

## Proceedings e report

121



CNR - IBIMET  
Comune di Livorno

Fondazione Clima e Sostenibilità  
Fondazione LEM - Livorno Euro Mediterranea  
Compagnia Portuale di Livorno

*Seventh International Symposium*

**MONITORING OF MEDITERRANEAN COASTAL AREAS:  
PROBLEMS AND MEASUREMENT TECHNIQUES**

*LIVORNO (ITALY) JUNE 19-20-21 2018*

*Patronized by*

**Accademia Nazionale dei Lincei**

**Università degli Studi di Firenze**

**Regione Toscana**

**Accademia dei Georgofili**

**Autorità di Sistema Portuale  
del Mar Tirreno Settentrionale**



# Seventh International Symposium. Monitoring of Mediterranean Coastal Areas

Problems and Measurement Techniques

Livorno (Italy) June 19-20-21, 2018

edited by

FABRIZIO BENINCASA

FIRENZE UNIVERSITY PRESS

2018

Seventh International Symposium : monitoring of Mediterranean Coastal Areas : Problems and Measurement Techniques : livorno (Italy) June 19-20-21, 2018 / edited by Fabrizio Benincasa. – Firenze : Firenze University Press, 2018.  
(Proceedings e report ; 121).

<http://digital.casalini.it/9788864538112>

ISBN 978-88-6453-811-2 (online)

Edited by: Fabrizio Benincasa  
Desktop publishing: Matteo De Vincenzi  
Graphic Design: Gianni Fasano  
Front cover photo: Cisternone Livorno (Italy), photo by Gianni Fasano  
Cover graphic design: Lettera Meccanica SRLs

#### *Peer Review Process*

All publications are submitted to an external refereeing process under the responsibility of the FUP Editorial Board and the Scientific Committees of the individual series. The works published in the FUP catalogue are evaluated and approved by the Editorial Board of the publishing house. For a more detailed description of the refereeing process we refer to the official documents published on the website and in the online catalogue of the FUP ([www.fupress.com](http://www.fupress.com)).

#### *Firenze University Press Editorial Board*

A. Dolfi (Editor-in-Chief), M. Boddi, A. Bucelli, R. Casalbuoni, M. Garzaniti, M.C. Grisolia, P. Guarnieri, R. Lanfredini, A. Lenzi, P. Lo Nostro, G. Mari, A. Mariani, P.M. Mariano, S. Marinai, R. Minuti, P. Nanni, G. Nigro, A. Perulli, M.C. Torricelli.

This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0: <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

CC 2018 Firenze University Press  
Università degli Studi di Firenze  
Firenze University Press  
via Cittadella, 7, 50144 Firenze, Italy  
[www.fupress.com](http://www.fupress.com)

- [15] Pajares G. - *Overview and current status of remote sensing applications based on unmanned aerial vehicles (UAVs)*. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*. (2015) 81(4), 281-329.
- [16] Park J., Seager T.P., Rao P.S.C., Convertino M., Linkov I. - *Integrating risk and resilience approaches to catastrophe management in engineering systems*. *Risk Analysis*. (2013) 33(3), 356-367.
- [17] <http://www502.regione.toscana.it/geoscopio/cartoteca.html>
- [18] <http://www.pcn.minambiente.it/mattm/>
- [19] <https://www.google.it/intl/it/earth/>

## CALYPSO: LA RETE RADAR HF PER IL MONITORAGGIO DELLE CORRENTI MARINE SUPERFICIALI NEL CANALE TRA LA SICILIA E MALTA (MAR MEDITERRANEO)

Giuseppe Ciraoło<sup>1</sup>, Aldo Drago<sup>2</sup>, Simone Cosoli<sup>3,4</sup>, Fulvio Capodici<sup>1</sup>, Antonino Maltese<sup>1</sup>, Adam Gauci<sup>2</sup>, Anthony Galea<sup>2</sup>, Joel Azzopardi<sup>2</sup>, Giuseppa Buscaino<sup>5</sup>, Francesco Raffa<sup>6</sup>, Salvatore Aronica<sup>5</sup>, Salvatore Mazzola<sup>5</sup> e Rosario Sinatra<sup>7</sup>

<sup>1</sup>Università degli Studi di Palermo – DICAM, viale delle Scienze, Ed. 8 – 90128 Palermo, tel. 091 23896527, fax 091 23860810, e-mail: [giuseppe.ciraolo@unipa.it](mailto:giuseppe.ciraolo@unipa.it)

