

MarCoast, Servizi di Qualità delle Acque da dati satellitari per i mari europei

Giulio Ceriola¹ (*), Monique Viel (*), Cecilia Silvestri (**), Gordon Campbell (***)

(*) Planetek Italia srl, Via Massaua 12, I-70123 Bari ITALY, <http://www.planetek.it>

(**) ISPRA: Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale

(***) ESA: European Space Agency

Sommario

MarCoast è un progetto durato 3 anni (2005–2008) interamente finanziato dall'Agenzia Spaziale Europea nel quadro del Programma GMES Service Element. In quest'ottica il progetto ha contribuito a creare un portafoglio di prodotti e servizi, basati su dati di Osservazione della Terra, per il monitoraggio dei mari europei in termini di qualità delle acque, fioritura algale ed *oil spill* con dati a frequenza giornaliera, mensile e stagionale. Tali servizi sono stati realizzati da un gruppo di partner europei che hanno consolidato ed acquisito esperienza sull'elaborazione di dati satellitari volti alla determinazione di parametri di qualità delle acque, anche in ambiente costiero. Questi servizi sono stati rivolti ad utenti responsabili delle politiche ambientali e di qualità delle acque a livello nazionale e regionale, distribuiti in tutta Europa e che sono stati coinvolti direttamente nel progetto. Infine grande importanza è stata data alle attività di validazione dei prodotti forniti, utilizzando dati di verità in situ forniti dagli utenti stessi.

Planetek Italia, coordinatore a livello Europeo dei servizi di Water Quality e fornitore di servizi per l'Italia, ha sviluppato catene di produzione per alcuni parametri di qualità delle acque: temperatura superficiale, concentrazione di clorofilla e trasparenza, validati mediante dati *in situ*. I servizi operativi forniti hanno coperto i mari italiani (Adriatico, Tirreno e Mar Ligure) per l'utente ISPRA e, nell'ultimo anno, anche per l'ARPA Emilia Romagna e l'ARPA Campania.

MarCoast 2 rappresenta un'estensione di MarCoast, anch'essa della durata di 3 anni (2009-2011), che ha lo scopo di garantire la continuità ed il miglioramento dei servizi operativi ed al tempo stesso di creare le condizioni per favorirne l'auto-sostenibilità finanziaria e l'estensione a nuovi utenti.

Abstract

MarCoast is a project lasted three years (2005–8) entirely funded by the European Space Agency in the GMES Service Element framework. In this view MarCoast contributed to create a portfolio of services and products, based on Earth Observation data, for the monitoring of the European seas in terms of water quality, algae bloom and oil spill, with daily, monthly and seasonal frequency. Those services were realised by a group of European partners that consolidated and acquired experience on satellite data processing with the aim of retrieving parameters for estimating the water quality also in a coastal environment. Those services have been provided to users in charge of environmental and water quality policies at national and regional level, spread over all Europe and that have been directly involved in the project. Finally great relevance has been put in the validation activities of the provided products, by means of in situ measurement provided by the users.

Planetek Italia, coordinator at European level of the Water Quality Services and Provider for the Italian seas, developed processing chains for some water quality parameters: sea surface temperature, chlorophyll concentration and water transparency, validated by means of in situ data. The operative services provided covered the Italian seas (Adriatic, Tyrrhenian, and Ligurian) for the

¹ ceriola@planetek.it

user ISPRA (National Institute for the environmental protection) and, in the last year, also for the ARPA (Regional Agency for the Environment Protection) Emilia Romagna and ARPA Campania. Marcoast 2 is an extension of Marcoast, with a foreseen duration of 3 years (2009-2011), which has the objective of guarantee the continuity and the improvement of the operative services and at the same time to create the conditions to reach their economic self sustainability together with the extension to new users.

