

Report attività svolta dal Gruppo di Oceanografia di IAMC/CNR di Torregrande (Oristano) nell'ambito delle attività di *Search & Rescue* (Squalo 2014)

Roberto Sorgente¹, Costanza Tedesco¹, Alberto Ribotti¹, Antonio Olita¹, Andrea Satta¹, Antonia di Maio², Federica Pessini¹, Leopoldo Fazioli¹.

¹ IAMC/CNR Oristano

² INSEAN/CNR Roma

Sommario

In data 9 settembre 2014 il gruppo di oceanografia dell'Istituto per l'Ambiente Marino Costiero (IAMC) di Torregrande (Oristano), del Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR), ha partecipato alla esercitazione di *Search and Rescue* (SAR) denominata "Squalo 2014". L'esercitazione è stata organizzata e coordinata dalla Direzione Marittima della Guardia Costiera di Cagliari e ha visto la partecipazione di numerosi enti (civili e militari) preposti alle operazioni di salvataggio e/o di supporto logistico.

La partecipazione del CNR ha visto come obiettivo specifico la caratterizzazione idrodinamica dell'area di studio utilizzando osservazioni Lagrangiane e modelli numerici di simulazione. L'obiettivo a lungo termine è la ideazione e la realizzazione di un sistema di supporto alle decisioni (*Decisional Support System*) capace di determinare l'area di ricerca ottimale (area di probabilità). Questo sarà possibile unendo tecniche di simulazione numerica di tipo deterministico (modelli idrodinamici costieri e moduli di dispersione Lagrangiana) con metodi statistici per la stima dell'errore ed il calcolo delle probabilità. Compatibilmente con le risorse disponibili (finanziarie, computazionali ed umane), l'intenzione è di proseguire la ricerca iniziata nel corso della esercitazione, testando un modello SAR denominato "Leeway" che ha le potenzialità per consentire lo sviluppo del suddetto DSS

Questa attività è stata finanziata nell'ambito del progetto bandiera RITMARE (SP3-WP4-AZ6 e SP5-WP4-AZ3).

Introduzione

La previsione numerica dell'idrodinamica marina da un punto di vista Lagrangiano, ovvero del percorso e della trasformazione di una singola particella d'acqua in movimento, è un problema di difficile risoluzione a causa della caoticità cui sono soggetti i fluidi turbolenti come quello marino. D'altro canto, si consideri che la conoscenza reale dei campi spaziali e temporali del vento e della corrente marina è fondamentale per il successo di un'operazione di ricerca in mare; questi infatti sono i vettori responsabili dello spostamento dei "target" (oggetti o corpi). Queste informazioni, unite a quelle relative alla descrizione dello specifico target, ovvero tipologia (uomo in mare, zattera, barile, ecc.), le sue caratteristiche geometriche (forma e dimensioni) e quelle di

galleggiabilità (peso, coefficiente di immersione, ecc.), possono dare un valido se non fondamentale supporto alle operazioni di SAR. Il modulo Leeway, in particolare, è in grado di descrivere il moto di corpi alla deriva tenendo conto non solo degli elementi caratterizzanti sopra esposti, ma anche dei cambiamenti che questo può subire durante il suo movimento in mare (per esempio cambiamento di galleggiabilità, di posizione rispetto al vento e alla corrente marina, ecc).

Le previsioni numeriche di trasporto e diffusione sono già documentate in letteratura oceanografica relativamente allo studio della dispersione di inquinanti, ovvero nei modelli di *oil-spill*, con risultati incoraggianti. I risultati di alcuni esperimenti in corso con l'utilizzo del modulo Leeway, invece, danno adito allo stesso tipo di ottimismo già evidenziato dai risultati dei modelli di *oil-spill*, ma è necessario in entrambi i casi perseguire sulla strada della sperimentazione.