<sup>2</sup>University of Malta, Physical Oceanography Research Group, Dept. of Geosciences, Msida, Malta

<sup>3</sup>Istituto Nazionale di Oceanografia e di Geofisica Sperimentale - OGS, Trieste, Italia

<sup>4</sup>The University of Western Australia, School of Civil, Environmental and Mining Engineering, Perth, Australia

<sup>5</sup>CNR - Istituto per l'Ambiente Marino Costiero, Capo Granitola, Italia

<sup>6</sup>CNR - Istituto di Geoscienze e Georisorse, Pisa, Italia

<sup>7</sup>Università degli Studi Di Catania, CUTGAN, Catania, Italia

**Riassunto** – Il canale tra le isole di Sicilia e Malta si trova in una delle principali rotte marittime del Mediterraneo e in una regione strategica per le piattaforme di estrazione petrolifera, quindi seriamente esposta al rischio di eventi di sversamento di idrocarburi in mare. Ciò può costituire una grave minaccia agli ecosistemi locali e alle attività economiche, tra le quali il turismo e la pesca. I danni derivanti da un eventuale sversamento sarebbero incalcolabili per l'arcipelago maltese, dove le risorse marine ed il turismo rappresentano i principali proventi economici e, in maniera analoga, per la Sicilia.

Le misure di prevenzione e di mitigazione, insieme a un rapido intervento e a un processo decisionale stabile e solido in caso di situazioni di emergenza, aiutano a minimizzare i rischi e a ridurre gli impatti. Grazie alla tecnologia radar ad alta frequenza (HF), la rete CALYPSO rappresenta lo strumento essenziale per il monitoraggio delle correnti superficiali del mare in tempo reale. La tecnologia radar HF fornisce uno strumento unico per determinare le correnti superficiali in tempo 'quasi' reale, consentendo l'applicazione efficace di modelli numerici di dispersione d'inquinanti in mare. Tale metodologia permette di prevedere origine e destinazione dell'inquinante attraverso l'assimilazione dei dati nei modelli di circolazione oceanica, o tramite previsioni statistiche delle correnti marine a breve termine.

La rete CALYPSO, operativa da agosto 2012, è attualmente costituita da quattro sistemi *SeaSonde* (CODAR) che funzionano nella banda di frequenza dei 13.5 MHz. Le misure ottenute sono state ampiamente validate utilizzando sia correntometri che *drifters* che hanno ripetutamente fornito prove evidenti dell'affidabilità dei dati acquisiti. Le osservazioni a lungo termine hanno consentito una nuova descrizione oceanografica dell'area, documentando la presenza di una quantità di caratteristiche finora mai segnalate con un simile dettaglio spaziale e temporale.



**Abstract** – *The Malta-Sicily Channel is located within one of the busiest commercial routes in the Mediterranean Sea. Due to the presence of oil tankers and oil rigs, this stretch of sea is prone to oil spill events (both deliberate or accidental) with potentially significant impacts on the local ecosystems and economic activities, such as fishing and tourism activities. Prevention and mitigation measures are needed to reduce risks and impacts. Within this framework the high-frequency (HF) radar technology is able to monitor in near-real time surface currents and waves, thus representing an extraordinary tool to reduce the impact of marine pollution events. Assimilation of near real-time surface current data into numerical models greatly improves the short-term forecast of sea state conditions and, consequently, the forecast of oil spill movements and fate. This paper describes the characteristics and potential of the CALYPSO HF radar observing system. The network, in operation since August 2012, currently includes 4 SeaSonde (CODAR) HF radars working at 13.5 MHz. The system is able to provide 2D surface current maps of the Malta-Sicily Channel with high resolution over a 3x3 km grid, every hour. Surface currents derived by the CALYPSO system were validated using independent measurements (acoustic current meter and drifters), and their accuracy extensively proven. The long term datasets show unprecedented descriptions of surface currents patterns within the studied area.*

## Introduzione

Il mar Mediterraneo costituisce una delle aree del mondo maggiormente interessate da trasporto di idrocarburi mediante petroliere. Questo intenso traffico marittimo è imputabile evidentemente alla sua posizione costituendo, infatti, uno dei principali accessi ai porti del Medio Oriente, tramite il canale di Suez, e ai porti dell’Africa Settentrionale. A tutto ciò si aggiunge che, in Italia, l’approvvigionamento di idrocarburi avviene prevalentemente via mare. Questo livello di traffico è testimoniato da una semplice consultazione di database on-line ([www.marinetraffic.com](http://www.marinetraffic.com)) delle rotte percorse da *oil tankers* in quest’area marina.

