



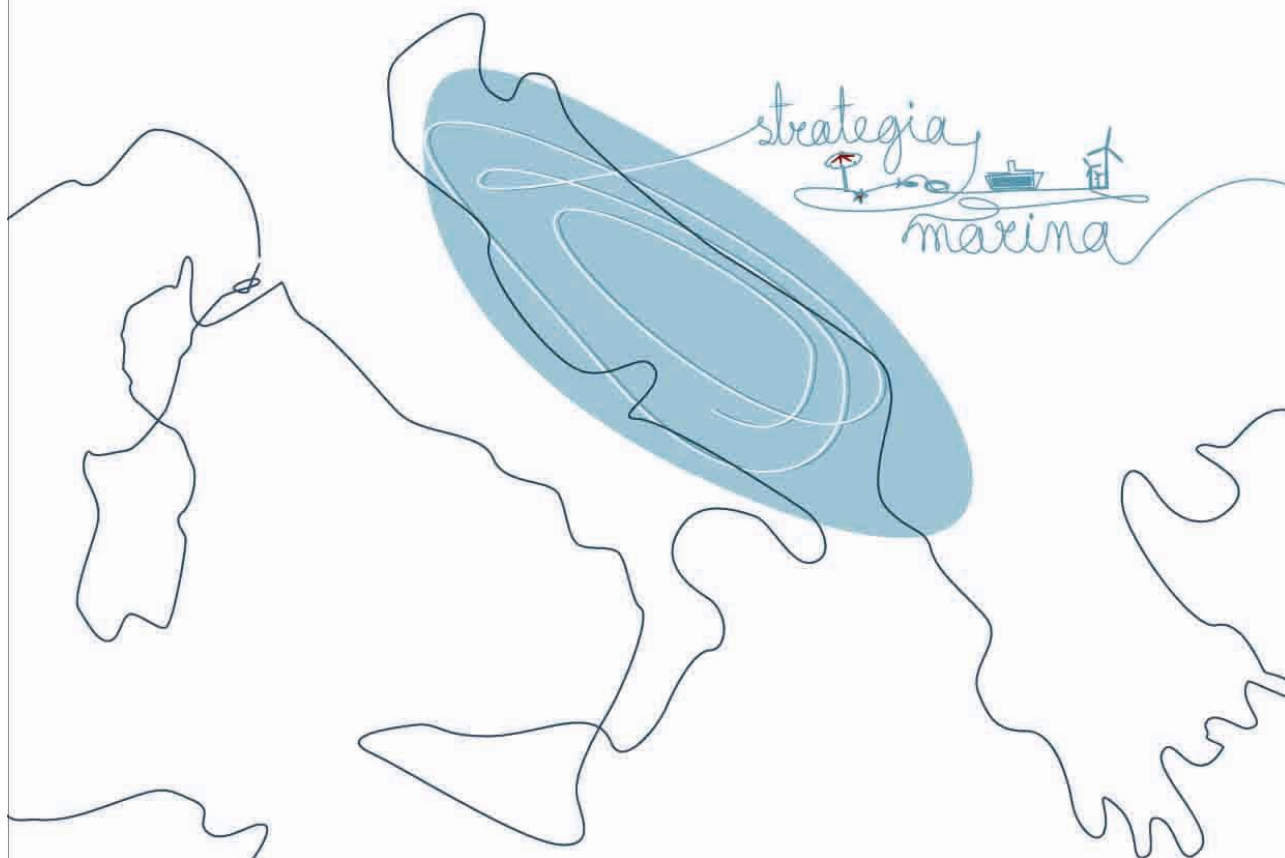
**ISPRA**

Istituto Superiore per la Protezione  
e la Ricerca Ambientale

# STRATEGIA PER L'AMBIENTE MARINO

## Valutazione Iniziale SOTTOREGIONE MAR ADRIATICO

### CARATTERISTICHE FISICHE



## 3.1 Caratteristiche fisiche

### 3.1.1 AREA DI VALUTAZIONE

Tutta l'area della sottoregione

#### 3.1.1.1 INFORMAZIONE UTILIZZATA

##### Fisiografia dei fondali e batimetria

*Soggetti detentori di dati individuati:* Univ. degli studi di Roma "La Sapienza", Istituto Idrografico della Marina Militare (IIMM), ISPRA-Servizio Geologico d'Italia

##### *Dati e metodi:*

Fisiografia dei fondali: i dati impiegati sono relativi a rilievi effettuati nell'arco degli ultimi venti anni (1992-2012), sono stati acquisiti con scandaglio multifascio (multibeam) dalla quota batimetrica -5m e comprende tutta la piattaforma continentale e la scarpata.

L'informazione descrittiva della fisiografia dei fondali è derivabile dai suddetti rilievi multibeam previa elaborazione ed analisi interpretativa delle variazioni morfologiche, prevista da una specifica convenzione con l'istituto detentore dell'informazione. Parte delle informazioni sarà elaborata entro due mesi dall'attivazione della Convenzione, indicativamente entro il 15 luglio 2012, e la parte restante al termine della convenzione, che tecnicamente non può avere durata inferiore a 12 mesi.

Batimetria: i dati impiegati sono relativi a rilievi effettuati nel corso degli ultimi decenni dall'Istituto Idrografico della Marina Militare, che ha provveduto a rielaborare, uniformare e a mosaicare i rilievi effettuati. I dati sono disponibili per tutta la sottoregione rappresentate con curve batimetriche a quote prestabilite, a partire dalla quota -5m sino alle massime profondità.

Per la sottoregione in esame l'informazione disponibile, unitamente ai rilievi batimetrici rilevati per la "Carta Geologica dei Mari Italiani scala 1:250.000" dal Servizio Geologico d'Italia e a dati bibliografici, è sufficiente per l'analisi descrittiva della sottoregione.

##### *Analisi:*

Il Mare Adriatico è uno stretto bacino, compreso fra la penisola italiana e quella balcanica, allungato in direzione NO-SE.

Il mare Adriatico settentrionale è costituito esclusivamente da una zona di piattaforma continentale con basse profondità (l'intera area a nord della foce del Po è profonda meno di 35 metri) e un basso gradiente di acclività lungo il suo asse ( $0,01^\circ$ ). La fascia sommersa adiacente alla costa, fino alla profondità di -10m, è morfologicamente uniforme ed è caratterizzata dalla presenza di diffuse emanazioni gassose biogeniche, dovute al rapido decadimento di materiale organico proveniente dai fiumi intrappolato nei sedimenti argillosi. La restante area è articolata in aree a rilievi irregolari di modesta altezza (pochi metri) interrotti da incisioni poco marcate e discontinue. Questa morfologia è in parte derivata dalla fase geologicamente recente di emersione dell'area.

La caratteristica di questa sub-area è di essere la prosecuzione sommersa della vasta pianura padano-veneta a cui si raccorda attraverso un'area costiera caratterizzata dall'alternanza di lunghi litorali sabbiosi, importanti apparati deltizi e vaste aree lagunari.

I fiumi che si riversano nel mar Adriatico sono responsabili del più alto deflusso fluviale del Mar Mediterraneo. Il fiume Po contribuisce per il 50% apportando nel mare Adriatico settentrionale una massa d'acqua dolce ( $1500 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ ) meno densa che interferisce con il regime delle correnti ed ha effetti sull'intero bacino.

In questa parte dell'Adriatico il sedimento fluviale proviene quasi esclusivamente dalla parte settentrionale e orientale del bacino, trasportando anche alti carichi di materia organica, nutrienti e inquinanti dall'entroterra, con un contributo proveniente in parte dai fiumi alpini e dal Po.

La morfologia e l'orientamento del mare Adriatico influenzano i regimi di marea, determinando le maggiori escursioni di marea nel Mediterraneo e la caratteristica ciclicità.

Il mare Adriatico centrale è costituito da due zone di piattaforma continentale convergenti al centro verso un piccolo bacino intrascarpata (la Depressione meso-adriatica) orientato NO-SE che, con la profondità di 225 m, rappresenta l'area più profonda dell'Adriatico centro-settentrionale.

La parte settentrionale della sub-area ha una pendenza media lungo l'asse dell'Adriatico di circa 0,1°, con una morfologia piuttosto irregolare, testimone di un ambiente litorale emerso durante l'ultimo acme glaciale. La fascia prossima alla costa, fino alla batimetrica – 70 m, ha una pendenza costante in direzione trasversale alla costa. Un'estesa area compresa fra i 40 e 70 m di profondità, con una pendenza maggiore (ca 1°), presenta ondulazioni parallele alla costa, indici di instabilità gravitativa associata a fenomeni di espulsione di fluidi dovuti alla compattazione diagenetica del sedimento.

Il sedimento fluviale, proveniente per la maggior parte dai fiumi appenninici, viene distribuito dalle correnti, a costituire un cuneo sottocosta.

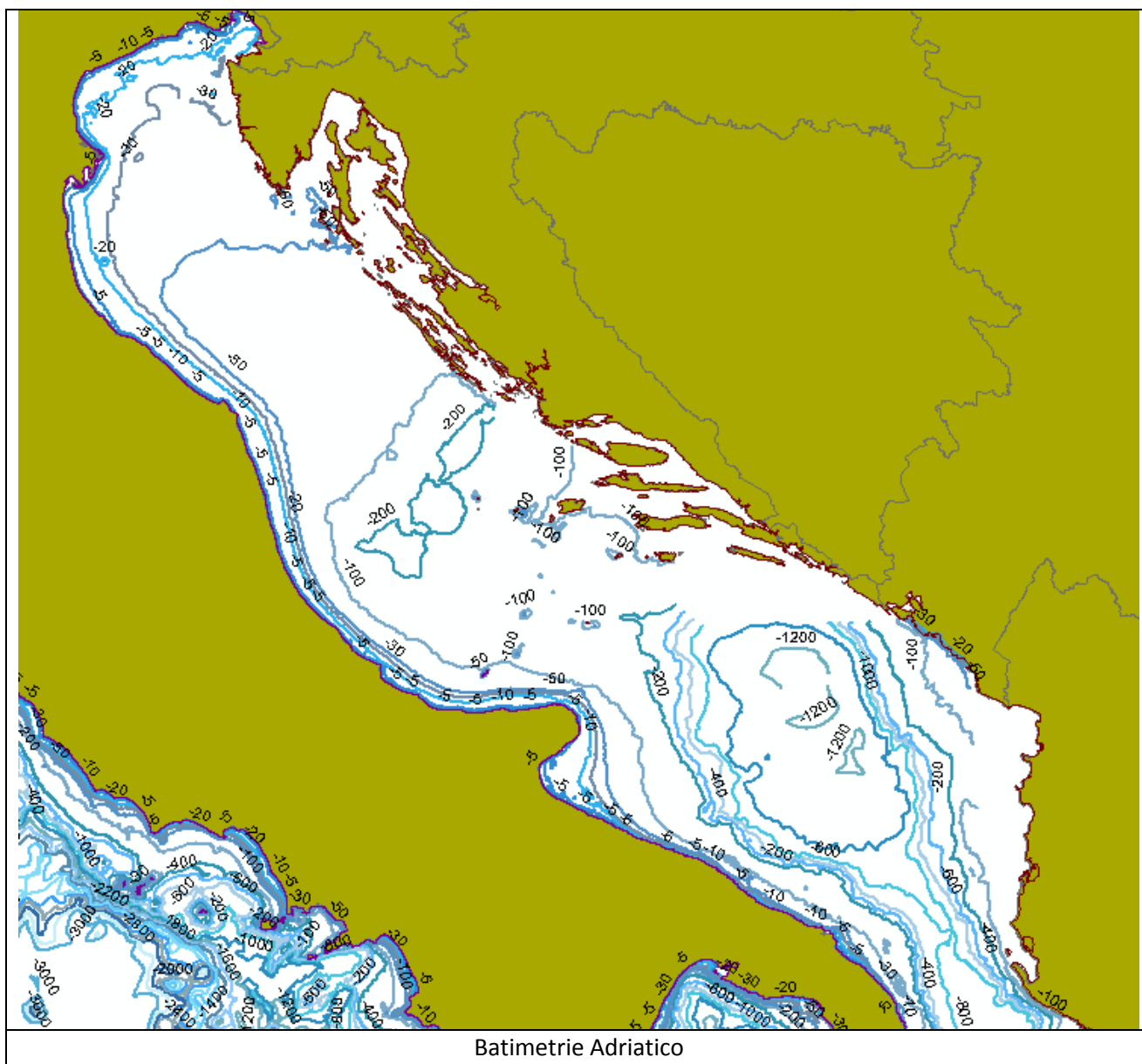
La parte meridionale della sub-area presenta una piattaforma e una scarpata continentale uniformi, separate da un ciglio poco marcato. La piattaforma continentale presenta un gradiente trasversale alla costa inferiore a 0,1° fino a circa 25 m di profondità e un gradiente maggiore, fino a 2,8° dai 25 ai 100 m.

A sud l'area è delimitata da una dorsale orientata ENE-OSO, che a tratti emerge a costituire l'arcipelago delle Tremiti, che forma una soglia morfologica fra l'Adriatico meridionale e la Depressione meso-adriatica. A partire da questa dorsale, una valle sommersa, delimitata a NNO dal Dosso Gallignani - Soglia di Pelagosa, converge verso la Depressione meso-adriatica.

Il mare Adriatico meridionale antistante le coste pugliesi comprende un bacino profondo 1200 m, allungato in direzione N-NO tra la costa italiana e quella balcanica, a loro volta bordate dalle rispettive piattaforme continentali. La piattaforma continentale pugliese comprende aree ad estensione e morfologia variabile conseguenti a deformazioni tettoniche geologicamente recenti. In corrispondenza del golfo di Manfredonia raggiunge la massima estensione ed è caratterizzata da un basso gradiente e una morfologia uniforme. In corrispondenza del promontorio del Gargano è presente un alto morfologico con profondità inferiore ai 60 m, articolato in rilievi irregolari di pochi metri. La scarpata continentale pugliese si estende tra i 200 e i 1000 m di profondità ed è caratterizzata da pendenze significative (anche fino a 30°), sede di diffusi e ricorrenti processi di instabilità del fondale (frane e colate di sedimento).

Questa area di scarpata rappresenta il settore in cui le due correnti (LIW e NadDW) si incontrano e interagiscono; l'azione combinata della morfologia delle particolari correnti determina la formazione sul fondo di depositi da correnti quali *sediment drifts* e campi di *sediment waves* alternati a forme di erosione quali truogoli allungati (*moats*) e solchi erosivi rettilinei (*furrows*).

Verso sud i fondali risalgono fino alla profondità di 800 m in corrispondenza del canale di Otranto, che separa l'Adriatico dal Mar Ionio.



## Temperatura superficiale (SST)

I dati satellitari di SST skin si riferiscono alla sottoregione Mar Adriatico.

### Soggetti detentori di dati individuati:

1. Progetto MARCOAST. Il progetto MARCOAST (Marine and Coastal Environment Information Services) realizzato nell'ambito del programma GMES Service Elements dell'ESA, Agenzia Spaziale Europea, e sviluppato da Planetek, ha lo scopo di fornire servizi di monitoraggio marino-costiero ad una utenza PanEuropea. L'ISPRA all'interno del suddetto Progetto ha la funzione di End User.
2. CNR-ISAC Gruppo Oceanografia da Satellite (GOS).

### Dati e metodi:

1. L'arco temporale dei dati acquisiti fino ad ora va dal 2007 al 2011. I data set si riferiscono ai dati satellitari collezionati dal sensore termico NOAA-AVHRR ad 1.1 km di risoluzione spaziale. I dati sono stati mediati su base mensile. I dati satellitari fin qui analizzati sono stati collezionati dal Progetto MARCOAST (<http://marcoast.planetek.it/>) ma provengono originariamente dagli archivi EOWEB (<http://eoweb.dlr.de:8080/data-service>). I dati Marcoast sono presenti dal 2006 ad oggi

(Ceriola et al., 2009). Essi sono ancora in fase di elaborazione e verranno elaborati entro il 15 ottobre 2012.

2. Riguardo ai dati presenti negli archivi del CNR-ISAC, questi sono dati di SST skin multisensore ovvero collezionati da più di un sensore termico (es. NOAA-AVHRR, SEVIRI, ecc.) e verranno elaborati su una griglia spaziale di  $1/16^\circ$  ovvero 7 km al fine di poterli sovrapporre con i dati correntometrici alla stessa risoluzione spaziale. Gli stessi coprono l'arco temporale dal 01.07.2006 al 31.12.2011. I dati CNR-ISAC sono ancora in fase di elaborazione e verranno elaborati entro il 15 ottobre 2012.

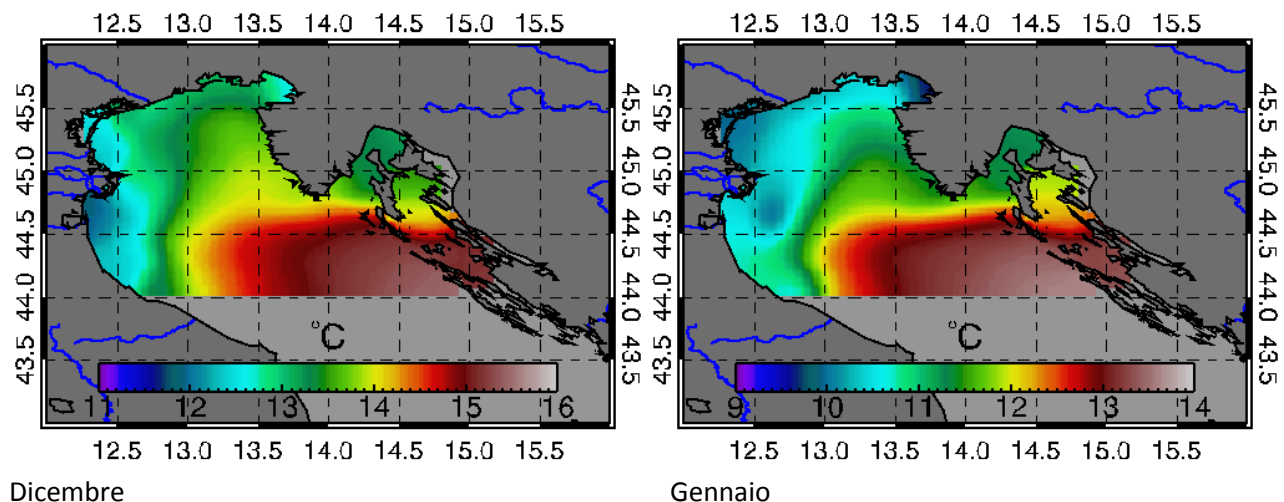
Analisi qualitativa preliminare della SST skin:

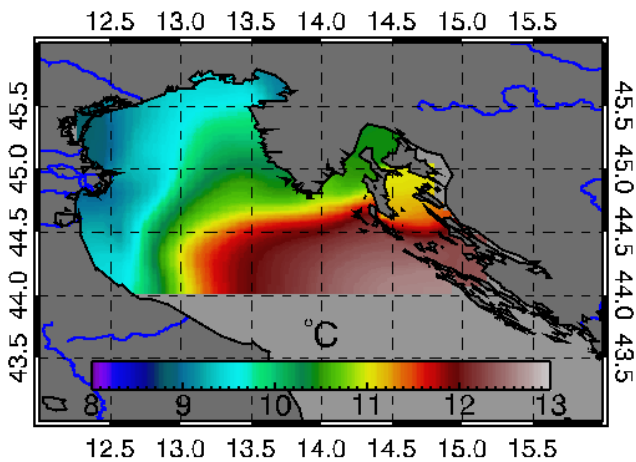
L'analisi qualitativa preliminare si riferisce solo al dataset relativo al Programma di ricerca MARCOAST (Fig. 1-5). Di seguito l'andamento generale della SST skin relativo agli anni 2007-2011.

## Assessment Area: Adriatico Settentrionale

### Inverno

Durante i mesi invernali (Fig. 1) è possibile notare che le acque costiere del Nord Adriatico sono più fredde di quelle del restante del bacino; le temperature più fredde sono associate alla fuoriuscita costiera di acque dal Po (BÖhm et al., 2003).. La corrente adriatica occidentale è visibile come vena costiera molto fredda. Un gradiente di temperature più calde è riscontrabile scendendo verso sud del bacino settentrionale. La SST media di dicembre è di  $13.8^\circ\text{C}$  mentre l'intervallo dei valori di SST è tra  $11.85$  e  $15.41^\circ\text{C}$ . La SST media in gennaio è di  $11.6$  ed il range è tra  $9.52$  e  $13.56^\circ\text{C}$ . In febbraio si riscontra una media più bassa di  $10.6^\circ\text{C}$  mentre l'intervallo delle SST è tra  $8.80$  e  $12.59^\circ\text{C}$ . In marzo si osserva una risalita di acque più calde verso il delta del Po, la media si attesta su  $10.9^\circ\text{C}$  ed il range tra i  $9.63$  ed i  $12.47^\circ\text{C}$ .





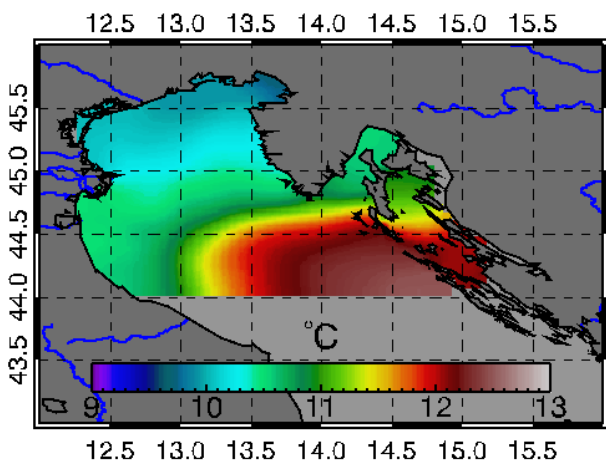
Febbraio

Fig. 1 Medie mensili climatologiche della SSTskin relative al periodo invernale 2001-2011 per il sottobacino Adriatico settentrionale.

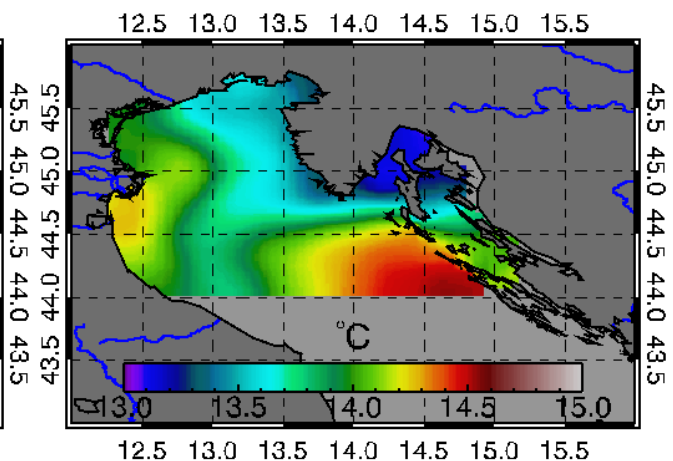
### Primavera

In marzo è ancora visibile il flusso costiero più freddo ovvero la corrente adriatica occidentale è visibile come vena costiera molto fredda

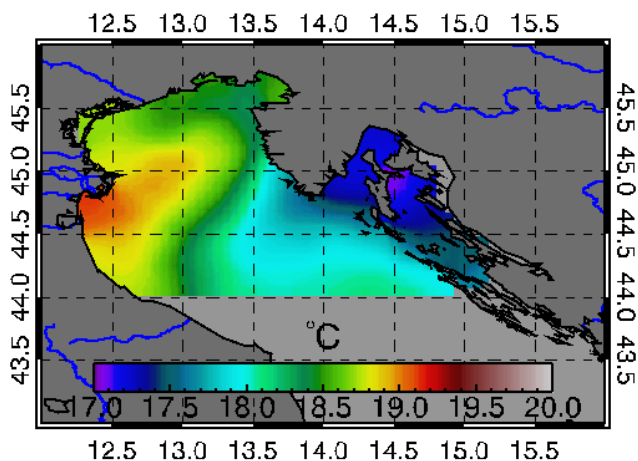
Durante i mesi primaverili è difficile discernere la circolazione nell'Adriatico settentrionale ad eccezione delle acque leggermente più calde vicino al delta del Po. In primavera si riscontra infatti un riscaldamento delle acque costiere in corrispondenza del delta del Po che inizia in marzo e si stabilizza in aprile. Le SST medie in marzo sono 10.9°C mentre il range è tra 9.63 e 12.47°C. In aprile si ha un brusco aumento della SST media che si attesta sui 13.8°C mentre il range è tra 13.04 e 14.53°C. In maggio l'aumento della temperatura superficiale si estende verso nord mentre la parte meridionale del sottobacino mostra temperature più fredde. Le temperature più elevate si riscontrano in corrispondenza del delta del Po. La temperatura media è di 18.2°C mentre il range è tra 17.05 e 19.13°C (Fig. 2).



Marzo



Aprile

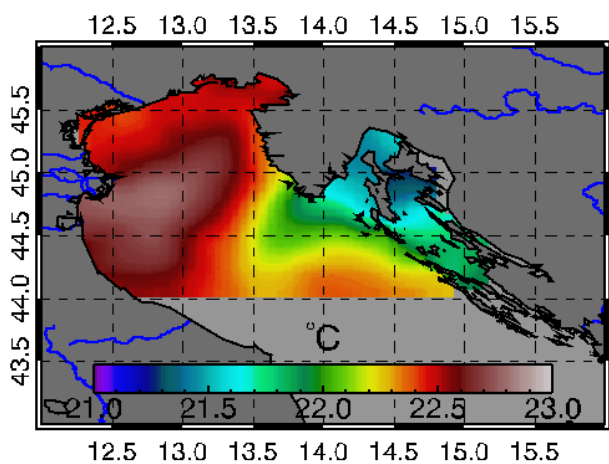


Maggio

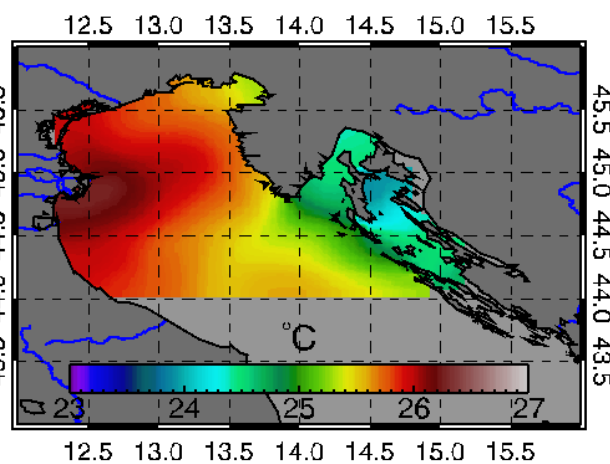
Fig. 2 Medie mensili climatologiche della SSTskin relative al periodo primaverile 2001-2011 per il sottobacino Adriatico settentrionale.

**Estate**

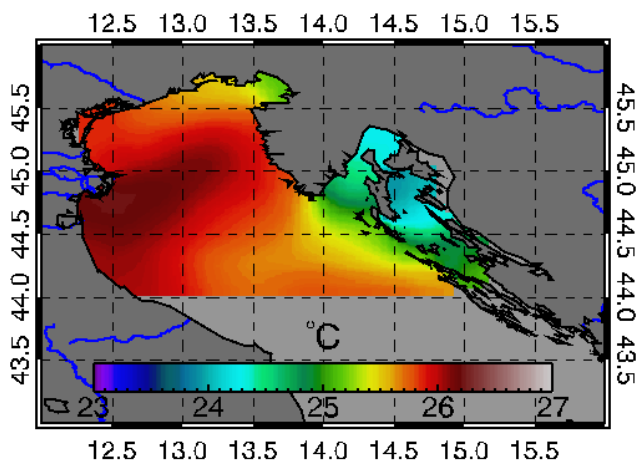
In estate l'area delle temperature più elevate si diparte dal delta del Po ed investe gran parte del bacino settentrionale. Temperature più basse si riscontrano lungo le coste croate. In giugno la SST media è di 22.3°C mentre il range è tra 21.23 e 22.79°C. In luglio la media sale a 25.4°C ed il range tra 23.89 e 26.28°C. In agosto la media è di 25.5°C mentre il range è tra 23.91 e 26.20°C (Fig. 3).



Giugno



Luglio



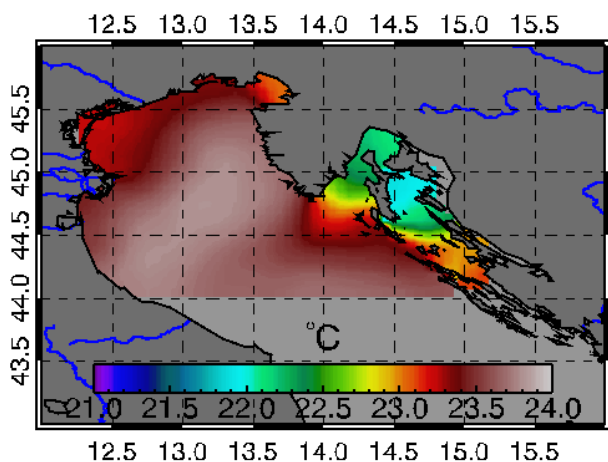
Agosto

Fig. 3 Medie mensili climatologiche della SSTskin relative al periodo estivo 2001-2011 per il sottobacino Adriatico settentrionale.

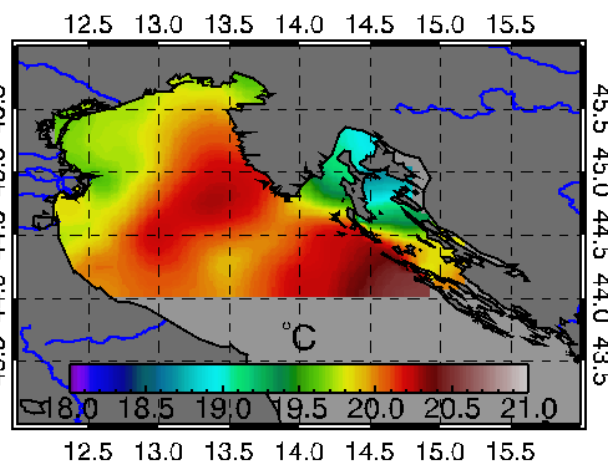
### Autunno

In settembre la situazione è simile a quella di agosto con temperature medie di 23.3°C e un range tra 21.85 e 23.79°C. In ottobre si assiste ad un raffreddamento della fascia costiera del delta del Po con temperature più elevate riscontrabili a sud del sottobacino. La media si attesta su 19.9°C ed il range tra 18.65 e 20.52°C.

In tardo autunno (Novembre) diviene nuovamente visibile il flusso costiero più freddo. La corrente adriatica occidentale è visibile come vena costiera molto fredda. La media delle SST è di 16.2°C ed il range tra 14.82 e 17.36°C (Fig. 4).

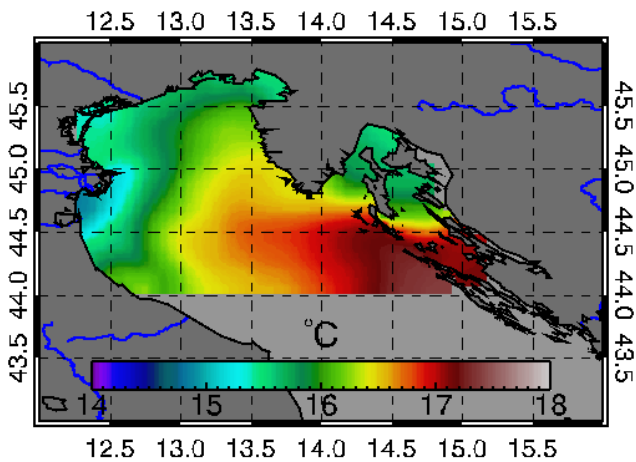


Settembre



Ottobre





Novembre

Fig. 4 Medie mensili climatologiche della SSTskin relative al periodo autunnale 2001-2011 per il sottobacino Adriatico settentrionale.

Inverno

Durante i mesi invernali (Fig. 1-5) è possibile notare che le acque costiere del Nord Adriatico sono più fredde di quelle del restante del bacino; le temperature più fredde sono associate alla fuoriuscita costiera di acque dal Po

Nel bacino adriatico meridionale durante la stagione invernale è visibile la fredda corrente adriatica occidentale e sulla costa opposta l'ingresso del Mar Ionio nel vortice (gyre) sud adriatico. L'acqua proveniente dal Mar Ionio è visibile come una vena calda nel periodo autunno-inverno. L'ingresso delle acque ioniche continua verso nord lungo la costa ed è visibile fino alla penisola istriana.

Primavera

Durante i mesi primaverili è difficile discernere la circolazione nell'Adriatico settentrionale ad eccezione delle acque leggermente più calde vicino al delta del Po (Fig. 1-5).

Estate

Nel Medio Adriatico l'upwelling costiero causa temperature più fresche al largo della costa dalmata. I filamenti associati si propagano al centro del bacino Medio adriatico formando una larga banda di acque più fresche nel campo medio delle SST.

Nel bacino adriatico meridionale durante la stagione estiva l'acqua proveniente dal Mar Ionio è visibile come vena fredda. L'ingresso delle acque ioniche continua verso nord lungo la costa ed è visibile fino alla penisola istriana (Fig. 1-5).

Autunno

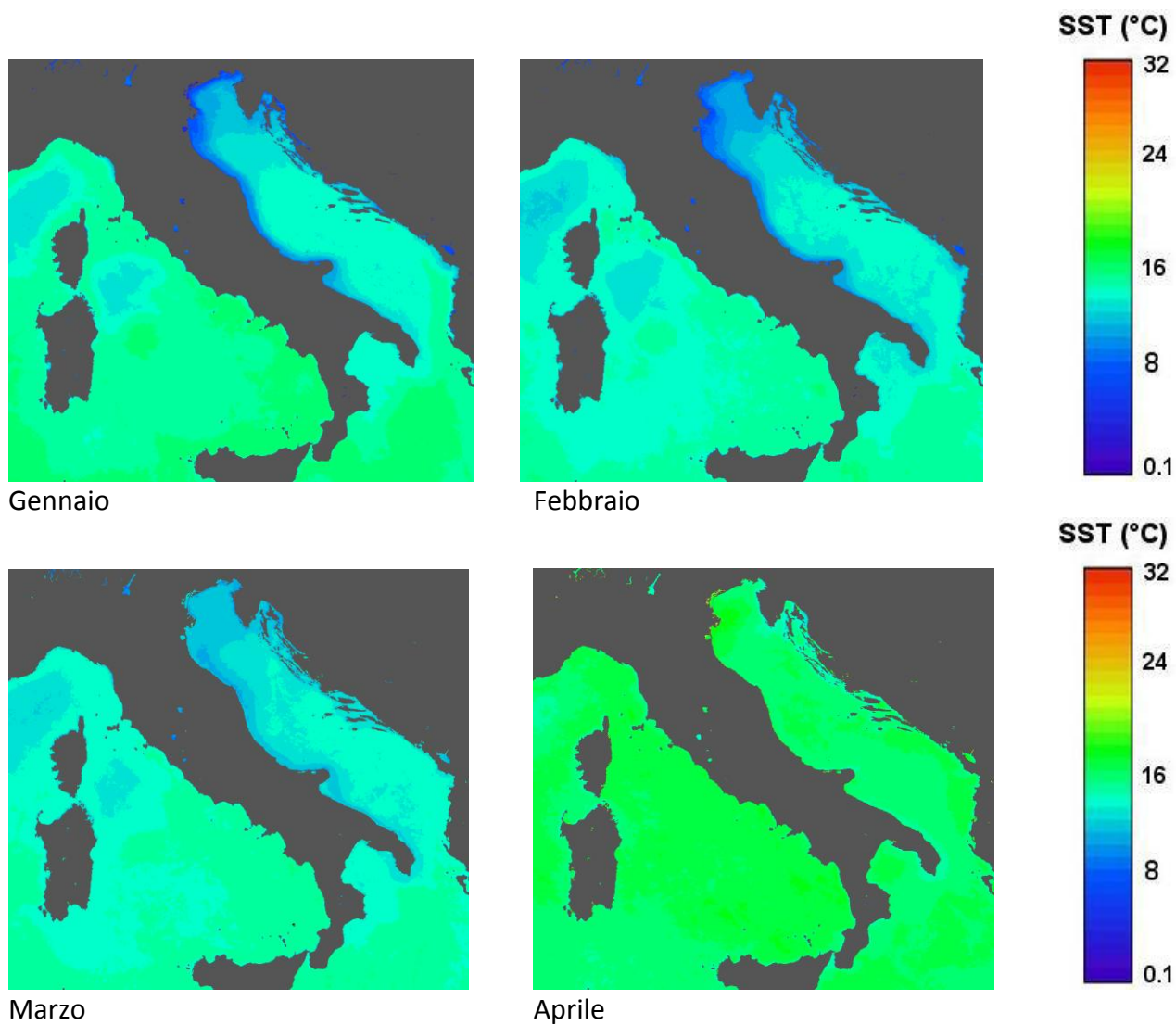
In autunno diviene visibile nel Nord Adriatico il flusso costiero più freddo. La corrente adriatica occidentale è visibile come vena costiera molto fredda nelle mappe di SST skin da Novembre a Marzo (Fig. 1-5).

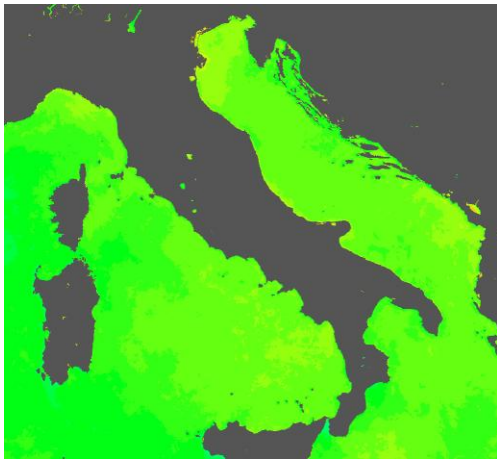
Nel bacino adriatico meridionale durante la stagione autunnale è visibile la fredda corrente adriatica occidentale e sulla costa opposta l'ingresso del Mar Ionio nel vortice (gyre) sud adriatico. L'acqua proveniente dal Mar Ionio è visibile come una vena calda nel periodo autunno-inverno. L'ingresso delle acque ioniche continua verso nord lungo la costa ed è visibile fino alla penisola istriana ( [BÖhm et al., 2003](#)).

#### Variazione interannuali

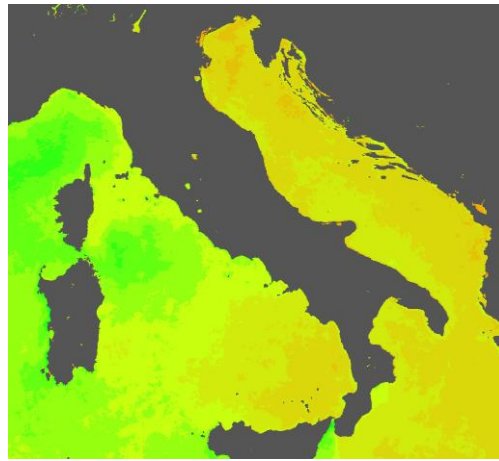
L'analisi delle variazioni interannuali è ancora in via di elaborazione e verrà completata per il 15.10.2012.

### SST skin 2007





Maggio



Giugno

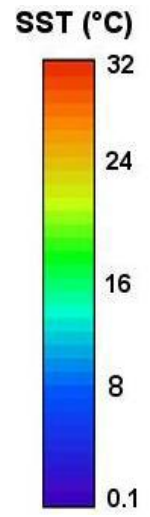
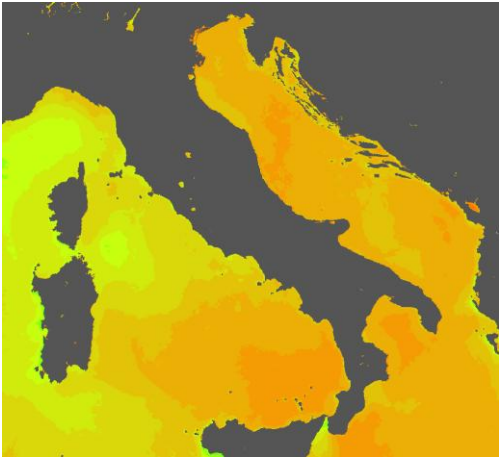
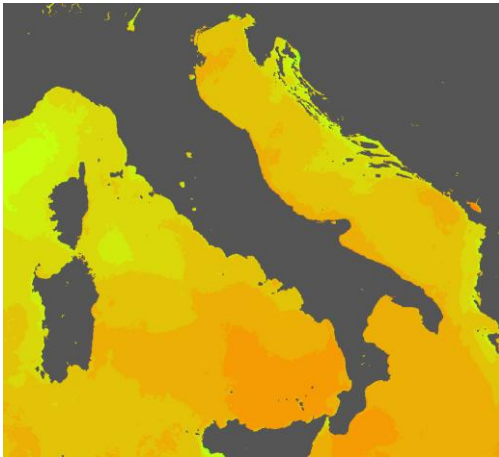


Fig.1 SST skin nelle tre sottoregioni per l'anno 2007.

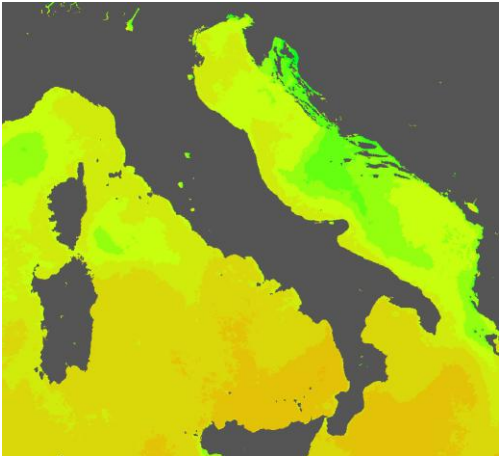
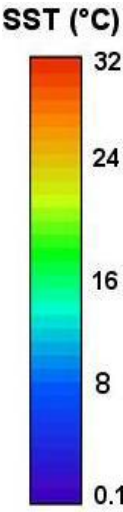
# SST skin 2007



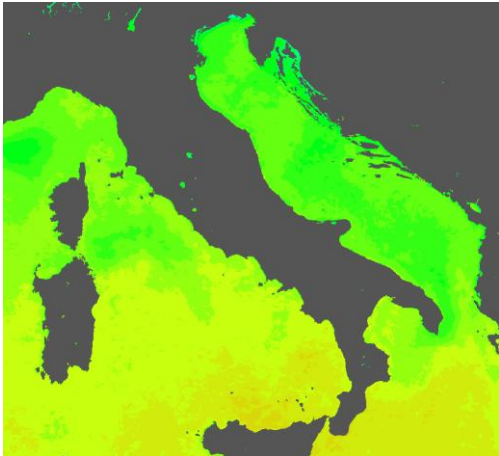
Luglio



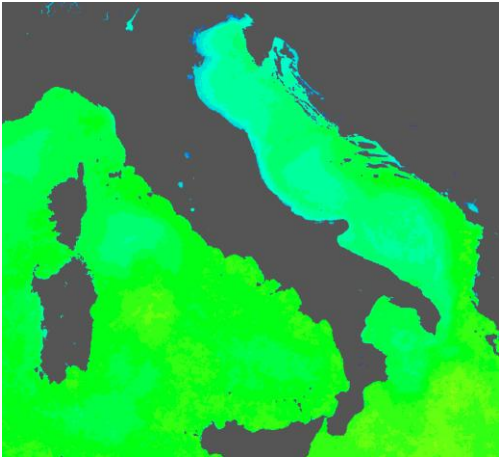
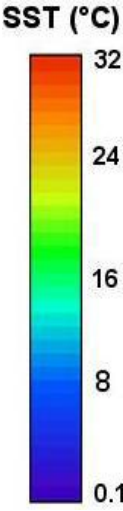
Agosto



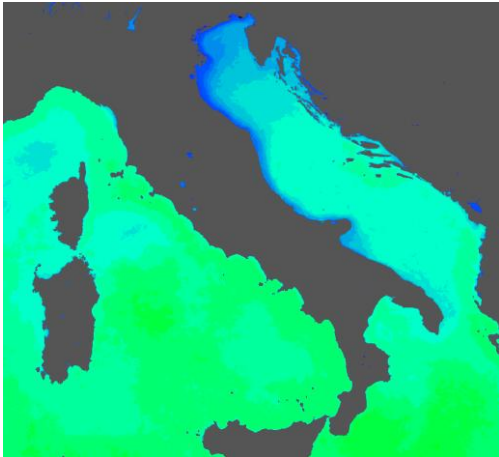
Settembre



Ottobre



Novembre



Dicembre

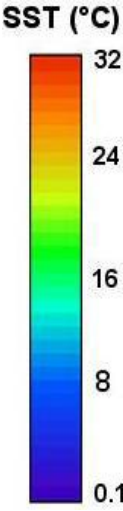
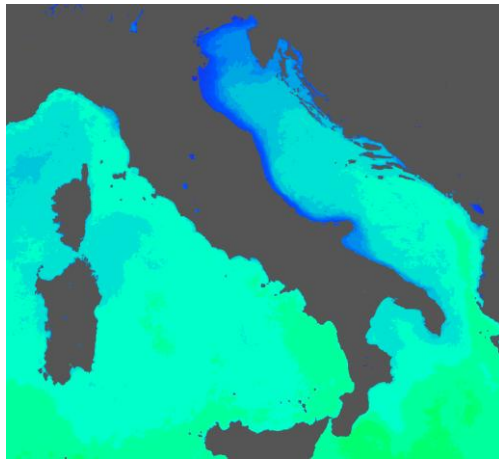
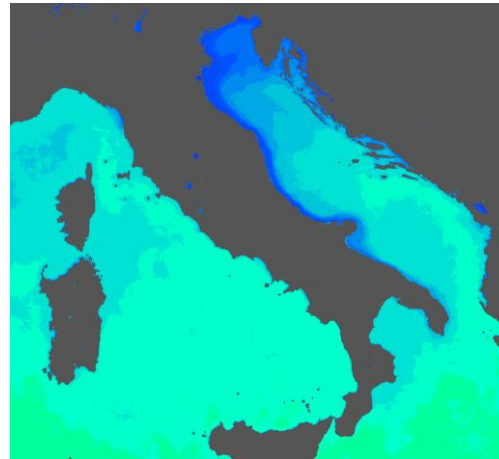


Fig.1 (cont.) SST skin nelle tre sottoregioni per l'anno 2007.

## SST skin 2008

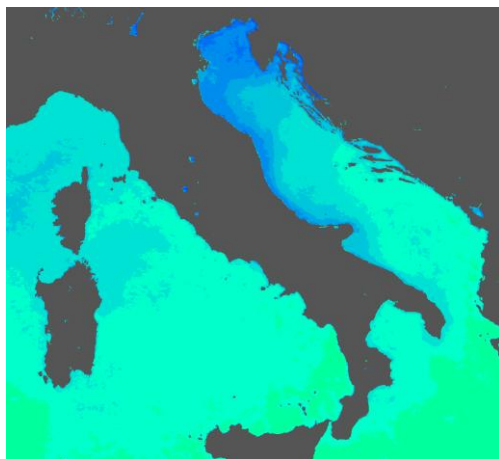
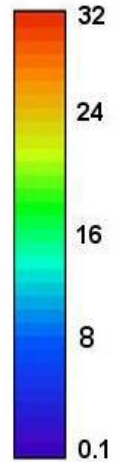


Gennaio

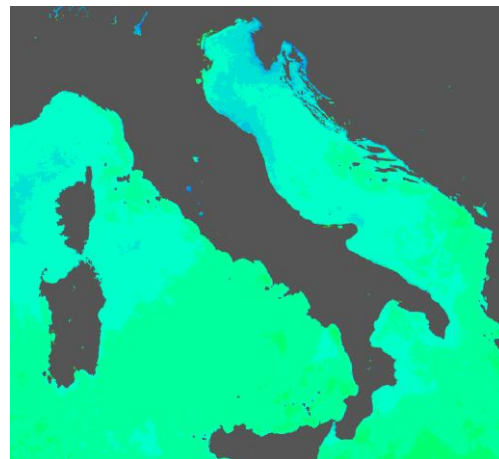


Febbraio

SST (°C)

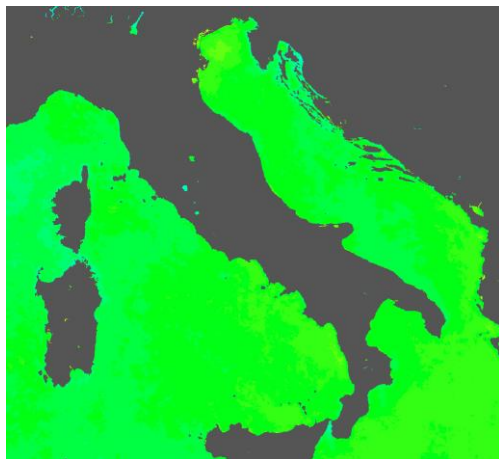
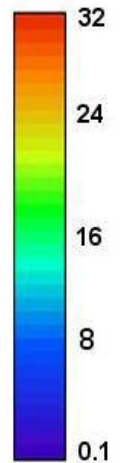


Marzo

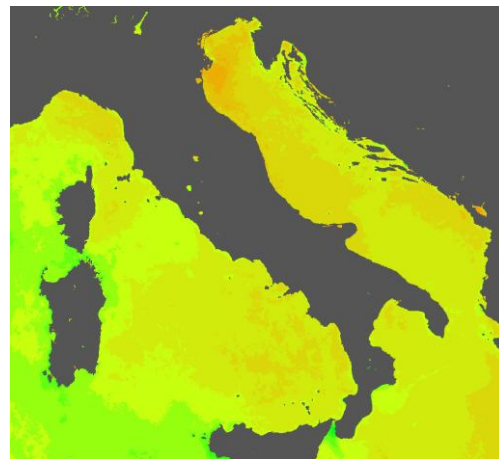


Aprile

SST (°C)



Maggio



Giugno

SST (°C)

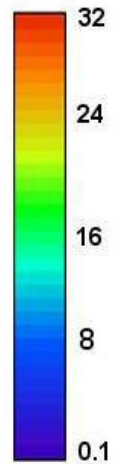
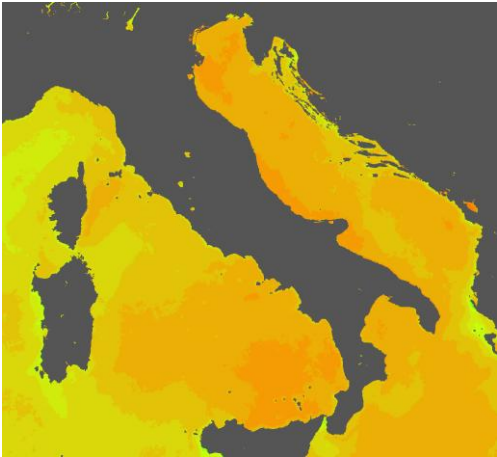
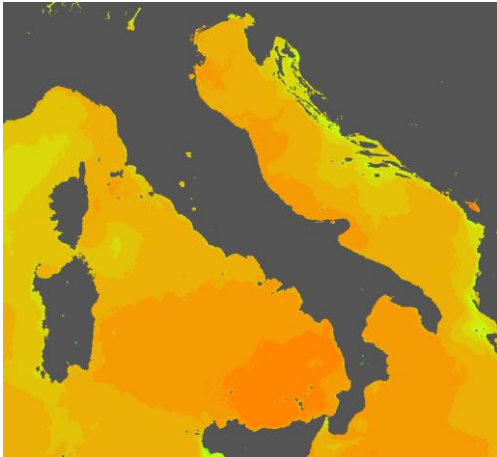


Fig.2 SST skin nelle tre sottoregioni per l'anno 2008.

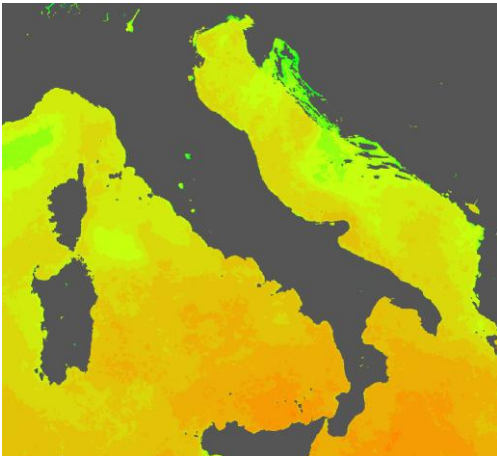
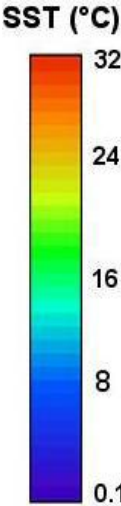
# SST skin 2008



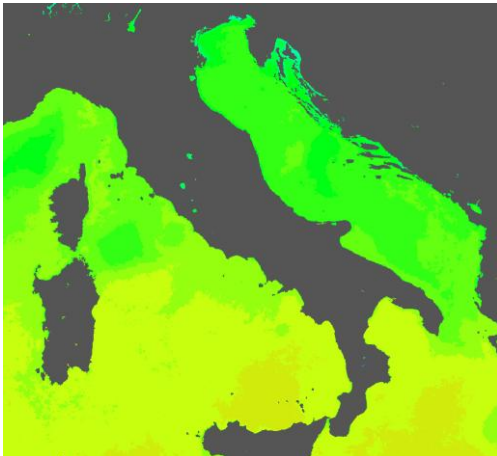
Luglio



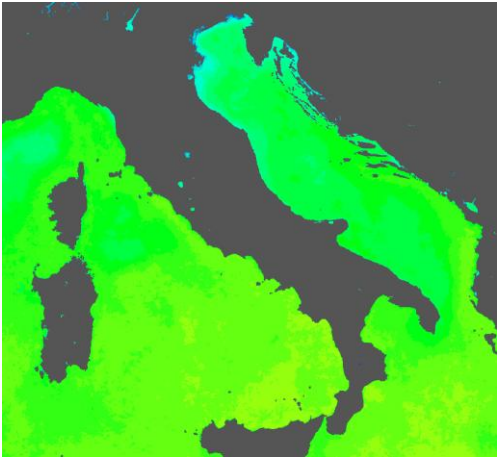
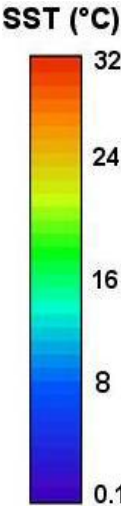
Agosto



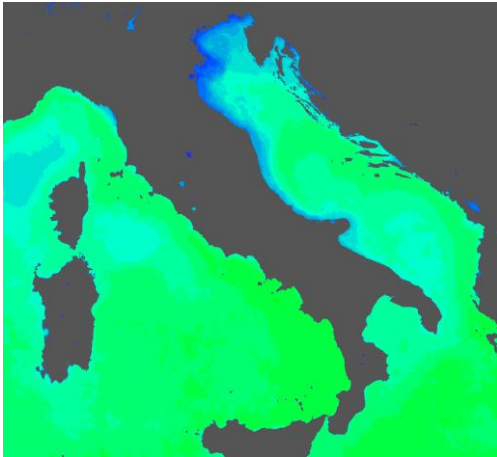
Settembre



Ottobre



Novembre



Dicembre

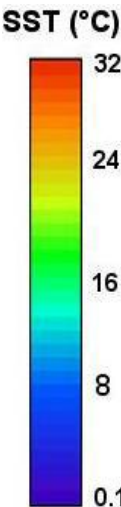
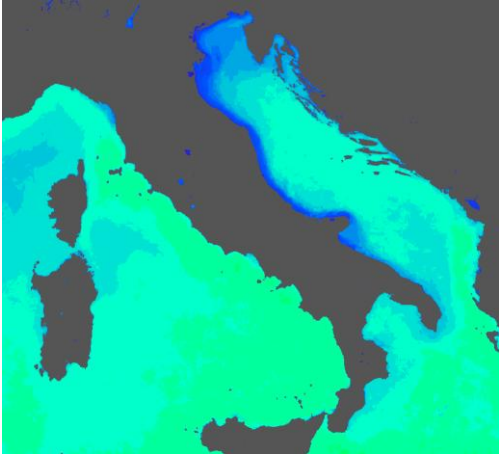
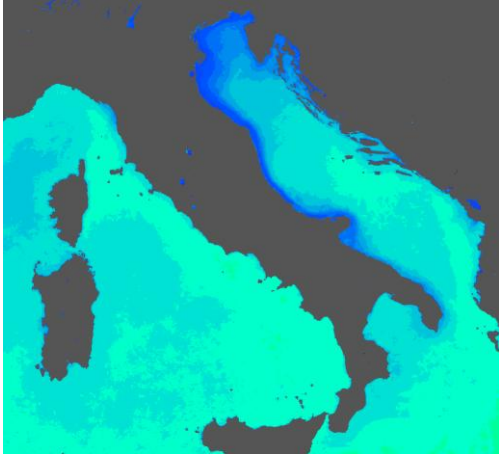


Fig.2 (cont.) SST skin nelle tre sottoregioni per l'anno 2008.

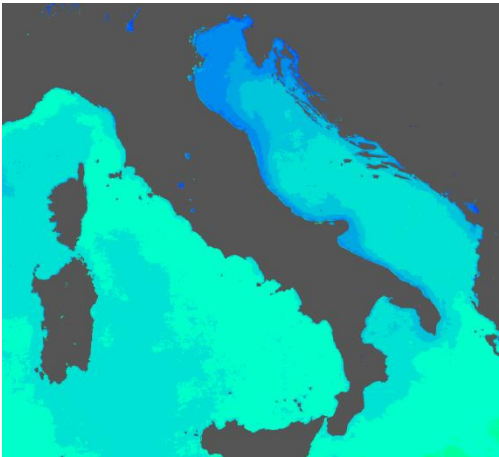
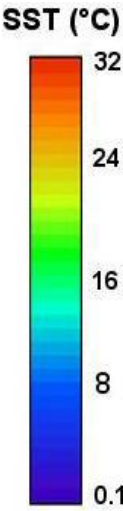
# SST skin 2009



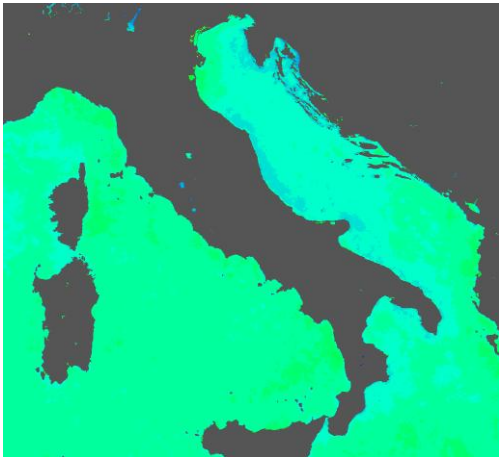
Gennaio



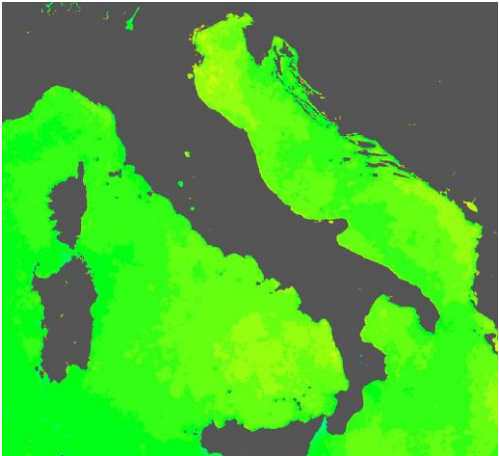
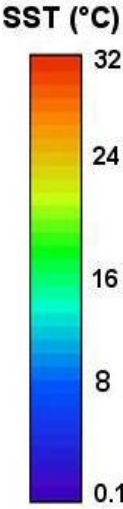
Febbraio



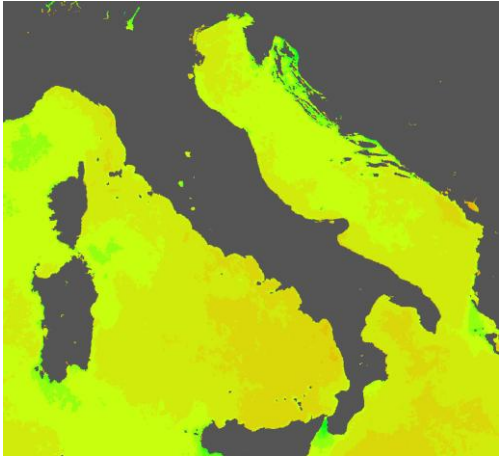
Marzo



Aprile



Maggio



Giugno

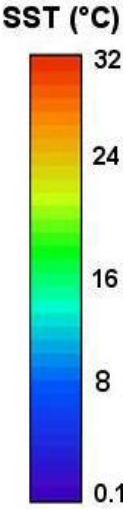
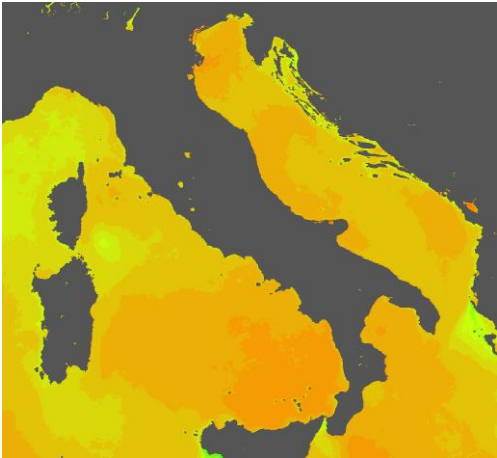


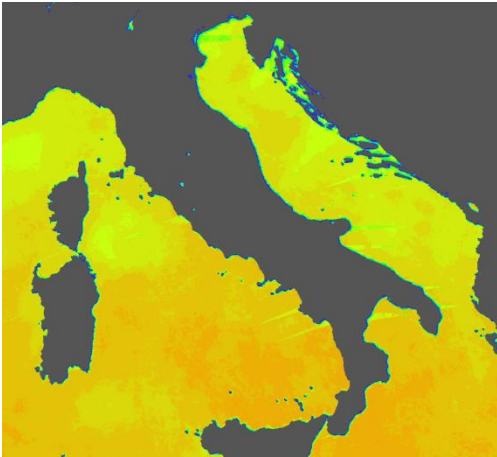
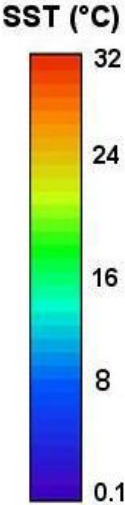
Fig.3 SST skin nelle tre sottoregioni per l'anno 2009.

# SST skin 2009

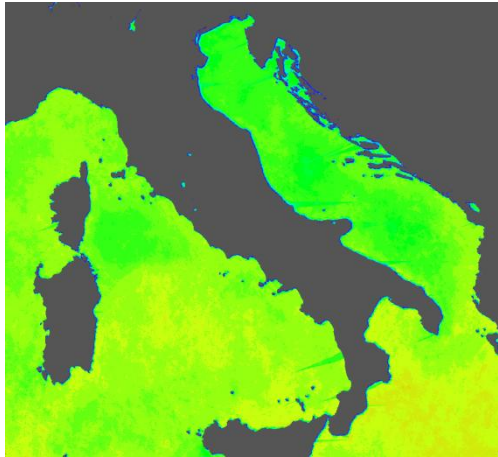


Luglio

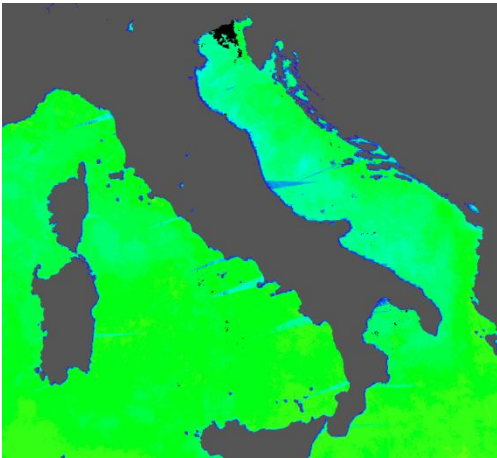
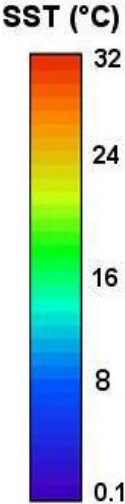
Agosto



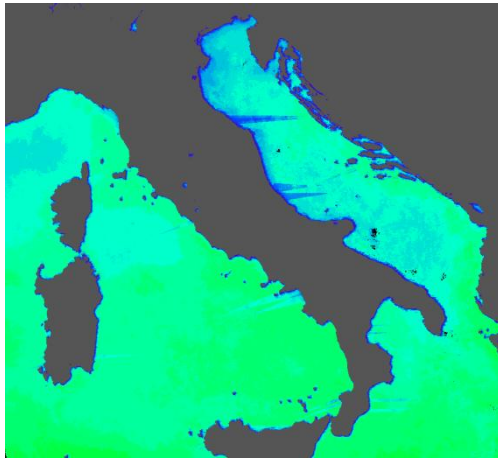
Settembre



Ottobre



Novembre



Dicembre

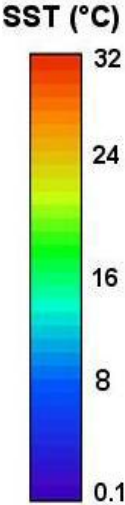


Fig.3 (cont.) SST skin nelle tre sottoregioni per l'anno 2009.



# SST skin 2010

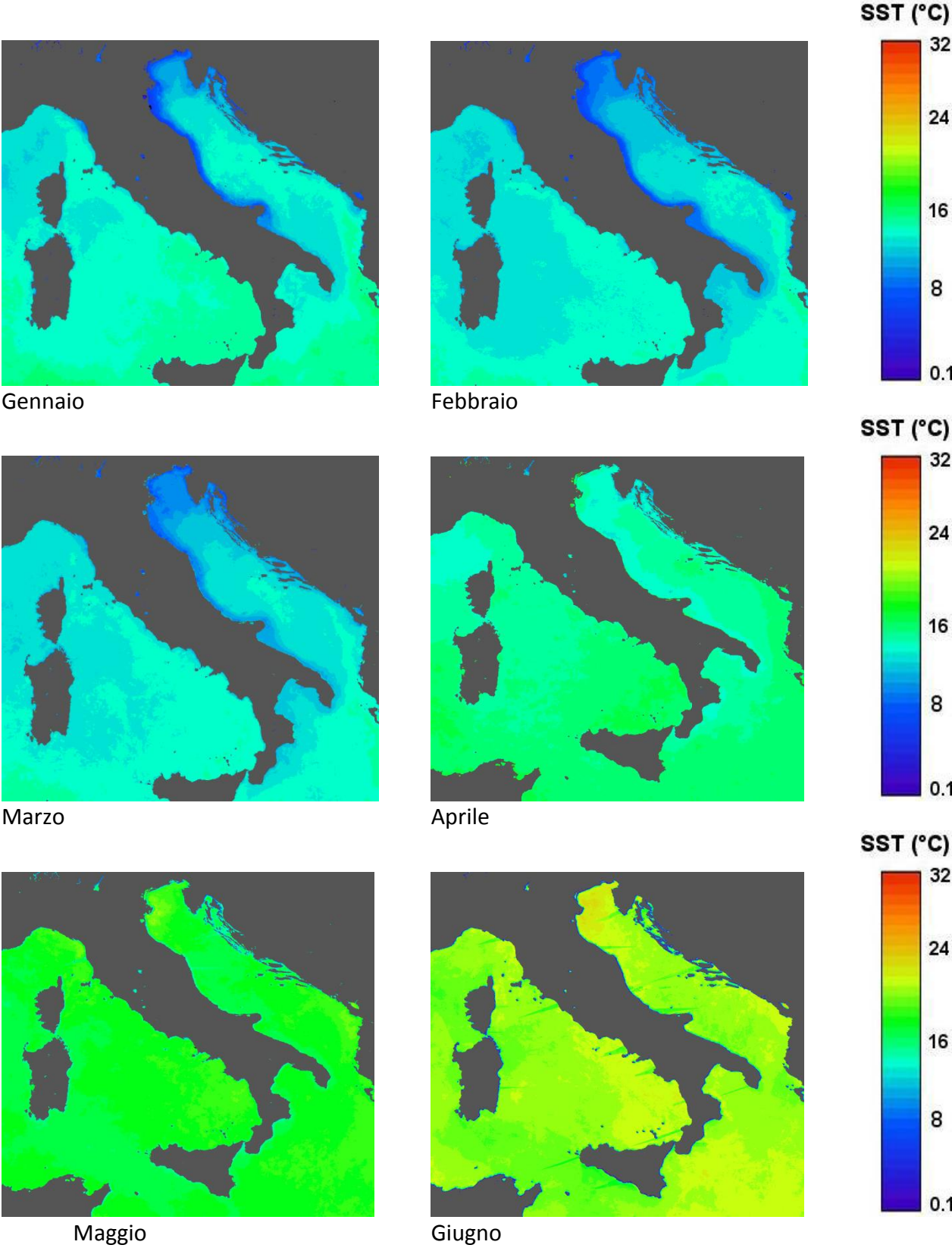
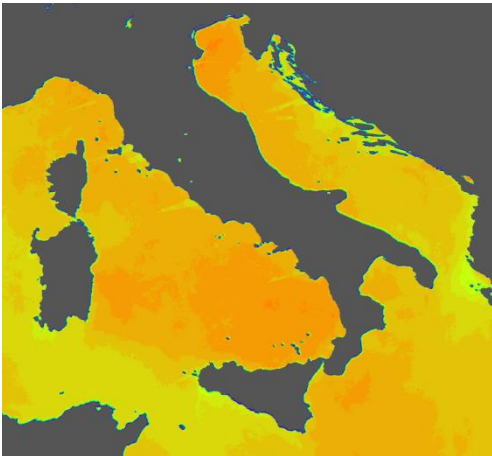
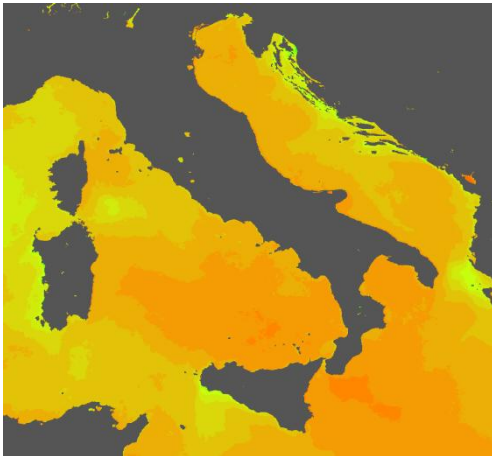


Fig.4 SST skin nelle tre sottoregioni per l'anno 2010.

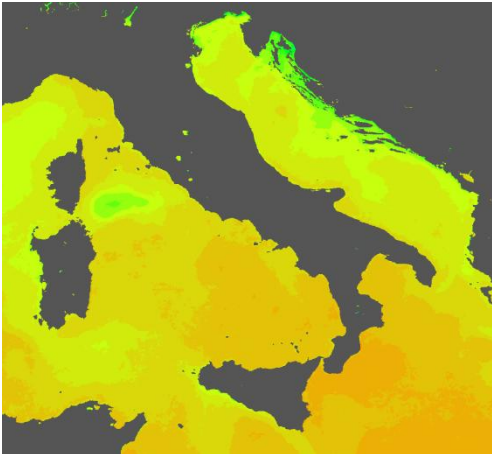
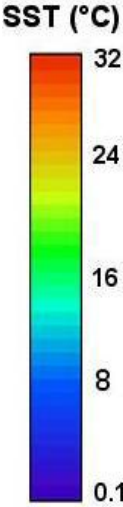
# SST skin 2010



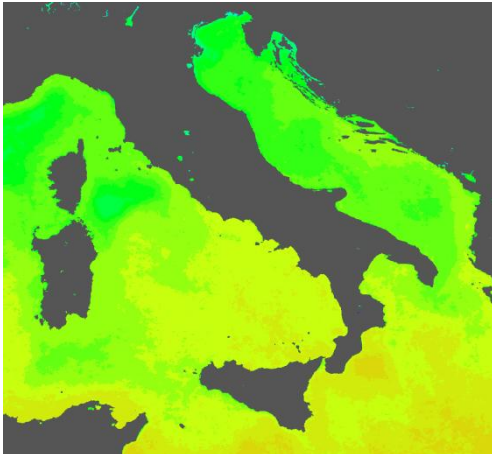
Luglio



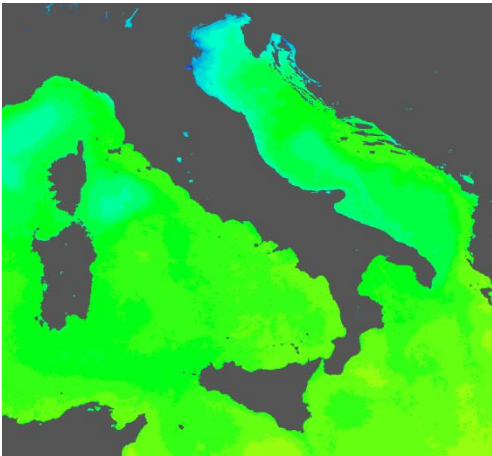
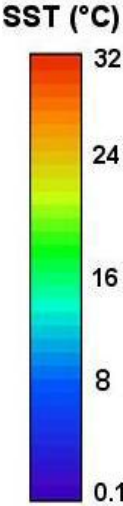
Agosto



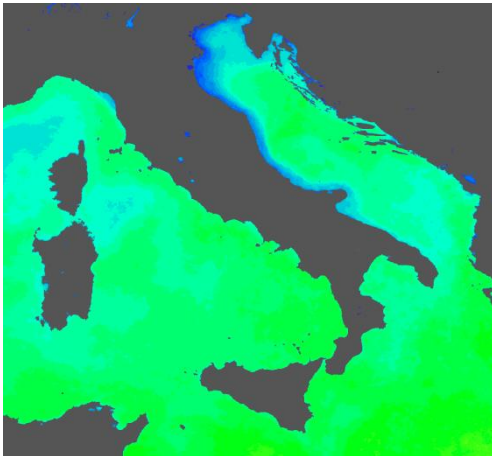
Settembre



Ottobre



Novembre



Dicembre

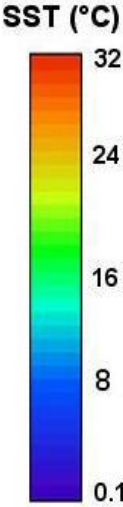
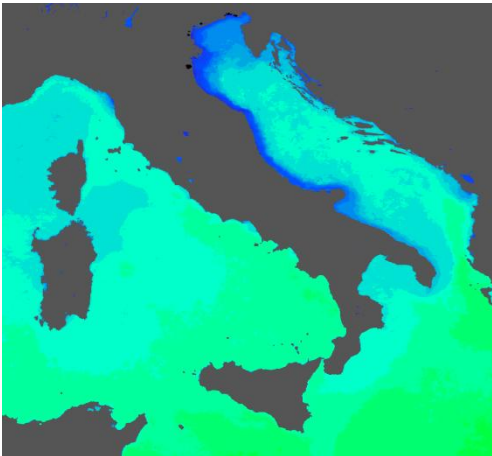
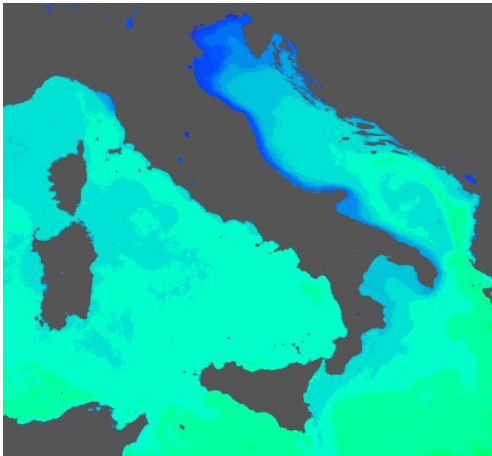


Fig.4 (cont.) SST skin nelle tre sottoregioni per l'anno 2010.