1 - Il progetto Marcoast

MarCoast (Marine & Coastal Environmental Information Services) è un progetto durato 3 anni (2005–2008) interamente finanziato dall'Agenzia Spaziale Europea nel quadro del Programma GMES Service Element. Tale programma ha lo scopo di sviluppare strumenti e servizi a supporto delle politiche ambientali e di sicurezza, basati sull'integrazione di diverse tecnologie di monitoraggio ambientale. In particolare l'obiettivo di Marcoast era quello di stabilire un network duraturo di servizi informativi marini e costieri da dati satellitari, integrati con misure *in situ*, in stretta cooperazione con utenti ed autorità nazionali e regionali. In particolare i servizi di Qualità delle Acque sono stati forniti ad utenti istituzionali incaricati dell'implementazione delle direttive internazionali, europee (ad es. la "Water Framework Directive" (WFD) europea, la nuova Politica Marittima Integrata ecc.) e nazionali ed anche ad istituti di ricerca e settori privati nel campo del monitoraggio ambientale. Il bacino di utenza ha compreso 14 differenti nazioni europee ed i servizi forniti hanno coperto tutti i maggiori mari.

Le caratteristiche dei servizi e dei prodotti generati sono documentati attraverso accordi stipulati fra i membri del progetto (fornitori di servizi o *Provider*) e gli utenti. Inoltre gli utenti hanno contribuito all'evoluzione dei servizi stessi fornendo supporto ed esperienza a ciascun *Provider* e sono stati rappresentati all'interno di Marcoast da un *User Executive Body* il cui ruolo è stato quello di stabilire la rilevanza dei prodotti proposti dai vari servizi.

2 - Il Servizio di Qualità delle Acque in Marcoast

Nel terzo anno, i servizi di qualità delle acque e monitoraggio delle fioriture algali sono stati forniti da 16 *Provider* verso 43 utenti appartenenti a 14 nazioni europee. Il gruppo di *Provider* è stato coordinato da Planetek Italia.

I prodotti generati dal Servizio di Qualità delle Acque riguardano il monitoraggio della qualità delle acque mediante una serie di parametri fisici, quali: concentrazione di Clorophylla-a (Chl), parametro principale per stabilire la qualità delle acque (WFD europea); materiale in sospensione totale (TSM); concentrazione di sostanza gialla (YSC); trasparenza dell'acqua (WT); temperatura superficiale dell'acqua (SST), un parametro coinvolto in tutti i processi biofisici del mare.

Molti dei prodotti generati sono basati su dati forniti dal servizio Met-Ocean (un altro servizio all'interno del progetto Marcoast), ottenuti dal processamento dei dati di Osservazione della Terra (EO). Tale processamento parte dall'acquisizione dei dati EO per arrivare alla realizzazione di *Ocean Colour*² ed inviati ai vari *Provider* che hanno il compito di organizzare i dati per renderli accessibili agli utenti via web. Il portafoglio di dati disponibili va da osservazioni quasi in tempo reale (ad esempio i parametri fisici e di *Ocean Colour*) ad analisi e previsioni mediante modelli atmosferici e oceanografici (ad esempio venti, onde, correnti, temperatura 3D, ecc.). Alcuni *Provider* inoltre forniscono dei servizi che utilizzano delle catene di processamento sviluppate *ad hoc* e che partono dall'acquisizione del dato satellitare per arrivare alla generazione dei prodotti ed alla loro pubblicazione via web.

Sia il servizio Met-Ocean che le catene di processamento *ad hoc* hanno avuto l'obiettivo di garantire un servizio continuo e spesso anche in quasi tempo reale (NRT) per supportare la

² Il "colore" dell'oceano nei dati satellitari è determinato dalla presenza di alcune sostanze nell'acqua, in particolare il fitoplancton, e di particelle inorganiche.

determinazione ed il monitoraggio della qualità delle acque per i mari europei. Quest'obiettivo è stato realizzato trovando nuove soluzioni per:

- sfruttare al meglio i sistemi di acquisizione satellitari e gli archivi per acquisire dati in NRT;
- ricavare i parametri fisici dai dati EO, partendo dai sensori satellitari MERIS/MODIS/AVHRR sia utilizzando algoritmi standard (ESA/NASA/NOAA) sia trovandone di alternativi con lo scopo di regionalizzare i prodotti;
- usare le tecnologie allo stato dell'arte per la pubblicazione dei prodotti via web (webGIS);
- effettuare la validazione dei prodotti utilizzando misure *in situ* fornite dagli utenti stessi.

