



**Gruppo Nazionale di Oceanografia  
Operativa**

***Esperimenti di Rapid  
Environmental Assessment:***

**Esperimento MREA07 nel  
Mare Ligure**



## **Partecipanti**

Istituto Idrografico della Marina: C.C. Maurizio DEMARTE

Centro Nazionale di Meteorologia e Climatologia Aeronautica: Col.  
Costante De Simone,

INGV: Nadia Pinardi, Paolo Oddo

Università di Bologna, Centro Interdipartimentale di Scienze  
Ambientali: Nicoletta Fabbroni

Istituto Nazionale di Oceanografia e Geofisica Sperimentale: Pierre  
Poulain

ENEA- Sez. Lerici: Giuseppe Manzella, Franco Reseghetti

ISMAR-CNR- Sez La Spezia: Annalisa Griffa

Autori Rapporto: N. Fabbroni, N.Pinardi



## Indice

<b>ESPERIMENTI DI RAPID ENVIRONMENTAL ASSESSMENT:</b> .....	<b>1</b>
<b>ESPERIMENTO MREA07 NEL MARE LIGURE</b> .....	<b>1</b>
<b>Partecipanti</b> .....	<b>2</b>
<b>Indice</b> .....	<b>3</b>
<b>INTRODUZIONE</b> .....	<b>4</b>
<b>ATTIVITA' OPERATIVA IN MARE</b> .....	<b>9</b>
CAMPAGNA ARETUSA .....	9
CAMPAGNA GALATEA .....	13
<b>CONFRONTO TRA IL MODELLO E I DATI</b> .....	<b>17</b>
CAMPAGNA ARETUSA .....	17
CAMPAGNA GALATEA .....	19
<b>DISCUSSIONE</b> .....	<b>21</b>



## INTRODUZIONE

L'esperimento di Marine Rapid Environmental Assessment nel Mar Ligure nel 2007 (chiamato MREA07) ha come obiettivi principali:

- 1) la collezione di dati oceanografici e la loro trasmissione a terra in tempo reale,
- 2) lo sviluppo di metodologie per il campionamento strategico, l'analisi e la previsione in tempo reale della circolazione dalle scale di bacino alle scale costiere
- 3) la previsione dello spostamento di inquinanti con i modelli e le metodologie MREA sviluppate.

La metodologia di REA nel campo marino è stata sviluppata dal gruppo di Harvard del Prof. Allan Robinson. La parte modellistica di tale metodologia, prevede un sistema rilocabile capace di utilizzare le osservazioni collezionate e le informazioni sulla climatologia, le uniche disponibili fino a pochi anni fa. L'avvento dell'oceanografia operativa a livello di Mare Mediterraneo permette ora di avere una analisi e previsione in tempo reale da modelli operativi esistenti nell'area. La tecnica MREA verrà quindi modificata per produrre previsioni dei campi di corrente ad altissima risoluzione orizzontale partendo sia dai dati collezionati che dai modelli operativi esistenti. Questi campi di corrente 'annidati ed altamente risolti' si pensa siano fondamentali per la previsione accurata della dispersione d'inquinanti sia in mare aperto che in prossimità della costa. Lo sviluppo di queste tecniche di MREA è fondamentale per la salvaguardia dell'ambiente marino, per uno sviluppo sostenibile e per l'adozione di strategie di riduzione e controllo dell'inquinamento. Lo sviluppo infatti di un efficiente sistema di previsione dello spostamento permetterà sia una migliore gestione dell'evento sia un'efficiente organizzazione dell'intervento in caso di versamenti in mare.

La prima parte dell'esperimento che riguarda la collezione di dati oceanografici è stata svolta dall'Istituto Idrografico della Marina Militare con due campagne oceanografiche. La prima campagna è stata condotta dal 7 al 9 Maggio dalla nave Aretusa mentre la seconda dal 4 al 18 Giugno con la nave Galatea.

La pianificazione delle aree di campionamento e dei transetti di CTD rispondono a una precisa strategia. L'obiettivo è di utilizzare i dati di CTD sia nell'assimilazione del modello



MFS a scala di bacino (da qui la trasmissione dei dati a terra in tempo reale) o nel modello rilocabile, sia per validare la previsione. Infatti i dati raccolti durante la prima campagna serviranno all'inizializzazione del modello rilocabile che verrà validato con i dati collezionati nella seconda crociera.

L'area di studio è il Mar Ligure e le aree di campionamento sono rappresentate in Fig 1 con il nome di ASI1 / ASI2.

Tra la campagna Aretusa e Galatea sono stati lanciati vicino alla boa ODAS (9.17° Longitudine e 43.79° Latitudine) anche 5 drifters dell'OGS che serviranno a validare il modello lagrangiano di dispersione accoppiato al modello rilocabile.



*Fig 1: Aree di studio nell'Esperimento MREA.*



Il modello numerico di circolazione che fornisce i campi di corrente per tutto il Mar Mediterraneo è MFS (Mediterranean Forecasting System) e funziona operativamente presso l'INGV sezione di Bologna. Questo modello rilascia tutti i giorni una previsione a dieci giorni della temperatura, salinità e delle correnti su tutta la colonna d'acqua: ha una risoluzione orizzontale di  $1/16^\circ \times 1/16^\circ$  e 72 livelli verticali (Tonani et al., 2007). Assimila inoltre settimanalmente tutti i dati da satellite di temperatura superficiale e dell'anomalia dell'altezza del livello del mare e i dati di profili di temperatura e salinità provenienti da CTD, XBT e boe ARGO (<http://www.bo.ingv.it/mfs>).