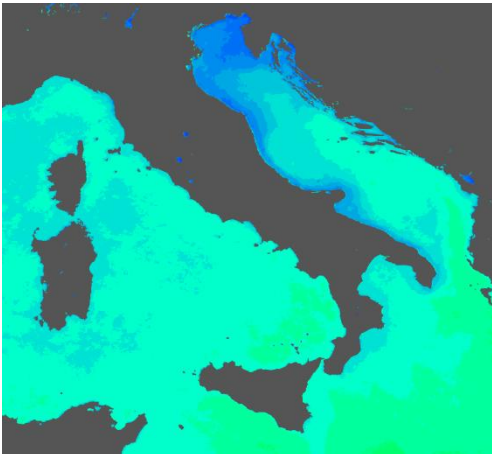
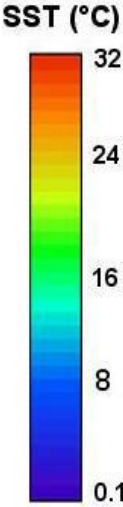
# SST skin 2011



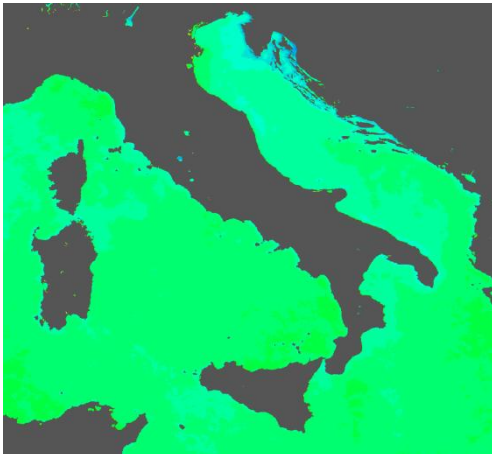
Gennaio



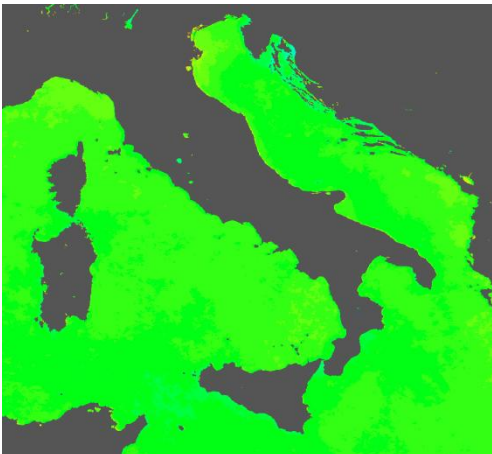
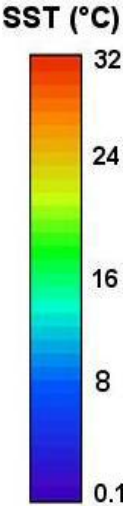
Febbraio



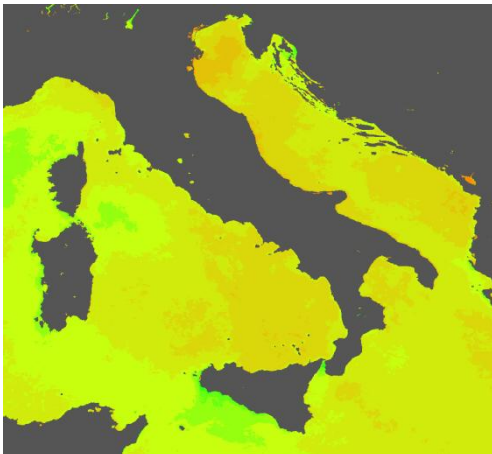
Marzo



Aprile



Maggio



Giugno

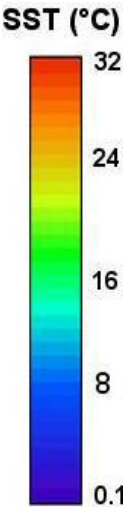


Fig.5 SST skin nelle tre sottoregioni per l'anno 2011.

## SST skin 2011

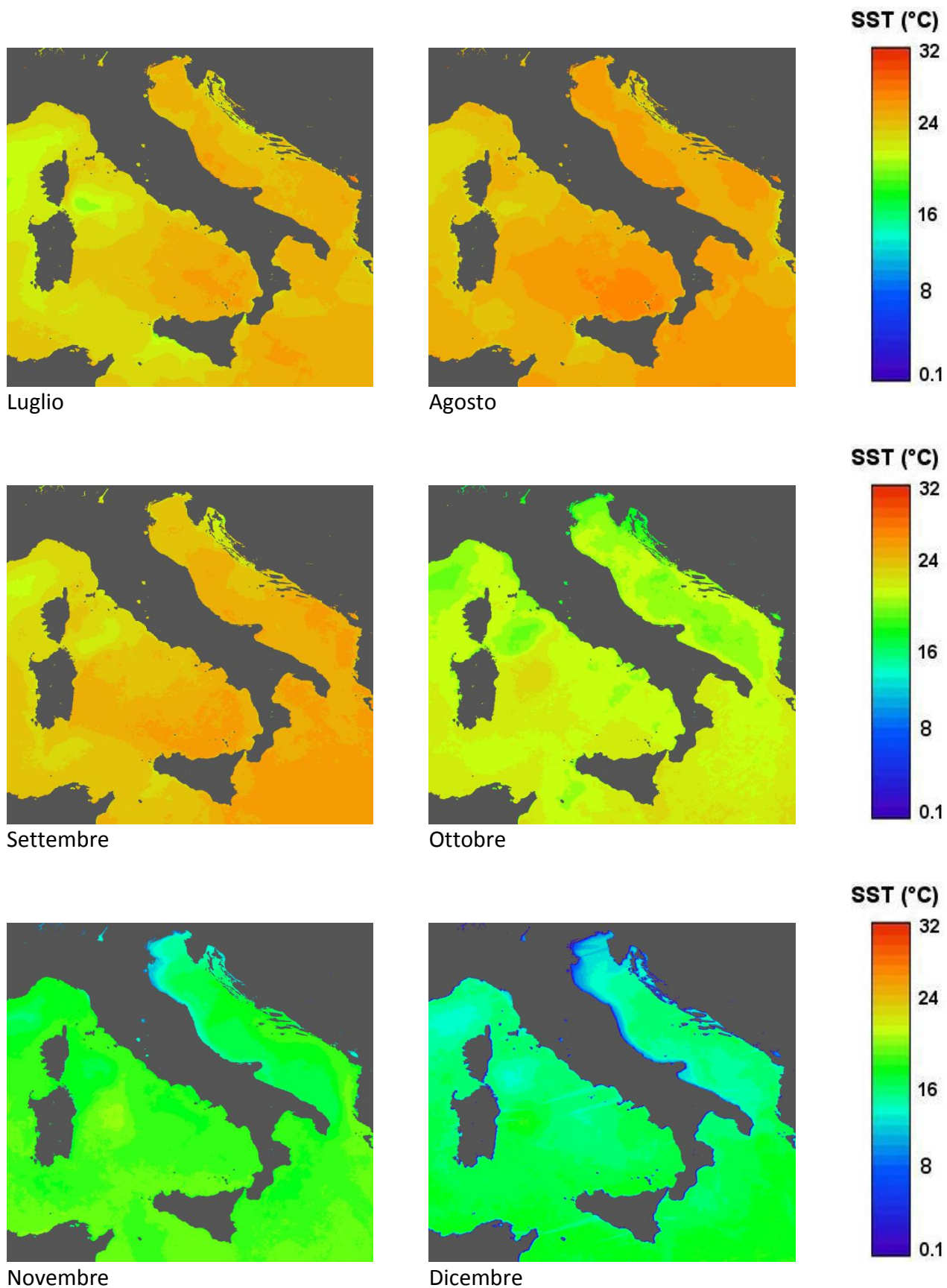


Fig.5 (cont.) SST skin nelle tre sottoregioni per l'anno 2011.

## Temperatura del fondo marino<sup>1</sup>

### Soggetti detentori di dati individuati:

1. Dati campagne oceanografiche effettuate dall'ENEA e dal CNR forniti dal Presidente della COI (Dr. Giuseppe Manzella);
2. Progetti Europei MyOcean e MyOcean2.

### Dati e metodi:

1. Riguardo ai dati delle campagne oceanografiche ENEA-CNR (Fig. 1-3) questi sono dati collezionati con le sonde multiparametriche (sonda SEABIRD900 CTD) su tutta la colonna d'acqua dal Mar Ionio allo Stretto di Gibilterra e validati mediante il controllo di qualità basato sui protocolli originali MEDATLAS (MGMR Software versione 2010.01 utilizzando l'ETOPO1 (Batimetria) ed i valori di confine regionali. I dati di temperatura al fondo sono stati spazializzati su una griglia di 0.5° x 0.5° (55-60 km) e ad una risoluzione verticale di 10 m. Tali dati sono stati mediati su base stagionale. L'arco temporale dei dati acquisiti dalle campagne oceanografiche suddette va da gennaio 2006 a dicembre 2011.
2. Il Progetto My Ocean fornisce dati di temperatura lungo tutta la colonna d'acqua per il periodo 2001 - 2010 forniti dal modello numerico per il Mar Mediterraneo del progetto MyOcean su grigliato regolare con passo di griglia 1/16 di grado (sia per latitudine che per longitudine). Tali dati della temperatura consistono in medie mensili su 72 livelli di profondità.

I dati sono in via di elaborazione e verranno analizzati entro il 15 ottobre 2012. I dati collezionati dall'ENEA e dal CNR devono essere riportati su un sistema GIS e devono essere analizzati su base spaziale per le tre sottoregioni.

I dati relativi al Programma MyOcean sono stati acquisiti ma devono essere ancora analizzati.

---

### <sup>1</sup> Bibliografia:

- Brasseur P., J.M. Beckers, J.M. Brankart, R. Schoenauen, 1996. Seasonal temperature and salinity fields in the Mediterranean Sea: Climatological analyses of a historical data set. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, 43 (2): 159-192
- Flos J., 1985. The driving machine. In Margalef R.(ed.) *Western Mediterranean*, Pergamon Press, Oxford: 60-99.
- Danovaro R., Dell'Anno A., Fabiano M., Pusceddu A., Tselepidis A., 2001. Deep-sea ecosystem response to climate changes: the eastern Mediterranean case study. *Trends in Ecology and Evolution*, 16 (9):505-510.
- D'Ortenzio F., Iudicone D., de Boyer Montegut C., Testor P., Antoine D., Marullo S., Santoleri R. and Madec G., 2005. Seasonal variability of the mixed layer depth in the Mediterranean Sea as derived from in situ profiles. *Geophysical Research Letters*, 32 (L12605, doi:10.1029/2005GL022463).
- Manzella G. M.R., Gasparini G.P., Astraldi M., 1988. Water exchange between the eastern and western Mediterranean through the strait of Sicily. *Deep Sea Research Part A. Oceanographic Research Papers*, 35 (6): 1021-1035.
- Rixen M., Beckers J., Levitus S., Antonov J., Boyer T., Maillard C., Fichaut M., Balopoulos E., Iona S., Dooley H, Garcia M, Manca B, Giorgetti A, Manzella G, Mikhailov N., Pinardi N., Zavatarelli M., 2005. The Western Mediterranean Deep Water: A proxy for climate change - art. no. L12608. *Geophysical Research Letters*, 32(12): 47-50.
- Roether W., B. B. Manca, B. Klein, D. Bregant, Georgopoulos D., Beitzel V. , Kovačević V. Luchetta A., 1996. Recent Changes in Eastern Mediterranean Deep Waters. *Science*, 271 (5247):333-335.**
- Sawyer Hopkins T., 1985. Physics of the Sea. In Margalef R.(ed.) *Western Mediterranean*, Pergamon Press, Oxford: 60-99.

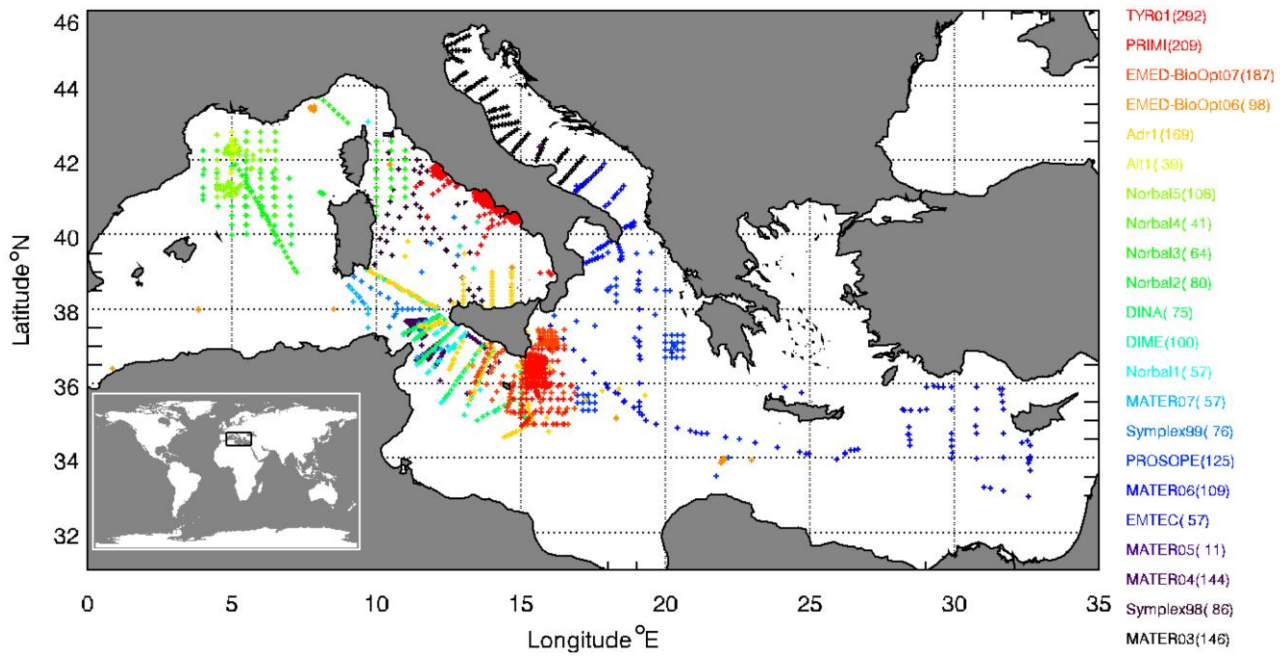


Fig. 1 Campagne oceanografiche condotte dal gennaio 2006 a dicembre 2011 dal CNR-ISAC.

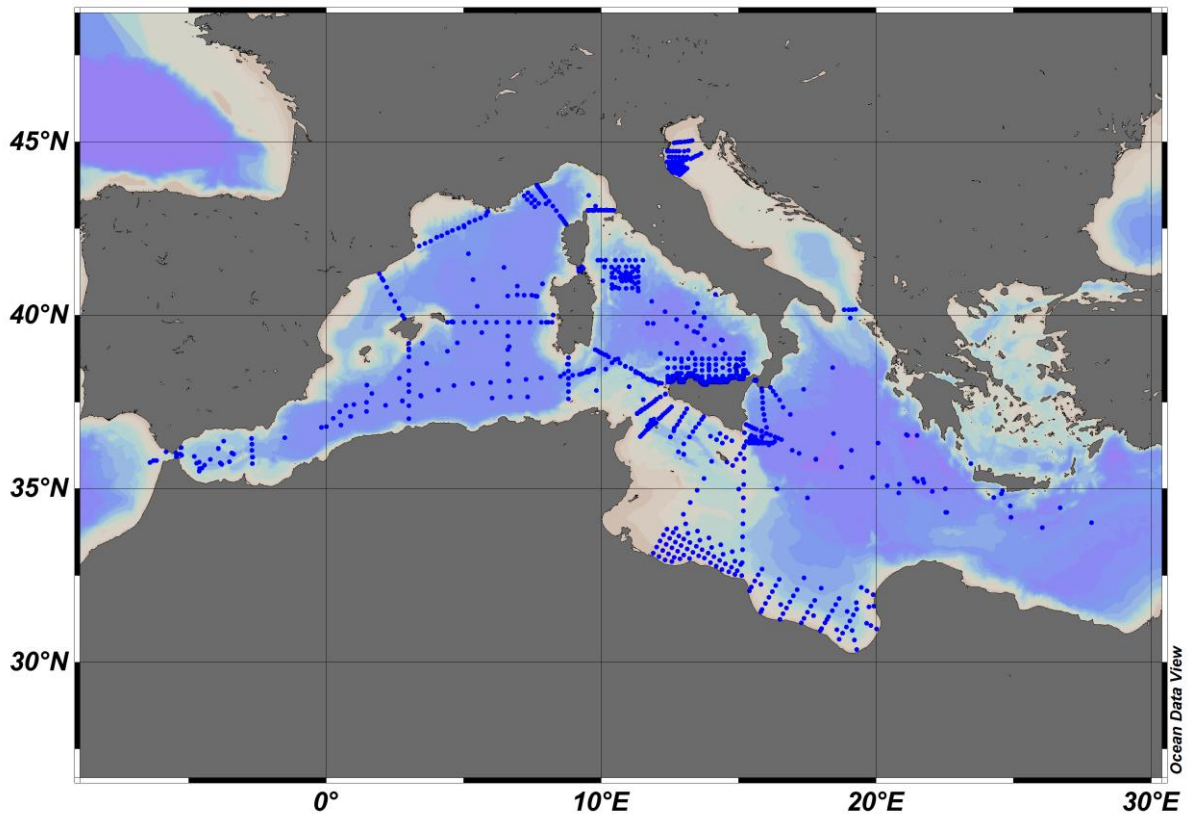


Fig. 2 Campagne oceanografiche condotte dal gennaio 2006 a dicembre 2011 dal CNR-ISMAR.

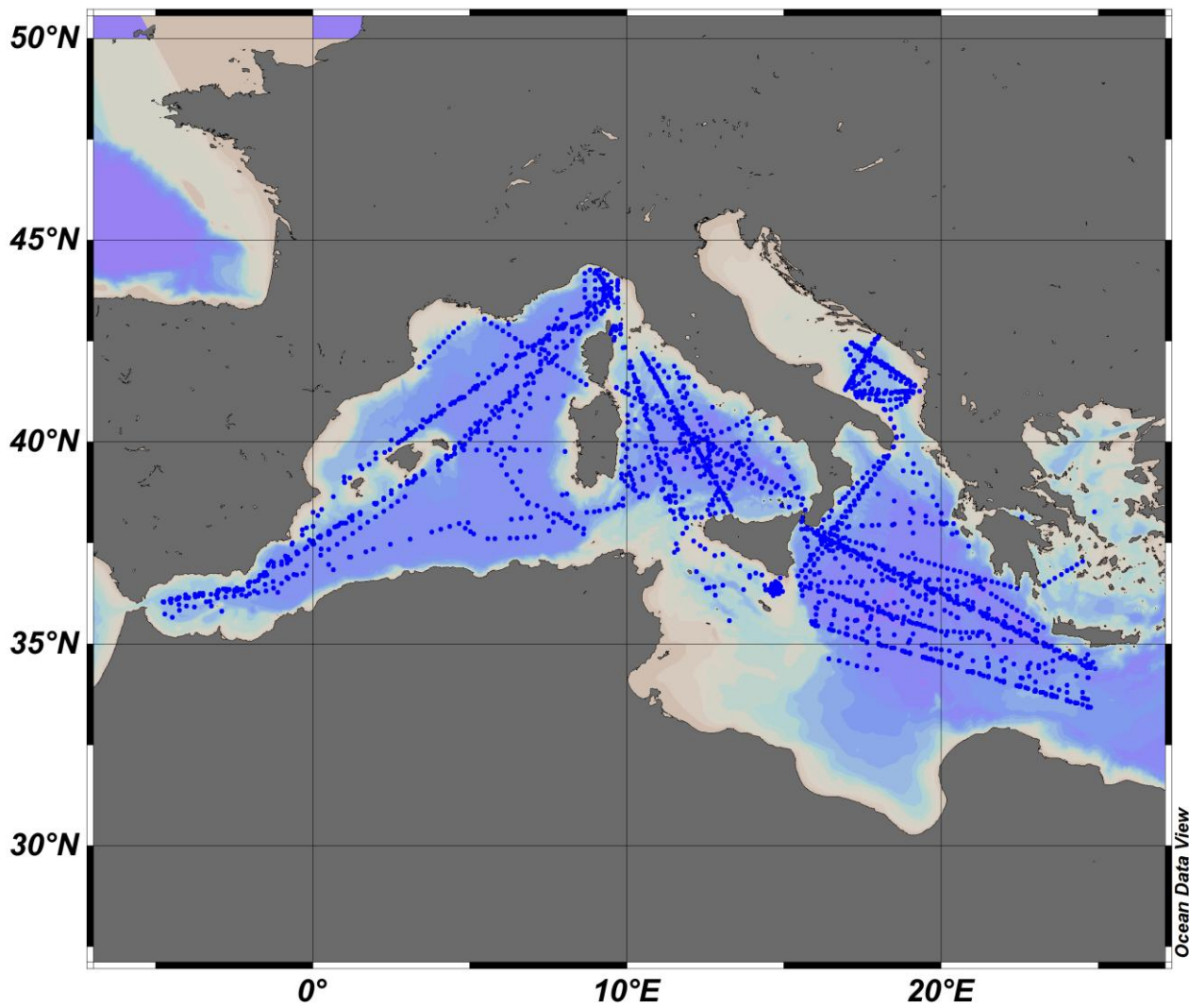


Fig. 3 Campagne oceanografiche condotte dal gennaio 2006 a dicembre 2011 dall'ENEA\_OO.

*Analisi:*  
In fase di studio.

## Salinità<sup>2</sup>

*Soggetti detentori di dati individuati:* Progetti Europei MyOcean e MyOcean2;

### *Dati e metodi:*

Sono stati utilizzati i dati di ri-analisi per il periodo 2001 - 2010 forniti dal modello numerico per il Mar Mediterraneo del progetto MyOcean su grigliato regolare con passo di griglia 1/16 di grado (sia per latitudine che per longitudine). Tali dati di salinità consistono in medie mensili su 72 livelli di profondità. Sono stati raggruppati per stagione e per anno al fine di determinare in ogni punto di griglia le medie stagionali e annuali sulla superficie libera. Verranno inoltre valutati i trend spaziali e temporali e stimati i trend futuri.

### *Analisi:*

A titolo dimostrativo i risultati vengono analizzati attraverso la realizzazione di mappe dei valori di salinità sulla superficie libera. In esse sono rappresentate sia le medie annuali che le medie stagionali. Attraverso di esse è possibile caratterizzare i valori di salinità della sottoregione e valutare la presenza di eventuali trend temporali e la distribuzione spaziale. A titolo di esempio, si riportano 5 mappe rappresentanti il valore medio di salinità nei 10 anni analizzati e i valori medi relativi alle singole stagioni.

La prima mappa, mostrata nella figura seguente, fornisce un'idea della rappresentazione che sarà ottenuta con l'inserimento dei risultati nel database GIS.

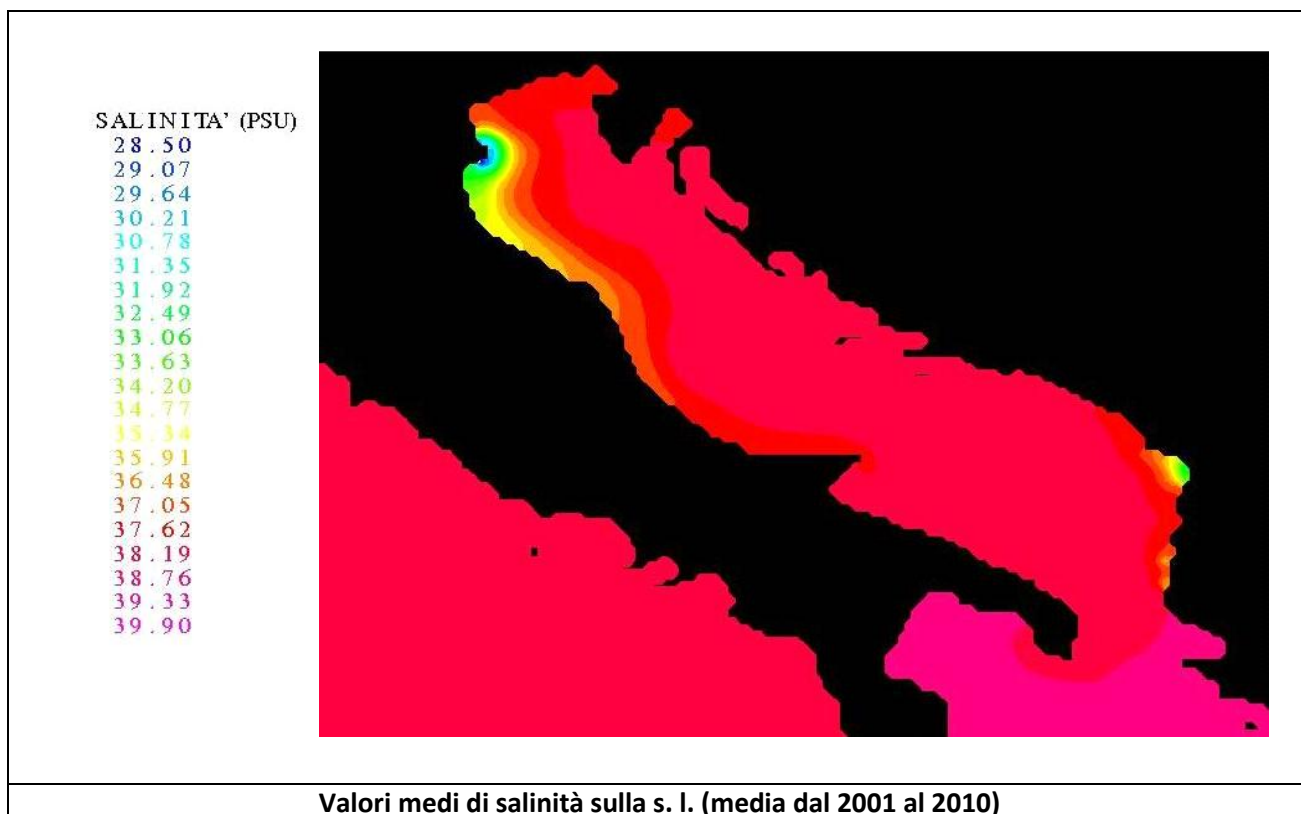
---

## <sup>2</sup> Riferimenti bibliografici

- NEMO ocean engine, Note du Pole de mod'elisation, Institut Pierre-Simon Laplace (IPSL), France, No 27 ISSN No 1288-1619.
- Roullet G. and G. Madec, 2000: Salt conservation, free surface, and varying levels: a new formulation for ocean general circulation models. *J.G.R.*, 105, C10, 23,927-23,942.
- Tonani, M., N. Pinardi, S. Dobricic, I. Pujol, and C. Fratianni, 2008. A high-resolution free-surface model of the Mediterranean Sea. *Ocean Sci.*, 4, 1-14.
- Dobricic, S., N. Pinardi, M. Adani, M. Tonani, C. Fratianni, A. Bonazzi, and V. Fernandez, 2007. Daily oceanographic analyses by Mediterranean Forecasting System at the basin scale. *Ocean Sci.*, 3, 149-157.
- Dobricic, S. and N. Pinardi, 2008. An oceanographic three-dimensional variational data assimilation scheme. *Ocean Modelling*, 22, 3-4, 89-105.
- Dobricic, S., 2005. New mean dynamic topography of the mediterranean calculated from assimilation system diagnostic. *GRL*, 32.
- Pinardi, N., I. Allen, P. De Mey, G. Korres, A. Lascaratos, P.Y. Le Traon, C. Maillard, G. Manzella and C. Tziavos, 2003. The Mediterranean ocean Forecasting System: first phase of implementation (1998-2001). *Ann. Geophys.*, 21, 1, 3-20.
- 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. Discuss.*, 6, 1093-1127.
- Dombrowsky E., L. Bertino, G.B. Brassington, E.P. Chassignet, F. Davidson, H.E. Hurlburt, M. Kamachi, T. Lee, M.J. Martin, S. Meu and M. Tonani 2009: GODAE Systems in operation, *Oceanography*, Volume 22-3, 83,95.
- 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, 2008. 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.

Per la validazione dei prodotti: <http://gnoo.bo.ingv.it/mfs/myocean/evaluation.html> ; <http://gnoo.bo.ingv.it/myocean/calval/> ;



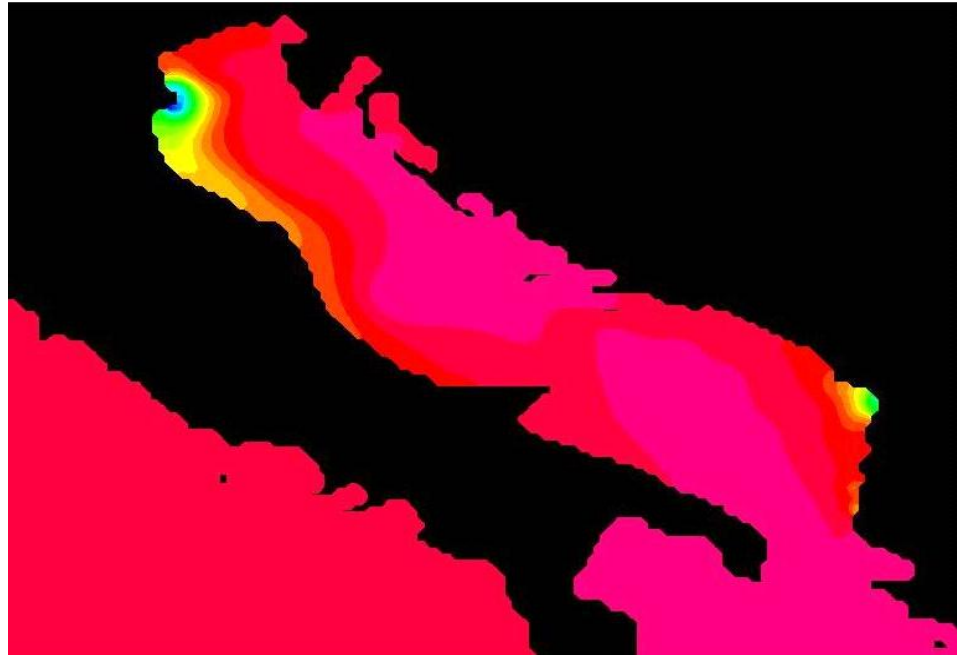


Tale immagine consente di individuare la distribuzione spaziale dei valori medi di salinità nei 10 anni analizzati.

Le 4 mappe riportate nelle figure seguenti consentono di valutare la variabilità stagionale nei 10 anni analizzati.

SALINITA' (PSU)

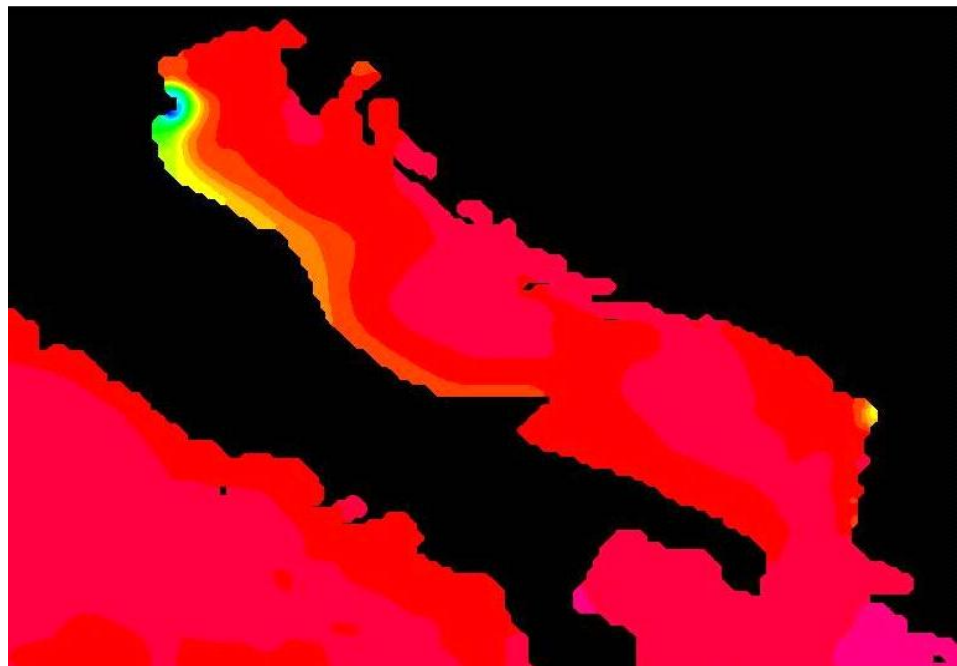
25.60  
26.32  
27.03  
27.75  
28.46  
29.18  
29.89  
30.61  
31.32  
32.04  
32.75  
33.47  
34.18  
34.90  
35.61  
36.33  
37.04  
37.76  
38.47  
39.19  
39.90



Valori medi di salinità sulla s. l. nel periodo primaverile (media dalla primavera 2001 alla primavera 2010)

SALINITA' (PSU)

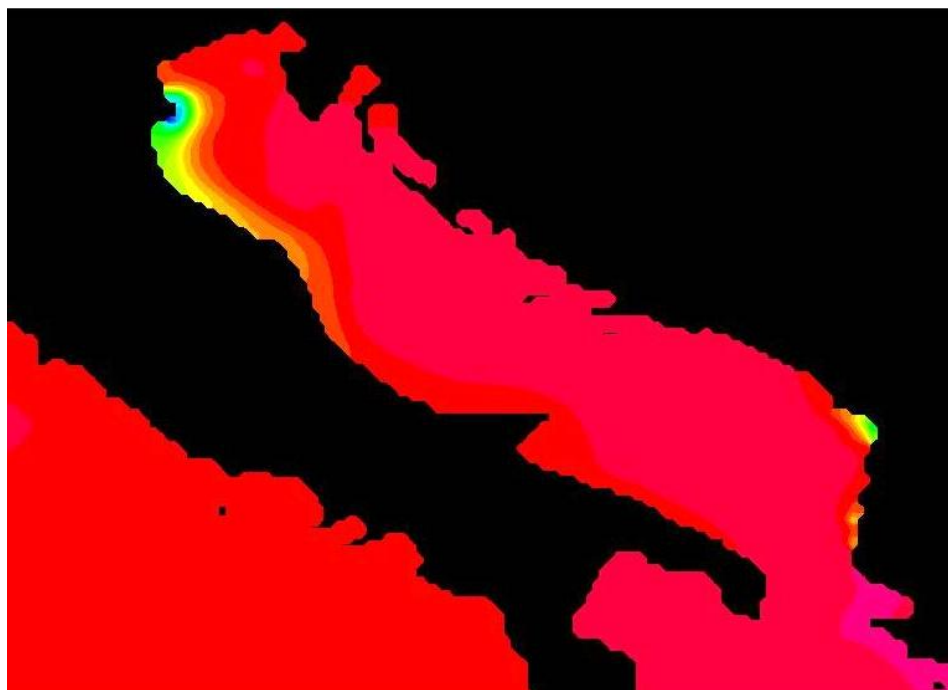
29.40  
29.93  
30.50  
30.99  
31.52  
32.05  
32.58  
33.11  
33.64  
34.17  
34.70  
35.23  
35.76  
36.29  
36.82  
37.35  
37.88  
38.41  
38.94  
39.47  
39.98



Valori medi di salinità sulla s. l. nel periodo estivo (media dall'estate 2001 all'estate 2010)

SALINITA' (PSU)

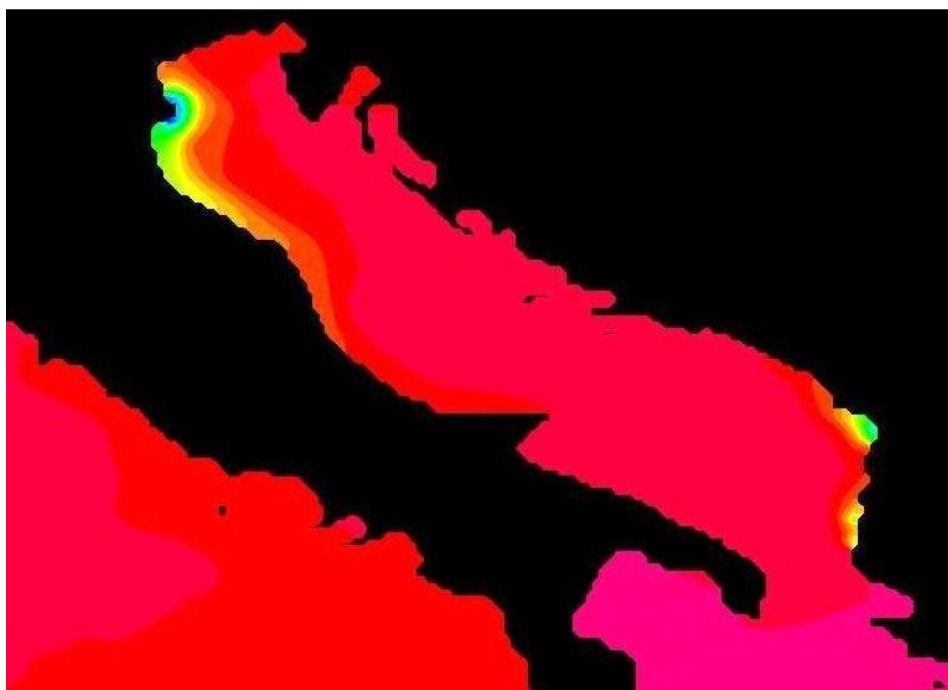
- 29.30
- 29.84
- 30.37
- 30.91
- 31.44
- 31.98
- 32.51
- 33.05
- 33.58
- 34.12
- 34.65
- 35.19
- 35.72
- 36.26
- 36.79
- 37.33
- 37.86
- 38.40
- 38.93
- 39.47
- 40.00



Valori medi di salinità sulla s. l. nel periodo autunnale (media dall'autunno 2001 all'autunno 2010)

SALINITA' (PSU)

- 29.40
- 29.93
- 30.45
- 30.98
- 31.50
- 32.03
- 32.55
- 33.08
- 33.60
- 34.13
- 34.65
- 35.18
- 35.70
- 36.23
- 36.75
- 37.28
- 37.80
- 38.33
- 38.85
- 39.38
- 39.90



Valori medi di salinità sulla s. l. nel periodo invernale (media dall'inverno 2001 all'inverno 2010)

## Velocità della corrente<sup>3</sup>

### *Soggetti detentori di dati individuati:*

Progetti Europei MyOcean e MyOcean2;

### *Dati e metodi:*

Sono stati utilizzati i dati di ri-analisi per il periodo 2001 - 2010 forniti dal modello numerico per il Mar Mediterraneo del progetto MyOcean su grigliato regolare con passo di griglia 1/16 di grado (sia per latitudine che per longitudine). Tali dati della velocità della corrente consistono in medie mensili su 72 livelli di profondità. Sono stati raggruppati per stagione e per anno al fine di valutare in ogni punto di griglia le medie stagionali e annuali dell'intensità e della direzione della componente orizzontale della velocità in corrispondenza della superficie e del fondo. Verranno inoltre valutati i trend temporali e la distribuzione spaziale.

### *Analisi:*

I risultati vengono analizzati attraverso la realizzazione di mappe dei valori di corrente sulla superficie e al fondo. Attraverso di esse è possibile caratterizzare il campo fluidodinamico della sottoregione e valutare la presenza di eventuali trend temporali e la distribuzione spaziale. A titolo di esempio, si riportano 5 mappe rappresentanti il campo fluidodinamico sulla superficie libera nei 10 anni analizzati e i valori medi relativi alle singole stagioni.

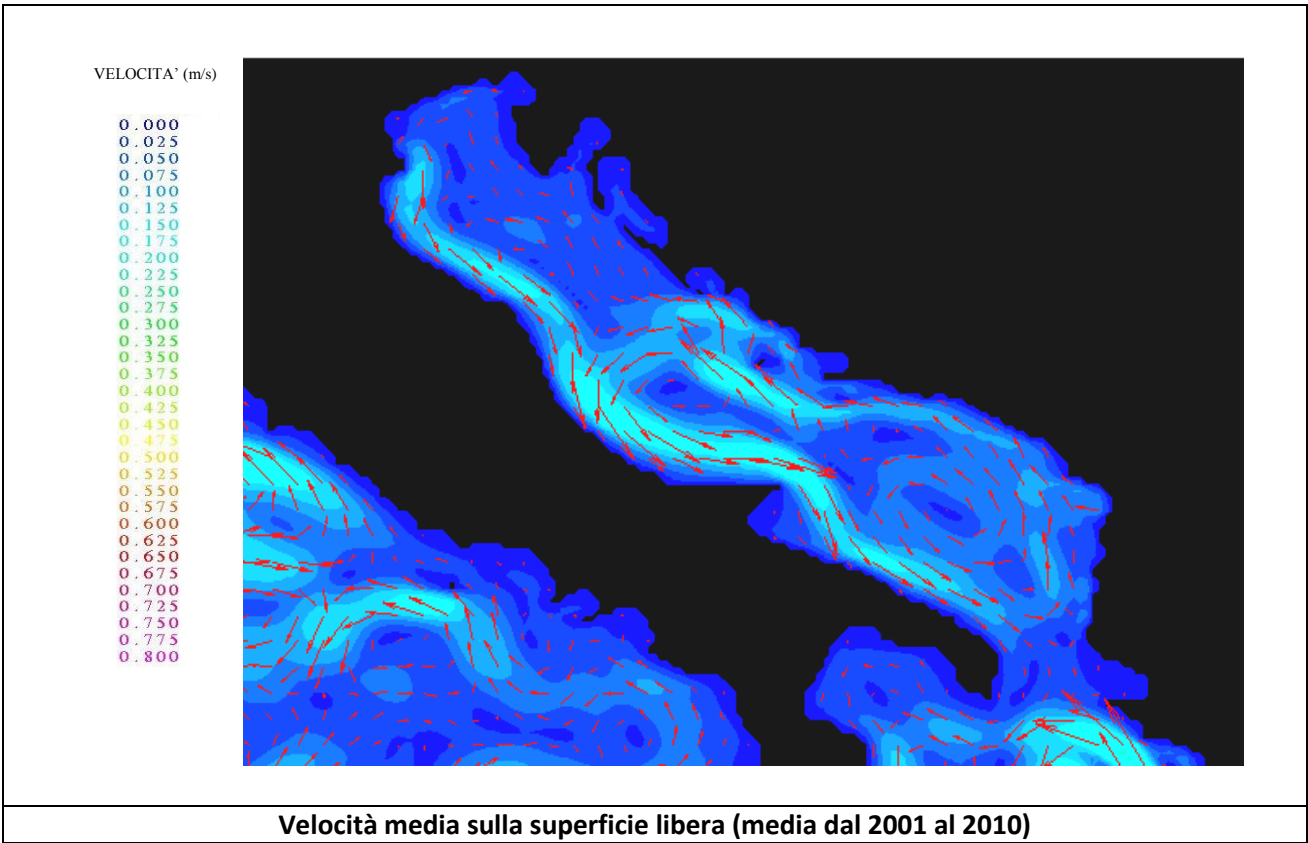
La prima mappa, mostrata nella figura seguente, consente di individuare le caratteristiche principali del campo fluidodinamico medio nei 10 anni analizzati.

---

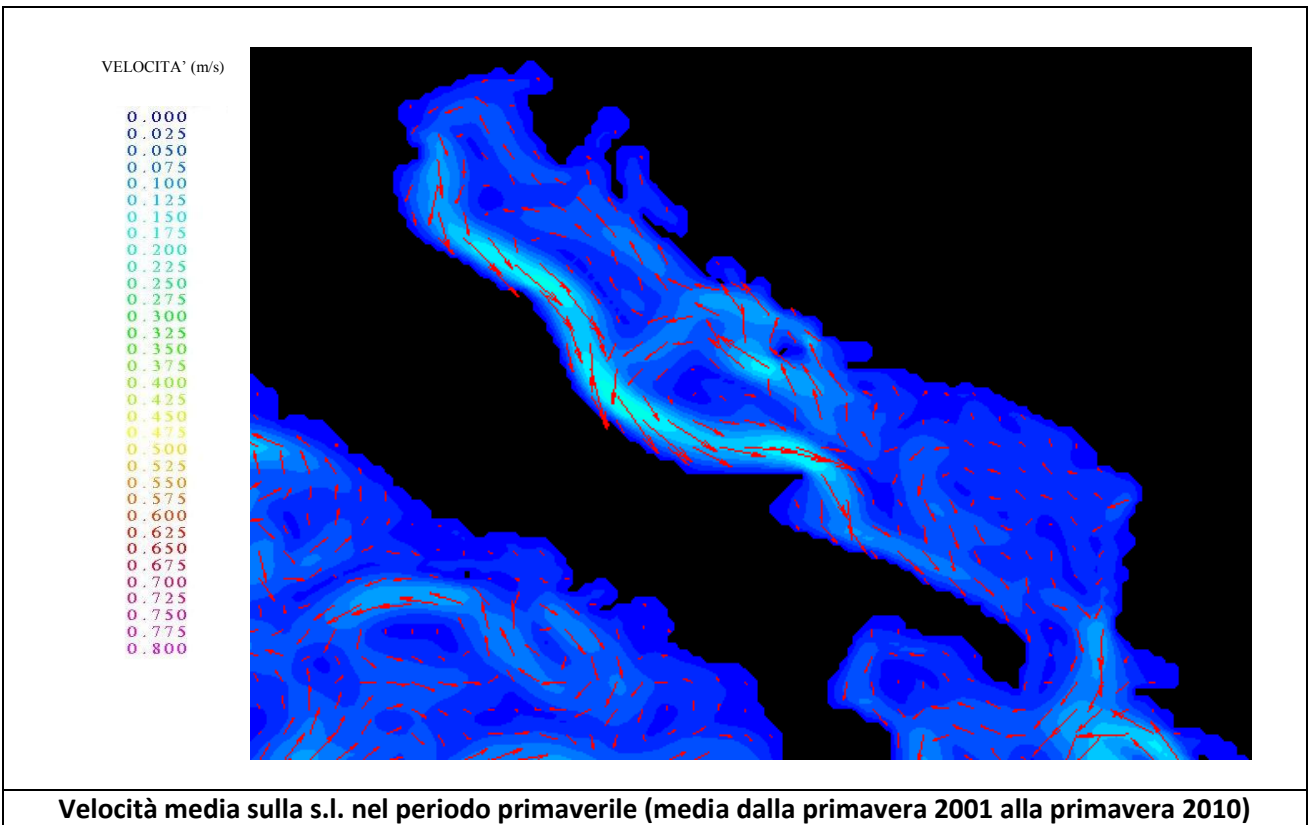
### <sup>3</sup> Riferimenti bibliografici

- NEMO ocean engine, Note du Pole de mod'elisation, Institut Pierre-Simon Laplace (IPSL), France, No 27 ISSN No 1288-1619.
- Roulet G. and G. Madec, 2000: Salt conservation, free surface, and varying levels: a new formulation for ocean general circulation models. *J.G.R.*, 105, C10, 23,927-23,942.
- Tonani, M., N. Pinardi, S. Dobricic, I. Pujol, and C. Fratianni, 2008. A high-resolution free-surface model of the Mediterranean Sea. *Ocean Sci.*, 4, 1-14.
- Dobricic, S., N. Pinardi, M. Adani, M. Tonani, C. Fratianni, A. Bonazzi, and V. Fernandez, 2007. Daily oceanographic analyses by Mediterranean Forecasting System at the basin scale. *Ocean Sci.*, 3, 149-157.
- Dobricic, S. and N. Pinardi, 2008. An oceanographic three-dimensional variational data assimilation scheme. *Ocean Modelling*, 22, 3-4, 89-105.
- Dobricic, S., 2005. New mean dynamic topography of the mediterranean calculated from assimilation system diagnostic. *GRL*, 32.
- Pinardi, N., I. Allen, P. De Mey, G. Korres, A. Lascaratos, P.Y. Le Traon, C. Maillard, G. Manzella and C. Tziavos, 2003. The Mediterranean ocean Forecasting System: first phase of implementation (1998-2001). *Ann. Geophys.*, 21, 1, 3-20.
- 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. Discuss.*, 6, 1093-1127.
- Dombrowsky E., L. Bertino, G.B. Brassington, E.P. Chassignet, F. Davidson, H.E. Hurlburt, M. Kamachi, T. Lee, M.J. Martin, S. Meu and M. Tonani 2009: GODAE Systems in operation, *Oceanography*, Volume 22-3, 83,95.
- 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, 2008. 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.

Per la validazione dei prodotti: <http://gnoo.bo.ingv.it/myocean/calval/>; <http://gnoo.bo.ingv.it/mfs/myocean/evaluation.html>

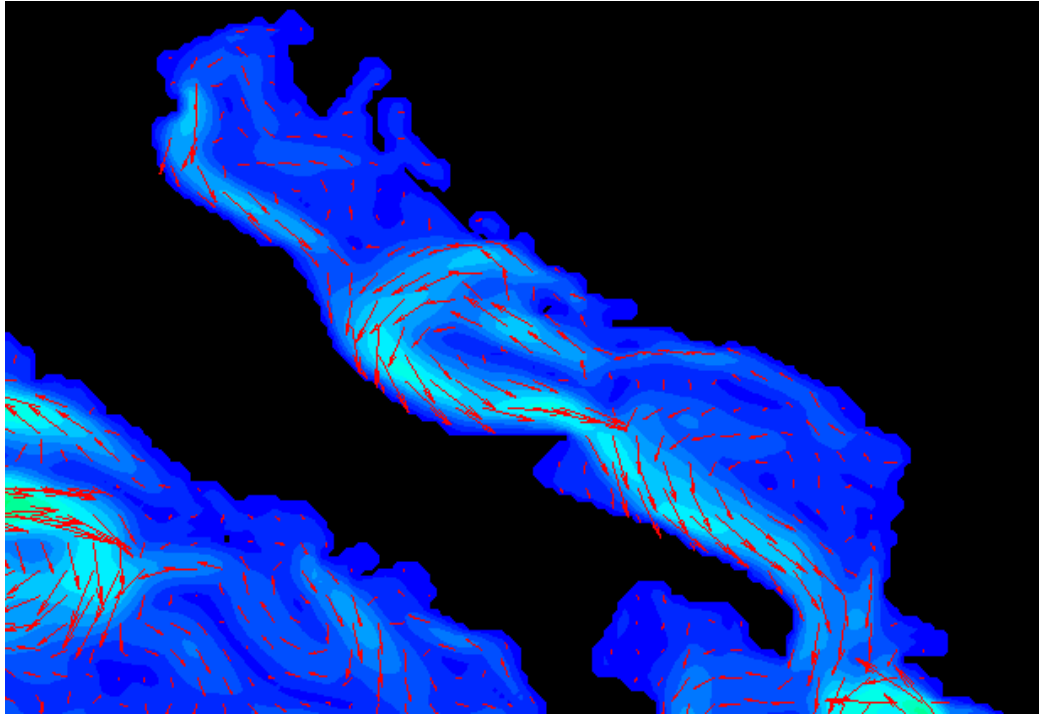


Le 4 mappe riportate nelle figure seguenti consentono di valutare la variabilità stagionale nei 10 anni analizzati.



VELOCITA' (m/s)

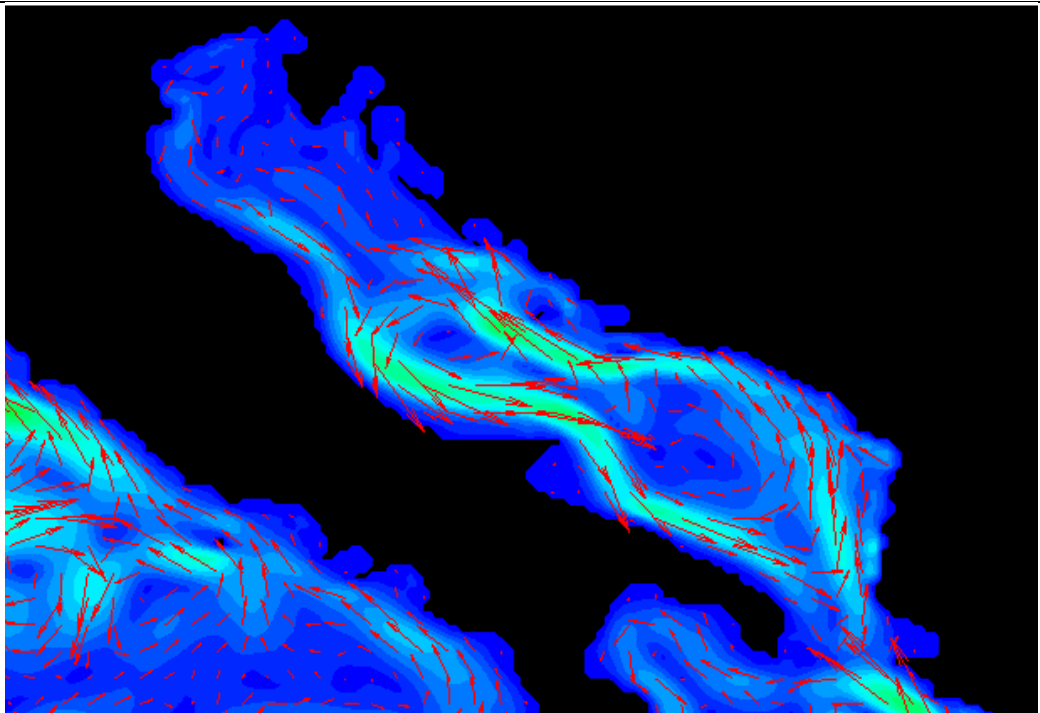
0.000  
0.025  
0.050  
0.075  
0.100  
0.125  
0.150  
0.175  
0.200  
0.225  
0.250  
0.275  
0.300  
0.325  
0.350  
0.375  
0.400  
0.425  
0.450  
0.475  
0.500  
0.525  
0.550  
0.575  
0.600  
0.625  
0.650  
0.675  
0.700  
0.725  
0.750  
0.775  
0.800



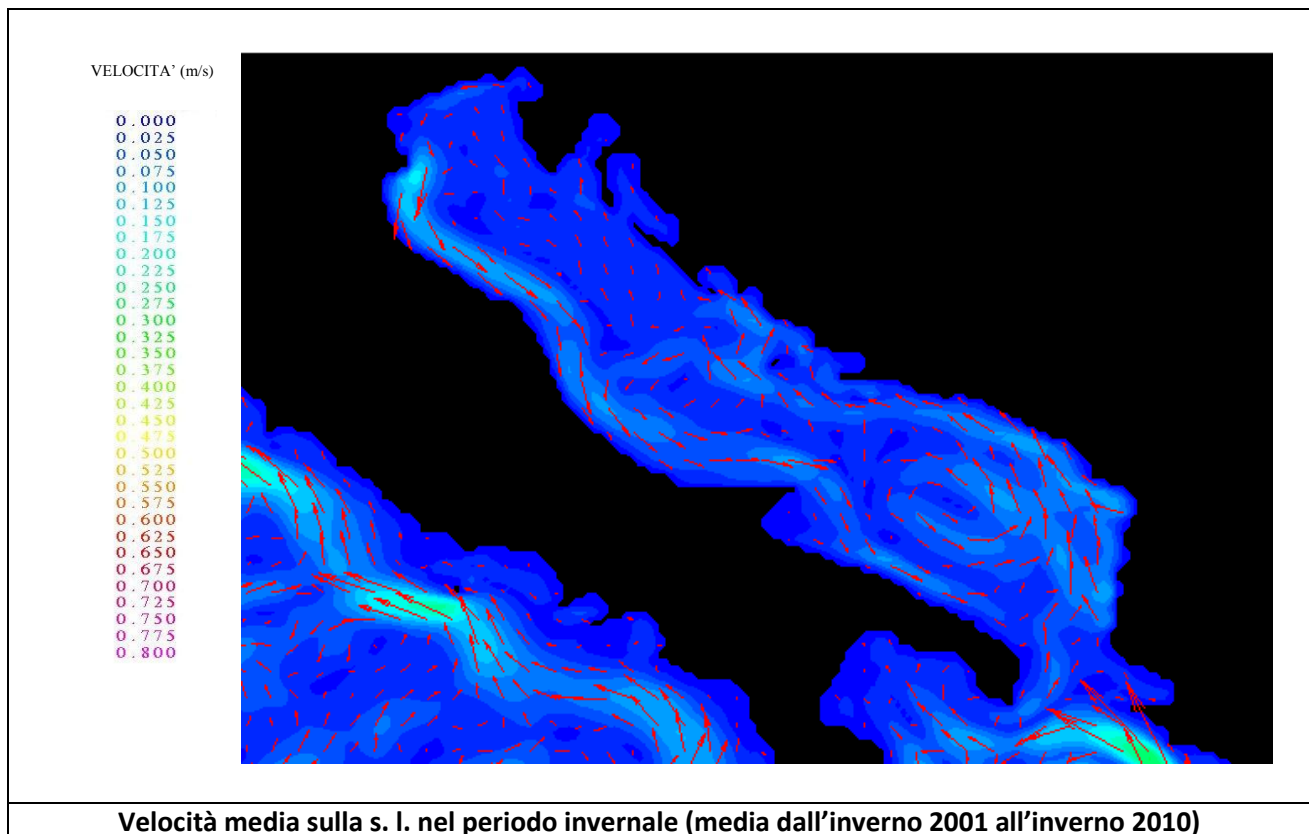
**Velocità media sulla s. l. nel periodo estivo (media dall'estate 2001 all'estate 2010)**

VELOCITA' (m/s)

0.000  
0.025  
0.050  
0.075  
0.100  
0.125  
0.150  
0.175  
0.200  
0.225  
0.250  
0.275  
0.300  
0.325  
0.350  
0.375  
0.400  
0.425  
0.450  
0.475  
0.500  
0.525  
0.550  
0.575  
0.600  
0.625  
0.650  
0.675  
0.700  
0.725  
0.750  
0.775  
0.800



**Velocità media sulla s. l. nel periodo autunnale (media dall'autunno 2001 all'autunno 2010)**



## Caratteristiche di mescolamento<sup>4</sup>

Soggetti detentori di dati individuati:

Progetti Europei MyOcean e MyOcean2;

### <sup>4</sup> Riferimenti bibliografici

- NEMO ocean engine, Note du Pole de mod'elisation, Institut Pierre-Simon Laplace (IPSL), France, No 27 ISSN No 1288-1619.
  - Roulet G. and G. Madec, 2000: Salt conservation, free surface, and varying levels: a new formulation for ocean general circulation models. *J.G.R.*, 105, C10, 23,927-23,942.
  - Tonani, M., N. Pinardi, S. Dobricic, I. Pujol, and C. Fratianni, 2008. A high-resolution free-surface model of the Mediterranean Sea. *Ocean Sci.*, 4, 1-14.
  - Dobricic, S., N. Pinardi, M. Adani, M. Tonani, C. Fratianni, A. Bonazzi, and V. Fernandez, 2007. Daily oceanographic analyses by Mediterranean Forecasting System at the basin scale. *Ocean Sci.*, 3, 149-157.
  - Dobricic, S. and N. Pinardi, 2008. An oceanographic three-dimensional variational data assimilation scheme. *Ocean Modelling*, 22, 3-4, 89-105.
  - Dobricic, S., 2005. New mean dynamic topography of the mediterranean calculated from assimilation system diagnostic. *GRL*, 32.
  - Pinardi, N., I. Allen, P. De Mey, G. Korres, A. Lascaratos, P.Y. Le Traon, C. Maillard, G. Manzella and C. Tziavos, 2003. The Mediterranean ocean Forecasting System: first phase of implementation (1998-2001). *Ann. Geophys.*, 21, 1, 3-20.
- 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. Discuss.*, 6, 1093-1127.
- Dombrowsky E., L. Bertino, G.B. Brassington, E.P. Chassignet, F. Davidson, H.E. Hurlburt, M. Kamachi, T. Lee, M.J. Martin, S. Meu and M. Tonani 2009: GODAE Systems in operation, *Oceanography*, Volume 22-3, 83,95.
  - 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, 2008. 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.

Per la validazione dei prodotti: <http://gnoo.bo.ingv.it/myocean/calval/>; <http://gnoo.bo.ingv.it/mfs/myocean/evaluation.html>

#### *Dati e metodi:*

Sono stati utilizzati i dati di ri-analisi per il periodo 2001 - 2010 forniti dal modello numerico per il Mar Mediterraneo del progetto MyOcean su grigliato regolare con passo di griglia 1/16 di grado (sia per latitudine che per longitudine). Verrà effettuata l'analisi dei profili di temperatura e salinità per identificare il grado di stratificazione del fluido. Verranno inoltre valutati i trend spaziali e temporali.

#### *Analisi:*

In fase di studio

## **Upwelling**

#### *Soggetti detentori di dati individuati:*

##### **ISAC CNR**

Dati satellitari temperatura superficiale del mare per l'area Mediterranea

Dati satellitari di colore oceanico

Dati oceanografici in situ - Mar Mediterraneo

Dati satellitari per il Mar Adriatico

##### **ISPRA Servizio Mareografico<sup>5</sup>**

Dati di velocità e direzione del vento

#### *Dati e metodi:*

Il lavoro in una prima parte si propone di determinare le condizioni favorevoli allo sviluppo di upwelling lungo le coste italiane, analizzando in particolare i movimenti superficiali delle masse di acqua causati dall'azione del vento. A tale scopo sono stati analizzati i dati di velocità e direzione del vento provenienti dalle stazioni della Rete Mareografica Nazionale in modo da poter stabilire le aree più soggette al verificarsi del fenomeno. Per costruire, in una seconda fase, un indice sintetico capace di individuare le zone più interessate al fenomeno di upwelling invece saranno utilizzati dati telerilevati, di SST e di CHL -a (SeaWiFS e MODIS). I dati in entrambi i casi fanno riferimento agli anni dal 2009 al 2011.

---

#### <sup>5</sup> **Bibliografia:**

- Bohm E., Banzon V., D'Acunzo E., D'Ortenso F., Santoleri R., (2003) Adriatic Sea surface temperature and ocean colour variability during the MFSP. *Annales Geophysicae* vol. 21, pp.137-149.
- Massetti L., 2004, Identificazione e Analisi degli Upwelling in Area Mediterranea, Tesi di Master in Meteorologia applicata, Facoltà di agraria, Università degli studi di Firenze.
- Fong, D. A. and Geyer, W. R.: Response of a river plume during an upwelling favorable wind event, *J. Geophys. Res.*, 106, 1067–1084, 2001. 4.
- Marullo S., R. Santoleri and F. Bignami, "The surface characteristics of the Tyrrhenian sea: historical satellite data analysis", in: "The seasonal and interannual variability of the Western Mediterranean Sea", P. E. La Violette editor, American Geophysical Union, Coastal and Estuarine Studies, vol. 46, 135-154, 1994.
- SeaVassiliki H. Kourafalou, Process studies on the Po River plume, North Adriatic, National Center for Marine Research, Institute of Oceanography, Athens, Greece.
- Elena Mauria, b, Pierre-Marie Poulain, Three-Dimensional Ocean Circulation: Lagrangian measurements and diagnostic analyses Northern Adriatic Sea surface circulation and temperature/pigment fields in September and October 1997, *Journal of Marine Systems*, Volume 29, Issues 1–4, May 2001, Pages 51–67.
- Claude Millot, Circulation in the Western Mediterranean Sea, *Journal of Marine Systems*, Volume 20, Issues 1–4, April 1999, Pages 423–442.
- K Béranger, L Mortier, G.-P Gasparini, L Gervasio, M Astraldi, M Crépon, The dynamics of the Sicily Strait: a comprehensive study from observations and models, *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography* Volume 51, Issues 4–5, February–March 2004, Page s 411–440.
- Marcello G. Magaldi, Tamay M. Özgökmen, Annalisa Griffa and Michel Rixen, On the response of a turbulent coastal buoyant current to wind events: the case of the Western Adriatic Current, *Ocean Dynamics*, Volume 60, Number 1 (2010), 93-122.
- R. Inghilesi, L. Ottolenghi, A. Orasi, C. Pizzi, F. Bignami, and R. Santoleri, Fate of river Tiber discharge investigated through numerical simulation and satellite monitoring, *Ocean Sci.*, 8, 773-786, 2012.



### Analisi:

Il fenomeno dell'upwelling costiero è un fenomeno di corrente fortemente influenzato oltre che dalle correnti marine, anche dall'intensità e dalla direzione del vento lungo la costa. Nella fattispecie, il vento che spira in direzione parallela alla costa può avere l'effetto, sotto alcune condizioni, di generare una corrente che viene deviata per effetto della forza di Coriolis, in direzione ortogonale alla costa e verso il largo. L'upwelling è proprio il fenomeno di corrente verticale che sposta acque più profonde che vanno a rimpiazzare l'acqua superficiale che il vento trascina verso il largo (Fong et al., 2001).

A causa della forte influenza che il vento ha nella generazione del fenomeno di upwelling, l'analisi preliminare parte dalla caratterizzazione del clima ventoso lungo le coste italiane, attraverso l'impiego dei dati di intensità e direzione del vento forniti dalle stazioni mareografiche della Rete Mareografica Nazionale.

Questa analisi consta di più fasi.

In una prima fase è stata studiata la direzione del vento nei diversi tratti di costa in cui sono presenti stazioni di misura, individuando la sezione angolare parallela al litorale in ciascun punto di osservazione. A tale scopo è stata considerata un'area di estensione di circa 40 Km prospiciente il punto di misura, lungo la quale tracciare una ipotetica linea di pendenza della costa. Una volta determinata tale pendenza, sono stati individuati per ciascun punto di osservazione i settori di direzioni ad essa paralleli.

In una seconda fase sono state selezionate le direzioni del vento appartenenti a ciascun settore direzionale scelto nella precedente fase. Ai fini dell'individuazione delle direzioni del vento suddette è stato scelto di considerare un settore di 30° sulla base dell'analisi delle distribuzioni fornite dalle rose dei venti e del posizionamento degli strumenti di misura rispetto alla linea di costa.

Tutti i dati con campionamento orario si riferiscono al periodo 2009 – 2011, e sono stati graficati attraverso le rose dei venti dove le classi angolari sono di 15° e le classi di intensità di 1.5 m/s.

Le stazioni coinvolte nello studio, i settori direzionali scelti e il numero di dati di vento appartenenti alle classi angolari selezionate, sono riportati in Tab1:

Stazioni RMN	Settore direzionale scelto	Dati di intensità del vento (orari) > di 3.0 m/s provenienti dal settore di 30°	Dati totali di vento	%
Ancona	120° - 150°	0		0
Bari	90° - 120°	1388	25588	5.42
Cagliari	NA			
Carloforte	NA			
Catania	165° - 195°	198	23837	0.83
Civitavecchia	315° - 345°	260	24871	1.05
Crotone	165° - 195°	1704	24760	6.88
Genova	270° - 300°	24	25180	0.095
Imperia	225° - 255°	982	22066	4.45
Lampedusa	NA			
Livorno	330° - 360°	144	24897	0.58
Messina	NA			
Napoli	270° - 300°	116	25220	0.46
Ortona	120° - 150°	173	24029	0.72
Otranto	165° - 195°	740	25290	2.93
Palermo	135° - 165°	298	25280	1.18
Palinuro	NA			

Porto Empedocle	285° - 315°	1889	24371	7.75
PortoTorres	NA			
Ravenna	165° - 195°	414	25019	1.65
Reggio Calabria	NA			
Salerno	300° - 330°	489	24843	1.97
Taranto	285° - 315°	973	25608	3.80
Trieste	120° - 150°	917	25181	3.64
Venezia	180° - 210°	616	25235	2.44
Vieste	120° - 150°	2297	24662	9.31

Tab1: Settori direzionali paralleli alla costa scelti per ciascun punto di misura

In questa prima fase dell'attività di ricerca, è stato possibile definire le condizioni di vento necessarie affinché si verifichi il fenomeno dell'upwelling, attraverso l'individuazione delle classi di direzione del vento favorevoli allo sviluppo del fenomeno; per ciascuna stazione di misura sono stati riportati sia le rose dei venti che rappresentano la percentuale di dati di vento che provengono dal settore di 30° scelto, classificati rispetto alle intensità, sia le frequenze totali di dati provenienti dal settore angolare individuato (Tab.1).

In una seconda fase, non disponendo di dati osservati o da modello, che possano fornire informazioni circa le condizioni di vento che intervengono nello sviluppo del fenomeno di upwelling, sia in termini di intensità del vento, sia in termini di persistenza del fenomeno ventoso, e non disponendo neppure di una metodologia (da letteratura) per la selezione dei fenomeni ventosi favorevoli alla generazione dell'upwelling, in prima approssimazione si è deciso di procedere come descritto qui di seguito.

Nella seconda fase della ricerca, questo primo livello di approssimazione sarà sottoposto a verifica e a revisione, sia in termini di metodologia che di valutazione statistica, qualora si disporrà di dati osservati o da modello che possano consentire di affrontare il problema inverso della ricostruzione delle condizioni ventose favorevoli all'upwelling.

Una volta individuati i settori direzionali, come descritto in precedenza e quindi favorevoli al verificarsi del fenomeno di upwelling, per ciascun punto di misura, è stato estrapolato dalle serie storiche, un elenco di eventi di fenomeni ventosi che potrebbero intervenire nel verificarsi di upwelling.

Ciascuno di questi eventi è stato scelto come un blocco di dati con valori di intensità di vento sopra una soglia fissata e separato da un altro evento da un certo numero di dati costantemente sotto la soglia. Per scegliere il periodo di separazione necessario a distinguere due eventi è stata studiata la funzione di autocorrelazione dei dati di intensità del vento che fornisce un intervallo di tempo corrispondente alla durata minima di persistenza di dipendenza tra i dati. Il valore ricavato in questo studio per cui considerare distinti due eventi è pari a 24 ore. Questo periodo di separazione dei dati prevede che questi siano sempre sotto una fissata soglia che è stata scelta pari a 3,0 m/s.

Il numero degli eventi di upwelling così selezionati per una località  $i$  ( $U_i$ ) è stato diviso per il numero totale degli eventi di upwelling provenienti da tutte le  $k$  località coinvolte in questo studio.

Questo rapporto, indicato come  $f_1$ ,

$$f_1 = \frac{U_i}{\sum_{i=1}^k U_i} \times 100 \quad i = 1, \dots, k$$

permette di definire le aree maggiormente esposte al fenomeno dell'upwelling.

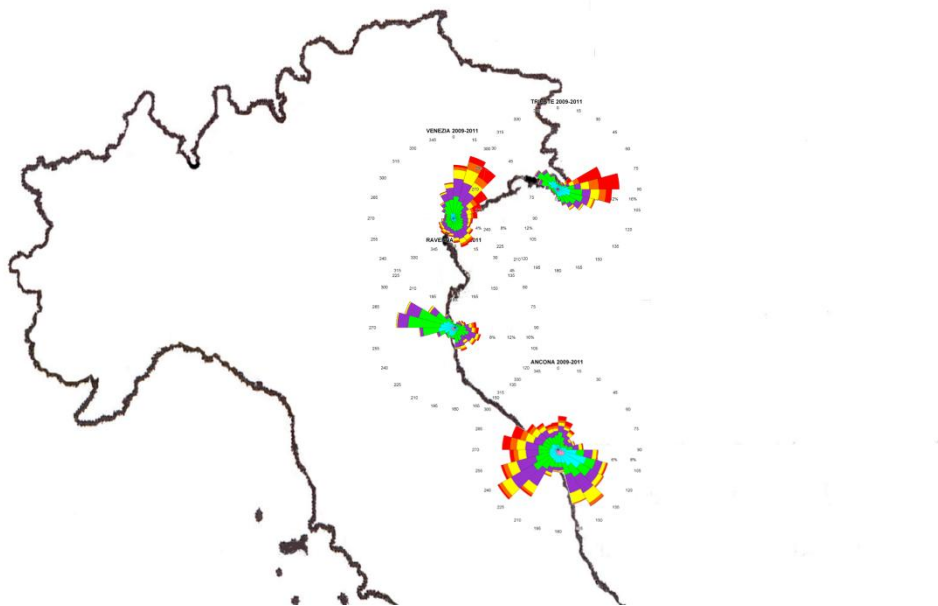


Fig.1: Adriatico Settentrionale

Come noto in letteratura il Mar Adriatico (Bohm et al., 2003), nella parte settentrionale, è battuto dalla Bora, forte vento che soffia da Nord-Est e che genera upwelling nella linea costiera ad est del bacino. Questo tratto di mare è inoltre interessato da un grande afflusso d'acqua (temperatura e salinità inferiore e ricca di nutrienti) provenienti dal Po e dagli altri maggiori fiumi dell'Italia Nord Orientale.

Come si evidenzia dalle rose dei venti le direzioni favorevoli al fenomeno dell'upwelling, provenienti da Sud, nelle stazioni dell'alto Adriatico sono:

Trieste 120° - 150°

Venezia 185° - 215°

mentre in prossimità del Po sono:

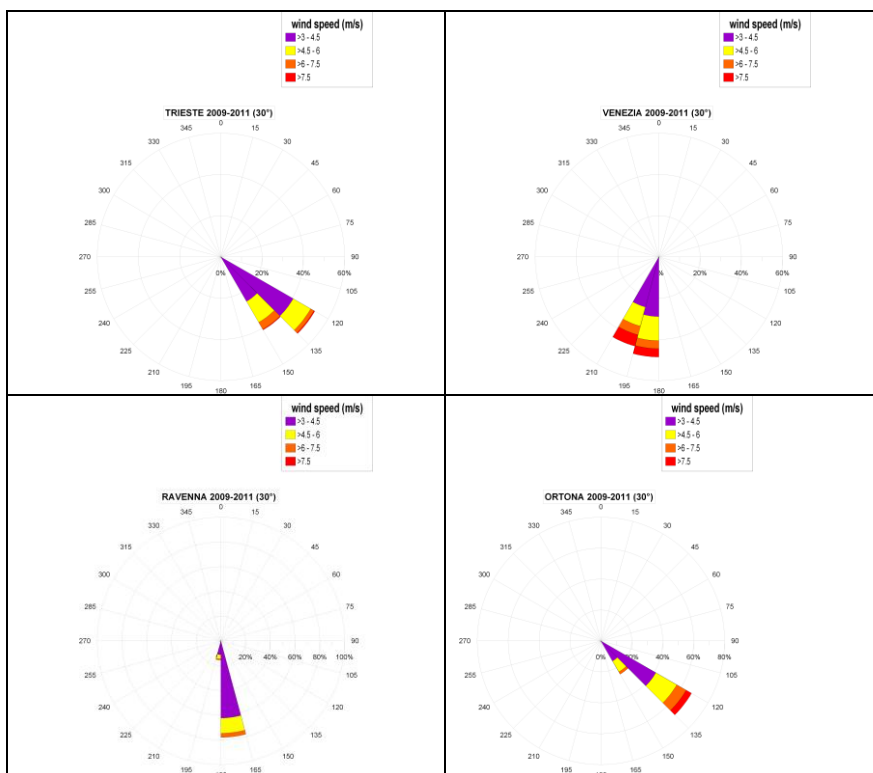
Ancona 117° - 147°

Ravenna 165° - 195°

Ortona: 120° - 150°

La frequenza  $f_1$  per Trieste e Venezia è rispettivamente pari a 7.14% and 3.17%. La frequenza  $f_1$  per Ortona e Ravenna è rispettivamente pari a 3.17% e 4.76%.

Per la stazione di Ancona, relativamente al periodo considerato, non sono stati individuati secondo il metodo descritto, fenomeni ventosi provenienti dal settore direzionale scelto e capaci di generare upwelling.



Tab.2: Settori direzionali favorevoli alla generazione del fenomeno di upwelling e intensità del vento – Adriatico Settentrionale

Nel tratto meridionale di costa adriatica la direzione prevalente di provenienza del vento favorevole all'upwelling può essere considerata quella da Sud-Est.

In questo tratto di mare sono stati analizzati i dati provenienti dalle stazioni di:

Vieste: 120° - 150°

Bari: 90° - 120°

Otranto: 165° - 195°

La frequenza  $f_1$  è pari a 3.97% per Vieste, 3.97% per Bari e 2.38% per Otranto.