3 - La Validazione dei Servizi Qualità delle Acque in Marcoast

Le attività di validazione hanno avuto un ruolo primario in Marcoast ed hanno coinvolto sia i fornitori dei servizi che gli utenti. Queste consistono sia nella valutazione dell'accuratezza quantitativa dei dati, sia la qualità dei servizi, ossia quanto questi siano stati rispondenti agli accordi stipulati con gli utenti. Inoltre tale validazione ha preso in considerazione anche l'affidabilità e la puntualità della consegna dei prodotti ed eventuali commenti degli utenti in caso di problemi.

La validazione dei prodotti ottenuti dai dati satellitari mediante dati "indipendenti" di "verità" è stata effettuata principalmente utilizzando dati forniti dagli utenti: *in situ* (per esempio misure mediante navi, boe automatiche, traghetti) e/o osservazioni da aereo e modelli ecologici.

Per garantire la massima trasparenza all'interno di Marcoast è stato definito un Bureau per la Validazione, indipendente dai *Provider*, che ha stabilito dei protocolli di validazione a seconda della tipologia di servizio ed adattato alle convenzioni utilizzate dagli utenti per le misure dei vari parametri. Il confronto tra dati satellitari e dati indipendenti è stato effettuato seguendo due criteri: 1) stesse coordinate geografiche del dato di verità e del dato satellitare (entro 1/2 pixel); 2) i due dati devono corrispondere almeno allo stesso giorno.

Inoltre è stata effettuata una valutazione dei risultati dalla prospettiva degli utenti, mediante dei questionari: tutti i servizi sono stati accettati con commenti positivi dagli utenti e giudicati adeguati per le loro necessità, in particolare sono sempre stati rispettati le tempistiche previste e qualsiasi problematica è stata segnalata con tempestività. In particolare la maggior parte degli utenti ha richiesto l'utilizzo dei dati MERIS FR (300m) giudicati più appropriati per il monitoraggio costiero. I risultati dell'attività di validazione sono stati differenti a seconda dei vari parametri considerati. Nel caso della concentrazione di clorofilla, nella maggior parte dei casi è stato calcolato un livello di confidenza con i dati *in situ* del 99.9%. Per la trasparenza, la concentrazione dei sedimenti sospesi e la SST, nella maggior parte dei casi sono stati calcolati livelli di confidenza del 95% o superiore. La validazione per la concentrazione di sostanza gialla e la riflettanza alla superficie del mar non è stata effettuata nella maggior parte dei casi per mancanza di dati *in situ* adeguati.

4 - Il servizio di Planetek Italia

Durante i tre anni della durata del progetto Marcoast, Planetek Italia ha fornito i seguenti servizi all'utente ISPRA e, per il 2008, all'ARPA Emilia Romagna e ARPA Campania:

Servizio sull'Adriatico, a partire dal 2006

- Chl (mg/m³) da dati MERIS e MODIS (satelliti ENVISAT dell'ESA e AQUA della NASA) a risoluzione di 1km
 - WT (disco Secchi, m) da dati MERIS a risoluzione di 1km
- Questi due servizi si basano sui dati forniti dal servizio Met-Ocean di Marcoast, che applica algoritmi standard dell'ESA e della NASA (OC3M) per la correzione atmosferica ed il calcolo dei parametri fisici per acque *Case 1*, o *Case 2* nel caso di aree costiere.
- SST da dati AVHRR a risoluzione di 1km, ottenuti dall'archivio EOWEB³.

