue so as to prevent their entering the water.

The Coast Guard's Marine Environment Department is also part of this context: this is directly answerable to the Ministry for the Environment and Protection of Land and Sea and allows faster and more efficient support for carrying out institutional duties regarding the environment.

Further qualifications and specific competencies in environmental protection regarding the Coast Guard derive from:

- *Law 8 July 1986, n. 349, moved by the Environment Ministry, which under Article 8 states that the Ministry shall itself make use of the Coast guard for investigating and preventing activities damaging the marine environment in the widest possible sense.*
- *Law 16 July 1998, no. 239, regarding "Authorization to define extra-judicially controversies regarding the payment of damages to the Italian State for the Haven incident and destination of the moneys received to environmental matters", which under Article 7 states that 'For surveillance in protected sea areas as per Paragraph 7 of Article 19 of Law 6 December 1991, no. 394, and for activities as per Articles 11 and 12 of Law 31 December 1982, no. 979, local Coast Guard units operate according to binding directives, both general and specific, of the Environment Ministry (now Ministry for the Environment and Protection of the Land and Sea), which can also use of Coast Guard units according to specific conventions'.*
- *Decree 16 May 2001, no. 293, 'Implementation regulation of Directive 96/82/CE relating to controlling dangers of relevant accidents connected with given substances', which entrusts the Maritime Authority with*

cante "Attuazione della direttiva 2005/35/CE relativa all'inquinamento provocato dalle navi e conseguenti sanzioni".

del Territorio e del Mare) che può avvalersi anche delle Capitanerie di Porto sulla base di specifiche convenzioni”;

- dal decreto 16 maggio 2001, n. 293 - Regolamento di attuazione della direttiva 96/82/CE, relativa al controllo dei pericoli di incidenti rilevanti connessi con determinate sostanze -, che nei porti industriali e petroliferi non sedi di Autorità Portuale affida all’Autorità Marittima il coordinamento della redazione del “Rapporto integrato di sicurezza portuale” (art. 4) e la predisposizione del “Piano di emergenza portuale” (art. 6);
- dal decreto legislativo 19 agosto 2005, n. 196 recante attuazione della Direttiva 2002/59/CE relativa all’istituzione di un sistema comunitario di monitoraggio e di informazione sul traffico navale, che, all’art. 20, ha previsto che “Il Capo del compartimento marittimo, nell’ambito della pianificazione operativa di pronto intervento locale antinquinamento, di cui all’articolo 11 della legge 31 dicembre 1982, n. 979, individui le procedure per accogliere le navi in pericolo nelle acque di giurisdizione tenuto conto prioritariamente dei vincoli ambientali e paesaggistici delle aree costiere ad alta valenza e vocazione turistica, nonché delle caratteristiche e della tipologia della nave”;
- dall’articolo 296, comma 9 del citato decreto legislativo 3 aprile 2006, n. 152, come modificato e sostituito dall’art. 1, comma 5, del decreto legislativo 9 Novembre 2007, n. 205. recante “Attuazione della direttiva 2005/33/CE che modifica la direttiva 1999/32/CE in relazione al tenore di zolfo dei combustibili per uso marittimo”, che riconosce in capo al Corpo delle Capitanerie di Porto - Guardia Costiera la potestà di controllo in materia di accertamento delle violazioni di cui ai commi 5 e 8;



co-ordination of the writing-up of the ‘Integrated Port Safety Report’ (Article 4) and the creation of the ‘Port Emergency Plan’ (Article 6) in those industrial and petroleum ports without Port Authority headquarters.

- *Legislative Decree 19 august 2005, no. 196, regarding implementation of Directive 2002/59/CE regarding the creation of an EU-wide system for monitoring sea traffic and proving information on it, which under Article 20 states, ‘The Head of the maritime department, as part of operational planning of local anti-pollution emergency action, as per Article 11 of Law 31 December 1982, no. 979, shall identify procedures for welcoming ships in danger in waters under their jurisdiction, taking into account above all environmental and landscape regulations of coastal areas of high importance for tourism as well as the characteristics and typology of the ship in question’.*

- dal decreto legislativo 6 Novembre 2007, n. 202 recante “Attuazione della direttiva 2005/35/CE relativa all’inquinamento provocato dalle navi e conseguenti sanzioni”, che all’art. 12, riconosce in capo al Corpo delle Capitanerie di Porto - Guardia Costiera la potestà di controllo sul rispetto delle disposizioni ivi recate e quella di accertamento delle relative violazioni;
- dal decreto legislativo 6 Novembre 2007, n. 203 recante Attuazione della direttiva 2005/65/CE relativa al miglioramento della sicurezza nei porti, che all’art. 2 designa l’Ufficio di Compartimento Marittimo quale Autorità di Sicurezza dei porti di giurisdizione soggetti all’applicazione del Decreto stesso;
- Alla luce di tale quadro normativo da integrarsi con le specifiche disposizioni già contenute nell’ambito del Codice della Navigazione in materia di repressione degli illeciti demaniali marittimi e di quelle riconosciute in materia di tutela e vigilanza sull’intera filiera alieutica² e del patrimonio storico, artistico e archeologico sommerso³, i compiti del Corpo nel campo della tutela ambientale possono, possono in sintesi ricondursi alle seguenti linee di attività:
- vigilanza sulle aree marine protette, sulle aree di reperimento e/o di prossima istituzione, nonché su ogni altra area costiera di particolare sensibilità ambientale (aree della Rete Natura 2000 di cui alla direttiva 92/43/CEE, SIC, ZPS, ecc.);



- Article 296, Paragraph 9 of the aforementioned Legislative Decree 3 April 2006, no. 152, as modified and substituted by Article 1, Paragraph 5, of Legislative Decree 9 November 2007, no. 5, regarding ‘Implementation of Directive 2005/33/CE modifying Directive 1999/32/CE relating to the quantity of sulphur in fuel for maritime use’, which recognizes the Coast Guard as responsible for investigating violations under Paragraphs 5 and 8.
- Legislative Decree 6 November 2007, no. 202, regarding ‘Implementation of Directive 2005/35/CE regarding pollution caused by ships and consequent sanctions’, which under Article 12 recognizes the Coast Guard as responsible for making sure that the regulations contained therein are observed and investigating their violation.
- Legislative Decree 6 November 2007, no. 203, regarding implementation of Directive 2005/65/CE regarding the improvement of port safety, which under Article 2 designates the competent Coast Guard office (at Harbourm Master level) as the Safety Authority for ports under the jurisdiction of the Decree.

² In particolare vds. Legge 963/65 e successive modifiche ed integrazioni.

³ Decreto Interministeriale -Trasporti e Ambiente - del 12 luglio 1989 ed analoghe specifiche disposizioni contenute nella legge 157/2009 di ratifica della Convenzione sulla protezione del patrimonio culturale subacqueo, sottoscritta a Parigi il 2 novembre 2001.

- vigilanza sul mare territoriale e su altre zone di mare poste sotto la giurisdizione dello Stato soggiacenti a particolari vincoli di tutela ambientale (Zone di Protezione Ecologiche, P.S.S.A. ecc.);
 - monitoraggio della filiera dei rifiuti in ambito terrestre, marino e portuale;
 - monitoraggio dei traffici marittimi e vigilanza ispettiva del naviglio per la verifica della corretta osservanza degli adempimenti derivanti dall'applicazione delle principali convenzioni internazionali e della pertinente normativa comunitaria in materia di mantenimento degli standard minimi di sicurezza ai fini ambientali marittimi (In ciò si inserisce l'attività di P.S.C. componente di eccellenza del corpo – safety -);
 - monitoraggio sulle immissioni di sostanze inquinanti in atmosfera da parte di navi;
 - salvaguardia delle specie di faunistiche marine sottoposte a particolare protezione a livello comunitario ed internazionale, nonché in attuazione di ogni altro accordo internazionale relativo alla protezione della natura e della biodiversità;
 - attività di monitoraggio e protezione dell'ambiente marino derivante dall'applicazione della Convenzione internazionale Marpol 73/78, dalle altre convenzioni IMO e dalla normativa comunitaria di settore in materia di tutela dell'ambiente marino in genere, nonché dalla Convenzione di Barcellona e da ogni altro accordo internazionale per la tutela, la conservazione e la salvaguardia del Mare Mediterraneo;
 - lotta e prevenzione all'inquinamento da idrocarburi e da altre sostanze tossiche e nocive e promozione della sicurezza ambientale in mare nonché in ambito marino e portuale (security), con riferimento al rischio di incidenti marini, an-
- *Given this regulatory framework, which should be integrated with the specific regulations already set out in the Navigation Code regarding the prevention of illegal action in state-owned sea areas and those regarding the protection of fisheries² and submerged archaeologically, artistic and historical heritage³, the role of the Coast Guard in protecting the environment can be summarized in brief as follows:*
 - *Monitoring recently-identified and/or -instituted protected sea areas as well as of any other coastal area of particular environmental sensitivity (Natura 2000 areas as per Directive 92/43/CEE, SCIs, SPAs etc.).*
 - *Monitoring territorial waters and other sea areas under jurisdiction of the adjacent state and subject to particular environmental protection regulations (Ecological Protection Zones, P.S.S.A. etc.).*
 - *Monitoring waste disposal on shore, at sea and in ports.*
 - *Monitoring sea traffic and monitoring and inspection of ships to verify that the principal international conventions and EU regulations regarding minimum safety standards relating to the protection of the marine environment are being correctly observed (this includes activity of the P.S.C.).*
 - *Monitoring the emission of pollutants into the atmosphere by ships.*
 - *Protection of marine fauna subject to special protection at the EU and international levels, as well as implementation of all international agreements regarding the protection of nature and biodiversity.*
 - *Monitoring and protection of the marine environment in accordance with the Marpol*

² See in particular Law 963/65 and successive modifications and additions.

³ Interministerial (Transport and Environment) Decree of 12 July 1989 and similar specific dispositions contained in Law 157/2009 ratifying the Convention on the Protection of the Underwater Heritage signed in Paris on 2 November 2001.

che causati da atti di terrorismo (legge 28 dicembre 1989, n. 422);

- attuazione degli interventi in caso di inquinamento marino che si verifichino nelle acque territoriali e nell’alto mare e valutazione degli effetti conseguenti all’esecuzione dei piani operativi locali e nazionali di pronto intervento e degli accordi di cooperazione internazionale vigenti (es. RA.MO.GE, ecc);
- verifica sugli scarichi in mare sia provenienti da terra, che da navi, aeromobili e piattaforme site nel mare territoriale e/o sulla piattaforma continentale;
- monitoraggio, controllo e repressione sulle modalità di gestione e smaltimento degli olii, batterie, filtri esausti in ambito portuale, al fine di verificare l’effettivo servizio di smaltimento, nonché promuovere ogni azione compulsiva nei confronti dei Consorzi di filiera obbligatori istituiti *ex lege*, responsabili delle relative attività di recupero;
- monitoraggio della fascia costiera demaniale marittima al fine di prevenire, e reprimere qualsivoglia forma di abusivismo ed alterazione, compromissione ed illecito sfruttamento delle componenti ambientali anche in vista dell’attivazione delle prescritte azioni reintegrative e risarcitorie da parte dello Stato.

2.1 Cenni sul telerilevamento del mare con gli apparati a scansione lineare in dotazione ai mezzi aerei della Guardia Costiera italiana.

Gli aeromobili della Guardia Costiera dispongono di vari sensori, specializzati per la ricerca in mare e per il telerilevamento marino.

Sotto il profilo sistematico, i sensori possono essere raggruppati nelle seguenti categorie: sensori radar (attivi); sensori fotografici, sensori elettro-ottici e video camere (passivi)

73/78 international convention, other IMO conventions and EU regulations concerning general protection of the marine environment, as well as the Barcelona Convention and every other international agreement for the protection, conservation and safeguarding of the Mediterranean.