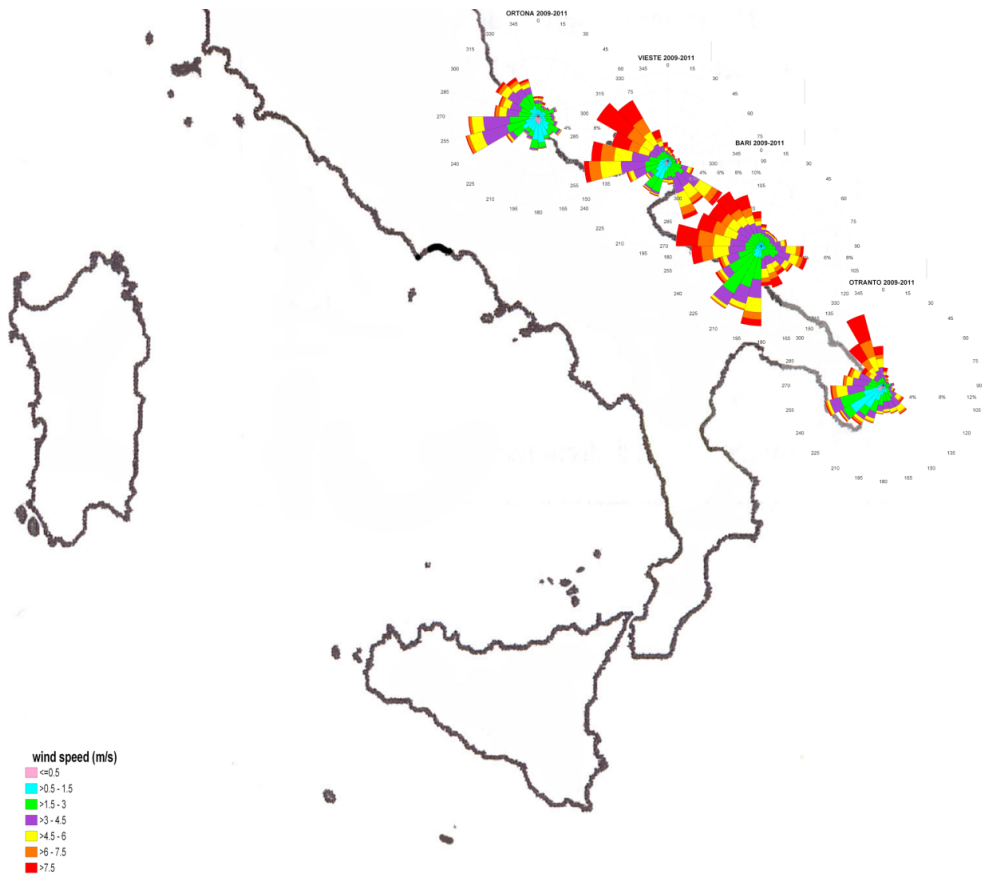
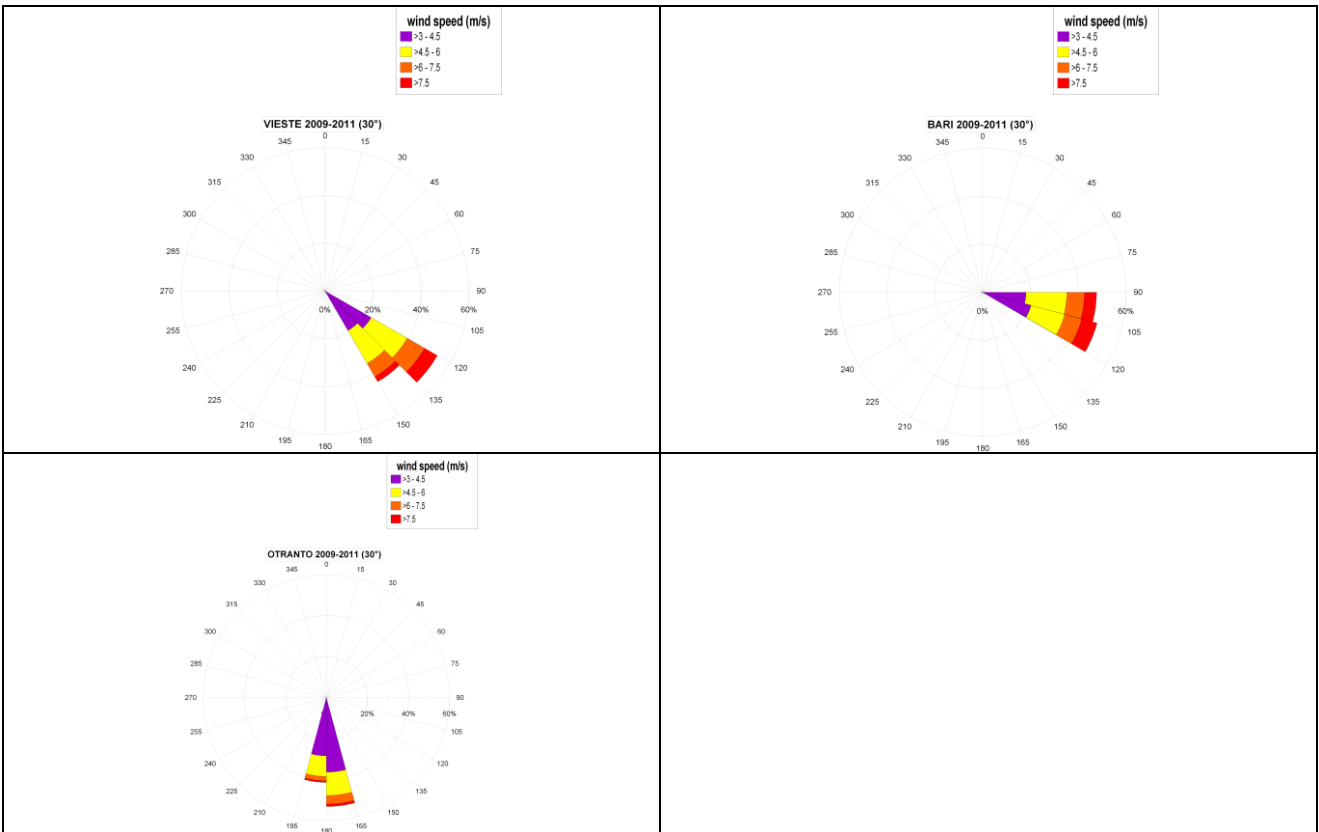


Fig.2: Adriatico Centrale - Meridionale



Tab.3: Settori direzionali favorevoli alla generazione del fenomeno di upwelling e intensità del vento – Adriatico Meridionale

## Tempo di residenza<sup>6</sup>

### *Soggetti detentori di dati individuati:*

ISPRA, INGV, CASPUR

### *Dati e metodi:*

Alla scala dell'area di valutazione considerata il Residence Time (RT) e' associato alla presenza di correnti a scala sub-regionale, di eddies persistenti e alla morfologia. La metodologia usata e' l'uso di un modello lagrangiano a particelle applicato al regime medio delle correnti. Le correnti usate sono i campi mensili di rianalisi prodotte dal modello MFS/OPA descritte nel paragrafo 'Velocita' di corrente'. Il RT verra' stimato su base stagionale ed annuale considerando il periodo 2009-2011. I risultati finali sono in corso di elaborazione e saranno elaborati entro la data del 15 ottobre 2012.

### *Analisi:*

Il modello Lagrangiano () viene impiegato per simulare il moto di particelle rilasciate in modo uniforme (10 particelle su ogni punto della griglia con risoluzione 1/16 deg lon., 1/16 deg lat.) su tutta l'area intorno ai mari italiani (area in rosso fig.1).

---

## <sup>6</sup> Bibliografia

- Astraldi, M., Gasparini, G.P.: The seasonal Characteristics of the Circulation in the North Mediterranean Basin and Their Relationship With the Atmospheric-Climatic Conditions, American Geophysical Union, 92JC00114, pp. 9531-9540, 1992.
- Dobricic, S., Pinardi, N., Adani, M., Bonazzi, A., Fratianni, C., Tonani, M.: Mediterranean Forecasting System: an improbe assimilation scheme for sea-level anomaly and its validation, Q. J. R. Meteorol. Soc., 131, pp. 3627-3642, 2005.
- Garcia Lafuente, J., Sanchez Roman, A., Diaz del Rio, G., Sannino, G., Sanchez Garrido, J.C.: Recent observations of seasonal variability of the Mediterranean outflow in the Strait of Gibraltar, Journal of Geophysical Reserch, vol. 112, C10005, 2007.
- HICKEY, B.M. and N. S. BANAS, Oceanography of the U.S. Pacific Northwest Coastal Ocean and Estuaries with Application to Coastal Ecology, Estuaries Vol. 26, No. 4B, p. 1010-1031 August 2003
- Lipphardt B. L., Jr, D. Small, A. D. Kirwan, Jr., S. Wiggins, K. Ide, C E. Grosch and J. D. Paduan, Synoptic Lagrangian maps: Application to surface transport in Monterey Bay, *Journal of Marine Research*, 64, 221-247, 200
- Mellor, G.L., Jamada, T.: A Hierarchy of Turbulence Closure Models for Planetary Boundary Layers, Journal of Atmospheric Sciences, vol. 31, pp. 1791-1806, Corrigendum, vol.34, pp. 1482, 1974.
- Millot, C., Taupier-Letage, I.: Circulation in the Mediterrean Sea, The Handbook of Environmental Chemistry, Vol. 1 (The Natural Environment and the Biological Cycles), Springer-Verlag, 2004.
- Oddo, P. , Adani, M. ,Pinardi, N. ,Fratianni, C. , Tonani, M. , and Pettenuzzo, D.: A nested Atlantic-Mediterranean Sea general circulation model for operational forecasting. Ocean Sci. (2009) vol. 5 pp. 461-473
- Pinardi, N., Masetti, E.: Variability of the large scale general circulation of the Mediterranean Sea from observations and modelling: a review. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology (2000) vol. 158 pp. 153-173

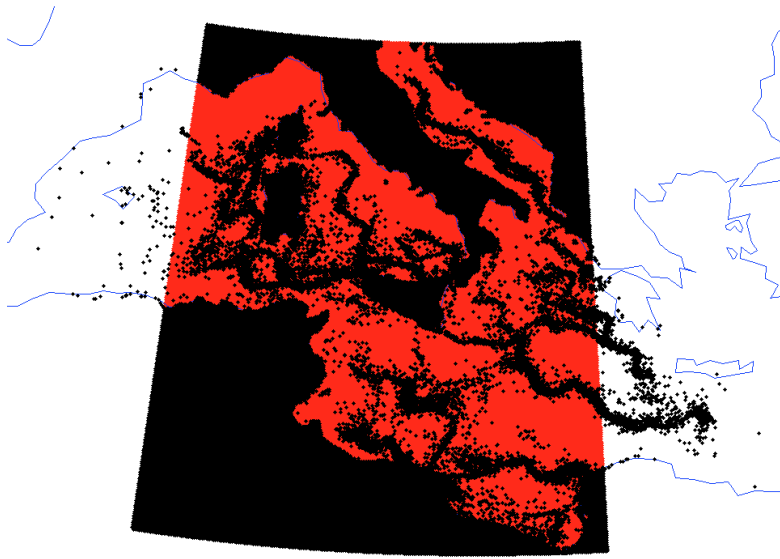


Fig.1

Il modello e' sostanzialmente bi-dimensionale e simula il contributo turbolento mediante un semplice processo stocastico tipo 'Random Walk' associato alla diffusivita' turbolenta orizzontale valutata con la formulazione di Smagorinsky. Ogni 300 secondi le particelle vengono trasportate secondo il campo di velocita' della corrente modificata dalla perturbazione stocastica. Per ogni particella il tempo passato all'interno di un cerchio centrato nel punto di rilascio e di raggio 50 km dalla particella e' il residence time stimato. Tale raggio e' stato scelto in modo da poter rappresentare in modo adeguato situazioni caratterizzate da correnti medie che vanno da .01 m/s fino a 1 m/s. La simulazione complessiva ha durata 30 giorni. In fig.1 si puo' osservare la posizione finale (in nero) delle particelle dopo 30 giorni di simulazione si puo' osservare che le posizioni finali sono vicine, ma la distribuzione non e' esattamente uguale a causa del processo stocastico considerato.

In fig.2 viene mostrato il residence time normalizzato per la sotto-area considerata, calcolato per il mese di gennaio 2011.

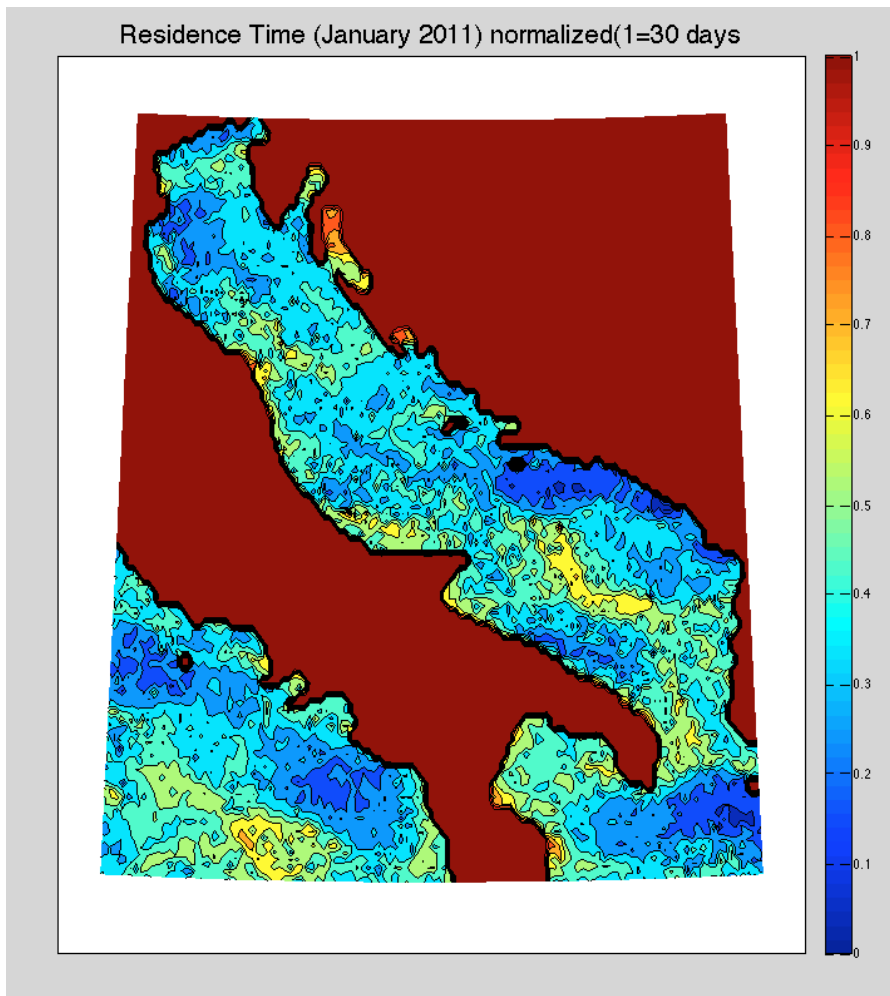


Fig.2

Sebbene il risultato abbia carattere preliminare, si puo' osservare che il valore abbia un valore basso nelle zone dove sono piu' forti le correnti medie (Alto Adriatico, fascia costiera Puglia orientale in blu), mentre assume valori piu' alti (15-20 giorni) laddove le correnti medie sono piu' basse e dove sono presenti strutture vorticali persistenti, come ad esempio nel Golfo di Taranto e nell'Adriatico Centrale. Di interesse e' il valore del residence time lungo la fascia costiera, dove si osserva una significativa variabilita' spaziale. E' chiaro che i risultati mediati stagionalmente ed i valori annuali saranno piu' uniformi, tuttavia ci si puo' attendere che la metodologia, per quanto semplificata, sia in grado di catturare la variabilita' spazio-temporale intrinseca del processo, prestandosi eventualmente ad analisi piu' accurate ed approfondite nelle assessment areas che evidenzino necessita' di ulteriori raffinamenti.

### Lacune nell'informazione

La stima del RT qui proposta assume un regime stazionario delle correnti (la corrente media mensile della rianalisi del modello MFS/OPA) che ovviamente non puo' considerare la variabilita' su scale temporali sub-mensili. La risoluzione considerata (1/16 di grado lat./lon.) per il campo di corrente non e' sufficiente per tener conto di fattori importanti che caratterizzano i processi costieri. La componente verticale della corrente ovviamente non e' stata considerata, poiche' caratterizzata da una variabilita' spaziale e temporale a scala molto piu' piccolo delle scale di moto considerate per le sub aree qui definite. Non sono stati considerati i runoff fluviali, sebbene le dimensioni di scala del trasporto in alcuni casi siano dell'ordine delle dimensioni del dominio in esame. Tali limitazioni verranno superate con lo studio dei processi oceanografici a scala costiera condotti sulle assessment area. In tali sottodomini verranno impiegate informazioni da satellite ad alta risoluzione (MODIS ad 1 km) per temperature superficiale, clorofilla e



torbidità'. Tale studio verrà messo in relazione a simulazioni numeriche ad altissima risoluzione che metteranno in evidenza la variabilità e la natura dei processi dinamici a scala costiera, caratterizzando compiutamente fenomeni di dispersione delle acque fluviali, upwelling e stabilità termodinamica della colonna d'acqua. Si ritiene che uno studio preliminare possa essere completato nel 2013 per l'assessment area sul Mar Tirreno, e che possa essere esteso entro il 2018 ad altre assessment areas.

## Torbidità

### *Soggetti detentori di dati individuati:*

1. Progetto MARCOAST. Il progetto MARCOAST (Marine and Coastal Environment Information Services) realizzato nell'ambito del programma GMES Service Elements dell'ESA, Agenzia Spaziale Europea, e sviluppato da Planetek, ha lo scopo di fornire servizi di monitoraggio marino-costiero ad una utenza PanEuropea. L'ISPRA all'interno del suddetto Progetto ha la funzione di End User.
2. Dati campagne oceanografiche effettuate dall'ENEA e dal CNR forniti dal Presidente della COI (Dr. Giuseppe Manzella).
3. CNR-ISAC Gruppo Oceanografia da Satellite (GOS).

### *Dati e metodi:*

1. I dati satellitari fin qui analizzati sono stati collezionati dal Progetto MARCOAST (<http://marcoast.planetek.it/>) ma provengono originariamente dagli archivi EOLI-SA dell'ESA (Ceriola et al., 2009). I dati sono parziali. Infatti l'arco temporale dei dati acquisiti e processati dal Programma MarCoast fino ad oggi va da febbraio a marzo 2012. I data set si riferiscono al coefficiente di attenuazione diffusa (Kd) collezionato dal sensore ottico MERIS dell'agenzia Spaziale Europea (ESA) a 300m di risoluzione spaziale. I dati sono stati mediati su base mensile. Essi sono ancora in fase di elaborazione e verranno elaborati entro il 15 ottobre 2012.
2. Riguardo ai dati delle campagne oceanografiche ENEA-CNR (Fig. 1-3) questi sono dati collezionati con le sonde multiparametriche (sonda SEABIRD900 CTD) su tutta la colonna d'acqua dal Mar Ionio allo Stretto di Gibilterra e validati mediante il controllo di qualità basato sui protocolli originali MEDATLAS (MGMR Software versione 2010.01 utilizzando l'ETOPO1 (Batimetria) ed i valori di confine regionali. I dati di torbidità sono stati spazializzati su una griglia di 0.5° x 0.5° (55-60 km) e ad una risoluzione verticale di 10 m. Tali dati sono stati mediati su base stagionale. L'arco temporale dei dati acquisiti dalle campagne oceanografiche suddette va da gennaio 2006 a dicembre 2011.
3. Riguardo ai dati di torbidità (Kd) presenti negli archivi del CNR-ISAC, questi sono collezionati dal sensore della NASA SeaWiFS e verranno elaborati su una griglia spaziale di 1/16° ovvero 7 km, al fine di poterli sovrapporre con i dati di temperatura superficiale alla stessa risoluzione spaziale. Gli stessi coprono l'arco temporale dal 1998 al 2010. Deve essere però evidenziato il fatto che per i dati che vanno dal 2004 al 2010 l'ISAC potrà fornire ad ISPRA solo le elaborazioni finali per una questione di proprietà del dato stesso. I dati CNR-ISAC sono ancora in fase di elaborazione e verranno elaborati entro il 15 ottobre 2012.

### *Analisi:*

L'analisi qualitativa preliminare si riferisce solo al dataset relativo al Programma di ricerca MARCOAST (Fig. 4). Di seguito l'andamento generale del Kd relativo ai mesi di febbraio e marzo del 2012.

### Inverno

I valori di torbidità per il mese di febbraio nel Mar Adriatico mostrano valori elevati in corrispondenza dell'Adriatico settentrionale e del delta del fiume Po. La fuoriuscita di sedimenti sospesi (TSS) e di materia organica disciolta (DOM) segue la corrente anticiclonica adriatica occidentale e determina un aumento

della torbidità lungo la costa adriatica fino all'Adriatico meridionale con picchi in corrispondenza del Promontorio del Gargano.

#### Primavera

In primavera si assiste ad una diminuzione dei valori di torbidità nell'Adriatico settentrionale mentre si assiste ad un significativo aumento della torbidità in corrispondenza del delta del Po ( $7-13 \text{ m}^{-1}$ ) con un pennacchio visibile verso Nord est. La fuoriuscita di sedimenti sospesi e di materia organica disciolta segue la corrente anticiclonica adriatica occidentale e determina l'intensificarsi della vena caratterizzata da elevata torbidità lungo la costa adriatica fino all'Adriatico meridionale.

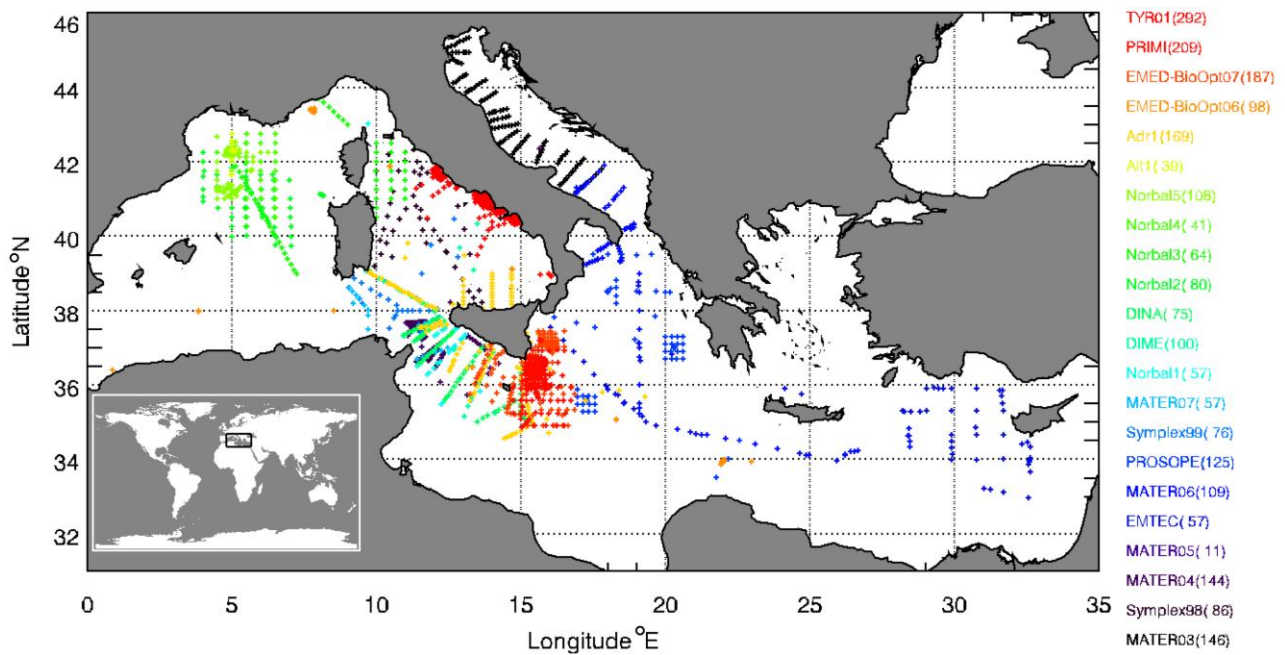


Fig. 1 Campagne oceanografiche condotte dal gennaio 2006 a dicembre 2011 dal CNR-ISAC.

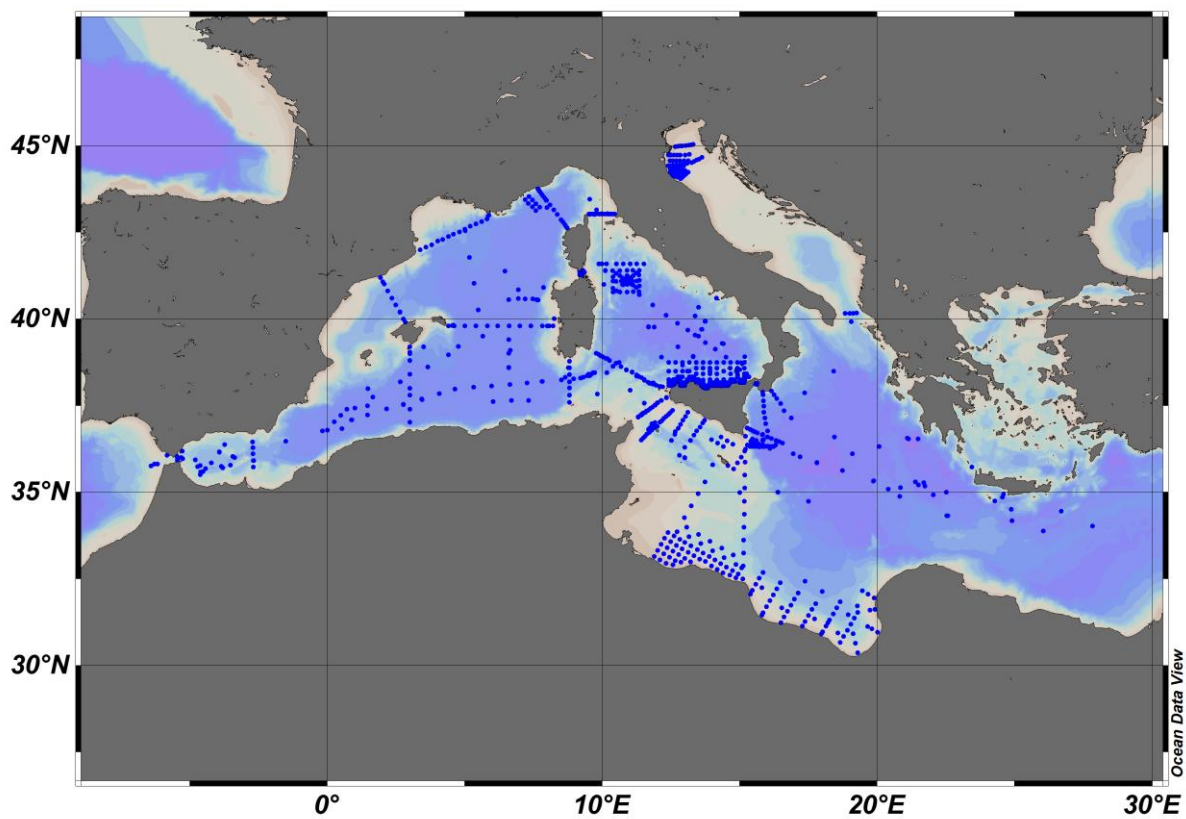


Fig. 2 Campagne oceanografiche condotte dal gennaio 2006 a dicembre 2011 dal CNR-ISMAR.

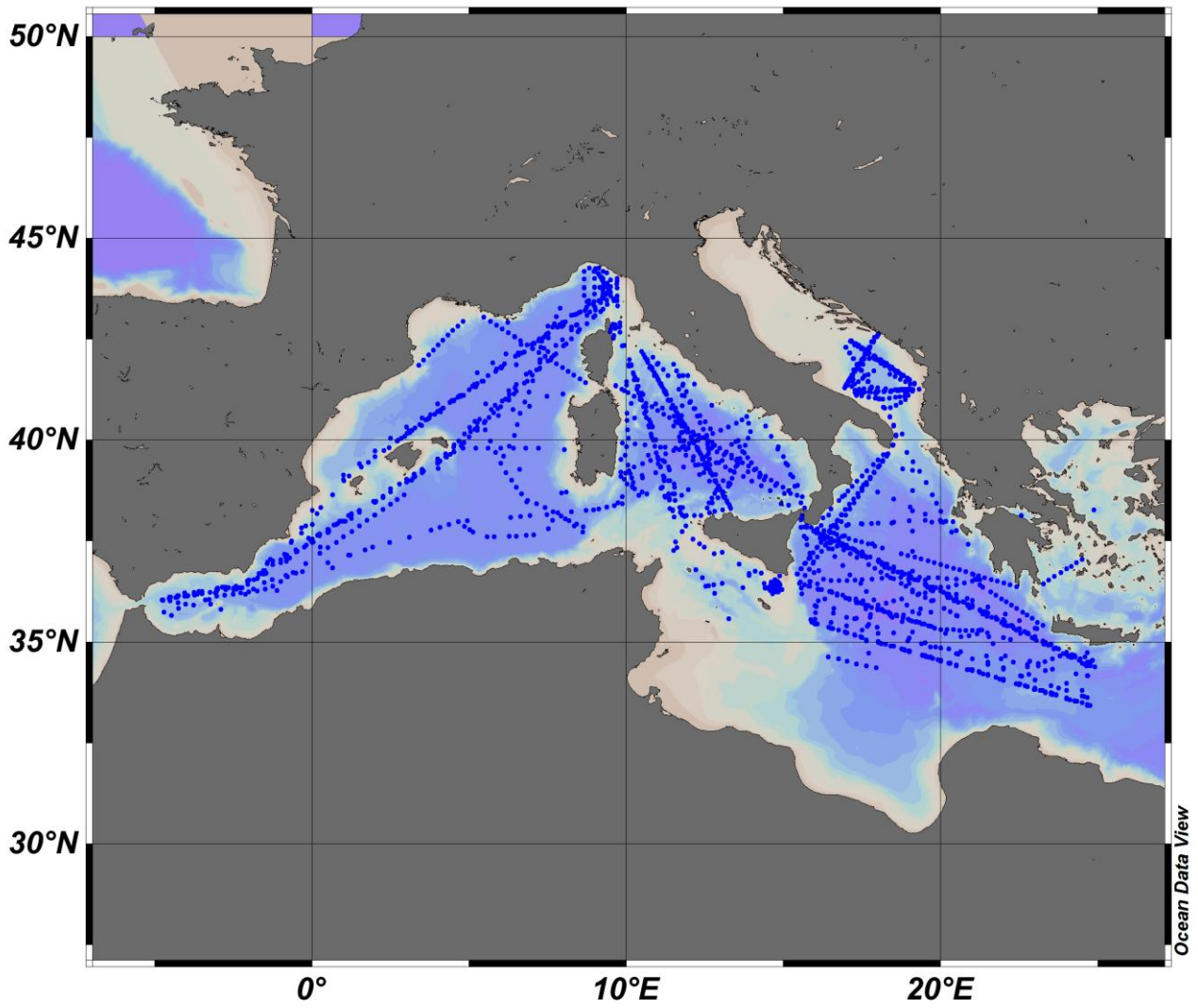
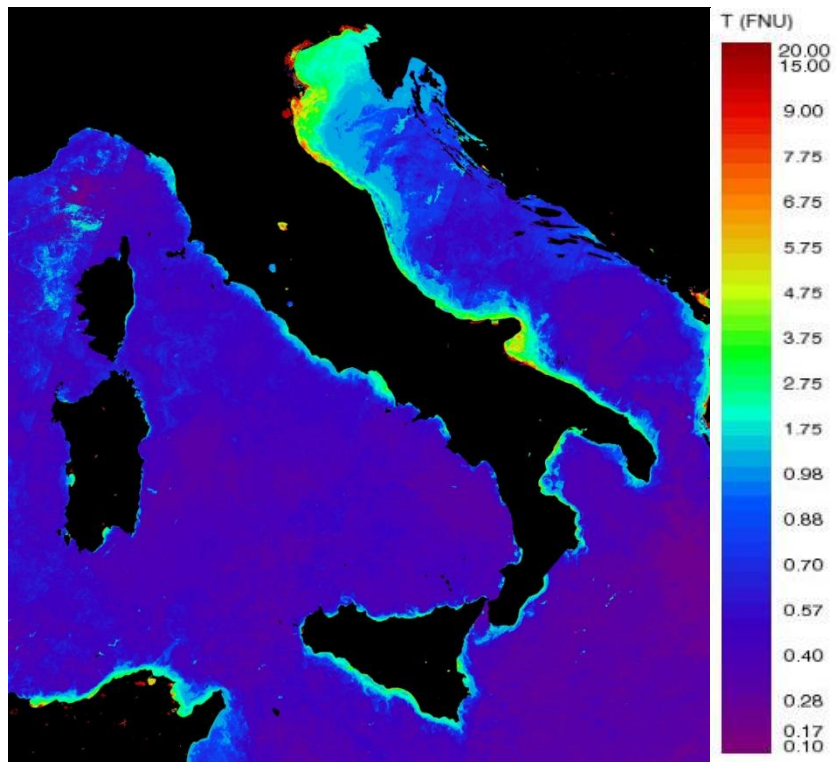
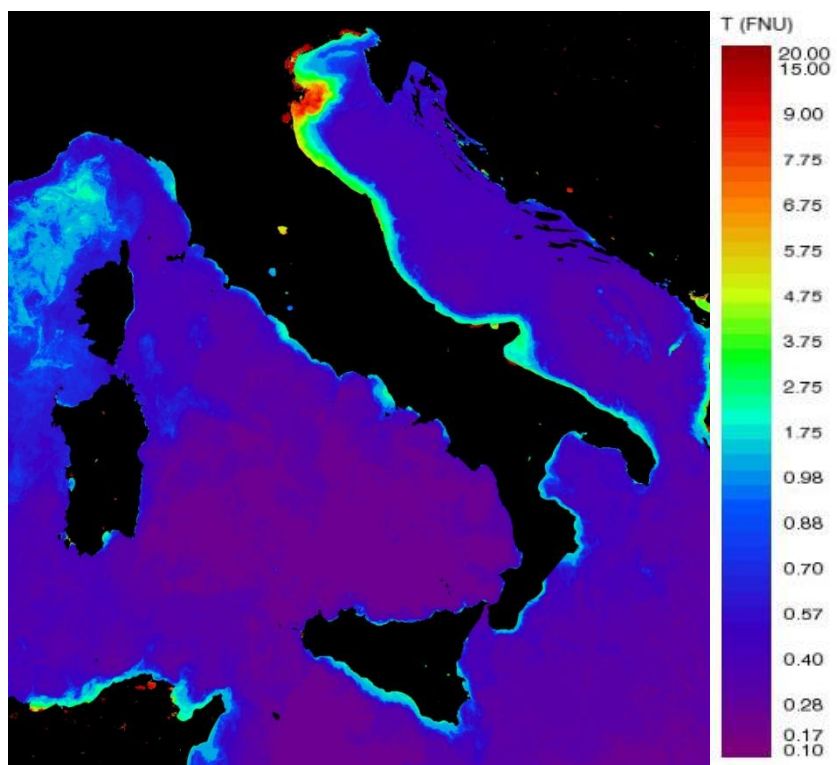


Fig. 3 Campagne oceanografiche condotte dal gennaio 2006 a dicembre 2011 dall'ENEA\_OO.



a)



b)

Fig. 4 Medie mensili del Kd nelle tre sottoregioni per l'anno 2012; a) febbraio, b) marzo.

### 3.1.2 AREA DI VALUTAZIONE

Poiché le informazioni derivanti dal modello globale, per ragioni di tempo di calcolo, non possono essere ad alta risoluzione, per descrivere in modo accurato i fenomeni locali le informazioni sulle tre sub-regioni sono integrate da misure da boe ondometriche direzionali e dai risultati di rianalisi da modelli ad alta risoluzione dove disponibili.

Per la determinazione delle caratteristiche dei processi di interazione delle onde con gli ecosistemi in ambito costiero si ritiene che le scale tipiche dei fenomeni considerati debbano essere dell'ordine dei 2-400 metri. Effettuare un monitoraggio dei parametri ondosi su tale scala per tutte le aree costiere italiane rappresenterebbe tuttavia costi proibitivi, quindi si rende necessario introdurre uno studio approfondito su aree di assessment.

Il criterio della scelta delle assessment areas è stato diversificato per consentire la rappresentazione di dettaglio dei dati ondometrici rilevati dalle stazioni di misura della Rete Ondometrica Nazionale (RON) dell'ISPRA individuata da un tema puntuale su una cartografia GIS (fig.A), nonché, la particolarizzazione dei dati di rianalisi del modello WAM nelle aree costiere per le quali si dispone di idonee batimetrie (fig.B).

Fig. A

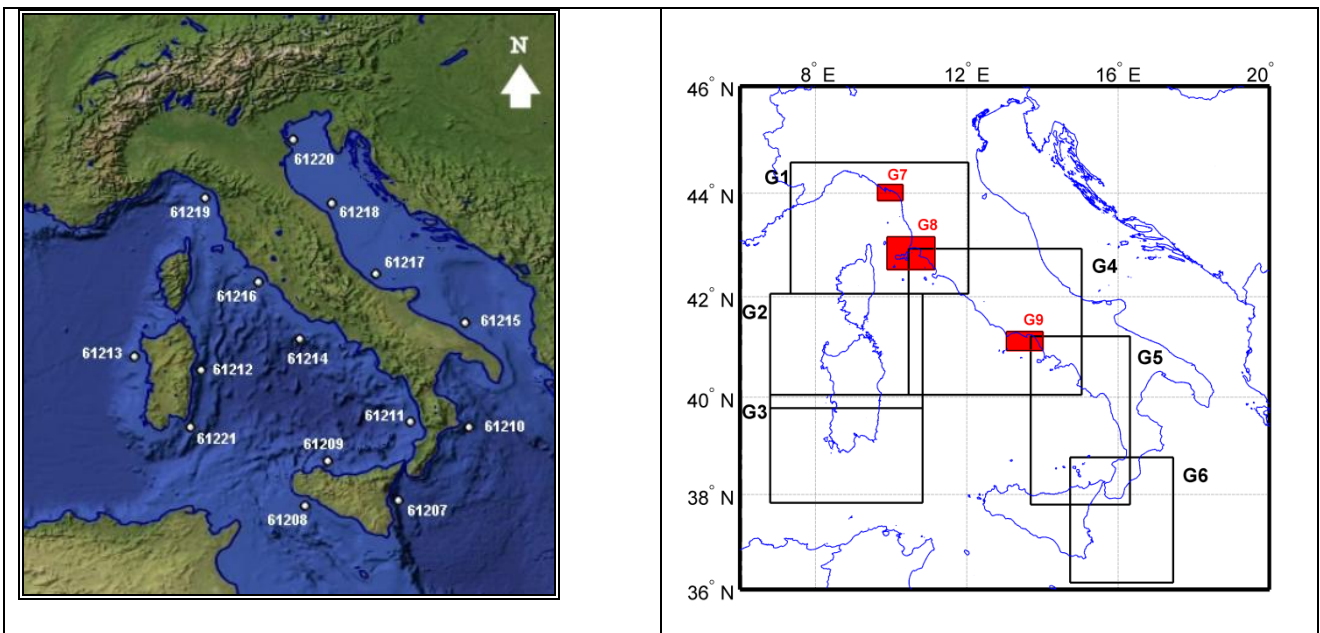


Fig. B

### 3.1.2.1 INFORMAZIONE UTILIZZATA

#### Esposizione al moto ondoso<sup>7</sup>

##### *Soggetti detentori di dati individuati:*

- Centro Meteorologico Europeo per la Previsione a Medio termine (ECMWF);
- ISPRA dati ondometrici direzionali della RON e rianalisi WAM ad alta risoluzione;
- CASPUR;
- INGV;
- EUMETSAT.

##### *Dati e metodi:*

L'evoluzione dello stato del mare è guidata da una serie di processi (per esempio, generazione da parte del vento, dissipazione di energia, rifrazione e frangimento sotto costa, scambi di energia fra le diverse onde) che sono descritti da una serie di equazioni che costituiscono appunto il modello del moto ondoso. Per le finalità del reporting del tema in esame è necessario integrare le informazioni di altezza significativa, periodo e direzione delle onde spazializzate derivanti dai modelli globali di rianalisi del clima ondoso utilizzate con quelle puntuali dei programmi di misura. I dati utilizzati, per omogeneità e per consentirne il confronto, sono i dati di rianalisi ERA Interim Re-Analysis del ECMWF dal 01/01/2005 al 31/12/2008 e quelli corrispondenti della RON.

I datasets derivati dal ECMWF sono costituiti da file GRIB contenenti i dati sinottici riferiti al grigliato di passo 0,25° lat-long corrispondente a circa 28 Km. Il modello restituisce per ogni punto della griglia e per ogni parametro, un valore ogni sei ore (per un totale di 5844 dati nel periodo di analisi).

---

#### <sup>7</sup> Bibliografia:

1. Cavaleri, L. and Sclavo, M.: The calibration of wind and wave model data in the Mediterranean Sea, *Coast. Eng.*, 53, 613–627, 2006.
2. ECMWF: ECMWF WAVE MODEL, IFS Documentation, part VII– Cy33r1 Operational implementation, 2009.
3. Franco, L., Piscopia, R., Corsini, S., and Inghilesi, R.: L'Atlante delle onde nei mari italiani - Italian Wave Atlas, Full Final Report, University of Roma TRE – APAT, 2004
4. Holthuijsen, L. H.: Waves in Oceanic and Coastal Waters, CUP, 2007.
5. Holthuijsen, L. H., Booji, N., and Bertotti, L.: The propagation of wind errors through ocean wave hind casts, *J. Offshore Mech. Arct. Eng.*, 118, 184–189, 1996.
6. Inghilesi R., F. Catini, G. Bellotti, L. Franco, A. Orasi, and S. Corsini, Implementation and validation of a coastal forecasting system for wind waves in the Mediterranean Sea, *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 12, 1–10, 2012
7. Janssen, P. A. E. M.: The Interaction of Ocean Waves and Wind, CUP, 2004.
8. Janssen, P. A. E. M.: Progress in ocean wave forecasting, *J. Comput. Phys.*, 227, 2008
9. Komen, G. J., Hasselmann, S., and Hasselmann, K.: On the Existence of a Fully Developed Wind-Sea Spectrum, *J. Phys. Ocean.*, 14, 1271–1285, 1984.
10. Komen, G. J., Cavaleri, L., Donelan, M., Hasselmann, K., Hasselmann, S., and Janssen, P. A. E. M.: Dynamics and Modeling of Ocean Waves, Cambridge University Press, 1994.
11. Lavrenov, I. V.: Wind Waves in Oceans – Dynamics and Numerical Simulations, Springer, 2003.
12. Lagouvardos, K., Kotroni, V., Koussis, A., and Feidas, H.: The Meteorological Model BOLAM at the National Observatory of Athens: Assessment of Two-Year Operational Use, *J. Appl. Met.*, 42, 1667–1678, 2003.
13. Lionello, P., Malanotte-Rizzoli, P., and Boscolo, R.: Mediterranean Climate Variability, Elsevier, Chapter 6, 325–372, 2006.
14. Miles, J. W.: On the generation of surface waves by shear flow, *J. Fluid Mech.*, 3, 185–204, 1957.
15. Phillips, O. M.: On the generation of waves by turbulent wind, *J. Fluid. Mech.*, 2, 417–445, 1957.
16. Polnikov, V. G., Dymov, V. I., Pasechnik, T. A., Lavrenov, I. V., Abuzyarov, Z. K., and Sannasiraj, S. A.: Testing and verifying the wind wave model with an optimized source function, *Oceanology*, 48, 7–14, 2008.
17. The SWAN Team: SWAN Technical Manual, SWAN Cycle III version 40.81, Delft University of Technology, 1993.
18. The WISE Group: Wave Modeling – The State of the Art, *Progress in Oceanography*, 75, 2007.
19. Van der Westhuysen, A. J., Zijlema, M., and Battjes, J. A.: Nonlinear saturation based white capping dissipation in SWAN for deep and shallow water, *Coast. Eng.*, 54, 151–170, 2007.
20. Fisher. N.I. , "Statistical Analysis of Circular Data", Cambridge University Press, 1993.

Poiché le informazioni derivanti dal modello globale, per ragioni di tempo di calcolo, non possono essere ad alta risoluzione, per descrivere in modo accurato i fenomeni locali le informazioni sulle assessment areas sono integrate dalle misure puntuali della RON e dai risultati di rianalisi del modello WAM ad alta risoluzione di ISPRA dove disponibili.

La rete RON fornisce per ogni boa e per ogni parametro, un valore ogni 30 minuti (per un totale di 70128 misure attese in assenza di gap). I parametri misurati dalle boe della RON utilizzati sono: l'altezza d'onda significativa, il periodo medio, il periodo di picco e la direzione di provenienza del moto ondoso. I primi tre parametri sono caratterizzati da una evidente asimmetria nella distribuzione dei dati, mentre la direzione è spesso affetta da multimodalità a causa delle caratteristiche morfologiche dei bacini interessati dal moto ondoso.

La metodologia usata prevede la definizione di valori medi e mediani per tutti i parametri, nonché valori modali per le direzioni. Inoltre, per le altezze d'onda vengono forniti anche i valori del 90° percentile che fornisce una buona descrizione della tipologia degli eventi estremi occorsi. Tutte queste grandezze vengono valutate su differenti scale temporali, quali il mese, la stagione e l'anno.

I risultati finali sono in corso di elaborazione e saranno elaborati entro ottobre 2012.

Per realizzare lo studio in ambito costiero si possono utilizzare metodi numerici ad altissima risoluzione spaziale e monitoraggio in situ. Tale sistema permetterebbe di accumulare statistiche sul moto ondoso in aree morfologicamente complesse, in cui le interazioni con il fondale a costa diventano importanti. Il modo di implementare un sistema di previsione costiera è quello di procedere ad una catena di nesting partendo dalla scala del Mediterraneo, quindi effettuando un downscaling su aree regionali ed alla fine arrivare alle simulazioni in ambito costiero.

In fig. c è rappresentata la struttura delle aree 6 regionali (g1-g6 in nero) e 3 aree costiere realizzabili entro il 2013 (g7-g9 in rosso). I modelli da usare in cascata sono il WAVE Model (WAM) per il Mediterraneo e le aree regionali, lo Simulating Waves Nearshore (SWAN). La risoluzione finale in ambito costiero sarebbe 1/240 di grado, corrispondente a circa 400m.

Il sistema farebbe uso di accurate batimetrie messe a disposizione nel quadro della MSFD, vento ad alta risoluzione (10 km) fornito dal sistema SIMM di ISPRA, correnti prodotte dal modello oceanografico MFS/OPA di INGV e dati da satellite Jason2, Envisat per assimilazione dei dati altimetrici.

Si ritiene che il sistema costiero possa essere implementato sulle prime tre assessment areas nel Mar Ligure, Tirreno centrale e Tirreno Meridionale entro il 2013, fornendo 2 anni di statistiche, e potrebbe essere sviluppato sulle altre assessment areas del Mediterraneo Centrale e Mar Ionio nel 2014-2018.

#### *Analisi:*

Di seguito si riportano le cartografie della esposizione al moto ondoso (attualmente riferita alle tre subregioni):

I valori medi, mediani, modali e i percentili fino ad ora elaborati sono riferiti ai parametri di altezze e direzione dell'onda per i dati ricavati dal modello WAM del ECMWF

I valori medi annuali dell'altezza d'onda significativa sono dell'ordine di:

- 0.5 - 1 m nel Tirreno centrale con picchi anche superiori al metro al largo di Corsica e Sardegna per effetto delle perturbazioni agenti nello Stretto di Bonifacio;
- 0.5 m nell'Adriatico con valori minimi nell'Alto Adriatico e massimi nel Basso Adriatico (0.7 – 0.8 m)
- 0.5 – 1 m nel mar Ionio
- 0.5 – 1 m nel mar Ligure
- superiori al metro nel canale di Sicilia e Mediterraneo Occidentale al largo della Sardegna.



2005

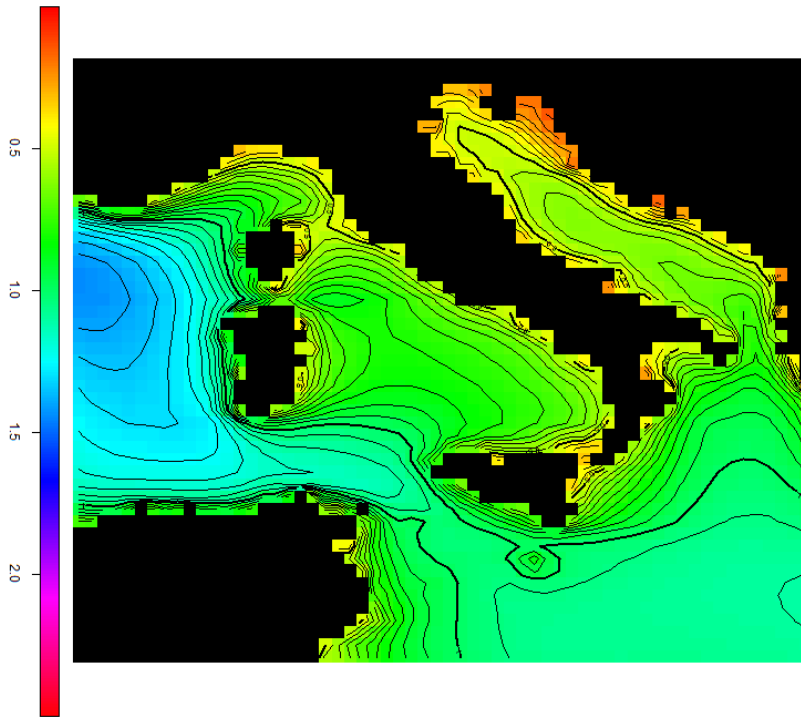


Fig.1 – Media annuale dell'altezza d'onda significativa – anno 2005

2006

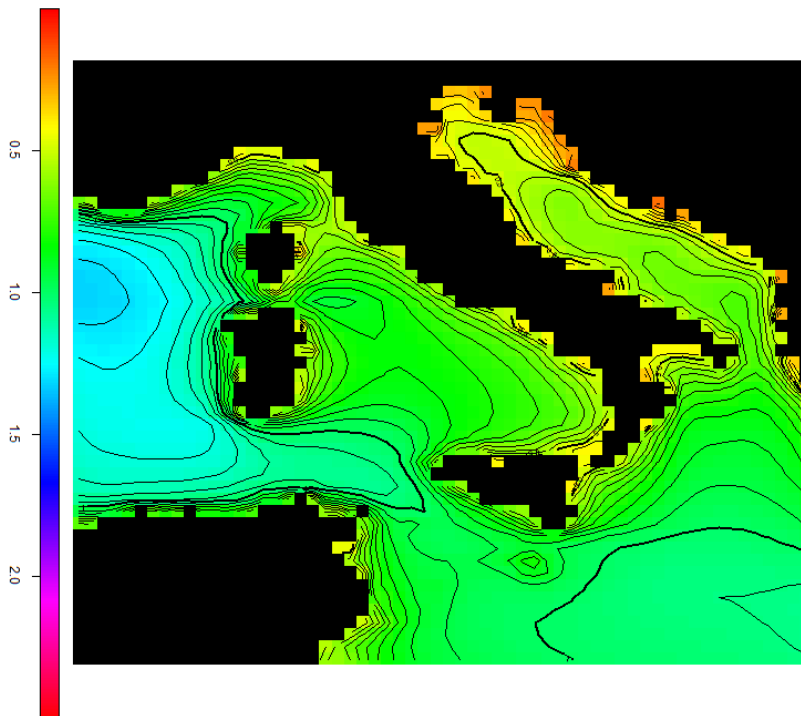


Fig.2 – Media annuale dell'altezza d'onda significativa – anno 2006

2007

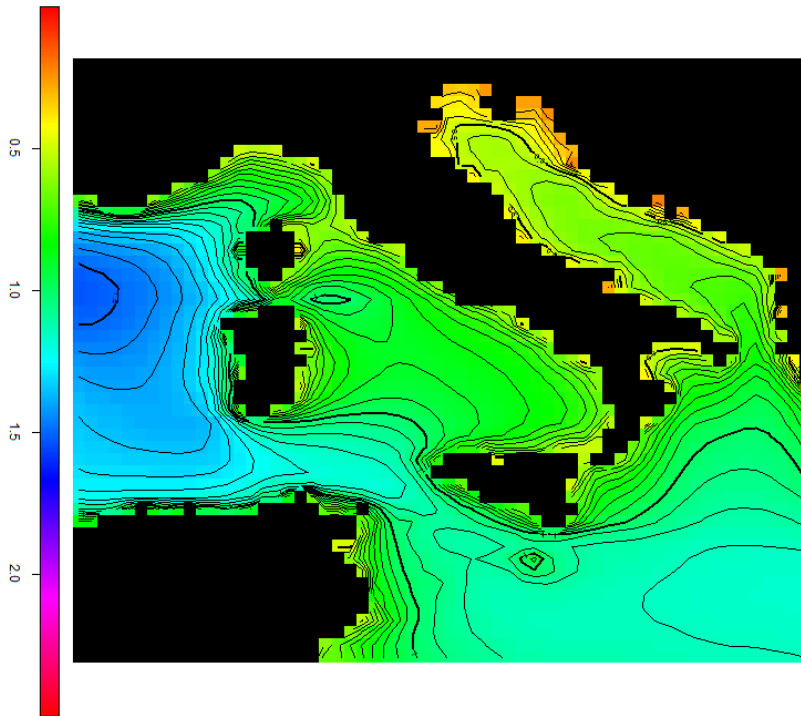


Fig.3 – Media annuale dell'altezza d'onda significativa – anno 2007

2008

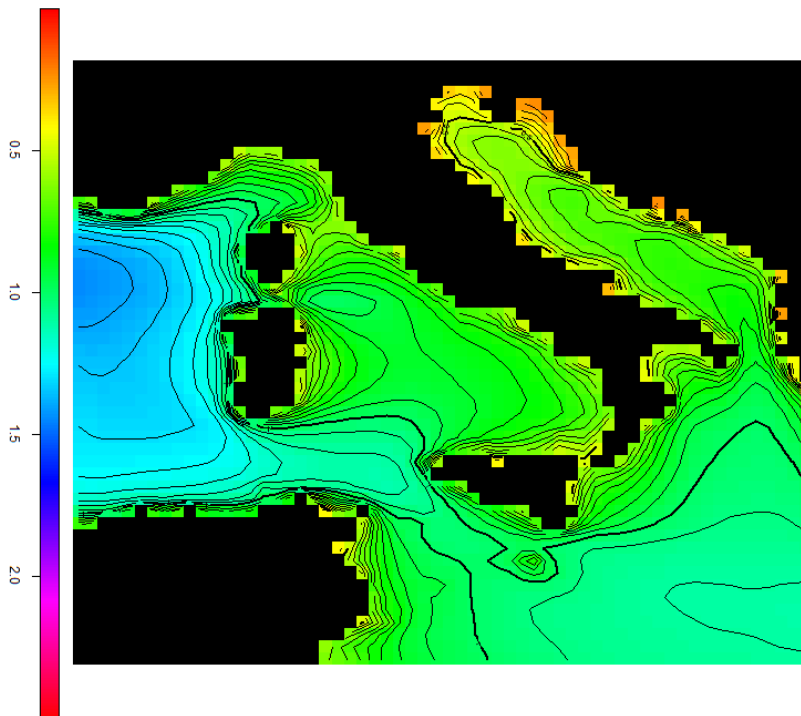


Fig.4 – Media annuale dell'altezza d'onda significativa – anno 2008

Le altezze medie annuali mostrano andamenti analoghi ai precedenti, ma con valori ridotti di circa il 30% (in figura viene riportato il solo valore mediano relativo all'anno 2005).

2005

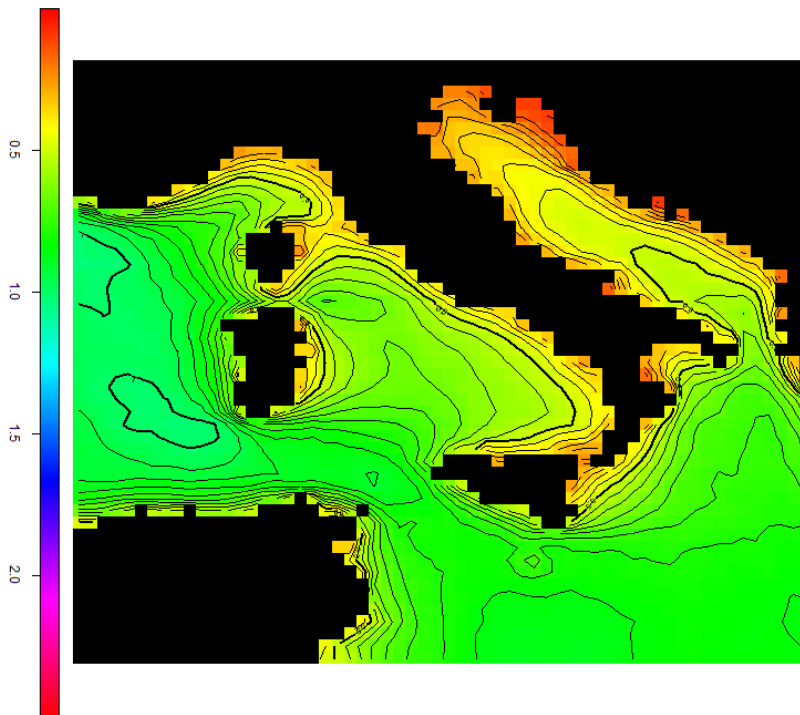


Fig.5 – Valore mediano annuale dell'altezza d'onda significativa – anno 2005

Il valore annuale del 90° percentile risulta di conseguenza maggiore nel Mediterraneo Occidentale e nel Canale di Sicilia, con punte anche dell'ordine di 3.5 metri e si mantiene comunque superiore al metro nelle altre aree.

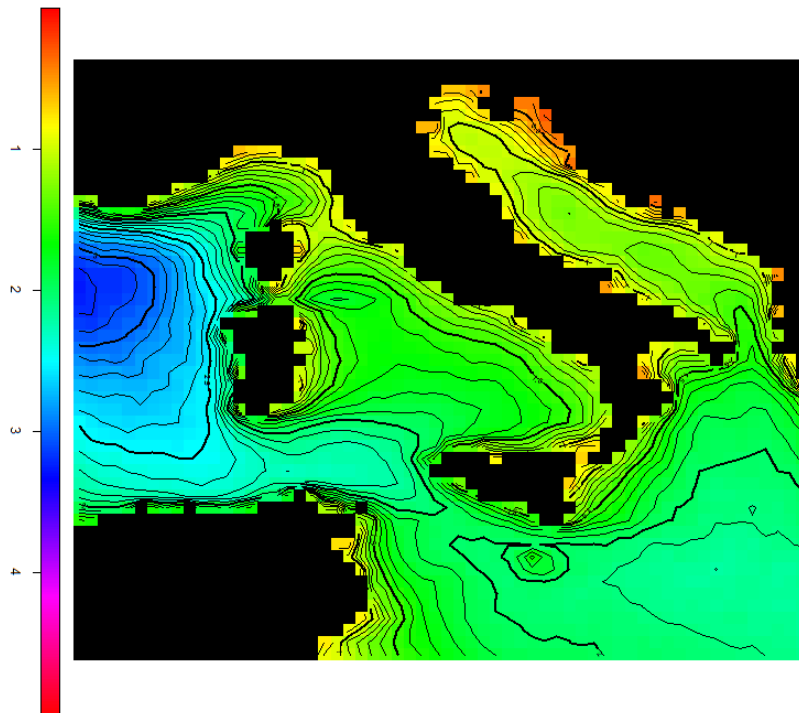


Fig.6 – 90° percentile dell'altezza d'onda significativa – anno 2005

Le medie climatiche mensili e stagionali mostrano una netta stagionalità del fenomeno derivante dalla variabilità nell'arco dell'anno degli eventi atmosferici. Nel periodo autunno - invernale si assiste quindi a altezze d'onda medie nel Mediterraneo occidentale maggiori di 1.5 m (con picchi nei mesi di novembre e dicembre superiori a 2 m). Nel Mar Tirreno e nel Mar Adriatico tali medie raggiungono rispettivamente i valori di 1 - 1.5 m e 0.5 – 1 m. Di conseguenza, i valori del 90° percentile si assestano intorno a 3.5 m nel Mediterraneo Occidentale, 2 – 2.5 m nel Tirreno e 1 – 1.5 nell'Adriatico.

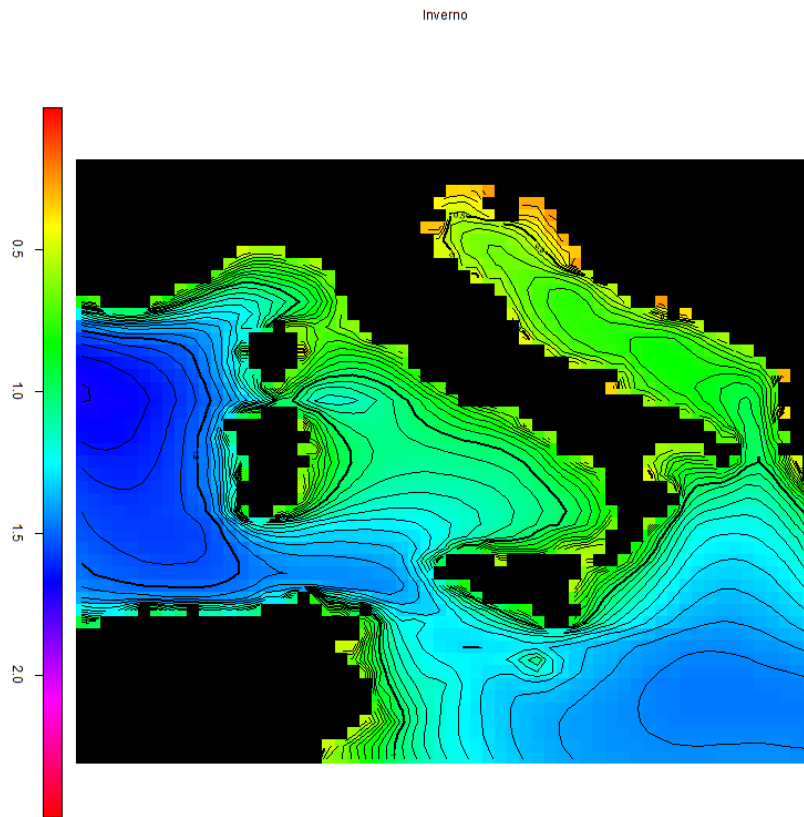


Fig.7 – Media stagionale dell'altezza d'onda significativa – Inverno 2005 - 2008

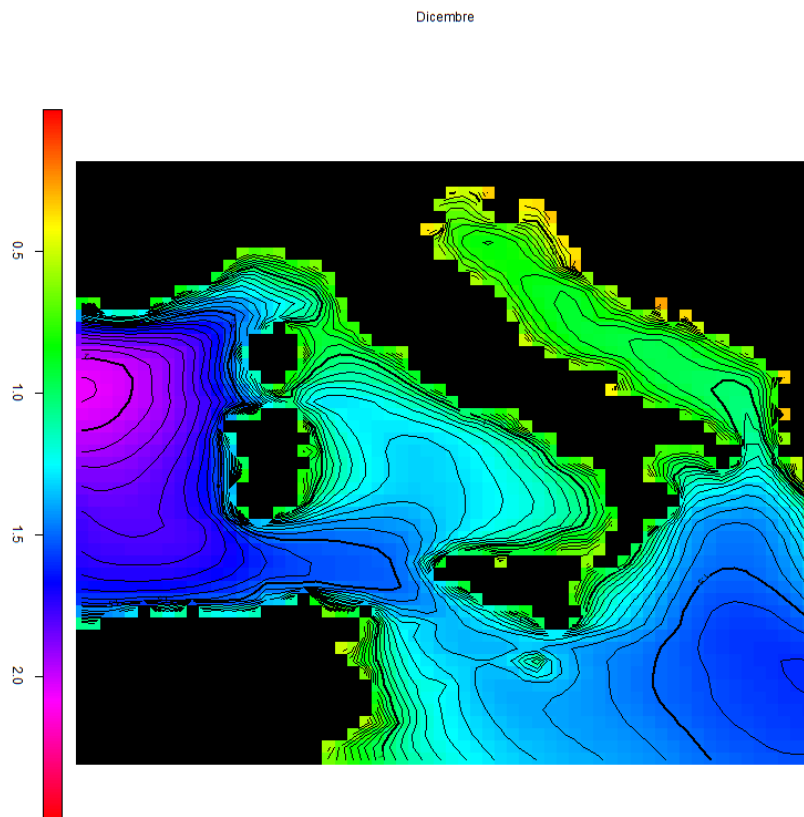


Fig.8 – Media mensile dell'altezza d'onda significativa – Dicembre 2005 - 2008

Inverno

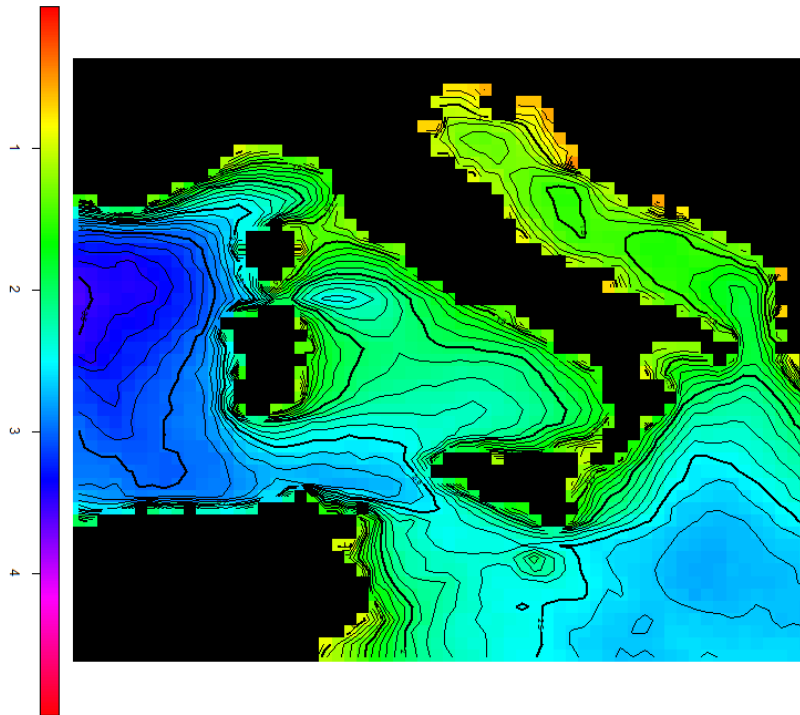


Fig.9 – 90° percentile stagionale dell'altezza d'onda significativa – 2005 - 2008

Le medie e le mode annue della direzione di provenienza del moto ondoso presentano una notevole stabilità. Si evidenziano differenze tra i valori medi e modali delle direzioni nel Mar Adriatico a causa della multimodalità dei valori analizzati dovuta alla presenza di almeno due direzioni principali di provenienza del moto ondoso.

2005

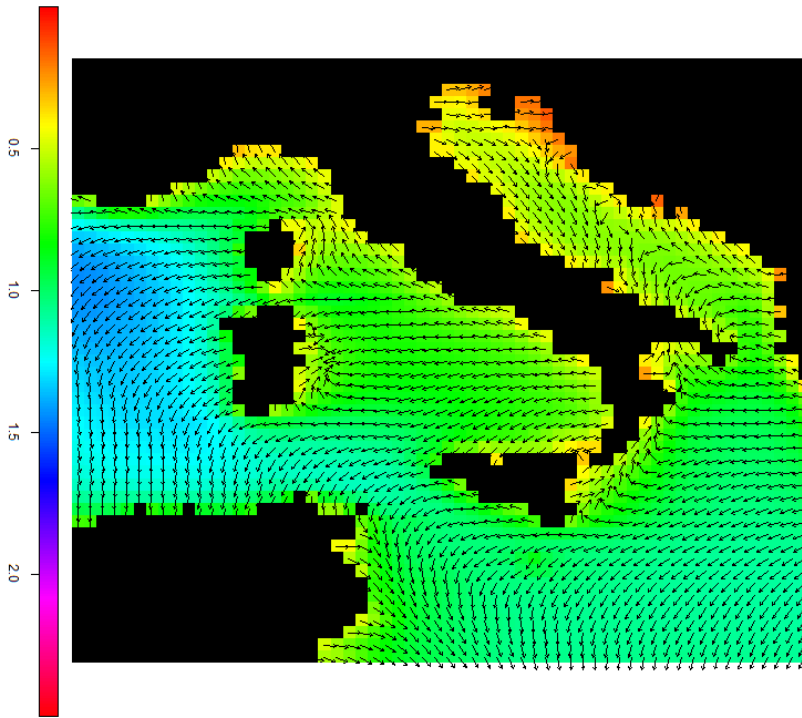


Fig.10 – Direzione media annuale della direzione dell'onda – 2005

2005

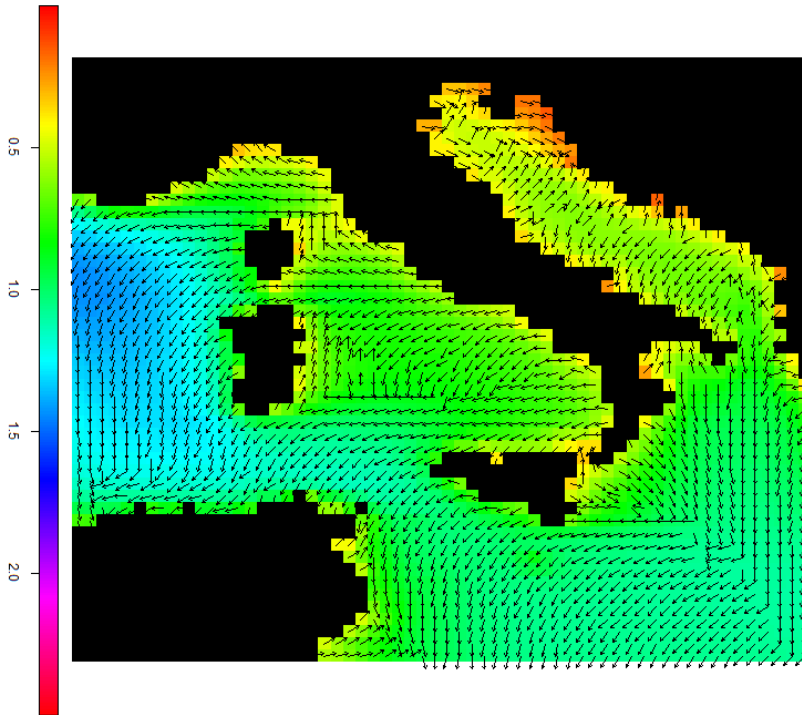


Fig.11 – Direzione modale annuale della direzione dell'onda – 2005

Di seguito si riportano i dati di esposizione al moto ondoso ottenuti dalle misurazioni puntuali ricavate dalle boe della RON (attualmente riferiti a titolo di esempio a due delle quindici stazioni RON):

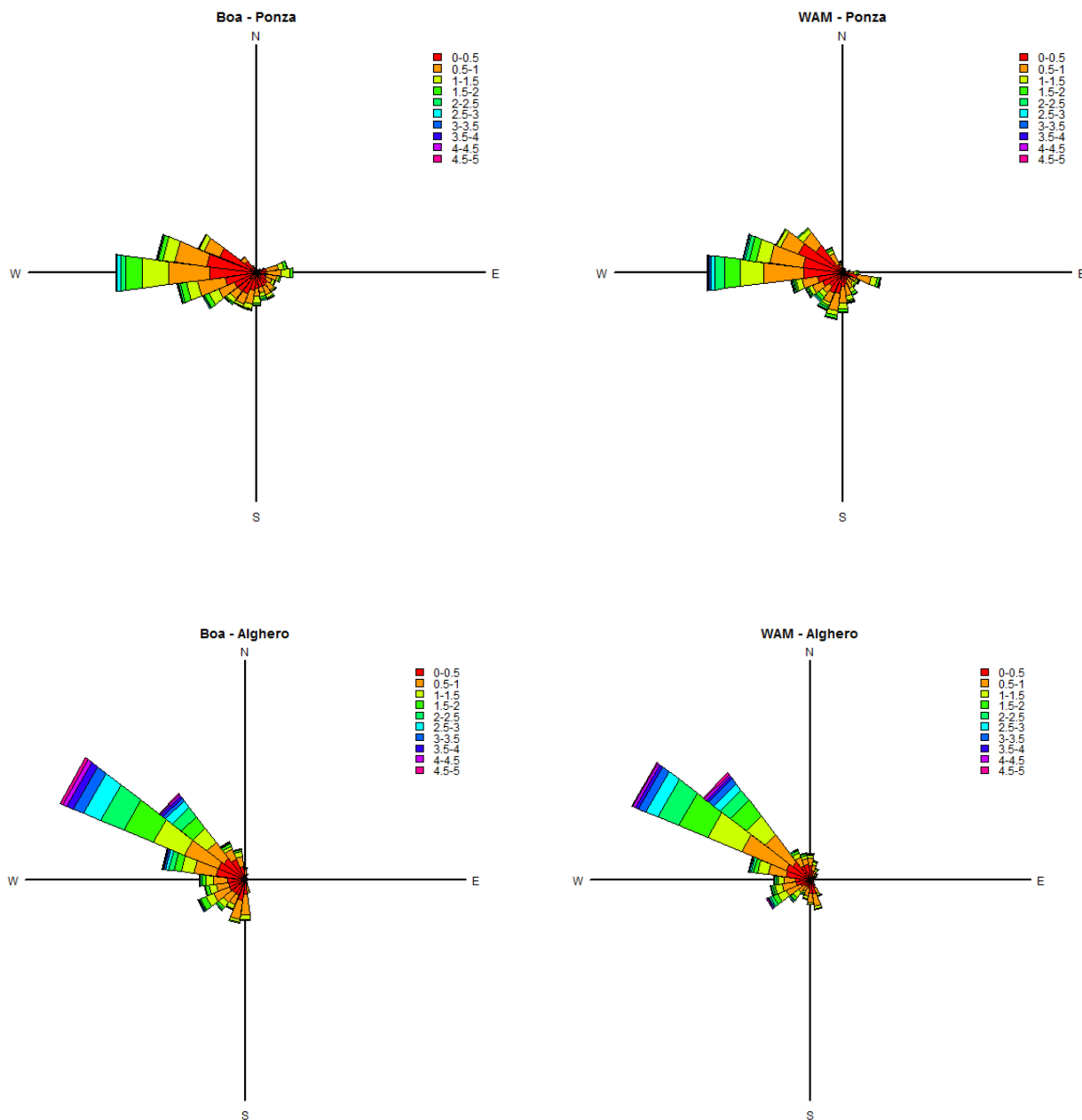


Fig.12 – Confronto tra osservazioni ondamiche e valori stimati da modello – 2005-2008

A partire dalle osservazioni ondamiche ricavate della RON, è stato effettuato un confronto tra i dati reali e i dati da modello (WAM). Le seguenti rose rappresentanti il clima ondoso nel periodo 2005-2008 suggeriscono una buona ricostruzione dello stato di mare da parte del modello. Tuttavia si riscontrano anche delle differenze soprattutto nella ricostruzione degli eventi estremi in cui il modello sembra sottostimare i valori di altezza d'onda.

Di seguito si riportano le cartografie della esposizione al moto ondoso ottenuti dai modelli ad alta risoluzione (attualmente riferita ad alcune delle aree disponibili):

Si riporta in fig.13-14 il confronto tra modello ad alta risoluzione per acque profonde e modello ad altissima risoluzione per la propagazione a costa. Il confronto si riferisce all'area G7 nel caso di una mareggiata



avvenuta a marzo del 2008. Si puo' osservare come i processi di interazione col fondale (shoaling, breaking, attrito sul fondo) sono presenti nella fig. 14 ma non nella 13.