L'integrazione dei dati ambientali (direzione e intensità del vento e della corrente marina), stimati dai sistemi di previsione numerica, fornirà al DSS informazioni in grado di indicare l'area di ricerca ottimale, ovvero quella in cui la probabilità di rilevamento del target è massima; questa indicazione verrà data tenendo conto di tutte le incertezze relative all'evento, quali la conoscenza del tempo e dello spazio dell'ultima posizione nota.

La simulazione numerica (previsione o migliore stima dello stato passato del mare, noto come analisi numerica) sarà in grado di indicare i cambiamenti nel tempo dell'area di ricerca, evidenziandone l'estensione e la direzione principale di spostamento. In questo modo, noti i mezzi di ricerca che verranno utilizzati e i rispettivi punti di partenza, ovvero noti i tempi entro i quali si può raggiungere una determinata area, i soccorritori vi si potranno dirigere ottimizzando lo sforzo.

Durante l'esercitazione Squalo 2014, al fine di caratterizzare sia l'idrodinamica marina che il movimento di un "target" in mare, sono stati effettuati due esperimenti, denominati rispettivamente *Large Scale* e *CostFed*, utilizzando flottanti Lagrangiani di superficie.

Esperimento *Large Scale*

In questo esperimento è stata lanciata una boa derivante, nota anche come *drifter* (Figura 1), tramite l'ausilio della motovedetta SAR della Guardia Costiera di Cagliari (Figura 2). Il *drifter* appartiene alla categoria degli strumenti di osservazione denominati "Lagrangiani", cioè capaci di seguire l'elemento di fluido; questi, inoltre, hanno la peculiarità di trasmettere, in tempo reale via satellite, la propria posizione e la temperatura superficiale dell'acqua.



Figura 1. Boa derivante o *drifter* utilizzata nell'esperimento.



Figura 2. Immagine della motovedetta SAR utilizzata per il lancio del *drifter* durante l'esperienza *Large Scale*.

Risultati:

Il *drifter* è stato lanciato il giorno 8 settembre 2014 nel punto di coordinate (39°N, 9° 15'E, ore 15^h 18' UTC, prima acquisizione satellitare) in condizioni di mare calmo e vento debole, come mostrato anche nella Figura 3, ed è terminato il giorno 2 ottobre 2014 nel punto di coordinate (38°N 39' N, 8°E 30' E, ore 14^h 01', ultima acquisizione).



Figura 3. Preparazione al lancio del *drifter* (a sinistra). Si noti l'ancora galleggiante, o vela sommersa, di colore arancione utilizzata per evitare un eccessivo trascinarsi del *drifter* per effetto del vento. Nella figura di destra, il *drifter* a mare immediatamente dopo il lancio.

La frequenza di acquisizione del dato di posizione (latitudine e longitudine) e della temperatura superficiale (da ora in poi denominati osservazioni) è stato impostato ogni 30 min. Durante l'esperienza, diverse osservazioni sono andate perse a causa di temporanee interruzioni della comunicazione con il satellite. Ciò nonostante il numero di dati acquisiti ci ha permesso di mettere in evidenza i numerosi processi oceanografici che caratterizzano l'idrodinamica del Golfo di Cagliari.

Durante il periodo di monitoraggio il Golfo di Cagliari è stato soggetto ad un regime di venti provenienti prevalentemente dai quadranti orientali (Figura 4).