La risoluzione orizzontale di circa 6.5 km rappresenta un fattore limitante per la capacità del modello lagrangiano di prevedere la dispersione di particelle. MFS rappresenta un 'first guess' della circolazione su tutto il bacino che dovrà essere migliorato secondo crescendo la risoluzione verticale e orizzontale in aree spaziali limitate. E' da qui che nasce l'esigenza di usare un modello rilocabile, annidato in MFS, capace sia di usare le informazioni collezionate nell'area di interesse che di crescere la risoluzione e quindi la dinamica risolta esplicitamente dal modello.<sup>1</sup> Naturalmente l'annidamento dovrà essere rapido e quindi le soluzioni di annidamento dovranno essere studiate con attenzione ed una serie di soluzioni dovranno essere trovate per varie circostanze 'tipiche' della circolazione, quali correnti a getto di mare aperto, correnti costiere intensificate, vortici di mesoscala vicini alla costa e in mare aperto, etc..

Il modello rilocabile che verrà utilizzato in questo progetto è l'Harvard Ocean Prediction System (HOPS). A partire dal modello di circolazione generale si effettueranno successivi annidamenti con crescita progressiva della scala risolta delle correnti per valutare, attraverso

---

<sup>1</sup> E' infatti noto che le soluzioni delle equazioni del moto sono molto nonlineari alla mesoscala e nelle zone costiere in particolare: Un modello a bassa risoluzione inibisce la non-linearità (i termini non lineari sono inversamente proporzionali al passo di griglia) e quindi si dice che il modello non 'risolve' le scale del moto sotto un certo numero di passi di griglia (normalmente sette-otto). Sotto questa scala prevale la forma della dissipazione scelta per il modello (sub-grid-scale parametrization) e l'errore dovuto al troncamento numerico dello schema numerico.



una serie di simulazioni, quale sia la risoluzione ottimale del campo di corrente al fine di ottenere traiettorie realistiche di particelle.

In dettaglio verranno effettuati a partire dall'output di MFS tre annidamenti (Fig 1):

- il primo annidamento interesserà l'area MREA07, si passerà dalla risoluzione orizzontale di circa 6 km del modello di circolazione generale a una risoluzione di circa 3 km;
- il secondo annidamento sarà effettuato sull'area ASI1, con una risoluzione orizzontale di 1.5 km;
- il terzo e ultimo annidamento verrà implementato nell'area ASI2 con una risoluzione finale di 750 metri.

I campi di corrente prodotti con il modello rilocabile verranno utilizzati dal modello lagrangiano per la previsione della dispersione di particelle di inquinante supposto essere non chimicamente attivo e con una densità pari a quella dell'acqua in cui è immerso. Il modello di previsione della dispersione degli inquinanti è stata sviluppato all'Università di Bologna ed è basato sulla sull'accoppiamento della modellistica lagrangiana con quella euleriana di analisi e previsione.

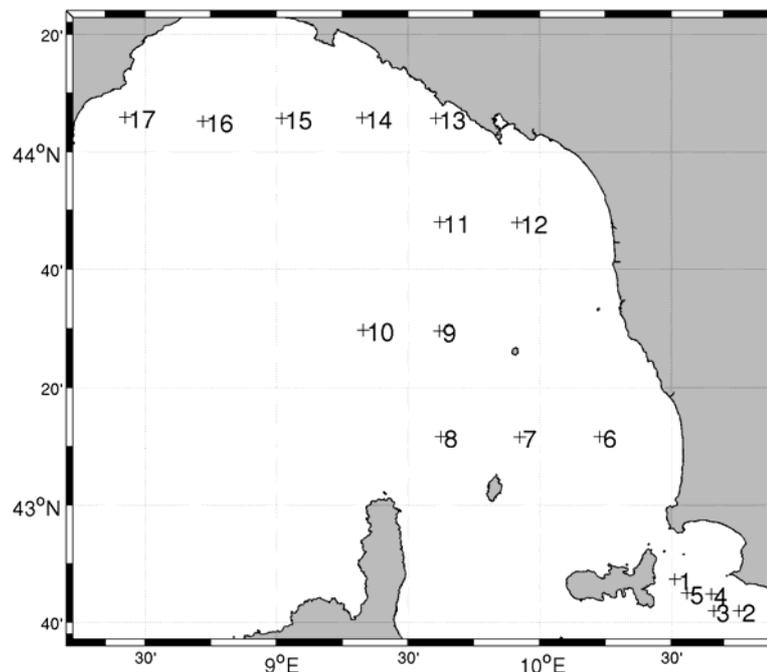


## ATTIVITA' OPERATIVA IN MARE

I dati oceanografici sono stati collezionati durante due campagne condotte dall'Istituto Idrografico della Marina: la prima dalla nave Aretusa (7-9 Maggio) e la seconda con la nave Galatea (6-18 giugno).

### CAMPAGNA ARETUSA

L'attività operativa in mare effettuata con la nave Aretusa ha portato all'esecuzione di un campionamento raffigurato in Fig 2 che è stato completato in 2-3 giorni a causa maltempo. Le stazioni considerate in questo studio sono quelle contrassegnate dal numero 6 al 17, collocate dentro l'area di studio ASI1. La Tavola 1 riporta il codice delle stazioni con i rispettivi valori di longitudine, di latitudine, tempo e massima profondità del profilo collezionato.