Servizio sui mari Tirreno e Ligure, a partire dal 2007

³ Si veda: <http://eoweb.dlr.de:8080/index.html>

- Chl (mg/m³) da dati MERIS e MODIS di livello 2, alla risoluzione di 1km, acquisiti dagli archivi in tempo reale di ESA e NASA.
- Chl (mg/m³) da dati MERIS FR di Livello 1, alla risoluzione di 300 m, acquisiti dall'archivio in tempo reale di ESA e processati utilizzando l'algoritmo C2R⁴ per la correzione atmosferica ed il calcolo della clorofilla.
- SST da dati AVHRR a risoluzione di 1km, ottenuti dall'archivio EOWEB.

Servizio sui mari Greci, a partire dal 2008

- Chl (mg/m³) e WT (disco Secchi, m) da dati MERIS FR di Livello 1, risoluzione di 300 m, con le stesse modalità del servizio sui mari Tirreno e Ligure. Per tale prodotto è stata realizzata una catena di processamento *ad hoc*.
- SST da dati AVHRR a risoluzione di 1km, ottenuti dall'archivio EOWEB.

Tutti i prodotti per i tre servizi sono generati giornalmente in quasi tempo reale, successivamente sono calcolate le medie su 10 giorni e mensili, e consistono in mappe georiferite (si veda il prodotto di esempio in

Figura 1) e mappe tematizzate pubblicate su un portale WebGIS⁵ basato su "Cart@net® WebGIS solution" sviluppato da Planetek Italia, che offre estensive possibilità di ricerca per selezionare un prodotto (data, area, tipo di parametro, ecc). Il portale WebGIS è liberamente accessibile, mentre il download dei prodotti è disponibile solo per gli utenti Marcoast.



Figura 1. Esempio di prodotto Chl mensile (Maggio 2007), alla risoluzione di 300m.

5 - Validazione dei prodotti forniti da Planetek Italia

Nel corso dei tre anni del progetto Marcoast è stata effettuata la validazione dei prodotti generati utilizzando i seguenti dati di verità indipendenti:

- dati *in situ* su determinati siti distribuiti lungo la costa italiana del mar Adriatico (2006)
- dati *in situ* su determinati siti distribuiti lungo le coste della regione Emilia Romagna (2007)
- dati *in situ* raccolti mediante una campagna a mare appositamente progettata, in un'area marina protetta relativa ad alcune isole del mar Egeo orientale (2008).

Le coppie corrispondenti di dati EO e dati *in situ* per le varie analisi sono state identificate secondo i criteri generali definiti dal progetto Marcoast, comunque è importante sottolineare la differenza intrinseca tra i due differenti strumenti di monitoraggio:

- i dati da satellite e quelli *in situ* sono presi a differenti orari dello stesso giorno;
- i valori dei parametri misurati *in situ* possono essere considerati "puntuali", mentre i dati da satellite rappresentano una media su un'area di 1km x 1km (dimensioni del pixel) che comprende il sito di monitoraggio;
- nel dato da satellite i pixel molto vicini alla costa sono spesso troppo rumorosi;
- può capitare che due siti di misura costieri siano compresi nello stesso pixel.

La validazione è stata effettuata a partire da tali coppie, utilizzando analisi statistiche e serie temporali. Inoltre per la clorofilla è stata effettuata un'analisi di 10 siti selezionati dall'utente come

⁴ <http://www.brockmann-consult.de/beam/software/repositories/4.6.1/beam-meris-case2-regional-1.3.3/about.html>

⁵ Si veda: <http://cartanetimca.planetek.it/MarcoastHome.asp>

stazioni di inter-calibrazione per il mare Adriatico all'interno del "Mediterranean GIG" (*Geographic Inter-calibration Group for the Mediterranean Ecoregion*). I 10 siti sono caratterizzati da differenti condizioni antropiche ed idrodinamiche, dipendenti dalla presenza o meno di fiumi con un'alta concentrazione di nutrienti (Bacci, 2006).