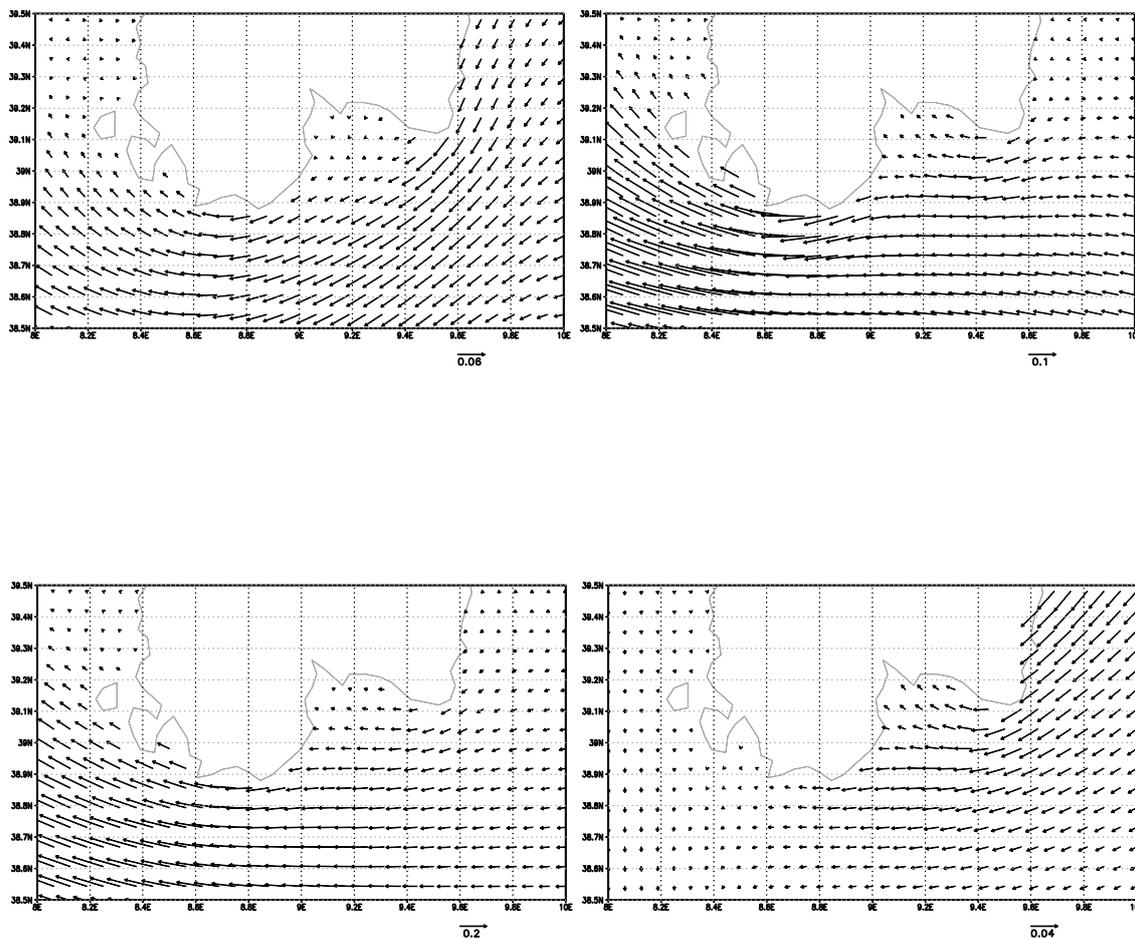


Figura 4. Campo medio giornaliero del vento alla superficie del mare per i giorni 9 (A), 17 (B), 28 settembre (C) e 2 ottobre 2014 (D). I dati sono ottenuti dal sistema di previsione meteorologica Skiron dell'Università di Atene. L'unità di misura è N/m^2 .

La traiettoria seguita dal *drifter* (Figura 5) rappresenta la risultante di diverse forze (sia di volume che di superficie) che agiscono contemporaneamente sul fluido nello spazio e nel tempo. L'analisi preliminare delle osservazioni mostra che la dinamica del Golfo di Cagliari è dominata principalmente dall'effetto del vento alla superficie (*wind-driven*) e dall'interazione con la costa.



Figura 5. Percorso seguito dal *drifter* dalle ore 17:30 UTC del giorno 8 settembre 2014 (indicato dalla freccia rossa) alle ore 14:01 UTC del giorno 2 ottobre 2014 (freccia gialla).