- *Fighting and preventing pollution by hydrocarbons and other toxic and harmful substances in the sea, and promotion of environmental safety at sea as well as of general port and marine security, with reference to risks that may also be caused by acts of terrorism (Law 29 December 1989, no. 422).*
- *Implementation of action in cases of marine pollution in territorial waters and the open sea and calculation of effects consequent to the execution of local and national operational emergency action plans and international co-operation agreements in force (e.g. RA.MO.GE etc.).*
- *Checking dumping at sea whether performed on land, from ships, aircraft or platforms located in territorial waters and/or on the continental shelf.*
- *Monitoring and prevention of management and disposal of oils, batteries and used filters in ports in order to verify existing disposal services as well as promoting all required action for obligatory waste-disposal sector institutions created *ex lege* and responsible for waste collection.*
- *Monitoring of the state-owned coastal strip so as to prevent and prosecute all forms of building without planning permission and illegal use of the environment, bearing in mind relative state compensation and reclaiming*

2.1 Notes on remote sensing of the sea using linear-scanning apparatus fitted to Italian Coast Guard aircraft.

Coast Guard aircraft have various specialized sensors for sea searches and remote sensing at sea.

La “International Society for Photogrammetry and Remote Sensing (ISPRS)” definisce il telerilevamento (TLR) come “l’arte, la scienza e la tecnologia di ottenere informazioni quantitative sui processi fisici e ambientali, mediante processi di registrazione, misura e interpretazione di immagini e rappresentazioni digitali delle caratteristiche energetiche degli oggetti derivati da sistemi di sensori remoti”. Questa definizione considera la fotogrammetria come un sotto-campo del TLR.

In buona sostanza le tecniche del telerilevamento attraverso la conoscenza a distanza, sfruttando l’energia elettromagnetica come vettore di informazione, presentano i seguenti vantaggi:

- fornisce informazioni su grandi porzioni di territorio;
- fornisce dati multitemporali della stessa area (DINAMICA);
- i sensori remoti “guardano” in una porzione più larga dello spettro rispetto all’occhio umano;
- i sensori remoti permettono di utilizzare una specifica banda di lunghezze d’onda o un numero di bande simultanee per l’analisi di un oggetto;
- fornisce dati georiferiti e digitali;
- alcuni sensori “funzionano” in tutte le stagioni, di notte, ed in cattive condizioni climatiche.

Le sue applicazioni possono riguardare:

- mappe dell’uso/copertura del suolo;
- applicazioni forestali ed agricole;
- monitoraggio ambientale (stress vegetativo);
- idrologia e monitoraggio delle coste;
- pianificazione urbana;
- emergenze e rischio;
- *global change* e meteorologia;
- archeologia;
- monitoraggio ambiente marino.

Sensors can be grouped into the following categories: radar sensors (active); photographic sensors, electro-optical sensors and video cameras (passive).

The International Society for Photogrammetry and Remote Sensing (ISPRS) defines remote sensing as ‘the art, science and technology of obtaining quantitative information on physical and environmental processes through processes of recording, measurement and interpretation of images and digital representations of the energy characteristics of objects derived from remote-sensor systems’. This definition considers photogrammetry to be a sub-field of remote sensing.

In a nutshell, remote-sensing techniques acquire information at a distance by using electromagnetic energy as an information vector, and have the following advantages:

- *Information supplied over much of the territory.*
- *Supply of multi-temporal data for a single area (DYNAMICS).*
- *Remote sensors ‘look’ at a wider part of the spectrum than the human eye can.*
- *Remote sensors allow the use of a specific wavelength or a number of simultaneous wavelengths for analysing an object.*
- *Supply of digital and georeferenced data.*
- *Some sensors ‘work’ in all four seasons, at night, and in conditions of bad weather.*

Applications include:

- *Land use maps*
- *Forestry and farming applications*
- *Environmental monitoring (vegetation stress).*
- *Coastal hydrology and monitoring.*
- *Town planning.*
- *Risks and emergencies.*
- *Global change and meteorology.*
- *Archaeology.*
- *Monitoring of the marine environment.*

Il Progetto Adricosm-Star per gli impatti climatici

The ADRICOSM-STAR climate impact project

A. Guarnieri

Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia

N. Pinardi

Alma Mater Studiorum Università di Bologna

Centro Interdipartimentale per la Ricerca sulle Scienze Ambientali, Ravenna, Italy

Centro Euro-Mediterraneo per i Cambiamenti Climatici,

Divisione ANS, Bologna, Italy

Introduzione

Dopo il Summit Mondiale sullo Sviluppo Sostenibile di Johannesburg del 2002, il Ministero Italiano per la Tutela dell'Ambiente, del Territorio e del Mare ha sostenuto una iniziativa delle Nazioni Unite per lo Sviluppo Sostenibile dal nome ADRICOSM. All'interno di tale iniziativa si sono avviati vari progetti di ricerca e sviluppo per la zona costiera del mare Adriatico, il cui obiettivo generale è lo sviluppo di un sistema operativo di previsioni oceanografiche del mare Adriatico integrato alla modellistica ed al monitoraggio dei bacini fluviali, al fine di gestire le emergenze ambientali ed il cambiamento climatico.

L'ultimo progetto nell'ambito di tale iniziativa, realizzato tra dicembre 2006 e giugno 2010, è Adricosm-Star (ADRICOSM INTEGRATED RIVER BASIN AND COASTAL ZONE MANAGEMENT SYSTEM: Montenegro coastal Area and Bojana river catchment) coordinato dal Centro Euro-Mediterraneo per i Cambiamenti Climatici (CMCC). Il progetto, al quale hanno partecipato in totale 19 partners di quattro diversi paesi (Italia, Montenegro, Serbia e Albania), si fonda su relazioni di cooperazione internazionale, consolidate nei passati otto anni, rafforzando la presenza italiana nell'area del mare Adriatico e dei Balcani in generale, ed aggregando la qualità ed il valore del contributo scientifico italiano e straniero, riuscendo a combinare gli sviluppi delle metodologie di monitoraggio e modellistica delle zone costiere con scenari di cambiamento climatico.

In particolare nell'interesse in ambito locale dell'impatto per il cambiamento climatico, il progetto ha seguito un duplice approccio di regionalizzazione dei modelli climatici globali, e di integrazione di gran parte dei modelli numerici coinvolti nel ciclo integrato

Introduction

After the 2002 Johannesburg World Summit on Sustainable Development, the Italian Ministry for the Environment, Land and Sea supported a United Nations initiative for Sustainable Development named ADRICOSM. Various research and development projects were started within this initiative for coastal areas in the Adriatic; the overall objective was to develop an operational Adriatic oceanographic forecasting system integrated with modelling and monitoring of river basins in order to manage environmental emergencies and climate change.

The last project to be realized, between December 2006 and June 2010, as part of this initiative was ADRICOSM-STAR (ADRICOSM INTEGRATED RIVER BASIN AND COASTAL ZONE MANAGEMENT SYSTEM: Montenegro coastal area and Bojana river catchment), coordinated by the Centro EuroMediterraneo per i Cambiamenti Climatici (CMCC). The project, participated in by a total of 19 partners from four countries (Italy, Montenegro, Serbia and Albania), builds on a basis of international cooperation built up over the last eight years, and strengthens the Italian presence in the Adriatic and Balkan regions, combining Italian and non-Italian scientific quality and value and thus combining developments in coastal-area monitoring and modelling with climate change scenarios.

The project adopted a twofold approach to regionalization of global climate models and integration of the majority of numerical models involved in the integrated water cycle, especially as far the local impact of climate change was concerned. This made the simulation of future scenarios even more realistic, and a multi-disciplinary platform that was a prototype in the field of instruments helping with coastal planning and management was created.

delle acque, così da rendere le simulazioni di scenario futuro sempre più realistiche, e costituendo una piattaforma multi-disciplinare, prototipo nell'ambito degli strumenti di aiuto alla pianificazione e gestione costiera.

Obiettivi e struttura del progetto

L'area di interesse del progetto è stata la zona transfrontaliera compresa tra Montenegro ed Albania, con un'attenzione particolare al versante Montenegrino (fig.1). Nello specifico gli obiettivi del progetto erano:

- 1) lo sviluppo e la parziale implementazione di un sistema integrato, sia di modellistica che di monitoraggio, per la zona costiera del Montenegro e per il bacino fluviale del fiume transfrontaliero Buna/Bojana;
- 2) la messa a punto di banche dati multidisciplinari per la definizione dei problemi ambientali della zona costiera e del delta del fiume Bojana;
- 3) la messa a punto di un sistema multidisciplinare di monitoraggio in tempo reale;
- 4) l'integrazione di sistemi di modellistica dell'atmosfera, del mare e dei bacini fluviali, nonché delle acque reflue della città costiera di Ulcinj;
- 5) lo studio dell'impatto del cambiamento climatico sulla zona costiera, con particolare attenzione alle risorse fluviali ed al trasporto di sedimenti nel periodo 2020-2030.

Il progetto è stato strutturato sulla base di 3 diversi moduli integrati: uno osservativo, uno modellistico ed uno di gestione dati ed informazione, attraverso i quali si sono

Project goals and structure

The area covered by the project is the cross-border zone between Montenegro and Albania, with particular attention paid to the Montenegrin side (Fig. 1). The specific aims of the project were:

- 1) *The development and partial implementation of an integrated system for both modelling and monitoring for the Montenegrin coastal area and the river basin of the cross-border river Buna/Bojana.*
- 2) *The development of a multi-disciplinary database for defining environmental problems in the coastal area and the delta of the Bojana.*
- 3) *The development of a real-time multi-disciplinary monitoring system.*
- 4) *The integration of atmosphere, sea and river-basin and Ulcinj wastewater modelling systems.*
- 5) *The study of the impact of climate change on the coastal area, with particular attention to river resources and sediment transport in the period 2020-2030.*

The project was structured around three different integrated modules: an observational one, a modelling one and a data and information management one. Using these, we investigated the water cycle under the following four headings:

- *Atmosphere and climate of the greater Montenegrin region.*
- *Oceanography of the entire basin at a regional scale, with a specific close-up of the Albanian and Montenegrin coastal areas.*
- *Hydrology of the hydrological basins of Lake Scutari and those between the lake and the Adriatic, and the basin of the river Buna/Bojana in particular.*

investigati il ciclo delle acque nei quattro comparti specifici di:

- atmosfera e clima, relativamente alla regione allargata del Montenegro;
- oceanografia, relativamente all'intero bacino a scala regionale, con uno zoom specifico per le aree costiere montenegrine ed albanesi;
- idrologia, con riferimento ai bacini idrologici afferenti al lago di Scutari e compresi tra quest'ultimo ed il mar Adriatico, in particolare il bacino del fiume Buna/Bojana;
- idraulica urbana, in particolare il caso pilota della città turistica costiera di Ulcinj.

In questo articolo si considererà solo lo studio dell'impatto del cambiamento climatico sul sistema ambientale locale, in particolare l'impatto sulle risorse di acqua superficiali e sulla zona costiera. Tale studio è stato realizzato tramite una catena di integrazione di modelli numerici ad area limitata guidati da forzanti climatici (fig.2), relativi alle condizioni atmosferiche ipotizzate dallo scenario A1B dell'International Panel on Climate

- *Urban water management, in particular the pilot study of the coastal tourist city of Ulcinj.*

This article will only consider the study of the impact of climate change on the local ecosystem, and particular its impact on surface-water resources and the coastal area. This study was realized using an integration chain of limited-area numerical models driven by climate forcings (Fig. 2) regarding atmospheric conditions in Scenario A1B as hypothesized by the International Panel on Climate Change (IPCC 2007). This scenario foresees an atmospheric CO₂ increase of approximately 70% over the period 2000-2030, corresponding to an increase by a factor of two over the whole of the twenty-first century.