*Fig. 2 Stazioni completate dalla nave Aretusa nel periodo 3-9 maggio 2007.*

## Eperimenti di MarineRapid Environmental Assessment

STAZIONI	LATITUDINE	LONGITUDINE	TEMPO	PROFONDITA' (m)
1	42.79	10.51	02-May-2007	74.0
2	42.69	10.76	03-May-2007	96.35
3	42.69	10.66	03-May-2007	102.88
4	42.75	10.65	03-May-2007	93.37
5	42.75	10.56	03-May-2007	90.89
6	43.19	10.23	07-May-2007	107.74
7	43.19	9.92	07-May-2007	163.26
8	43.19	9.62	07-May-2007	393.63
9	43.49	9.62	07-May-2007	576.19
10	43.49	9.33	08-May-2007	566.79
11	43.79	9.62	08-May-2007	396.05
12	43.79	9.92	08-May-2007	93.86
13	44.09	9.60	08-May-2007	104.13
14	44.09	9.32	08-May-2007	537.39
15	44.09	9.02	08-May-2007	890.30
16	44.08	8.72	08-May-2007	841.45
17	44.09	8.42	09-May-2007	795.46

*Tavola 1: Latitudine, longitudine delle stazioni di campionamento, data di acquisizione del profilo e massima profondità del profilo stesso.*

I profili verticali di temperatura, salinità e densità delle 17 stazioni sono raffigurati in Fig 3, Fig 4 e Fig 5 rispettivamente.

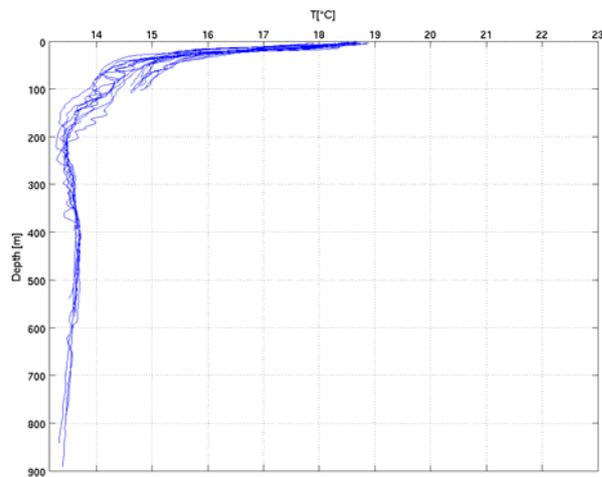


Fig 3: Profili di temperatura per tutte le stazioni di campionamento.

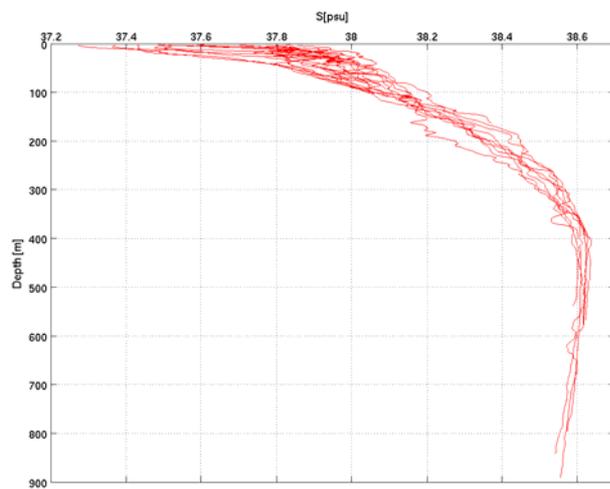


Fig 4: Profili di salinità per tutte le stazioni di campionamento.