Ciò è stato evidente anche durante il monitoraggio lagrangiano nel periodo in esame; lo sforzo del vento alla superficie si manifesta mediante la corrente di deriva, nota anche come corrente di Ekman, che è dovuta all'effetto trascinalimento del vento sulla superficie del mare (*wind stress*). È noto che in condizioni di stazionarietà, ed in assenza di rilevanti gradienti di densità della colonna d'acqua, questa corrente è direttamente proporzionale all'intensità del vento, che cambia nello spazio e nel tempo, mentre la direzione della corrente è spostata di 45° a destra rispetto alla direzione del vento (a causa della rotazione terrestre). Nel periodo di indagine, essendo i venti principalmente di origine orientale, le correnti di deriva dovrebbero avere principalmente direzione occidentale su tutto il Golfo. Data la relativa bassa profondità, in particolare in corrispondenza della costa sia sul lato sottovento (la costa orientale del Golfo) che su quella sopravvento (la costa occidentale), il trasporto di massa associato alla corrente di Ekman genera anche una variazione spaziale del campo di pressione che, in equilibrio con la forza di Coriolis e l'attrito sul fondo, induce una corrente di gradiente che si manifesta su quasi tutto il Golfo sottoforma di vortice anti-ciclonico (orario). L'effetto combinato della corrente di deriva e quella di gradiente è mostrato nella figura 6. Quindi, è possibile ipotizzare che il movimento registrato dal *drifter* sia stato indotto principalmente da questa struttura.

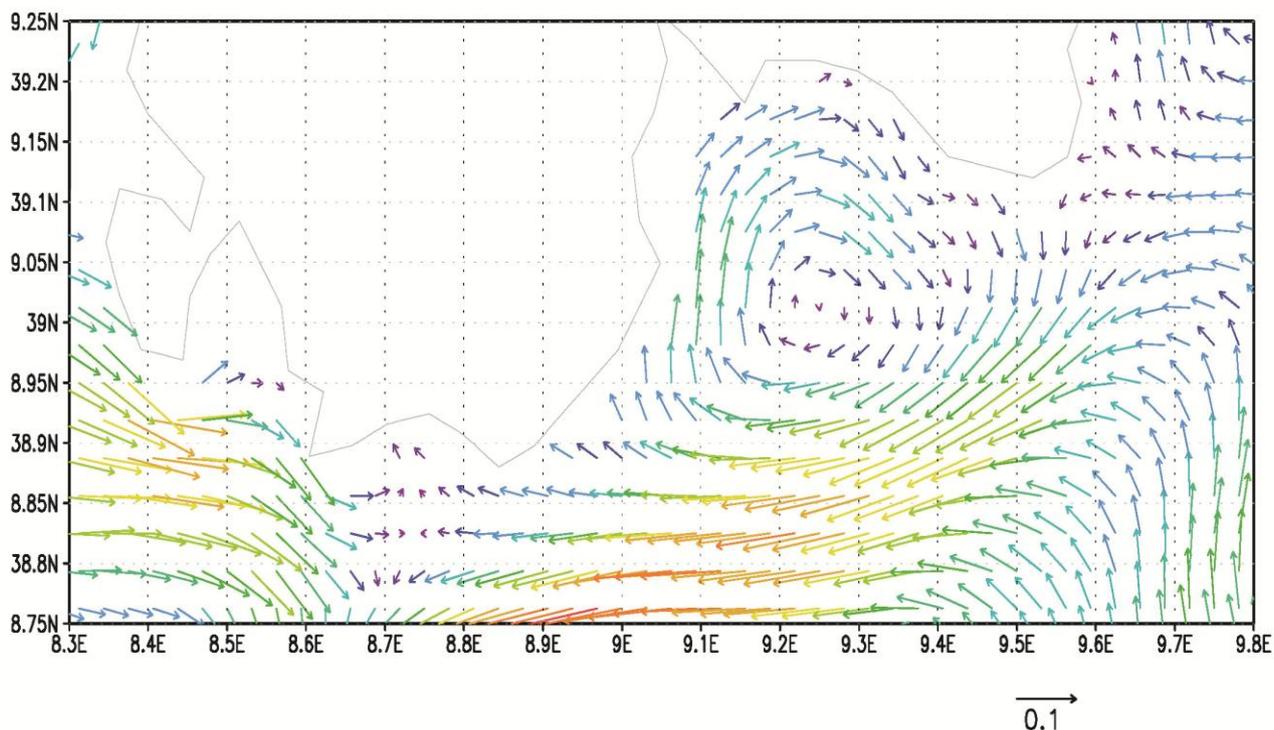


Figura 6. Campo medio giornaliero della velocità superficiale nel Golfo di Cagliari ottenuta dal modello numerico di simulazione WMED (www.seaforecast.cnr.it) per il giorno 12 settembre 2014. L'unità di misura delle velocità sono cm/s.