Main results relating to climate change impact

Through the regionalization of global climate models obtained through 'nesting' domains limited to the Mediterranean, the A1B scenario for climate change up to 2030 has shown a

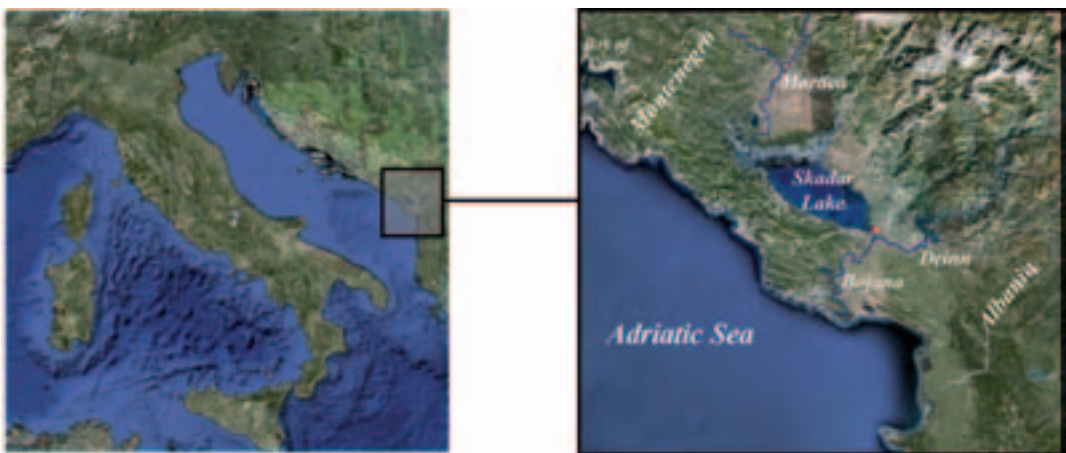


Figura 1: Dominio di interesse del progetto Adricosm-Star.
Figure 1: Area covered by the ADRICOSM-STAR project.

Change (IPCC 2007). Tale scenario prevede nel periodo 2001-2030 un aumento di CO₂ equivalente in atmosfera di circa il 70% nel periodo 2000-2030, corrispondente ad un aumento di un fattore 2 nell'arco dell'intero 21° secolo.

Risultati di maggiore rilievo per gli impatti climatici

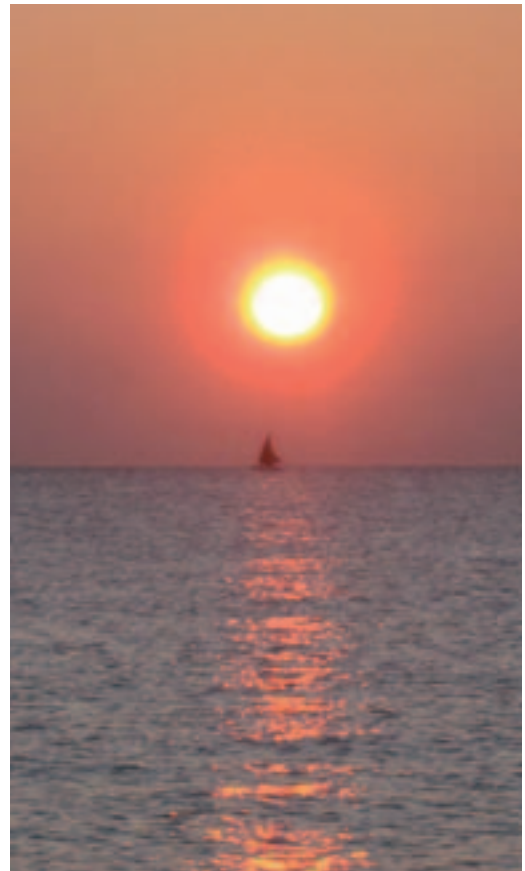
Lo scenario di cambiamento climatico A1B fino al 2030 ha mostrato, attraverso la regionalizzazione di modelli climatici globali ottenuta con “annidamenti” di modelli ad area limitata sul dominio del Mar Mediterraneo, un incremento locale della temperatura dell'aria a 2 metri rispetto al periodo 1960-1990, fino ad 1°C nel periodo estivo, e di circa 0.6°C in inverno. Gli incrementi medi annui sono di circa 0.6°/0.8°C. Contestualmente all'aumento di temperatura il modello climatico di atmosfera prevede una diminuzione delle precipitazioni nelle regioni di Albania e Montenegro, sempre riferita alla seconda metà del 20° secolo, del 10% circa.

La variazione di precipitazione si riflette visibilmente anche nei modelli idrologici e di fiume, che nelle proiezioni di scenario si traducono in una diminuzione della portata nel fiume Buna/Bojana, che si riduce da un valore climatologico medio annuo di circa 640 m³/s (UNEP, 1996, Marini et al. 2010) ad un valore medio annuo di circa 480 m³/s, calcolato nel periodo 2020-2030.

Anche l'ambiente marino presenta importanti variazioni dei suoi parametri fisici più importanti, nello scenario futuro: nel periodo 2025-2030 (considerato come *future*) si è evidenziato, rispetto al periodo 2003-2008 (considerato come *presente*) un aumento di temperatura superficiale del mare, generalizzato su tutto il bacino,

local air temperature increase at two metres of up to 1°C in the summer and 0.6°C in the winter as compared to the period 1960-1990. The average annual increases are of approximately 0.6°/0.8°C. Along with the temperature increase the atmospheric climate model predicts a decrease in precipitation in the region of Albania and Montenegro of approximately 10% compared to the second half of the twentieth century.

The variation in precipitation is also visibly reflected in the hydrological and river models, which in the scenario projections are translated into a diminution of the discharge of the Buna/Bojana, which is reduced from an average annual climatological value of approximately 640 m³/s (UNEP, 1996, Marini et al. 2010) to an



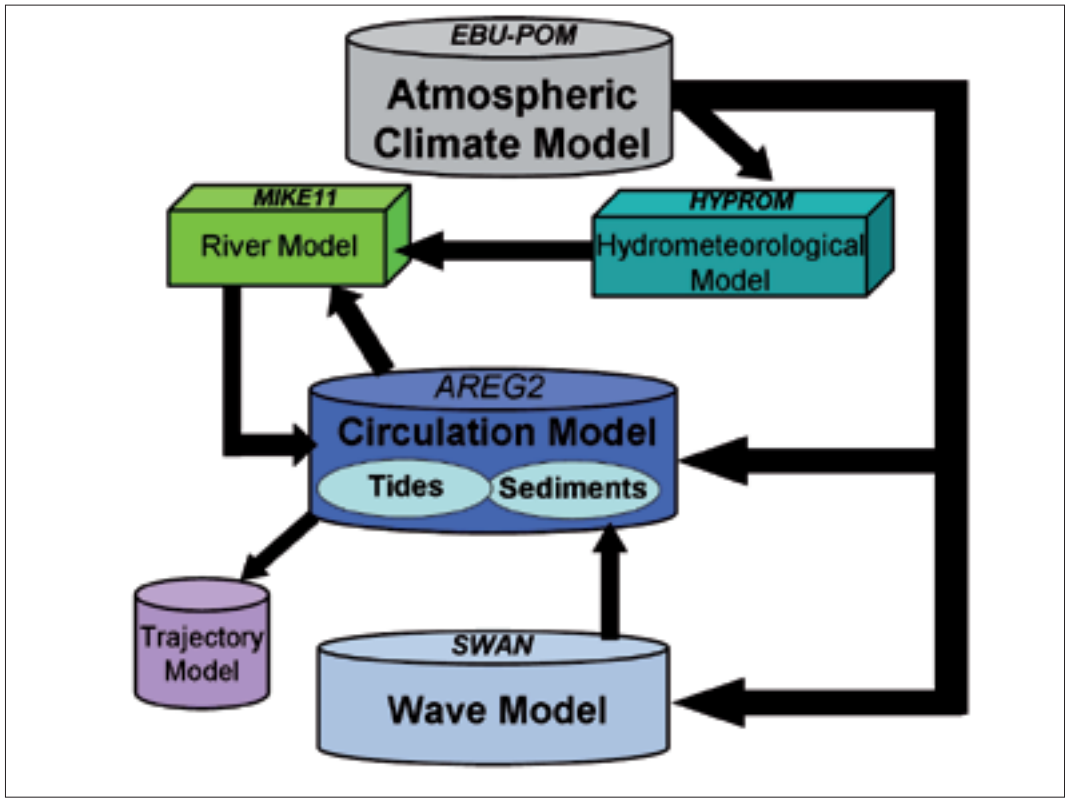


Figura 2: Schema di accoppiamento di modelli numerici ad area limitata per lo studio dell'impatto climatico dello scenario A1B dell'IPCC nella regione di ADRICOSM-STAR.

Figure 2: Limited-area model coupling scheme for the study of climate change impact with the IPCC A1B scenario in the ADRICOSM-STAR region.

pari a circa 0.8°C considerando le medie annue, che arriva a circa 1°C considerando il periodo estivo, che, come in atmosfera, è quello che presenta la maggiore sensibilità all'impatto climatico per quanto riguarda la temperatura. Anche la salinità superficiale presenta un incremento medio sul bacino Adriatico nel periodo futuro rispetto al presente di circa 0.1 PSU, ma, a differenza di quanto accade per la temperatura, le stagioni maggiormente sensibili alle variazioni di salinità risultano essere quelle di transizione: autunno e primavera. L'aumento di salinità è inoltre molto più marcato nella regione costiera Montenegro che non nel resto del bacino.

average annual value of approximately $480\text{ m}^3/\text{s}$, calculated over the period 2020-2030. The marine environment also presents important variations in its most important physical parameters in this scenario: in the period 2025-2030 (considered as future) we can clearly see a temperature rise in the sea surface, generalized over the whole basin, equal to approximately 0.8°C considering the annual averages; this arrives to 1°C in the summer months, which, as is also the case with the atmosphere, is the period showing the greatest sensitivity to climate change in terms of temperature. Surface salinity also shows an average increase over the Adriatic basin in the future period compared to the present of approximately 0.1 PSU; however,

L'influenza dell'impatto climatico sulle correnti appare evidente lungo la Western Adriatic Coastal Current (WACC, Artegiani et al. 1997b), e nei cicloni del medio Adriatico (MAG, Artegiani et al. 1997b) e del sud Adriatico (SAG, Artegiani et al. 1997b), con comportamenti diversi: l'intensità della WACC diminuisce nelle stagioni intermedie, e tra queste in maniera maggiormente evidente in primavera, e aumenta leggermente nelle stagioni estreme (inverno ed estate). Il SAG aumenta di intensità in tutte le stagioni tranne che in inverno, mentre il MAG si intensifica in modo evidente in primavera ed in modo molto più contenuto in estate.

Per quanto riguarda il moto ondoso si è mostrato come, a livello locale della zona costiera Montenegrina in prossimità della foce del fiume Bojana, il numero medio di mareggiate diminuirà sul periodo di un anno, a fronte di un aumento medio della durata degli eventi e della loro intensità in termini di altezza d'onda. Infine, un'applicazione assolutamente nuova ed originale riguarda la valutazione dell'impatto del cambiamento climatico sul trasporto di sedimento, sia fluviale che costiero. A livello di fiume, il ramo destro del delta del Buna/Bojana presenta un'evoluzione futura del letto tendente all'interrimento, mentre il letto del ramo sinistro appare in equilibrio dinamico. Una forte tendenza all'accumulo di sedimento è stata evidenziata nel futuro, in apparente continuità con l'attività passata e presente, anche nella zona strettamente costiera immediatamente a sud-sud est del delta del fiume, e in generale in tutta la baia ad est del delta (fig. 1 destra)

Conclusioni

Il progetto Adricosm-Star, finanziato dal Ministero Italiano per la Tutela dell'Ambiente, del Territorio e del Mare, è stato realizza-

unlike temperature, the seasons most sensitive to variations in salinity are spring and autumn. The salinity increase is much more marked in the Montenegrin coastal region than in the rest of the basin.

The influence of climate change on currents appears to be clear along the Western Adriatic Coastal Current (WACC, Artegiani et al. 1997b), and in the middle (MAG, Artegiani et al. 1997b) and southern (SAG, Artegiani et al. 1997b) Adriatic gyres, although with different behaviour: WAAC intensity decreases in spring and autumn – more clearly in spring – and shows a slight increase in summer and winter. The SAG increases in intensity in all of the seasons except winter, whilst the MAG intensifies greatly in spring and much less so in summer. As far as wave motion is concerned, we have seen that at a local level on the Montenegrin coast near the mouth of the Bojana the average number of storm surges will diminish over a year and there will be an average increase in event duration and intensity in terms of wave height. Finally, an absolutely new and original application involves evaluating the impact of climate change on sediment transport, whether river or coastal. The right branch of the Buna/Bojana delta shows a future evolution of the riverbed tending towards its being filled in, whilst the left branch appears to be in dynamic equilibrium. There is a strong tendency to sediment accumulation, in apparent continuity with past and present activity, in the coastal zone, narrowly defined, immediately to the south-southeast of the river delta, as well as in general in all of the bay to the east of the delta (Fig. 1, on the right)

Conclusions

The ADRICOSM-STAR project, financed by the Italian Ministry for the Environment, Land and Sea, was carried out with success between De-

to con successo nel periodo compreso tra dicembre 2006 e giugno 2010, con il coinvolgimento di 19 *partners* provenienti da 4 diversi paesi dell'area Adriatica. Oltre ad avere rafforzato gli strumenti di gestione integrata delle coste, sia dal punto di vista osservativo che modellistico, il progetto ha introdotto una metodologia di integrazione e regionalizzazione di modelli numerici nell'ambito dell'impatto dei cambiamenti climatici, e contribuito alla creazione di una piattaforma di rilevante importanza per la pianificazione delle zone costiere e per il supporto alle decisioni future basate su risultati scientificamente fondati nell'ambito del cambiamento climatico in atto.