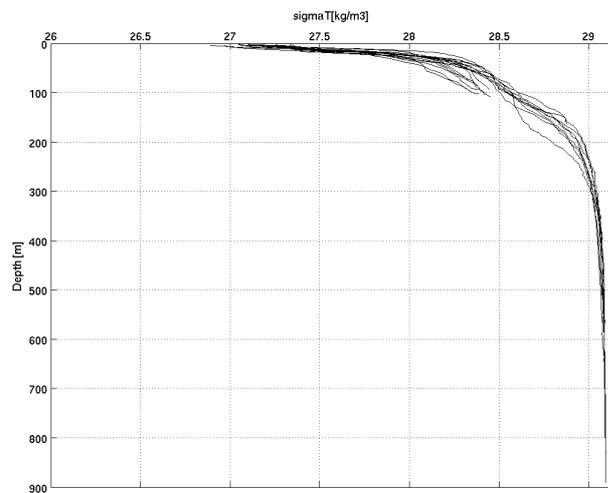


Fig 5: Profili di densità per tutte le stazioni di campionamento

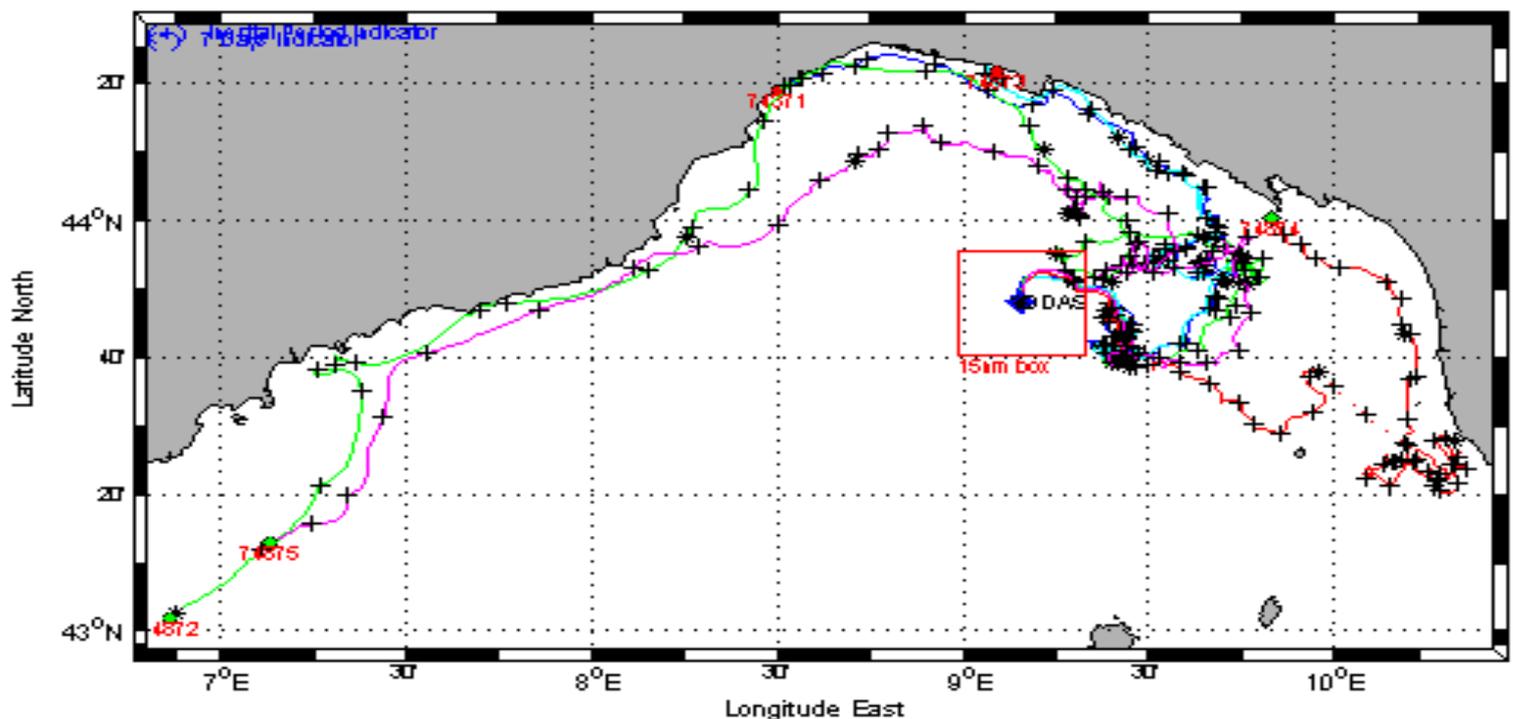
## Eperimenti di MarineRapid Environmental Assessment

I profili di temperatura evidenziano un marcato segnale stagionale con l'instaurarsi del termocline nei primi cinquanta metri della colonna d'acqua. I profili di salinità evidenziano la presenza delle Acqua Intermedie Levantine (LIW) con il massimo sottosuperficiale di salinità attorno ai 400 metri.

Tra la campagna Aretusa e Galatea sono stati lanciati 5 drifters dell'OGS nelle seguenti posizioni:

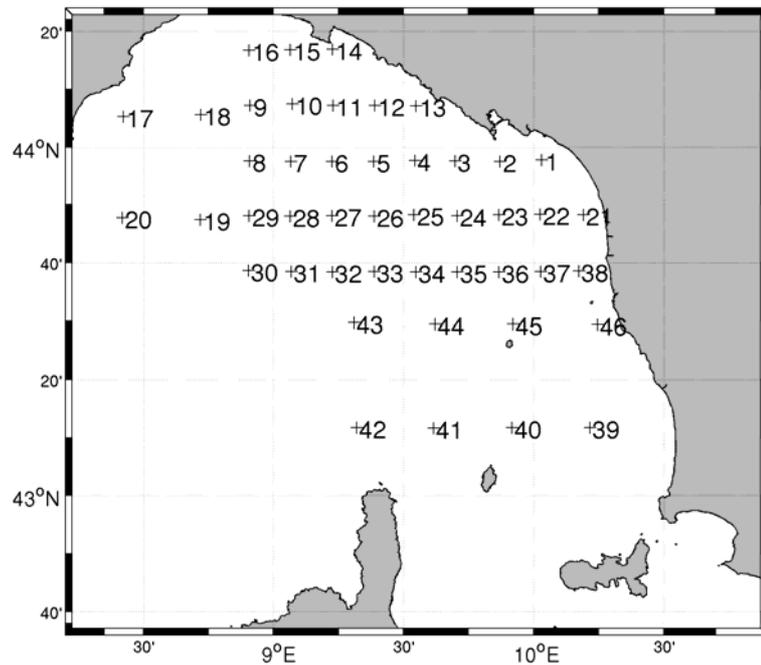
DRIFTERS	DATA / ORA	LATITUDINE	LONGITUDINE
74871	14-May-2007 13:45	43.8033	9.1484
74872	14-May-2007 13:55	43.8028	9.1569
74873	14-May-2007 14:01	43.8023	9.1631
74874	14-May-2007 14:23	43.7990	9.1558
74875	14-May-2007 14:28	43.8079	9.1571

Le loro posizioni aggiornate al 25 giugno sono riportate nella figura seguente :



## CAMPAGNA GALATEA

La seconda campagna è stata condotta con la nave Galatea e a causa del maltempo il campionamento (Fig 6) è stato completato in tre diverse fasi: dal 4 al 6 giugno, dal 13 al 14 e il 18 giugno. La Tavola 2 riporta il codice delle stazioni con i rispettivi valori di longitudine, di latitudine, tempo e massima profondità del profilo collezionato.