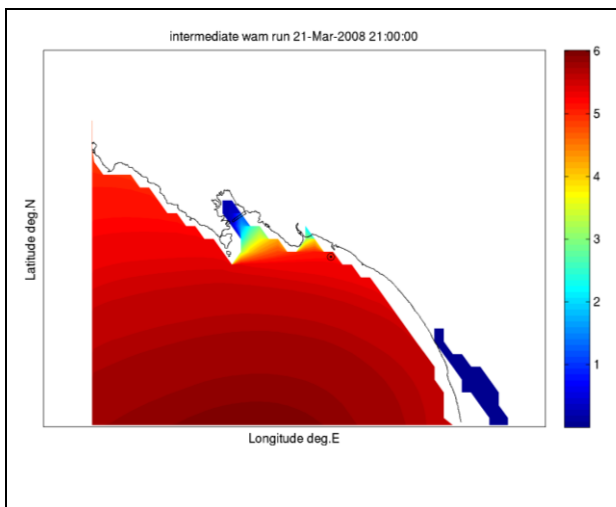


Fig.13 Simulazione modello ondoso per acque profonde

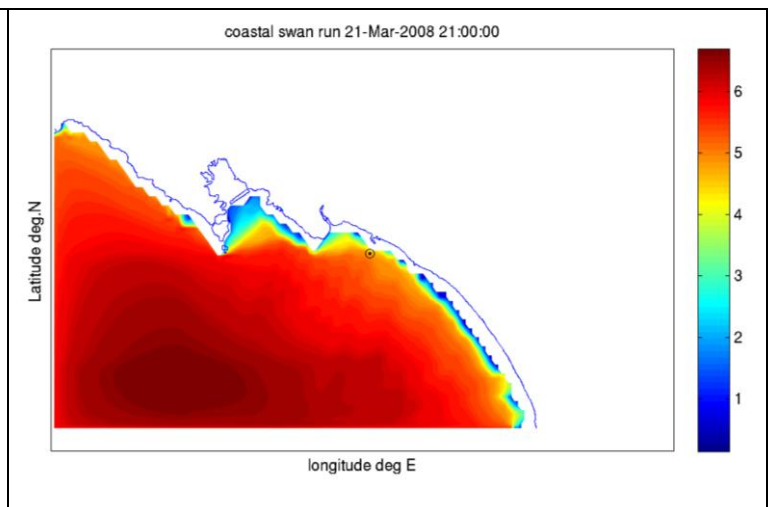


Fig.14 simulazione del modello costiero

La catena di nesting permette di considerare gli effetti dovuti alla rifrazione delle correnti nelle aree regionali (fig 15-16), che possono contribuire in modo significativo in alcune aree importanti del Tirreno e del Mediterraneo Centrale.

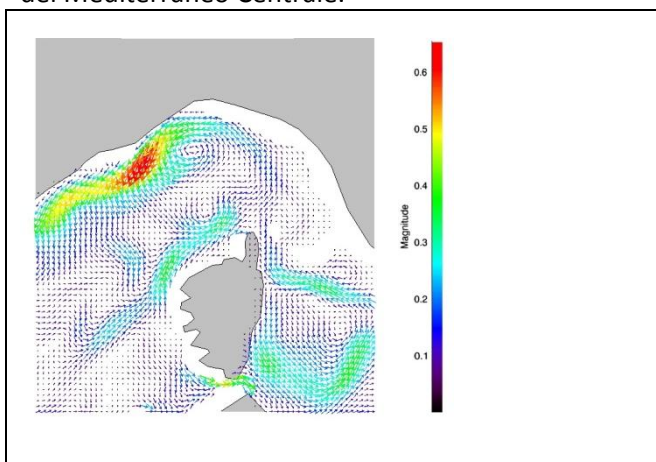


Fig.15 campo di corrente superficiale OPA 9/11/2010

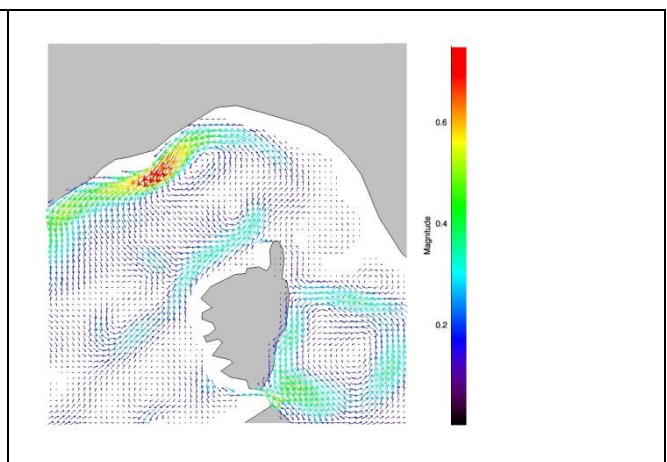


Fig.16 campo di corrente superficiale OPA 11/11/2010

Il sistema puo' assimilare dati da satellite prodotti da Jason-1, Jason-2 ed ENVISAT. Si valuta che per le simulazioni a grande scala possano essere considerati da 8 ad 11 passaggi sul Mediterraneo (fig.17-18), questo permetterebbe di migliorare la qualita' delle previsioni sul breve periodo e delle ricostruzioni di episodi.

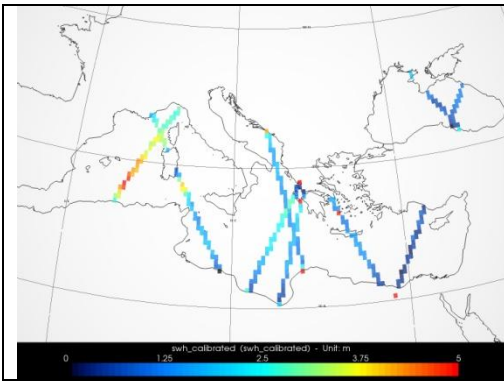


Fig. 17 - tracce dei satelliti disponibili sul Mediterraneo il giorno 10/11/2010

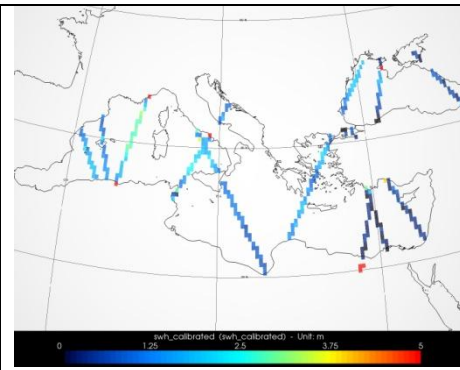


Fig. 18 - tracce dei satelliti disponibili sul Mediterraneo il giorno 11/11/2010

Il monitoraggio in situ prodotto dall'ISPRA e quello che si può realizzare con simulazioni numeriche del sistema costiero sono generalmente in buon accordo sia sulle aree regionali dove si valutano le onde in mare aperto (fig. 19-20) su fondale 90-100 m

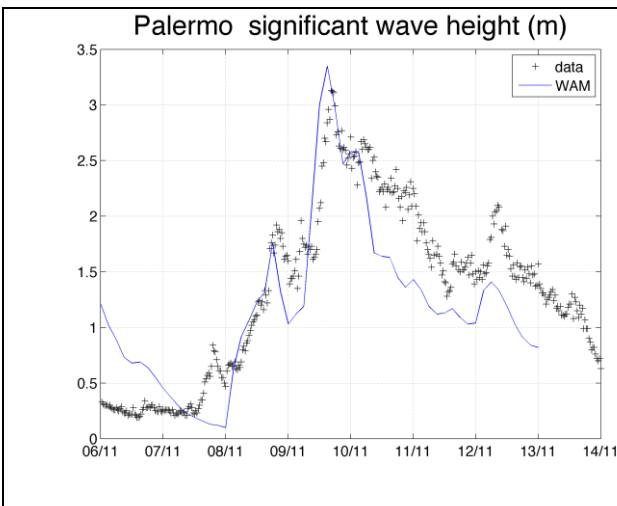


Fig. 19 - confronto modello Wam regionale e boa RON Palermo 6-11/14-11 2010

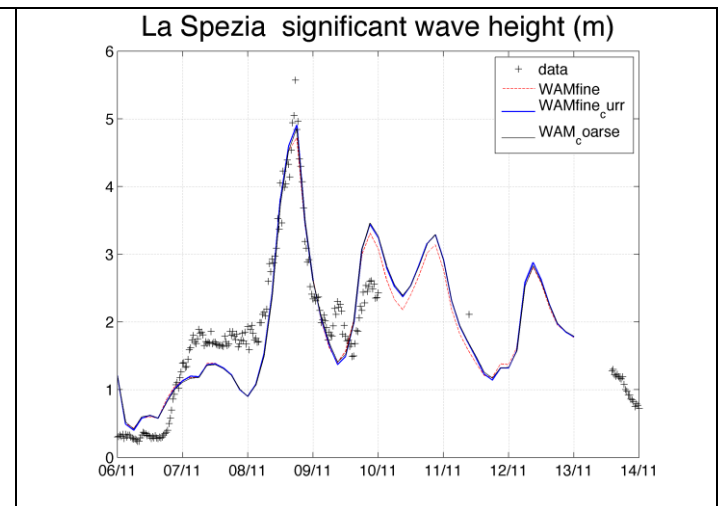


Fig. 20 - confronto modello Wam regionale e boa RON La Spezia 6-11/14-11 2010

Che nelle aree costiere, come si può vedere nella figura 21-22 dove si confrontano le simulazioni numeriche del sistema costiero (WAM+SWAN) con le osservazioni su un fondale di 12 m

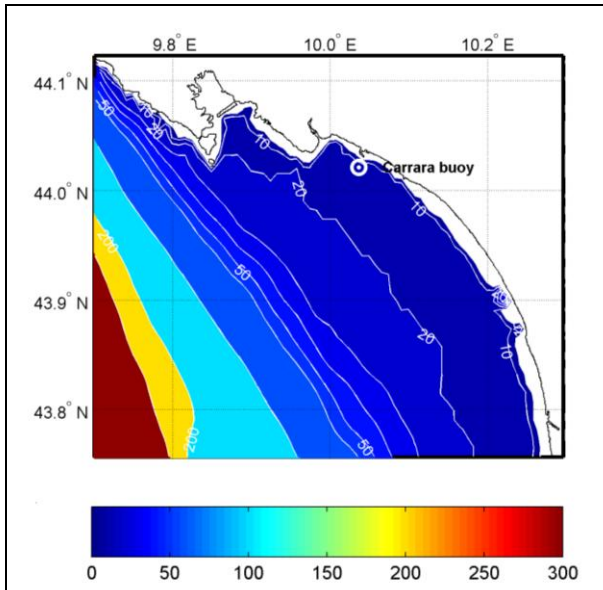


Fig. 21 - batimetria dell'area di Carrara e posizione della boa

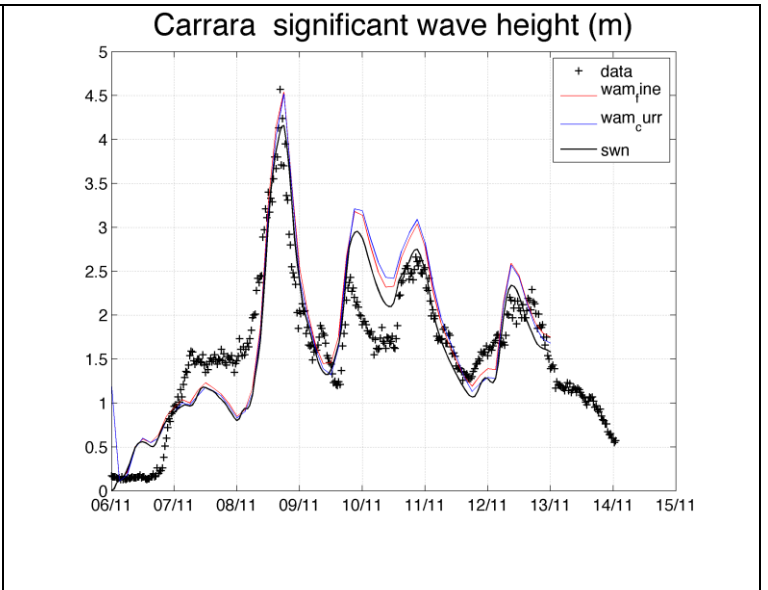


Fig. 22 - confronto modello SWAN costiero e boa Carrara 6-11/14-11 2010



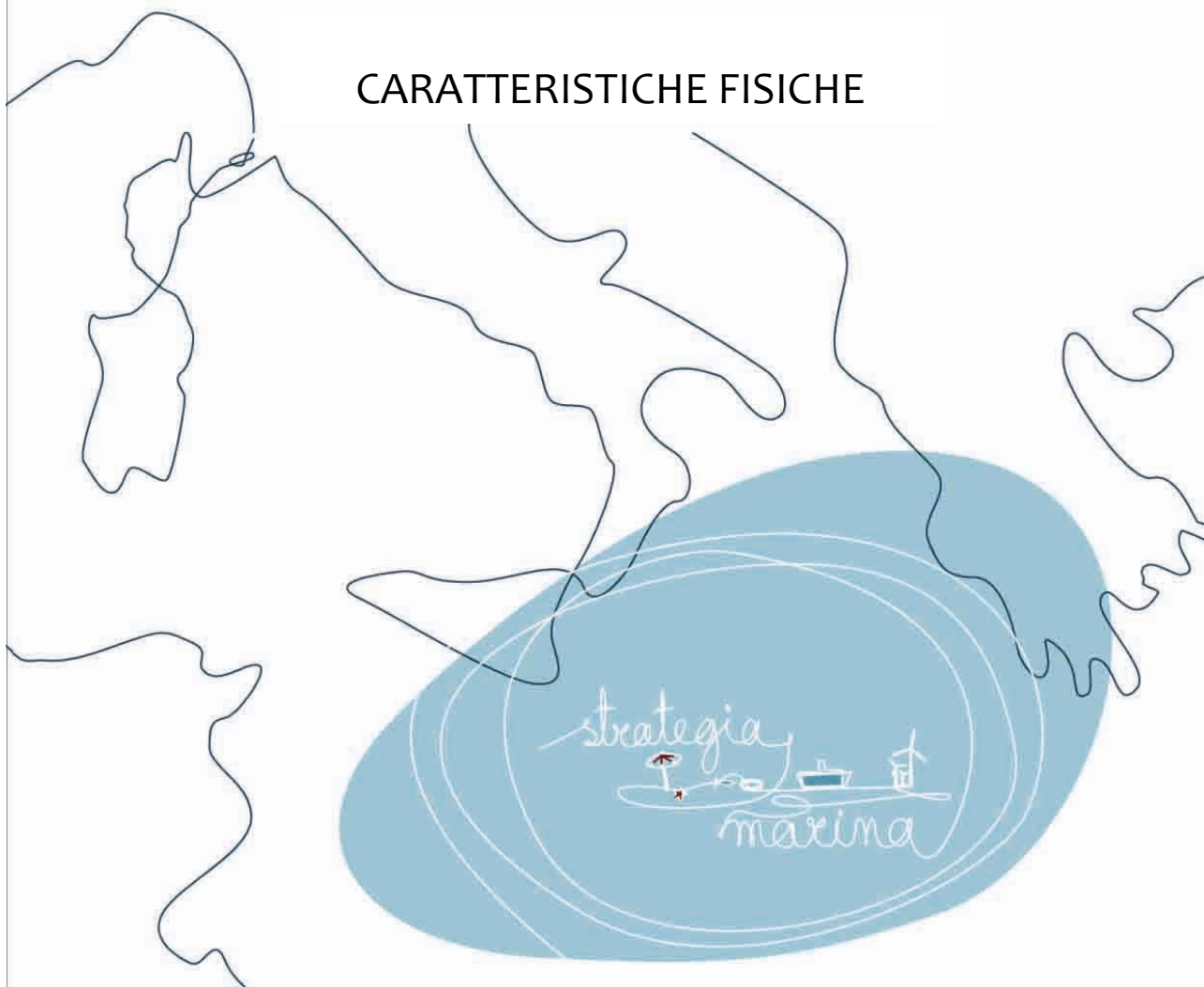
**ISPRA**

Istituto Superiore per la Protezione  
e la Ricerca Ambientale

# STRATEGIA PER L'AMBIENTE MARINO

Valutazione Iniziale  
SOTTOREGIONE MAR IONIO  
E MEDITERRANEO CENTRALE

CARATTERISTICHE FISICHE



## 3.1 Caratteristiche fisiche

### 3.1.1 AREA DI VALUTAZIONE

Tutta l'area della sottoregione

#### 3.1.1.1 INFORMAZIONE UTILIZZATA

##### Fisiografia dei fondali e batimetria

###### *Soggetti detentori di dati individuati:*

Univ. degli studi di Roma "La Sapienza" e Istituto Idrografico della Marina Militare (IIMM)

###### *Dati e metodi:*

Batimetria: i dati impiegati sono relativi a rilievi effettuati nel corso degli ultimi decenni dall'Istituto Idrografico della Marina Militare, che ha provveduto a rielaborare, uniformare e a mosaicare i rilievi effettuati. I dati sono disponibili per tutta la sottoregione rappresentate con curve batimetriche a quote prestabilite, a partire dalla quota -5m sino alle massime profondità.

Fisiografia dei fondali: L'informazione descrittiva della fisiografia dei fondali dello Ionio è derivabile da rilievi multibeam previa elaborazione ed analisi interpretativa delle variazioni morfologiche, prevista da una specifica convenzione con l'istituto detentore dell'informazione. Parte delle informazioni sarà elaborata entro due mesi dall'attivazione della Convenzione, indicativamente entro il 15 luglio 2012, e la parte restante al termine della convenzione, che tecnicamente non può avere durata inferiore a 12 mesi.

Per l'analisi descrittiva della sottoregione in esame saranno impiegati, unitamente a dati bibliografici, le informazioni batimetriche e fisiografiche dei fondali disponibili.

###### *Analisi:*

Il Mare Ionio orientale è costituito da un bacino profondo fino a 4000 m, con una piattaforma continentale variamente articolata.

La piattaforma continentale è piuttosto ampia nel golfo di Taranto, dove raccoglie l'apporto di numerosi corsi d'acqua dal versante lucano e calabro-settentrionale (il più importante è il fiume Crati); per tale motivo essa è in accrescimento deposizionale e il suo limite esterno progreda lentamente verso il bacino.

Il raccordo con l'area bacinale più profonda del Mediterraneo centrale è costituito dall'ampia valle di Taranto. La scarpata continentale è generalmente acclive e piuttosto estesa e articolata e si raccorda alla valle di Taranto (o fossa Bradanica), che divide in due il golfo di Taranto in un settore apulo e un settore calabro-lucano. A sud-ovest la scarpata è solcata da un bacino sedimentario allungato parallelamente alla valle di Taranto. Sul versante calabro, dal golfo di Squillace fino a capo Spartivento, la piattaforma è molto ridotta e la scarpata è solcata da numerosi canyon e da canali erosivi che drenano l'imponente apporto sedimentario proveniente dall'entroterra verso il bacino di Crotona-Spartivento. Le testate dei canyon sono sede di fenomeni franosi e spesso sono suddivise in numerosi tributari che incidono la piattaforma continentale raggiungendo spesso distanze di poche centinaia di metri dalla linea di costa. La scarpata è inoltre interrotta da rilievi di notevoli dimensioni (dorsale dell'Amendolara alto di Cirò).

Il versante siculo del mar Ionio e lungo la punta meridionale della Calabria presenta una piattaforma continentale molto ristretta, quasi inesistente, con l'eccezione dei golfi di Catania, di Augusta e di Noto. La scarpata continentale è molto ripida e sede di flussi gravitativi di sedimento grossolano. Il raccordo con la piana batiale è costituito dalla valle di Messina che ha origine dall'omonimo stretto, sede di forti correnti che mobilizzano grandi quantità di sedimento grossolano. Verso ovest, il Mar Ionio è delimitato da una

profonda scarpata, la Scarpata di Malta, che con un salto di 3.000 m, separa il Mar Ionio dal Mediterraneo occidentale.

Il Mar Ionio geologicamente è caratterizzato dalla subduzione della placca africana al di sotto dell'arco calabro: questo ne fa una delle aree geologicamente più attive del nostro Paese.

Il versante siciliano del Mediterraneo centrale è costituito in gran parte da un'area di piattaforma molto vasta, in continuità con la piattaforma continentale africana a nord-ovest, e con la piattaforma di Malta a sud-ovest. La piattaforma è articolata nella porzione centrale in una serie di aree tabulari (banco Graham, banco Avventura, banco di Pantelleria) con profondità intorno ai 400 m. Una caratteristica di queste aree rilevate è di essere percorse da forti correnti e dalla totale assenza di apporti terrigeni, favorendo quindi una sedimentazione prevalentemente biogenica.

La piattaforma, nella parte centrale della sub-area, è frammentata da bacini di origine tettonica allungati in direzione della costa sicula. Uno di questi separa l'area a banchi dalla costa sicula, con profondità che arrivano ai -800 m. Gli altri, con profondità più elevate, separano la piattaforma sicula da quella tunisina: bacino di Pantelleria (profondità - 1300 m), bacino di Linosa (profondità - 1500 m), bacino di Malta (profondità - 1700 m). questa

Le isole Pelagie emergono dalla scarpata africana; anche la piattaforma che circonda l'isola di Linosa è collegata con un sottile istmo sommerso al versante africano.

Il mar di Sardegna è delimitato ad ovest dal bacino delle Baleari e ad est dalla costa occidentale sarda; comunica con il mar Tirreno a nord attraverso le bocche di Bonifacio e a sud in prossimità di Capo Spartivento.

A nord un canale di mare stretto fino a 11 Km fra Sardegna e Corsica, con profondità di poco superiori ai 50 m, costituisce le Bocche di Bonifacio. La morfologia è quella tipica delle coste di sommersione, con forme ereditate da ambienti un tempo emersi. La piattaforma esterna è pianeggiante, ricoperta da sedimenti bioclastici ed è soggetta a importanti processi di trasporto da corrente, quali dune idrauliche, campi di ripples e mega-ripples. Una scarpata estesa verge verso il bacino provenzale ed è incisa dall'ampia valle di un canyon che suddivide la piattaforma del canale di Bonifacio da quella del golfo dell'Asinara.

Nel versante occidentale sardo la parte settentrionale fra capo Caccia e l'Asinara comprende una piattaforma poco estesa e una ripida scarpata. Il settore centrale del mar di Sardegna ospita una piattaforma continentale estesa che si raccorda attraverso una scarpata continentale piuttosto accidentata, anche se non molto inclinata, alla grande piana abissale delle Baleari, profonda tra i 2.600 e i 2.800 m. La penisola del Sinnis protende verso mare interrompendo la continuità della piattaforma, così come il golfo di Oristano, con i suoi ambienti lagunari interrompe la continuità della costa. In questo punto la scarpata è incisa da importanti valli sommerse.

Nella parte meridionale la piattaforma continentale vira verso est mantenendo la sue estensione fino al golfo di Cagliari e interrompendosi in corrispondenza di capo Carbonara. Tutto il lato orientale del golfo di Cagliari presenta un versante molto acclive che costituisce la continuazione a mare del graben del Campidano.

Lungo il versante meridionale della Sardegna la scarpata è molto articolata e costituisce il versante settentrionale di un bacino allungato in direzione NO-SE, profondo fino a 1200m, che si raccorda a NO con il mar Tirreno e a SE col canyon sardo-tunisino, drenando una massa di sedimenti che vanno a costituire il conoide sardo-maghrebino. Una dorsale denominata "Ichnusa seamount" separa tale bacino dal canyon sardo-siculo, che si imposta ad una profondità di 2000 m e dirige verso il mare Tirreno.

## **Temperatura superficiale (SST)**

I dati satellitari di SST skin si riferiscono alla sottoregione Mar Ionio e Mediterraneo Centrale

*Soggetti detentori di dati individuati:*

1. Progetto MARCOAST. Il progetto MARCOAST (Marine and Coastal Environment Information Services) realizzato nell'ambito del programma GMES Service Elements dell'ESA, Agenzia Spaziale

- Europea, e sviluppato da Planetek, ha lo scopo di fornire servizi di monitoraggio marino-costiero ad una utenza PanEuropea. L'ISPRA all'interno del suddetto Progetto ha la funzione di End User.
2. CNR-ISAC Gruppo Oceanografia da Satellite (GOS).

#### *Dati e metodi:*

1. L'arco temporale dei dati acquisiti fino ad ora va dal 2007 al 2011. I data set si riferiscono ai dati satellitari collezionati dal sensore termico NOAA-AVHRR ad 1.1 km di risoluzione spaziale. I dati sono stati mediati su base mensile. I dati satellitari fin qui analizzati sono stati collezionati dal Progetto MARCOAST (<http://marcoast.planetek.it/>) ma provengono originariamente dagli archivi EOWEB (<http://eoweb.dlr.de:8080/data-service>). I dati Marcoast sono presenti dal 2006 ad oggi (Ceriola et al., 2009). Essi sono ancora in fase di elaborazione e verranno elaborati entro il 15 ottobre 2012.
2. Riguardo ai dati presenti negli archivi del CNR-ISAC, questi sono dati di SST skin multisensore ovvero collezionati da più di un sensore termico (es. NOAA-AVHRR, SEVIRI, ecc.) e verranno elaborati su una griglia spaziale di 1/16° ovvero 7 km al fine di poterli sovrapporre con i dati correntometrici alla stessa risoluzione spaziale. Gli stessi coprono l'arco temporale dal 01.07.2006 al 31.12.2011. I dati CNR-ISAC sono ancora in fase di elaborazione e verranno elaborati entro il 15 ottobre 2012.

#### *Analisi qualitativa preliminare della SST skin:*

L'analisi qualitativa preliminare si riferisce solo al dataset relativo al Programma di ricerca MARCOAST (Fig. 1-5). L'andamento generale della SST skin è relativo agli anni 2010-2011. Il periodo di analisi è qui più ristretto perché il Canale di Sicilia è stato compreso solo da aprile 2010 nel progetto MarCoast. Dall'analisi effettuata da Marullo et al. (1999) si evince che la stagionalità è più marcata nel Mar Ionio (circa 6°C) che negli altri bacini del Mediterraneo orientale.

#### *Inverno*

La distribuzione delle SST è fortemente zonale da Novembre ad Aprile. Durante i mesi invernali si riscontra un pattern di isoterme principalmente zonale. Il pattern invernale è associato con la firma dinamica della *Atlantic-Ionian stream* (AIS) che entra nel Canale di Sicilia. In inverno l'AIS segue principalmente un cammino verso est verso la costa africana dove diviene corrente africana settentrionale (Marullo et al., 1999).

#### *Primavera*

Maggio è un mese di transizione tra i due estremi stagionali.

#### *Estate*

Durante la stagione estiva la distribuzione zonale delle temperature svanisce ed i fronti di SST sono praticamente meridionali.

La distribuzione delle SST è meridionale nel periodo giugno-settembre.

In estate è presente un fronte termico distinto (Fig. 4-5). Questo si sviluppa da nord-ovest a sud-est nelle zone interne ed orientali del Mar Ionio e separa lo Ionio stesso dal bacino levantino. Esso raggiunge la penisola italiana ed indica circolazione anticiclonica superficiale nello Ionio interno (Marullo et al., 1999).

In estate il campo di SST riflette il percorso dinamico della corrente AIS che entra nel canale di Sicilia. In estate, il jet AIS forma un forte meandro che protrude verso nord e poi gira verso sud-est con associati fronti termici chiaramente evidenti nel campo delle SST. Questo meandro creato dall'AIS circonda una circolazione anticiclonica nell'interno dello Ionio.

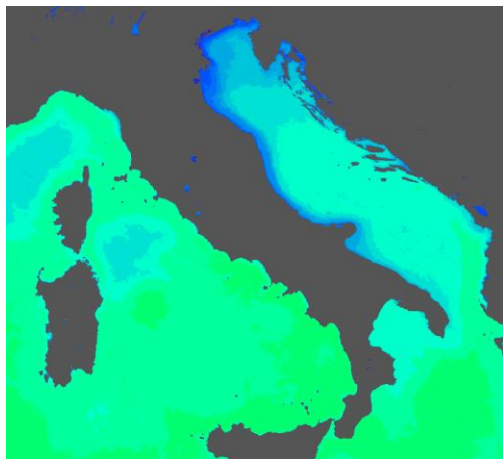
#### *Autunno*

Ottobre è un mese di transizione tra i due estremi stagionali.

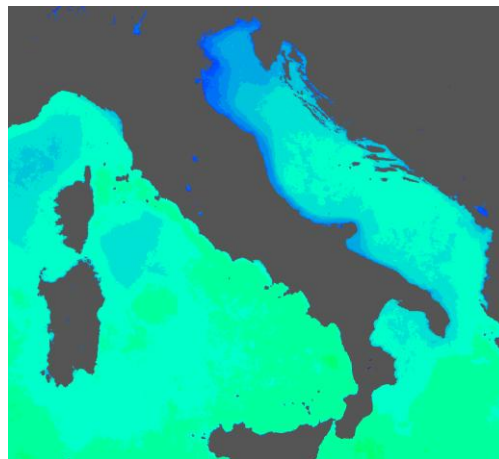
Variazione interannuali

L'analisi delle variazioni interannuali è ancora in via di elaborazione e verrà completata per il 15.10.2012.

## SST skin 2007

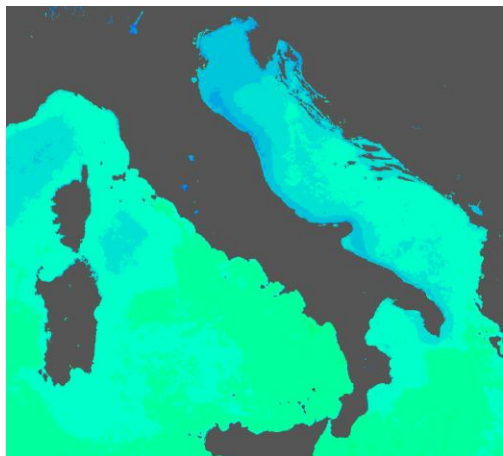
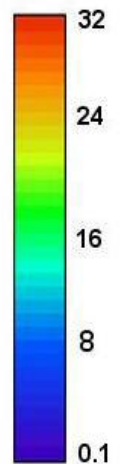


Gennaio

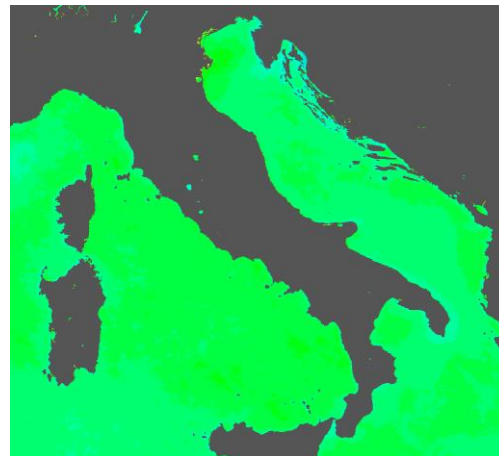


Febbraio

SST (°C)

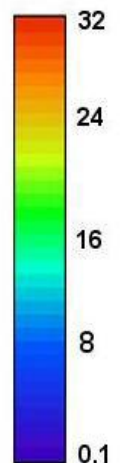


Marzo



Aprile

SST (°C)





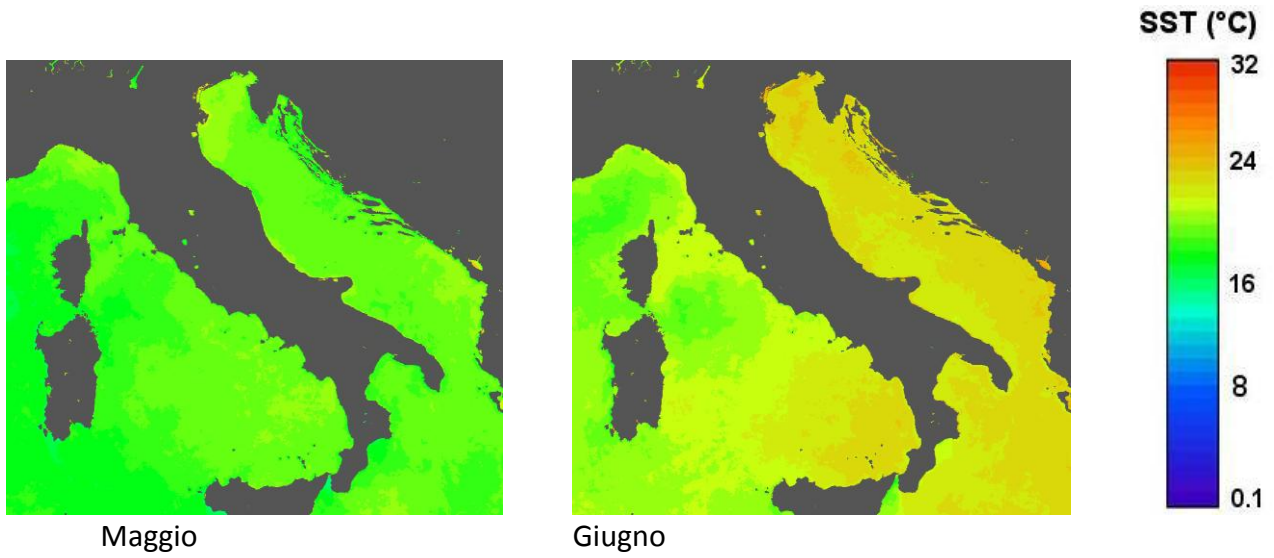
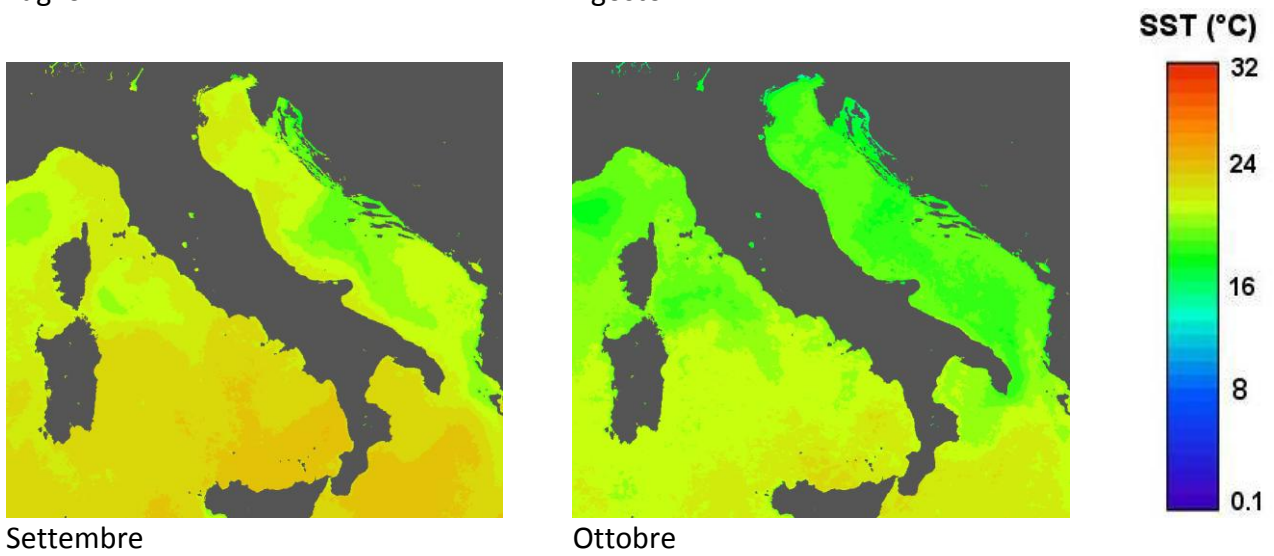
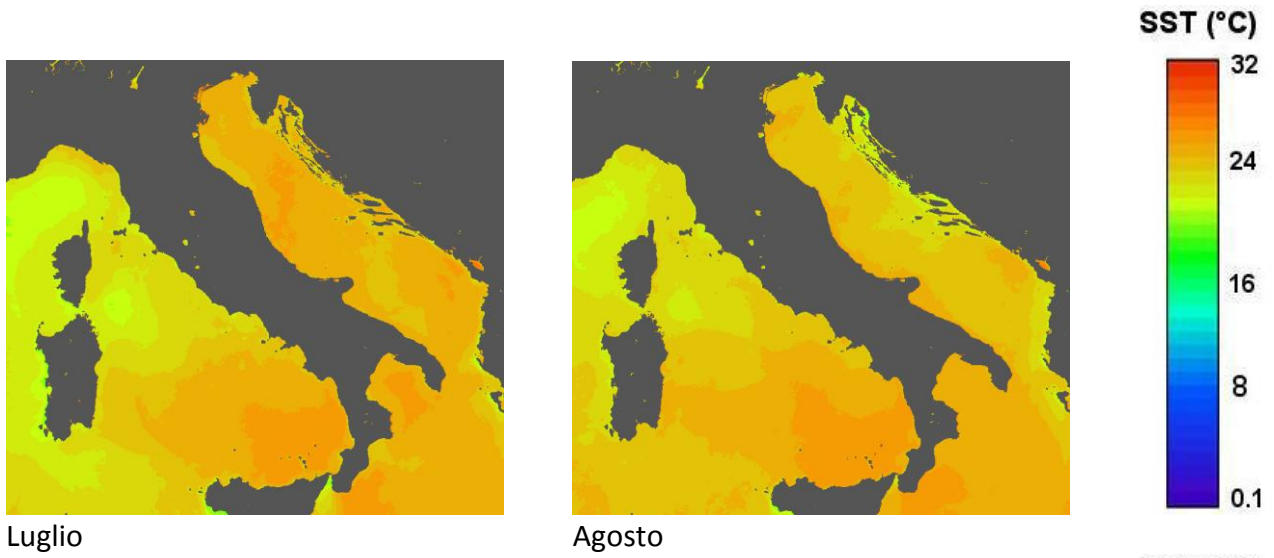
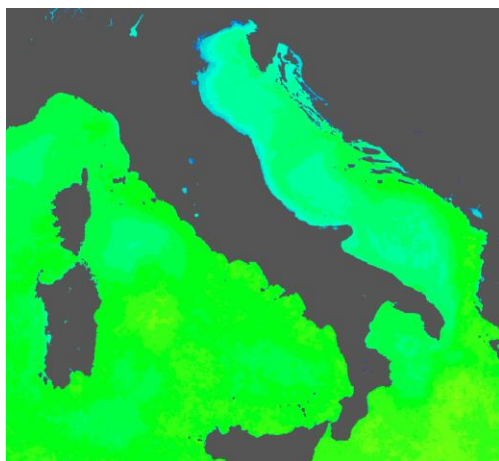


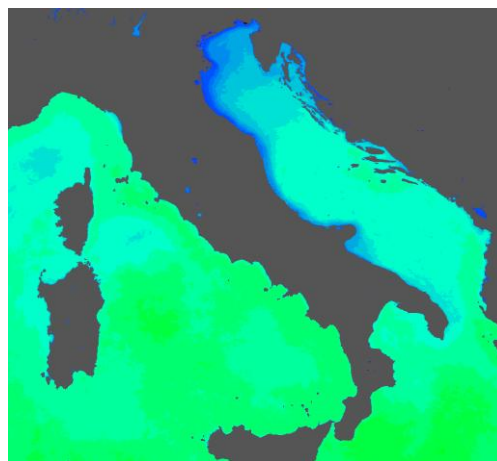
Fig.1 SST skin nelle tre sottoregioni per l'anno 2007.

### SST skin 2007





Novembre



Dicembre

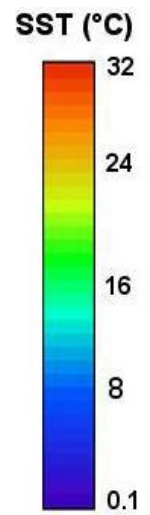
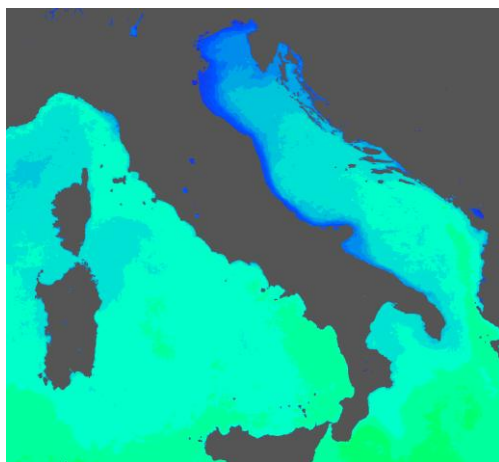
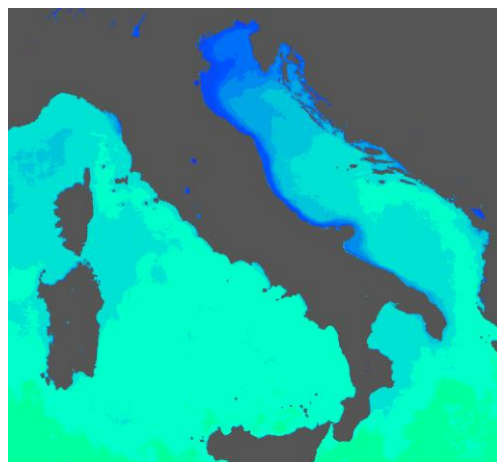


Fig.1 (cont.) SST skin nelle tre sottoregioni per l'anno 2007.

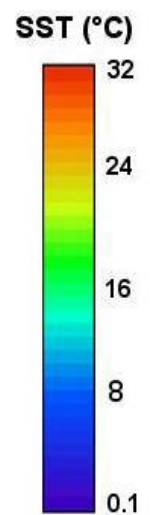
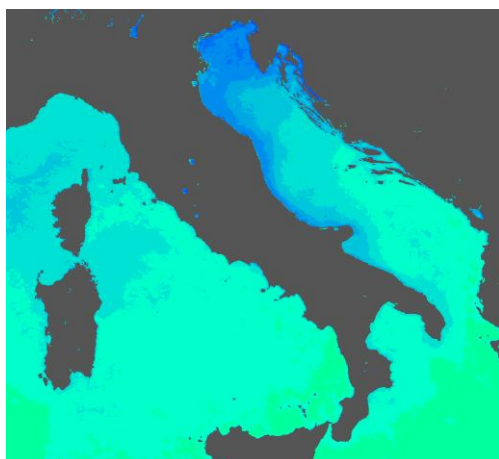
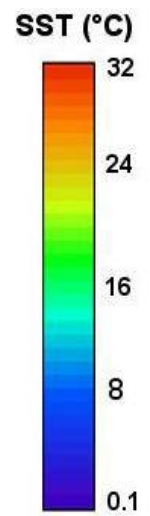
## SST skin 2008



Gennaio

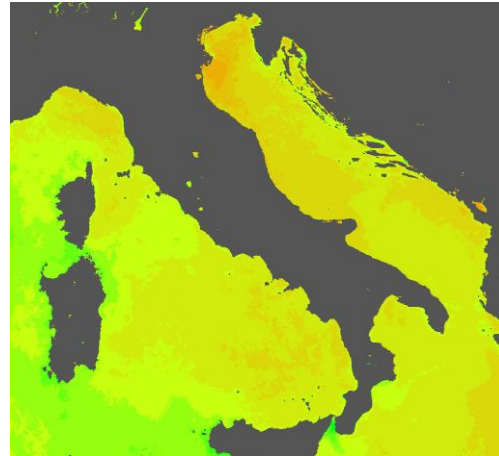
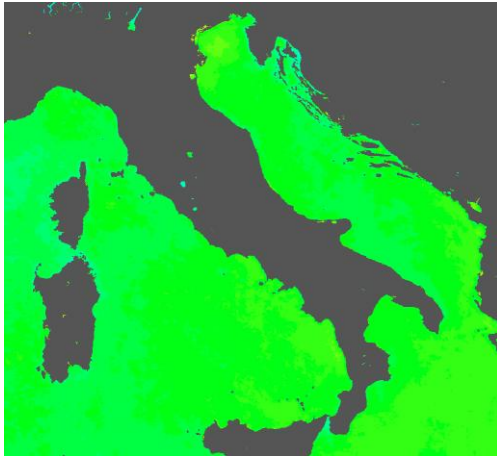


Febbraio

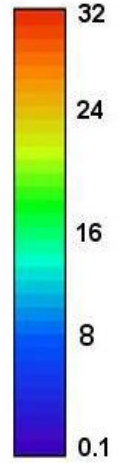


Marzo

Aprile



SST (°C)

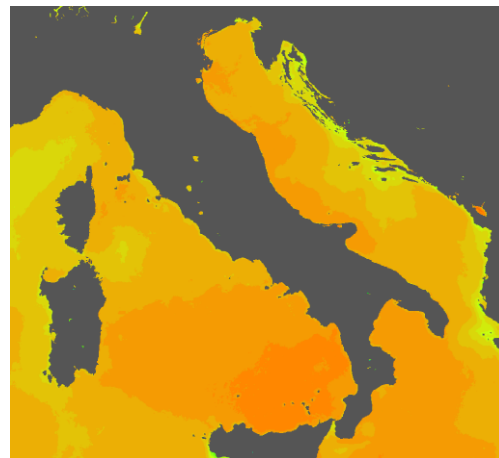
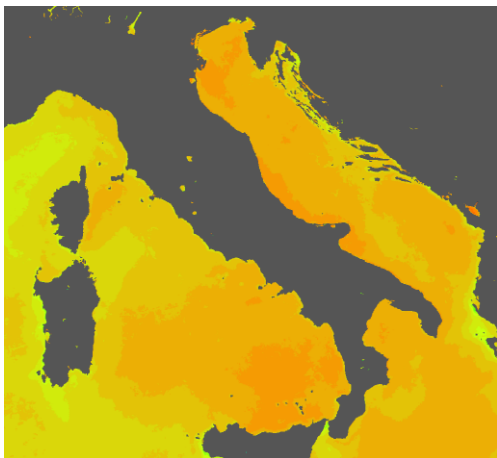


Maggio

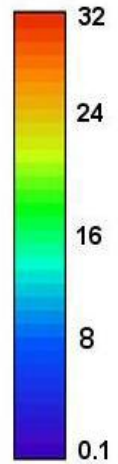
Giugno

Fig.2 SST skin nelle tre sottoregioni per l'anno 2008.

## SST skin 2008

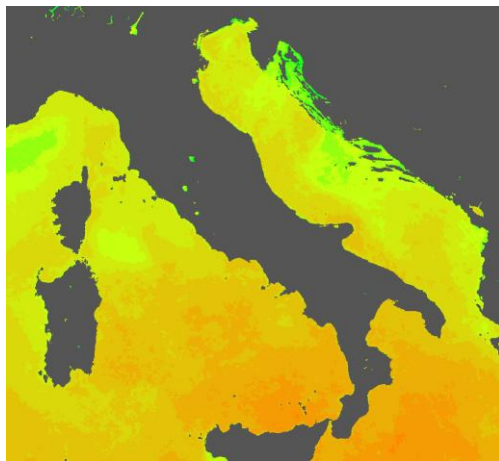


SST (°C)

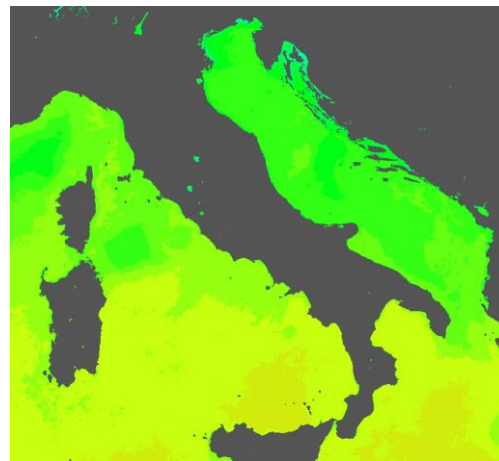


Luglio

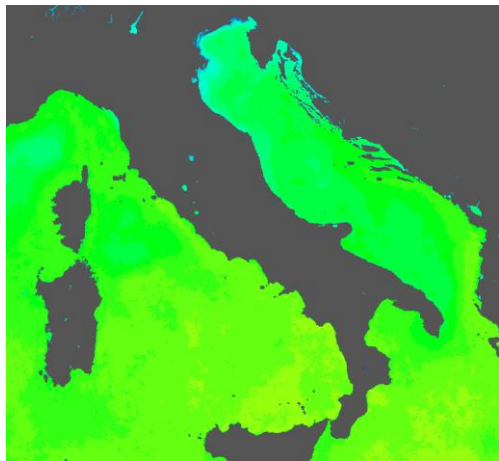
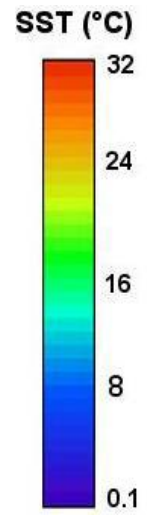
Agosto



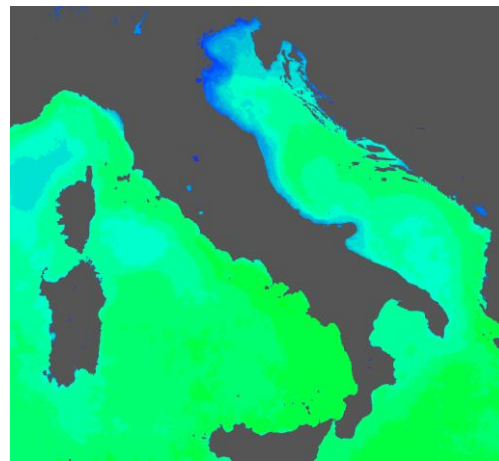
Settembre



Ottobre



Novembre



Dicembre

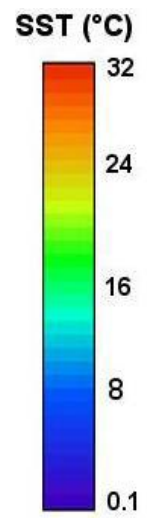
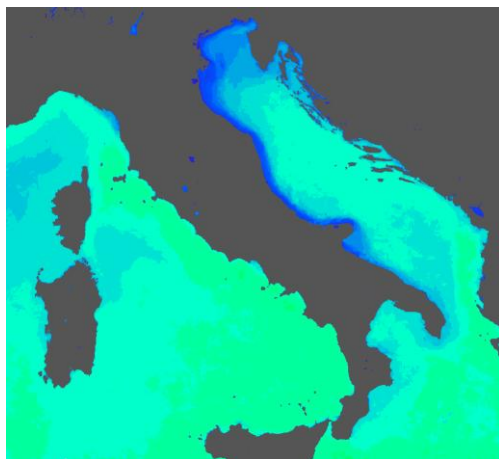
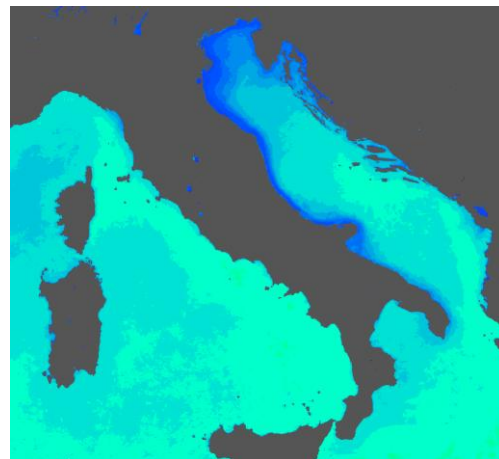


Fig.2 (cont.) SST skin nelle tre sottoregioni per l'anno 2008.

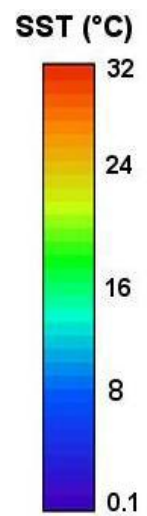
### SST skin 2009

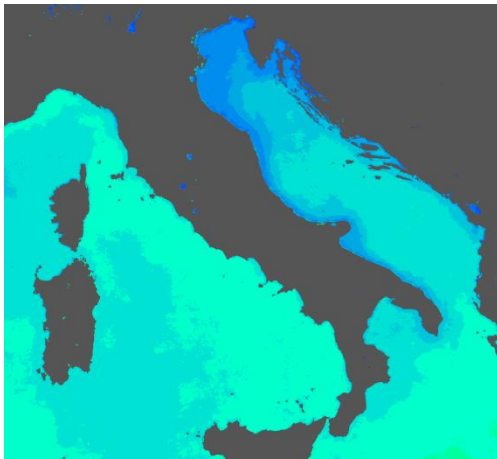


Gennaio

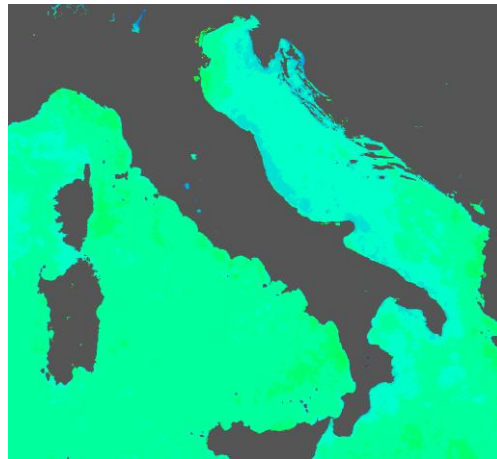


Febbraio

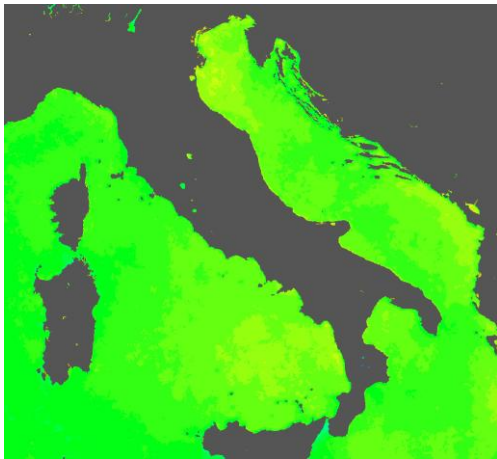
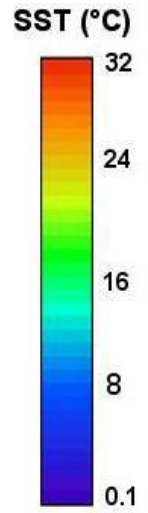




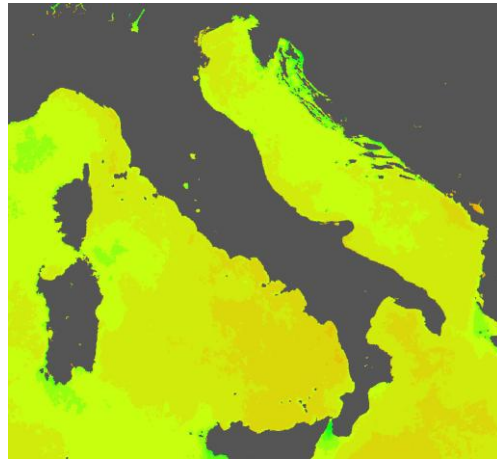
Marzo



Aprile



Maggio



Giugno

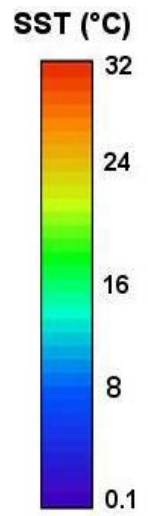
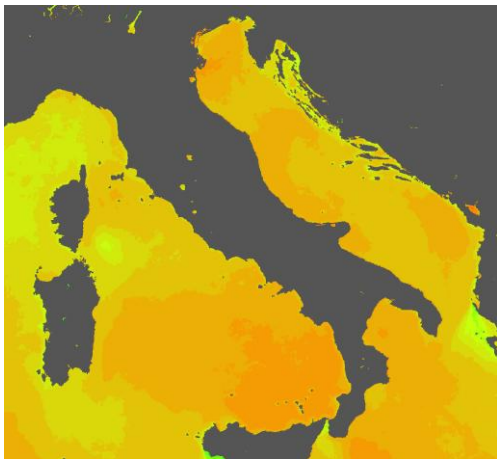


Fig.3 SST skin nelle tre sottoregioni per l'anno 2009.

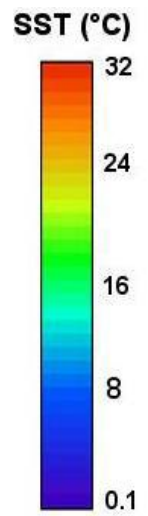
### SST skin 2009



Luglio



Agosto



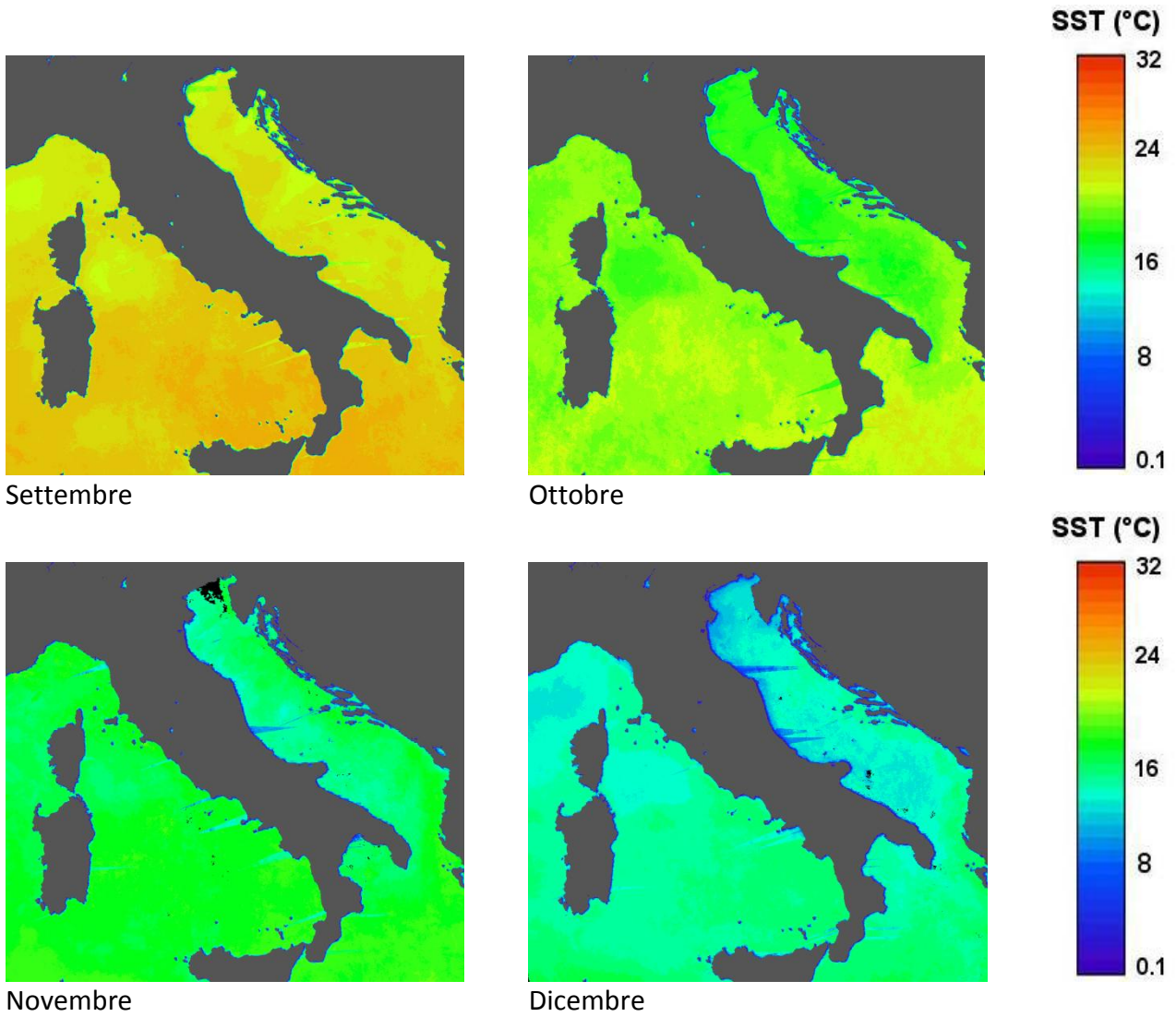
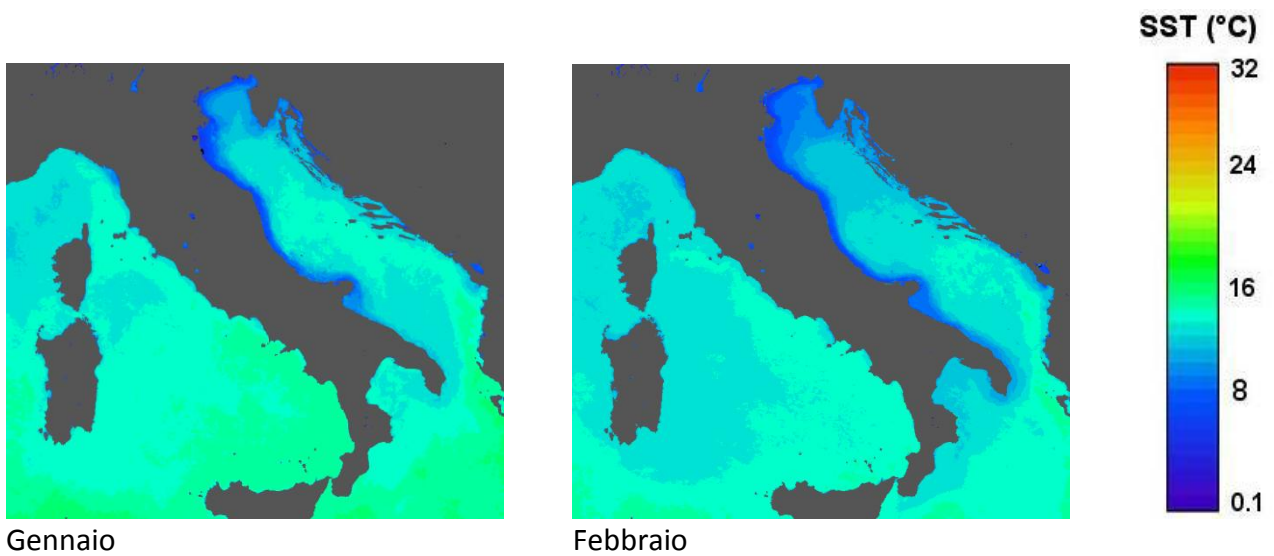


Fig.3 (cont.) SST skin nelle tre sottoregioni per l'anno 2009.

### SST skin 2010



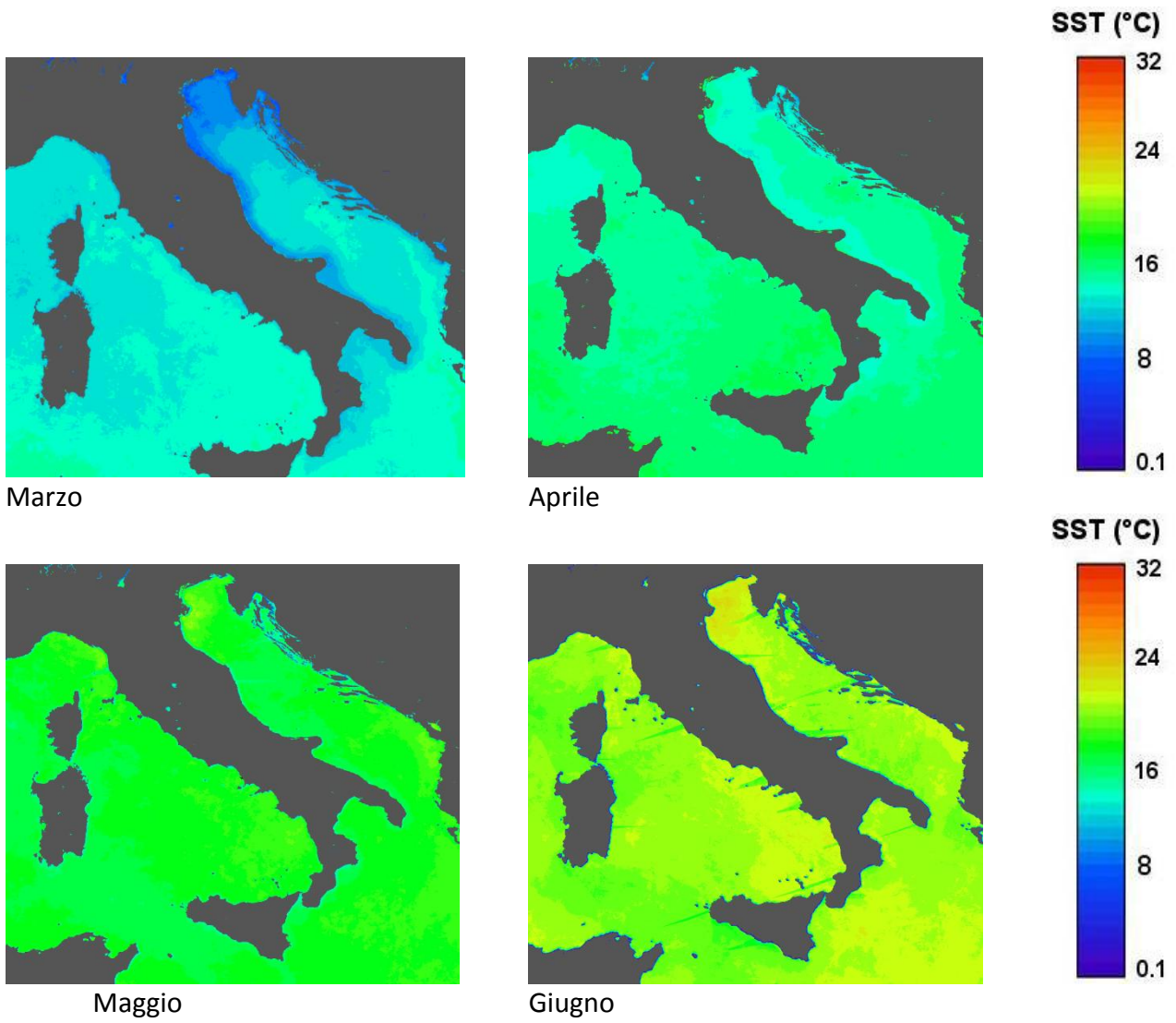
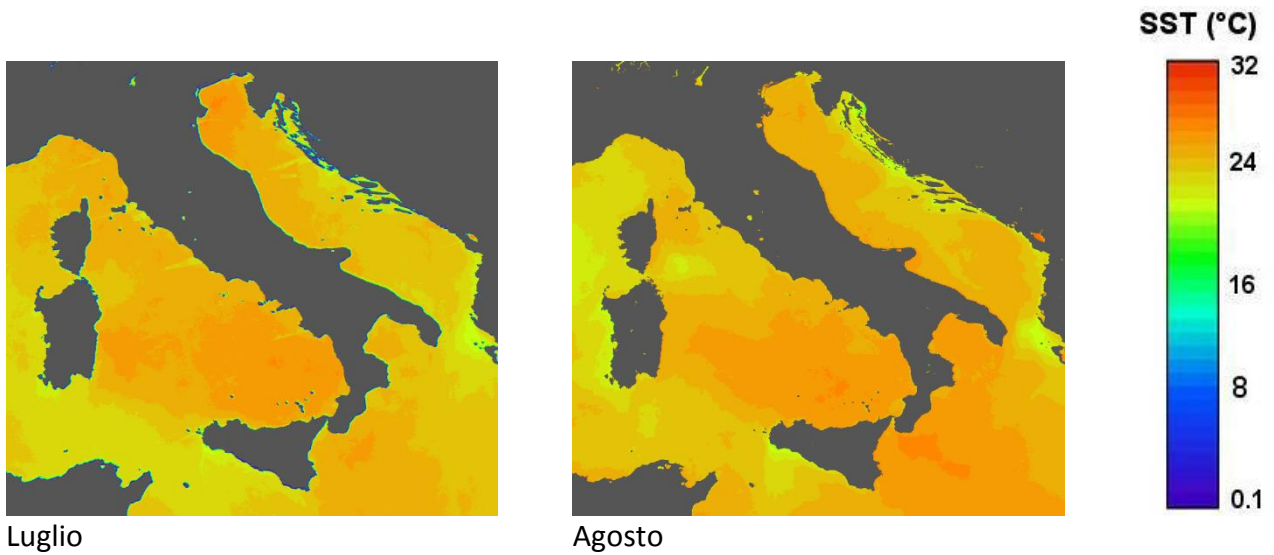


Fig.4 SST skin nelle tre sottoregioni per l'anno 2010.

### SST skin 2010



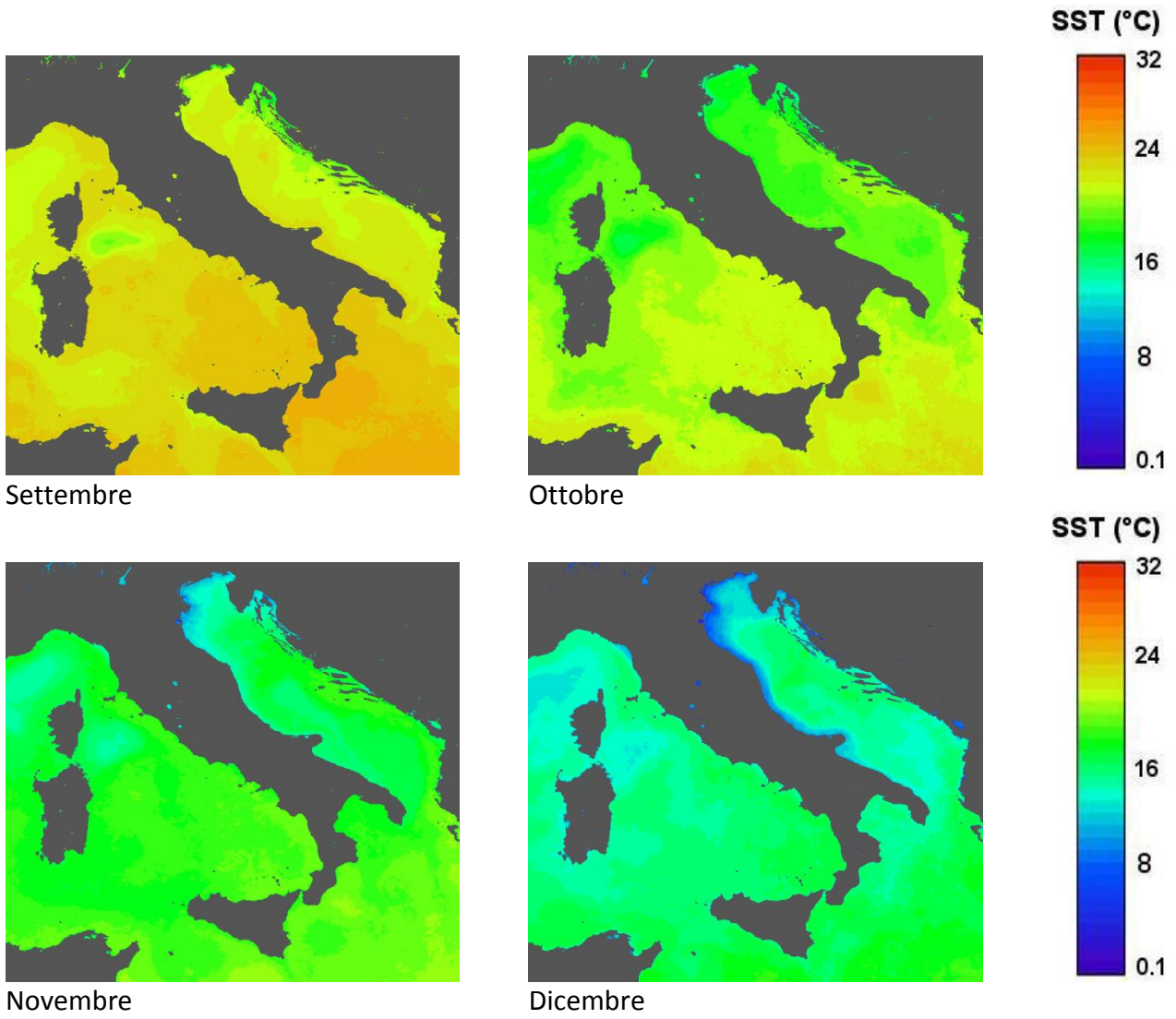
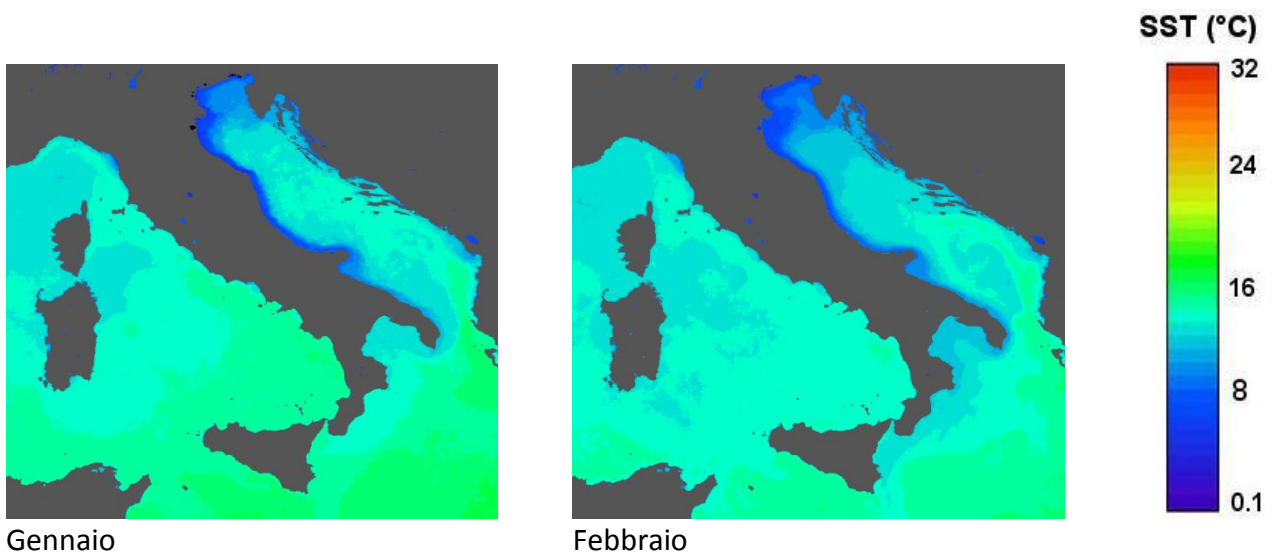


Fig.4 (cont.) SST skin nelle tre sottoregioni per l'anno 2010.