December 2006 and June 2010, with 19 partners from four different countries in the Adriatic area. As well as reinforcing integrated coastal management tools in terms of both observation and modelling, the project also introduced a methodology for integrating and regionalizing numerical models regarding climate change impact and contributed to the creation of an important platform for project management in coastal areas and supporting future decisions based on scientifically-valid regarding the ongoing impact of climate change.

Bibliografia

- Artegiani, A., Bregant, D., Paschini, E., Pinardi, N., Raicich, F., Russo, A. 1997. The Adriatic Sea general circulation. part II: Baroclinic circulation structure, *J. Phys. Oceanogr.*, 27, 1515–1532.
- Djurdjevic, V., and Rajkovic B. 2010. Development of the EBU-POM coupled regional climate model and results from climate change experiments, in *Advances in Environmental Modeling and Measurements*, Editors: T. D. Mihajlovic and Lalic B, Nova Publishers.
- IPCC, 2007. *Climate Change 2007: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Core Writing Team, Pachauri, R.K. and Reisinger, A. (Eds.), IPCC, Geneva, Switzerland. pp 104
- Marini M., Grilli, F., Guarnieri, A., Jones, B., Kljajić, Z., Pinardi, N., Sanxhaku, M., 2010. Is the Southern Adriatic coastal strip an eutrophic area? *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 88 (3), 395–406.
- UNEP, 1996. *Mediterranean Action Plan (MAP), Implications of Climate Change for the Albanian Coast*, Technical Reports Series No. 98.

Fishery observing system (FOS):
uno strumento per la raccolta di dati
di pesca e dati oceanografici
nel Mare Adriatico

*Fishery observing system (FOS):
a tool for collecting oceanographic data
and data on fish in the Adriatic*

M. Martinelli⁽¹⁾, P. Falco⁽²⁾, A. Belardinelli⁽¹⁾,
N. Cingolani⁽¹⁾, E. Arneri⁽¹⁾⁽³⁾, A. Russo⁽⁴⁾⁽¹⁾, A. Santojanni⁽¹⁾

⁽¹⁾ ISMAR-CNR, Largo Fiera della Pesca, 60125, Ancona

⁽²⁾ Dipartimento di Scienze per l'Ambiente, Università Parthenope,
Centro Direzionale ISOLA C4, 80143, Napoli

⁽³⁾ Indirizzo attuale: FAO AdriaMed Project,
Viale delle Terme di Caracalla, 00153, Roma

⁽⁴⁾ DISMAR, Università Politecnica delle Marche,
Via Breccie Bianche, 60131, Ancona

Introduzione

Dal 2003, sette imbarcazioni commerciali che praticano sistematicamente la pesca del pesce azzurro nell'Adriatico settentrionale e centrale sono equipaggiate con un sistema integrato per l'acquisizione dei dati relativi alle catture, alla posizione in mare ed alla temperatura e profondità dell'acqua in cui la pesca avviene.

Questo sistema, chiamato Fishery Observing System (FOS), è stato inizialmente sviluppato dallo staff dell'ISMAR-CNR di Ancona, nell'ambito del progetto EU-FP5 "Mediterranean Forecasting System, Towards Environmental Predictions" (MFSTEP) ed è stato poi mantenuto attivo grazie a successivi finanziamenti MIPAAF¹ (Programma di ricerca sulla valutazione degli stock pelagici di alici e sardine dei mari italiani al fine di una gestione razionale della pesca).

I piccoli pelagici, ovvero alicia (*Engraulis encrasicolus*) e sardina (*Sardina pilchardus*), figurano tra le più importanti risorse di pesca del Mar Adriatico (Morello e Arneri 2009). Due sono gli attrezzi utilizzati per la cattura di piccoli pelagici dalla flotta italiana: 1) sistema volante, ovvero una rete semi-pelagica trainata da due imbarcazioni; 2) sistema lampara, una rete a circuizione nella quale il pesce è attirato con l'ausilio di fonti luminose. Tra le imbarcazioni monitorate con il sistema FOS compaiono sia "volanti" che "lampare".

L'idea del FOS nasce dalla considerazione del fatto che le variazioni dei parametri ambientali hanno un ruolo molto importante sulle specie ittiche, influenzandone considerevolmente sia l'aspetto riproduttivo, che la mortalità naturale; d'altro canto, grazie alla frequenza delle operazioni di pesca e alla

¹ Ministero delle Politiche Agricole e Forestali <http://www.politicheagricole.it>

Introduction

Since 2003, seven commercial vessels fishing for small pelagic species in the north and central Adriatic Sea have been equipped with an integrated system for collecting data regarding catches, position of the fishing operation, depth and water temperature during the haul.

This system, named Fishery Observing System (FOS), was initially developed by the staff of ISMAR-CNR in Ancona as part of the EU-FP5 "Mediterranean Forecasting System, Towards Environmental Predictions" (MFSTEP) project, and has been kept active thanks to successive MIPAAF¹ funding (Research programme on anchovy and sardine stock assessment in the Adriatic Sea using population dynamics models).

Small pelagic fish –anchovies (*Engraulis encrasicolus*) and sardines (*Sardina pilchardus*) – are amongst the most important fishing resources in the Adriatic (Morello and Arneri 2009). Two methods are used by the Italian fishing fleet to catch small pelagic fish: 1) Mid-water pair trawls (volante); 2) Purse seine with light (lampara). Vessels monitored with FOS include both volanti and lampare.

The idea for FOS comes from consideration of the fact that variations in environmental parameters play a very important role for fish species, considerably influencing both their reproduction and natural mortality (Sant'anni et al. 2006); furthermore, thanks to the frequency of fishing operations and the spatial cover they provide, commercial fishing vessels suitably equipped with data collection systems can produce extremely high quantities of data of interest to oceanographers.

FOS therefore has two main goals: (i) Obtaining a near-real-time monitoring of the distribution and abundance of small pelagic fish in the

¹ Ministry of Agricultural and Forestry Policies <http://www.politicheagricole.it>

copertura spaziale fornita, le imbarcazioni da pesca commerciale, opportunamente equipaggiate con un adeguato sistema di raccolta dati, sono in grado di produrre elevatissime quantità di dati di interesse oceanografico.

Gli scopi principali del FOS erano dunque due: (i) ottenere un approccio previsionale riguardo alla distribuzione e abbondanza dello stock di piccoli pelagici nel Mare Adriatico; (ii) utilizzare le imbarcazioni da pesca commerciale come campionatori di parametri ambientali relativi alla colonna d'acqua, al fine di utilizzare poi questi dati come input per modelli previsionali.

Componenti e funzionamento del sistema

Il FOS è essenzialmente composto da un *logbook* elettronico per la raccolta dei dati di pesca, un sensore in grado di rilevare parametri ambientali e un sistema GPS che permette di georeferenziare i dati suddetti. Il *logbook* elettronico *touch screen* (Fig. 1, A) viene acceso dal comandante dell'imbarcazione all'inizio della giornata di pesca; attraverso un software dedicato (Fig. 1, B) è possibile digitare cala per cala la specie, la quantità e la pezzatura del pescato indicando anche, qualora ve ne fosse, quantità e pezzatura dello scarto.

Questi dati sono riferiti alle specie target, alicie (*Engraulis encrasicolus*) e sardina (*Sardina pilchardus*), e ad alcune altre specie accessorie.

Al *logbook* è collegata un'antenna GPS (Fig. 1, A) che consente di ottenere la posizione delle cale. Sulla rete da pesca, in varie posizioni a seconda dell'imbarcazione prescelta, è applicato un sensore (Fig. 1, C e D) che registra la temperatura dell'acqua e la profondità (come dato di pressione).

Adriatic Sea and building a forecasting approach on this basis; (ii) Using commercial fishing vessels to take samples of environmental parameters regarding the water column in order to use these data as input for forecasting models.

System components and function

Essentially, FOS is made up of an electronic logbook for collecting fishing data, a sensor capable of recording environmental parameters and a GPS system allowing georeferencing of these data.

The touch-screen electronic logbook (Fig. 1, A) is turned on by the captain of the boat when setting out on a fishing trip; using dedicated software, (Fig. 1, B) it is possible to insert information about quantity and size of the commercial species caught each time the net is used, as well as indicating, when necessary, the quantity and size of the by-catch.

*These data refer mainly to the target species, anchovies (*Engraulis encrasicolus*) and sardines (*Sardina pilchardus*), but there is also the possibility to insert data about some other commercial species of secondary importance (e.g. mackerel, horse mackerel).*

The logbook is connected to a GPS antenna (Fig. 1, A) that allows the location of the haul to be obtained. The fishing-net has a sensor (Fig. 1, C and D) attached to it; its mounting position varies with the boat. This sensor records water temperature and depth (as pressure data).

Combining GPS tracks and sensor data recorded (the probe starts to record data once in the water), we obtain length, depth and routes of each haul during each fishing trip (Fig.2). To these data are added those on catch and by-catch input by the captain. All data are collected in a database kept at ISMAR-CNR.

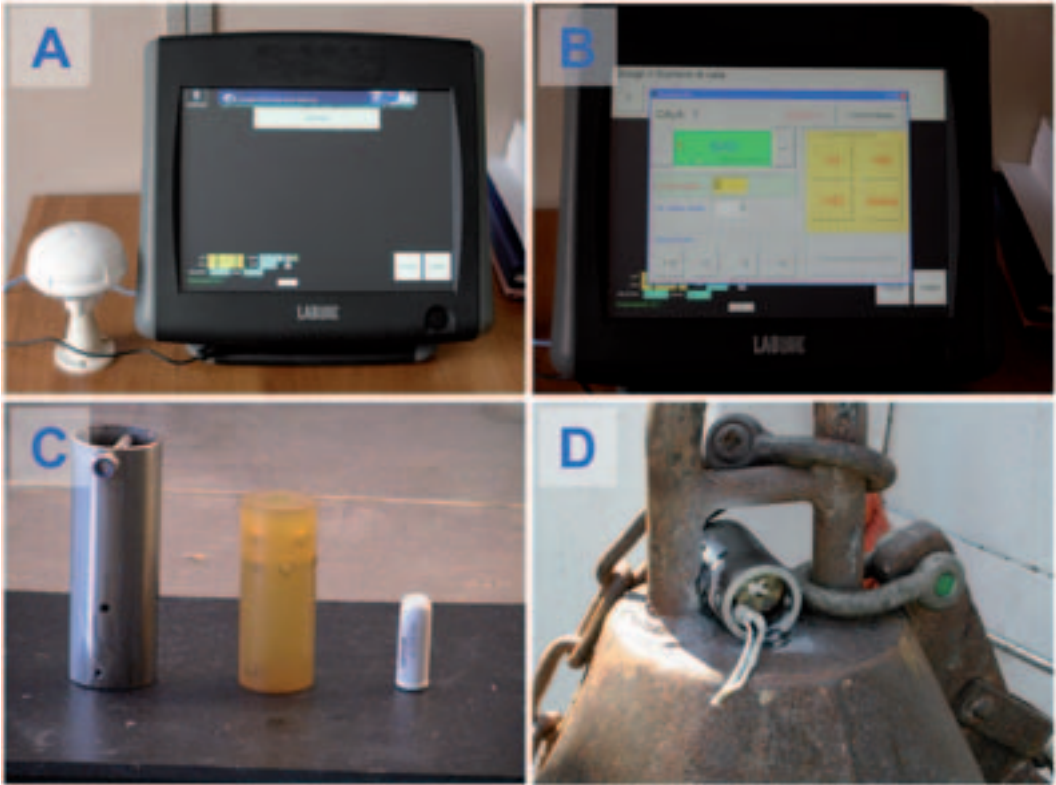


Figura 1: Componenti del FOS: *logbook* elettronico touch screen ed antenna GPS (A), software dedicato per la raccolta di dati di cattura (B), sensore di temperatura e pressione (C, D).