*Fig 6: Stazioni di campionamento eseguite dalla nave Galatea.*

## Eperimenti di MarineRapid Environmental Assessment

STAZIONI	LATITUDINE	LONGITUDINE	TEMPO	PROFONDITA' (m)
1	43.96	10.03	04-Jun-2007	14.0
2	43.96	9.87	04-Jun-2007	26.92
3	43.96	9.69	04-Jun-2007	229.15
4	43.96	9.54	04-Jun-2007	422.28
5	43.96	9.39	04-Jun-2007	427.73
6	43.96	9.22	04-Jun-2007	549.95
7	43.96	9.06	04-Jun-2007	551.43
8	43.96	8.90	04-Jun-2007	545.99
9	44.12	8.91	05-Jun-2007	520.26
10	44.13	9.07	05-Jun-2007	525.70
11	44.12	9.23	05-Jun-2007	549.44
12	44.12	9.38	05-Jun-2007	549.44
13	44.12	9.55	05-Jun-2007	114.18
14	44.28	9.23	05-Jun-2007	89.89
15	44.28	9.06	05-Jun-2007	340.09
16	44.28	8.90	05-Jun-2007	533.11
17	44.09	8.42	05-Jun-2007	551.02
18	44.09	8.72	05-Jun-2007	544.50
19	43.79	8.72	05-Jun-2007	534.12
20	43.79	8.42	06-Jun-2007	550.94
21	43.80	10.19	14-Jun-2007	10.55
22	43.80	10.02	14-Jun-2007	29.40
23	43.80	9.87	14-Jun-2007	111.70
24	43.80	9.71	14-Jun-2007	351.00
25	43.80	9.54	14-Jun-2007	361.40
26	43.80	9.39	14-Jun-2007	549.46
27	43.80	9.22	14-Jun-2007	548.96
28	43.80	9.06	14-Jun-2007	530.17

## Eperimenti di MarineRapid Environmental Assessment

29	43.80	8.90	14-Jun-2007	517.30
30	43.64	8.90	14-Jun-2007	552.43
31	43.64	9.07	14-Jun-2007	551.45
32	43.64	9.23	14-Jun-2007	532.65
33	43.64	9.39	14-Jun-2007	548.48
34	43.64	9.55	14-Jun-2007	548.97
35	43.64	9.71	14-Jun-2007	419.82
36	43.64	9.87	14-Jun-2007	207.86
37	43.64	10.03	14-Jun-2007	70.06
38	43.64	10.17	14-Jun-2007	17.49
39	43.19	10.22	18-Jun-2007	95.35
40	43.19	9.92	18-Jun-2007	148.89
41	43.19	9.62	18-Jun-2007	319.33
42	43.20	9.32	18-Jun-2007	462.90
43	43.49	9.31	18-Jun-2007	550.46
44	43.49	9.62	18-Jun-2007	515.34
45	43.49	9.92	18-Jun-2007	175.65
46	43.49	10.24	18-Jun-2007	38.82

*Tavola 2: Latitudine, longitudine delle stazioni di campionamento, data di acquisizione del profilo e profondità massima del profilo.*

Sono stati collezionati 46 profili verticali di temperatura, salinità e densità che sono rappresentati in Fig 6, Fig 7 e Fig 8.

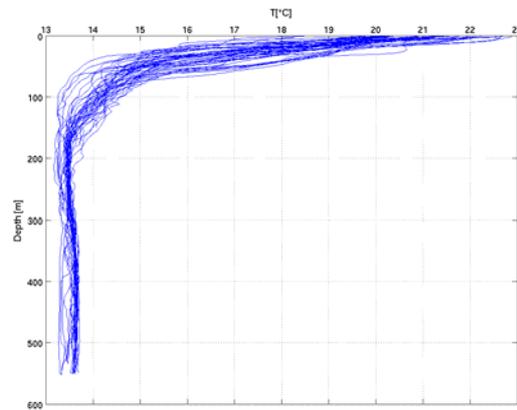


Fig 7: Profili di temperatura per tutte le stazioni di campionamento.

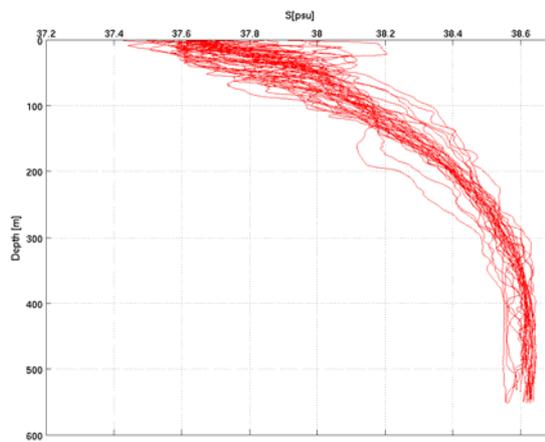


Fig 8: Profili di salinità per tutte le stazioni di campionamento.

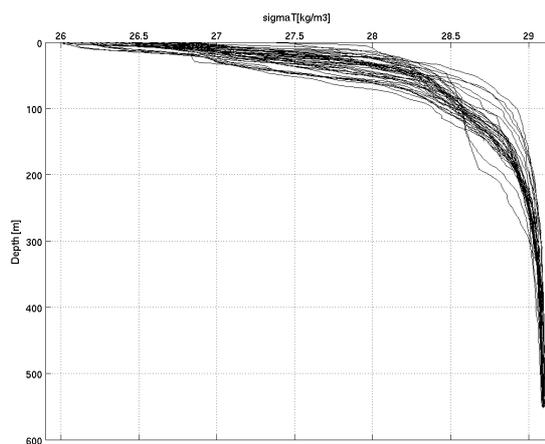


Fig 9: Profili di densità per tutte le stazioni di campionamento.