### SST skin 2011





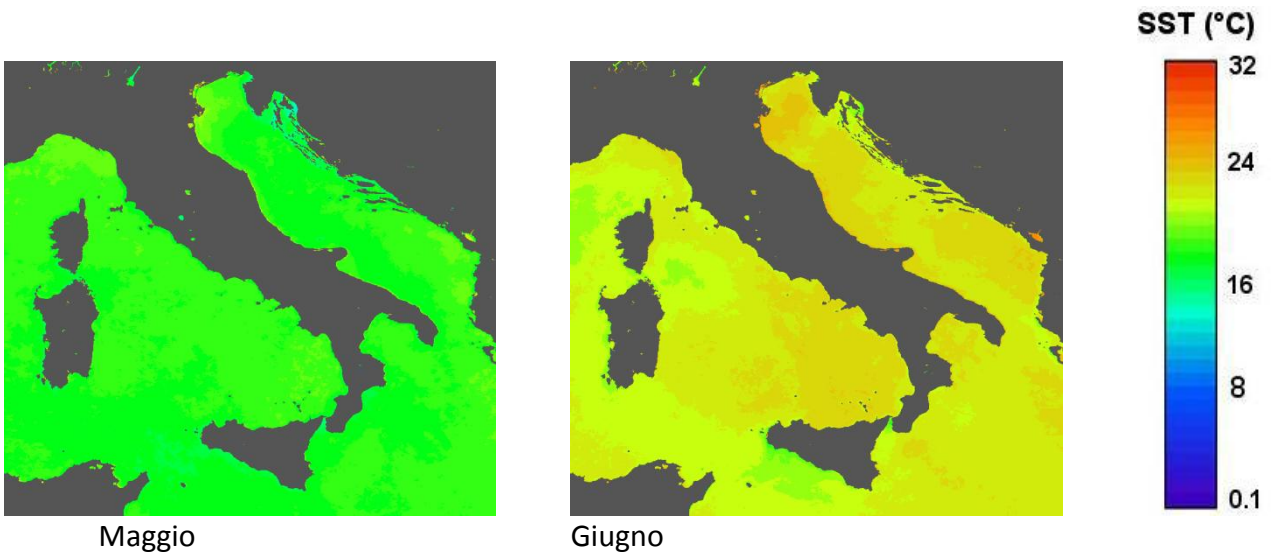
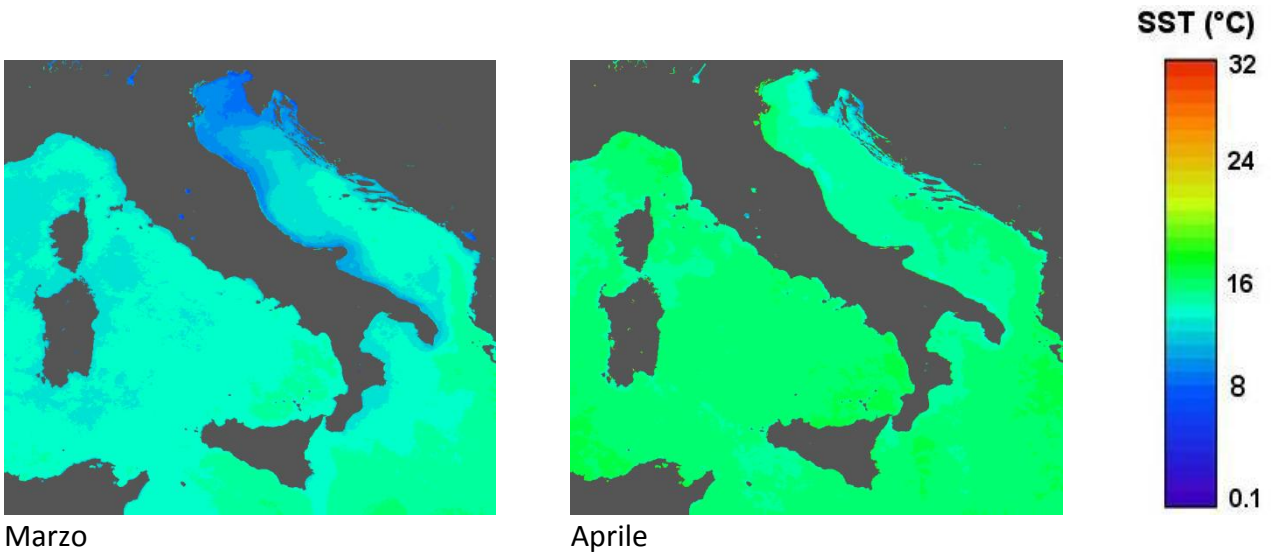
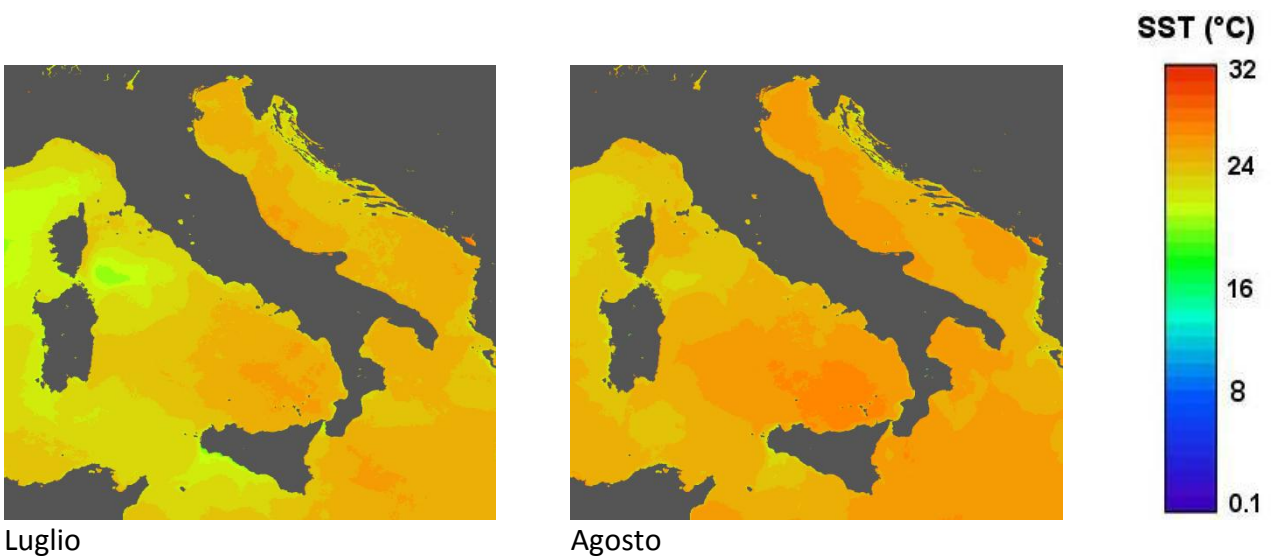


Fig.5 SST skin nelle tre sottoregioni per l'anno 2011.

## SST skin 2011



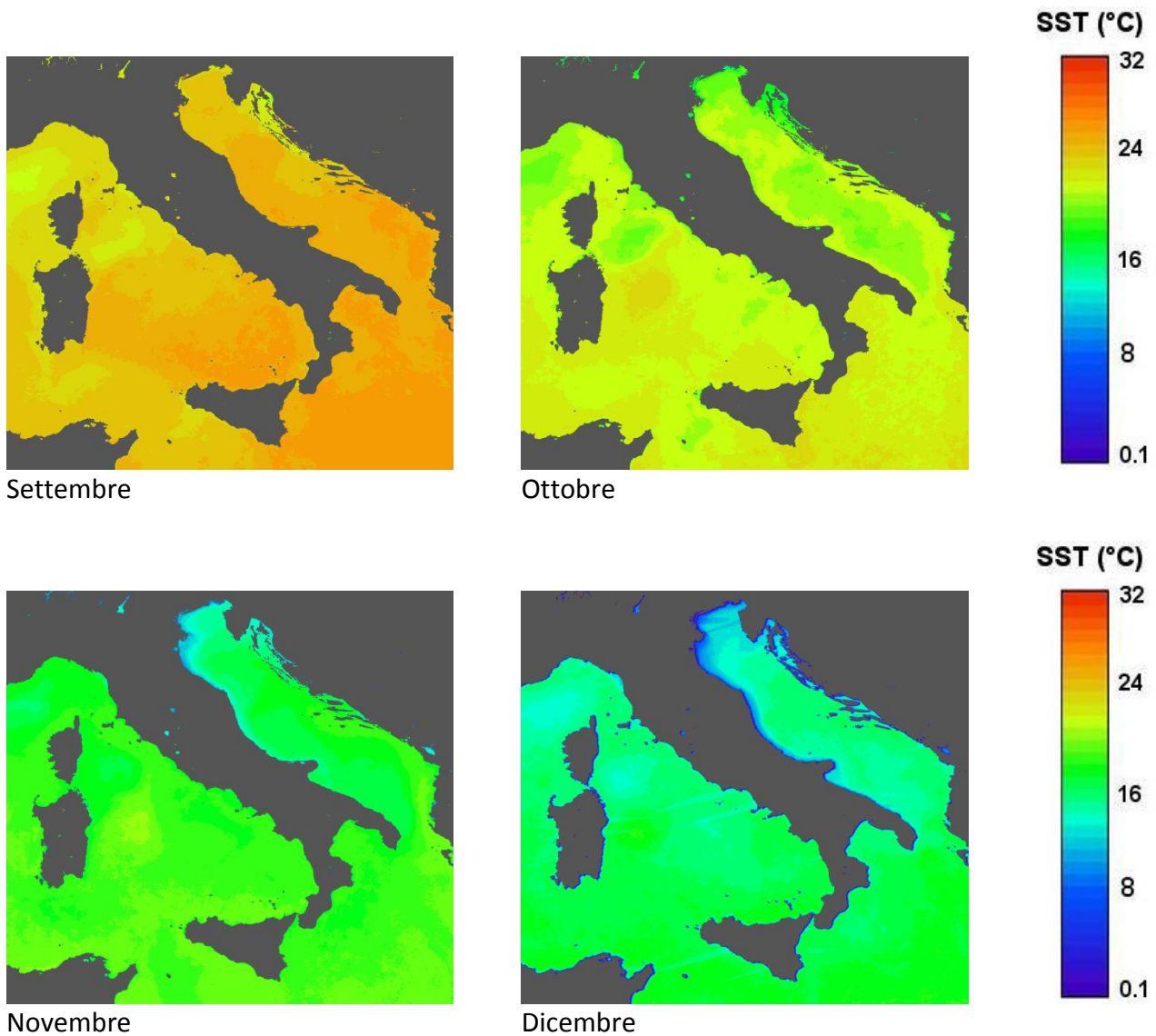


Fig.5 (cont.) SST skin nelle tre sottoregioni per l'anno 2011.

### Temperatura del fondo marino<sup>1</sup>

<sup>1</sup> **Bibliografia:**

Brasseur P., J.M. Beckers, J.M. Brankart, R. Schoenauen, 1996. Seasonal temperature and salinity fields in the Mediterranean Sea: Climatological analyses of a historical data set. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, 43 (2): 159–192

Flos J., 1985. The driving machine. In Margalef R.(ed.) *Western Mediterranean*, Pergamon Press, Oxford: 60-99.

Danovaro R., Dell'Anno A., Fabiano M., Pusceddu A., Tselepidis A., 2001. Deep-sea ecosystem response to climate changes: the eastern Mediterranean case study. *Trends in Ecology and Evolution*, 16 (9):505-510.

D'Ortenzio F., Iudicone D., de Boyer Montegut C., Testor P., Antoine D., Marullo S., Santoleri R. and Madec G., 2005. Seasonal variability of the mixed layer depth in the Mediterranean Sea as derived from in situ profiles. *Geophysical Research Letters*, 32 (L12605, doi:10.1029/2005GL022463).

Manzella G. M.R., Gasparini G.P., Astraldi M., 1988. Water exchange between the eastern and western Mediterranean through the strait of Sicily. *Deep Sea Research Part A. Oceanographic Research Papers*, 35 (6): 1021-1035.

Rixen M., Beckers J., Levitus S., Antonov J., Boyer T., Maillard C., Fichaut M., Balopoulos E., Iona S., Dooley H, Garcia M, Manca B, Giorgetti A, Manzella G, Mikhailov N., Pinardi N., Zavatarelli M., 2005. The Western Mediterranean Deep Water: A proxy for climate change - art. no. L12608. *Geophysical Research Letters*, 32(12): 47-50.

[Roether W.](#), [B. B. Manca](#), [B. Klein](#), [D. Bregant](#), [Georgopoulos D.](#), [Beitzel V.](#), [Kovačević V.](#), [Luchetta A.](#), 1996. Recent Changes in Eastern Mediterranean Deep Waters. *Science*, 271 (5247):333-335.

Sawyer Hopkins T., 1985. Physics of the Sea. In Margalef R.(ed.) *Western Mediterranean*, Pergamon Press, Oxford: 60-99.

*Soggetti detentori di dati individuati:*

1. Dati campagne oceanografiche effettuate dall'ENEA e dal CNR forniti dal Presidente della COI (Dr. Giuseppe Manzella);
2. Progetti Europei MyOcean e MyOcean2.

*Dati e metodi:*

1. Riguardo ai dati delle campagne oceanografiche ENEA-CNR (Fig. 1-3) questi sono dati collezionati con le sonde multiparametriche (sonda SEABIRD900 CTD) su tutta la colonna d'acqua dal Mar Ionio allo Stretto di Gibilterra e validati mediante il controllo di qualità basato sui protocolli originali MEDATLAS (MGMR Software versione 2010.01 utilizzando l'ETOPO1 (Batimetria) ed i valori di confine regionali. I dati di temperatura al fondo sono stati spazializzati su una griglia di 0.5° x 0.5° (55-60 km) e ad una risoluzione verticale di 10 m. Tali dati sono stati mediati su base stagionale. L'arco temporale dei dati acquisiti dalle campagne oceanografiche suddette va da gennaio 2006 a dicembre 2011.
2. Il Progetto My Ocean fornisce dati di temperatura lungo tutta la colonna d'acqua per il periodo 2001 - 2010 forniti dal modello numerico per il Mar Mediterraneo del progetto MyOcean su grigliato regolare con passo di griglia 1/16 di grado (sia per latitudine che per longitudine). Tali dati della temperatura consistono in medie mensili su 72 livelli di profondità.

I dati sono in via di elaborazione e verranno analizzati entro il 15 ottobre 2012. I dati collezionati dall'ENEA e dal CNR devono essere riportati su un sistema GIS e devono essere analizzati su base spaziale per le tre sottoregioni.

I dati relativi al Programma MyOcean sono stati acquisiti ma devono essere ancora analizzati.

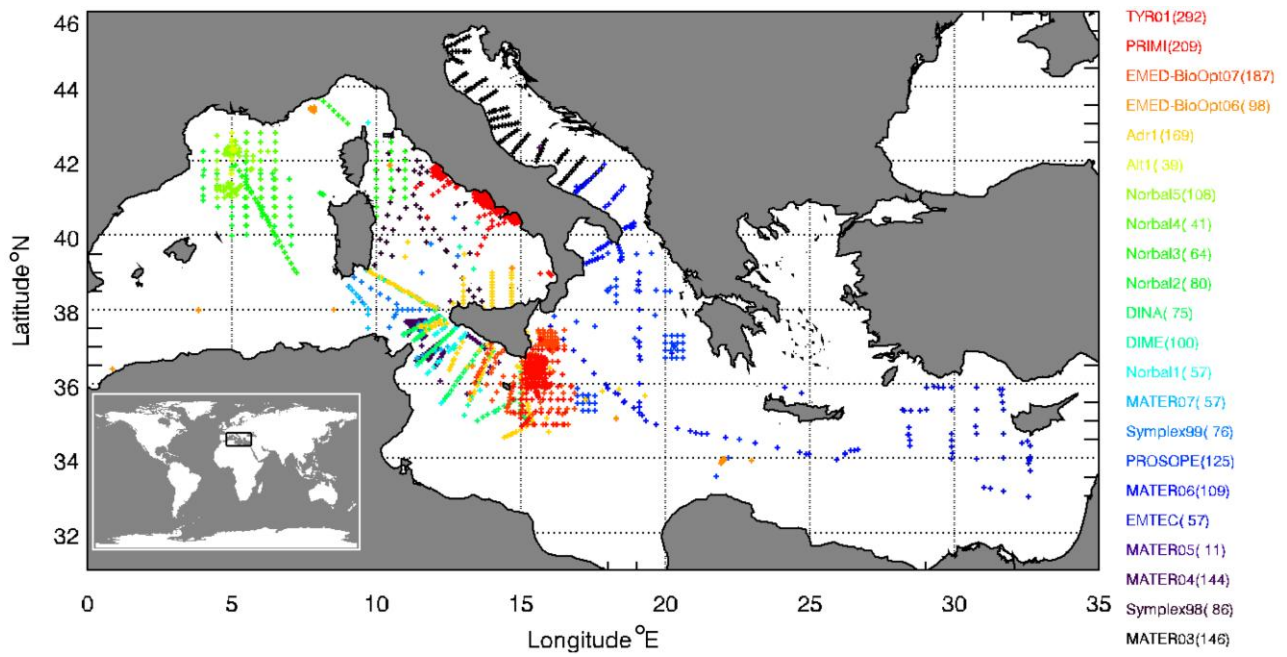


Fig. 1 Campagne oceanografiche condotte dal gennaio 2006 a dicembre 2011 dal CNR-ISAC.

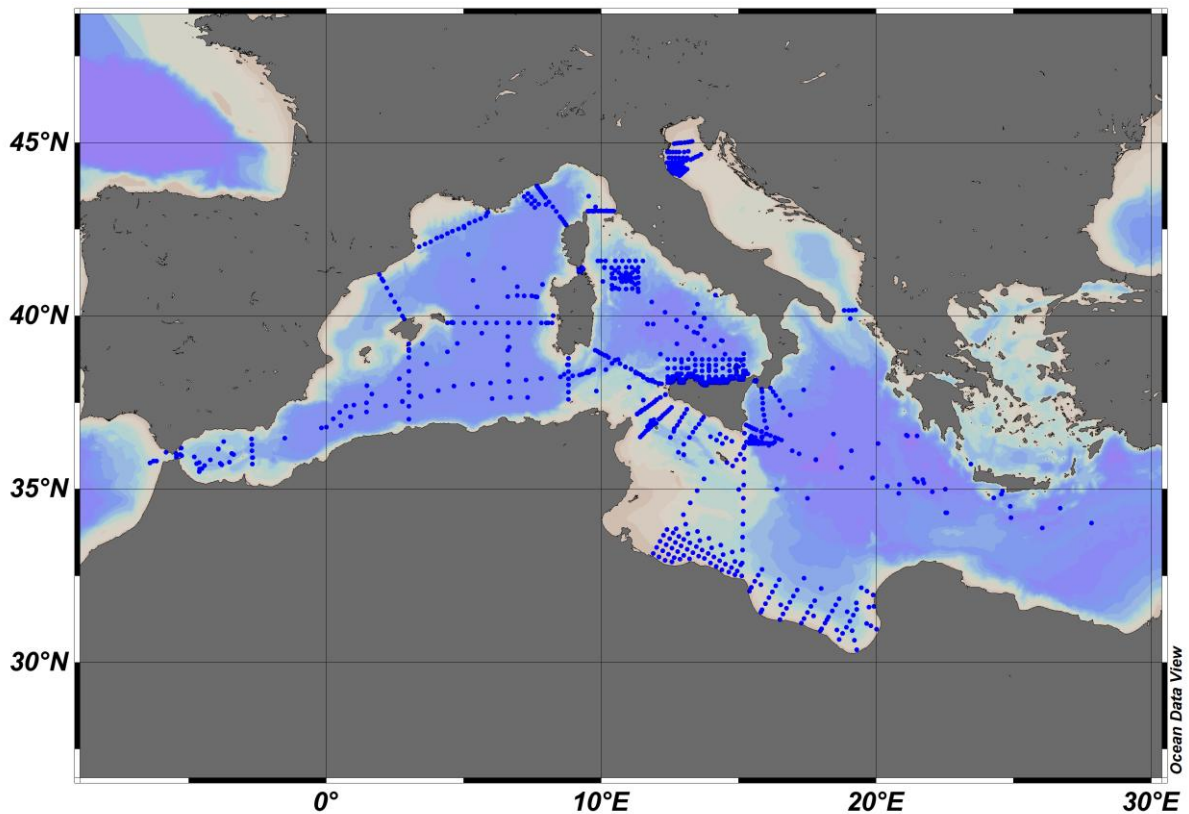


Fig. 2 Campagne oceanografiche condotte dal gennaio 2006 a dicembre 2011 dal CNR-ISMAR.

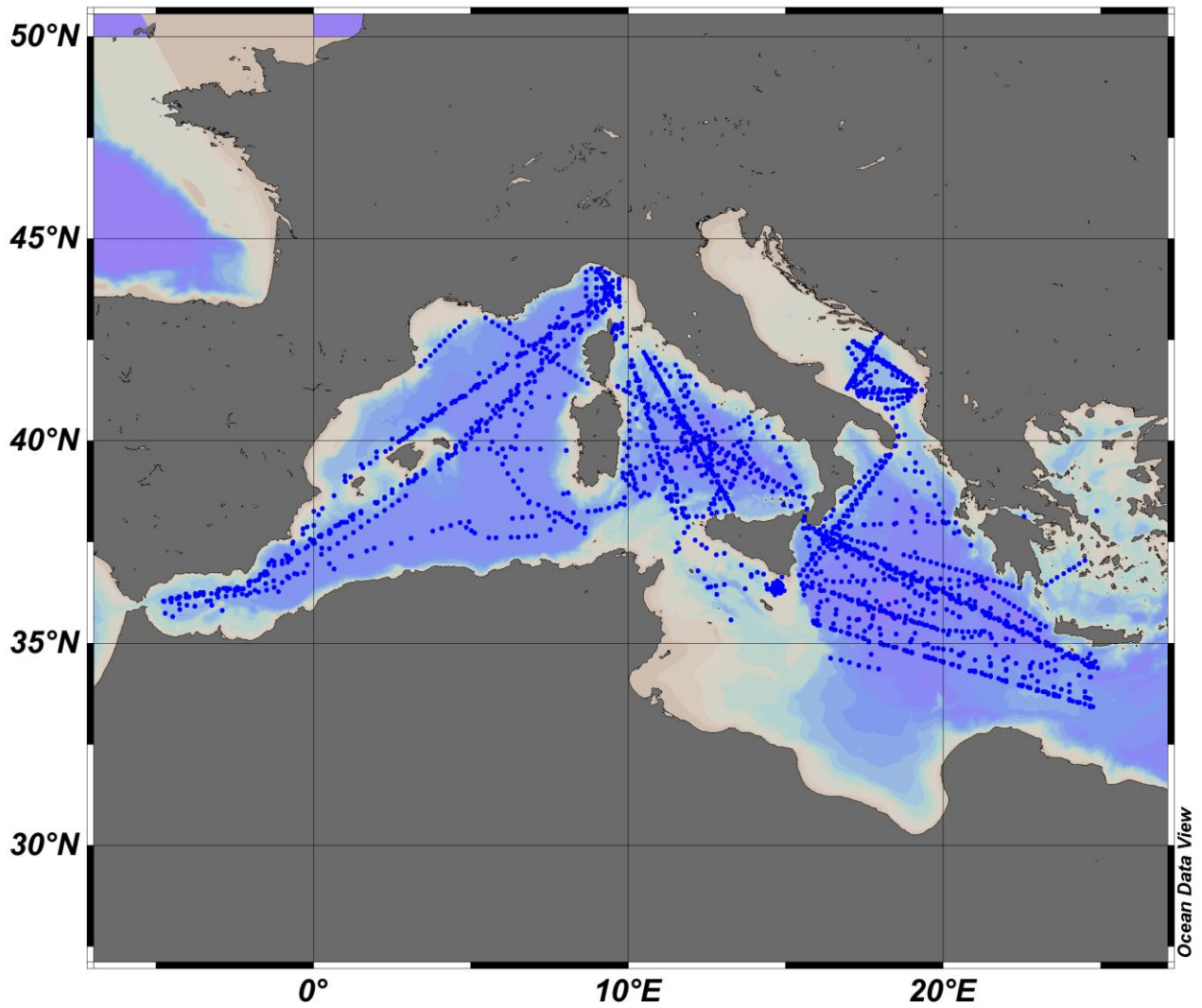


Fig. 3 Campagne oceanografiche condotte dal gennaio 2006 a dicembre 2011 dall'ENEA\_OO.

*Analisi:*

In fase di studio.

## Salinità<sup>2</sup>

### <sup>2</sup> Riferimenti bibliografici

- NEMO ocean engine, Note du Pole de modélisation, Institut Pierre-Simon Laplace (IPSL), France, No 27 ISSN No 1288-1619.
- Roulet G. and G. Madec, 2000: Salt conservation, free surface, and varying levels: a new formulation for ocean general circulation models. J.G.R., 105, C10, 23,927-23,942.

### *Soggetti detentori di dati individuati:*

Progetti Europei MyOcean e MyOcean2;

### *Dati e metodi:*

Sono stati utilizzati i dati di ri-analisi per il periodo 2001 - 2010 forniti dal modello numerico per il Mar Mediterraneo del progetto MyOcean su grigliato regolare con passo di griglia 1/16 di grado (sia per latitudine che per longitudine). Tali dati di salinità consistono in medie mensili su 72 livelli di profondità. Sono stati raggruppati per stagione e per anno al fine di determinare in ogni punto di griglia le medie stagionali e annuali sulla superficie libera. Verranno inoltre valutati i trend spaziali e temporali e stimati i trend futuri.

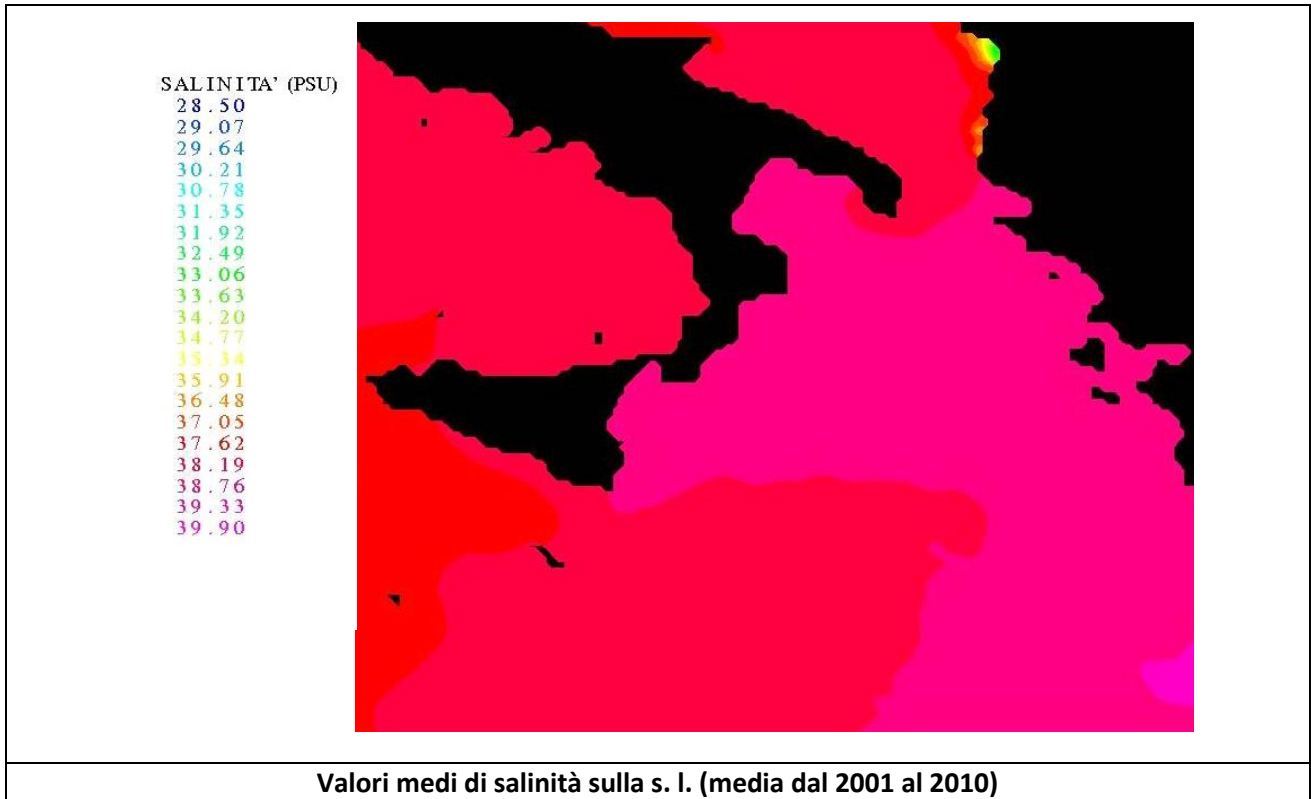
### *Analisi:*

A titolo dimostrativo i risultati vengono analizzati attraverso la realizzazione di mappe dei valori di salinità sulla superficie libera. In esse sono rappresentate sia le medie annuali che le medie stagionali. Attraverso di esse è possibile caratterizzare i valori di salinità della sottoregione e valutare la presenza di eventuali trend temporali e la distribuzione spaziale. A titolo di esempio, si riportano 5 mappe rappresentanti il valore medio di salinità nei 10 anni analizzati e i valori medi relativi alle singole stagioni.

La prima mappa, mostrata nella figura seguente, fornisce un'idea della rappresentazione che sarà ottenuta con l'inserimento dei risultati nel database GIS.

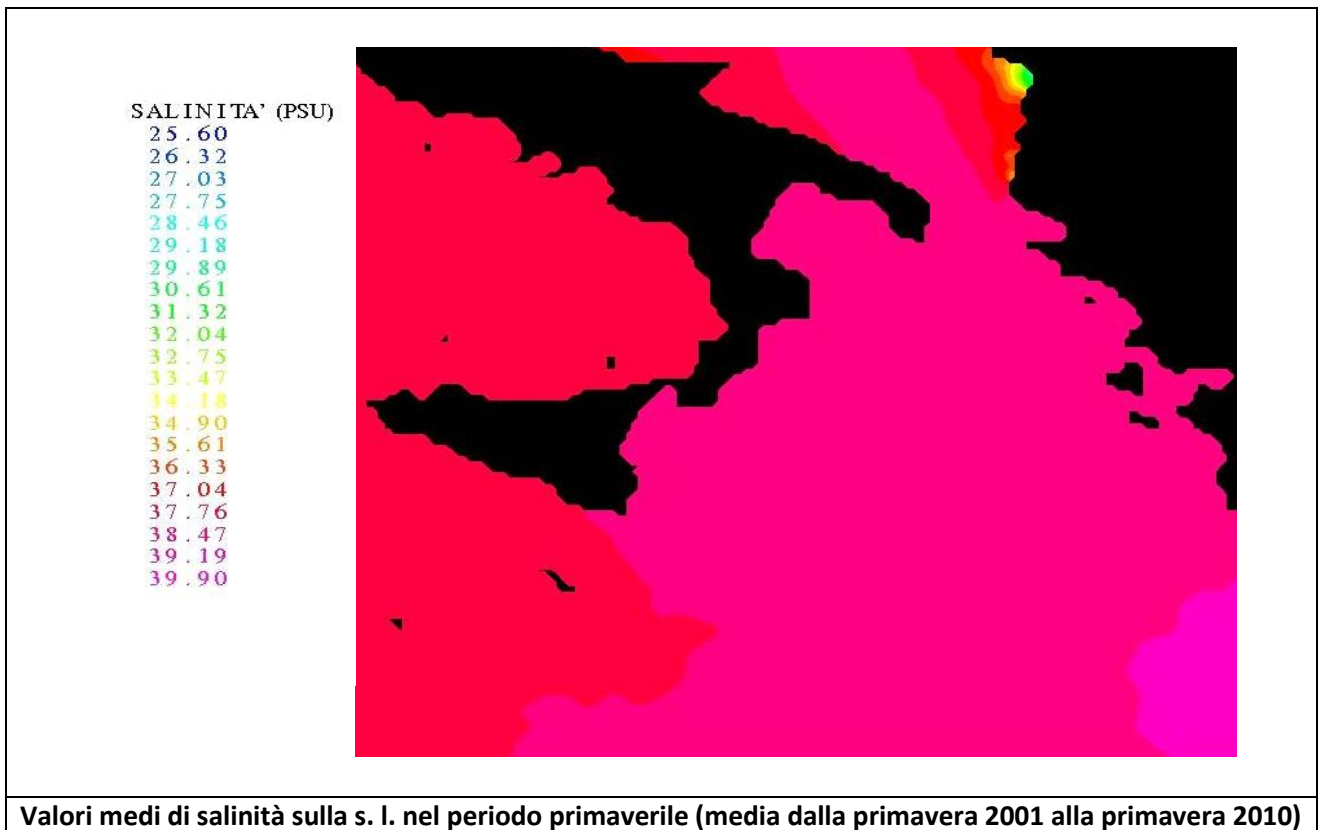
- 
- Tonani, M., N. Pinardi, S. Dobricic, I. Pujol, and C. Fratianni, 2008. A high-resolution free-surface model of the Mediterranean Sea. *Ocean Sci.*, 4, 1-14.
  - Dobricic, S., N. Pinardi, M. Adani, M. Tonani, C. Fratianni, A. Bonazzi, and V. Fernandez, 2007. Daily oceanographic analyses by Mediterranean Forecasting System at the basin scale. *Ocean Sci.*, 3, 149-157.
  - Dobricic, S. and N. Pinardi, 2008. An oceanographic three-dimensional variational data assimilation scheme. *Ocean Modelling*, 22, 3-4, 89-105.
  - Dobricic, S., 2005. New mean dynamic topography of the mediterranean calculated from assimilation system diagnostic. *GRL*, 32.
  - Pinardi, N., I. Allen, P. De Mey, G. Korres, A. Lascaratos, P.Y. Le Traon, C. Maillard, G. Manzella and C. Tziavos, 2003. The Mediterranean ocean Forecasting System: first phase of implementation (1998-2001). *Ann. Geophys.*, 21, 1, 3-20.
  - 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. Discuss.*, 6, 1093-1127.
  - Dombrowsky E., L. Bertino, G.B. Brassington, E.P. Chassignet, F. Davidson, H.E. Hurlburt, M. Kamachi, T. Lee, M.J. Martin, S. Meu and M. Tonani 2009: GODAE Systems in operation, *Oceanography*, Volume 22-3, 83,95.
  - 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, 2008. 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.

Per la validazione dei prodotti: <http://gnoo.bo.ingv.it/mfs/myocean/evaluation.html> ; <http://gnoo.bo.ingv.it/myocean/calval/> ;



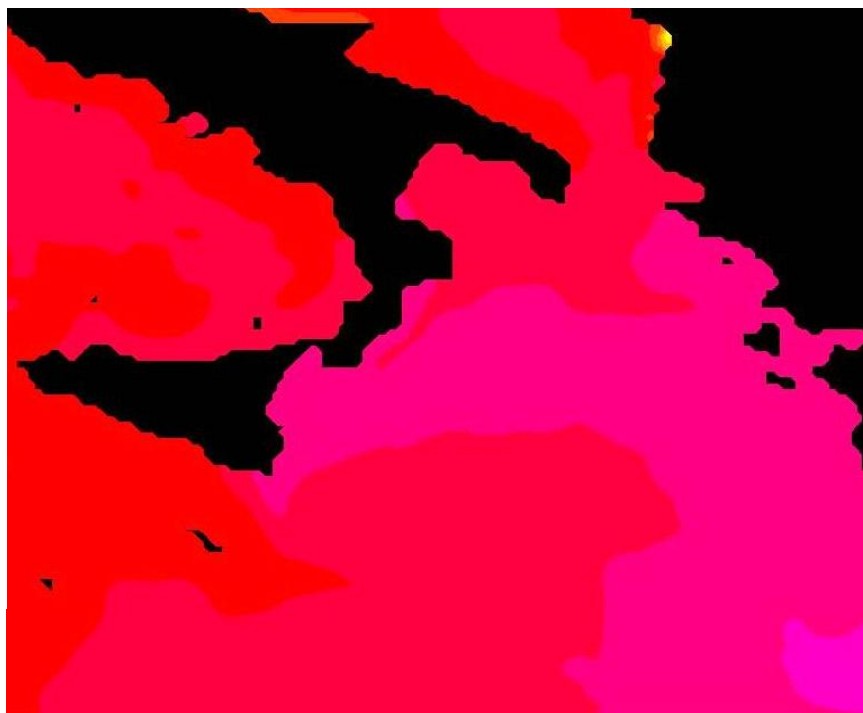
Tale immagine consente di individuare la distribuzione spaziale dei valori medi di salinità nei 10 anni analizzati.

Le 4 mappe riportate nelle figure seguenti consentono di valutare la variabilità stagionale nei 10 anni analizzati.



SALINITA' (PSU)

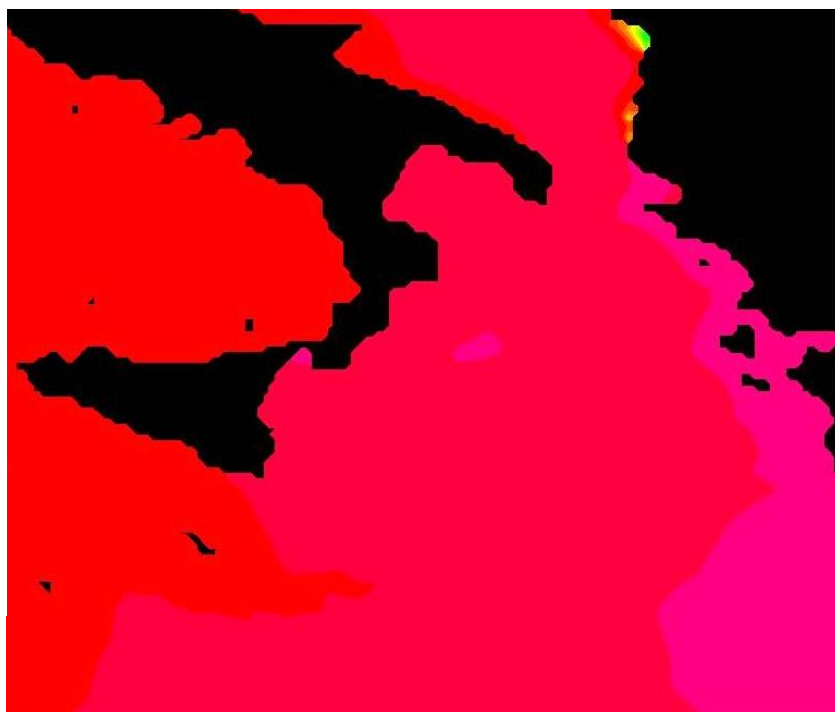
29.40  
29.93  
30.50  
30.99  
31.52  
32.05  
32.58  
33.11  
33.64  
34.17  
34.70  
35.23  
35.76  
36.29  
36.82  
37.35  
37.88  
38.41  
38.94  
39.47  
39.98



**Valori medi di salinità sulla s. l. nel periodo estivo (media dall'estate 2001 all'estate 2010)**

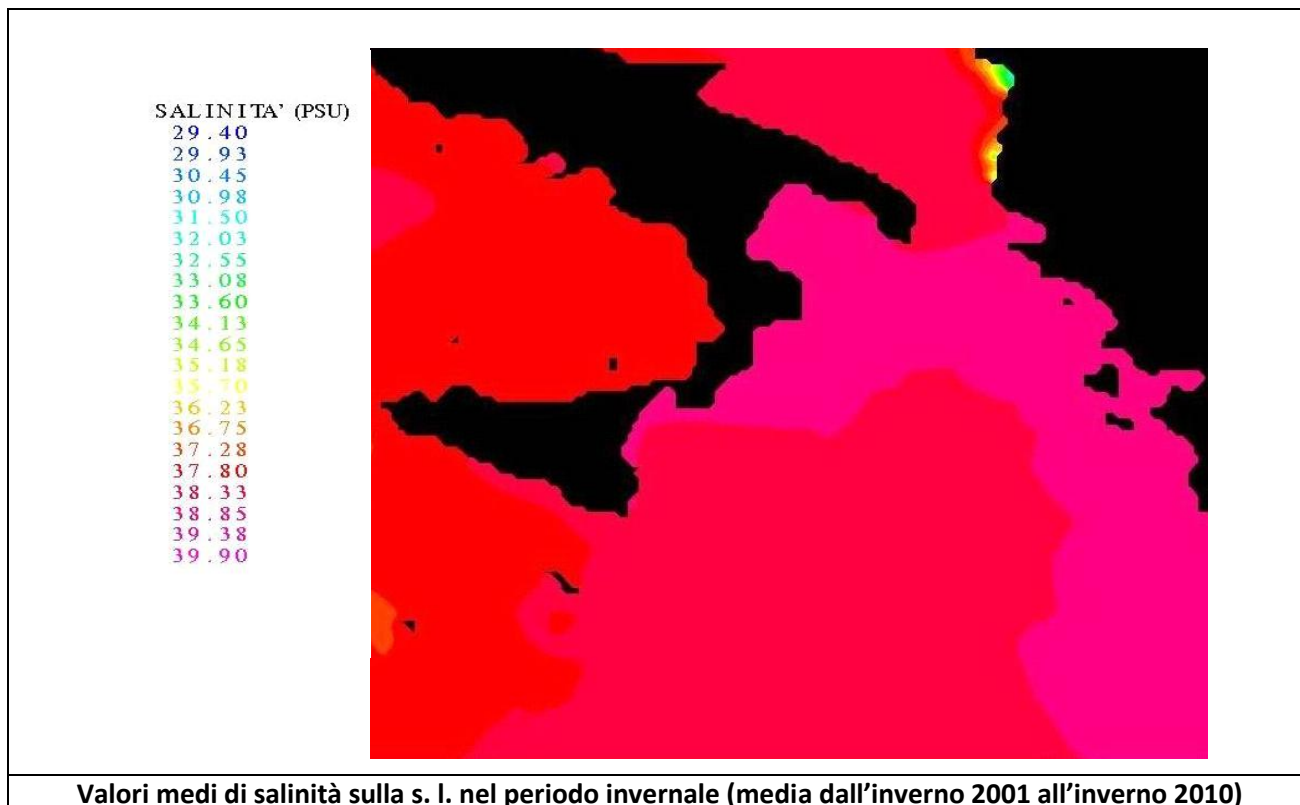
SALINITA' (PSU)

29.30  
29.84  
30.37  
30.91  
31.44  
31.98  
32.51  
33.05  
33.58  
34.12  
34.65  
35.19  
35.72  
36.26  
36.79  
37.33  
37.86  
38.40  
38.93  
39.47  
40.00



**Valori medi di salinità sulla s. l. nel periodo autunnale (media dall'autunno 2001 all'autunno 2010)**





### Velocità della corrente<sup>3</sup>

*Soggetti detentori di dati individuati:* Progetti Europei MyOcean e MyOcean2;

#### <sup>3</sup> Riferimenti bibliografici

- NEMO ocean engine, Note du Pole de modélisation, Institut Pierre-Simon Laplace (IPSL), France, No 27 ISSN No 1288-1619.
- Roulet G. and G. Madec, 2000: Salt conservation, free surface, and varying levels: a new formulation for ocean general circulation models. J.G.R., 105, C10, 23,927-23,942.
- Tonani, M., N. Pinardi, S. Dobricic, I. Pujol, and C. Fratianni, 2008. A high-resolution free-surface model of the Mediterranean Sea. Ocean Sci., 4, 1-14.
- Dobricic, S., N. Pinardi, M. Adani, M. Tonani, C. Fratianni, A. Bonazzi, and V. Fernandez, 2007. Daily oceanographic analyses by Mediterranean Forecasting System at the basin scale. Ocean Sci., 3, 149-157.
- Dobricic, S. and N. Pinardi, 2008. An oceanographic three-dimensional variational data assimilation scheme. Ocean Modelling, 22, 3-4, 89-105.
- Dobricic, S., 2005. New mean dynamic topography of the mediterranean calculated from assimilation system diagnostic. GRL, 32.
- Pinardi, N., I. Allen, P. De Mey, G. Korres, A. Lascaratos, P.Y. Le Traon, C. Maillard, G. Manzella and C. Tziavos, 2003. The Mediterranean ocean Forecasting System: first phase of implementation (1998-2001). Ann. Geophys., 21, 1, 3-20.
- 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. Discuss., 6, 1093-1127.
- Dombrowsky E., L. Bertino, G.B. Brassington, E.P. Chassignet, F. Davidson, H.E. Hurlburt, M. Kamachi, T. Lee, M.J. Martin, S. Meu and M. Tonani 2009: GODAE Systems in operation, Oceanography, Volume 22-3, 83,95.
- 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, 2008. 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.

Per la validazione dei prodotti: <http://gnoo.bo.ingv.it/myocean/calval/> ; <http://gnoo.bo.ingv.it/mfs/myocean/evaluation.html>

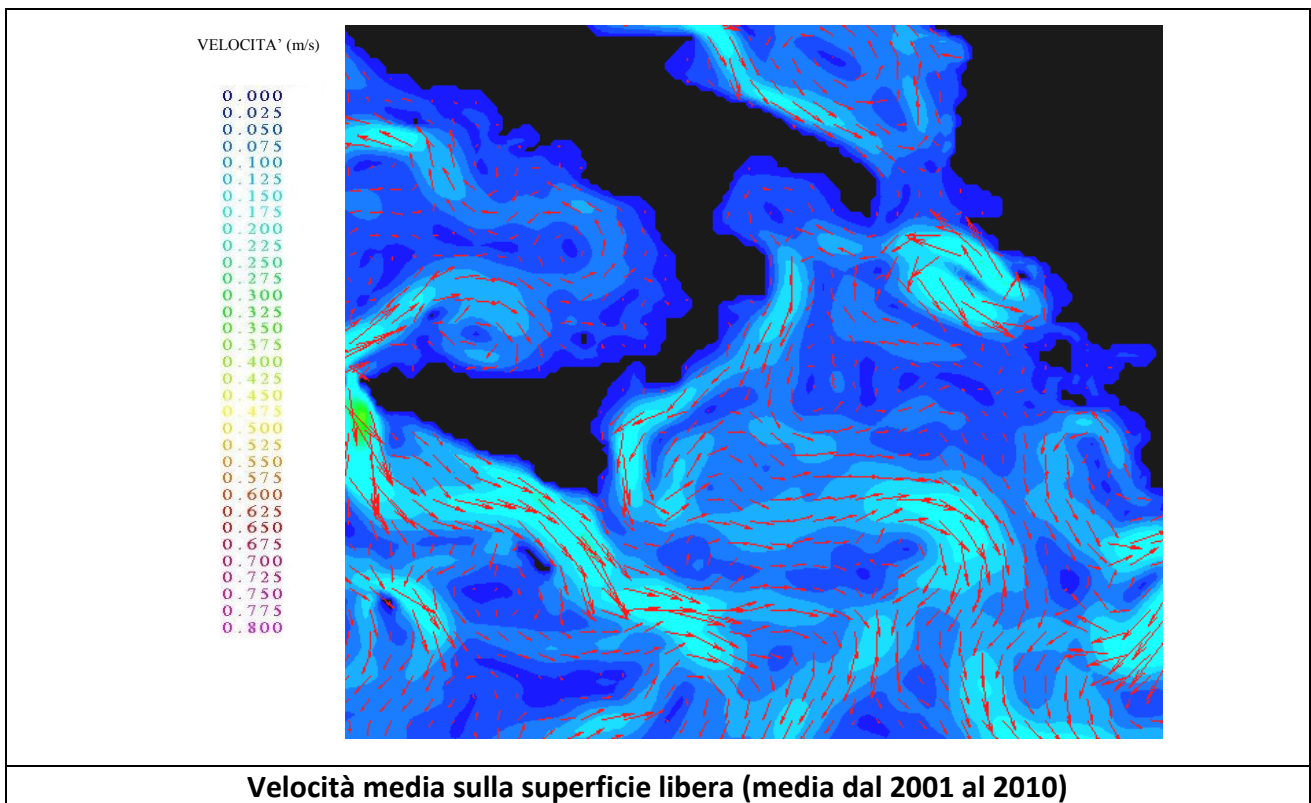
*Dati e metodi:*

Sono stati utilizzati i dati di ri-analisi per il periodo 2001 - 2010 forniti dal modello numerico per il Mar Mediterraneo del progetto MyOcean su grigliato regolare con passo di griglia 1/16 di grado (sia per latitudine che per longitudine). Tali dati della velocità della corrente consistono in medie mensili su 72 livelli di profondità. Sono stati raggruppati per stagione e per anno al fine di valutare in ogni punto di griglia le medie stagionali e annuali dell'intensità e della direzione della componente orizzontale della velocità in corrispondenza della superficie e del fondo. Verranno inoltre valutati i trend temporali e la distribuzione spaziale.

*Analisi:*

I risultati vengono analizzati attraverso la realizzazione di mappe dei valori di corrente sulla superficie e al fondo. Attraverso di esse è possibile caratterizzare il campo fluidodinamico della sottoregione e valutare la presenza di eventuali trend temporali e la distribuzione spaziale. A titolo di esempio, si riportano 5 mappe rappresentanti il campo fluidodinamico sulla superficie libera nei 10 anni analizzati e i valori medi relativi alle singole stagioni.

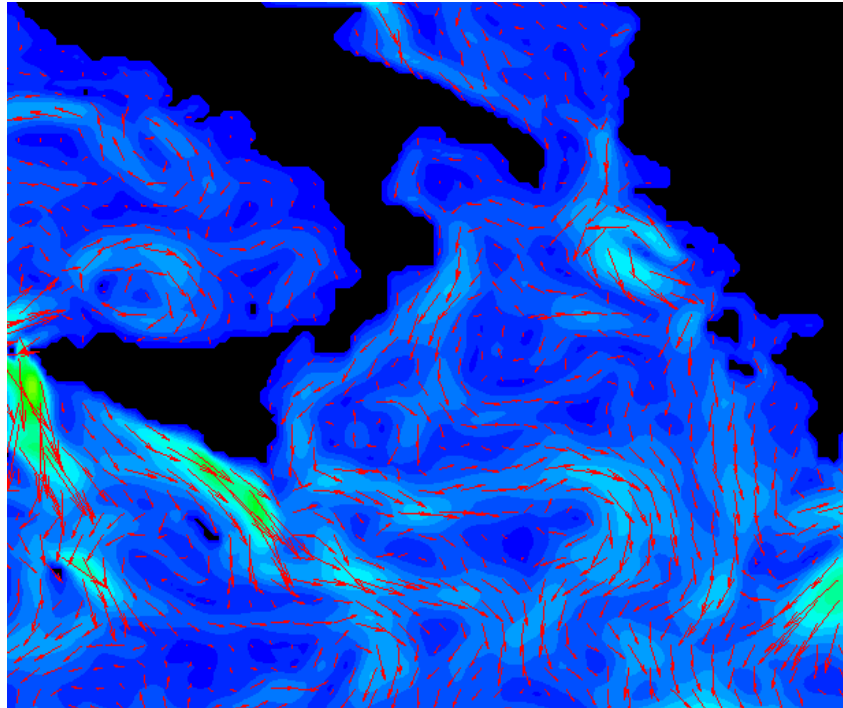
La prima mappa, mostrata nella figura seguente, consente di individuare le caratteristiche principali del campo fluidodinamico medio nei 10 anni analizzati.



Le 4 mappe riportate nelle figure seguenti consentono di valutare la variabilità stagionale nei 10 anni analizzati.

VELOCITA' (m/s)

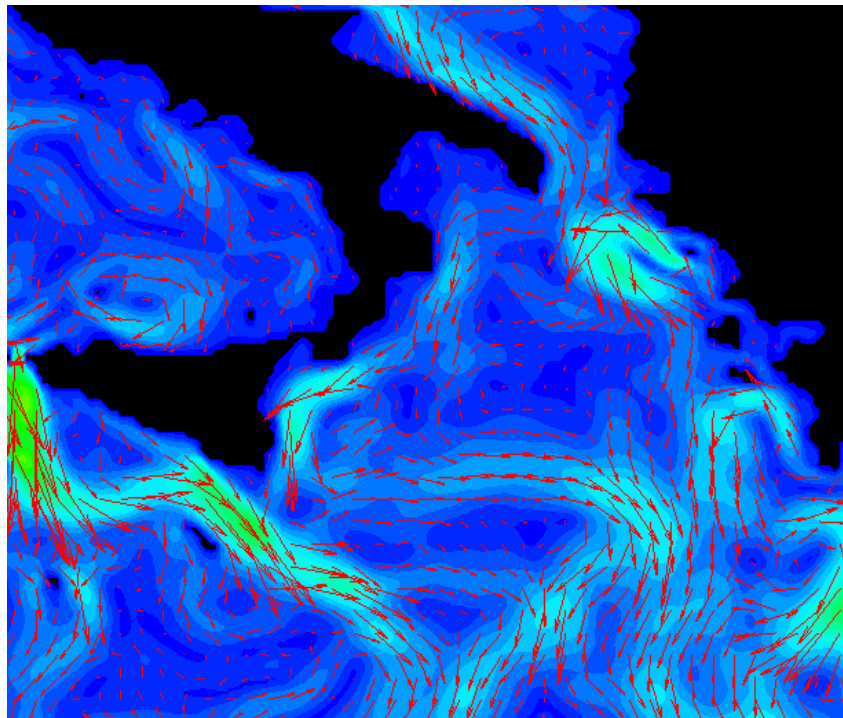
0.000  
0.025  
0.050  
0.075  
0.100  
0.125  
0.150  
0.175  
0.200  
0.225  
0.250  
0.275  
0.300  
0.325  
0.350  
0.375  
0.400  
0.425  
0.450  
0.475  
0.500  
0.525  
0.550  
0.575  
0.600  
0.625  
0.650  
0.675  
0.700  
0.725  
0.750  
0.775  
0.800



**Velocità media sulla s.l. nel periodo primaverile (media dalla primavera 2001 alla primavera 2010)**

VELOCITA' (m/s)

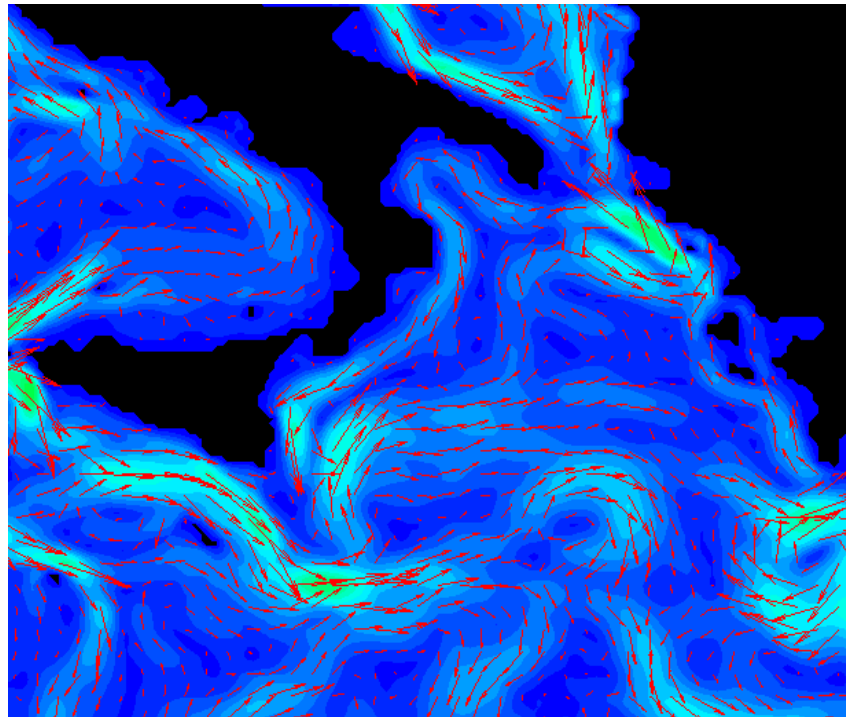
0.000  
0.025  
0.050  
0.075  
0.100  
0.125  
0.150  
0.175  
0.200  
0.225  
0.250  
0.275  
0.300  
0.325  
0.350  
0.375  
0.400  
0.425  
0.450  
0.475  
0.500  
0.525  
0.550  
0.575  
0.600  
0.625  
0.650  
0.675  
0.700  
0.725  
0.750  
0.775  
0.800



**Velocità media sulla s. l. nel periodo estivo (media dall'estate 2001 all'estate 2010)**

VELOCITA' (m/s)

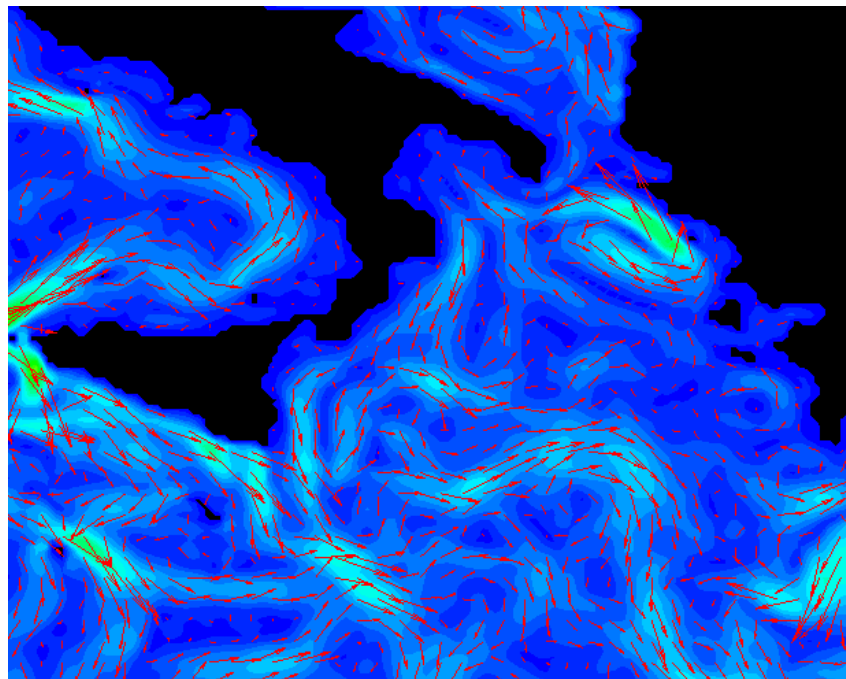
0.000  
0.025  
0.050  
0.075  
0.100  
0.125  
0.150  
0.175  
0.200  
0.225  
0.250  
0.275  
0.300  
0.325  
0.350  
0.375  
0.400  
0.425  
0.450  
0.475  
0.500  
0.525  
0.550  
0.575  
0.600  
0.625  
0.650  
0.675  
0.700  
0.725  
0.750  
0.775  
0.800



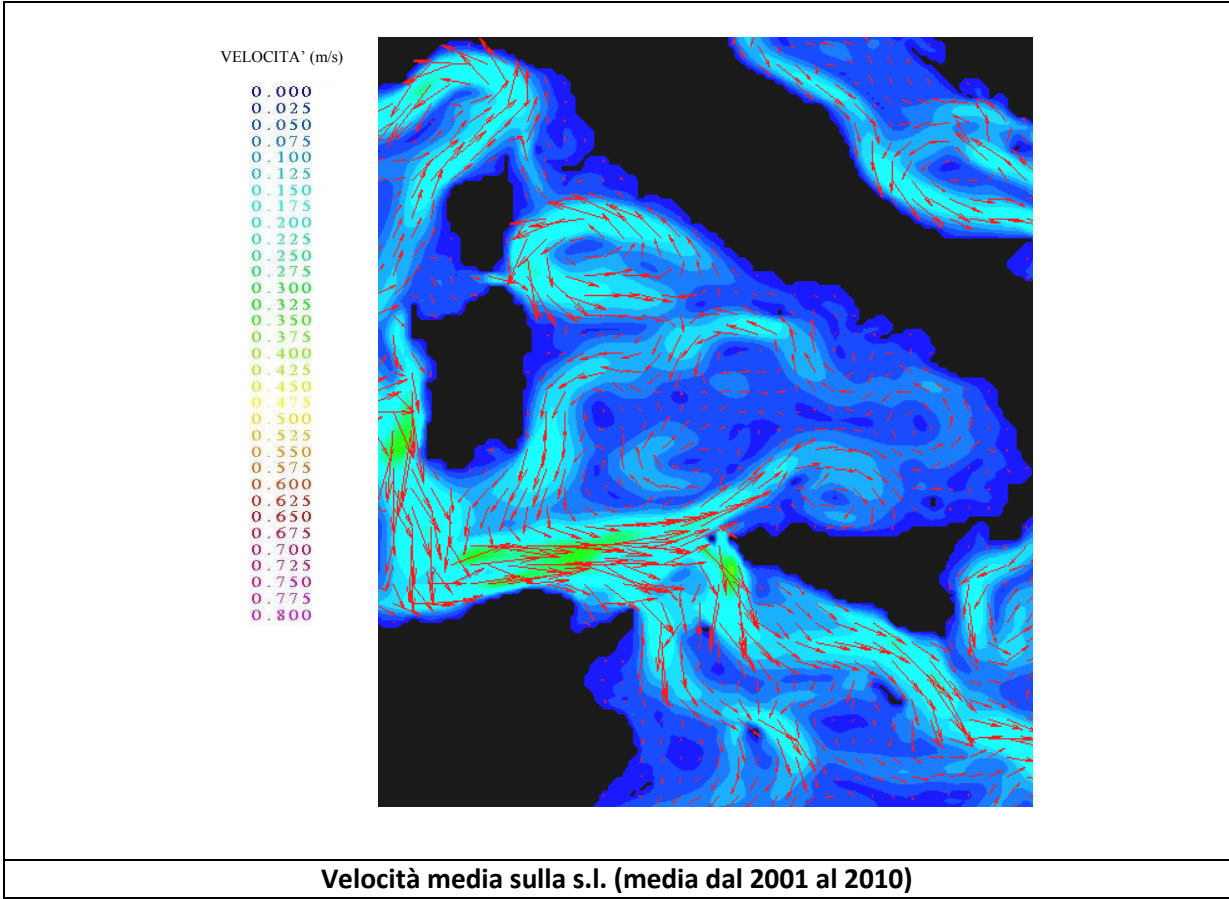
**Velocità media sulla s. l. nel periodo autunnale (media dall'autunno 2001 all'autunno 2010)**

VELOCITA' (m/s)

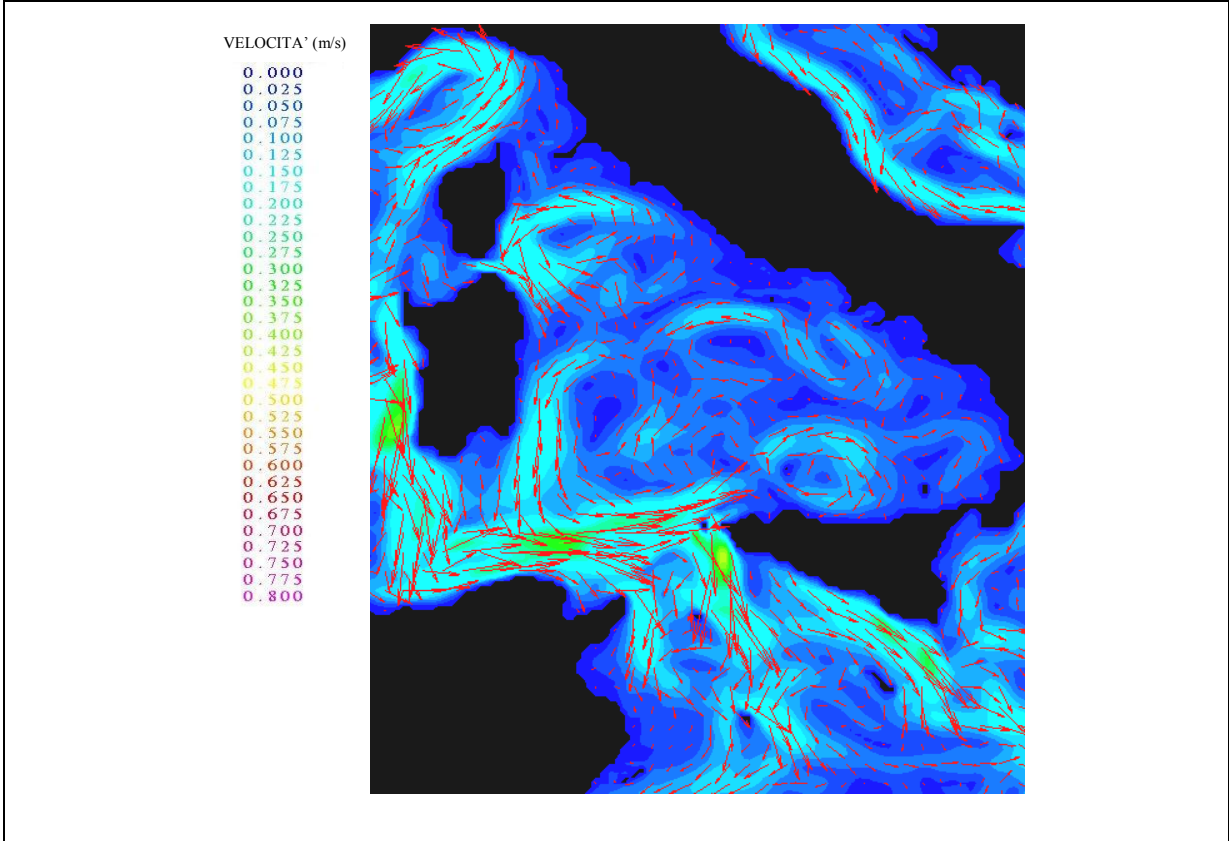
0.000  
0.025  
0.050  
0.075  
0.100  
0.125  
0.150  
0.175  
0.200  
0.225  
0.250  
0.275  
0.300  
0.325  
0.350  
0.375  
0.400  
0.425  
0.450  
0.475  
0.500  
0.525  
0.550  
0.575  
0.600  
0.625  
0.650  
0.675  
0.700  
0.725  
0.750  
0.775  
0.800



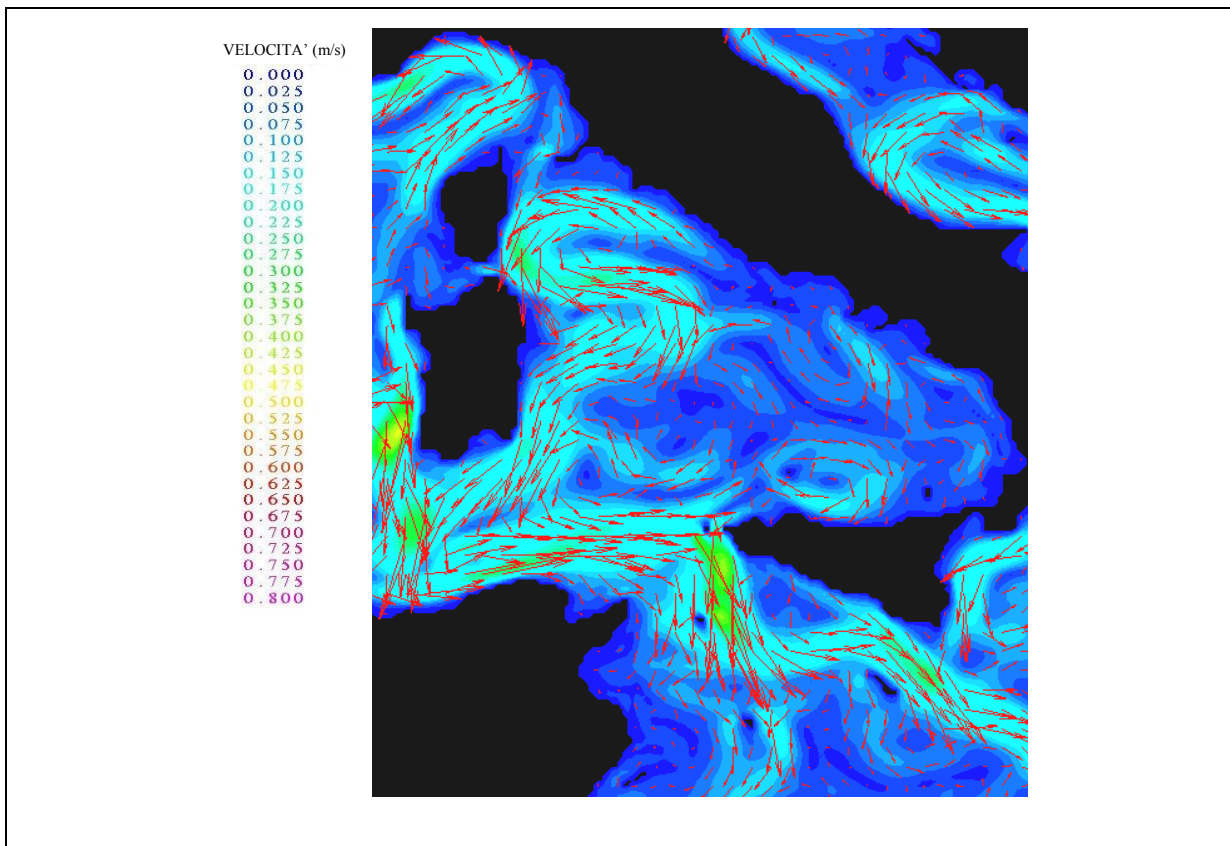
**Velocità media sulla s. l. nel periodo invernale (media dall'inverno 2001 all'inverno 2010)**



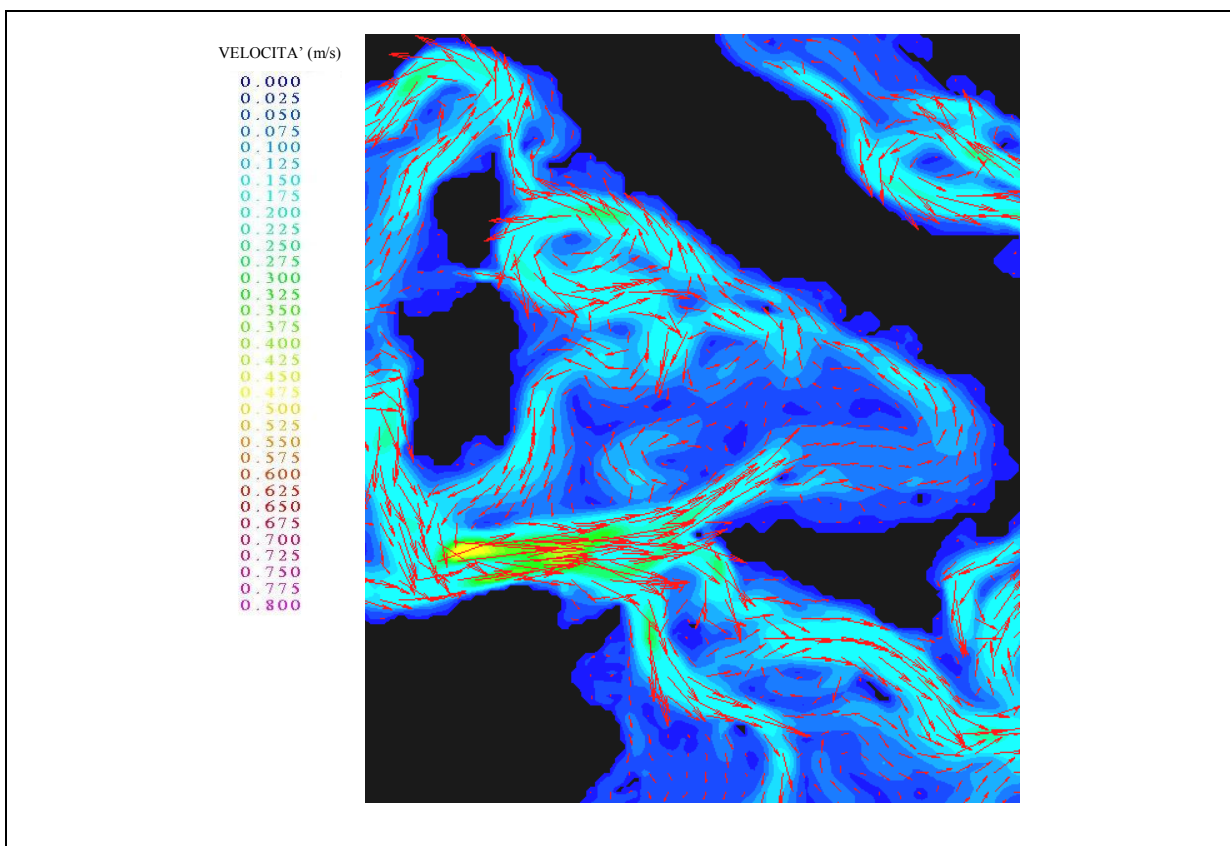
Le 4 mappe riportate nelle figure seguenti consentono di valutare la variabilità stagionale nei 10 anni analizzati.



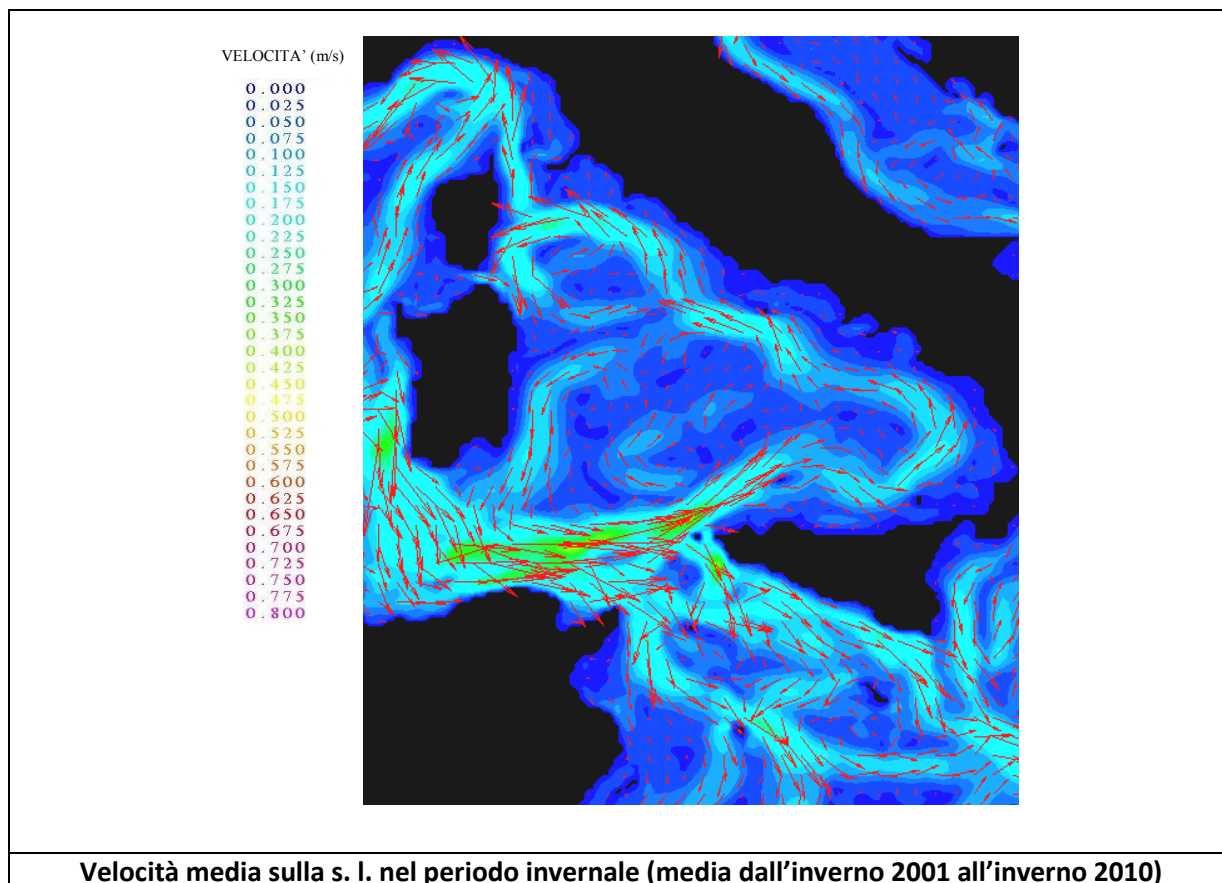
**Velocità media sulla s. l. nel periodo primaverile (media dalla primavera 2001 alla primavera 2010)**



**Velocità media sulla s. l. nel periodo estivo (media dall'estate 2001 all'estate 2010)**



**Velocità media sulla s. l. nel periodo autunnale (media dall'autunno 2001 all'autunno 2010)**



## Caratteristiche di mescolamento<sup>4</sup>

### <sup>4</sup> Riferimenti bibliografici

- NEMO ocean engine, Note du Pole de modélisation, Institut Pierre-Simon Laplace (IPSL), France, No 27 ISSN No 1288-1619.
- Roullet G. and G. Madec, 2000: Salt conservation, free surface, and varying levels: a new formulation for ocean general circulation models. *J.G.R.*, 105, C10, 23,927-23,942.
- Tonani, M., N. Pinardi, S. Dobricic, I. Pujol, and C. Fratianni, 2008. A high-resolution free-surface model of the Mediterranean Sea. *Ocean Sci.*, 4, 1-14.
- Dobricic, S., N. Pinardi, M. Adani, M. Tonani, C. Fratianni, A. Bonazzi, and V. Fernandez, 2007. Daily oceanographic analyses by Mediterranean Forecasting System at the basin scale. *Ocean Sci.*, 3, 149-157.
- Dobricic, S. and N. Pinardi, 2008. An oceanographic three-dimensional variational data assimilation scheme. *Ocean Modelling*, 22, 3-4, 89-105.
- Dobricic, S., 2005. New mean dynamic topography of the mediterranean calculated from assimilation system diagnostic. *GRL*, 32.
- Pinardi, N., I. Allen, P. De Mey, G. Korres, A. Lascaratos, P.Y. Le Traon, C. Maillard, G. Manzella and C. Tziavos, 2003. The Mediterranean ocean Forecasting System: first phase of implementation (1998-2001). *Ann. Geophys.*, 21, 1, 3-20.
- 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. Discuss.*, 6, 1093-1127.
- Dombrowsky E., L. Bertino, G.B. Brassington, E.P. Chassignet, F. Davidson, H.E. Hurlburt, M. Kamachi, T. Lee, M.J. Martin, S. Meu and M. Tonani 2009: GODAE Systems in operation, *Oceanography*, Volume 22-3, 83,95.
- Tonani M., N.Pinardi, M.Adani, A. Bonazzi, G.Coppini, M.De Dominicis, S.Dobricic, M.Drudi, N.Fabroni, C.Fratianni, A.Grandi, S.Lyubartsev, P.Oddo, D.Pettenuzzo, J.Pistoia and I.Pujol, 2008. 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.