Risultati della validazione

Per quanto riguarda il mar Adriatico, sono stati utilizzati i dati in situ del database Si.Di.Mar (Sistema Difesa MARE). La banca dati del SiDiMar raccoglie (A.M. Cicero & Di Girolamo, 2001) i dati provenienti dalle reti di osservazioni regionali sull'ambiente marino e li mette a disposizione degli utenti via internet. I dati a disposizione sono relativi alle aree costiere italiane nel mar Adriatico (sino a 3 chilometri dalla costa) nell'anno 2006 e si sono considerate solo le misure superficiali (0 – 0.5 m) di Chl e di SST, oltre alla misura della WT tramite disco Secchi.

Il numero di coppie selezionato ed il coefficiente di correlazione per i tre parametri considerati sono riportati in **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**

Parametro	Numero di coppie	Coeff. di correlaz.(r)
Chl-a (mg/m3)	120	0.706
SST (°C)	280	0.940
WT (m)	91	0.714

Tabella 1. Risultato dell'analisi di regressione sul mare Adriatico (dati SiDiMar 2006)

Per le coste dell'Emilia Romagna sono stati utilizzati i dati di alcune campagne a mare effettuate nel corso dell'anno 2007 dall'ARPA Emilia Romagna in alcuni siti predefiniti lungo le coste regionali (coincidenti con quelli del SiDiMar). In tali campagne si sono considerate solo le misure superficiali (0 – 0.5 m) di concentrazione di clorofilla e di temperatura.

In questo caso le coppie valide di dati *in situ* vs misure da satellite sono state 160 ed i risultati dell'analisi di regressione sono compatibili con quelli ottenuti precedentemente per l'intero Adriatico ($r=0.65$ per la clorofilla e $r=0.92$ per la temperatura superficiale).

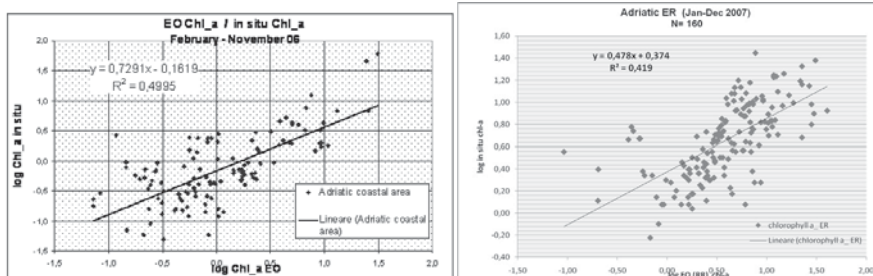


Figura 2. Risultati dell'analisi di regressione fra le coppie di dati in situ e dati da satellite per la clorofilla, per i dati SiDiMar 2006 sul mare Adriatico (a sinistra) e per i dati delle campagne a mare dell'ARPA Emilia Romagna del 2007 sulle coste regionali (a destra).

Dato il numero ridotto dei dati a disposizione, ulteriori analisi di validazione condotte sul parametro clorofilla per il mare Adriatico sono state:

- serie temporali
- Percentile 90 (P90) stagionale per due stazioni classificate di tipo 1 (Cesenatico, Cattolica: siti fortemente influenzati da versamenti a mare da siti fluviali) ed una di tipo 3 (Isole Tremiti: siti non influenzati da versamenti a mare) secondo la classificazione della WFD europea⁶.

⁶ Si veda: Med-GIG, 2007. WFD Intercalibration technical report for coastal and transitional waters in the Mediterranean ecoregion. In: WFD Intercalibration technical report, Part 3: Coastal and transitional waters.

Sia le serie temporali che il P90 hanno confermato che la concentrazione di clorofilla ottenuta dal dato satellitare segue l'andamento stagionale atteso. In particolare la classificazione delle acque ottenuta utilizzando il P90 è risultata in buon accordo con studi effettuati dall'ARPA Emilia Romagna nei due siti di Cesenatico e Cattolica (ARPA Emilia Romagna, 2007).