## CONFRONTO TRA IL MODELLO E I DATI

I dati raccolti durante le campagne oceanografiche permettono di stimare immediatamente l'affidabilità del modello di circolazione generale tramite il confronto dei profili di temperatura e salinità collezionati e quelli del modello.

Abbiamo confrontato i profili verticali di temperatura e salinità collezionati durante le campagne Aretusa e Galatea con i rispettivi profili verticali estratti dal modello di circolazione MFS, nella regione delle stazioni. Nelle seguenti sezioni sono rappresentati i confronti per ciascuna campagna.

### CAMPAGNA ARETUSA

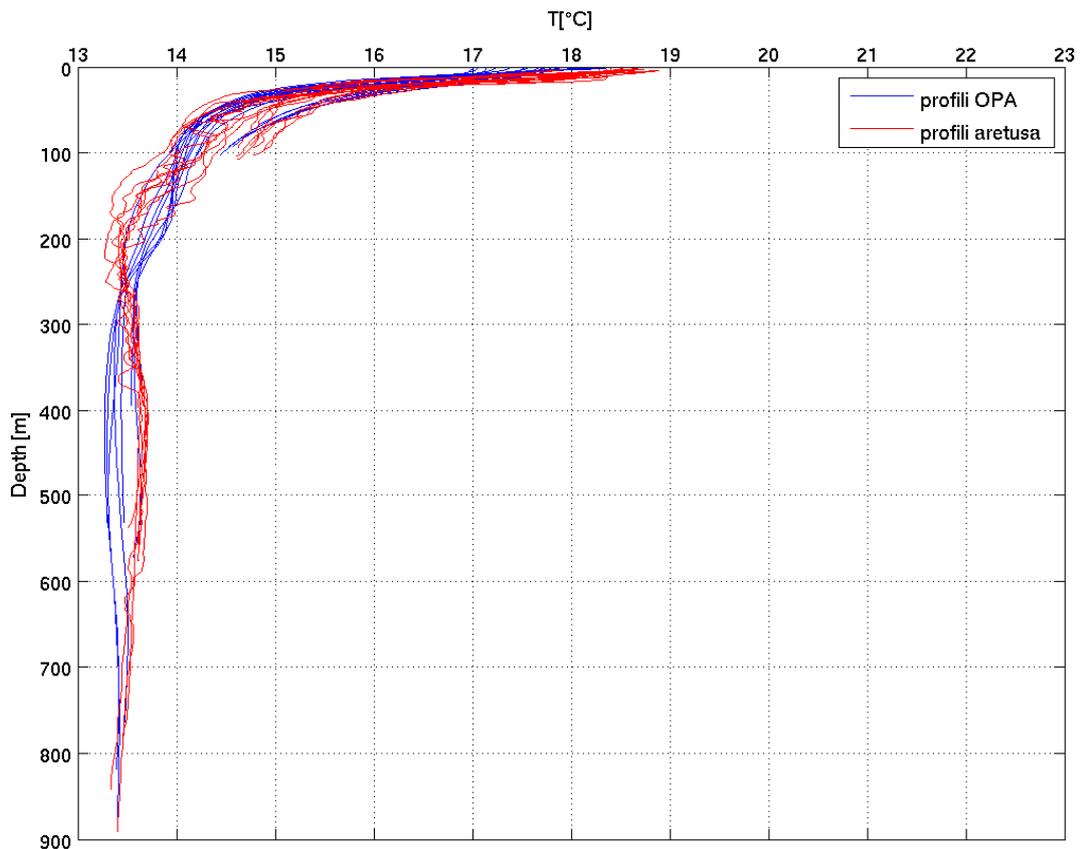


Fig 10: Profili verticali di temperatura: in blu estratti dal modello di circolazione e in rosso collezionati durante la campagna Aretusa.