Per la validazione dei prodotti: <http://gnoo.bo.ingv.it/myocean/calval/>; <http://gnoo.bo.ingv.it/mfs/myocean/evaluation.html>

*Soggetti detentori di dati individuati:*

Progetti Europei MyOcean e MyOcean2;

*Dati e metodi:*

Sono stati utilizzati i dati di ri-analisi per il periodo 2001 - 2010 forniti dal modello numerico per il Mar Mediterraneo del progetto MyOcean su grigliato regolare con passo di griglia 1/16 di grado (sia per latitudine che per longitudine). Verrà effettuata l'analisi dei profili di temperatura e salinità per identificare il grado di stratificazione del fluido. Verranno inoltre valutati i trend spaziali e temporali.

*Analisi:*

In fase di studio

## **Upwelling<sup>5</sup>**

*Soggetti detentori di dati individuati:*

**ISAC CNR**

Dati satellitari temperatura superficiale del mare per l'area Mediterranea

Dati satellitari di colore oceanico

Dati oceanografici in situ - Mar Mediterraneo

Dati satellitari per il Mar Adriatico

**ISPRA Servizio Mareografico**

Dati di velocità e direzione del vento

*Dati e metodi:*

Il lavoro in una prima parte si propone di determinare le condizioni favorevoli allo sviluppo di upwelling lungo le coste italiane, analizzando in particolare i movimenti superficiali delle masse di acqua causati

---

### **<sup>5</sup> Bibliografia:**

- Bohm E., Banzon V., D'Acunzo E., D'Ortensio F., Santoleri R., (2003) Adriatic Sea surface temperature and ocean colour variability during the MFSP. Annales Geophysicae vol. 21, pp.137-149.
- Massetti L., 2004, Identificazione e Analisi degli Upwelling in Area Mediterranea, Tesi di Master in Meteorologia applicata, Facoltà di agraria, Università degli studi di Firenze.
- Fong, D. A. and Geyer, W. R.: Response of a river plume during an upwelling favorable wind event, J. Geophys. Res., 106, 1067–1084, 2001. 4.
- Marullo S., R. Santoleri and F. Bignami, "The surface characteristics of the Tyrrhenian sea: historical satellite data analysis", in: "The seasonal and interannual variability of the Western Mediterranean Sea", P. E. La Violette editor, American Geophysical Union, Coastal and Estuarine Studies, vol. 46, 135-154, 1994.
- SeaVassiliki H. Kourafalou, Process studies on the Po River plume, North Adriatic, National Center for Marine Research, Institute of Oceanography, Athens, Greece.
- Elena Mauria, b, Pierre-Marie Poulain, Three-Dimensional Ocean Circulation: Lagrangian measurements and diagnostic analyses Northern Adriatic Sea surface circulation and temperature/pigment fields in September and October 1997, Journal of Marine Systems, Volume 29, Issues 1–4, May 2001, Pages 51–67.
- Claude Millot, Circulation in the Western Mediterranean Sea, Journal of Marine Systems, Volume 20, Issues 1–4, April 1999, Pages 423–442.
- K Béranger, L Mortier, G.-P Gasparini, L Gervasio, M Astraldi, M Crépon, The dynamics of the Sicily Strait: a comprehensive study from observations and models, Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography Volume 51, Issues 4–5, February–March 2004, Page s 411–440.
- Marcello G. Magaldi, Tamay M. Özgökmen, Annalisa Griffa and Michel Rixen, On the response of a turbulent coastal buoyant current to wind events: the case of the Western Adriatic Current, Ocean Dynamics, Volume 60, Number 1 (2010), 93-122.
- R. Inghilesi, L. Ottolenghi, A. Orasi, C. Pizzi, F. Bignami, and R. Santoleri, Fate of river Tiber discharge investigated through numerical simulation and satellite monitoring, Ocean Sci., 8, 773-786, 2012



dall'azione del vento. A tale scopo sono stati analizzati i dati di velocità e direzione del vento provenienti dalle stazioni della Rete Mareografica Nazionale in modo da poter stabilire le aree più soggette al verificarsi del fenomeno. Per costruire, in una seconda fase, un indice sintetico capace di individuare le zone più interessate al fenomeno di upwelling invece saranno utilizzati dati telerilevati, di SST e di CHL -a (SeaWiFS e MODIS). I dati in entrambi i casi fanno riferimento agli anni dal 2009 al 2011.

#### Analisi:

Il fenomeno dell'upwelling costiero è un fenomeno di corrente fortemente influenzato oltre che dalle correnti marine, anche dall'intensità e dalla direzione del vento lungo la costa. Nella fattispecie, il vento che spirava in direzione parallela alla costa può avere l'effetto, sotto alcune condizioni, di generare una corrente che viene deviata per effetto della forza di Coriolis, in direzione ortogonale alla costa e verso il largo. L'upwelling è proprio il fenomeno di corrente verticale che sposta acque più profonde che vanno a rimpiazzare l'acqua superficiale che il vento trascina verso il largo (Fong et al., 2001).

A causa della forte influenza che il vento ha nella generazione del fenomeno di upwelling, l'analisi preliminare parte dalla caratterizzazione del clima ventoso lungo le coste italiane, attraverso l'impiego dei dati di intensità e direzione del vento forniti dalle stazioni mareografiche della Rete Mareografica Nazionale.

Questa analisi consta di più fasi.

In una prima fase è stata studiata la direzione del vento nei diversi tratti di costa in cui sono presenti stazioni di misura, individuando la sezione angolare parallela al litorale in ciascun punto di osservazione. A tale scopo è stata considerata un'area di estensione di circa 40 Km prospiciente il punto di misura, lungo la quale tracciare una ipotetica linea di pendenza della costa. Una volta determinata tale pendenza, sono stati individuati per ciascun punto di osservazione i settori di direzioni ad essa paralleli.

In una seconda fase sono state selezionate le direzioni del vento appartenenti a ciascun settore direzionale scelto nella precedente fase. Ai fini dell'individuazione delle direzioni del vento suddette è stato scelto di considerare un settore di 30° sulla base dell'analisi delle distribuzioni fornite dalle rose dei venti e del posizionamento degli strumenti di misura rispetto alla linea di costa.

Tutti i dati con campionamento orario si riferiscono al periodo 2009 – 2011, e sono stati graficati attraverso le rose dei venti dove le classi angolari sono di 15° e le classi di intensità di 1.5 m/s.

Le stazioni coinvolte nello studio, i settori direzionali scelti e il numero di dati di vento appartenenti alle classi angolari selezionate, sono riportati in Tab1:

Stazioni RMN	Settore direzionale scelto	Dati di intensità del vento (orari) > di 3.0 m/s provenienti dal settore di 30°	Dati totali di vento	%
Ancona	120° - 150°	0		0
Bari	90° - 120°	1388	25588	5.42
Cagliari	NA			
Carloforte	NA			
Catania	165° - 195°	198	23837	0.83
Civitavecchia	315° - 345°	260	24871	1.05
Crotone	165° - 195°	1704	24760	6.88
Genova	270° - 300°	24	25180	0.095
Imperia	225° - 255°	982	22066	4.45
Lampedusa	NA			
Livorno	330° - 360°	144	24897	0.58

Messina	NA			
Napoli	270° - 300°	116	25220	0.46
Ortona	120° - 150°	173	24029	0.72
Otranto	165° - 195°	740	25290	2.93
Palermo	135° - 165°	298	25280	1.18
Palinuro	NA			
Porto Empedocle	285° - 315°	1889	24371	7.75
Porto Torres	NA			
Ravenna	165° - 195°	414	25019	1.65
Reggio Calabria	NA			
Salerno	300° - 330°	489	24843	1.97
Taranto	285° - 315°	973	25608	3.80
Trieste	120° - 150°	917	25181	3.64
Venezia	180° - 210°	616	25235	2.44
Vieste	120° - 150°	2297	24662	9.31

Tab1: Settori direzionali paralleli alla costa scelti per ciascun punto di misura

In questa prima fase dell'attività di ricerca, è stato possibile definire le condizioni di vento necessarie affinché si verifichi il fenomeno dell'upwelling, attraverso l'individuazione delle classi di direzione del vento favorevoli allo sviluppo del fenomeno; per ciascuna stazione di misura sono stati riportati sia le rose dei venti che rappresentano la percentuale di dati di vento che provengono dal settore di 30° scelto, classificati rispetto alle intensità, sia le frequenze totali di dati provenienti dal settore angolare individuato (Tab.1).

In una seconda fase, non disponendo di dati osservati o da modello, che possano fornire informazioni circa le condizioni di vento che intervengono nello sviluppo del fenomeno di upwelling, sia in termini di intensità del vento, sia in termini di persistenza del fenomeno ventoso, e non disponendo neppure di una metodologia (da letteratura) per la selezione dei fenomeni ventosi favorevoli alla generazione dell'upwelling, in prima approssimazione si è deciso di procedere come descritto qui di seguito.

Nella seconda fase della ricerca, questo primo livello di approssimazione sarà sottoposto a verifica e a revisione, sia in termini di metodologia che di valutazione statistica, qualora si disporrà di dati osservati o da modello che possano consentire di affrontare il problema inverso della ricostruzione delle condizioni ventose favorevoli all'upwelling.

Una volta individuati i settori direzionali, come descritto in precedenza e quindi favorevoli al verificarsi del fenomeno di upwelling, per ciascun punto di misura, è stato estrapolato dalle serie storiche, un elenco di eventi di fenomeni ventosi che potrebbero intervenire nel verificarsi di upwelling.

Ciascuno di questi eventi è stato scelto come un blocco di dati con valori di intensità di vento sopra una soglia fissata e separato da un altro evento da un certo numero di dati costantemente sotto la soglia. Per scegliere il periodo di separazione necessario a distinguere due eventi è stata studiata la funzione di autocorrelazione dei dati di intensità del vento che fornisce un intervallo di tempo corrispondente alla durata minima di persistenza di dipendenza tra i dati. Il valore ricavato in questo studio per cui considerare distinti due eventi è pari a 24 ore. Questo periodo di separazione dei dati prevede che questi siano sempre sotto una fissata soglia che è stata scelta pari a 3,0 m/s.

Il numero degli eventi di upwelling così selezionati per una località  $i$  ( $U_i$ ) è stato diviso per il numero totale degli eventi di upwelling provenienti da tutte le  $k$  località coinvolte in questo studio.

Questo rapporto, indicato come  $f_1$ ,

$$f_1 = \frac{U_i}{\sum_{i=1}^k U_i} \times 100 \quad i = 1, \dots, k$$

permette di definire le aree maggiormente esposte al fenomeno dell'upwelling.

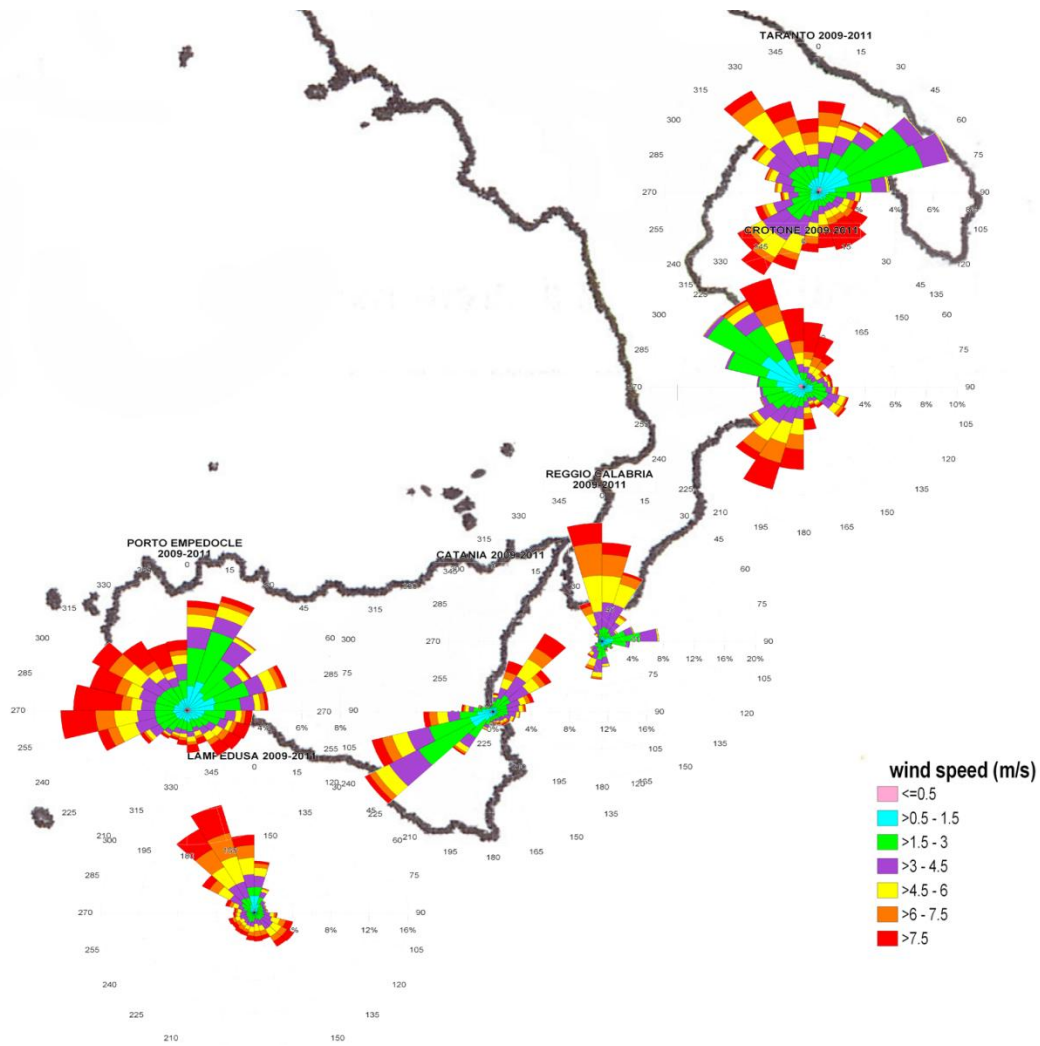


Fig.1: Mediterraneo Centrale

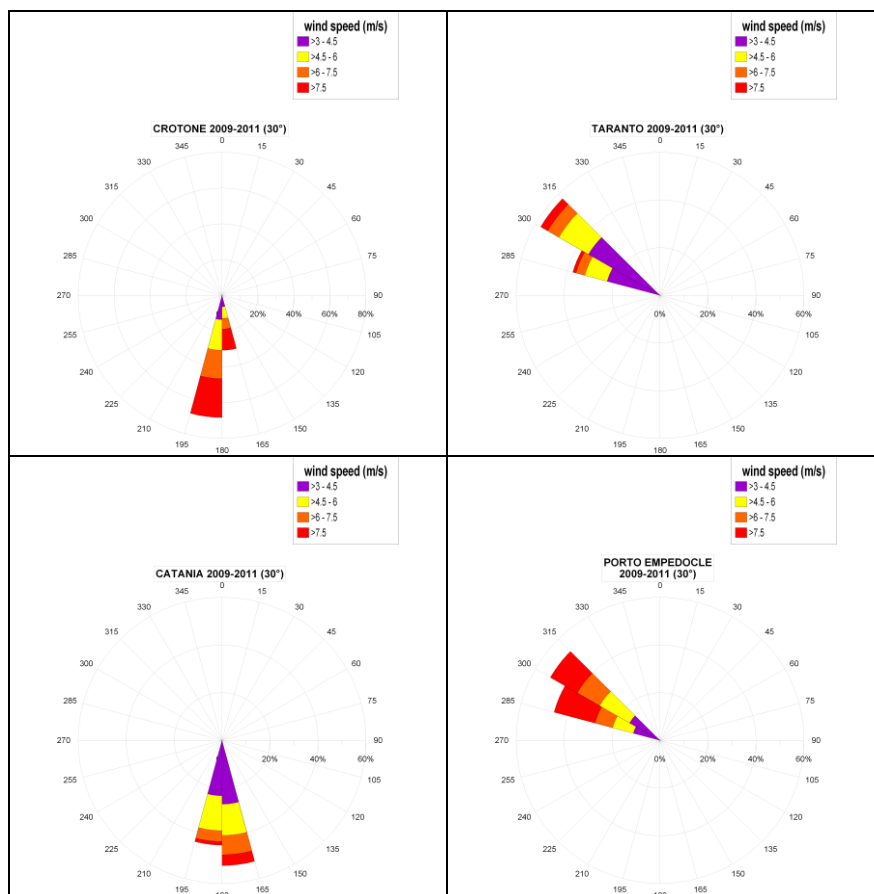
Nel Mar Ionio, le due località analizzate sono Taranto e Crotona. Le classi di direzione individuate sono:

Taranto: 285° - 315°

Crotona: 165° - 195°.

La frequenza  $f_1$  per Crotona è pari a 8.73%; ciò indica come l'area sia fortemente esposta a fenomeni di upwelling.

Per la stazione di Taranto, relativamente al periodo considerato, non è stato possibile calcolare la frequenza  $f_1$  per assenza di fenomeni individuati secondo la metodologia indicata.



Tab.5: Settori direzionali favorevoli alla generazione del fenomeno di upwelling e intensità del vento – Mar Jonio e Mar di Sicilia

Lo stretto di Sicilia ed in particolare la costa sud della Sicilia è interessata da venti prevalenti provenienti da ovest che soffiano paralleli alla linea di costa e tendono a spostare le masse d'acqua a sud. Questa osservazione è confermata dalle misure registrate presso la stazione di Porto Empedocle (285°-315°) dove forti venti spirano dalla direzione Ovest.

Catania per la sua esposizione del litorale presenta come classe direzionale dei fenomeni ventosi favorevole alla generazione di upwelling quella compresa tra 165° - 195° ossia da Sud, Palermo quella compresa tra 135° - 165° e Porto Empedocle la direzione tra 285° - 315°.

La frequenza  $f_1$  è pari rispettivamente a 1.59% per Catania, 8.73% per Palermo e 7.94% per Porto Empedocle. Relativamente alle frequenze  $f_1$  Palermo e Porto Empedocle sono le località maggiormente esposte al fenomeno dell'upwelling nella parte del Mediterraneo Centrale.

I punti di misura relativi a Lampedusa e Reggio Calabria non consentono per la loro posizione una corretta definizione delle classi direzionali. In una fase successiva saranno rianalizzati ed eventualmente individuati dei nuovi criteri per l'individuazione delle direzioni più favorevoli all'upwelling che possano consentire un'analisi anche in questi punti di misura.

Come già accennato nella parte metodologica, nell'ultima fase di questo studio si provvederà alla definizione di un indice sintetico per la caratterizzazione delle zone più soggette al fenomeno dell'upwelling attraverso l'utilizzo di dati telerilevati, di SST e di CHL -a (SeaWiFS e MODIS). I dati anche in questo caso faranno riferimento agli anni dal 2009 al 2011.

## Tempo di residenza<sup>6</sup>

### *Soggetti detentori di dati individuati:*

ISPRA INGV, CASPUR

### *Dati e metodi:*

Alla scala dell'area di valutazione considerata il Residence Time (RT) e' associato alla presenza di correnti a scala sub-regionale, di eddies persistenti e alla morfologia. La metodologia usata e' l'uso di un modello lagrangiano a particelle applicato al regime medio delle correnti. Le correnti usate sono i campi mensili di rianalisi prodotte dal modello MFS/OPA descritte nel paragrafo 'Velocita' di corrente'. Il RT verra' stimato su base stagionale ed annuale considerando il periodo 2009-2011. I risultati finali sono in corso di elaborazione e saranno elaborati entro la data del 15 ottobre 2012.

### *Analisi:*

Il modello Lagrangiano () viene impiegato per simulare il moto di particelle rilasciate in modo uniforme (10 particelle su ogni punto della griglia con risoluzione 1/16 deg lon., 1/16 deg lat.) su tutta l'area intorno ai mari italiani (area in rosso fig.1).

---

## <sup>6</sup> Bibliografia

- Astraldi, M., Gasparini, G.P.: The seasonal Characteristics of the Circulation in the North Mediterranean Basin and Their Relationship With the Atmospheric-Climatic Conditions, American Geophysical Union, 92JC00114, pp. 9531-9540, 1992.
- Dobricic, S., Pinardi, N., Adani, M., Bonazzi, A., Fratianni, C., Tonani, M.: Mediterranean Forecasting System: an improbe assimilation scheme for sea-level anomaly and its validation, Q. J. R. Meteorol. Soc., 131, pp. 3627-3642, 2005.
- Garcia Lafuente, J., Sanchez Roman, A., Diaz del Rio, G., Sannino, G., Sanchez Garrido, J.C.: Recent observations of seasonal variability of the Mediterranean outflow in the Strait of Gibraltar, Journal of Geophysical Reserch, vol. 112, C10005, 2007.
- HICKEY, B.M. and N. S. BANAS, Oceanography of the U.S. Pacific Northwest Coastal Ocean and Estuaries with Application to Coastal Ecology, Estuaries Vol. 26, No. 4B, p. 1010-1031 August 2003
- Lipphardt B. L., Jr, D. Small, A. D. Kirwan, Jr., S. Wiggins, K. Ide, C E. Grosch and J. D. Paduan, Synoptic Lagrangian maps: Application to surface transport in Monterey Bay, *Journal of Marine Research*, 64, 221-247, 200
- Mellor, G.L., Jamada, T.: A Hierarchy of Turbulence Closure Models for Planetary Boundary Layers, Journal of Atmospheric Sciences, vol. 31, pp. 1791-1806, Corrigendum, vol.34, pp. 1482, 1974.
- Millot, C., Taupier-Letage, I.: Circulation in the Mediterrean Sea, The Handbook of Environmental Chemistry, Vol. 1 (The Natural Environment and the Biological Cycles), Springer-Verlag, 2004.
- Oddo, P. , Adani, M. ,Pinardi, N. ,Fratianni, C. , Tonani, M. , and Pettenuzzo, D.: A nested Atlantic-Mediterranean Sea general circulation model for operational forecasting. Ocean Sci. (2009) vol. 5 pp. 461-473
- Pinardi, N., Masetti, E.: Variability of the large scale general circulation of the Mediterranean Sea from observations and modelling: a review. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology (2000) vol. 158 pp. 153-173

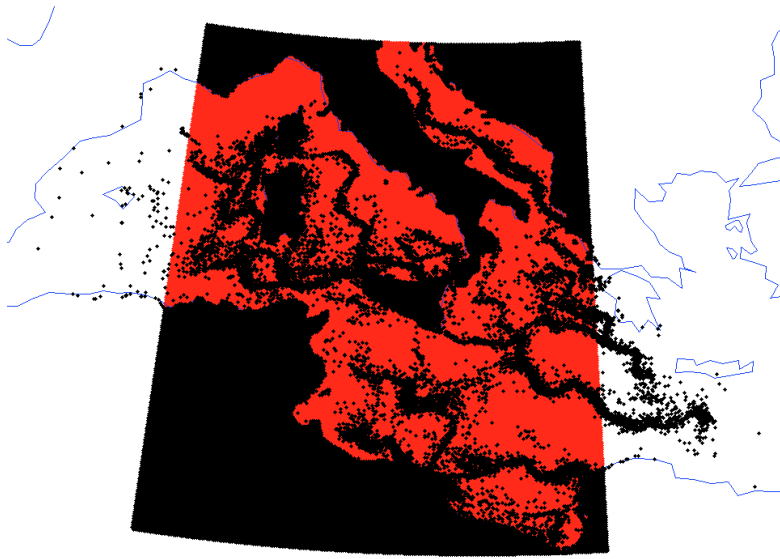


Fig.1

Il modello e' sostanzialmente bi-dimensionale e simula il contributo turbolento mediante un semplice processo stocastico tipo 'Random Walk' associato alla diffusivita' turbolenta orizzontale valutata con la formulazione di Smagorinsky. Ogni 300 secondi le particelle vengono trasportate secondo il campo di velocita' della corrente modificata dalla perturbazione stocastica. Per ogni particella il tempo passato all'interno di un cerchio centrato nel punto di rilascio e di raggio 50 km dalla particella e' il residence time stimato. Tale raggio e' stato scelto in modo da poter rappresentare in modo adeguato situazioni caratterizzate da correnti medie che vanno da .01 m/s fino a 1 m/s. La simulazione complessiva ha durata 30 giorni. In fig.1 si puo' osservare la posizione finale (in nero) delle particelle dopo 30 giorni di simulazione si puo' osservare che le posizioni finali sono vicine, ma la distribuzione non e' esattamente uguale a causa del processo stocastico considerato.

In fig.2 viene mostrato il residence time normalizzato per la sotto-area considerata, calcolato per il mese di gennaio 2011.

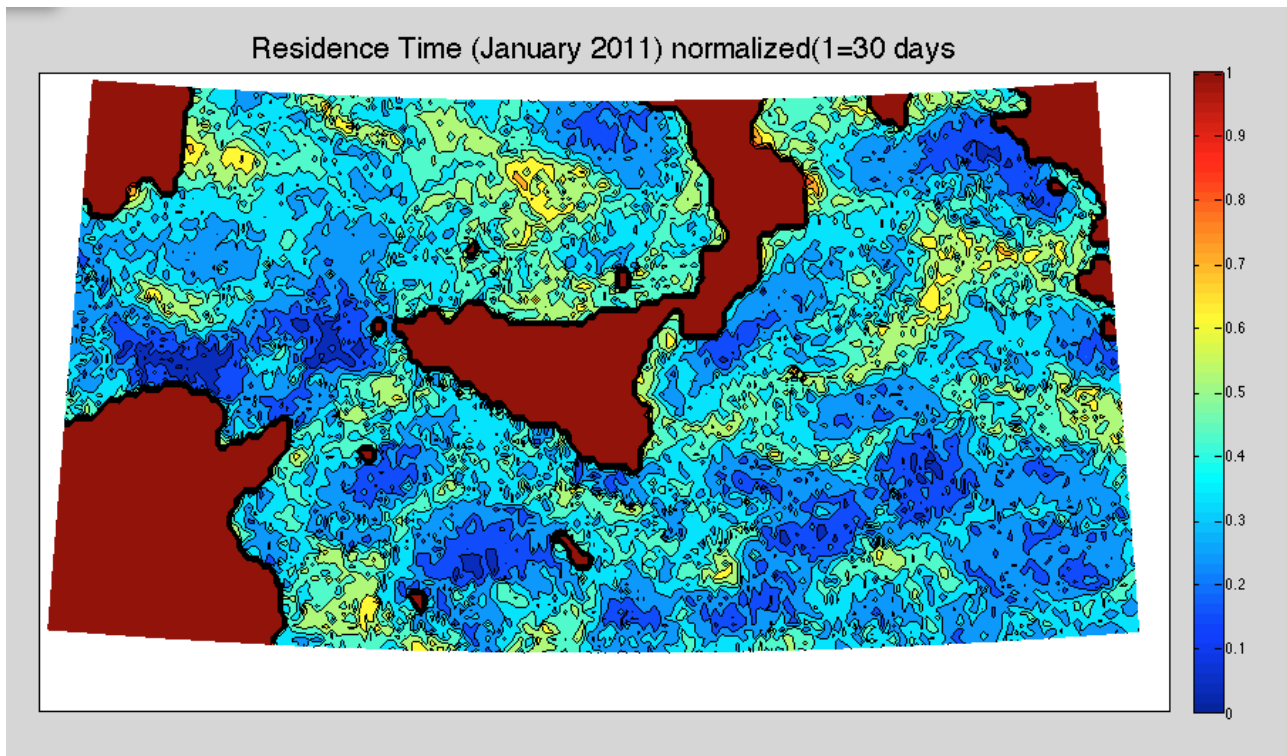


Fig.2

Sebbene il risultato abbia carattere preliminare, si può osservare che il valore abbia un valore basso nelle zone dove sono più forti le correnti medie (Canale di Sicilia, fascia costiera Calabria Ionica meridionale in blu), mentre assume valori più alti (15-20 giorni) laddove le correnti medie sono più basse e dove sono presenti strutture vorticali persistenti, come ad esempio nella parte settentrionale della Sicilia. Di interesse è il valore del residence time lungo la fascia costiera, dove si osserva una significativa variabilità spaziale. È chiaro che i risultati mediati stagionalmente ed i valori annuali saranno più uniformi, tuttavia ci si può attendere che la metodologia, per quanto semplificata, sia in grado di catturare la variabilità spaziotemporale intrinseca del processo, prestandosi eventualmente ad analisi più accurate ed approfondite nelle assessment areas che evidenzino necessità di ulteriori raffinamenti.

### Lacune nell'informazione

La stima del RT qui proposta assume un regime stazionario delle correnti (la corrente media mensile della rianalisi del modello MFS/OPA) che ovviamente non può considerare la variabilità su scale temporali sub-mensili. La risoluzione considerata (1/16 di grado lat./lon.) per il campo di corrente non è sufficiente per tener conto di fattori importanti che caratterizzano i processi costieri. La componente verticale della corrente ovviamente non è stata considerata, poiché caratterizzata da una variabilità spaziale e temporale a scala molto più piccola delle scale di moto considerate per le sub aree qui definite. Non sono stati considerati i runoff fluviali, sebbene le dimensioni di scala del trasporto in alcuni casi siano dell'ordine delle dimensioni del dominio in esame. Tali limitazioni verranno superate con lo studio dei processi oceanografici a scala costiera condotti sulle assessment area. In tali sottodomini verranno impiegate informazioni da satellite ad alta risoluzione (MODIS ad 1 km) per temperature superficiale, clorofilla e torbidità. Tale studio verrà messo in relazione a simulazioni numeriche ad altissima risoluzione (con modelli oceanografici a scala regionale e modelli Lagrangiani tri-dimensionali) che metteranno in evidenza la variabilità e la natura dei processi dinamici a scala costiera, caratterizzando compiutamente fenomeni di dispersione delle acque fluviali, upwelling e stabilità termodinamica della colonna d'acqua. Si ritiene che uno studio preliminare possa essere completato nel 2013 per l'assessment area sul Mar Tirreno, e che possa essere esteso entro il 2018 ad altre assessment areas.

## Torbidità

### Soggetti detentori di dati individuati:

2. Progetto MARCOAST. Il progetto MARCOAST (Marine and Coastal Environment Information Services) realizzato nell'ambito del programma GMES Service Elements dell'ESA, Agenzia Spaziale Europea, e sviluppato da Planetek, ha lo scopo di fornire servizi di monitoraggio marino-costiero ad una utenza PanEuropea. L'ISPRA all'interno del suddetto Progetto ha la funzione di End User;
3. Dati campagne oceanografiche effettuate dall'ENEA e dal CNR forniti dal Presidente della COI (Dr. Giuseppe Manzella);
4. CNR-ISAC Gruppo Oceanografia da Satellite (GOS).

### Dati e metodi:

2. I dati satellitari fin qui analizzati sono stati collezionati dal Progetto MARCOAST (<http://marcoast.planetek.it/>) ma provengono originariamente dagli archivi EOLI-SA dell'ESA (Ceriola et al., 2009). I dati sono parziali. Infatti l'arco temporale dei dati acquisiti e processati dal Programma MarCoast fino ad oggi va da febbraio a marzo 2012. I data set si riferiscono al coefficiente di attenuazione diffusa (Kd) collezionato dal sensore ottico MERIS dell'agenzia Spaziale Europea (ESA) a 300m di risoluzione spaziale. I dati sono stati mediati su base mensile. Essi sono ancora in fase di elaborazione e verranno elaborati entro il 15 ottobre 2012.
3. Riguardo ai dati delle campagne oceanografiche ENEA-CNR (Fig. 1-3) questi sono dati collezionati con le sonde multiparametriche (sonda SEABIRD900 CTD) su tutta la colonna d'acqua dal Mar Ionio allo Stretto di Gibilterra e validati mediante il controllo di qualità basato sui protocolli originali MEDATLAS (MGMR Software versione 2010.01 utilizzando l'ETOPO1 (Batimetria) ed i valori di confine regionali. I dati di torbidità sono stati spazializzati su una griglia di 0.5° x 0.5° (55-60 km) e ad una risoluzione verticale di 10 m. Tali dati sono stati mediati su base stagionale. L'arco temporale dei dati acquisiti dalle campagne oceanografiche suddette va da gennaio 2006 a dicembre 2011.
4. Riguardo ai dati di torbidità (Kd) presenti negli archivi del CNR-ISAC, questi sono collezionati dal sensore della NASA SeaWiFS e verranno elaborati su una griglia spaziale di 1/16° ovvero 7 km, al fine di poterli sovrapporre con i dati di temperatura superficiale alla stessa risoluzione spaziale. Gli stessi coprono l'arco temporale dal 1998 al 2010. Deve essere però evidenziato il fatto che per i dati che vanno dal 2004 al 2010 l'ISAC potrà fornire ad ISPRA solo le elaborazioni finali per una questione di proprietà del dato stesso. I dati CNR-ISAC sono ancora in fase di elaborazione e verranno elaborati entro il 15 ottobre 2012.

### Analisi:

L'analisi qualitativa preliminare si riferisce solo al dataset relativo al Programma di ricerca MARCOAST (Fig. 4). Di seguito l'andamento generale del Kd relativo ai mesi di febbraio e marzo del 2012.

### Inverno

I valori di torbidità per il mese di febbraio nel Mar Mediterraneo occidentale risultano essere molto bassi ( $0.2 \text{ m}^{-1}$ ). I valori più alti si riscontrano lungo la fascia costiera della Campania, del Lazio e della Toscana in corrispondenza dei tre grandi fiumi Garigliano/Volturno, Tevere ed Arno con valori che si attestano intorno ai  $3-4 \text{ m}^{-1}$ . Elevati valori di Kd si riscontrano anche al largo del Mar Ligure dovuti all'innescarsi del *bloom* (fioritura) fitoplanctonico tipico di quest'area che si sviluppa in primavera e che si estende fino al Golfo del Leone.



## Primavera

I valori di torbidità anche per il mese di marzo nel Mar Mediterraneo occidentale risultano essere molto bassi ( $0.2 \text{ m}^{-1}$ ) ad eccezione di un'ampia area al largo del Mar Ligure dove si riscontrano elevati valori di Kd, questi sono dovuti al *bloom* (fioritura) fitoplanctonico tipico di quest'area che si sviluppa durante la primavera e che si estende fino al Golfo del Leone. Elevati valori di torbidità si riscontrano sempre lungo la fascia costiera della Campania, del Lazio e della Toscana in corrispondenza dei tre grandi fiumi Garigliano/Volturno, Tevere ed Arno con valori che si attestano intorno ai  $3-4 \text{ m}^{-1}$ .

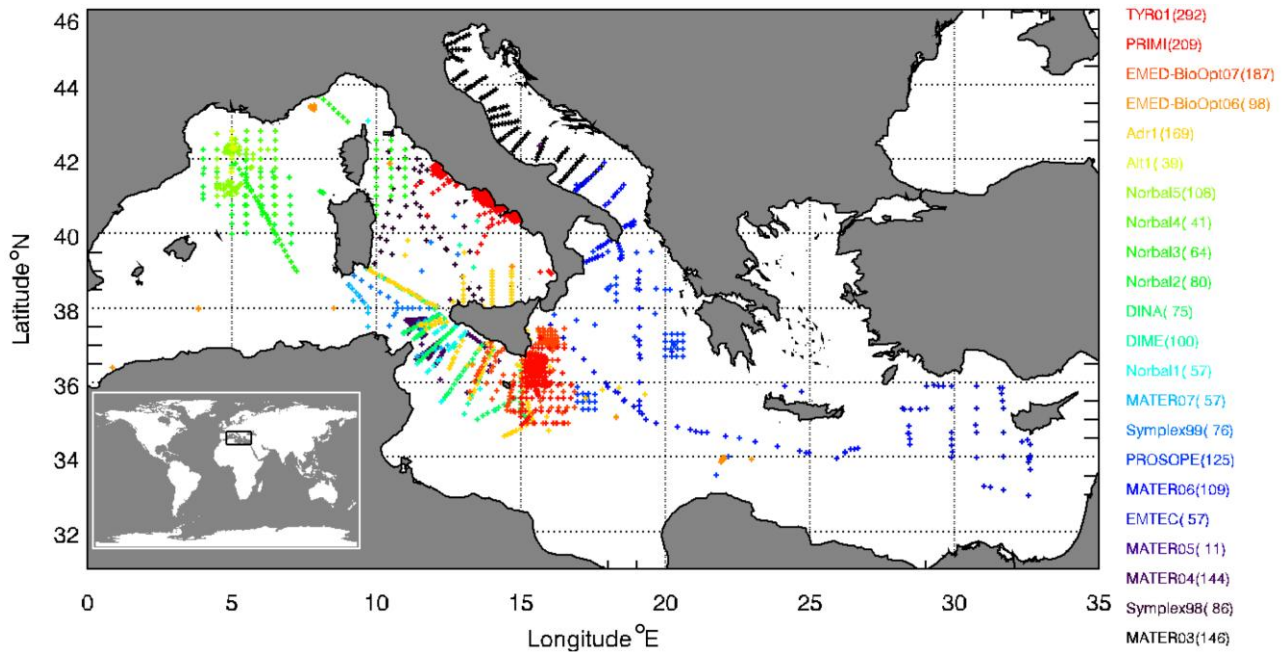


Fig. 1 Campagne oceanografiche condotte dal gennaio 2006 a dicembre 2011 dal CNR-ISAC.

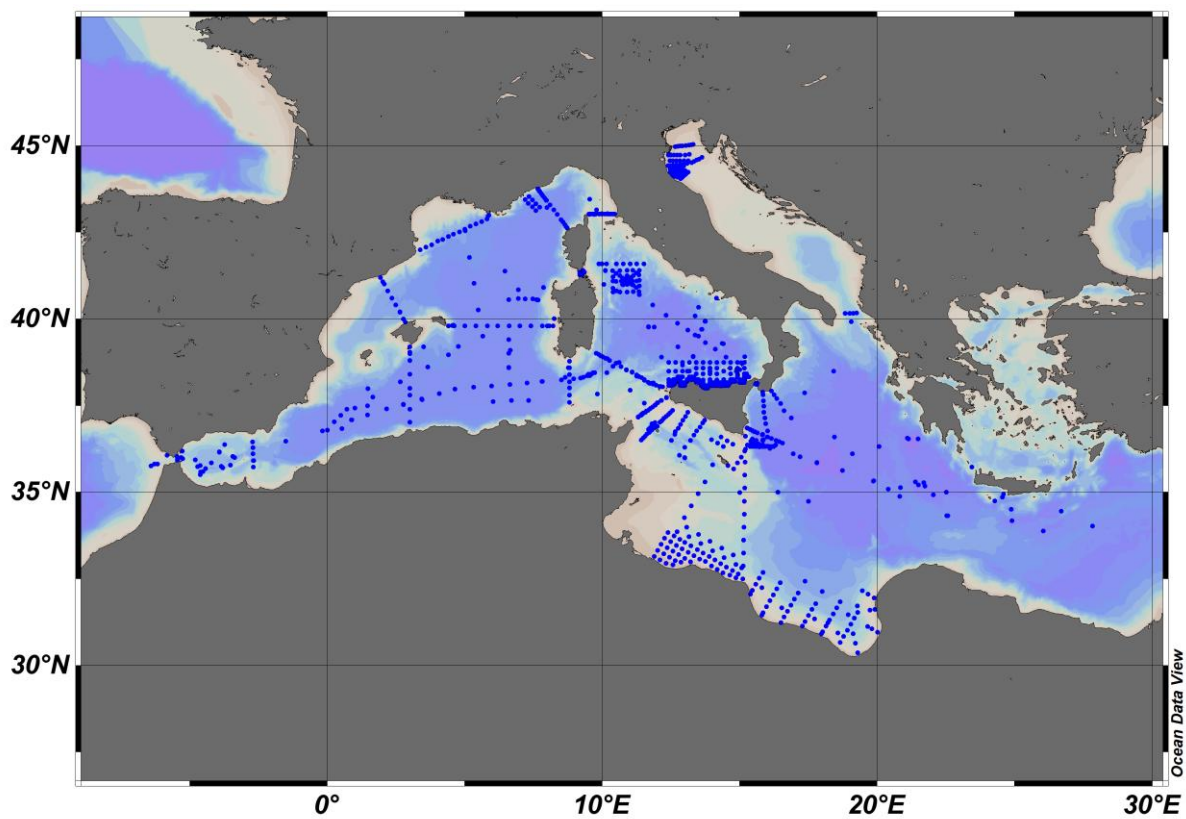


Fig. 2 Campagne oceanografiche condotte dal gennaio 2006 a dicembre 2011 dal CNR-ISMAR.

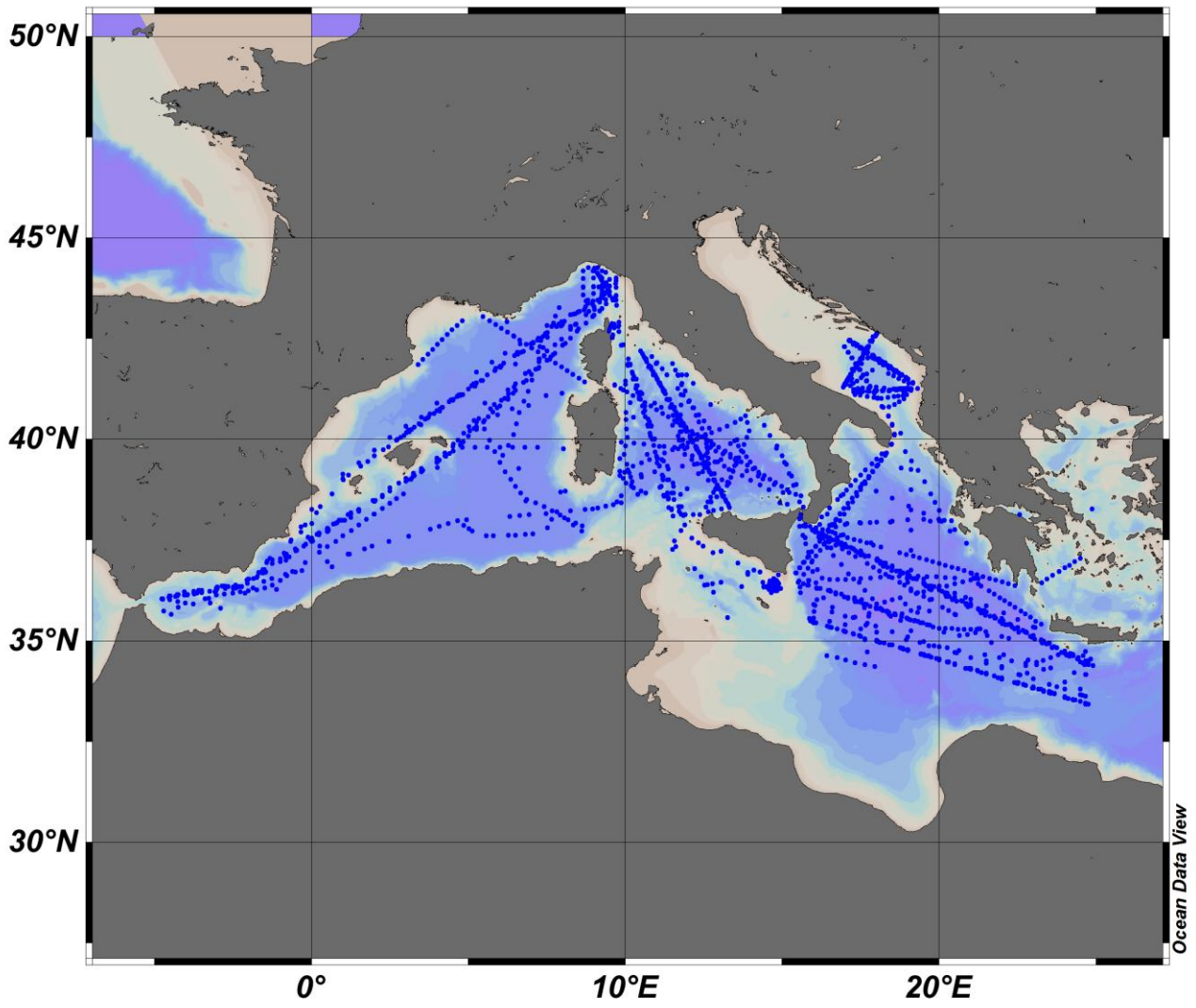


Fig. 3 Campagne oceanografiche condotte dal gennaio 2006 a dicembre 2011 dall'ENEA\_OO.

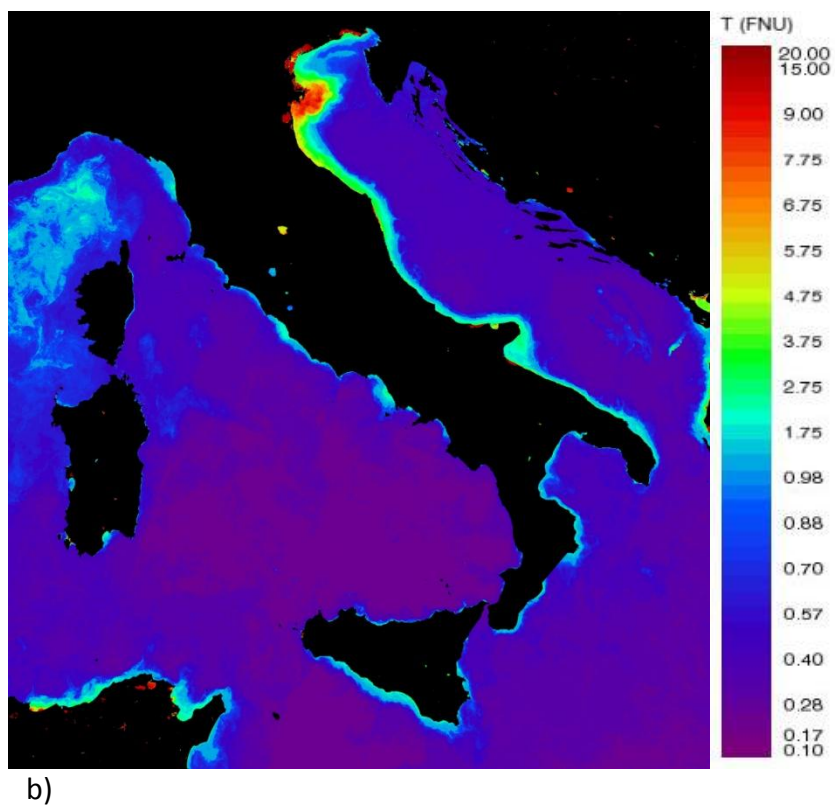
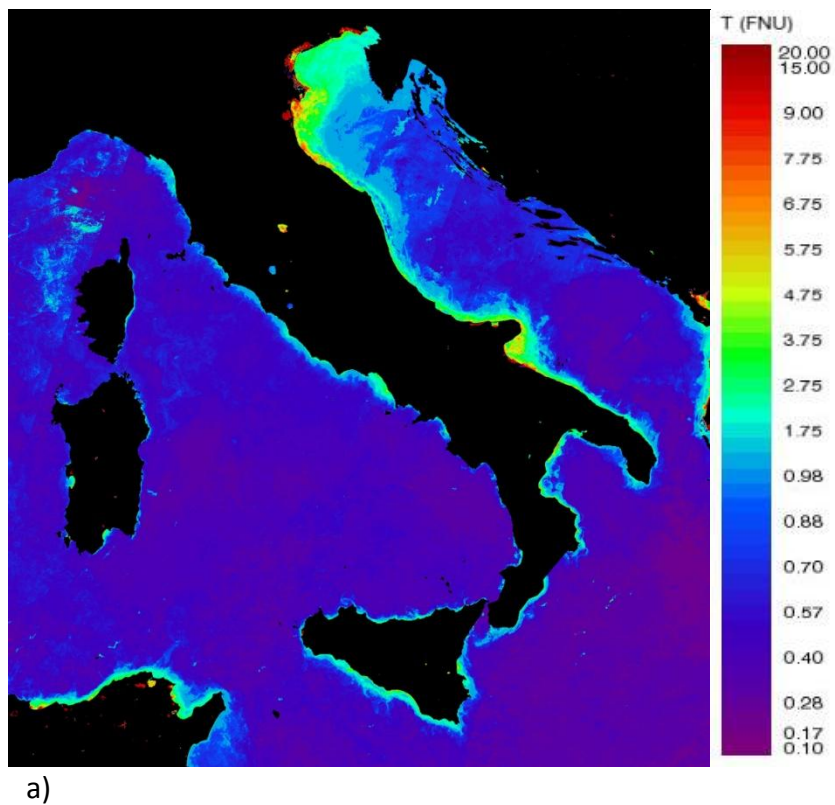


Fig. 4 Medie mensili del Kd nelle tre sottoregioni per l'anno 2012; a) febbraio, b) marzo.

### 3.1.2 AREA DI VALUTAZIONE

Poiché le informazioni derivanti dal modello globale, per ragioni di tempo di calcolo, non possono essere ad alta risoluzione, per descrivere in modo accurato i fenomeni locali le informazioni sulle tre sub-regioni sono integrate da misure da boe ondometriche direzionali e dai risultati di rianalisi da modelli ad alta risoluzione dove disponibili.

Per la determinazione delle caratteristiche dei processi di interazione delle onde con gli ecosistemi in ambito costiero si ritiene che le scale tipiche dei fenomeni considerati debbano essere dell'ordine dei 2-400 metri. Effettuare un monitoraggio dei parametri ondosi su tale scala per tutte le aree costiere italiane rappresenterebbe tuttavia costi proibitivi, quindi si rende necessario introdurre uno studio approfondito su aree di assessment.

Il criterio della scelta delle assessment areas è stato diversificato per consentire la rappresentazione di dettaglio dei dati ondometrici rilevati dalle stazioni di misura della Rete Ondometrica Nazionale (RON) dell'ISPRA individuata da un tema puntuale su una cartografia GIS (fig.A), nonché, la particolarizzazione dei dati di rianalisi del modello WAM nelle aree costiere per le quali si dispone di idonee batimetrie (fig.B).

Fig. A

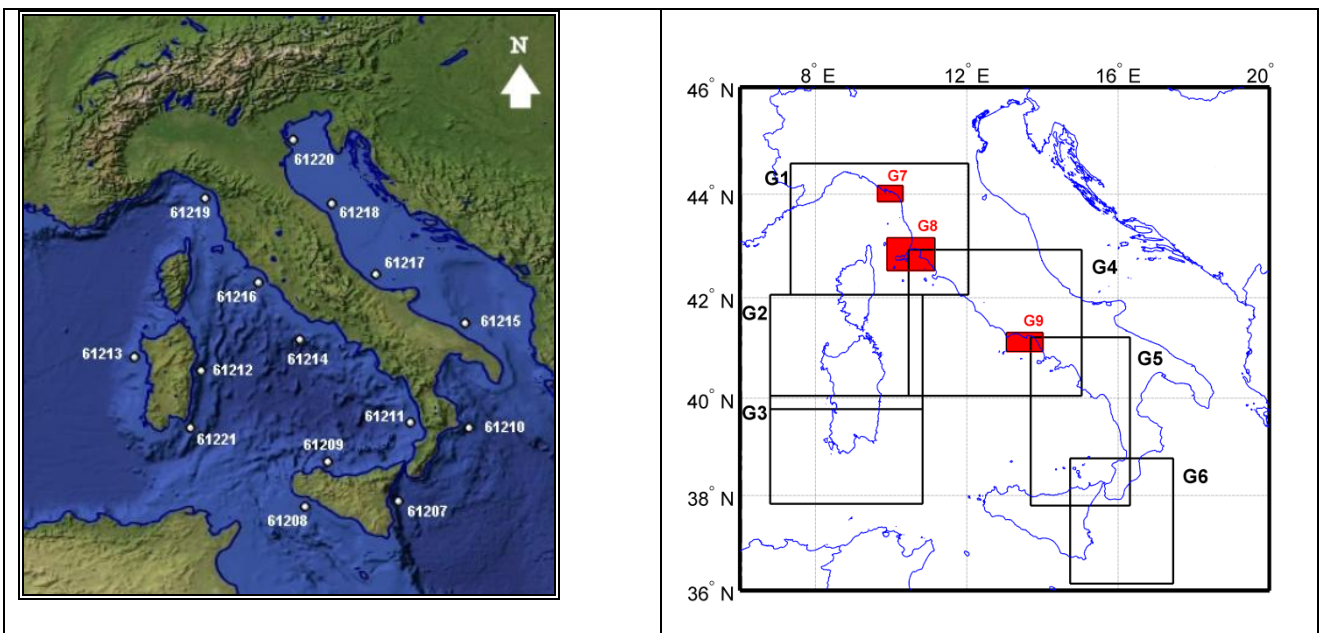


Fig. B

### 3.1.2.1 INFORMAZIONE UTILIZZATA

#### Esposizione al moto ondoso<sup>7</sup>

##### *Soggetti detentori di dati individuati:*

- Centro Meteorologico Europeo per la Previsione a Medio termine (ECMWF);
- ISPRA dati ondametrici direzionali della RON e rianalisi WAM ad alta risoluzione;
- CASPUR;
- INGV;
- EUMETSAT.

##### *Dati e metodi:*

L'evoluzione dello stato del mare è guidata da una serie di processi (per esempio, generazione da parte del vento, dissipazione di energia, rifrazione e frangimento sotto costa, scambi di energia fra le diverse onde) che sono descritti da una serie di equazioni che costituiscono appunto il modello del moto ondoso. Per le finalità del reporting del tema in esame è necessario integrare le informazioni di altezza significativa, periodo e direzione delle onde spazializzate derivanti dai modelli globali di rianalisi del clima ondoso utilizzate con quelle puntuali dei programmi di misura. I dati utilizzati, per omogeneità e per consentirne il confronto, sono i dati di rianalisi ERA Interim Re-Analysis del ECMWF dal 01/01/2005 al 31/12/2008 e quelli corrispondenti della RON.

I datasets derivati dal ECMWF sono costituiti da file GRIB contenenti i dati sinottici riferiti al grigliato di passo 0,25° lat-long corrispondente a circa 28 Km. Il modello restituisce per ogni punto della griglia e per ogni parametro, un valore ogni sei ore (per un totale di 5844 dati nel periodo di analisi).

---

#### <sup>7</sup> Bibliografia:

1. Cavaleri, L. and Sclavo, M.: The calibration of wind and wave model data in the Mediterranean Sea, *Coast. Eng.*, 53, 613–627, 2006.
2. ECMWF: ECMWF WAVE MODEL, IFS Documentation, part VII– Cy33r1 Operational implementation, 2009.
3. Franco, L., Piscopia, R., Corsini, S., and Inghilesi, R.: L'Atlante delle onde nei mari italiani - Italian Wave Atlas, Full Final Report, University of Roma TRE – APAT, 2004
4. Holthuijsen, L. H.: *Waves in Oceanic and Coastal Waters*, CUP, 2007.
5. Holthuijsen, L. H., Booji, N., and Bertotti, L.: The propagation of wind errors through ocean wave hind casts, *J. Offshore Mech. Arct. Eng.*, 118, 184–189, 1996.
6. Inghilesi R., F. Catini, G. Bellotti, L. Franco, A. Orasi, and S. Corsini, Implementation and validation of a coastal forecasting system for wind waves in the Mediterranean Sea, *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 12, 1–10, 2012
7. Janssen, P. A. E. M.: *The Interaction of Ocean Waves and Wind*, CUP, 2004.
8. Janssen, P. A. E. M.: Progress in ocean wave forecasting, *J. Comput. Phys.*, 227, 2008
9. Komen, G. J., Hasselmann, S., and Hasselmann, K.: On the Existence of a Fully Developed Wind-Sea Spectrum, *J. Phys. Ocean.*, 14, 1271–1285, 1984.
10. Komen, G. J., Cavaleri, L., Donelan, M., Hasselmann, K., Hasselmann, S., and Janssen, P. A. E. M.: *Dynamics and Modeling of Ocean Waves*, Cambridge University Press, 1994.
11. Lavrenov, I. V.: *Wind Waves in Oceans – Dynamics and Numerical Simulations*, Springer, 2003.
12. Lagouvardos, K., Kotroni, V., Koussis, A., and Feidas, H.: The Meteorological Model BOLAM at the National Observatory of Athens: Assessment of Two-Year Operational Use, *J. Appl. Met.*, 42, 1667–1678, 2003.
13. Lionello, P., Malanotte-Rizzoli, P., and Boscolo, R.: *Mediterranean Climate Variability*, Elsevier, Chapter 6, 325–372, 2006.
14. Miles, J. W.: On the generation of surface waves by shear flow, *J. Fluid Mech.*, 3, 185–204, 1957.
15. Phillips, O. M.: On the generation of waves by turbulent wind, *J. Fluid. Mech.*, 2, 417–445, 1957.
16. Polnikov, V. G., Dymov, V. I., Pasechnik, T. A., Lavrenov, I. V., Abuzyarov, Z. K., and Sannasiraj, S. A.: Testing and verifying the wind wave model with an optimized source function, *Oceanology*, 48, 7–14, 2008.
17. The SWAN Team: *SWAN Technical Manual*, SWAN Cycle III version 40.81, Delft University of Technology, 1993.
18. The WISE Group: *Wave Modeling – The State of the Art*, *Progress in Oceanography*, 75, 2007.
19. Van der Westhuysen, A. J., Zijlema, M., and Battjes, J. A.: Nonlinear saturation based white capping dissipation in SWAN for deep and shallow water, *Coast. Eng.*, 54, 151–170, 2007.
20. Fisher. N.I., "Statistical Analysis of Circular Data", Cambridge University Press, 1993.

Poiché le informazioni derivanti dal modello globale, per ragioni di tempo di calcolo, non possono essere ad alta risoluzione, per descrivere in modo accurato i fenomeni locali le informazioni sulle assessment areas sono integrate dalle misure puntuali della RON e dai risultati di rianalisi del modello WAM ad alta risoluzione di ISPRA dove disponibili.

La rete RON fornisce per ogni boa e per ogni parametro, un valore ogni 30 minuti (per un totale di 70128 misure attese in assenza di gap). I parametri misurati dalle boe della RON utilizzati sono: l'altezza d'onda significativa, il periodo medio, il periodo di picco e la direzione di provenienza del moto ondoso. I primi tre parametri sono caratterizzati da una evidente asimmetria nella distribuzione dei dati, mentre la direzione è spesso affetta da multimodalità a causa delle caratteristiche morfologiche dei bacini interessati dal moto ondoso.

La metodologia usata prevede la definizione di valori medi e mediani per tutti i parametri, nonché valori modali per le direzioni. Inoltre, per le altezze d'onda vengono forniti anche i valori del 90° percentile che fornisce una buona descrizione della tipologia degli eventi estremi occorsi. Tutte queste grandezze vengono valutate su differenti scale temporali, quali il mese, la stagione e l'anno.

I risultati finali sono in corso di elaborazione e saranno elaborati entro ottobre 2012.

Per realizzare lo studio in ambito costiero si possono utilizzare metodi numerici ad altissima risoluzione spaziale e monitoraggio in situ. Tale sistema permetterebbe di accumulare statistiche sul moto ondoso in aree morfologicamente complesse, in cui le interazioni con il fondale a costa diventano importanti. Il modo di implementare un sistema di previsione costiera è quello di procedere ad una catena di nesting partendo dalla scala del Mediterraneo, quindi effettuando un downscaling su aree regionali ed alla fine arrivare alle simulazioni in ambito costiero.

In fig. c è rappresentata la struttura delle aree 6 regionali (g1-g6 in nero) e 3 aree costiere realizzabili entro il 2013 (g7-g9 in rosso). I modelli da usare in cascata sono il WAVE Model (WAM) per il Mediterraneo e le aree regionali, lo Simulating Waves Nearshore (SWAN). La risoluzione finale in ambito costiero sarebbe 1/240 di grado, corrispondente a circa 400m.

Il sistema farebbe uso di accurate batimetrie messe a disposizione nel quadro della MSFD, vento ad alta risoluzione (10 km) fornito dal sistema SIMM di ISPRA, correnti prodotte dal modello oceanografico MFS/OPA di INGV e dati da satellite Jason2, Envisat per assimilazione dei dati altimetrici.

Si ritiene che il sistema costiero possa essere implementato sulle prime tre assessment areas nel Mar Ligure, Tirreno centrale e Tirreno Meridionale entro il 2013, fornendo 2 anni di statistiche, e potrebbe essere sviluppato sulle altre assessment areas del Mediterraneo Centrale e Mar Ionio nel 2014-2018.

#### *Analisi:*

Di seguito si riportano le cartografie della esposizione al moto ondoso (attualmente riferita alle tre subregioni):

I valori medi, mediani, modali e i percentili fino ad ora elaborati sono riferiti ai parametri di altezze e direzione dell'onda per i dati ricavati dal modello WAM del ECMWF

I valori medi annuali dell'altezza d'onda significativa sono dell'ordine di:

- 0.5 - 1 m nel Tirreno centrale con picchi anche superiori al metro al largo di Corsica e Sardegna per effetto delle perturbazioni agenti nello Stretto di Bonifacio;
- 0.5 m nell'Adriatico con valori minimi nell'Alto Adriatico e massimi nel Basso Adriatico (0.7 – 0.8 m)
- 0.5 – 1 m nel mar Ionio
- 0.5 – 1 m nel mar Ligure
- superiori al metro nel canale di Sicilia e Mediterraneo Occidentale al largo della Sardegna.

2005

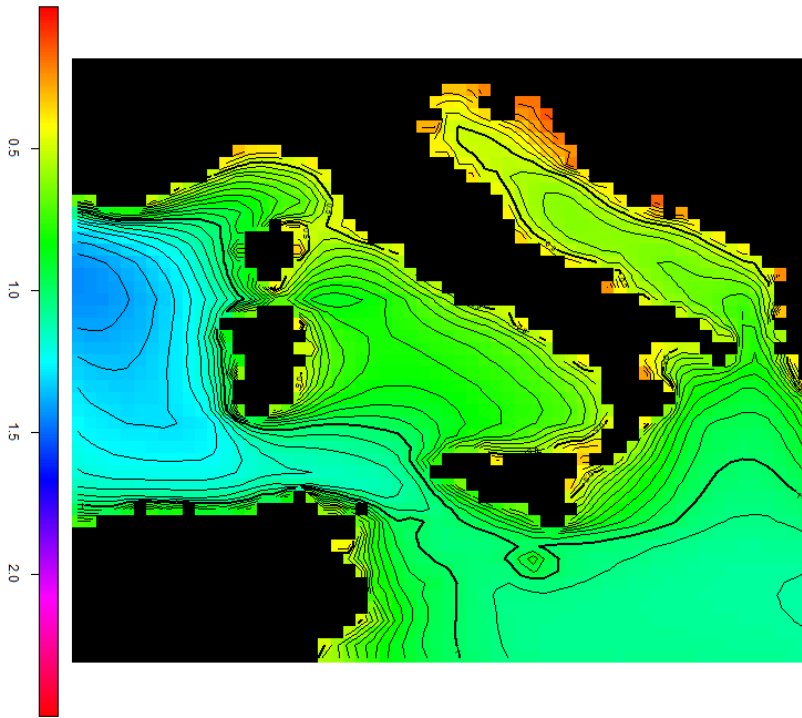


Fig.1 – Media annuale dell'altezza d'onda significativa – anno 2005

2006

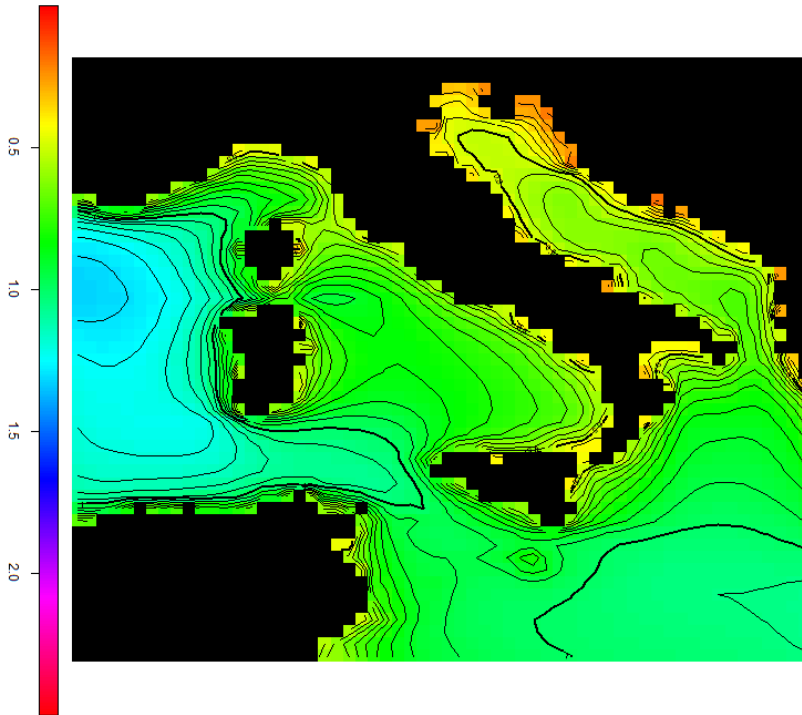


Fig.2 – Media annuale dell'altezza d'onda significativa – anno 2006



2007

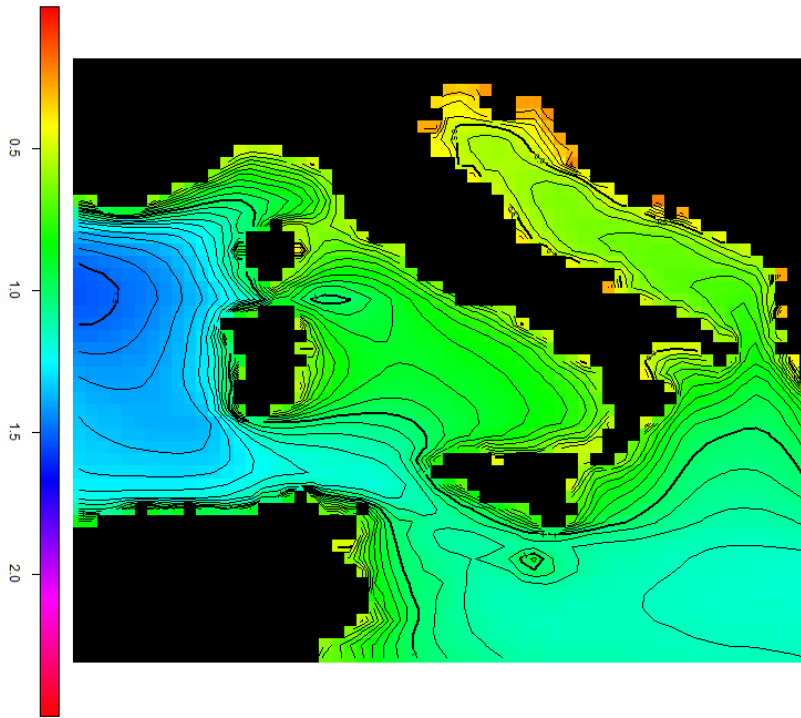


Fig.3 – Media annuale dell'altezza d'onda significativa – anno 2007

2008

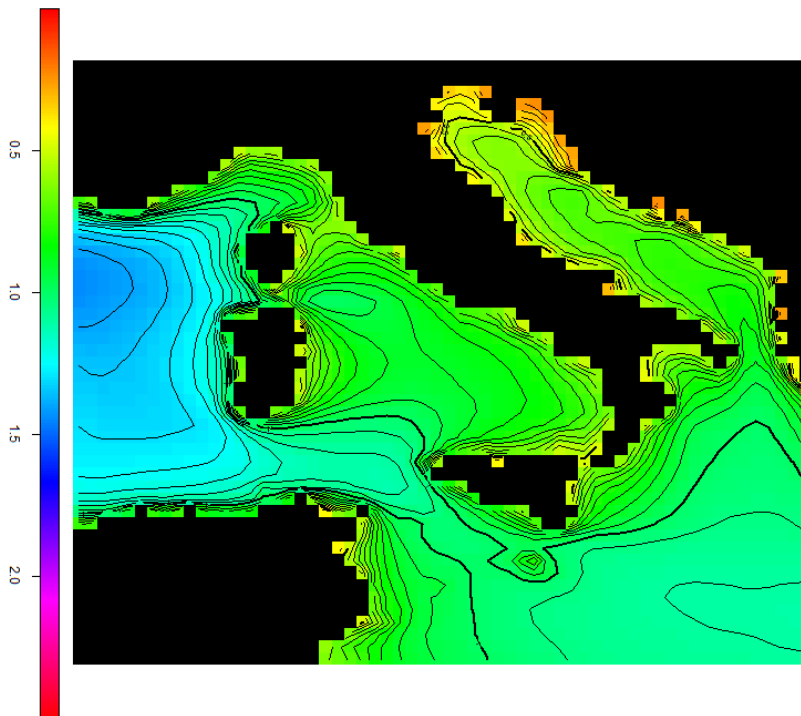


Fig.4 – Media annuale dell'altezza d'onda significativa – anno 2008

Le altezze medie annuali mostrano andamenti analoghi ai precedenti, ma con valori ridotti di circa il 30% (in figura viene riportato il solo valore mediano relativo all'anno 2005).

2005

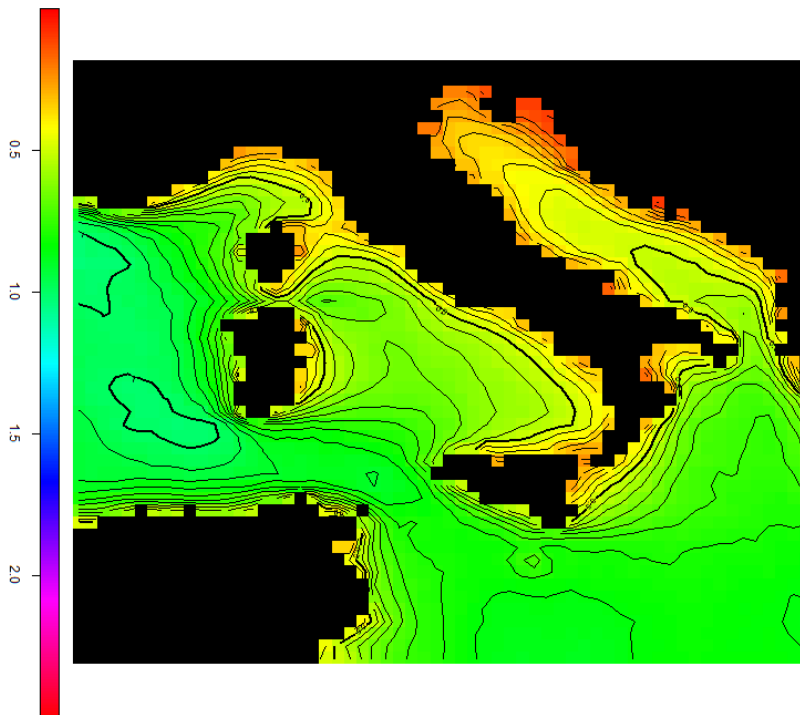


Fig.5 – Valore mediano annuale dell'altezza d'onda significativa – anno 2005

Il valore annuale del 90° percentile risulta di conseguenza maggiore nel Mediterraneo Occidentale e nel Canale di Sicilia, con punte anche dell'ordine di 3.5 metri e si mantiene comunque superiore al metro nelle altre aree.

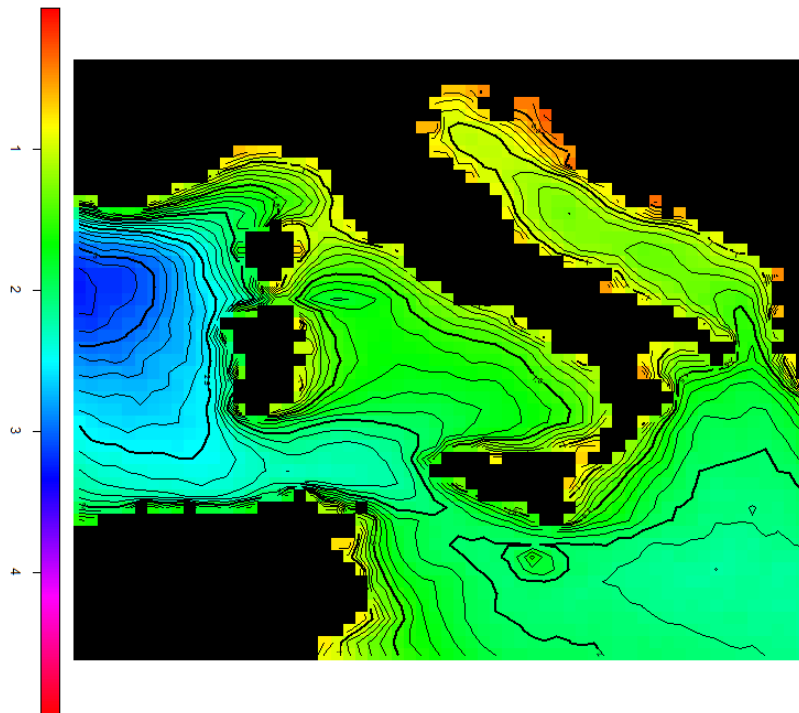


Fig.6 – 90° percentile dell'altezza d'onda significativa – anno 2005

Le medie climatiche mensili e stagionali mostrano una netta stagionalità del fenomeno derivante dalla variabilità nell'arco dell'anno degli eventi atmosferici. Nel periodo autunno - invernale si assiste quindi a altezze d'onda medie nel Mediterraneo occidentale maggiori di 1.5 m (con picchi nei mesi di novembre e dicembre superiori a 2 m). Nel Mar Tirreno e nel Mar Adriatico tali medie raggiungono rispettivamente i valori di 1 - 1.5 m e 0.5 – 1 m. Di conseguenza, i valori del 90° percentile si assestano intorno a 3.5 m nel Mediterraneo Occidentale, 2 – 2.5 m nel Tirreno e 1 – 1.5 nell'Adriatico.