Tuttavia, la traiettoria seguita dal *drifter* presenta delle variazioni dalla direzione principale indotte dal vortice anti-ciclonico dovute alla variabilità spaziale e temporale dell'intensità e della direzione del vento e, in particolare, dai moti inerziali (note anche come *oscillazioni inerziali*) che tendono a formare delle piccole oscillazioni rispetto alla sua direzione principale. Come è noto in letteratura, questi moti si manifestano dopo l'effetto di trascinamento del vento sulla superficie del fluido che continua a muoversi solo per la sua inerzia come risultato dell'equilibrio tra la forza di Coriolis, la forza di gravità e la sua inerzia.

La presenza di questo vortice anti-ciclonico nel Golfo di Cagliari è confermato anche dal percorso seguito dal *drifter* nel suo spostamento dall'interno verso l'esterno del golfo, muovendosi lungo costa orientale sino ad arrivare in prossimità di Capo Boi – Villasimius (Figura 5).

Essa rappresenta la risultante delle correnti di Ekman, inerziali e di gradiente di pressione (probabilmente la più intensa). In particolare, questa corrente è stata generata dall'effetto set-up del vento che ha indotto sul lato orientale del golfo uno "spostamento" di massa dalla costa verso il largo, generando una variazione spaziale del campo di pressione delle superfici isobariche negativa (non mostrato). Questo gradiente orizzontale, in equilibrio con la forza di Coriolis, ha dato origine alla corrente di deriva diretta verso l'esterno del golfo. L'intensità media di questa corrente *longshore* è di circa 150 cm/s (circa 0.12 kn). Il ramo occidentale del vortice, invece, potrebbe essere stato parzialmente monitorato durante l'esperimento "CostFed", che verrà discusso nel paragrafo successivo.

Superata la piattaforma continentale (22 settembre 2014) il *drifter* si è spostato verso occidente trainato da una corrente superficiale di mare aperto e raggiungendo le vicinanze dell'Isola del Toro (a sud dell'Isola di S. Antioco), per poi deviare verso sud (Figura 5). Purtroppo l'acquisizione delle osservazioni si è interrotta dal 2 ottobre 2013 alle 14:01 UTC per motivi al momento sconosciuti.

La presenza di questa corrente occidentale è stata osservata anche durante un monitoraggio ambientale effettuato dalla NATO durante il mese di ottobre del 1996. I risultati della simulazione numerica della circolazione marina a scala regionale, ottenuti con il modello tridimensionale denominato WMED, indicano che questa corrente potrebbe favorire la formazione del vortice anti-ciclonico nel Golfo di Cagliari per effetto trascinamento. Questa tesi, però, necessita di ulteriori studi.

I risultati del modello WMED indicano anche che questa corrente potrebbe rappresentare il ramo superiore di una struttura di mesoscala di tipo ciclonica (anti-oraria) localizzata nel Canale di Sardegna (Figura 7). L'esistenza di questa ampia struttura è confermata da un'immagine satellitare di colore, in cui è ben evidente il fronte termico tra le acque costiere africane (lato inferiore del vortice) e la più bassa temperatura superficiale. Quest'ultima è presente in gran parte del Canale di Sardegna ed è dovuta al processo di *upwelling* indotto dall'ampia depressione ciclonica che interessa gran parte del suddetto Canale (Figura 8).