Figure 1: FOS touch-screen electronic logbook and GPS antenna (A), dedicated software for catch data collection (B), temperature and pressure sensors (C, D).

Combinando i dati del GPS con quelli provenienti dal sensore, registrati quando esso è immerso in acqua, si ottengono durata, posizione e tracciato delle cale eseguite durante la giornata di pesca (Fig.2). A questi dati si aggiungono quelli sulla cattura e sullo scarto digitati dal comandante. Tutti questi sono raccolti in un database disponibile presso ISMAR-CNR.

Prodotti

Questo sistema è in grado dunque di fornire dati di cattura per cala georeferenziati, associati con dati di temperatura e profon-

Products

This system is therefore able to supply catch data for georeferenced hauls, with associated temperature and depth data. From these elements it is possible to obtain estimates of fishing effort and catch, calculated for fishing unit by day, as well as indices of target species relative abundance in terms of size, space (area) and time (Dubroca 2007; Falco et al. 2007).

The catch per unit effort (CPUE) can also be estimated; this can be standardized and used with other available oceanographic data in order to have the best possible understanding of the influence of the habitat on the ecology of the species (Falco et al. 2007).

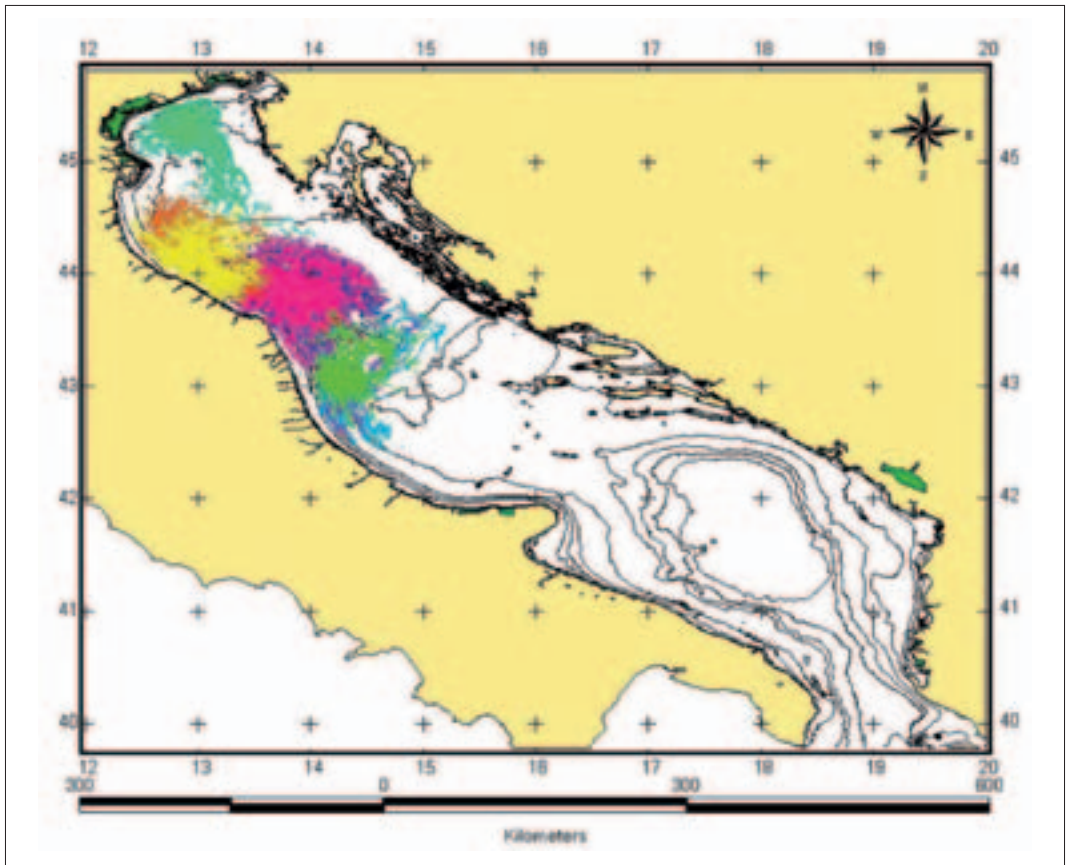


Figura 2: Tracciati delle rotte delle imbarcazioni monitorate, registrati dal 2003 al 2008.

Figure 2: Record of routes of vessels monitored, collected between 2003 and 2008.

dità. Da questi elementi è possibile ricavare stime dello sforzo di pesca e delle catture, calcolate per unità di pesca, per giornata e per pezzatura, nonché indici di abbondanza relativa delle specie target, riferiti allo spazio (area) e al tempo (Dubroca 2007; Falco et al. 2007).

Possono essere inoltre ricavate CPUE (cattura per unità di sforzo) standardizzate da mettere in relazione con altri dati oceanografici disponibili per una migliore comprensione dell'influenza che l'habitat ha sull'ecologia della specie (Falco et al. 2007). L'integrazione dei dati di cattura e di quelli oceanografici è fondamentale al fine di una comprensione dei processi che regolano la

Integration of catch data and oceanographic data is fundamental for understanding the processes regulating fish stock distribution during the various life cycle phases (Figure 3). This information is necessary in order to supply the relevant authorities with indications for sustainable fishery development.

From a strictly oceanographic point of view, the system produces an enormous quantity of data in the form of historical series of georeferenced temperature profiles: when the system is running at its full potential, we are able to obtain approximately 30 temperature profiles a day from various sites in the central and northern Adriatic.

distribuzione degli stock ittici durante le varie fasi del ciclo vitale (Figura 3). Queste informazioni sono necessarie al fine di fornire alle autorità preposte indicazioni per una gestione sostenibile delle risorse alieutiche.

Da un punto di vista strettamente oceanografico il sistema produce un'enorme quantità di dati sotto forma di serie storiche di profili di temperatura georeferenziati: quando il sistema è a regime è possibile ottenere circa 30 profili di temperatura al giorno, rilevati in varie zone dell'Adriatico centro-settentrionale.

Conclusions and future developments

In the near future the sensors currently in use will be replaced with new-generation probes offering greater reliability, better measuring response times and larger memory capacity. These new sensors will be able to record more oceanographic parameters, such as salinity and oxygen saturation, relating to the water column and seabed proximity; they will also be able to transmit data collected directly to the electronic logbook at the end of each haul. The logbook is set up so as to send data to the control centre

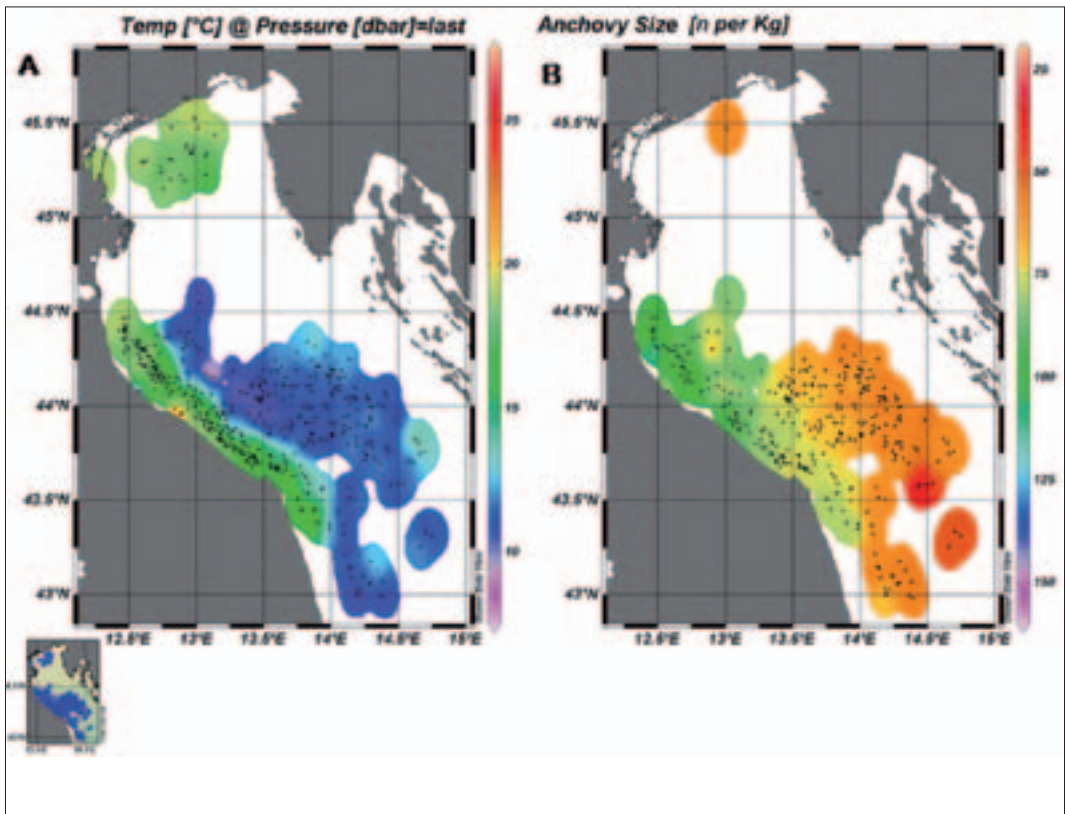


Figura 3: esempio di distribuzione spaziale di temperatura di fondo (A) e di taglie di alici ottenute per la primavera del 2006 (B).

Figure 3: Example of spatial distribution of seabed temperature (°C; A) and anchovy sizes (expressed as number of anchovies for per kg; larger numbers indicate smaller sizes) for spring 2006 (B).

Conclusioni e sviluppi futuri

Nel prossimo futuro i sensori attualmente in uso saranno sostituiti con sensori di nuova generazione che offrono caratteristiche di maggiore affidabilità, migliori tempi di risposta nelle misurazioni e maggiore capacità di memoria. I nuovi sensori saranno in grado di rilevare ulteriori parametri oceanografici, quali salinità e ossigeno disciolto, relativi alla colonna d'acqua e al fondo e saranno inoltre in grado di trasmettere direttamente i dati raccolti al logbook elettronico al termine di ogni cala. Il logbook è predisposto in maniera tale da poter inviare giornalmente via GPRS i dati al centro di controllo. Questo aggiornamento del sistema permetterà di ottenere dati di pesca e dati oceanografici quasi in tempo reale.

Si prevede inoltre di sperimentare l'installazione del FOS su imbarcazioni che praticano altri sistemi di pesca, quali ad esempio lo strascico; a tal fine saranno necessarie ulteriori modifiche strutturali del sistema, ma ciò renderà possibile lo studio di altre importanti tipologie di risorse alieutiche quali quelle demersali. Questo sviluppo renderà possibile l'estensione spaziale della raccolta dati tramite FOS, poiché sarà possibile installare il sistema anche in altre aree dove la pesca dei piccoli pelagici risulta marginale. L'implementazione dal punto di vista tecnologico e l'estensione in senso spaziale renderanno ancor più prezioso dal punto di vista oceanografico questo strumento di raccolta dati, permettendo di ottenere una ingente quantità di dati, in tempi molto brevi e su una vasta scala spaziale.

every day. This update of the system will allow both oceanographic and catch data to be acquired in near-real time.

It is also expected that FOS installation will be trialled on vessels using other fishing methods, such as bottom trawling. In order to do this, further structural modifications to the system will be necessary, but this will allow the study of other important fishery resources, such as demersal fish. This development will also make the spatial enlargement of FOS data collection easier, as it will also be possible to install the system in areas where fishing for small pelagics is of little importance. The technological implementation and spatial enlargement will make this data collection instrument even more precious oceanographically speaking, as it will allow the collection of a huge amount of data over a vast area in a very short time.