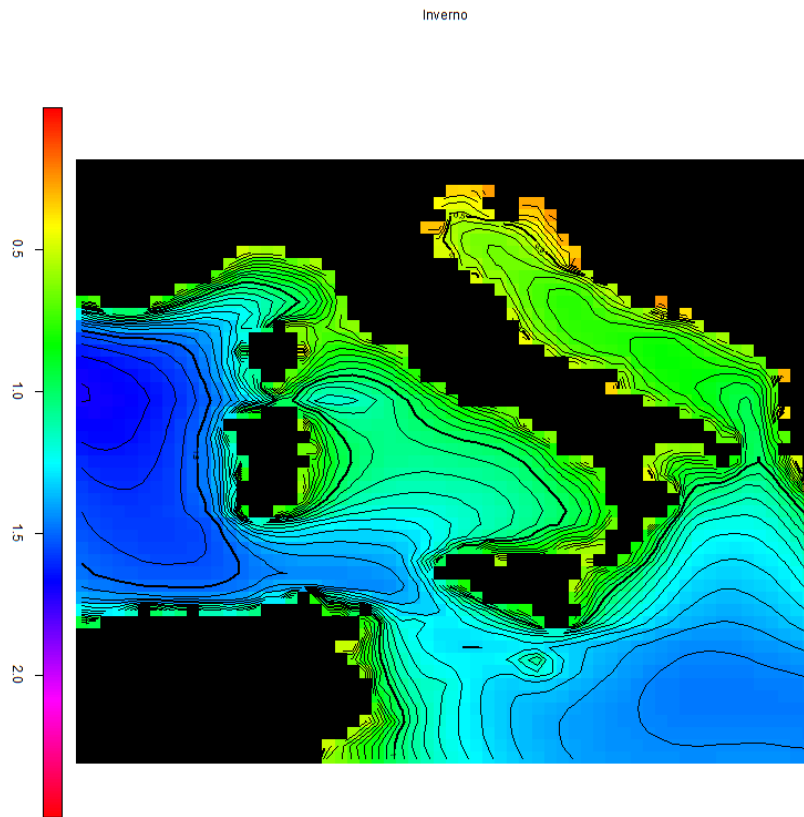


Fig.7 – Media stagionale dell'altezza d'onda significativa – Inverno 2005 - 2008

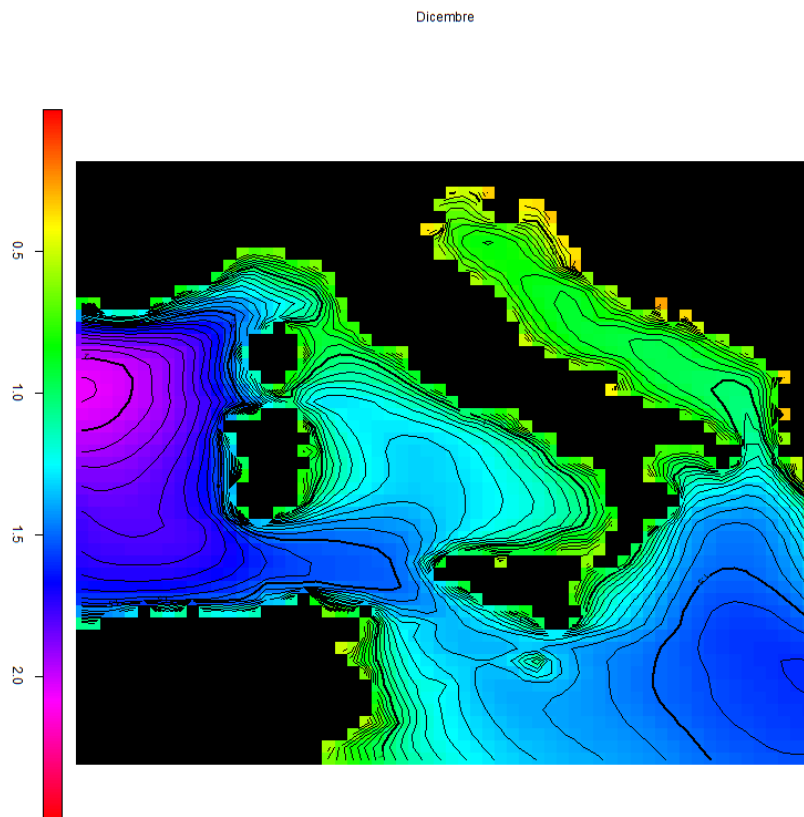


Fig.8 – Media mensile dell'altezza d'onda significativa – Dicembre 2005 - 2008

Inverno

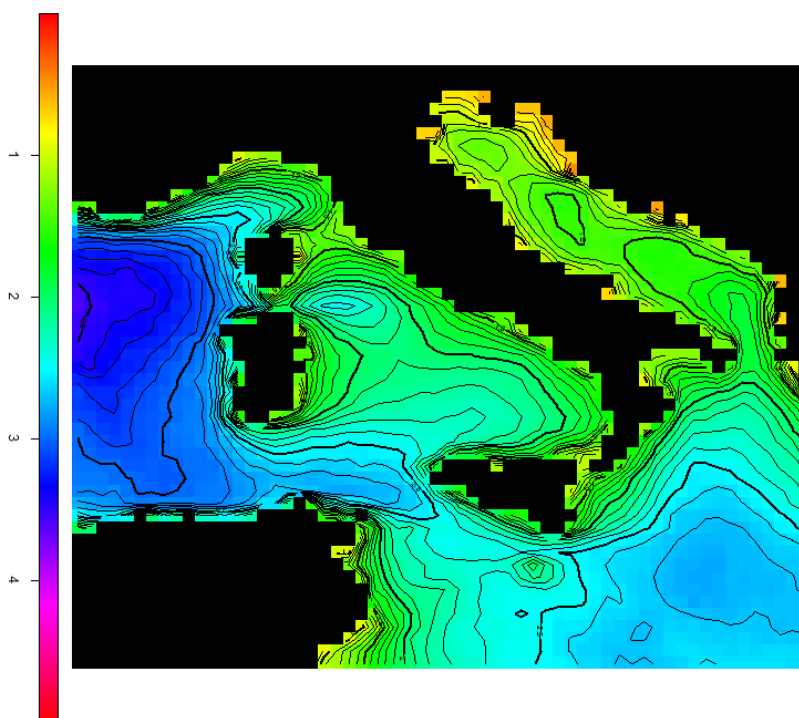


Fig.9 – 90° percentile stagionale dell'altezza d'onda significativa – 2005 - 2008

Le medie e le mode annue della direzione di provenienza del moto ondoso presentano una notevole stabilità. Si evidenziano differenze tra i valori medi e modali delle direzioni nel Mar Adriatico a causa della multimodalità dei valori analizzati dovuta alla presenza di almeno due direzioni principali di provenienza del moto ondoso.

2005

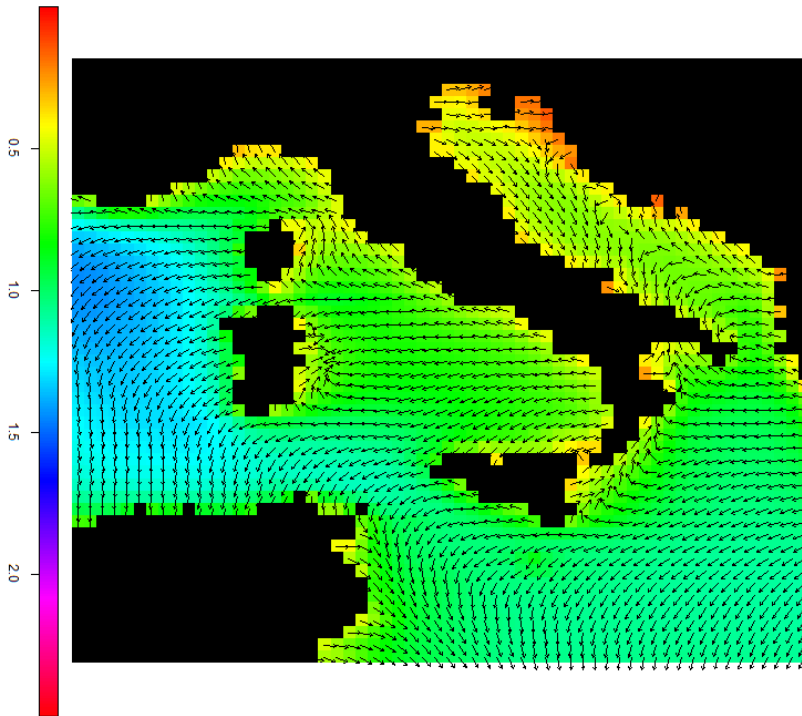


Fig.10 – Direzione media annuale della direzione dell'onda – 2005

2005

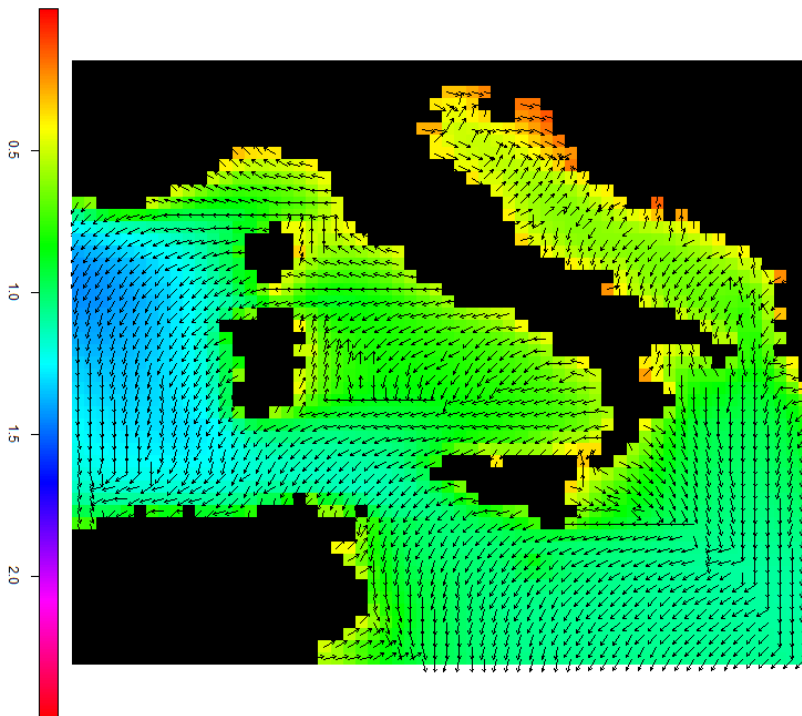


Fig.11 – Direzione modale annuale della direzione dell'onda – 2005

Di seguito si riportano i dati di esposizione al moto ondoso ottenuti dalle misurazioni puntuali ricavate dalle boe della RON (attualmente riferiti a titolo di esempio a due delle quindici stazioni RON):

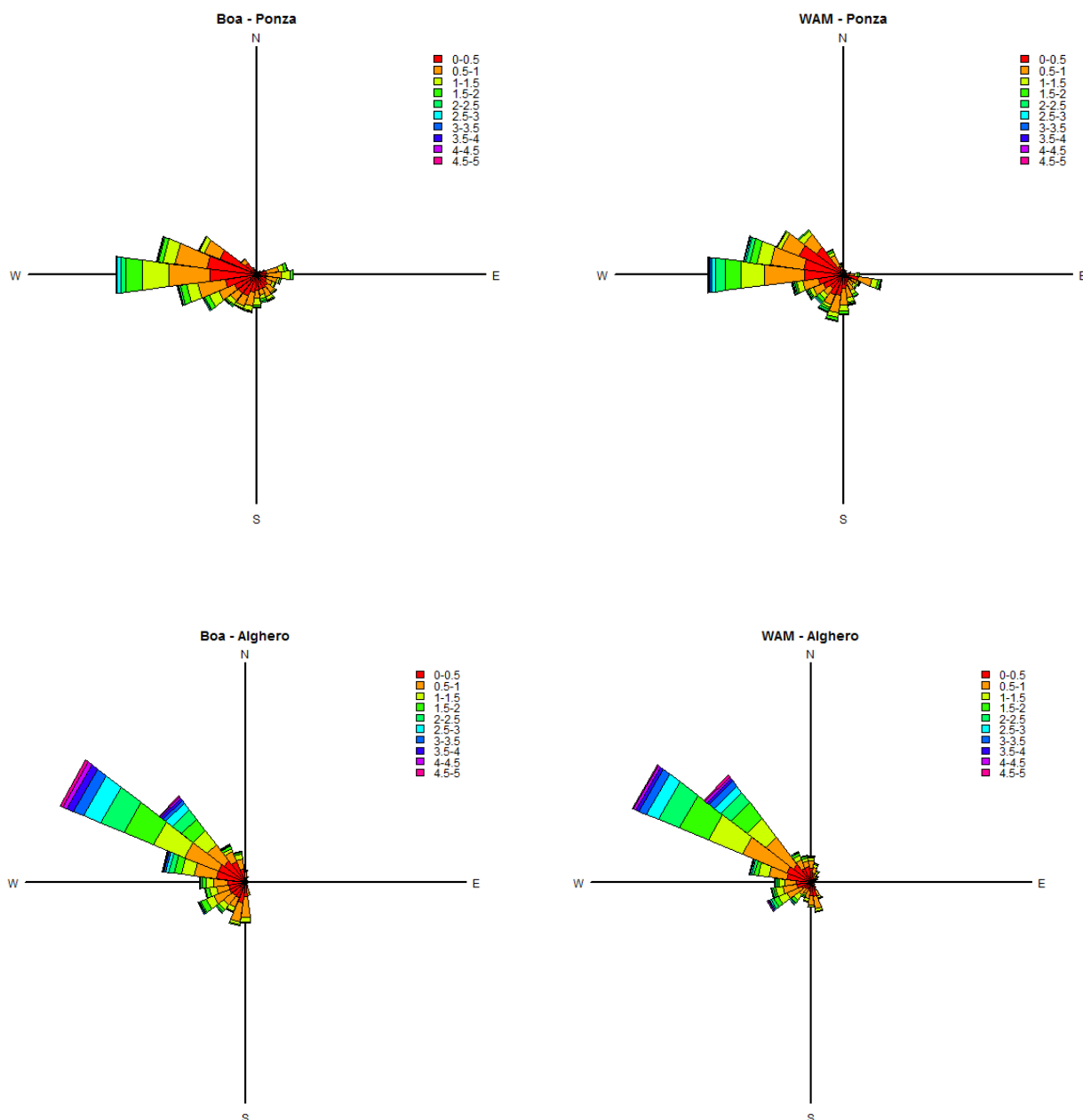


Fig.12 – Confronto tra osservazioni ondamiche e valori stimati da modello – 2005-2008

A partire dalle osservazioni ondamiche ricavate della RON, è stato effettuato un confronto tra i dati reali e i dati da modello (WAM). Le seguenti rose rappresentanti il clima ondoso nel periodo 2005-2008 suggeriscono una buona ricostruzione dello stato di mare da parte del modello. Tuttavia si riscontrano anche delle differenze soprattutto nella ricostruzione degli eventi estremi in cui il modello sembra sottostimare i valori di altezza d’onda.

Di seguito si riportano le cartografie della esposizione al moto ondoso ottenuti dai modelli ad alta risoluzione (attualmente riferita ad alcune delle aree disponibili):

Si riporta in fig.13-14 il confronto tra modello ad alta risoluzione per acque profonde e modello ad altissima risoluzione per la propagazione a costa. Il confronto si riferisce all’area G7 nel caso di una mareggiata

avvenuta a marzo del 2008. Si puo' osservare come i processi di interazione col fondale (shoaling, breaking, attrito sul fondo) sono presenti nella fig. 14 ma non nella 13.

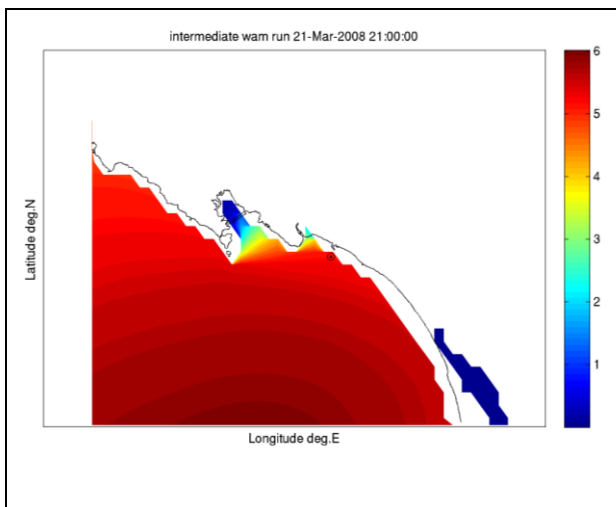


Fig.13 Simulazione modello ondoso per acque profonde

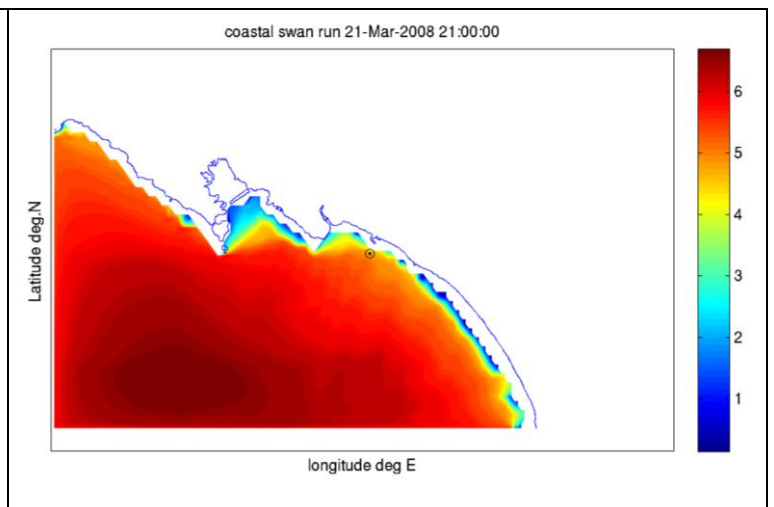


Fig.14 simulazione del modello costiero

La catena di nesting permette di considerare gli effetti dovuti alla rifrazione delle correnti nelle aree regionali (fig 15-16), che possono contribuire in modo significativo in alcune aree importanti del Tirreno e del Mediterraneo Centrale.

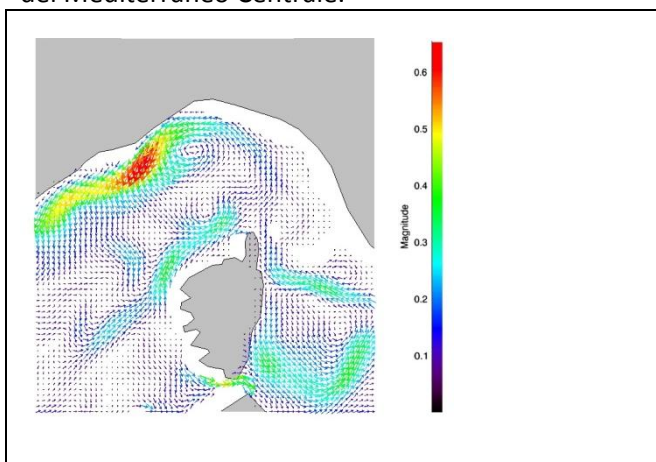


Fig.15 campo di corrente superficiale OPA 9/11/2010

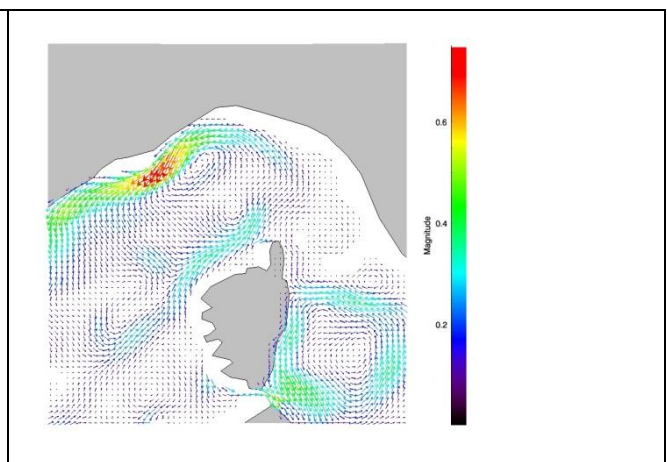


Fig.16 campo di corrente superficiale OPA 11/11/2010

Il sistema può assimilare dati da satellite prodotti da Jason-1, Jason-2 ed ENVISAT. Si valuta che per le simulazioni a grande scala possano essere considerati da 8 ad 11 passaggi sul Mediterraneo (fig.17-18), questo permetterebbe di migliorare la qualità delle previsioni sul breve periodo e delle ricostruzioni di episodi.



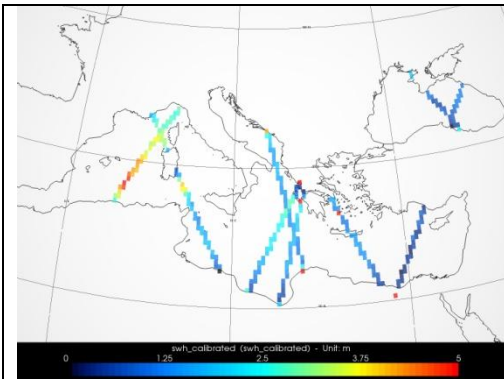


Fig. 17 - tracce dei satelliti disponibili sul Mediterraneo il giorno 10/11/2010

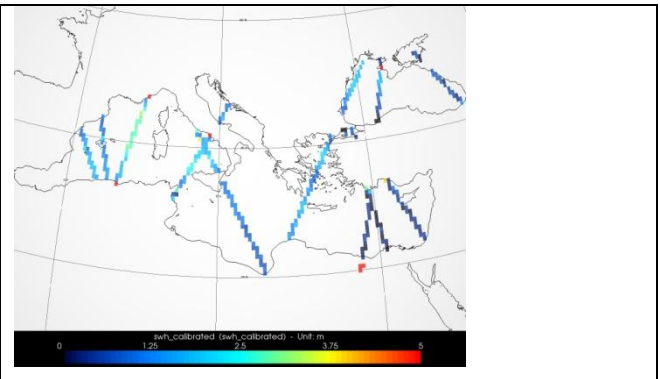


Fig. 18 - tracce dei satelliti disponibili sul Mediterraneo il giorno 11/11/2010

Il monitoraggio in situ prodotto dall'ISPRA e quello che si può realizzare con simulazioni numeriche del sistema costiero sono generalmente in buon accordo sia sulle aree regionali dove si valutano le onde in mare aperto (fig. 19-20) su fondale 90-100 m

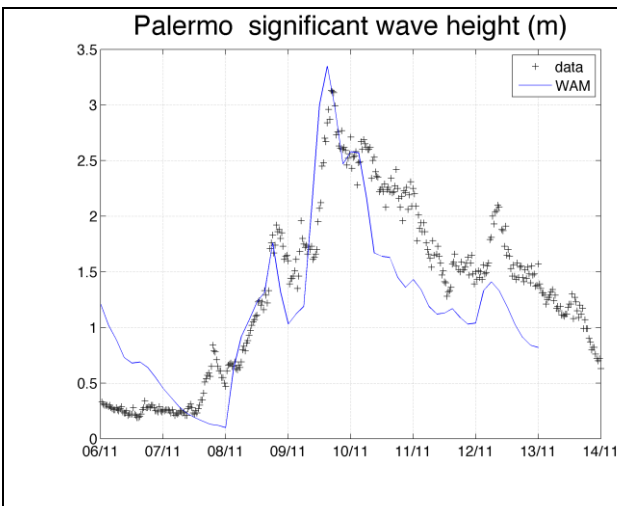


Fig. 19 - confronto modello Wam regionale e boa RON Palermo 6-11/14-11 2010

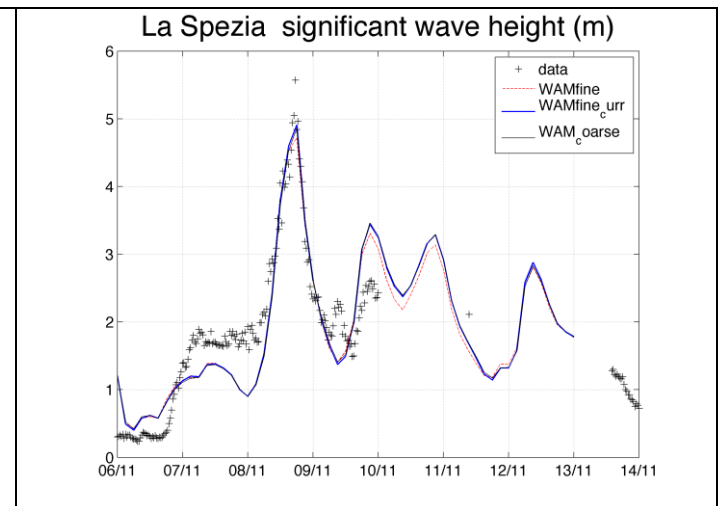


Fig. 20 - confronto modello Wam regionale e boa RON La Spezia 6-11/14-11 2010

Che nelle aree costiere, come si può vedere nella figura 21-22 dove si confrontano le simulazioni numeriche del sistema costiero (WAM+SWAN) con le osservazioni su un fondale di 12 m

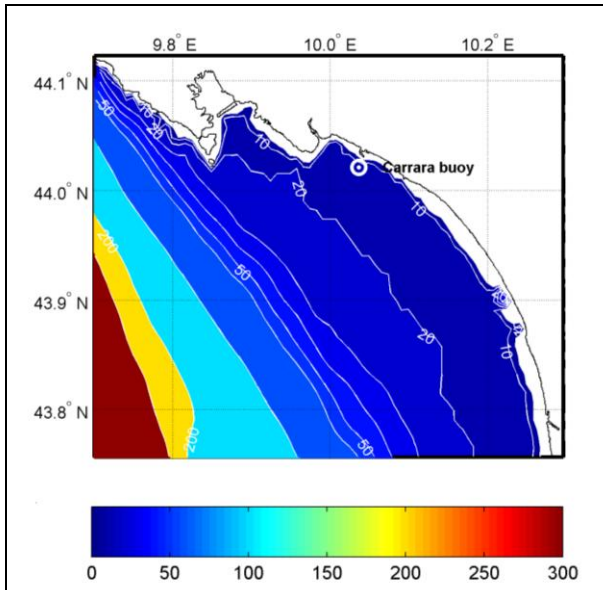


Fig. 21 - batimetria dell'area di Carrara e posizione della boa

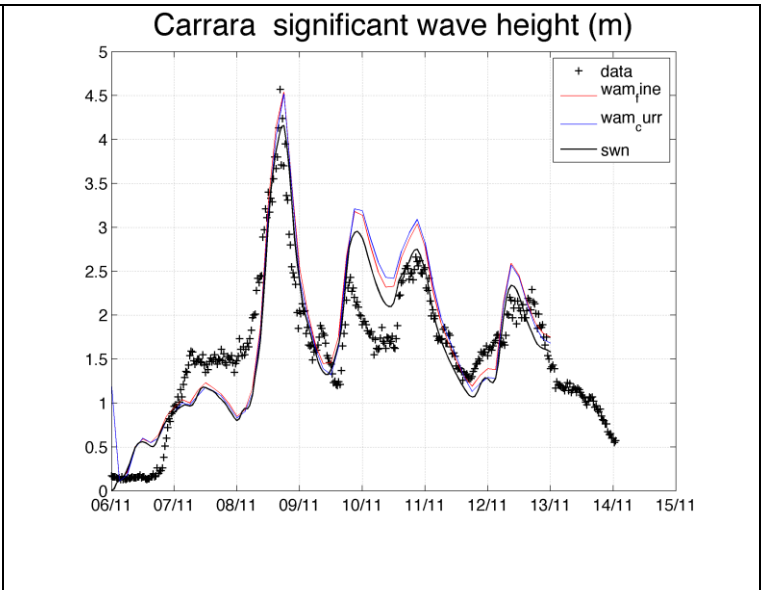


Fig. 22 - confronto modello SWAN costiero e boa Carrara 6-11/14-11 2010



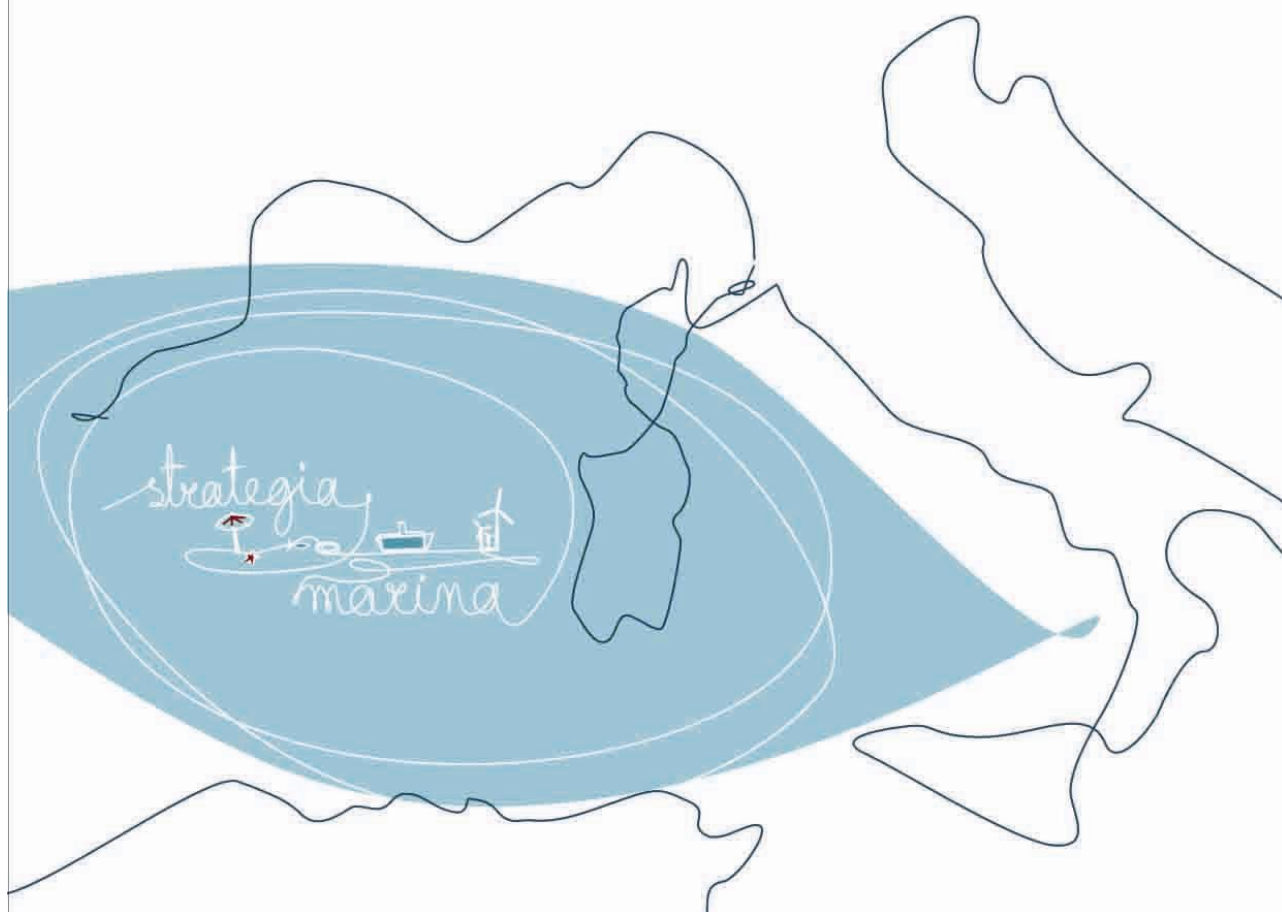
**ISPRA**

Istituto Superiore per la Protezione  
e la Ricerca Ambientale

# STRATEGIA PER L'AMBIENTE MARINO

## Valutazione Iniziale SOTTOREGIONE MEDITERRANEO OCCIDENTALE

### CARATTERISTICHE FISICHE



## 3.1 Caratteristiche fisiche

### 3.1.1 AREA DI VALUTAZIONE

Tutta l'area della sottoregione

#### 3.1.1.1 INFORMAZIONE UTILIZZATA

##### Fisiografia dei fondali e batimetria

*Soggetti detentori di dati individuati:* Univ. degli studi di Roma "La Sapienza e Istituto Idrografico della Marina Militare (IIMM)

##### *Dati e metodi:*

Fisiografia dei fondali: i dati impiegati sono relativi a rilievi effettuati nell'arco degli ultimi venti anni (1992-2012), sono stati acquisiti con scandaglio multifascio (multibeam) dalla quota batimetrica -5m e comprende tutta la piattaforma continentale e la scarpata.

L'informazione descrittiva della fisiografia dei fondali è derivabile dai suddetti rilievi multibeam previa elaborazione ed analisi interpretativa delle variazioni morfologiche, prevista da una specifica convenzione con l'istituto detentore dell'informazione. Parte delle informazioni sarà elaborata entro due mesi dall'attivazione della Convenzione, indicativamente entro il 15 luglio 2012, e la parte restante al termine della convenzione, che tecnicamente non può avere durata inferiore a 12 mesi.

Batimetria: i dati impiegati sono relativi a rilievi effettuati nel corso degli ultimi decenni dall'Istituto Idrografico della Marina Militare, che ha provveduto a rielaborare, uniformare e a mosaicare i rilievi effettuati. I dati sono disponibili per tutta la sottoregione rappresentate con curve batimetriche a quote prestabilite, a partire dalla quota -5m sino alle massime profondità.

L'informazione disponibile, unitamente a dati bibliografici, è sufficiente per l'analisi descrittiva della sottoregione.

##### *Analisi:*

Il mar Ligure, in prossimità della costa della Liguria, presenta una piattaforma continentale molto ristretta, ampia non più di 8 km, e con caratteristiche geomorfologiche che ricalcano quelle della catena montuosa retrostante. La scarpata è solcata da una serie di canyon sottomarini, che confluiscono verso un canyon principale orientato verso SO (mar della Corsica), dove il bacino raggiunge profondità di 2.200 m. I canyon si impostano su linee tettoniche attive; ciò determina spesso l'erosione alla testata e l'incisione della piattaforma continentale fino in prossimità della costa. Questi canyon portano verso le profondità abissali grandi quantità di materiale proveniente dall'erosione delle terre emerse. Spesso il trasporto di questo materiale avviene anche con processi di franamento sottomarino.

Un canyon molto particolare è il canyon di La Spezia, sia per il suo corso netto in direzione est-ovest, sia perché attraversa e incide fortemente la piattaforma che da qui verso sud diventa più estesa.

La parte orientale del mar Ligure, antistante le coste della Toscana settentrionale, è più articolata, con una piattaforma continentale più estesa e movimentata da una serie di alti che talvolta arrivano ad emergere e a formare le numerose isole dell'arcipelago toscano. Anche la parte superiore della scarpata continentale, poco acclive, è articolata in una serie di dorsali che seguono l'andamento della linea di costa. Attorno ai -800 m di profondità un rottura di pendio delimita la parte inferiore della scarpata, molto acclive e solcata da un serie fitta di incisioni che arrivano, parallele e con direzione est-ovest, direttamente nell'area bacinale.

La parte settentrionale del Tirreno è caratterizzata da una estesa piattaforma continentale, che protende dalla costa peninsulare sino alle isole dell'arcipelago toscano (dorsale dell'Elba) ed è delimitata ad ovest dal bacino Corso, orientato N-S.

Il Tirreno centro-meridionale è caratterizzato da un'ampia zona batiale che raggiunge elevate profondità, sino a circa -4000 m, suddivisa in due sottobacini (Vavilov e Marsili). Sono presenti numerosi edifici vulcanici sottomarini: il Monte Marsili, il più grande apparato vulcanico del Mediterraneo, formatosi nel corso degli ultimi 700.000 anni; ha un diametro di oltre 50 km, ed è alto 3.265 m, con la sommità che giunge a 540 m dalla superficie del mare. Attorno ad esso si elevano altri vulcani "satelliti", dalle dimensioni ragguardevoli come Alcione e Lametini, grandi quanto l'isola di Vulcano. Tra Sardegna e Lazio si trovano altri vulcani sommersi di grandi dimensioni, come Magnaghi e Vavilov. Alcuni di questi vulcani sono emersi nella parte apicale (isole Eolie, Isola di Ustica).

Tra queste zone batiali e la piattaforma continentale, la scarpata continentale, piuttosto estesa, è interrotta da una serie di caratteristici bacini sedimentari di origine tettonica (bacini: Sardo, di Cornaglia, di Cefalù, di Gioia, di Paola) ed è interessata da fenomeni di instabilità.

La scarpata è inoltre solcata da importanti canyon: nella parte occidentale i canyon di Orosei, di Sarrabus, di Posada confluiscono nella valle Sarda e nella parte sud-occidentale i canyon di Paola, dell'Angitola, di Gioia, di Milazzo, di Niceto: tutti afferenti alla più profonda valle di Stromboli.

La piattaforma continentale peritirrenica è di ampiezza variabile; piuttosto estesa nella parte nord-orientale antistante le coste tosco-laziali, mediamente estesa in corrispondenza delle coste campane, sicule e sarde, fino ad assottigliarsi sensibilmente lungo le coste calabre. Si protende verso il bacino in corrispondenza delle principali isole tirreniche occidentali (arcipelago Campano, isole Pontine) e del promontorio del Cilento.

Il mar Tirreno comunica con gli altri bacini attraverso 4 passaggi: un canale profondo 300-400 m lo mette in comunicazione con il Mar Ligure, un ampio canale profondo 2.000 m tra Sicilia e Sardegna lo collega al bacino algerino, lo Stretto di Bonifacio (profondo al massimo 50 m) lo collega al bacino provenzale e infine lo Stretto di Messina è il collegamento (profondo 100 m) con il Mar Ionio.

## **Temperatura superficiale (SST)**

I dati satellitari di SST skin si riferiscono alla sottoregione Mar Mediterraneo occidentale

### *Soggetti detentori di dati individuati:*

1. Progetto MARCOAST. Il progetto MARCOAST (Marine and Coastal Environment Information Services) realizzato nell'ambito del programma GMES Service Elements dell'ESA, Agenzia Spaziale Europea, e sviluppato da Planetek, ha lo scopo di fornire servizi di monitoraggio marino-costiero ad una utenza PanEuropea. L'ISPRA all'interno del suddetto Progetto ha la funzione di End User.
2. CNR-ISAC Gruppo Oceanografia da Satellite (GOS).

### *Dati e metodi:*

1. L'arco temporale dei dati acquisiti fino ad ora va dal 2007 al 2011. I data set si riferiscono ai dati satellitari collezionati dal sensore termico NOAA-AVHRR ad 1.1 km di risoluzione spaziale. I dati sono stati mediati su base mensile. I dati satellitari fin qui analizzati sono stati collezionati dal Progetto MARCOAST (<http://marcoast.planetek.it/>) ma provengono originariamente dagli archivi EOWEB (<http://eoweb.dlr.de:8080/data-service>). I dati Marcoast sono presenti dal 2006 ad oggi (Ceriola et al., 2009). Essi sono ancora in fase di elaborazione e verranno elaborati entro il 15 ottobre 2012.
2. Riguardo ai dati presenti negli archivi del CNR-ISAC, questi sono dati di SST skin multisensore ovvero collezionati da più di un sensore termico (es. NOAA-AVHRR, SEVIRI, ecc.) e verranno elaborati su una griglia spaziale di 1/16° ovvero 7 km al fine di poterli sovrapporre con i dati correntometrici alla stessa risoluzione spaziale. Gli stessi coprono l'arco temporale dal 01.07.2006

al 31.12.2011. I dati CNR-ISAC sono ancora in fase di elaborazione e verranno elaborati entro il 15 ottobre 2012.

#### *Analisi:*

qualitativa preliminare della SST skin

L'analisi qualitativa preliminare si riferisce solo al dataset relativo al Programma di ricerca MARCOAST (Fig. 1-5). Di seguito l'andamento generale della SST skin relativo agli anni 2007-2011.

#### Inverno

L'analisi qualitative effettuata sui dati di SST skin relativamente alla subregion tirrenica mostra un gradiente nord-sud che è il risultato della differente insolazione e delle severe condizioni metereologiche tipiche della parte settentrionale del Mediterraneo occidentale (Santoleri *et al.*, 1994). Alla latitudine del Tirreno meridionale si riscontrano acque termicamente più omogenee. Questo si traduce nelle temperature più fredde riscontrate nella parte occidentale del Mar Ligure ed nel Tirreno centrale a largo delle Bocche di Bonifacio. Quest'ultimo viene denominato il "Cold Thyrrenian Eddy" ovvero il vortice freddo tirrenico il cui centro è vicino allo stretto di Bonifacio e permette la fuoriuscita di una parte delle acque tirreniche verso il Mar Ligure (Astraldi, 1994).

#### Primavera

La stagione primaverile mostra un indebolimento del gradiente di SST skin rilevato in inverno , il gradiente si sposta nel Tirreno meridionale dove è visibile un gradiente di SST skin est-ovest. L'eddy freddo tirrenico è visibile ancora in aprile come patch più freddo ad est di Bonifacio.

#### Estate

La stagione estiva è quella che presenta il più marcato gradiente di SST skin, la struttura a larga scala è dominata da numerose celle, la più grande delle quali si trova nel Mar Ligure . Nel Tirreno si identifica uno stretto gradiente di SST skin che indicano la chiusura del bacino lungo la linea di connessione tra la Sardegna e la Sicilia (Santoleri *et al.*, 1994). Inoltre nel bacino tirrenico possono ancora essere osservate due celle principali che sono il vortice freddo tirrenico e ad est delle Bocche di Bonifacio ed una cella calda a sud-est.

#### Autunno

La stagione autunnale è una stagione di transizione e nel Mar Ligure è sempre presente la cella fredda nella parte occidentale del Mar Ligure. Nel Tirreno si nota l'apertura a sud vicino alla Sicilia e si nota anche come il vortice freddo tirrenico raggiunga in questo periodo la sua massima estensione zonale. Inoltre è visibile un fronte termico tirrenico che divide le acque relativamente omogenee del Tirreno centrale da quelle del vortice freddo tirrenico più a nord.

#### Variazione interannuali

L'analisi delle variazioni interannuali è ancora in via di elaborazione e verrà completata per il 15.10.2012. Ad un'analisi preliminare durante i mesi invernali relativi al 2008, 2009 e 2010 si assiste ad un raffreddamento ed ampliamento del vortice freddo tirrenico e della cella localizzata nella parte settentrionale del Mediterraneo occidentale ovvero Mar Ligure. Nella stagione estiva gli anni più caldi sono risultati il 2009,2010 e 2011.

## **SST skin 2007**

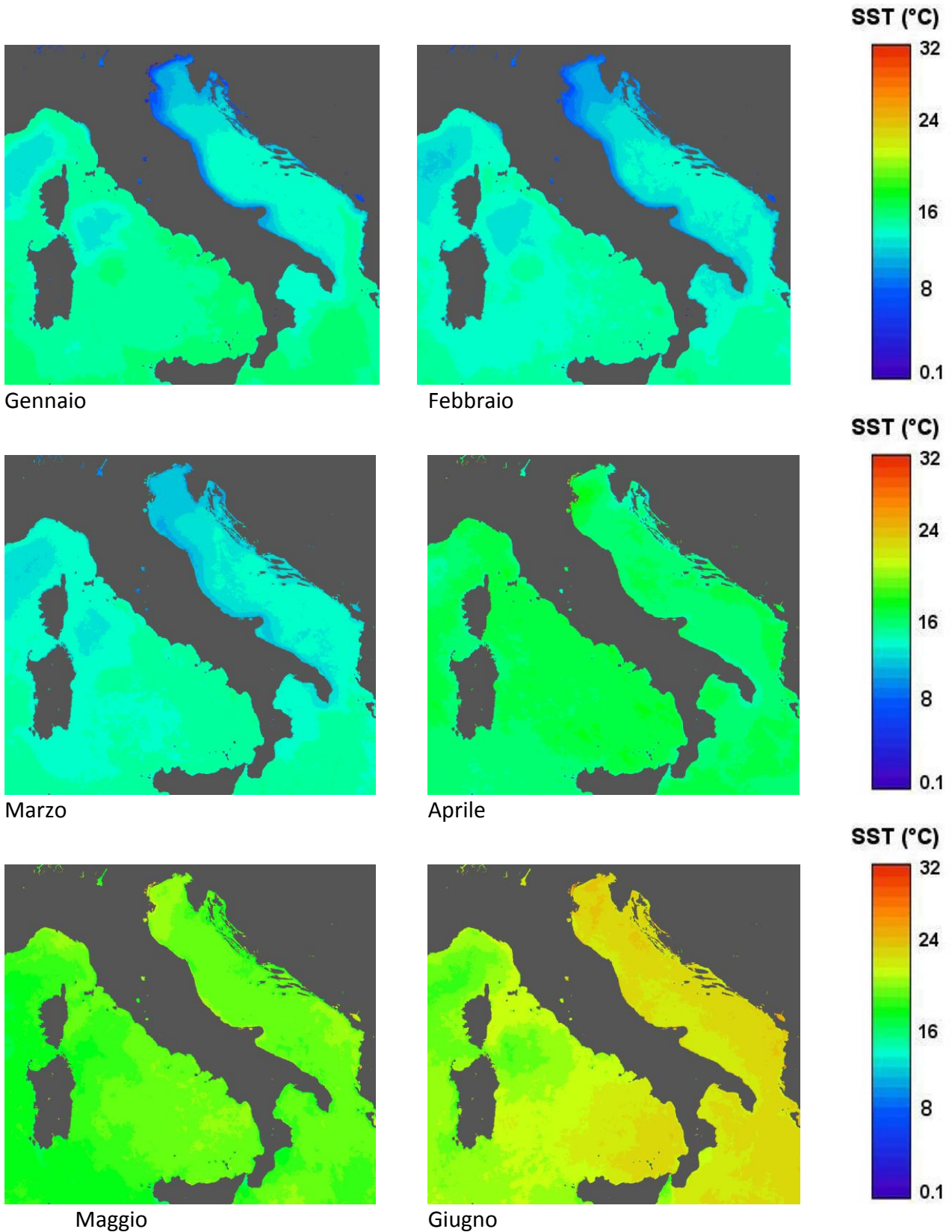
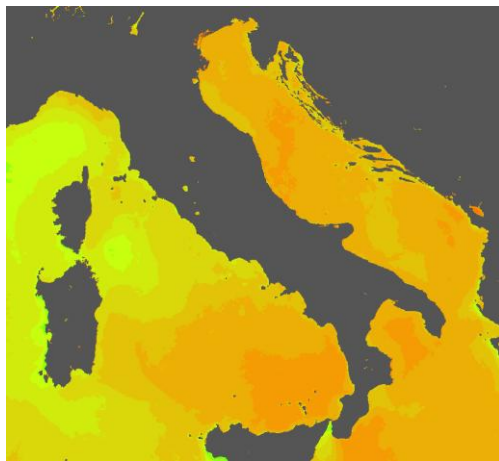
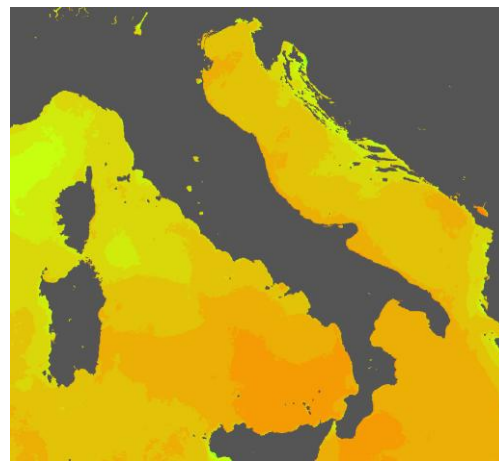


Fig.1 SST skin nelle tre sottoregioni per l'anno 2007.

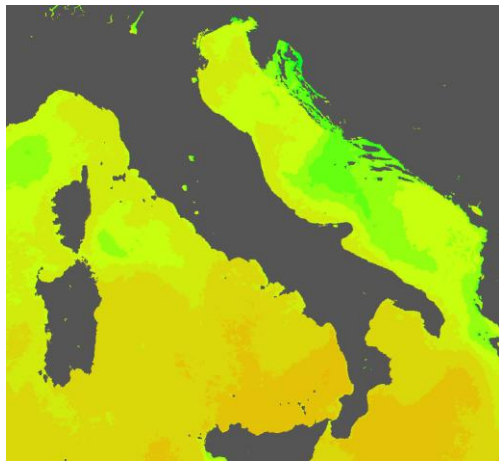
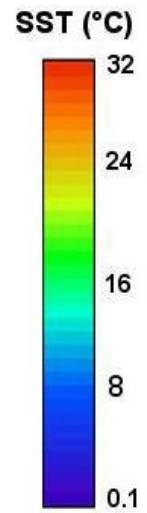
## SST skin 2007



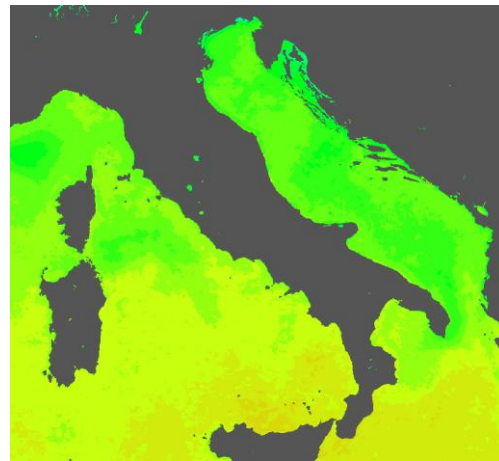
Luglio



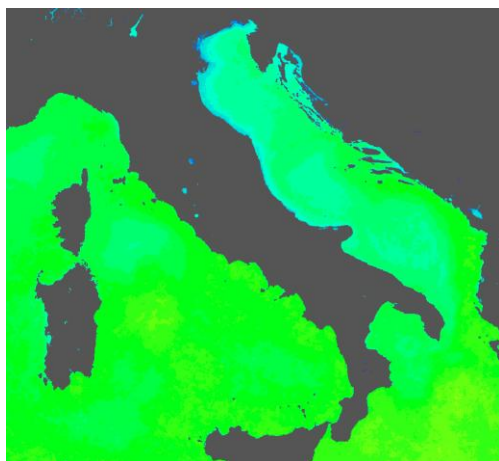
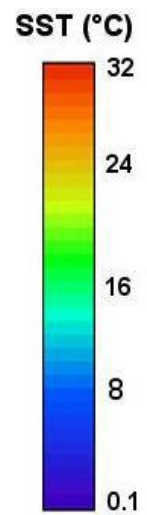
Agosto



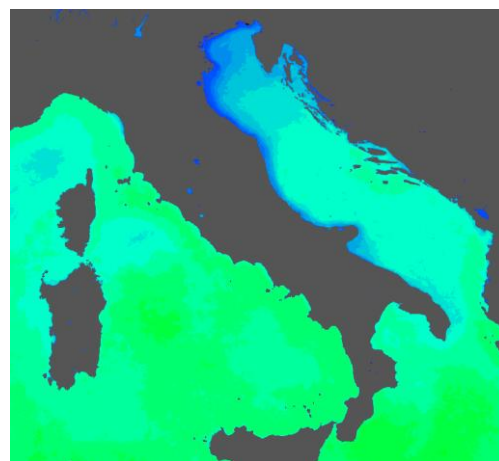
Settembre



Ottobre



Novembre



Dicembre

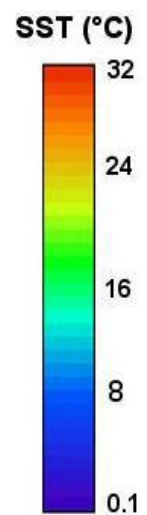


Fig.1 (cont.) SST skin nelle tre sottoregioni per l'anno 2007.

## SST skin 2008



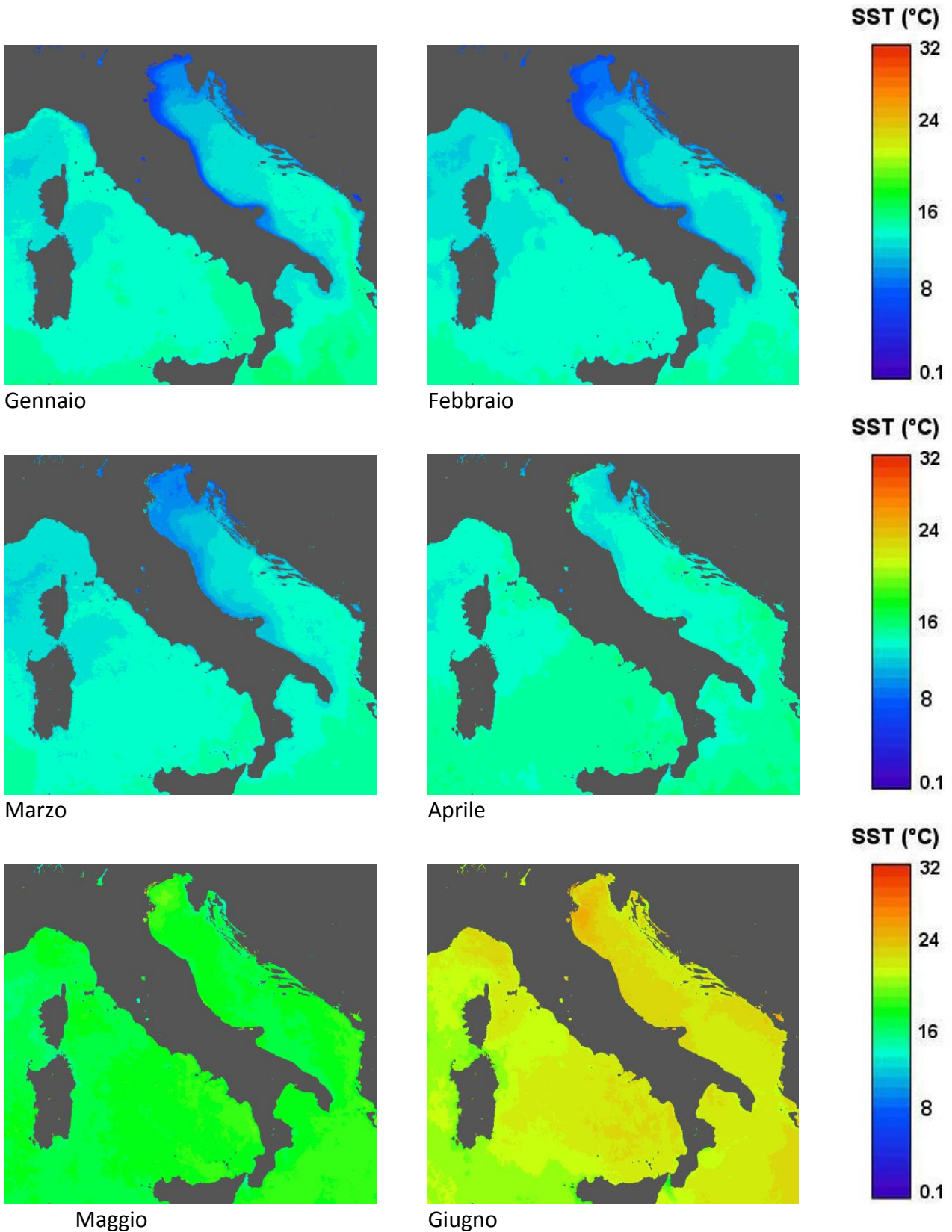


Fig.2 SST skin nelle tre sottoregioni per l'anno 2008.

## SST skin 2008

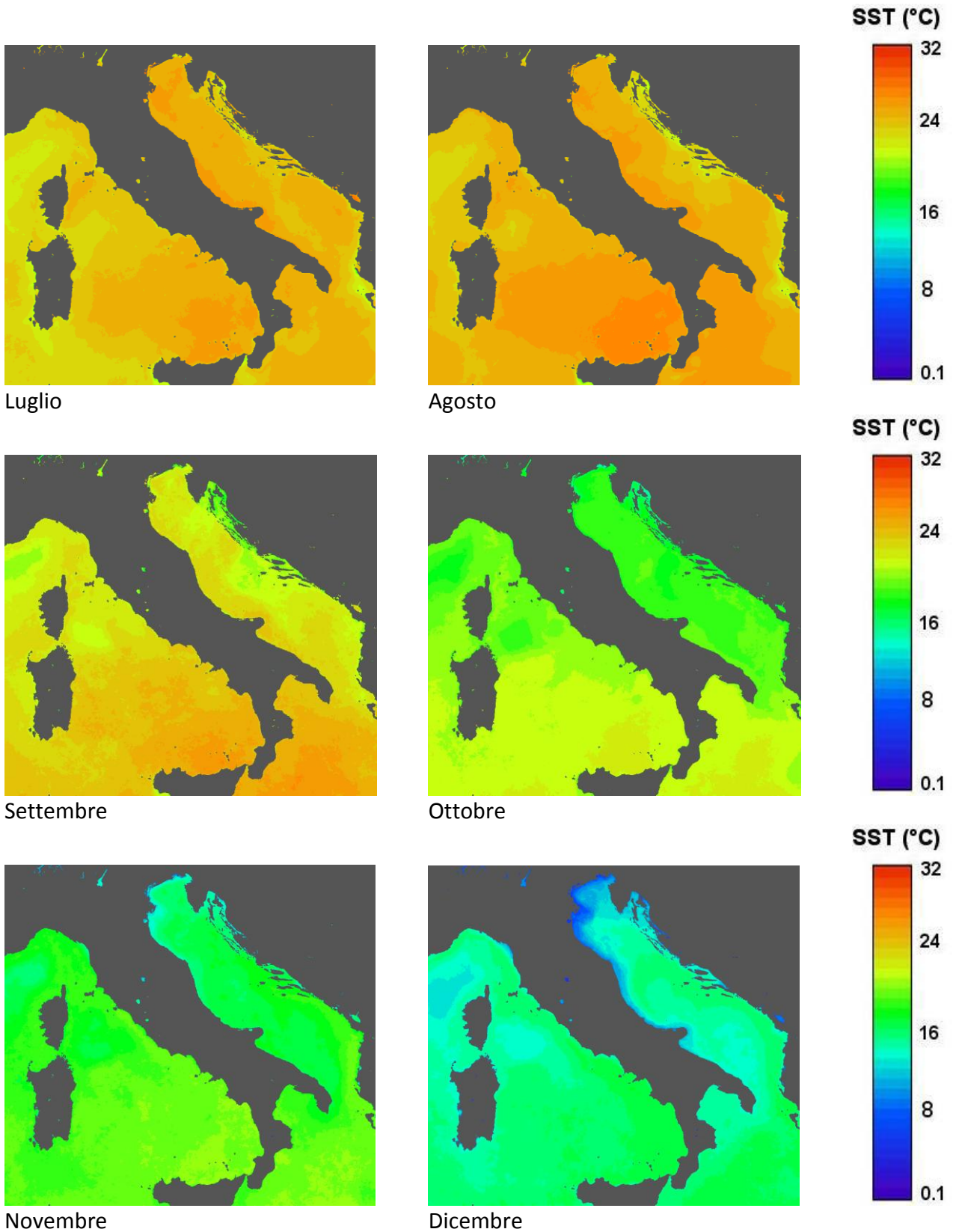


Fig.2 (cont.) SST skin nelle tre sottoregioni per l'anno 2008.

## SST skin 2009

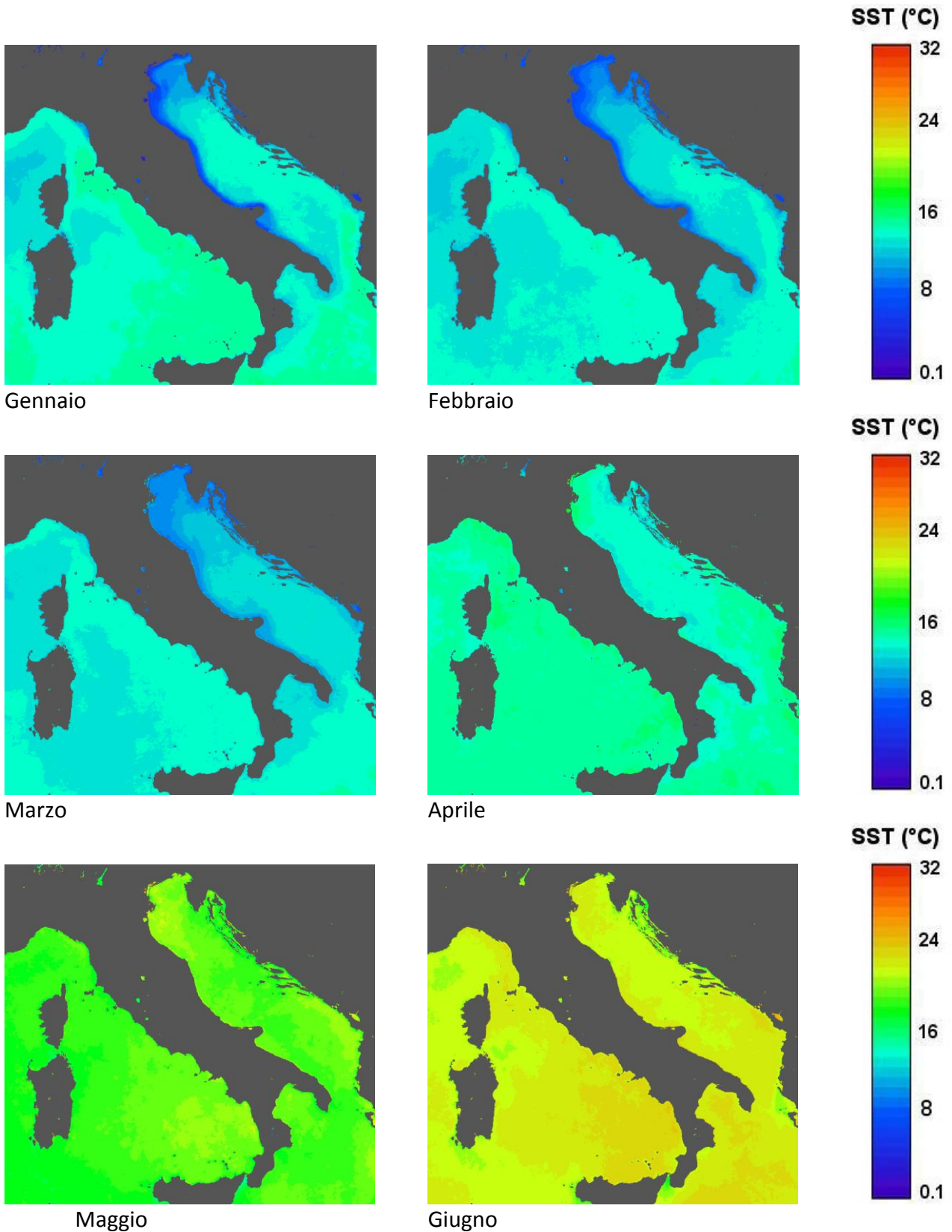
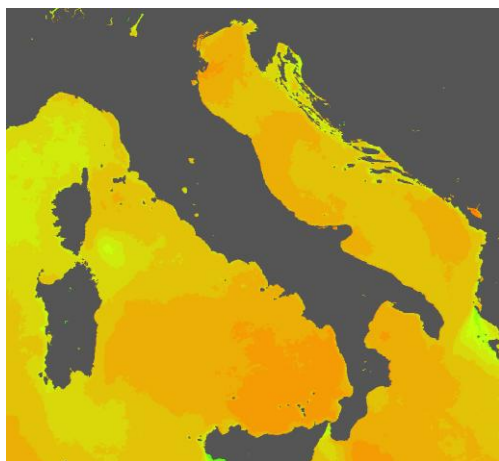


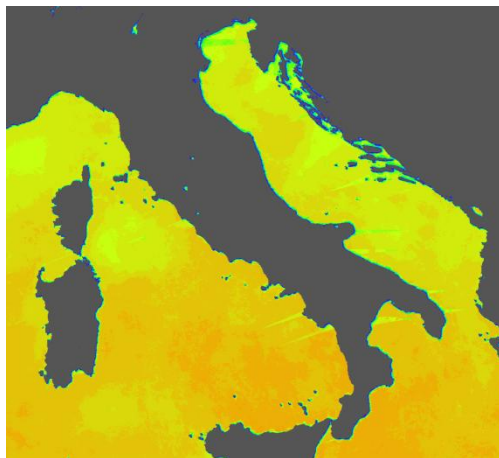
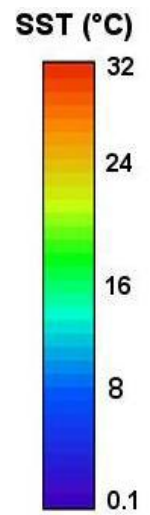
Fig.3 SST skin nelle tre sottoregioni per l'anno 2009.

## SST skin 2009

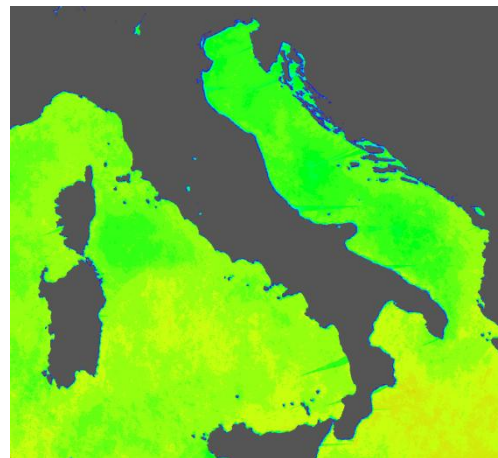


Luglio

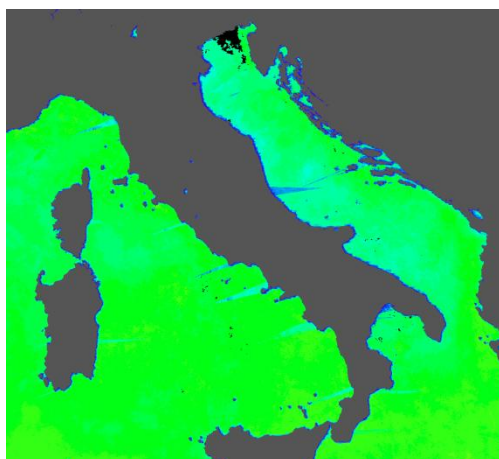
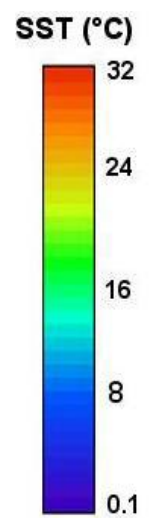
Agosto



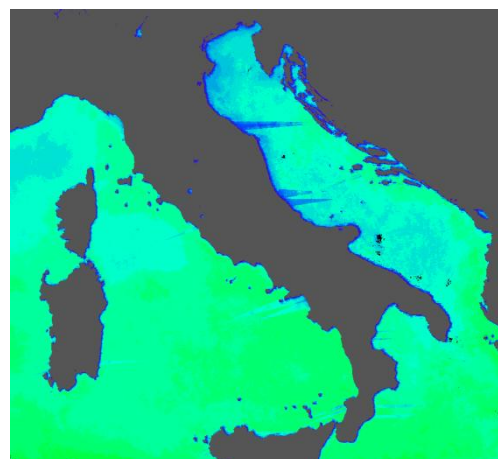
Settembre



Ottobre



Novembre



Dicembre

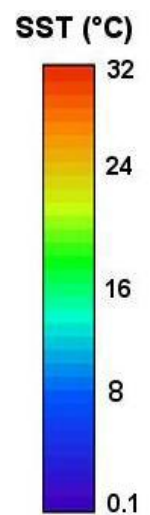


Fig.3 (cont.) SST skin nelle tre sottoregioni per l'anno 2009.

## SST skin 2010

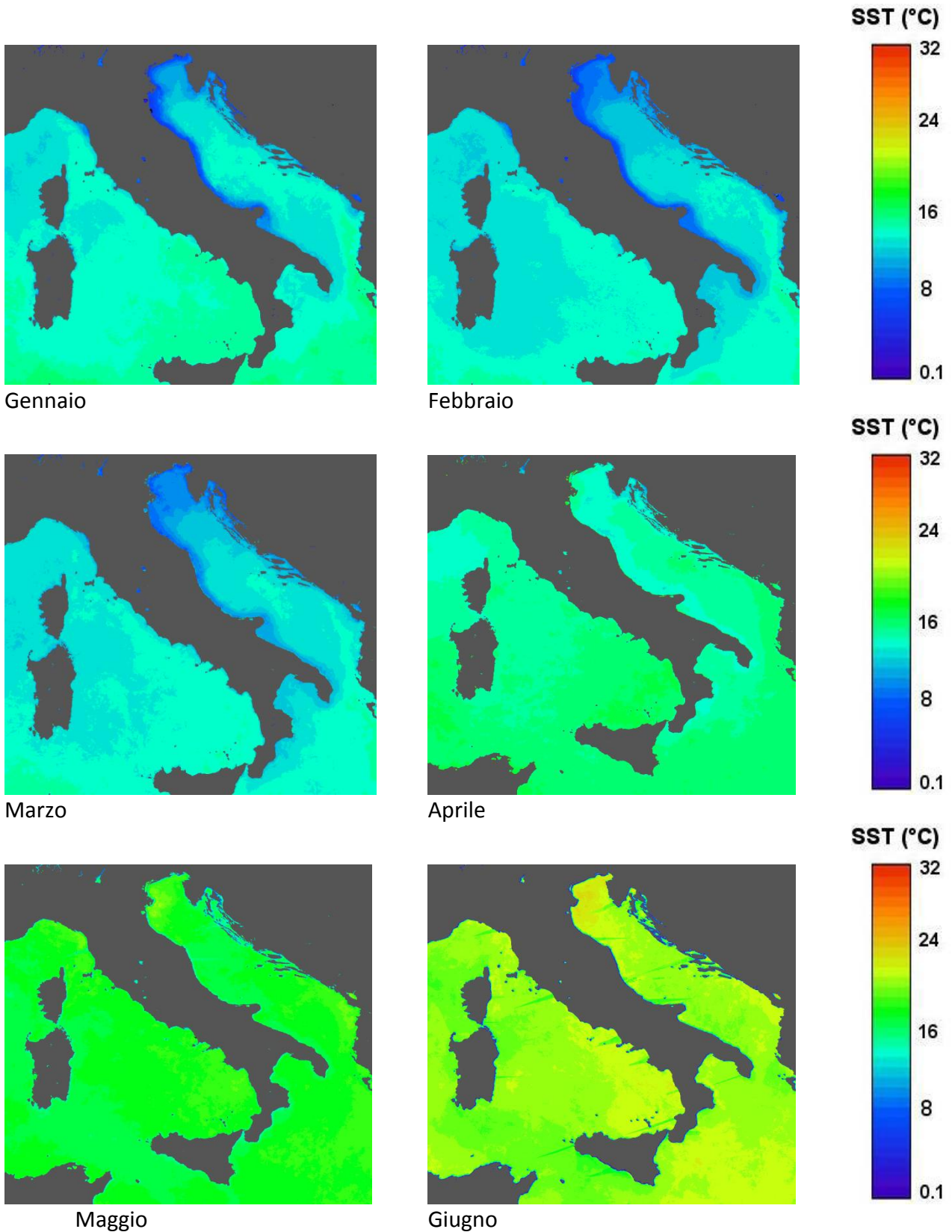


Fig.4 SST skin nelle tre sottoregioni per l'anno 2010.

## SST skin 2010

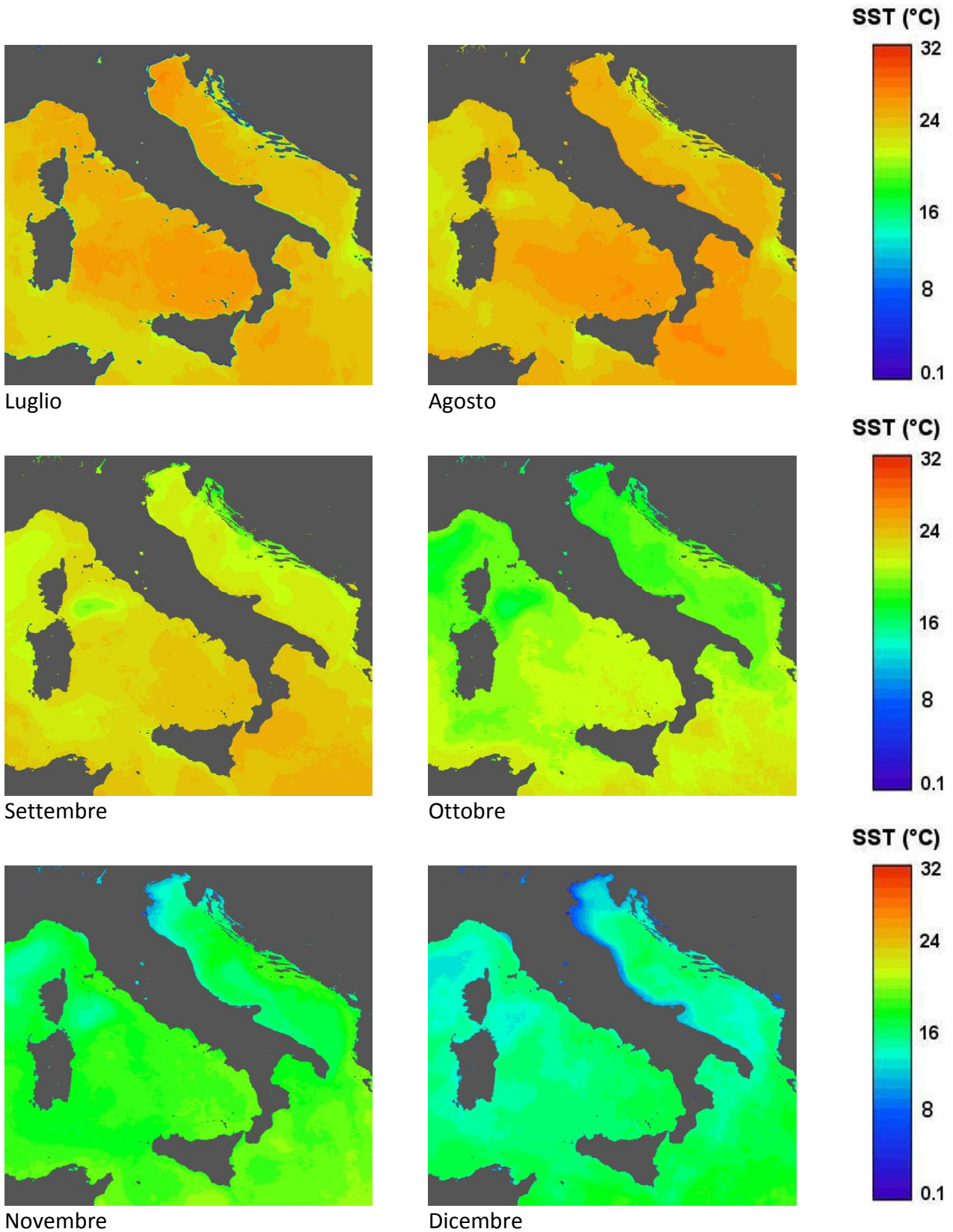


Fig.4 (cont.) SST skin nelle tre sottoregioni per l'anno 2010.

## SST skin 2011

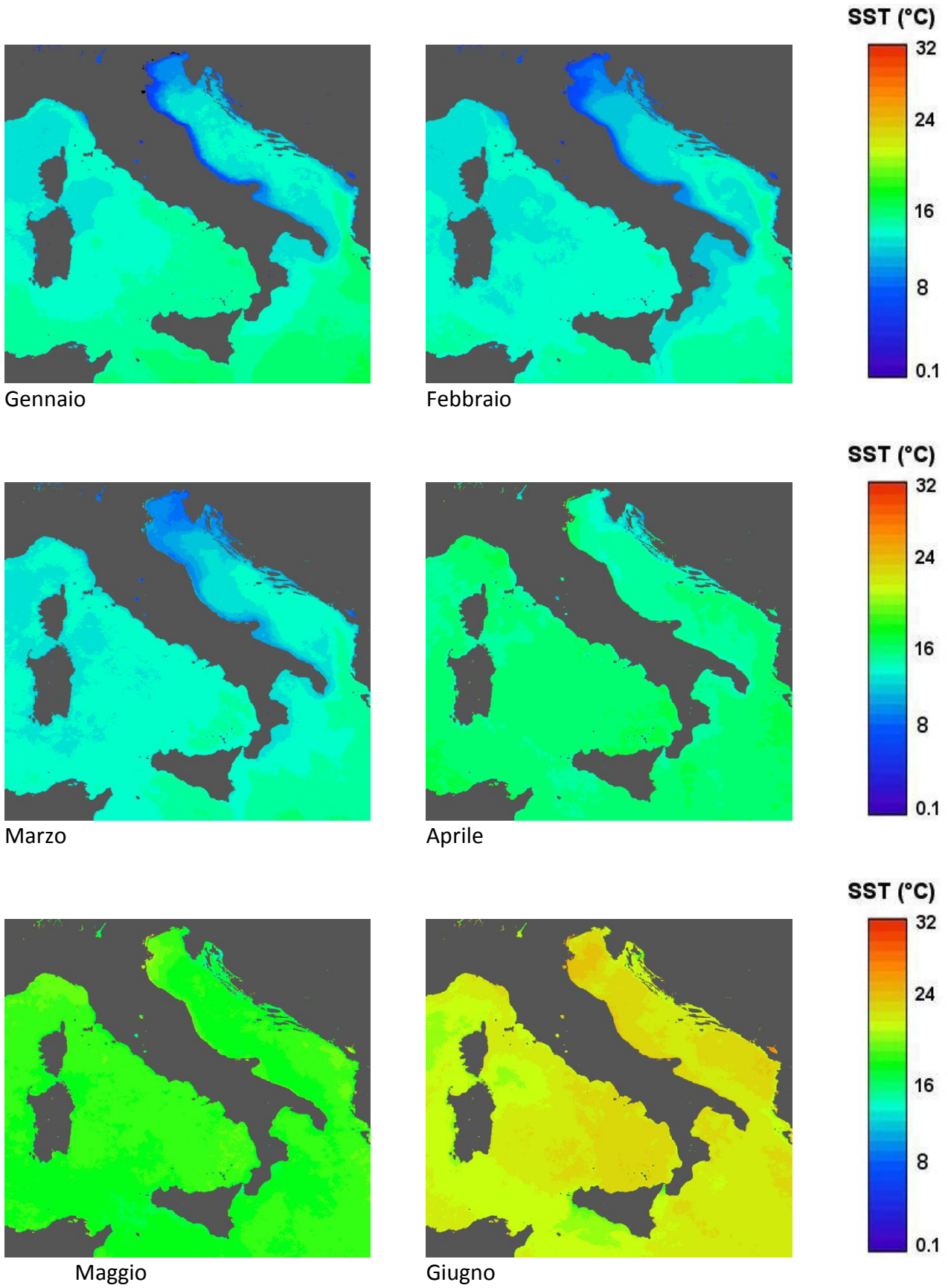


Fig.5 SST skin nelle tre sottoregioni per l'anno 2011.