È ovvio che questo intenso traffico comporta un incremento del rischio di inquinamento da idrocarburi, determinato da rilasci accidentali o deliberati di materiale o di emulsioni (ad esempio dovute a scarichi illegali in mare di acque di lavaggio delle cisterne). A tutto ciò si aggiunge la caratteristica di mare semi-chiuso del Mediterraneo che comporta una ulteriore probabilità di maggior concentrazione di queste sostanze, una volta rilasciate nell’ambiente. Gli ecosistemi marini del Mediterraneo sono, pertanto, soggetti ad un elevato rischio di contaminazione che, a seconda dell’evento, può determinare la distruzione di delicati equilibri ecologici.

Un report di ISPRA [1] sugli sversamenti di prodotti petroliferi riporta alcuni dati sugli sversamenti di idrocarburi nel Mediterraneo. Dal report si desume che fra il primo agosto 1977 e il 31 dicembre 2010, circa 312 000 tonnellate di petrolio sono state sversate nel Mediterraneo a seguito di 545 eventi. Lo stesso report riporta i danni potenziali di questi sversamenti sui vari comparti biologici (flora e fauna) e sulle aree costiere. Tali danni hanno ovviamente un effetto negativo anche su importanti attività economiche, quali pesca e turismo.

La Comunità Europea ha sviluppato una notevole sensibilità a queste problematiche, definendo norme e procedure per limitare tali rischi (si veda il regolamento 417/2002/CE; il regolamento 2172 del 17 dicembre 2004 e il regolamento 457 del 25 aprile 2007), e obbligando gli stati membri ad autorizzare il trasporto di idrocarburi solo tramite petroliere a doppio

scafo. Inoltre è stata istituita una agenzia deputata al monitoraggio e alla sorveglianza di tali sversamenti (EMSA – *European Maritime Safety Agency*). EMSA ha implementato il “*Copernicus Maritime Surveillance (CMS) service*” che, tramite osservazioni satellitari, fornisce agli stati membri un servizio per il monitoraggio degli sversamenti e, in generale, delle attività in mare. È evidente che, per il monitoraggio degli sversamenti di petrolio, è necessario realizzare un programma di monitoraggio regolare su aree così vaste da non poter essere controllate con tecniche tradizionali (quali osservazioni dirette tramite navi o aerei).

Il telerilevamento satellitare offre una soluzione rapida, efficace ed economica a tale problematica. L’uso di sensori attivi costituisce uno strumento utile per l’individuazione delle chiazze di petrolio su aree molto estese. In particolare, i sensori radar ad apertura sintetica, o SAR (*Synthetic Aperture Radar*), sono in grado di acquisire informazioni indipendentemente dalla presenza di copertura nuvolosa o dalla illuminazione solare. In virtù della differente rugosità superficiale delle aree affette da sversamento di idrocarburi, esse appaiono come zone “scure” nelle immagini SAR. L’ampia disponibilità di immagini acquisite da diverse piattaforme (ad esempio COSMO-SkyMed, Sentinel-1, JERS, RADARSAT, e simili) consente di effettuare un monitoraggio con frequenza almeno giornaliera su tutto il Mediterraneo [2].

Una volta che la posizione di uno sversamento è stata individuata, è fondamentale prevederne la traiettoria per la messa in campo di eventuali azioni di contenimento o mitigazione del danno. È chiaro che la rapidità d’intervento costituisce un elemento chiave per la mitigazione del danno. Lo sversamento è, infatti, soggetto a fenomeni di *weathering* ad opera del vento e della radiazione solare, che ne fanno cambiare lo stato e il peso specifico fino a causarne un affondamento e, di conseguenza, limitando la capacità di prevederne il percorso. La previsione della traiettoria dello sversamento può essere realizzata mediante l’uso di modelli idrodinamici molto complessi la cui precisione dipende dall’accuratezza delle condizioni iniziali e al contorno, oltre che delle forzanti, le quali molto spesso derivano da modelli a più larga scala.