Per quanto riguarda il mar Egeo orientale la campagna a mare è stata effettuata fra 15/8 e 8/9/2008 ed ha interessato l'area marina compresa fra le isole di Ikaria, Samos, Foruni e Patmos, nel nord del Dodecanneso, caratterizzata da acque profonde e di tipo oligotrofico, che per il mese di agosto presentano tipicamente (Dodd, 2008) bassi valori di clorofilla ed alti valori di trasparenza. Le misure considerate solo le misure superficiali (0 – 0.5 m) di Chl e SST, oltre alla misura della WT.

Purtroppo da tali misure è stato possibile estrarre un ridotto numero di coppie valide e quindi non è stato possibile effettuare l'analisi di regressione.

Un altro tipo di analisi condotta è stato il calcolo del P90 per 10 stazioni di interesse per l'utente, distribuite lungo tutte le coste della Grecia. Da tali analisi è emerso che le differenti tipologie di acque sono correttamente evidenziate dal dato satellitare, inoltre la variazione stagionale osservata è concorde con quella attesa (Dodd, 2008).

6 - Marcoast 2

MarCoast 2 rappresenta un'estensione di MarCoast, anch'essa della durata di 3 anni (2009-2011), che ha lo scopo di garantirne la continuità ed il miglioramento dei servizi operativi ed al tempo stesso di creare le condizioni per favorirne l'auto-sostenibilità finanziaria e l'estensione a nuovi utenti. Tale progetto avrà inizio nell'autunno 2009 ed è basato su tre principali attività:

- l'attività principale consisterà nella continuazione della fornitura dei servizi ai vari utenti, principalmente con le stesse caratteristiche e modalità di MarCoast;
- ulteriore qualificazione e validazione di servizi e prodotti in stretta collaborazione con gli utenti;
- coordinazione dei servizi forniti dai vari *Provider* con lo scopo di raggiungere l'obiettivo finale dell'auto-sostenibilità finanziaria degli stessi, in particolare mediante:
 - realizzazione di un "Service Network" che individuerà nel lungo termine gli ambiti di applicazione in cui potranno essere trasferiti le varie tipologie di servizio;
 - evoluzione del portafoglio di servizi in cooperazione con altri progetti europei e nazionali, per ottenere una migliore corrispondenza con le aspettative (e l'interesse) degli utenti.

In particolare in MarCoast2 ci saranno 3 linee di servizi:

- Servizi di Monitoraggio di Qualità delle Acque (WQM) che genererà 14 linee di prodotti, operate da 14 *Provider*, fra cui Planetek Italia che anche avrà il ruolo di coordinatore.
- Servizi di Indicatori di Qualità delle Acque (WQI) che genererà 5 linee di prodotti.
- Servizio di fornitura di dati di *Ocean Color* (OCD) operato da un unico *Provider*.

7 - Referenze

A.M. Cicero & Di Girolamo, "Metodologie Analitiche di Riferimento del Programma di Monitoraggio per il controllo dell'ambiente marino costiero (triennio 2001 – 2003)". Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio, ICRAM. ICRAM, Roma 2001.

Bacci T., Giovanardi F., Magaletti E., Mandra L., Nesti U., Russo S., Tomassetti P., Trabucco B.(2006). "Relazione finale - Progetto pilota di studio e sperimentazione per la valutazione della qualità delle acque marino-costiere - Programma di Ricerca EUWATER. Implementazione della Direttiva Quadro Europea sulle Acque". ICRAM publication, 1-194.

ARPA Emilia Romagna - Eutrofizzazione delle acque costiere dell'Emilia Romagna – rapporto annuale 2006 – Struttura Oceanografica Daphne – Dicembre 2007.

Dodd, N. D - "Chlorophyll a levels offshore Aegean Sea – Ikaria, Greece, as determined by colourimetric spectroscopy" (2008) – Archipelagos Institute of Marine & Environmental Research of the Aegean Sea (www.archipelago.gr).