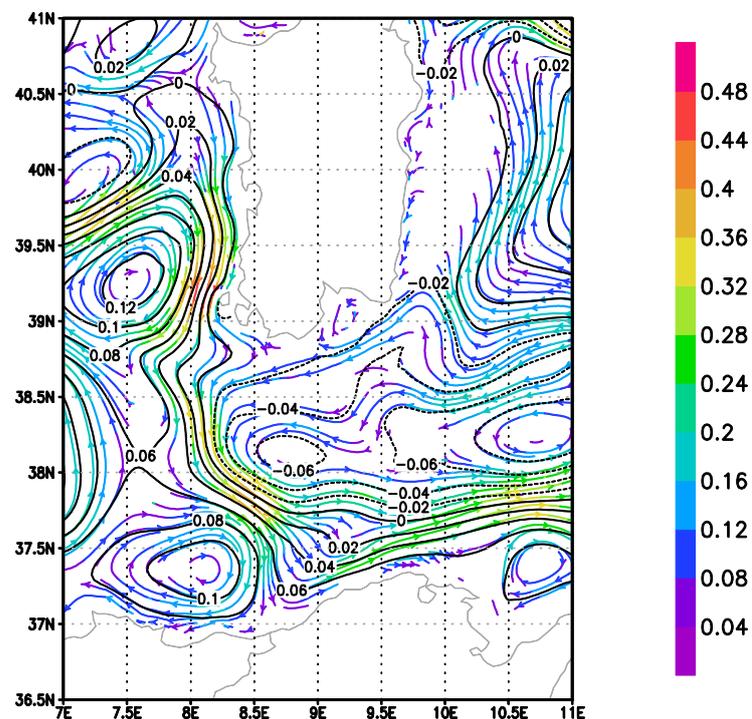


Figura 7. Simulazione numerica del campo medio giornaliero della velocità superficiale, sotto forma di linee di flusso (m/s), e del livello medio del mare (m) ottenute con il modello di previsione WMED (www.seaforecast.cnr.it). Da questa figura appare molto evidente la depressione nel Canale di Sardegna (massima profondità -0.06m) che induce il flusso di corrente occidentale a sud della Sardegna ed impone al flusso discendente dalla costa occidentale ad

attraversare trasversalmente il Canale di Sardegna sino approssimativamente alle coste africane per poi unirsi alla corrente Algerina.

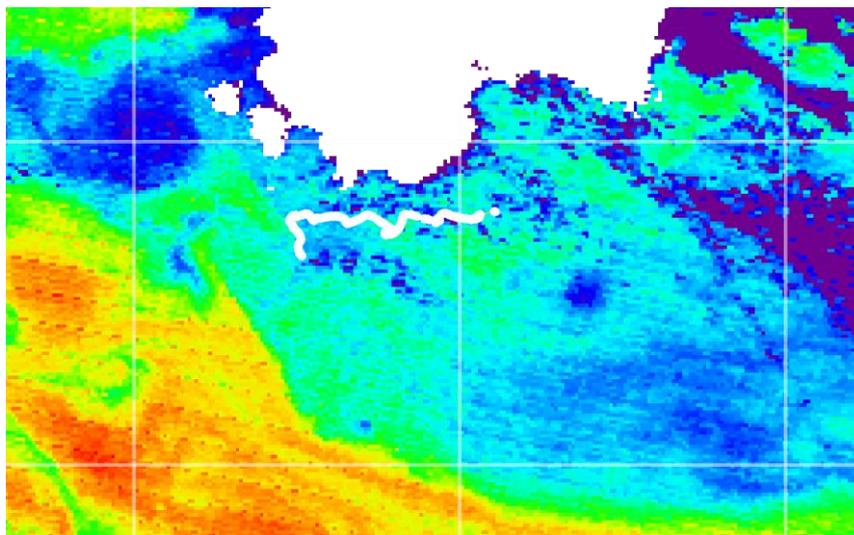


Figura 8. Osservazione satellitare della temperatura superficiale per il giorno 2 ottobre 2014. Il percorso del *drifter* è rappresentato dalla linee costituita da puntini bianchi.