Bibliografia

- Morello E.B., Arneri E. 2009. Anchovy and Sardine in the Adriatic Sea — An Ecological Review. *Oceanography and Marine Biology: An Annual Review*, 47, 209-256.
- Dubroca L. 2007. Spatial and temporal variability of anchovy distribution in Adriatic Sea, using fishery information. Report, ISMAR-CNR Ancona.
- Falco P., Belardinelli A., Santojanni A., Cingolani N., Russo A., Arneri E. 2007. An observing system for the collection of fishery and oceanographic data. *Ocean Science*, 3(2):189–203.
- Santojanni A., Arneri E., Bernardini V., Cingolani N., Di Marco M., Russo A. 2006. Effects of environmental variables on recruitment of anchovy in the Adriatic Sea. *Climate Research*, 31(2-3): 181-193.

**Quale e quanta energia disponibile
nei nostri mari?**

*What Energy Is Available in Our Seas,
and How Much of It Is There?*

R. Archetti

Università di Bologna

N. Pinardi

Università di Bologna

Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia

A. Lamberti, F. Cesari

Università di Bologna

G. Passoni

Politecnico di Milano

D. Pettenuzzo

Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia

Introduzione

I mari e gli oceani contengono una fonte inesauribile di energia rinnovabile attualmente poco sfruttata. In linea di principio è possibile convertire svariati tipi di energia presenti nel mare: quella del vento, delle correnti, delle onde, delle maree, e del gradiente termico tra superficie e fondo marino. La tecnologia per lo sfruttamento del vento è tra tutte le energie rinnovabili la più sviluppata. Nata per realizzazioni su terraferma è stata successivamente esportata in mare, dove il vento può raggiungere intensità e frequenze ben superiori rispetto a quelle terrestri. Per impostare campi eolici offshore sono necessarie buone condizioni di vento (per velocità, durata, assenza di ostacoli naturali, etc.) e fondali non troppo profondi. In alcuni paesi del nord Europa la produzione di energia da campi eolici copre il 20 % del fabbisogno nazionale, e l'installazione dei generatori eolici è in continuo aumento. Come esempio sono elencati in Fig. 1A i maggiori parchi eolici europei con le relative potenze installate, mentre nella Fig. 1B sono riportati i corrispondenti *load factor*, che esprimono l'energia prodotta per potenza installata e che corrispondono al numero di ore annue equivalenti con funzionamento del generatore elettrico. I risultati dell'esercizio dei primi impianti eolici offshore, che sono stati costruiti in Danimarca, Regno Unito, Irlanda e Svezia, sono incoraggianti ed inducono ad essere ottimisti sulla possibilità di utilizzare questa tecnologia su larga scala anche nel Mediterraneo. Tuttavia sussistono alcune preoccupazioni per le procedure autorizzative ancora abbastanza farraginose che portano a conseguenti lunghi tempi per passare dal progetto iniziale alla fase realizzativa vera e propria, per il mercato dei Certificati Verdi, per la determinazione del contributo sul

Introduction

The seas and oceans contain an inexhaustible source of little-utilized renewable energy. In principle, it is possible to convert various forms of energy present in the sea: wind energy, current, energy, tide energy and that of the thermal gradient between sea surface and seabed. The technology for making use of wind energy is the most developed for renewable energy. Created for realizing onshore developments, it has since been moved offshore, where the wind can reach levels of intensity and frequency much greater than it can onshore. In order to set up offshore wind farms, good wind conditions are needed (speed, duration, absence of natural obstacles etc.), as is a seabed that is not too deep. In some northern European countries wind-farm energy meets 20% of the national energy requirement, and the installation of wind turbines is continually increasing. By way of example, Fig. 1A lists the main European wind farms and their relative generating power, whilst in Fig. 1B we can see the corresponding load factors, i.e., the energy produced by the generating power. This corresponds to the number of equivalent annual hours with generators functioning at full power.

Results from the first offshore wind farms to be constructed, in Denmark, the United Kingdom, Ireland and Sweden, are encouraging, and suggest optimism about the possibility of using this technology on a large scale in the Mediterranean too. However, there are still some problems with the rather muddled authorizing procedures causing a long period to pass between the initial project and the realization phase, as well as with the market in Green Certificates, the determination of how much is contributed to the production of kWh, the financing of large products given the current economic situation, and the reliability of the national grid to absorb the energy generated and how it is to meet

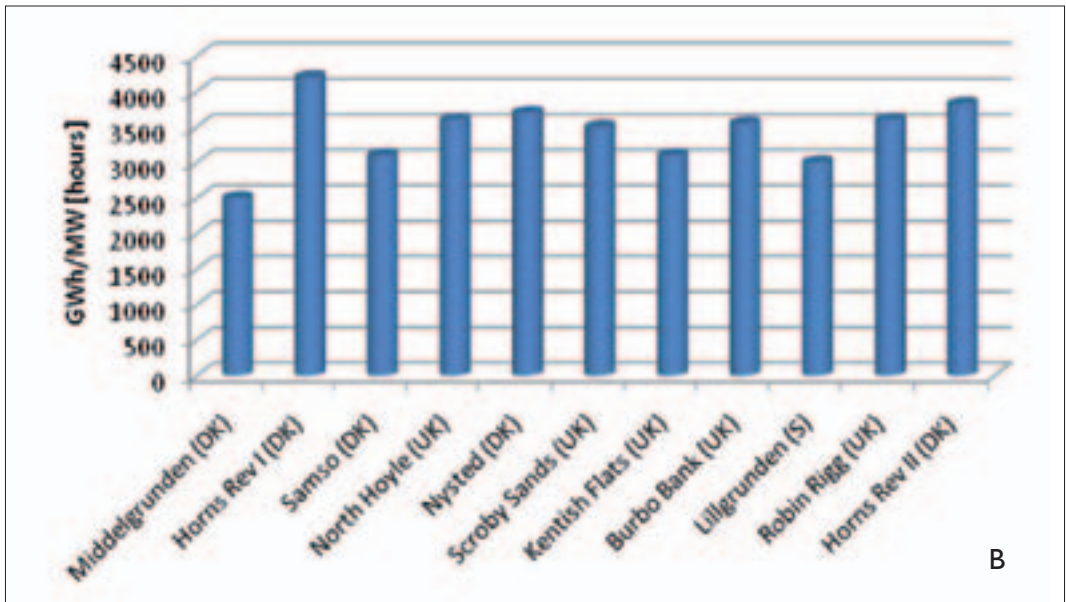
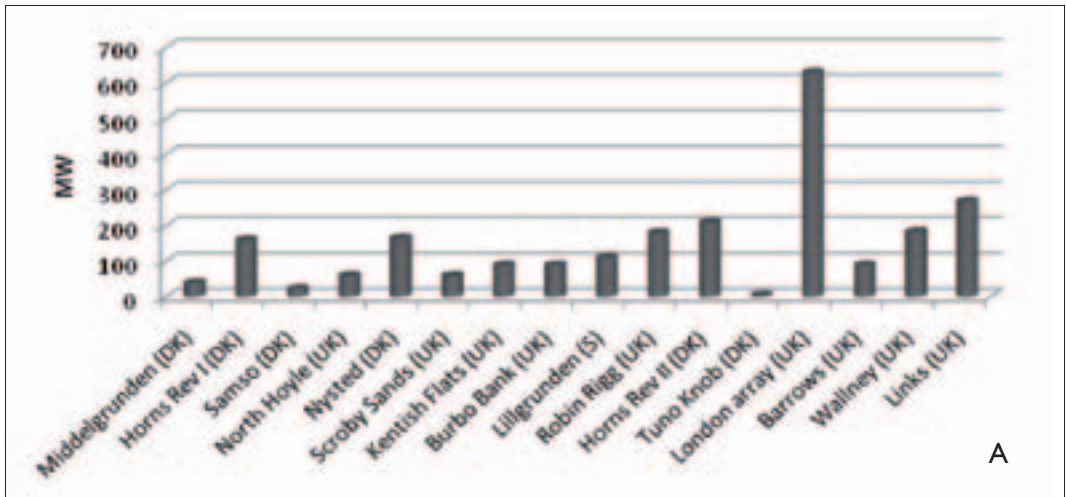


Fig. 1. Potenza ed ore equivalenti a piena potenza delle maggiori wind farm europee.

Fig. 1. Power and equivalent full-power hours of the main European wind farms.

kWh prodotto, per il finanziamento di grossi impianti data l'attuale situazione dell'economia, per l'affidabilità della rete elettrica nazionale circa la sua capacità ad assorbire le energie generate e sul loro adeguamento alle esigenze dei parchi eolici. Queste problematiche non sono né esclusive, né tipiche dell'eolica offshore ma sono purtroppo

wind-farm needs. These problems are neither exclusive to, nor typical of, offshore wind farms, but they are unfortunately all too common to many industrial undertakings in the field of energy.

No concessions for offshore wind farms have yet been granted in Italy. Various feasibility studies have been presented, such as those off

largamente comuni a molte iniziative industriali del campo energetico.

In Italia non si sono ancora avute concessioni per campi eolici offshore. Sono stati presentati vari progetti di fattibilità, come quello al largo di Termoli e di Gela (Foti et al., 2010). I campi eolici sono tutti sistemati su fondali di media profondità e sono necessariamente ubicati in vicinanza della costa. Soltanto uno di quelli fissati su fondale è prossimo alla accettazione ambientale da parte ministeriale, mentre un altro è localizzato in alto mare. Questo è previsto per essere ancorato al largo di Tricase (Stretto di Otranto) e per essere equipaggiato con turbine eoliche rette da piattaforme semisommerse.

Purtroppo, le reazioni delle amministrazioni locali non sono state benevole rispetto alle proposte di impianti a mare. L'opposizione da parte dell'opinione pubblica, che non è mai stata adeguatamente informata nemmeno sulle possibili mitigazioni e sui conseguenti ritorni, è condizionata dalla presenza di turbine eoliche, la cui visibilità è ancora ritenuta invasiva, anche se le unità sono poste in mare ad alcune miglia dalla costa.

Lo sfruttamento della energia da onde, (ogni metro di fronte ondosso può sviluppare fino a 60 kW al largo e 20 kW sotto costa) contrariamente alle tecnologie per *wind farm*, non ha ancora raggiunto una fase di sfruttamento commerciale. Nonostante le difficoltà la ricerca e lo sviluppo di tecnologie per convertire il moto delle onde del mare in energia elettrica non smette di solleticare la fantasia degli ingegneri. Esistono diversi dispositivi che si basano su svariati principi (colonna d'acqua oscillante, OSW, principi idrostatici AWS e altri, Broke, 2003, de O. Falcão, 2010); alcuni prototipi sono stati installati nel mare del Nord e al largo delle coste degli Stati Uniti, e in primo *wave farm* nell'Oceano Atlantico al largo del

Termoli and Gela (Foti et al., 2010). All the wind farms are sited on seabeds of medium depth, and are thus necessarily near the coast. Only one of those fixed to the seabed is close to environmental acceptance by the ministry, whilst another is located out to sea. This is proposed for installation off Tricase (Strait of Otranto), with wind turbines placed on semi-submerged platforms with tension-leg platform technology of platform tension legs.

Unfortunately, reactions from local government have not been favourable for offshore sites. Opposition from the public – who have never been adequately informed about mitigation of possible negative effects or economic benefits – is conditioned by the presence of wind turbines, visibility of which is still held to be invasive, even though the units are to be located in the sea some miles from the coast.

Exploitation of wave energy (every metre of wave front can develop up to 60 kW out to sea and 20 kW by the coast), unlike wind-farm technology, has yet to reach the phase of commercial exploitation. In spite of the difficulties, research and development of technologies for converting wave movement into electric energy continues to fascinate engineers. Various methods based on various principles (OSW oscillating water column, AWS hydrostatic principles and others, Broke, 2003, de O. Falcão, 2010) exist. Some prototypes have been installed in the North Sea and off the US coast, as well as the first wave farm in the Atlantic Ocean, off Portugal (Pelamis, 2008, Carcas M., 2007). Extraction of energy from currents and the thermic gradient is also still at the research and development stage.

We present here the choice of a site for realizing an offshore wind farm, as well as a preliminary sizing.

Portogallo (Pelamis, 2008, Carcas M., 2007). L'estrazione di energie da correnti e da gradiente termico resta anch'essa nella fase di ricerca e sviluppo.

Viene qui presentata la scelta di un sito per la realizzazione di un campo eolico offshore, corredata da un preliminare dimensionamento.