In questo contesto, i sistemi HF radar da terra forniscono una soluzione efficace a tale problema poiché sono in grado di misurare le correnti marine superficiali con un’elevata risoluzione temporale (oraria) ed un’adeguata scala spaziale (chilometrica). I sistemi HF, inizialmente messi a punto per scopi di ricerca, sono divenuti in tutto il mondo strumenti di misura largamente utilizzati a supporto delle attività di *Search and Rescue* e di monitoraggio dell’inquinamento marino, con particolare riferimento agli sversamenti da idrocarburi accidentali e/o deliberati (*oil spills*).

Il numero d’installazioni HF nel mondo è considerevolmente aumentato negli ultimi anni: le coste degli Stati Uniti sono monitorate in continuo da una serie di reti di rivelazione HF. Anche in Europa, le installazioni HF sono in costante aumento, con esempi di rete transfrontaliera in Spagna, Francia, Italia, Malta e Grecia. In Italia sono presenti installazioni nel Golfo di Napoli, in Toscana, in Liguria, nel Golfo di Trieste e nel Canale siculo-maltese (<http://global-hfradar.org/references.html>).

In questo lavoro vengono descritte le caratteristiche del sistema CALYPSO, una rete di quattro radar HF implementata nell’ambito delle attività del P.O. Italia-Malta 2007-2013 ([www.capemalta.net/calypso](http://www.capemalta.net/calypso)). Questo progetto è stato sviluppato da un partenariato composto da partner maltesi e partner italiani. Questi sono: l’Università di Malta (*Physical Oceanography Research Group, Lead Partner* ed ideatore del progetto), *Transport Malta, Civil Protection Department, Armed Force of Malta*, l’Università degli Studi di

Palermo (*focal point* del partenariato siciliano), l'Università di Catania, l'ARPA Sicilia, il CNR IAMC (Capo Granitola) e con la collaborazione esterna dell'Istituto Nazionale di Oceanografia e di Geofisica Sperimentale (OGS) di Trieste.

## Materiali e Metodi

Il sistema CALYPSO è stato installato per il monitoraggio delle correnti superficiali e le onde nel tratto di mare compreso tra la Sicilia e Malta [3]. Tale zona è soggetta ad un intenso traffico navale, come è possibile dedurre dalla Figura 1, con una altissima percentuale di petroliere. Inoltre all'interno di tale area è presente una piattaforma petrolifera attiva (che al momento non ha dato problemi di sversamenti).



Figura 1 – Mappa della densità di traffico marittimo (fonte: [www.marinetraffic.com/it](http://www.marinetraffic.com/it)).

Le elaborazioni di immagini satellitari SAR effettuate dal presente gruppo di ricerca (non riportate) e dal *Joint Research Centre* (JRC) mostrano un'alta densità di macchie di sversamenti nell'area di studio [2]. La zona è sede di una importante area di nursery per la fauna ittica, mentre le zone costiere sono caratterizzate da aree ad alto valore ecologico, naturalistico e turistico. Appare dunque chiara la necessità di mettere a punto un sistema che permetta il monitoraggio in continuo delle correnti superficiali in tale area, in modo tale da fornire uno strumento efficace di intervento e di mitigazione del danno in caso di sversamenti di idrocarburi.

A partire dal 2011 il gruppo di ricerca si è attivato per la costruzione di una rete di radar HF per la realizzazione di tale strumento di monitoraggio. La Figura 2 riporta la collocazione delle quattro antenne radar HF del sistema CALYPSO. Due di esse sono installate a Malta (siti di Barkat e Sopus), mentre le altre due sono installate in Sicilia nei porti di Pozzallo e di Marina di Ragusa. La figura riporta anche il *range* di copertura di ogni singola

antenna (aree in grigio) che, come verrà descritto in seguito, costituisce un elemento essenziale per la costruzione delle mappe di corrente superficiale in 2D.