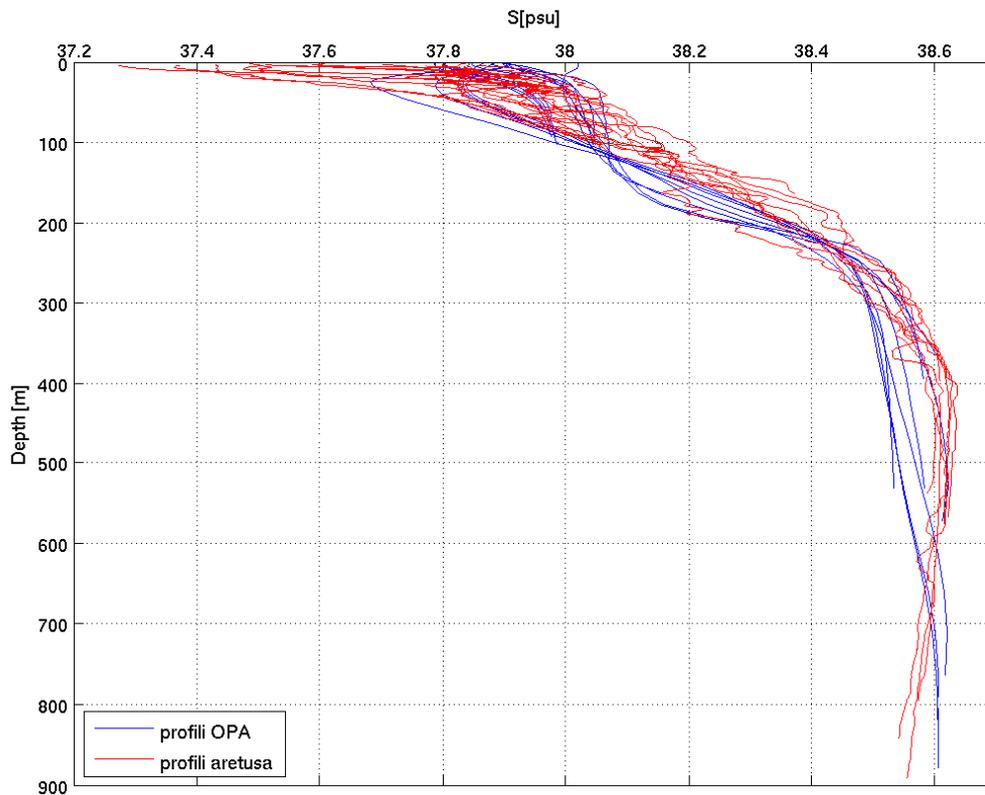
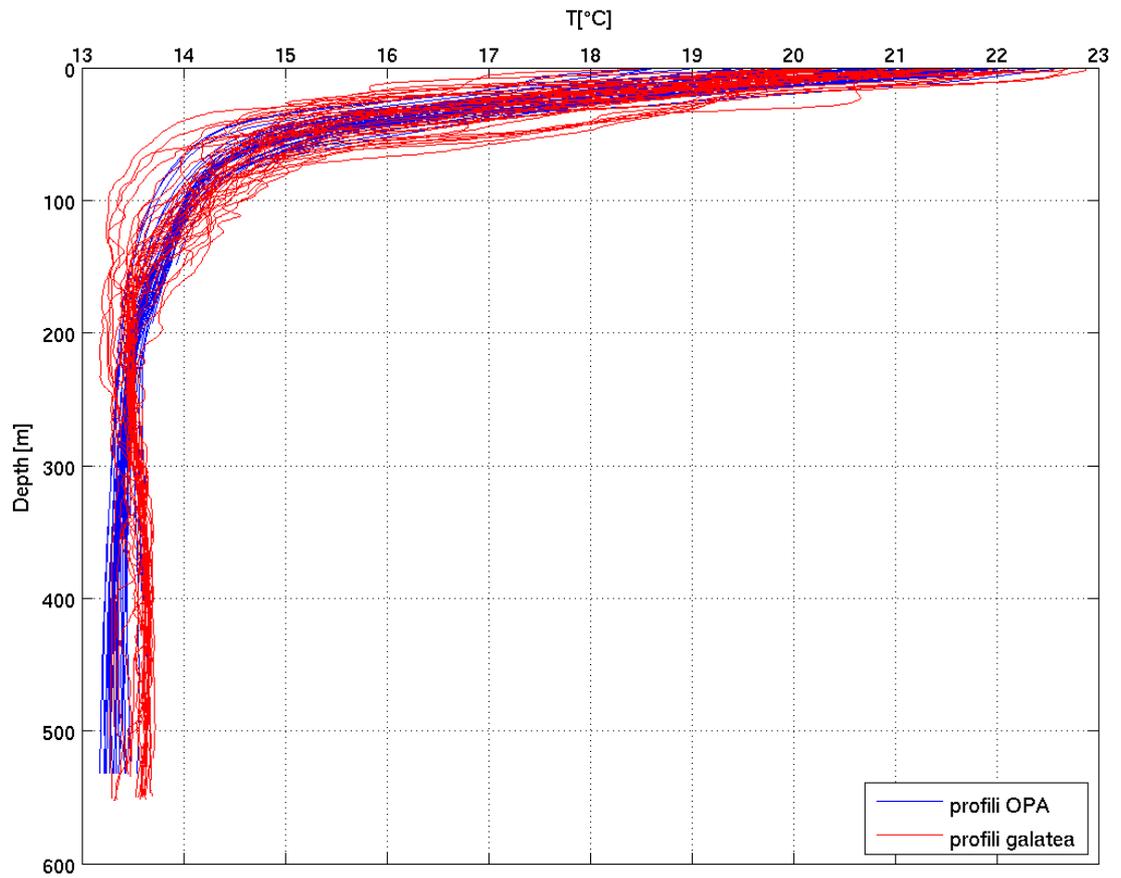


Fig 11: Profili verticali di salinità: in blu estratti dal modello di circolazione e in rosso collezionati durante la campagna Aretusa.