Analisi di fattibilità di Wind farm nei mari italiani

Scelta del sito

La scelta del sito idoneo per la realizzazione di una *wind farm* si è basata su due vincoli: il primo è la distanza minima di 40 km dalla costa, sufficiente per essere *out of sight*, e il secondo la profondità del fondale nell'ordine dei 40 m. Le condizioni sono riassunte nella Fig. 2. È evidente come il Mare Adriatico potrebbe essere idoneo per la realizzazione di *wind farms* mentre non risultano idonei il mar Ligure e il mar Tirreno. Si potrebbero ancora aggiungere alcuni siti nel canale di Sicilia. La loro individuazione va poi corroborata con le condizioni di vento. Dalla combinazione di questi fattori si potrebbero considerare tre siti, il primo al largo di Mazara del Vallo (52 30'-53 N // 6 -5 30' W) e due altri nel mare Adriatico (45 00' - 45 30' N // 12 30' - 13 00' E , 41 30' - 42 00' N // 17 30' - 18 00' E). In seguito a questa indicazione è stato analizzato il regime anemologico e quello ondoso per un eventuale accoppiamento con i convertitori

La stima delle potenze ottenibili presso i siti scelti è stata condotta nei seguenti passaggi:

A feasibility study for wind farms in the seas off Italy

Choice of site

The choice of a suitable site for realizing a wind farm is based on two limiting factors: a minimum distance of 40 km from the coast, enough to be out of sight from the shore, and a seabed depth of around 40 m. These conditions are summarized in Fig. 2. It is clear that the Adriatic could be suitable for realizing wind farms, whereas the Ligurian and Tyrrhenian are not. Some sites could be added in the Strait of Sicily. Identifying these sites needs corroboration from wind conditions. Combining these factors, we may consider three sites: the first is off Mazara del Vallo (52 30'-53 N // 6 -5 30' W) and two others are in the Adriatic (45 00' - 45 30' N // 12 30' - 13 00' E, 41 30' - 42 00' N // 17 30' - 18 00' E). Following on from this, the wind and wave regimes have been analysed for eventual coupling with wave energy converters (WECs).

Estimation of the power obtainable from the sites chosen has been carried out according to the following steps:

- Acquisition of wind data from the three sites.
- Transfer of conditions at 10 m above sea level to the height of the wind turbine rotor (90 m-110 m).
- Wind duration statistics.
- Estimation of the annual power expected using 5 MW aerogenerators.
- Estimation of the load factor (number of annual hours in which the generator works at full power).

Fig. 3 shows wind duration statistics in hours by wind intensity class in the three sites. The geographical area that appears most 'productive'

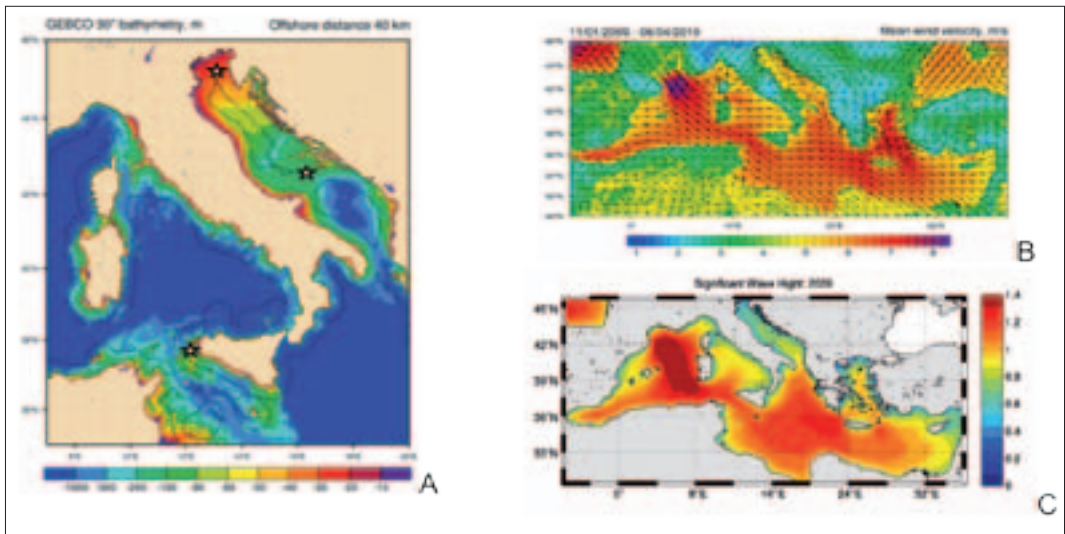


Fig. 2. A) Batimetria dei mari Italiani (la linea continua mostra la distanza di 40 km dalla costa, definita *out of sight*); le stelle indicano i siti analizzati nell'articolo. B) Mappa della velocità media del vento sul mare Mediterraneo. C) Mappa dell'altezza d'onda significativa.

Fig. 2. A) Bathymetry of the seas around Italy (the continuous line represents a distance of 40 km from the coast, defined as being *out of sight*); the stars indicate the sites analysed in the article. B) Map of average Mediterranean wind speeds. C) Map of significant wave heights.

- Acquisizione dei dati di venti presso i tre siti;
- Trasferimento delle condizioni dalla quota di 10m slm alla quota del previsto rotore della turbina eolica (90m – 110m);
- Statistica delle durate del vento;
- Stima della potenza annuale attesa mediante l'utilizzo di aerogeneratori da 5 MW;
- Stima del *load factor* (numero di ore annue in cui il generatore lavora a piena potenza).

Nella Fig. 3 sono mostrate le statistiche di durata espresse in ore per classi di intensità di vento nelle tre località. La zona geografica, che appare più "produttiva" è il canale di Sicilia. La stima di potenza ottenibile per MW installato è precisata nella Tab. I. Vi è elencata anche la percentuale di operatività, in cui si considerano le perdite medie attese. Il valore del *load factor* per il sito siciliano è elevato e parago-

is the Strait of Sicily. The estimation of power obtainable for every MW installed is given in Table I., which also lists the operational percentage considering the average expected loss. The load factor value for the Sicilian site is high and comparable to that obtained in certain sites in the North Sea (Fig. 1).

Design an offshore wind farm

Only for the Sicilian site, and only for the Sicily site, a preliminary sizing has been carried out for a feasibility study of an offshore wind farm. It has been hypothesized to install 60 5-MW aerogenerators for a total of 300 MW, fixing them on the seabed at a depth of between 30 m and 50 m off Mazara del Vallo. The aerogenerators chosen have a tower height of 90 m, a maximum height to blade tip of 153 m and a rotor radius of 61.5 m. If the wind farm has a rectangular configuration with a triangular

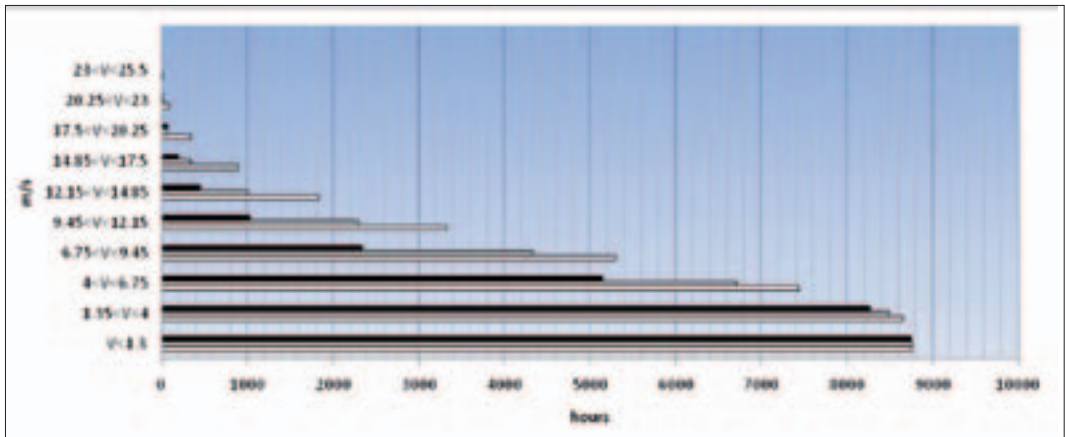


Fig. 3. Statistica delle durate per classi di intensità di vento presso l'Adriatico Settentrionale (■), l'Adriatico Meridionale (■) e il Canale di Sicilia (□).

Fig. 3. Statistics for the duration of winds by intensity class for the northern Adriatic (■), southern Adriatic (■) and Strait of Sicily (□).

Siti	Load factor (MWh/MW)	%
Adriatico settentrionale	1.650	15
Adriatico meridionale	2.900	26
Mazara del Vallo	3.980	37

Tab. 1. Risultati della produzione attesa nelle tre zone considerate

Site	Load factor (MWh/MW)	%
Northern Adriatic	1.650	15
Southern Adriatic	2.900	26
Mazara del Vallo	3.980	37

Tab. 1. Expected production result in the three sites

nabile con quello ottenuto in alcuni impianti realizzati nei mari del Nord Europa (Fig.1).

Dimensionamento del campo eolico offshore

Per il solo sito siciliano è stato eseguito un dimensionamento preliminare per analisi di fattibilità di un parco eolico a mare. Si è ipotizzato di installare 60 aereogeneratori della potenza di 5 MW ciascuno per un totale di 300 MW e di fissarli su fondali con

step, then the distance between turbines is taken to be 850 m and 650 m respectively along the two principal axes, which are orthogonal to each other. The annual production of electrical energy is estimated to be over a thousand GWh.

Some investigations have already been carried out to estimate the benefits of coupling the wind farm with a wave energy converter (WEC). Coupling the two technologies would allow the optimization of common infrastructure use (such as submarine cables, transformers

profondità variabile da 30 a 50 m al largo di Mazara del Vallo. Gli aereogeneratori scelti hanno una altezza della torre di 90 m per una quota massima della punta della pala di 153 m ed un raggio del rotore di 61.5 m. Ammettendo una configurazione rettangolare a passo triangolare di suddetto campo, la distanza tra le turbine è stata assunta, a seconda della direzione, in 850 m e in 650 m rispettivamente per i due assi principali, che sono tra loro ortogonali. La produzione annua di energia elettrica potrebbe superare il migliaio di GWh.

Alcune indagini sono state eseguite per stimare il vantaggio di accoppiare alla *wind farm* i convertitori di energia da onda (WEC). L'accoppiamento delle due tecnologie permette di ottimizzare l'uso di infrastrutture comuni (quali cavi sottomarini, trasformatori e altro) e di ottenere mediante i WEC energia quando gli aereogeneratori non producono per troppo o per poco vento (Stoutenburg et al., 2010). La convenienza di utilizzare una produzione di energia da forme diverse va, quindi, analizzata in dettaglio, basandola sulla correlazione di dati d'onda e di vento, e da una particolareggiata indagine dei costi. Dalle prime valutazioni, eseguite analizzando i dati d'onda misurati per 22 anni dalla boa ondometrica della RON (Rete Ondometrica Nazionale) installata al largo di Mazara (Archetti et al., 2011), emerge che mediante un WEC tipo *point absorber* (aquabuoy, potenza max 240 KW) e seguendo una procedura analoga a quella utilizzata per gli aerogeneratori, sarebbe possibile ottenere una produzione annua di 80 MWh, troppo bassa per essere economicamente conveniente. Il valore così basso è dovuto alla scelta del dispositivo, progettato e dimensionato per oceani più energetici. Mediante un dispositivo propriamente dimensionato e scalato per il Mediterraneo si potrebbero raggiungere valori di load factor pari al 17% (Bozzi et al., 2012).



and so on), as well making it possible to obtain energy through WECs when the aerogenerators are not producing energy due to too much or too little wind (Stoutenburg et al., 2010). The convenience of using different forms of energy production should therefore be analysed in detail, basing itself upon the correlation of wave and wind data and a precisely-detailed study of the costs. From preliminary calculations performed on wave data measured for 22 years by a RON (National Wave-Measuring Network) wave-buoy located off Mazara del Vallo (Archetti et al., 2011), it emerges that using a point-absorber WEC (aquabuoy; max. power 240 KW) and following procedure analogous to that used for aerogeneratorsit would be possible to obtain an annual production of 80 MWh, too low to be economically attractive. This low value is due to the choice of the WEC, design for more energetic sea sites. The use of a WEC properly designed and scaled for the Mediterranean it would be possible to obtain load factor of the order of 17%. (Bozzi et al., 2012).