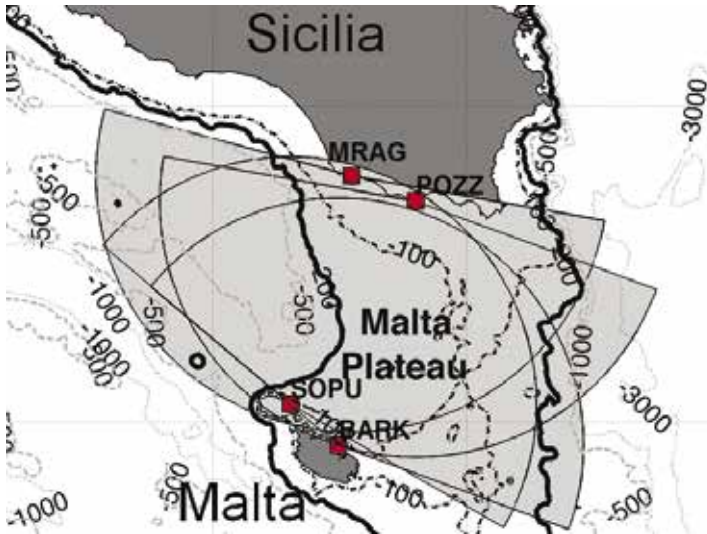


Figura 2 – Ubicazione delle antenne HF CALYPSO (quadrati in rosso).

Le installazioni sono costituite da antenne a stilo di altezza di circa 8 m, che lavorano nelle frequenze delle HF (*range* di frequenze 3-30 MHz) con una potenza di picco pari a 40 W (potenza operativa di  $\approx 20$  W). Le caratteristiche di tali installazioni impongono una loro ubicazione in prossimità della linea di costa (Figura 2, quadrati in rosso).

Il principio di funzionamento è quello dello *scattering* di Bragg. La superficie marina, se caratterizzata da moto ondoso, si comporta come un reticolo di Bragg. Se all'interno di una cella si verifica moto ondoso con lunghezza d'onda pari alla metà rispetto alla lunghezza d'onda radar, si attiva un'interferenza di tipo costruttiva che genera un segnale di ritorno verso l'antenna ricevente (picco di Bragg). Poiché le onde non comportano necessariamente un trasporto di massa (corrente), è noto lo *shift doppler* teorico del moto ondoso a seconda che il treno di onde si avvicini o si allontani dall'antenna. Se oltre al moto ondoso è presente una corrente, si genera un ulteriore *shift doppler* che è funzione della velocità in avvicinamento o in allontanamento della corrente della singola cella rispetto all'antenna. Per tale ragione, ogni singola antenna registra velocità radiali e solo la composizione di osservazioni di più antenne (*combined*) consente la costruzione delle mappe 2D delle correnti superficiali. Spesso si fa in modo che la rete sia ridondante, cioè siano presenti più di 2 antenne per incrementare l'accuratezza della mappatura del campo di velocità. Per maggiori informazioni sulla teoria e sulla metodologia si faccia riferimento a [4] ed a [5] e [6].

Il sistema CALYPSO restituisce mappe delle correnti superficiali a scala oraria e con una risoluzione spaziale di 3 km. La superficie monitorata è di circa 8 000 km<sup>2</sup>. Il sistema è stato validato mediante confronto con *drifters* e misure correntometriche.

L'accesso ai dati CALYPSO è pubblico tramite i seguenti portali web:

- <http://portus-malt.qrms.net/portus/>;
- <http://portus-sici.qrms.net/portus/>
- <http://oceania.research.um.edu.mt:8080/CalypsoService/currents.html>,

ed è stata inoltre implementata l'App per *smarthphone* KAPTAN disponibile via *GooglePlay* ed *Apple Store*.

Maggiori informazioni sul progetto possono essere ottenute mediante la consultazione del sito web: <http://www.capemalta.net/calypso>.

## Risultati

Il sistema CALYPSO, dall'agosto 2012 acquisisce dati di correnti superficiali nel canale siculo-maltese. I livelli di accuratezza del sistema CALYPSO sono analoghi a quanto riportato in letteratura per lo stesso tipo di sistema di misura [4].

La disponibilità di questi dati ha permesso di avere una visione aggiornata delle strutture di circolazione nel canale. Da un lato ha rilevato la presenza di correnti di tipo diurno e semidiurno, relativamente deboli, che tendono ad intensificare in corrispondenza del plateau maltese in risposta alle variazioni della batimetria locale [7].

Una analisi approfondita del segnale di bassa frequenza ha evidenziato la presenza di una corrente prevalente da nordovest a sudest (Figura 3, pannelli di sinistra), associata alla *Atlantic Ionian Stream* (AIS) come struttura di circolazione dominante nella regione, e al flusso geostrofico, che hanno l'effetto principale di un trasporto zonale o meridionale, dalla costa siciliana alla costa maltese.

L'analisi combinata dei dati radar e *drifter* mostra inoltre la presenza di strutture vorticosi di grandi dimensioni (Figura 3, pannelli di sinistra) che possono persistere anche per periodi prolungati (anche di 40 giorni).