Esperimento CostFed

In questo esperimento sono stati utilizzati due manichini denominati M1-720 e M2-730. Ogni manichino, costituito da una tuta riempita da bottiglie di plastica vuote con indosso un giubbotto di salvataggio (Figura 9), è stato legato ad un *drifter* dello stesso tipo di quello utilizzato nell'esperimento precedente (Figura 1). Il peso di ciascun manichino era di circa 20 kg (boa esclusa) per un'altezza di circa 150 cm. Obiettivo di questo esperimento era di simulare il trasporto di una persona indotto dal regime idrodinamico descritto e di confrontarlo con la simulazione numerica del modulo SAR.



Figura 9. A sinistra i due “manichini” utilizzati per l'esperimento *CostFed*. A destra prima della partenza per il trasporto nel punto di rilascio. Ad ognuno è stato agganciata la boa Lagrangiana per la determinazione della posizione con una frequenza temporale di 5'.

I due sistemi integrati manichino – boa M1-720 e M2-730 sono stati rilasciati il giorno 9 settembre 2014 alle ore 6:35 UTC (Figura 12) nel punto ipotetico di ammaraggio dell'aereo di linea in condizioni mare calmo e venti a regime di brezza (non mostrato). I due sistemi sono stati

posizionati ad una distanza tra di loro di circa 100 m e sono stati recuperati al termine dell'esercitazione. La strategia di posizionamento iniziale è stata scelta per stimare gli effetti della turbolenza della corrente marina e del vento sul corpo galleggiante.



Figura 10. Momento del lancio del sistema integrato boa Lagrangiana – manichino M1-720 nell'ipotetico punto di ammaraggio dell'aereo di linea. Sulla sinistra il *drifter* per il posizionamento temporale del manichino.

L'esperimento è durato meno di 4 ore (3^h 52' per M1-720 e 3^h 7' per M2-730). L'intervallo temporale è calcolato come differenza tra l'istante della prima acquisizione della boa e l'ultima (cioè prima di essere recuperato). In questo intervallo di tempo entrambi i sistemi hanno percorso, rispettivamente, circa 3.09 km per M1-720 (velocità media circa 27 cm/s) e 2.15 km (velocità media circa 15 cm/s) per M2-730. Il percorso seguito dai due sistemi è mostrato nella figura successiva.

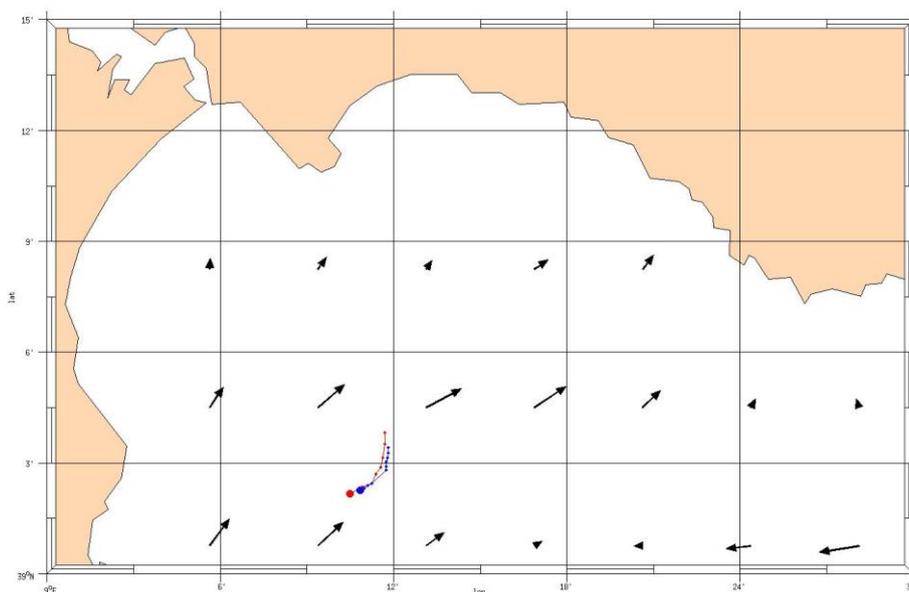


Figura 11. Distribuzione spaziale della posizione dei sistemi integrati M1-720 (linea blu) e del sistema M2-730 (linea rossa) durante l'esperimento CostFed. I sistemi sono stati rilasciati approssimativamente nella stessa posizione (punti in grassetto) alle ore 6:30 UTC del 9 settembre 2014 e l'ultimo è stato recuperato alle 11:30 UTC dello stesso giorno.