Final remarks

Renewable energy in the Mediterranean would appear to look promising, especially wind ener-

Considerazioni conclusive

L'energia rinnovabile nel mare Mediterraneo sembra essere promettente, soprattutto per l'eolico. La zona di mare vicino alla costa potrebbe essere presto occupata dalle attività offshore già programmate nell'ultimo decennio. Poiché l'impatto ambientale è alto, come si è osservato in precedenza, sarà necessario spostarsi *out of sight*, cioè verso l'alto mare ove le profondità potranno essere maggiori di 30 metri. Fondamentali per la scelta della tecnologia e per il dimensionamento del sito idoneo alla realizzazione di una centrale di produzione elettrica da mare sono le informazioni relative alle condizioni geologiche e geofisiche del sito e alle condizioni meteo climatiche dei nostri mari. L'oceanografia operativa avrà, quindi, in questo settore un ruolo di primaria importanza nei prossimi anni al fine di indirizzare gli enti finanziatori alla selezione dei siti più redditizi in relazione alla scelta delle tecnologie.

gy. The sea areas near the coast could soon be occupied by the offshore activities programmed over the last decade. As the environmental impact is high, as has been observed previously, it will be necessary to move wind farms out of sight from the shore, out to sea where depths can be greater than 30 metres. Information relative to the site's geological and geophysical conditions and the meteorological and climatological conditions in the seas off Italy are fundamental for the choice of technology and the sizing of a power station at sea. Operational oceanography will therefore have a role of primary importance in this sector over the coming years in helping backers choose the most profitable sites with regard to the choice of technology.

Bibliografia

- R. Archetti, S. Bozzi, G. Passoni. (2011). Feasibility study of a wave energy farm in the western Mediterranean sea: comparison among different technologies. *Proceedings of the ASME 2011 30th International Conference on Proceeding of the 30th Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering - OMAE2011*. Rotterdam, The Netherlands. June 19 - 24, 2011. ISBN: 978-0-7918-4434-2. Paper n. 49372. WASHINGTON: American Society of Mechanical Engineering.
- Brooke J. 2003. Wave Energy conversion. Elsevier Ocean Engineering Book Series, pp.188.
- S. Bozzi, R. Archetti and G. Passoni. (2012). Wave energy exploitation in Italian seas: a feasibility study. Proc. OWEMES 2012.
- Foti E., Musumeci R. E., Leanza S., Cavallaro L., 2010, Feasibility of an Offshore Wind Farm in the Gulf of Gela: Marine and Structural Issues. 2010. *Wind Engineering. Multi Science Publishing*. 34 (1)
- de O. Falcão A. F. 2010, Wave energy utilization: A review of the technologies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Volume 14, (3), April 2010, Pages 899-918.
- Stoutenburg E. D., N. Jenkins., M. Z. Jacobson, 2010. Power output variations of

co-located offshore wind turbines and wave energy converters in California. *Renewable Energy*. 35 2781-2791.

Stoutenburg E. D., Jacobson M. Z., 2009. Quantifying the benefits of combining offshore wind and wave energy. San Francisco: American Geophysical Union Fall Meeting; December 14-18, 2009.

Pelamis. Ocean energy, <<http://www.pelamiswave.com/>>; 2008.

Carcas M., The Pelamis wave energy converter. 2007. Ocean Power Delivery Ltd., <http://hydropower.inl.gov/hydrokinetic_wave/pdfs/day1/09_heavesurge_wave_devices.pdf>;.



2° CONVEGNO NAZIONALE DI OCEANOGRAFIA OPERATIVA

Cesenatico (FC) 27-28 maggio 2010

presso Centro Ricerche Marine, viale A. Vespucci 2



Vieni a scoprire tutto lo spettacolo!



http://www.gnoo.it/ingv/it/convegno_gnoo_2010/

Foto del 2° Convegno nazionale di oceanografia operativa



In questa collana

I caratteri distintivi ed i vantaggi dell'organizzazione a rete

Atti Workshop 25 Giugno 1998
M. Bompani / (esaurito)

Test di mutagenesi e monitoraggio ambientale, 2000

F. Cassoni, A. Buschini / (esaurito)

Inquinamento elettromagnetico da impianti di teleradiocomunicazioni

Atti Convegno 29 Gennaio 1999 e Fonti normative
S. Fabbri, S. Violanti / (esaurito)

Air Quality '98

Atti V Convegno nazionale, Ravenna 25/28 Ottobre 1998
A cura di Francesco Fortezza, Ottavio Tubertini / (esaurito)

Nuovi modelli di controllo per la sostenibilità ambientale

Atti del Seminario 1 Luglio 1999
M. Bompani, G. Morini, G. Sandon / (esaurito)

Verso la realizzazione di reti ecologiche in aree rurali

Studio pilota in provincia di Reggio Emilia, 2000
B. Cavalchi, G. Pungetti / (esaurito)

Il riuso delle acque reflue in agricoltura

Atti Workshop 10 Maggio 2000, Bologna / (esaurito)

Campi elettromagnetici

Prevenzione, comunicazione, controllo e ricerca
Atti del Convegno del 6/7 Novembre 2000,
Bologna / (esaurito)

Arie di città

La qualità dell'aria in ambiente urbano
Atti del Convegno del 28/30 Novembre 2000,
Bologna

Nitrati, acqua e suolo da salvaguardare

Prevenzione dell'inquinamento dei sistemi idrogeologici, 2000
A cura di Elisabetta Russo e Adriano Zavatti / (esaurito)

GITAS

Giovani Informati su Traffico Ambiente Salute, 2000
Un progetto per la mobilità sostenibile
A cura di F. S. Apruzzese e A. Gorrieri / (esaurito)

Indoor pollution microbiologico, 2002

Rassegna bibliografica ed esperienze dirette
A cura di Loretta Camellini con la collaborazione di: Patrizia Battistini, Milena Cavalchi, Maria Antonietta Morleo
Elaborazioni statistiche di Enzo Motta

Stato del litorale emiliano-romagnolo all'anno 2000

Il lavoro ideato e diretto da Mentino Preti
Arpa Emilia-Romagna, Ingegneria Ambientale / (esaurito)

Telerilevamento e ambiente

Atti del seminario sulle applicazioni ambientali del telerilevamento da satellite e da aereo
A cura di Vittorio Marletto / (esaurito)

Acqua, suolo, clima: conoscere per governare
alcune esperienze di Arpa-ER, 2003

Water, soil, climate: knowing to manage
some experience of Arpa-ER
A cura di Carla Rita Ferrari / (esaurito)

Verso un monitoraggio della biodiversità

Primo incontro formativo della rete APAT-ARPA - 8-9 ottobre 2001
A cura di Annalisa Ferioli, Claudia Milan, Federico L. Montanari
(esaurito)

Verso la gestione integrata delle zone costiere
Atti del seminario del 27 settembre 2001 -
Cesenatico
A cura di Carla Rita Ferrari

EMAS II: benefici economici e gestione ambientale

La protezione dell'ambiente e lo sviluppo sostenibile applicato a tutti i settori dell'attività economica

Atti del convegno del 25 gennaio 2002 - Rimini

A cura di Gianna Sallesse

Pubblicazione solo digitale, documento in formato Acrobat .pdf scaricabile dalla pagina internet www.arpa.emr.it/quaderni.htm

Rifiuti speciali, monografie su alcune tipologie, 2003

A cura di Barbara Villani, Patricia Santini, Davide Verna con la collaborazione di Fabio Fantini / (esaurito)

Presenza e diffusione dell'arsenico nel sottosuolo e nelle risorse idriche italiane e nuovi strumenti di valutazione delle dinamiche di mobilitazione

A cura di Maria Grazia Scialoja

Analisi climatologica delle condizioni idrodinamiche nella fascia costiera dell'Emilia-Romagna

Climatological analysis of hydrodynamic conditions in the Emilia-Romagna coastal strip
A cura di Giuseppe Montanari, Nadia Pinaridi

Applicazione dei test di mutagenesi al monitoraggio ambientale

A cura di Francesca Cassoni

Inquinamento acustico. L'impegno del sistema agenziale

A cura di Anna Callegari

Stato del litorale emiliano-romagnolo all'anno 2007 e piano decennale di gestione

a cura di Mentino Preti
Arpa Emilia-Romagna

L'ecosistema urbano di Bologna.

Verso un report di sostenibilità

a cura di Vanes Poluzzi, Claudio Maccone, Arianna Trentini
Arpa Emilia-Romagna

Qualità dell'aria in Provincia di Reggio Emilia.

30 anni di reti di monitoraggio

a cura di Fabrizia Capuano, Luca Torreggiani
Arpa Emilia-Romagna

Chlorophyta multicellulari e fanerogame acquatiche. Ambienti di transizione italiani e litorali adiacenti

Adriano Sfriso
Arpa Emilia-Romagna

Bioaccumulo di microinquinanti nella rete trofica marina

Paola Martini
Arpa Emilia-Romagna

Le mareggiate e gli impatti sulla costa in Emilia-Romagna 1946-2010

A cura di Luisa Perini, Lorenzo Calabrese, Marco Deserti, Andrea Valentini, Paolo Ciavola, Clara Armaroli

Ochrophyta (Phaeophyceae e Xanthophyceae). Ambienti di transizione italiani e litorali adiacenti

Adriano Sfriso
Arpa Emilia-Romagna

Oceanografia Operativa in Italia.

Verso una gestione sostenibile del mare

A cura di Paolo Oddo, Giovanni Coppini, Roberto Sorgente, Vanessa Cardin, Franco Reseghetti

Le attività antropiche che si sviluppano nella zona costiera, così come il trasporto, il turismo e la pesca, necessitano di un sistema di controllo continuo delle condizioni marine.

Il monitoraggio accurato delle condizioni meteo-marine consente di avere una valutazione oggettiva dello stato del mare e delle sue risorse ed al contempo contribuisce al miglioramento della comprensione delle dinamiche che caratterizzano questo ambiente. Queste informazioni possono essere utilizzate al fine di tutelare l'ambiente marino tramite una gestione sostenibile delle sue risorse e una progettazione cosciente delle infrastrutture; possono altresì contribuire al miglioramento della gestione delle emergenze e fornire un supporto alla sicurezza della navigazione e delle attività lavorative svolte in mare.

L'oceanografia operativa fornisce un sistema integrato e innovativo (continuo e in tempo reale) per la cognizione dell'ambiente marino basato sul monitoraggio con dati ambientali e la previsione numerica dello stato del mare.

Negli scorsi anni si è consolidata l'attività dell'Italia nel campo dell'oceanografia operativa tramite il Gruppo Nazionale di Oceanografia Operativa (GNOO).

In questo quaderno si riportano gli interventi effettuati dai partecipanti durante il 2° Convegno Nazionale di Oceanografia Operativa organizzato dallo GNOO e ospitato dal Centro Ricerche Marine di Cesenatico. Con il presente volume si vuole fornire quindi al lettore un'immagine delle attività svolte in Italia dai diversi centri operanti nel settore dell'oceanografia operativa in termini di azioni di coordinamento, di attività in mare, degli strumenti di modellistica utilizzati nonché delle applicazioni sviluppate a supporto di una gestione sostenibile dei mari italiani.

Anthropogenic activities developing in the coastal areas such as transport, tourism and fisheries, require a continuous monitoring of the marine conditions.

The accurate monitoring of weather and sea conditions provides an objective assessment of the sea state and its resources and, at the same time, helps to improve the understanding of the dynamics characterizing this environment. This information can be used to protect the marine environment through sustainable management of natural resources and a conscious design of the facilities, it may also contribute in improving the management of emergencies and provide support to safety of navigation and operations at sea.

The operational oceanography provides an integrated and innovative (continuous and real-time) system for the full knowledge of the marine environment based on the monitoring of the environmental data and the numerical prediction of sea state.

In recent years the activities of Italy in the field of operational oceanography have consolidated through the National Group of Operational Oceanography (GNOO).

In this volume the talks provided by the participants during the 2nd National Conference of Operational Oceanography organized by GNOO and hosted by the Marine Research Centre of Cesenatico are reported. With this volume we want to provide to the reader a picture of the activities carried out by different centres in Italy working in the field of operational oceanography in terms of coordination of activities at sea, the modelling tools used and the applications developed to support the sustainable management of the Italian Seas.