Evidenze sperimentali dei dati *drifter* combinati con i dati radar suggeriscono, nel primo caso, un trasporto zonale o meridionale dalla costa siciliana alla costa maltese, con tempo di residenza di pochi giorni nel caso in cui un *oil spill* sia catturato dalle strutture a getto. Nel caso opposto, i tempi di permanenza all'interno dei vortici possono raggiungere i 40 giorni. Ciò comporta la possibilità di una lunga permanenza di eventuali sversamenti e, quindi, un'alta probabilità d'inquinamento da idrocarburi di questa area.

Analisi delle serie temporali di moto ondoso da dati radar CALYPSO mostrano che le altezze d'onda significativa nel canale di Sicilia possono raggiungere o superare il valore di 8 m in occasione di eventi meteorologici particolarmente intensi [8].

La conoscenza, a scala oraria, della distribuzione spaziale delle correnti superficiali consente di prevedere la traiettoria delle "macchie" di sversamenti individuate con metodi satellitari o segnalazioni dirette. Inoltre, tramite l'applicazione di tecniche di *backtracking*, è possibile ricostruire la traiettoria che il singolo sversamento ha percorso nel recente passato.

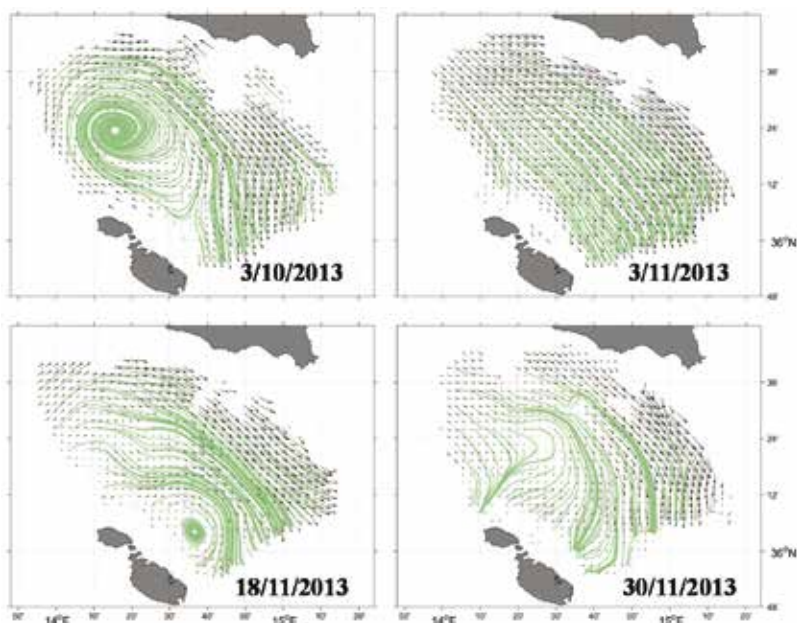


Figura 3 – Campi di corrente media giornaliera misurate dalla rete CALYPSO (in verde sono riportate le linee di flusso relative al campo di corrente).

## Conclusioni

I risultati conseguiti dalle analisi dei dati raccolti dal sistema CALYPSO hanno consentito di ottenere una nuova rappresentazione oceanografica dell'area, documentando la presenza di caratteristiche non segnalate in precedenza. Va sottolineata l'operatività del sistema, che va ben oltre la conclusione temporale del progetto di ricerca.

La rete CALYPSO è in fase di ulteriore espansione tramite nuovi finanziamenti (progetto CALYPSO SOUTH) che prevedono l'aggiunta di una ulteriore antenna sulla costa siciliana e di due sulla costa sud dell'arcipelago maltese. Ciò consentirà di raddoppiare l'area soggetta a monitoraggio. La rete di osservazione CALYPSO rappresenta, pertanto, un esempio efficace di cooperazione transfrontaliera, e indica la direzione da intraprendere per soddisfare le esigenze europee nel campo della mappatura di precisione delle correnti marine superficiali.

## Ringraziamenti

Gli autori desiderano ringraziare la Dott.ssa Alba Abbate e la Dott.ssa Marija Attard per il loro continuo e prezioso supporto durante l'implementazione del progetto. Un ringraziamento particolare va a tutto lo staff del Segretariato Tecnico Congiunto del P.O. Italia-Malta 2007-2013.