Come si può osservare dalla figura precedente, entrambi i sistemi si sono mossi approssimativamente nella stessa direzione, ma con velocità (media) sensibilmente diversa (27

cm/s del sistema M1-720 rispetto ai 15 cm/s di M2-730). Il breve tratto percorso dai sistemi, purtroppo, non consente di ottenere risultati sulle capacità predittive sia del modello SAR che del modello numerico WMED utilizzato come forzante del modulo Leeway, sia in termini quantitativi che qualitativi. Questo a causa della bassa risoluzione spaziale del modello di circolazione impiegato WMED; quest'ultimo, infatti, presenta una risoluzione spaziale di circa 3 km, cioè pari alla distanza percorso dai due sistemi.

Conclusioni e sviluppi futuri

L'esperimento *Large Scale* condotto nel Golfo di Cagliari dal 9 settembre al 2 ottobre 2014 ha mostrato che la dinamica superficiale è caratterizzata principalmente dalla corrente di gradiente, di deriva e quella inerziale e che, per effetto della forma della batimetria del Golfo di Cagliari e la costa, si manifestano attraverso un vortice anti-ciclonico. La corrente di deriva è quella prodotta dall'azione del vento alla superficie del mare e questo movimento è trasmesso anche agli strati inferiori tramite la spirale di Ekman. L'intensità di questa corrente è proporzionale all'intensità del vento e tende a smorzarsi in profondità con andamento esponenziale per effetto delle modifiche delle caratteristiche chimico-fisiche della massa d'acqua (attrito interno). Nel moto inerziale, invece, la massa d'acqua, dopo l'effetto di trascinamento del vento, continua a muoversi solo per la sua inerzia come risultato dell'equilibrio tra la forza di Coriolis, la forza di gravità e l'inerzia. Si tratta di moti transitori che generalmente decadono dopo pochi giorni (dall'effetto spinta del vento) per effetto dell'attrito. La direzione della rotazione è anti-ciclonica (nell'emisfero nord) e queste correnti sono osservabili anche in profondità. I moti inerziali, quindi, non fanno altro che modificare nel tempo la direzione e intensità delle correnti di deriva a cui devono essere sommate anche le correnti di gradiente indotte dalla variazione spaziale del livello del mare. Il risultato combinato di questi effetti è una circolazione superficiale caratterizzata da un vortice anti-ciclonico che sembra aver dominato l'idrodinamica del Golfo per gran parte del periodo di monitoraggio, mentre sulle aree di bassa profondità la dinamica è caratterizzata principalmente dalla corrente di deriva e le oscillazioni inerziali.

Al di fuori dalla piattaforma, approssimativamente al di sotto dei 200 m di profondità, la circolazione sembra essere influenzata anche dalle strutture di circolazione di mare aperto (o di mesoscala). Compatibilmente con le risorse umane disponibili, è intenzione di proseguire nell'attività di studio della caratterizzazione dinamica del Golfo di Cagliari ipotizzando un ulteriore monitoraggio con *drifter*, stazioni meteorologiche (misura dei parametri atmosferici) e mareografi (misura del livello del mare).

L'esperimento CostFed, invece, a causa del breve tratto percorso dai sistemi M1 e M2 (circa 3 km), non consente di fare una validazione quantitativa sulle capacità predittive sia del modello SAR che del modello numerico WMED, che viene utilizzato come forzante del modulo Leeway. Questo mette in evidenza la necessità di modelli numerici di simulazione ad altissima risoluzione (< 100 m) al fine di poter rispondere anche in situazioni di bassa dinamica e tempi brevi.