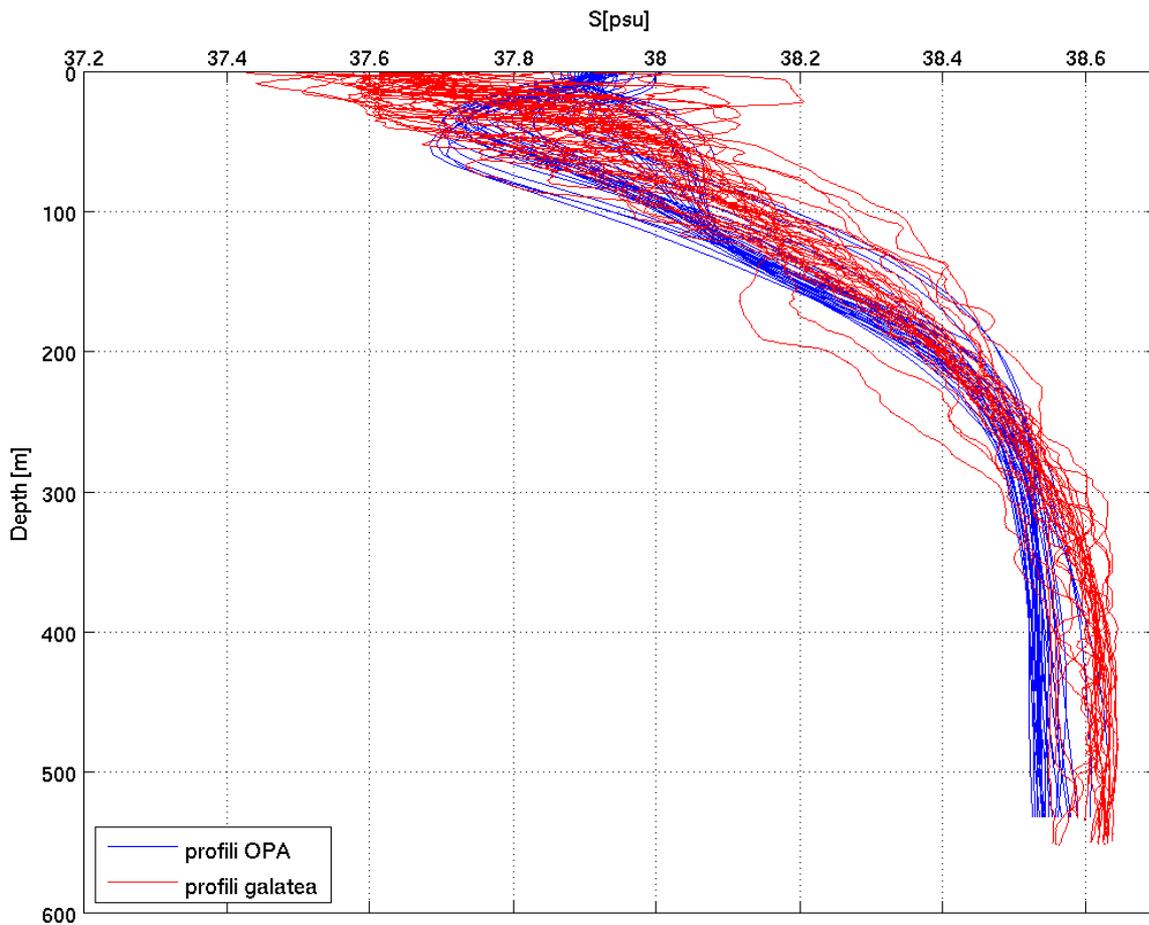
I profili verticali di temperatura estratti dal modello di circolazione MFS presentano un andamento simile a quelli collezionati dai CTD, anche se in superficie il modello è più freddo delle acque campionate (Fig 10). In superficie il modello stima delle temperature tra i 17° e i 18° gradi contro i valori campionati che si distribuiscono tra i 18° e i 19° gradi. L'errore più grave è in profondità dove nel modello non è presente lo strato delle acque Levantine Intermedie sotto i 200 metri e quindi non esiste un massimo sottosuperficiale di temperatura. La struttura di temperatura tra 100 e 200 metri indica inoltre la presenza di uno strato rimescolato troppo profondo, forse prodotto durante l'inverno.

Anche nel confronto dei profili di salinità (Fig 11) si registra in superficie una maggiore salinità del modello di circolazione contro i profili campionati. In superficie le acque del modello presentano valori di salinità tra i 37.8 e i 38 psu contro i 37.3 e 37.8 dei CTD. Nella parte sottosuperficiale inoltre si rivela la presenza di uno strato rimescolato non presente nelle osservazioni e la mancanza del massimo sottosuperficiale di salinità sotto i 200 metri.

## CAMPAGNA GALATEA



*Fig 12: Profili verticali di temperatura: in blu estratti dal modello di circolazione e in rosso collezionati durante la campagna Galatea.*



*Fig 13: Profili verticali di salinit : in blu estratti dal modello di circolazione e in rosso collezionati durante la campagna Galatea.*

Ragionevole   il confronto tra i profili verticali di temperatura collezionati durante la campagna Galatea e quelli estratti dal modello di circolazione MFS (Fig 12). I profili presentano lo stesso andamento sia in superficie che al variare della profondit . In superficie si registrano delle temperature tra i 18  e i 23  gradi. Manca ancora il segnale del massimo sottosuperficiale corrispondente alle temperature delle Acque Intermedie Levantine.

I profili di salinit  estratti dal modello MFS presentano in superficie valori molto pi  alti di quelli ricavati dalle CTD (Fig 13). In superficie le acque del modello presentano valori di salinit  tra i 37.8 e i 38 psu contro i 37.4 e 38 delle CTD. La struttura con il minimo sottosuperficiale della salinit , corrispondente all'intrusione delle Acque Atlantiche Modificate sembra essere pi  evidente nel modello che nelle osservazioni.

## **DISCUSSIONE**

L'attività delle campagne osservative portate a termine durante l'esperimento MREA07 ha dimostrato una avanzata capacità di campionamento in supporto allo sviluppo dei metodi di Rapid Environmental Assessment da parte dei componenti dello GNOO.

Nel mese di luglio 2007 è iniziata l'attività di modellistica annidata in MFS che permetterà nei prossimi mesi di studiare l'utilizzo delle osservazioni per migliorare le previsioni della dispersione di inquinanti in questa zona e poi di allargarle a tutto il Mediterraneo con tecniche di modelli rilocabili annidati nel sistema operativo di MFS. Saranno usati anche i dati di forzante messi a disposizione dal servizio meteorologico dell'aeronautica.

Dato il successo dell'attività si richiede di poter avere una attività analoga nel 2008 inserendo:

- 1) assimilazione in tempo reale dei dati nel Modello MFS
- 2) annidamento di HOPS in tempo quasi reale;
- 3) studio del campionamento ottimale per HOPS annidato;
- 4) studio delle proprietà di dispersione tramite un altro esperimento con drifters ancora da specificare.