### SST skin 2011

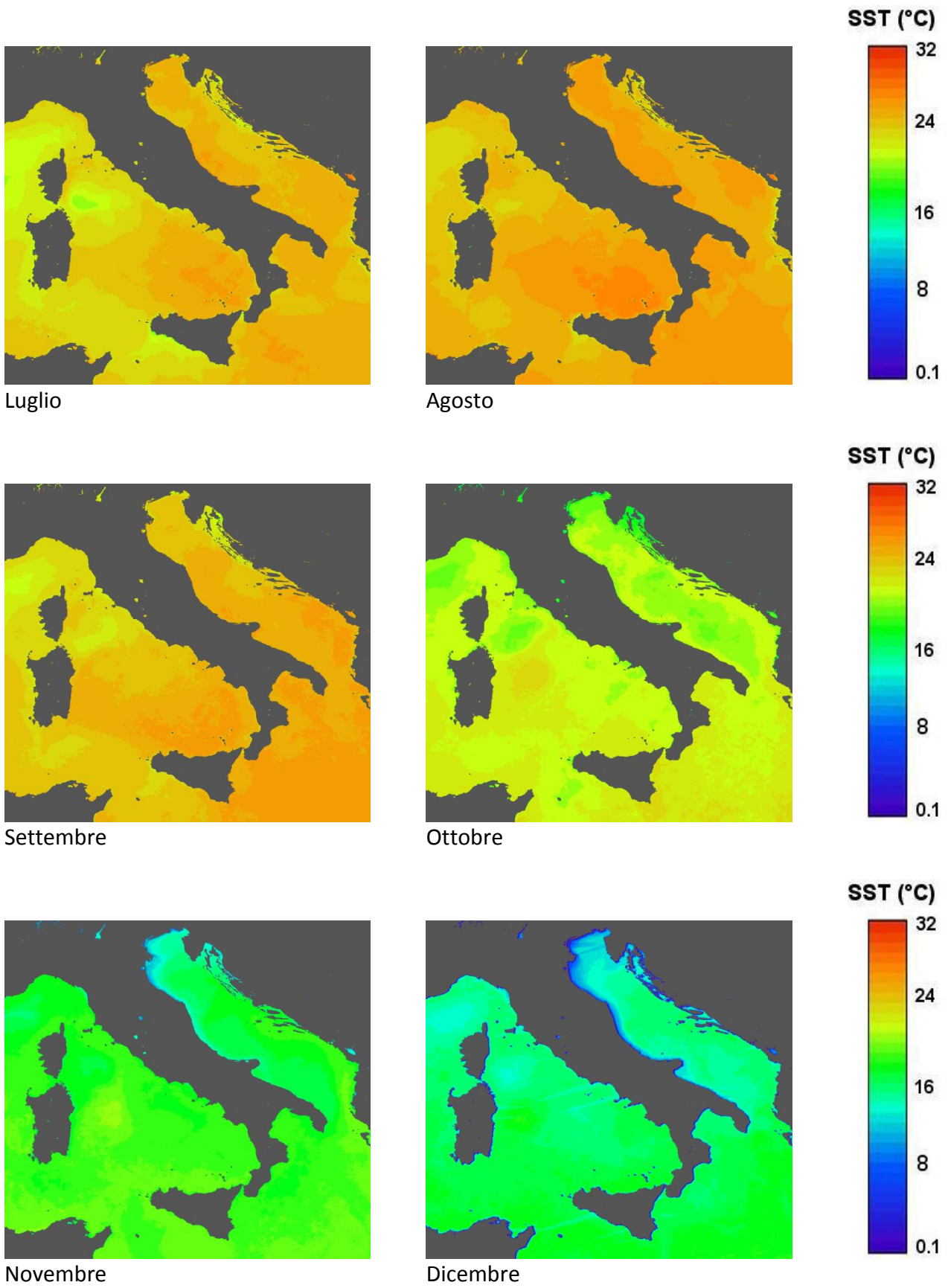


Fig.5 (cont.) SST skin nelle tre sottoregioni per l'anno 2011.



## Temperatura del fondo marino<sup>1</sup>

### Soggetti detentori di dati individuati:

3. Dati campagne oceanografiche effettuate dall'ENEA e dal CNR forniti dal Presidente della COI (Dr. Giuseppe Manzella);
2. Progetti Europei MyOcean e MyOcean2.

### Dati e metodi:

1. Riguardo ai dati delle campagne oceanografiche ENEA-CNR (Fig. 1-3) questi sono dati collezionati con le sonde multiparametriche (sonda SEABIRD900 CTD) su tutta la colonna d'acqua dal Mar Ionio allo Stretto di Gibilterra e validati mediante il controllo di qualità basato sui protocolli originali MEDATLAS (MGMR Software versione 2010.01 utilizzando l'ETOPO1 (Batimetria) ed i valori di confine regionali. I dati di temperatura al fondo sono stati spazializzati su una griglia di 0.5° x 0.5° (55-60 km) e ad una risoluzione verticale di 10 m. Tali dati sono stati mediati su base stagionale. L'arco temporale dei dati acquisiti dalle campagne oceanografiche suddette va da gennaio 2006 a dicembre 2011.
2. Il Progetto My Ocean fornisce dati di temperatura lungo tutta la colonna d'acqua per il periodo 2001 - 2010 forniti dal modello numerico per il Mar Mediterraneo del progetto MyOcean su grigliato regolare con passo di griglia 1/16 di grado (sia per latitudine che per longitudine). Tali dati della temperatura consistono in medie mensili su 72 livelli di profondità.

I dati sono in via di elaborazione e verranno analizzati entro il 15 ottobre 2012. I dati collezionati dall'ENEA e dal CNR devono essere riportati su un sistema GIS e devono essere analizzati su base spaziale per le tre sottoregioni.

I dati relativi al Programma MyOcean sono stati acquisiti ma devono essere ancora analizzati.

---

### <sup>1</sup> Bibliografia:

- Brasseur P., J.M. Beckers, J.M. Brankart, R. Schoenauen, 1996. Seasonal temperature and salinity fields in the Mediterranean Sea: Climatological analyses of a historical data set. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, 43 (2): 159-192
- Flos J., 1985. The driving machine. In Margalef R.(ed.) *Western Mediterranean*, Pergamon Press, Oxford: 60-99.
- Danovaro R., Dell'Anno A., Fabiano M., Pusceddu A., Tselepidis A., 2001. Deep-sea ecosystem response to climate changes: the eastern Mediterranean case study. *Trends in Ecology and Evolution*, 16 (9):505-510.
- D'Ortenzio F., Iudicone D., de Boyer Montegut C., Testor P., Antoine D., Marullo S., Santoleri R. and Madec G., 2005. Seasonal variability of the mixed layer depth in the Mediterranean Sea as derived from in situ profiles. *Geophysical Research Letters*, 32 (L12605, doi:10.1029/2005GL022463).
- Manzella G. M.R., Gasparini G.P., Astraldi M., 1988. Water exchange between the eastern and western Mediterranean through the strait of Sicily. *Deep Sea Research Part A. Oceanographic Research Papers*, 35 (6): 1021-1035.
- Rixen M., Beckers J., Levitus S., Antonov J., Boyer T., Maillard C., Fichaut M., Balopoulos E., Iona S., Dooley H, Garcia M, Manca B, Giorgetti A, Manzella G, Mikhailov N., Pinardi N., Zavatarelli M., 2005. The Western Mediterranean Deep Water: A proxy for climate change - art. no. L12608. *Geophysical Research Letters*, 32(12): 47-50.
- [Roether W.](#), [B. B. Manca](#), [B. Klein](#), [D. Bregant](#), [Georgopoulos D.](#), [Beitzel V.](#), [Kovačević V.](#), [Luchetta A.](#), 1996. Recent Changes in Eastern Mediterranean Deep Waters. *Science*, 271 (5247):333-335.
- Sawyer Hopkins T., 1985. Physics of the Sea. In Margalef R.(ed.) *Western Mediterranean*, Pergamon Press, Oxford: 60-99.

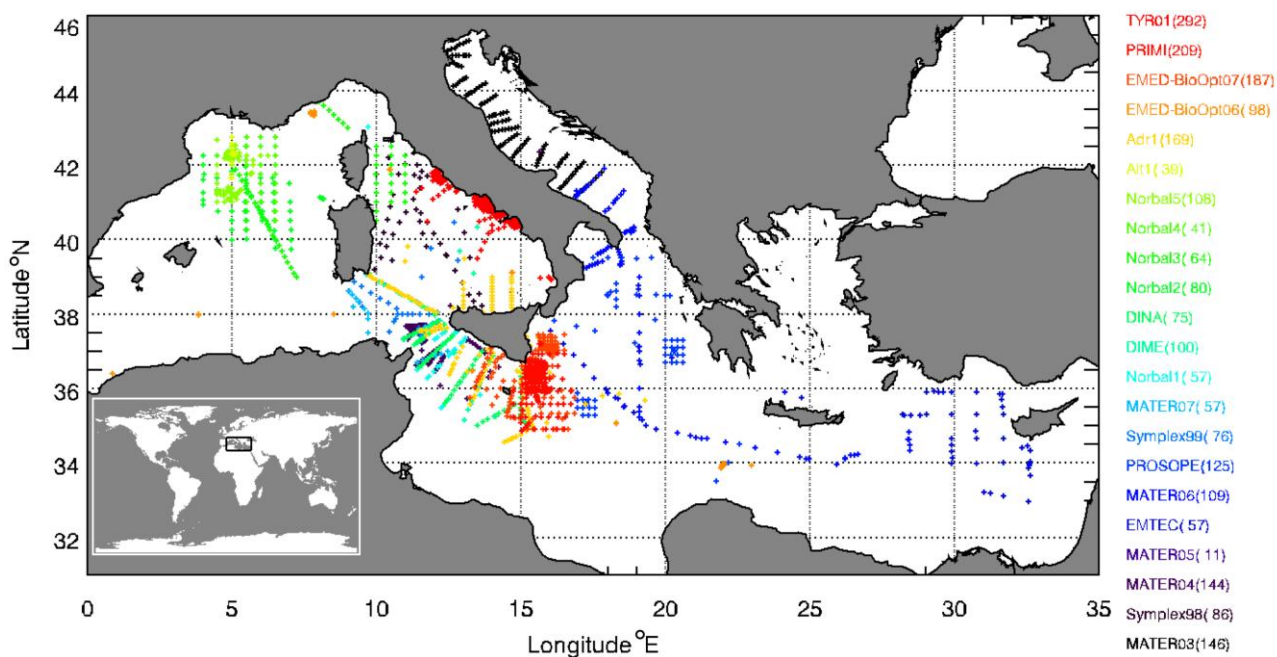


Fig. 1 Campagne oceanografiche condotte dal gennaio 2006 a dicembre 2011 dal CNR-ISAC.

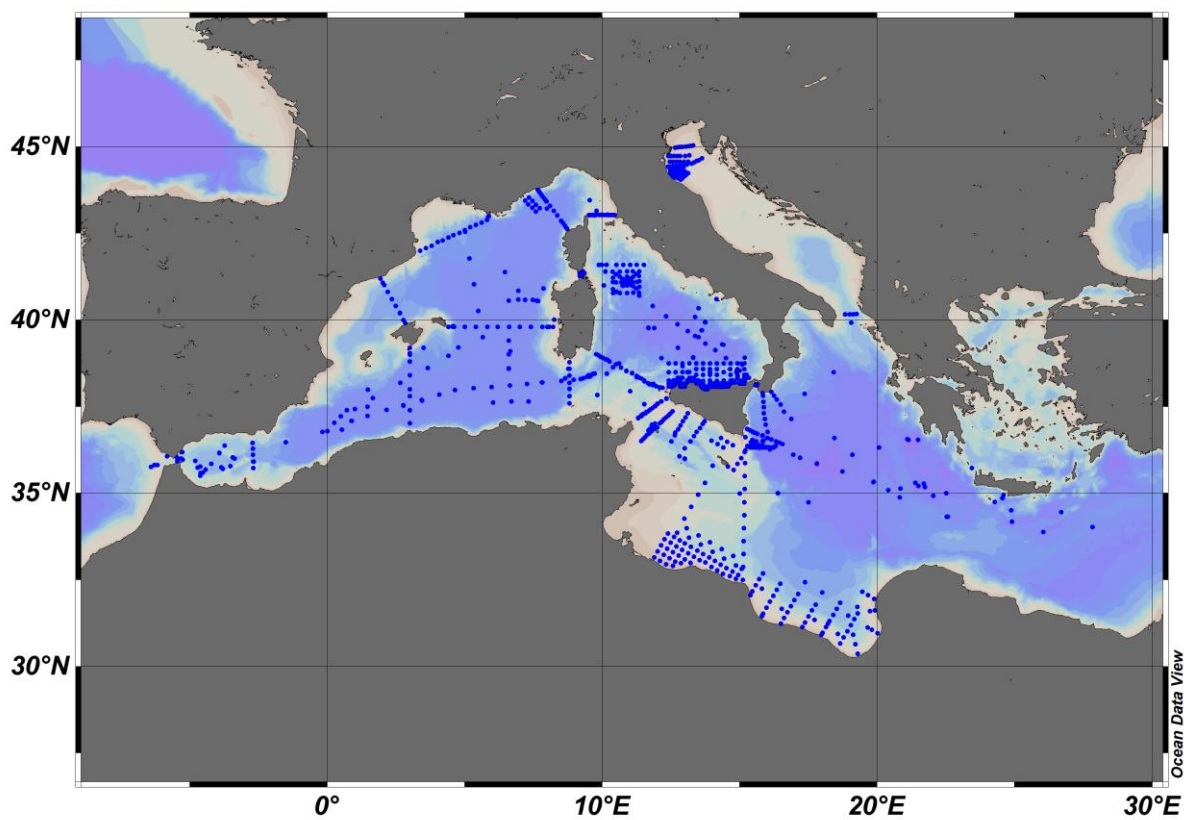


Fig. 2 Campagne oceanografiche condotte dal gennaio 2006 a dicembre 2011 dal CNR-ISMAR.

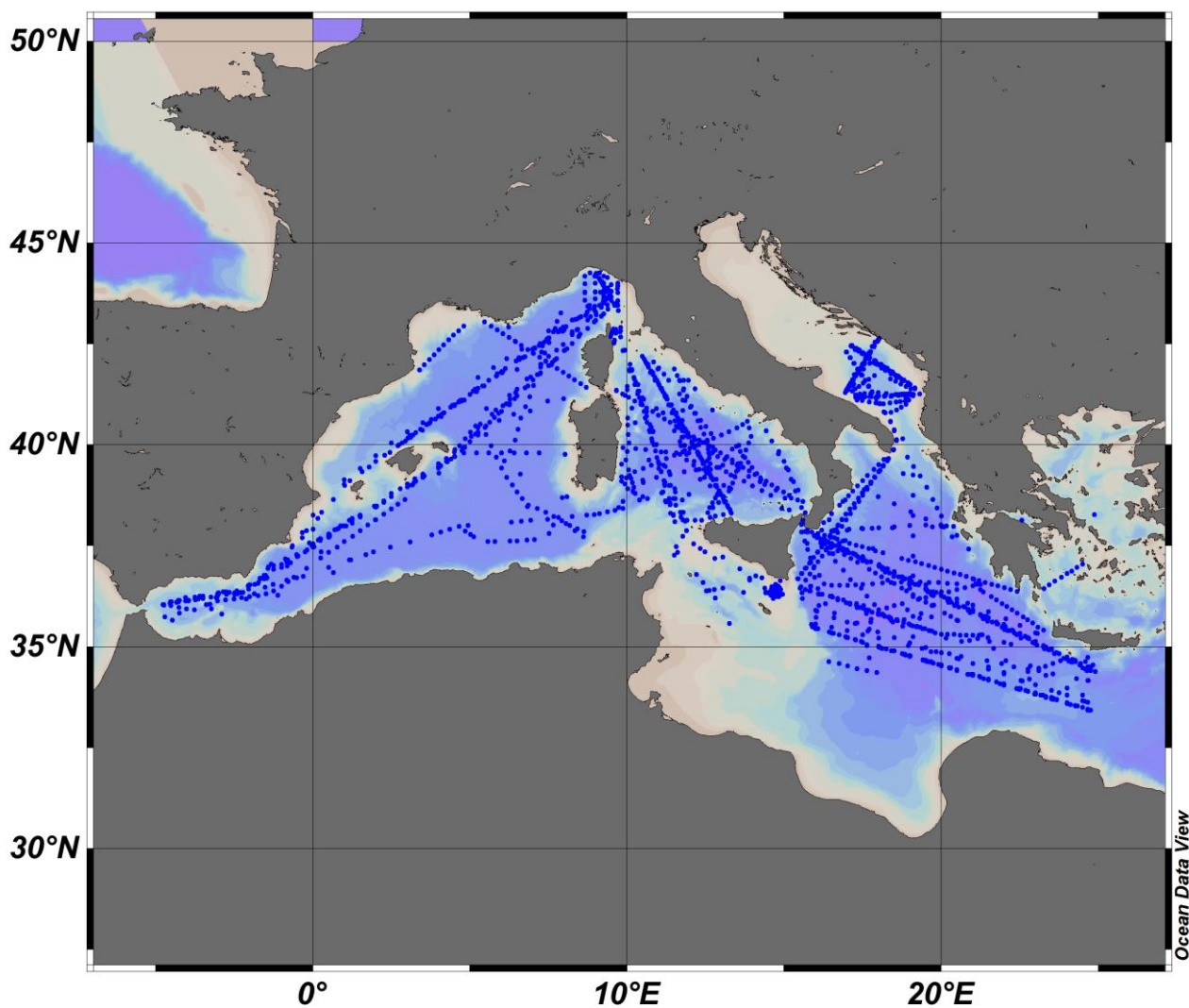


Fig. 3 Campagne oceanografiche condotte dal gennaio 2006 a dicembre 2011 dall'ENEA\_OO.

*Analisi:*  
In fase di studio.

## Salinità<sup>2</sup>

### *Soggetti detentori di dati individuati:*

Progetti Europei MyOcean e MyOcean2;

### *Dati e metodi:*

Sono stati utilizzati i dati di ri-analisi per il periodo 2001 - 2010 forniti dal modello numerico per il Mar Mediterraneo del progetto MyOcean su grigliato regolare con passo di griglia 1/16 di grado (sia per latitudine che per longitudine). Tali dati di salinità consistono in medie mensili su 72 livelli di profondità. Sono stati raggruppati per stagione e per anno al fine di determinare in ogni punto di griglia le medie stagionali e annuali sulla superficie libera. Verranno inoltre valutati i trend spaziali e temporali e stimati i trend futuri.

### *Analisi:*

A titolo dimostrativo i risultati vengono analizzati attraverso la realizzazione di mappe dei valori di salinità sulla superficie libera. In esse sono rappresentate sia le medie annuali che le medie stagionali. Attraverso di esse è possibile caratterizzare i valori di salinità della sottoregione e valutare la presenza di eventuali trend temporali e la distribuzione spaziale. A titolo di esempio, si riportano 5 mappe rappresentanti il valore medio di salinità nei 10 anni analizzati e i valori medi relativi alle singole stagioni.

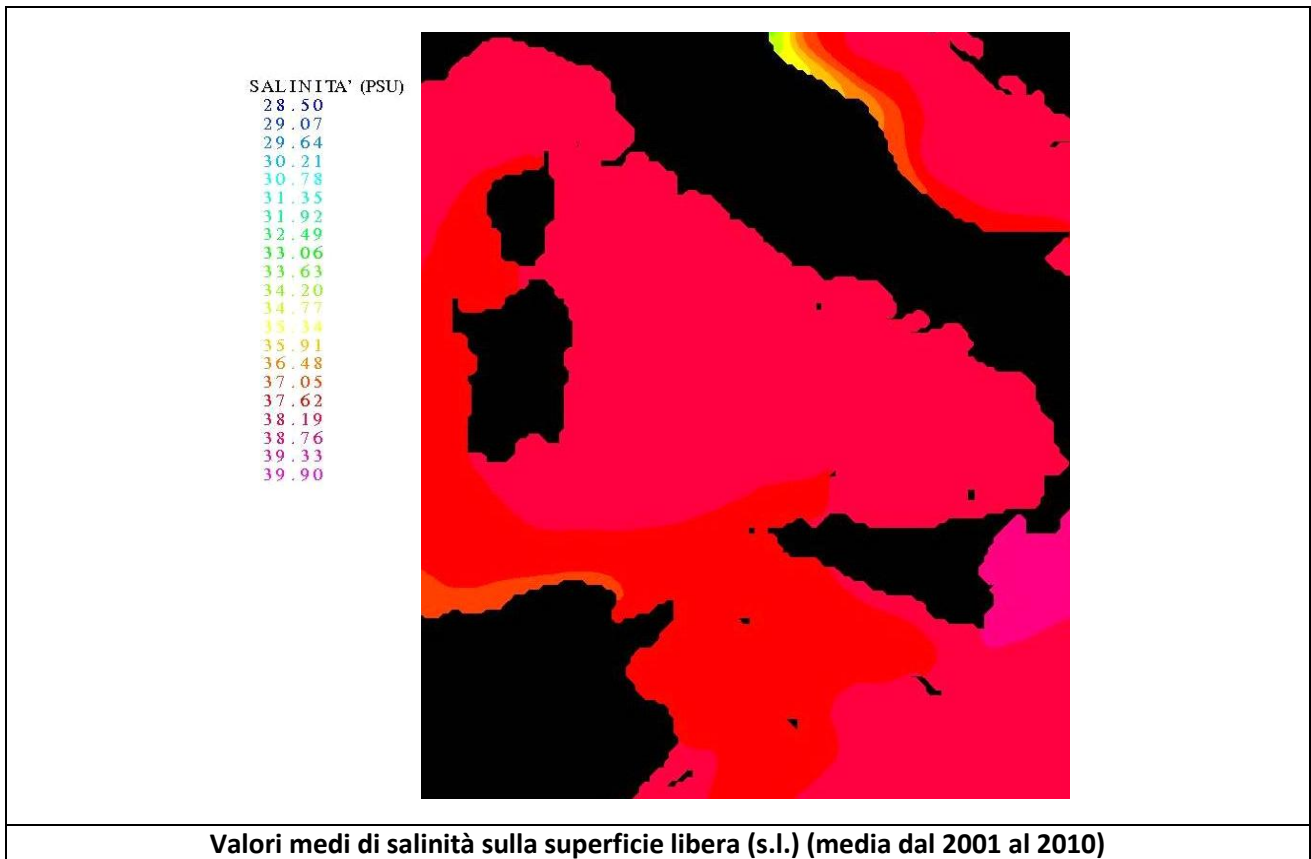
La prima mappa, mostrata nella figura seguente, fornisce un'idea della rappresentazione che sarà ottenuta con l'inserimento dei risultati nel database GIS.

---

### <sup>2</sup> Riferimenti bibliografici

- NEMO ocean engine, Note du Pole de modélisation, Institut Pierre-Simon Laplace (IPSL), France, No 27 ISSN No 1288-1619.
- Roulet G. and G. Madec, 2000: Salt conservation, free surface, and varying levels: a new formulation for ocean general circulation models. *J.G.R.*, 105, C10, 23,927-23,942.
- Tonani, M., N. Pinardi, S. Dobricic, I. Pujol, and C. Fratianni, 2008. A high-resolution free-surface model of the Mediterranean Sea. *Ocean Sci.*, 4, 1-14.
- Dobricic, S., N. Pinardi, M. Adani, M. Tonani, C. Fratianni, A. Bonazzi, and V. Fernandez, 2007. Daily oceanographic analyses by Mediterranean Forecasting System at the basin scale. *Ocean Sci.*, 3, 149-157.
- Dobricic, S. and N. Pinardi, 2008. An oceanographic three-dimensional variational data assimilation scheme. *Ocean Modelling*, 22, 3-4, 89-105.
- Dobricic, S., 2005. New mean dynamic topography of the mediterranean calculated from assimilation system diagnostic. *GRL*, 32.
- Pinardi, N., I. Allen, P. De Mey, G. Korres, A. Lascaratos, P.Y. Le Traon, C. Maillard, G. Manzella and C. Tziavos, 2003. The Mediterranean ocean Forecasting System: first phase of implementation (1998-2001). *Ann. Geophys.*, 21, 1, 3-20.
- 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. Discuss.*, 6, 1093-1127.
- Dombrowsky E., L. Bertino, G.B. Brassington, E.P. Chassignet, F. Davidson, H.E. Hurlburt, M. Kamachi, T. Lee, M.J. Martin, S. Meu and M. Tonani 2009: GODAE Systems in operation, *Oceanography*, Volume 22-3, 83,95.
- 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, 2008. 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.

Per la validazione dei prodotti: <http://gnoo.bo.ingv.it/mfs/myocean/evaluation.html> ; <http://gnoo.bo.ingv.it/myocean/calval/> ;

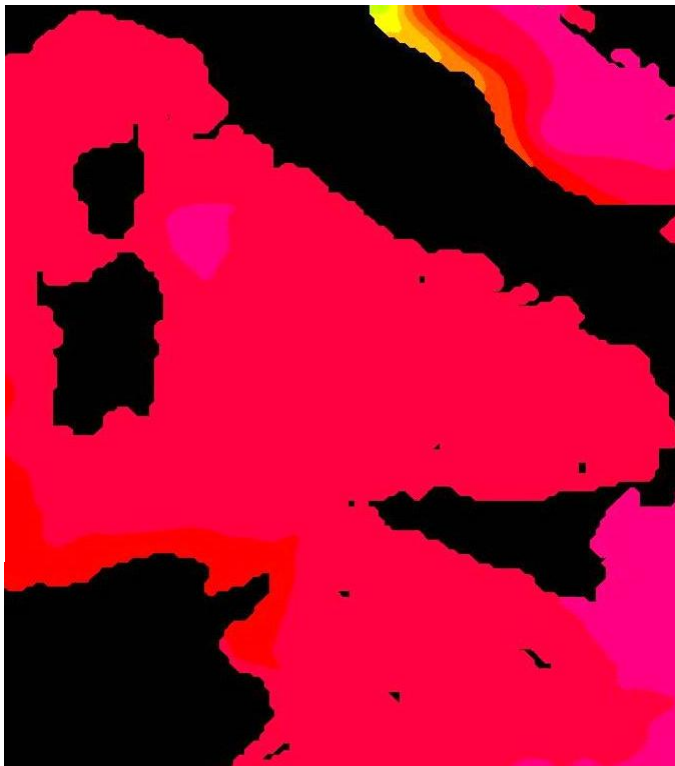


Tale immagine consente di individuare la distribuzione spaziale dei valori medi di salinità nei 10 anni analizzati.

Le 4 mappe riportate nelle figure seguenti consentono di valutare la variabilità stagionale nei 10 anni analizzati.

SALINITA' (PSU)

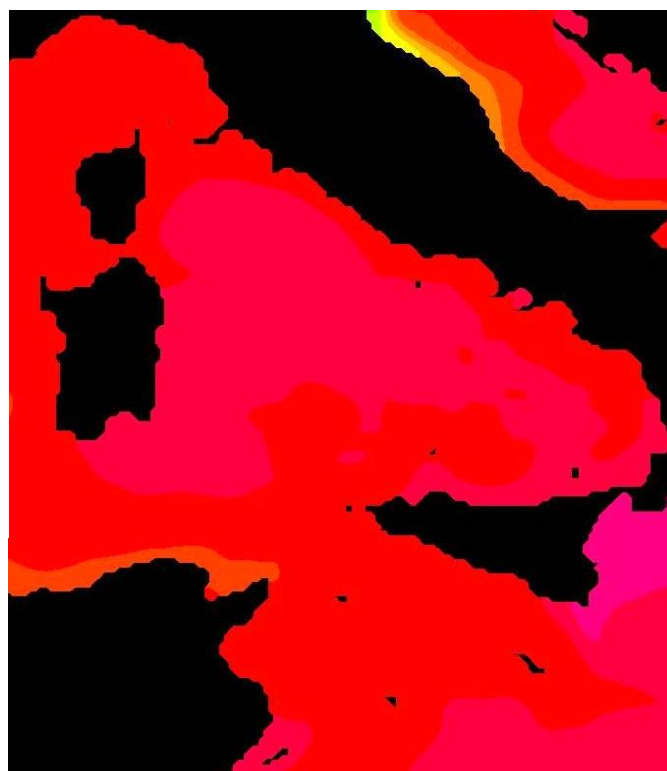
25.60  
26.32  
27.03  
27.75  
28.46  
29.18  
29.89  
30.61  
31.32  
32.04  
32.75  
33.47  
34.18  
34.90  
35.61  
36.33  
37.04  
37.76  
38.47  
39.19  
39.90



**Valori medi di salinità sulla s. l. nel periodo primaverile (media dalla primavera 2001 alla primavera 2010)**

SALINITA' (PSU)

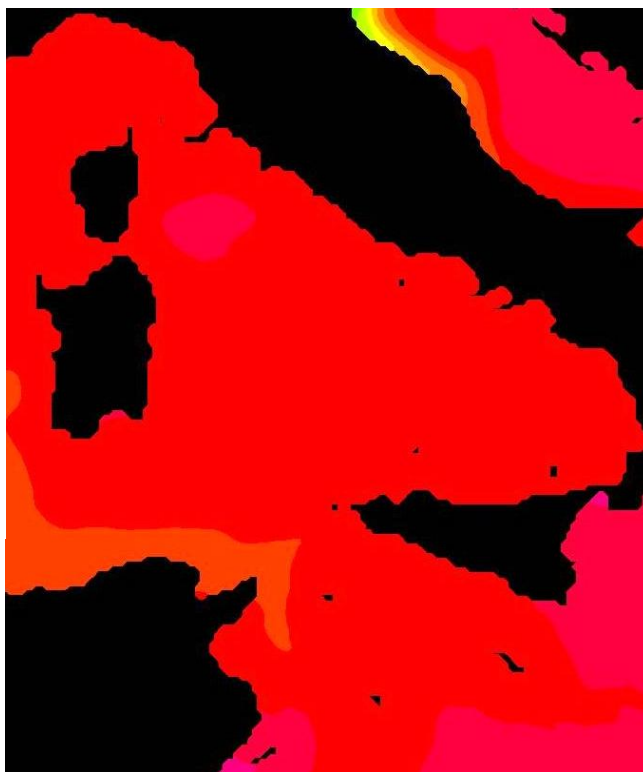
29.40  
29.93  
30.50  
30.99  
31.52  
32.05  
32.58  
33.11  
33.64  
34.17  
34.70  
35.23  
35.76  
36.29  
36.82  
37.35  
37.88  
38.41  
38.94  
39.47  
39.98



**Valori medi di salinità sulla s. l. nel periodo estivo (media dall'estate 2001 all'estate 2010)**

SALINITA' (PSU)

29.30  
29.84  
30.37  
30.91  
31.44  
31.98  
32.51  
33.05  
33.58  
34.12  
34.65  
35.19  
35.72  
36.26  
36.79  
37.33  
37.86  
38.40  
38.93  
39.47  
40.00



Valori medi di salinità sulla s. l. nel periodo autunnale (media dall'autunno 2001 all'autunno 2010)

SALINITA' (PSU)

29.40  
29.93  
30.45  
30.98  
31.50  
32.03  
32.55  
33.08  
33.60  
34.13  
34.65  
35.18  
35.70  
36.23  
36.75  
37.28  
37.80  
38.33  
38.85  
39.38  
39.90



Valori medi di salinità sulla s. l. nel periodo invernale (media dall'inverno 2001 all'inverno 2010)

## Velocità della corrente<sup>3</sup>

*Soggetti detentori di dati individuati:* Progetti Europei MyOcean e MyOcean2;

### *Dati e metodi:*

Sono stati utilizzati i dati di ri-analisi per il periodo 2001 - 2010 forniti dal modello numerico per il Mar Mediterraneo del progetto MyOcean su grigliato regolare con passo di griglia 1/16 di grado (sia per latitudine che per longitudine). Tali dati della velocità della corrente consistono in medie mensili su 72 livelli di profondità. Sono stati raggruppati per stagione e per anno al fine di valutare in ogni punto di griglia le medie stagionali e annuali dell'intensità e della direzione della componente orizzontale della velocità in corrispondenza della superficie e del fondo. Verranno inoltre valutati i trend temporali e la distribuzione spaziale.

### *Analisi:*

I risultati vengono analizzati attraverso la realizzazione di mappe dei valori di corrente sulla superficie e al fondo. Attraverso di esse è possibile caratterizzare il campo fluidodinamico della sottoregione e valutare la presenza di eventuali trend temporali e la distribuzione spaziale. A titolo di esempio, si riportano 5 mappe rappresentanti il campo fluidodinamico sulla superficie libera nei 10 anni analizzati e i valori medi relativi alle singole stagioni.

La prima mappa, mostrata nella figura seguente, consente di individuare le caratteristiche principali del campo fluidodinamico medio nei 10 anni analizzati.

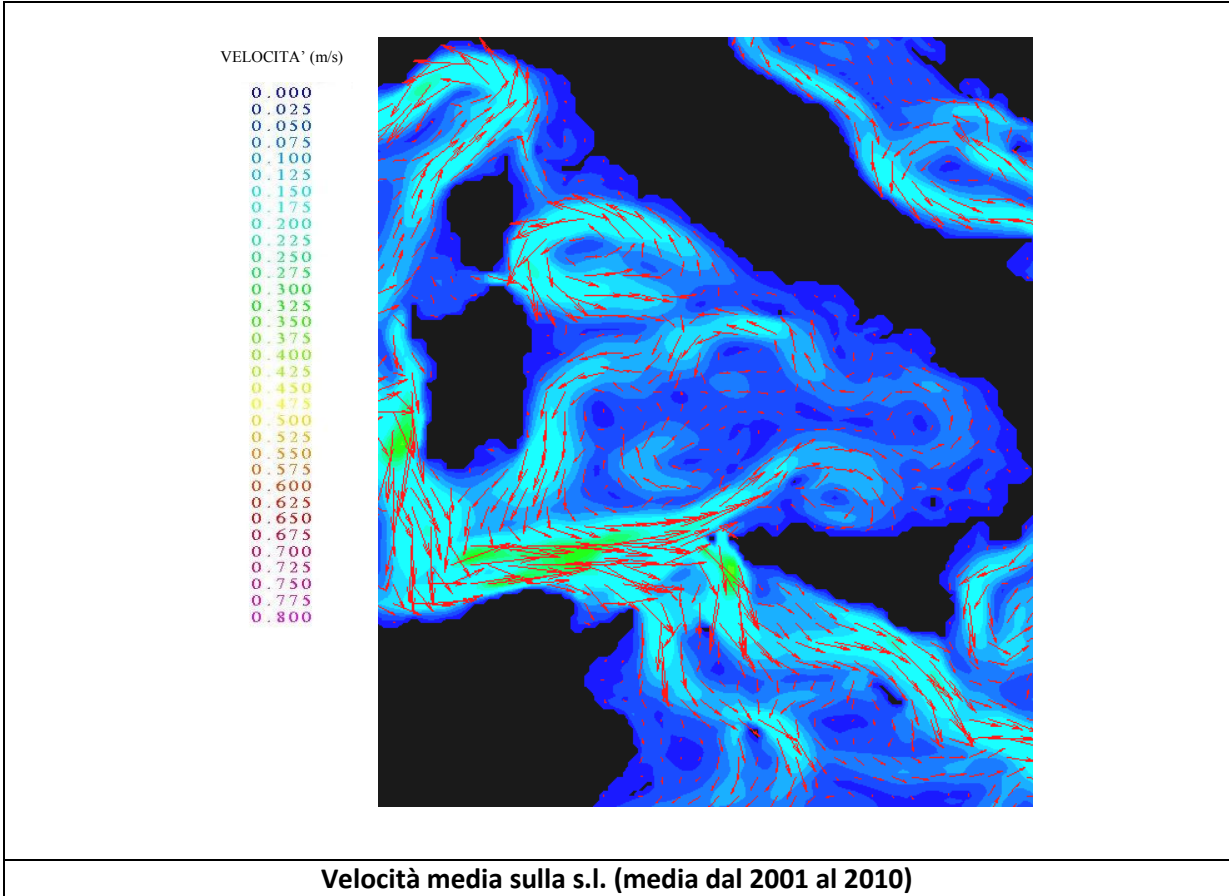
---

### <sup>3</sup> Riferimenti bibliografici

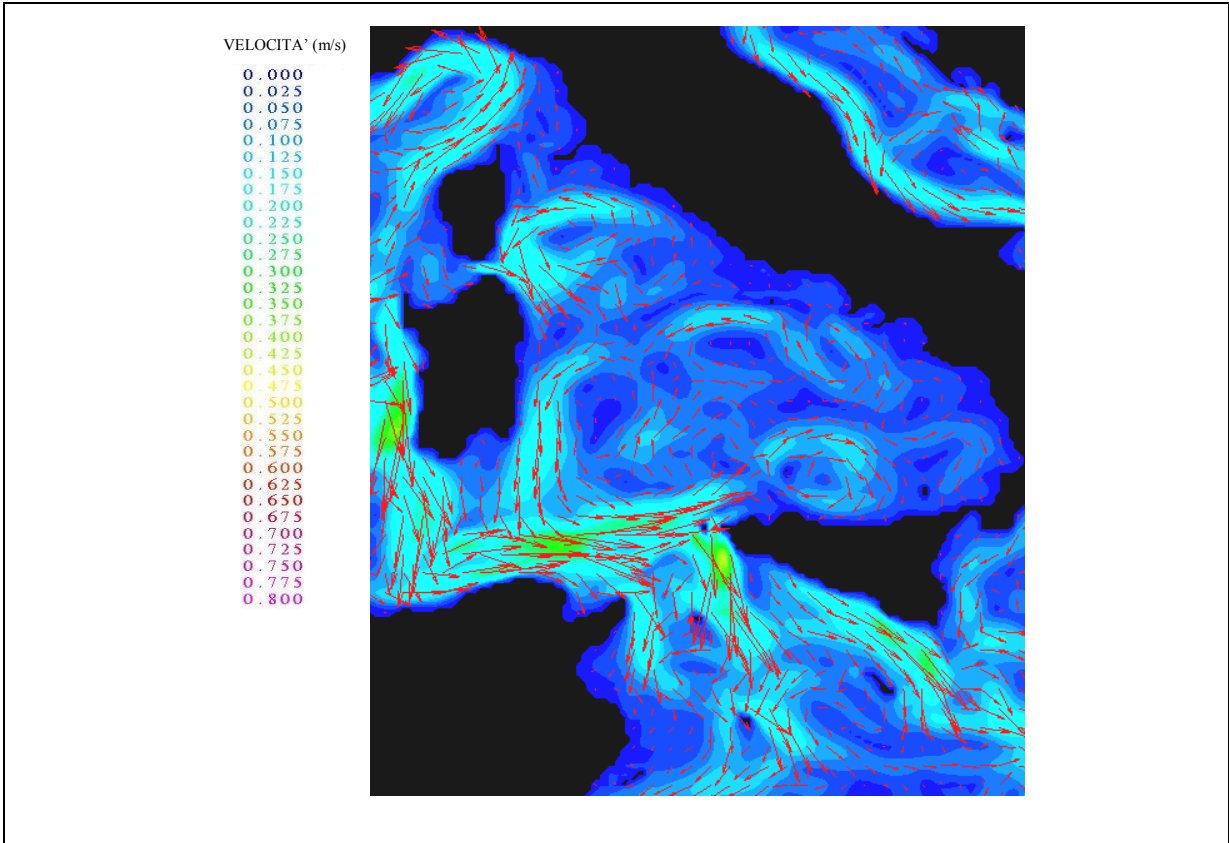
- NEMO ocean engine, Note du Pole de modélisation, Institut Pierre-Simon Laplace (IPSL), France, No 27 ISSN No 1288-1619.
- Roullet G. and G. Madec, 2000: Salt conservation, free surface, and varying levels: a new formulation for ocean general circulation models. *J.G.R.*, 105, C10, 23,927-23,942.
- Tonani, M., N. Pinardi, S. Dobricic, I. Pujol, and C. Fratianni, 2008. A high-resolution free-surface model of the Mediterranean Sea. *Ocean Sci.*, 4, 1-14.
- Dobricic, S., N. Pinardi, M. Adani, M. Tonani, C. Fratianni, A. Bonazzi, and V. Fernandez, 2007. Daily oceanographic analyses by Mediterranean Forecasting System at the basin scale. *Ocean Sci.*, 3, 149-157.
- Dobricic, S. and N. Pinardi, 2008. An oceanographic three-dimensional variational data assimilation scheme. *Ocean Modelling*, 22, 3-4, 89-105.
- Dobricic, S., 2005. New mean dynamic topography of the mediterranean calculated from assimilation system diagnostic. *GRL*, 32.
- Pinardi, N., I. Allen, P. De Mey, G. Korres, A. Lascaratos, P.Y. Le Traon, C. Maillard, G. Manzella and C. Tziavos, 2003. The Mediterranean ocean Forecasting System: first phase of implementation (1998-2001). *Ann. Geophys.*, 21, 1, 3-20.
- 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. Discuss.*, 6, 1093-1127.
- Dombrowsky E., L. Bertino, G.B. Brassington, E.P. Chassignet, F. Davidson, H.E. Hurlburt, M. Kamachi, T. Lee, M.J. Martin, S. Meu and M. Tonani 2009: GODAE Systems in operation, *Oceanography*, Volume 22-3, 83,95.
- 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, 2008. 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.

Per la validazione dei prodotti: <http://gnoo.bo.ingv.it/myocean/calval/>; <http://gnoo.bo.ingv.it/mfs/myocean/evaluation.html>

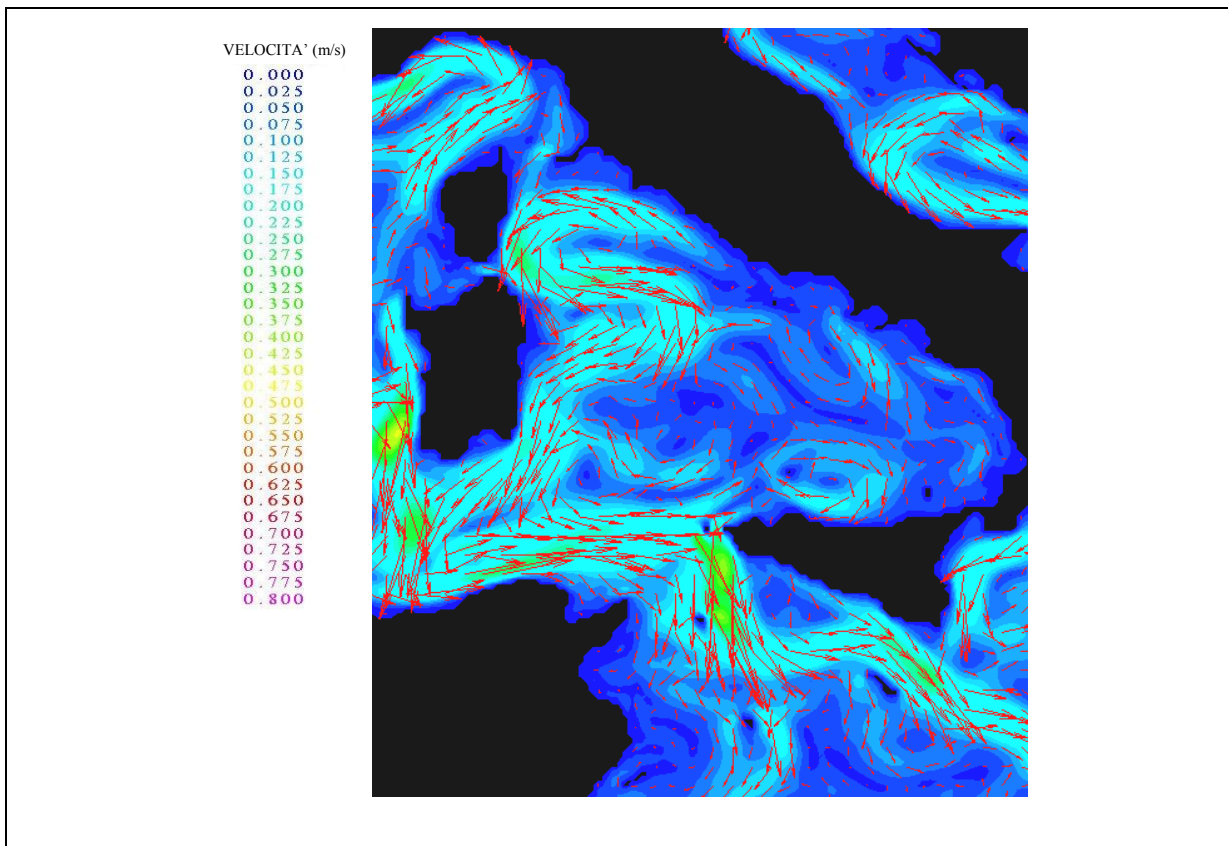




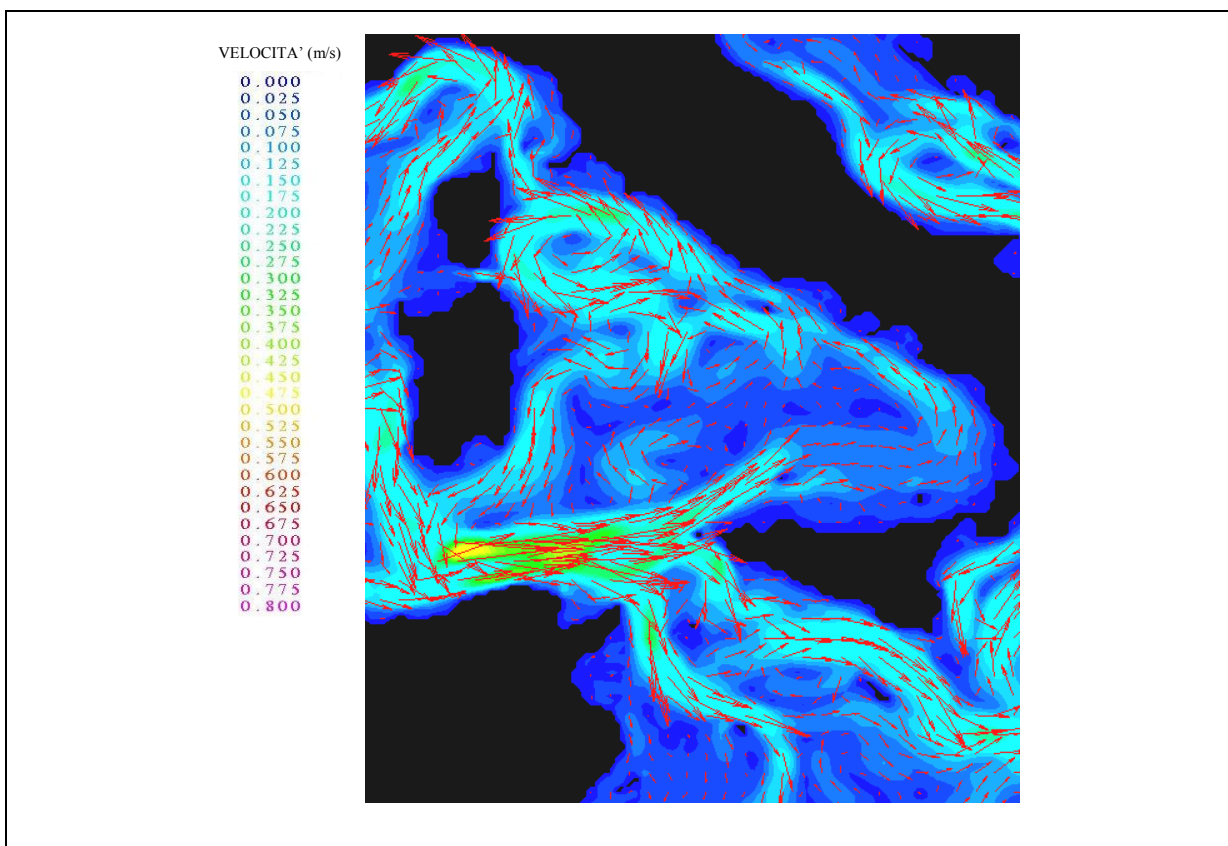
Le 4 mappe riportate nelle figure seguenti consentono di valutare la variabilità stagionale nei 10 anni analizzati.



**Velocità media sulla s.l. nel periodo primaverile (media dalla primavera 2001 alla primavera 2010)**



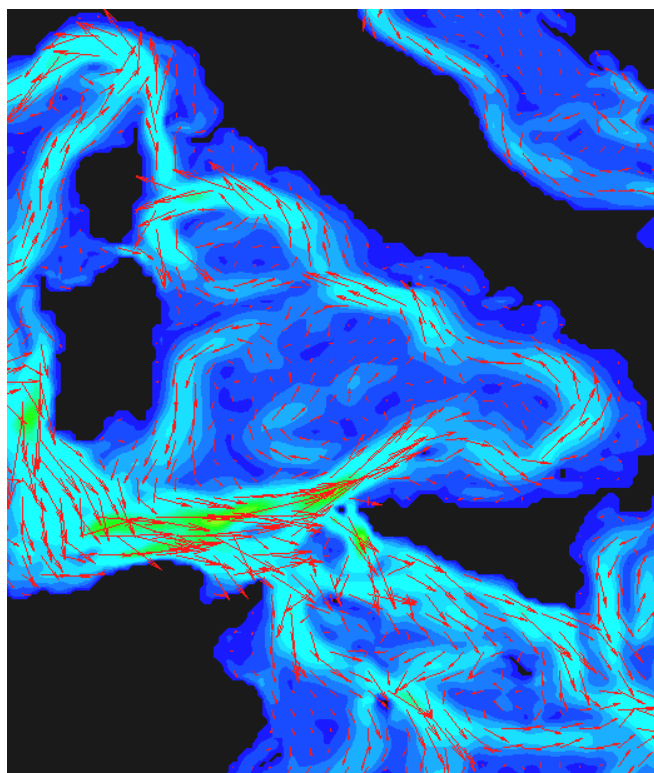
**Velocità media sulla s. l. nel periodo estivo (media dall'estate 2001 all'estate 2010)**



**Velocità media sulla s. l. nel periodo autunnale (media dall'autunno 2001 all'autunno 2010)**

VELOCITA' (m/s)

0.000  
0.025  
0.050  
0.075  
0.100  
0.125  
0.150  
0.175  
0.200  
0.225  
0.250  
0.275  
0.300  
0.325  
0.350  
0.375  
0.400  
0.425  
0.450  
0.475  
0.500  
0.525  
0.550  
0.575  
0.600  
0.625  
0.650  
0.675  
0.700  
0.725  
0.750  
0.775  
0.800



Velocità media sulla s. l. nel periodo invernale (media dall'inverno 2001 all'inverno 2010)

## Caratteristiche di mescolamento<sup>4</sup>

### *Soggetti detentori di dati individuati:*

Progetti Europei MyOcean e MyOcean2

### *Dati e metodi:*

Sono stati utilizzati i dati di ri-analisi per il periodo 2001 - 2010 forniti dal modello numerico per il Mar Mediterraneo del progetto MyOcean su grigliato regolare con passo di griglia 1/16 di grado (sia per latitudine che per longitudine). Verrà effettuata l'analisi dei profili di temperatura e salinità per identificare il grado di stratificazione del fluido. Verranno inoltre valutati i trend spaziali e temporali.

### *Analisi:*

In fase di studio

---

#### <sup>4</sup> Riferimenti bibliografici

- NEMO ocean engine, Note du Pole de modélisation, Institut Pierre-Simon Laplace (IPSL), France, No 27 ISSN No 1288-1619.
- Roulet G. and G. Madec, 2000: Salt conservation, free surface, and varying levels: a new formulation for ocean general circulation models. *J.G.R.*, 105, C10, 23,927-23,942.
- Tonani, M., N. Pinardi, S. Dobricic, I. Pujol, and C. Fratianni, 2008. A high-resolution free-surface model of the Mediterranean Sea. *Ocean Sci.*, 4, 1-14.
- Dobricic, S., N. Pinardi, M. Adani, M. Tonani, C. Fratianni, A. Bonazzi, and V. Fernandez, 2007. Daily oceanographic analyses by Mediterranean Forecasting System at the basin scale. *Ocean Sci.*, 3, 149-157.
- Dobricic, S. and N. Pinardi, 2008. An oceanographic three-dimensional variational data assimilation scheme. *Ocean Modelling*, 22, 3-4, 89-105.
- Dobricic, S., 2005. New mean dynamic topography of the mediterranean calculated from assimilation system diagnostic. *GRL*, 32.
- Pinardi, N., I. Allen, P. De Mey, G. Korres, A. Lascaratos, P.Y. Le Traon, C. Maillard, G. Manzella and C. Tziavos, 2003. The Mediterranean ocean Forecasting System: first phase of implementation (1998-2001). *Ann. Geophys.*, 21, 1, 3-20.
- 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. Discuss.*, 6, 1093-1127.
- Dombrowsky E., L. Bertino, G.B. Brassington, E.P. Chassignet, F. Davidson, H.E. Hurlburt, M. Kamachi, T. Lee, M.J. Martin, S. Meu and M. Tonani 2009: GODAE Systems in operation, *Oceanography*, Volume 22-3, 83,95.
- 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, 2008. 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.

Per la validazione dei prodotti: <http://gnoo.bo.ingv.it/myocean/calval/>; <http://gnoo.bo.ingv.it/mfs/myocean/evaluation.html>

## Upwelling<sup>5</sup>

*Soggetti detentori di dati individuati:*

### **ISAC CNR**

Dati satellitari temperatura superficiale del mare per l'area Mediterranea

Dati satellitari di colore oceanico

Dati oceanografici in situ - Mar Mediterraneo

Dati satellitari per il Mar Adriatico

### **ISPRA Servizio Mareografico**

Dati di velocità e direzione del vento

*Dati e metodi:*

Il lavoro in una prima parte si propone di determinare le condizioni favorevoli allo sviluppo di upwelling lungo le coste italiane, analizzando in particolare i movimenti superficiali delle masse di acqua causati dall'azione del vento. A tale scopo sono stati analizzati i dati di velocità e direzione del vento provenienti dalle stazioni della Rete Mareografica Nazionale in modo da poter stabilire le aree più soggette al verificarsi del fenomeno. Per costruire, in una seconda fase, un indice sintetico capace di individuare le zone più interessate al fenomeno di upwelling invece saranno utilizzati dati telerilevati, di SST e di CHL -a (SeaWiFS e MODIS). I dati in entrambi i casi fanno riferimento agli anni dal 2009 al 2011.

*Analisi:*

Il fenomeno dell'upwelling costiero è un fenomeno di corrente fortemente influenzato oltre che dalle correnti marine, anche dall'intensità e dalla direzione del vento lungo la costa. Nella fattispecie, il vento che spira in direzione parallela alla costa può avere l'effetto, sotto alcune condizioni, di generare una corrente che viene deviata per effetto della forza di Coriolis, in direzione ortogonale alla costa e verso il largo.

---

<sup>5</sup> Bibliografia:

- Bohm E., Banzon V., D'Acunzo E., D'Ortenso F., Santoleri R., (2003) Adriatic Sea surface temperature and ocean colour variability during the MFSP. *Annales Geophysicae* vol. 21, pp.137-149.
- Massetti L., 2004, Identificazione e Analisi degli Upwelling in Area Mediterranea, Tesi di Master in Meteorologia applicata, Facoltà di agraria, Università degli studi di Firenze.
- Fong, D. A. and Geyer, W. R.: Response of a river plume during an upwelling favorable wind event, *J. Geophys. Res.*, 106, 1067–1084, 2001. 4.
- Marullo S., R. Santoleri and F. Bignami, "The surface characteristics of the Tyrrhenian sea: historical satellite data analysis", in: "The seasonal and interannual variability of the Western Mediterranean Sea", P. E. La Violette editor, American Geophysical Union, Coastal and Estuarine Studies, vol. 46, 135-154, 1994.
- SeaVassiliki H. Kourafalou, Process studies on the Po River plume, North Adriatic, National Center for Marine Research, Institute of Oceanography, Athens, Greece.
- Elena Mauria, b, Pierre-Marie Poulain, Three-Dimensional Ocean Circulation: Lagrangian measurements and diagnostic analyses Northern Adriatic Sea surface circulation and temperature/pigment fields in September and October 1997, *Journal of Marine Systems*, Volume 29, Issues 1–4, May 2001, Pages 51–67.
- Claude Millot, Circulation in the Western Mediterranean Sea, *Journal of Marine Systems*, Volume 20, Issues 1–4, April 1999, Pages 423–442.
- K Béranger, L Mortier, G.-P Gasparini, L Gervasio, M Astraldi, M Crépon, The dynamics of the Sicily Strait: a comprehensive study from observations and models, *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography* Volume 51, Issues 4–5, February–March 2004, Page s 411–440.
- Marcello G. Magaldi, Tamay M. Özgökmen, Annalisa Griffa and Michel Rixen, On the response of a turbulent coastal buoyant current to wind events: the case of the Western Adriatic Current, *Ocean Dynamics*, Volume 60, Number 1 (2010), 93-122.
- R. Inghilesi, L. Ottolenghi, A. Orasi, C. Pizzi, F. Bignami, and R. Santoleri, Fate of river Tiber discharge investigated through numerical simulation and satellite monitoring, *Ocean Sci.*, 8, 773-786, 2012

L'upwelling è proprio il fenomeno di corrente verticale che sposta acque più profonde che vanno a rimpiazzare l'acqua superficiale che il vento trascina verso il largo (Fong et al., 2001).

A causa della forte influenza che il vento ha nella generazione del fenomeno di upwelling, l'analisi preliminare parte dalla caratterizzazione del clima ventoso lungo le coste italiane, attraverso l'impiego dei dati di intensità e direzione del vento forniti dalle stazioni mareografiche della Rete Mareografica Nazionale.

Questa analisi consta di più fasi.

In una prima fase è stata studiata la direzione del vento nei diversi tratti di costa in cui sono presenti stazioni di misura, individuando la sezione angolare parallela al litorale in ciascun punto di osservazione. A tale scopo è stata considerata un'area di estensione di circa 40 Km prospiciente il punto di misura, lungo la quale tracciare una ipotetica linea di pendenza della costa. Una volta determinata tale pendenza, sono stati individuati per ciascun punto di osservazione i settori di direzioni ad essa paralleli.

In una seconda fase sono state selezionate le direzioni del vento appartenenti a ciascun settore direzionale scelto nella precedente fase. Ai fini dell'individuazione delle direzioni del vento suddette è stato scelto di considerare un settore di 30° sulla base dell'analisi delle distribuzioni fornite dalle rose dei venti e del posizionamento degli strumenti di misura rispetto alla linea di costa.

Tutti i dati con campionamento orario si riferiscono al periodo 2009 – 2011, e sono stati graficati attraverso le rose dei venti dove le classi angolari sono di 15° e le classi di intensità di 1.5 m/s.

Le stazioni coinvolte nello studio, i settori direzionali scelti e il numero di dati di vento appartenenti alle classi angolari selezionate, sono riportati in Tab1:

Stazioni RMN	Settore direzionale scelto	Dati di intensità del vento (orari) > di 3.0 m/s provenienti dal settore di 30°	Dati totali di vento	%
Ancona	120° - 150°	0		0
Bari	90° - 120°	1388	25588	5.42
Cagliari	NA			
Carloforte	NA			
Catania	165° - 195°	198	23837	0.83
Civitavecchia	315° - 345°	260	24871	1.05
Crotone	165° - 195°	1704	24760	6.88
Genova	270° - 300°	24	25180	0.095
Imperia	225° - 255°	982	22066	4.45
Lampedusa	NA			
Livorno	330° - 360°	144	24897	0.58
Messina	NA			
Napoli	270° - 300°	116	25220	0.46
Ortona	120° - 150°	173	24029	0.72
Otranto	165° - 195°	740	25290	2.93
Palermo	135° - 165°	298	25280	1.18
Palinuro	NA			
Porto Empedocle	285° - 315°	1889	24371	7.75
Porto Torres	NA			
Ravenna	165° - 195°	414	25019	1.65
Reggio Calabria	NA			

Salerno	300° - 330°	489	24843	1.97
Taranto	285° - 315°	973	25608	3.80
Trieste	120° - 150°	917	25181	3.64
Venezia	180° - 210°	616	25235	2.44
Vieste	120° - 150°	2297	24662	9.31

Tab1: Settori direzionali paralleli alla costa scelti per ciascun punto di misura

In questa prima fase dell'attività di ricerca, è stato possibile definire le condizioni di vento necessarie affinché si verifichi il fenomeno dell'upwelling, attraverso l'individuazione delle classi di direzione del vento favorevoli allo sviluppo del fenomeno; per ciascuna stazione di misura sono stati riportati sia le rose dei venti che rappresentano la percentuale di dati di vento che provengono dal settore di 30° scelto, classificati rispetto alle intensità, sia le frequenze totali di dati provenienti dal settore angolare individuato (Tab.1).

In una seconda fase, non disponendo di dati osservati o da modello, che possano fornire informazioni circa le condizioni di vento che intervengono nello sviluppo del fenomeno di upwelling, sia in termini di intensità del vento, sia in termini di persistenza del fenomeno ventoso, e non disponendo neppure di una metodologia (da letteratura) per la selezione dei fenomeni ventosi favorevoli alla generazione dell'upwelling, in prima approssimazione si è deciso di procedere come descritto qui di seguito.

Nella seconda fase della ricerca, questo primo livello di approssimazione sarà sottoposto a verifica e a revisione, sia in termini di metodologia che di valutazione statistica, qualora si disporrà di dati osservati o da modello che possano consentire di affrontare il problema inverso della ricostruzione delle condizioni ventose favorevoli all'upwelling.

Una volta individuati i settori direzionali, come descritto in precedenza e quindi favorevoli al verificarsi del fenomeno di upwelling, per ciascun punto di misura, è stato estrapolato dalle serie storiche, un elenco di eventi di fenomeni ventosi che potrebbero intervenire nel verificarsi di upwelling.

Ciascuno di questi eventi è stato scelto come un blocco di dati con valori di intensità di vento sopra una soglia fissata e separato da un altro evento da un certo numero di dati costantemente sotto la soglia. Per scegliere il periodo di separazione necessario a distinguere due eventi è stata studiata la funzione di autocorrelazione dei dati di intensità del vento che fornisce un intervallo di tempo corrispondente alla durata minima di persistenza di dipendenza tra i dati. Il valore ricavato in questo studio per cui considerare distinti due eventi è pari a 24 ore. Questo periodo di separazione dei dati prevede che questi siano sempre sotto una fissata soglia che è stata scelta pari a 3,0 m/s.

Il numero degli eventi di upwelling così selezionati per una località  $i$  ( $U_i$ ) è stato diviso per il numero totale degli eventi di upwelling provenienti da tutte le  $k$  località coinvolte in questo studio.

Questo rapporto, indicato come  $f_1$ ,

$$f_1 = \frac{U_i}{\sum_{i=1}^k U_i} \times 100 \quad i = 1, \dots, k$$

permette di definire le aree maggiormente esposte al fenomeno dell'upwelling.

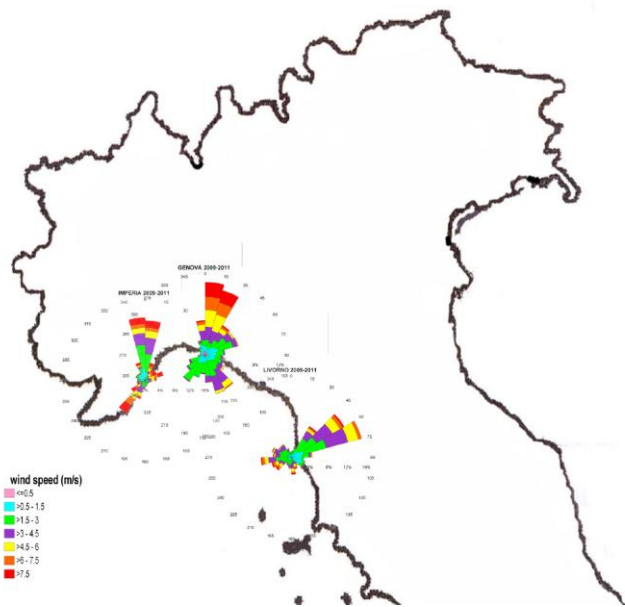


Fig.1: Tirreno Settentrionale

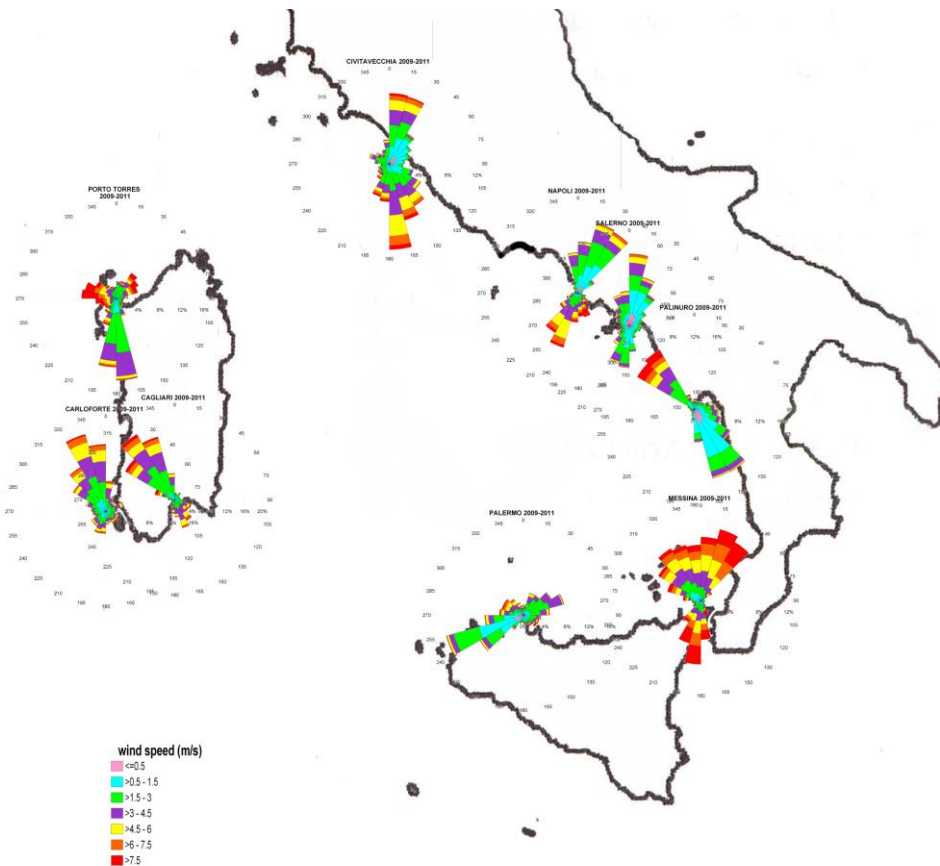
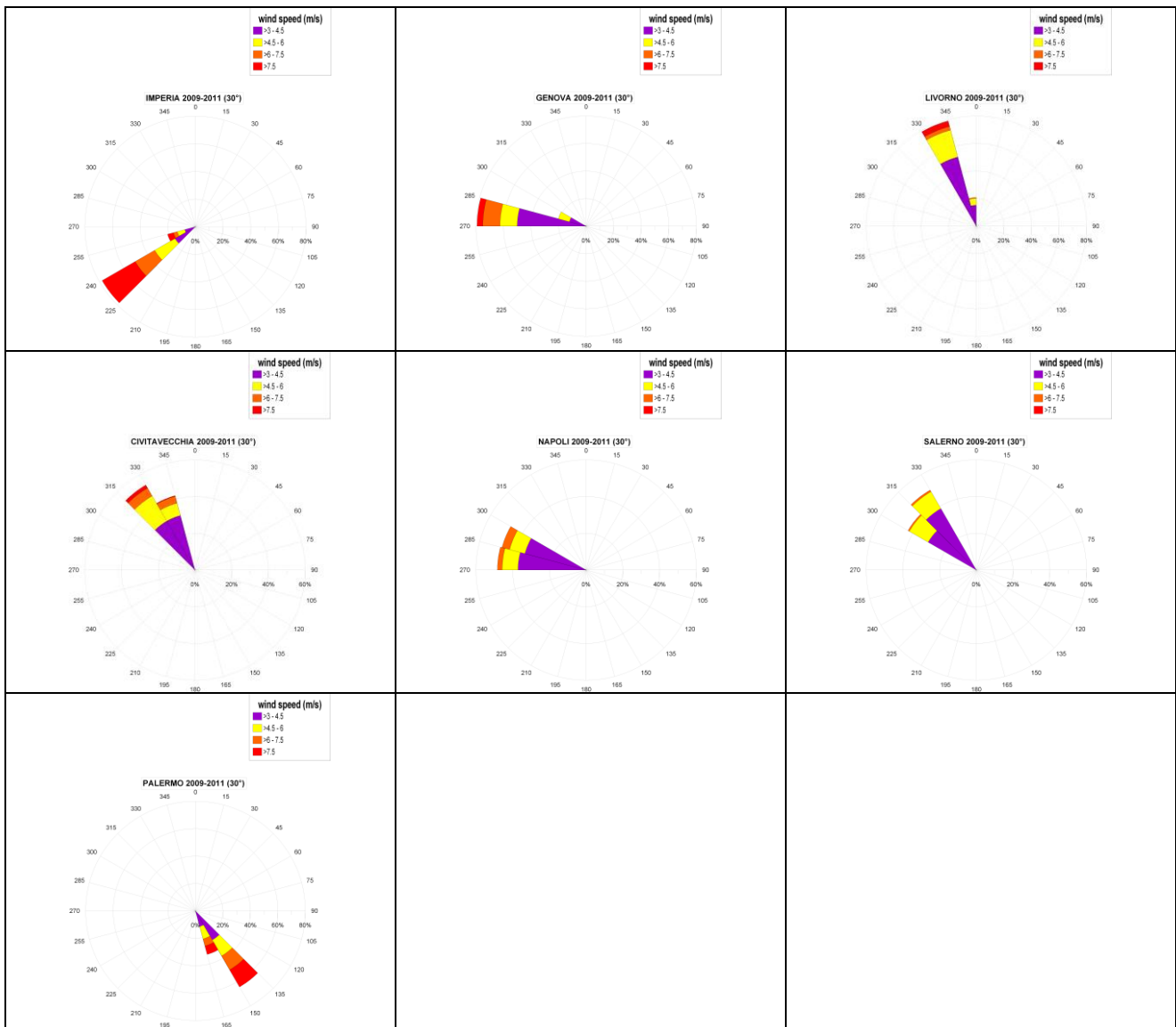


Fig.2: Tirreno Centrale - Meridionale

Le stazioni considerate nell'area mediterranea occidentale presentano direzioni del vento favorevoli alla generazione di fenomeni di upwelling prevalentemente da Nord e quindi dai seguenti settori direzionali (gradi N):



Imperia 225° – 255°  
 Genova 270° - 300°  
 Livorno 330° - 360°  
 Civitavecchia 315° - 345°  
 Napoli 270° - 300°  
 Salerno 300° - 330°  
 Palermo 135° - 165°



Tab.2: Settori direzionali favorevoli alla generazione del fenomeno di upwelling e intensità del vento – Tirreno

La frequenza  $f_1$  per le stazioni di Imperia e Genova è rispettivamente pari a 4.76%, 0.63%.  
 Le frequenze  $f_1$  per le località di Livorno e Salerno sono rispettivamente pari a 2.84% e 1.29%.  
 La frequenza  $f_1$  è invece pari a 8.73% per Palermo. Relativamente alle frequenze  $f_1$  la zona del Tirreno Settentrionale (prospiciente Imperia) e l'area introno a Palermo si presentano come le località maggiormente esposte al fenomeno dell'upwelling nella parte del Mediterraneo Occidentale.  
 In letteratura è infatti noto come il Mar Tirreno Settentrionale sia una della aree più favorevoli al generarsi di fenomeni di upwelling (Massetti, 2004).

Anche l'area intorno a Civitavecchia è soggetta alla generazione di fenomeni di upwelling avendo  $f_1$  pari a: 5.56%.

In particolare, la stazione di Civitavecchia ha rilevato 40 casi favorevoli al fenomeno dell'upwelling su 24871 casi totali, con direzioni di provenienza del vento dal settore angolare fra  $315^\circ - 345^\circ$ .

Per la stazione di Napoli, relativamente al periodo considerato, non è stato possibile calcolare la frequenza  $f_1$  per assenza di fenomeni ventosi selezionati secondo il metodo descritto.

Per le altre stazioni di misura, Palinuro, Messina, Cagliari, Carloforte e Porto Torres, non è stato possibile individuare il settore direzionale dei fenomeni ventosi parallelo alla costa, e quindi in grado di poter generare fenomeni di upwelling.

## Tempo di residenza<sup>6</sup>

### *Soggetti detentori di dati individuati:*

ISPRA, INGV, CASPUR

### *Dati e metodi:*

Alla scala dell'area di valutazione considerata il Residence Time (RT) e' associato alla presenza di correnti a scala sub-regionale, di eddies persistenti e alla morfologia. La metodologia usata e' l'uso di un modello Lagrangiano a particelle applicato al regime medio delle correnti. Le correnti usate sono i campi mensili di rianalisi prodotte dal modello MFS/OPA dell'INGV descritte nel paragrafo 'Velocita' di corrente'. Il RT verra' stimato su base stagionale ed annuale considerando il periodo 2009-2011. I risultati finali sono in corso di elaborazione e saranno elaborati entro la data del 15 ottobre 2012.

### *Analisi:*

Il modello Lagrangiano (Garcia Lafuente et al. 2006) viene impiegato per simulare il moto di particelle rilasciate in modo uniforme (10 particelle su ogni punto della griglia con risoluzione 1/16 deg lon., 1/16 deg lat.) su tutta l'area intorno ai mari italiani (area in rosso fig.1).

---

## <sup>6</sup> Bibliografia

- Astraldi, M., Gasparini, G.P.: The seasonal Characteristics of the Circulation in the North Mediterranean Basin and Their Relationship With the Atmospheric-Climatic Conditions, American Geophysical Union, 92JC00114, pp. 9531-9540, 1992.
- Dobricic, S., Pinardi, N., Adani, M., Bonazzi, A., Fratianni, C., Tonani, M.: Mediterranean Forecasting System: an improbe assimilation scheme for sea-level anomaly and its validation, Q. J. R. Meteorol. Soc., 131, pp. 3627-3642, 2005.
- Garcia Lafuente, J., Sanchez Roman, A., Diaz del Rio, G., Sannino, G., Sanchez Garrido, J.C.: Recent observations of seasonal variability of the Mediterranean outflow in the Strait of Gibraltar, Journal of Geophysical Reserch, vol. 112, C10005, 2007.
- HICKEY, B.M. and N. S. BANAS, Oceanography of the U.S. Pacific Northwest Coastal Ocean and Estuaries with Application to Coastal Ecology, Estuaries Vol. 26, No. 4B, p. 1010-1031 August 2003
- Lipphardt B. L., Jr, D. Small, A. D. Kirwan, Jr., S. Wiggins, K. Ide, C E. Grosch and J. D. Paduan, Synoptic Lagrangian maps: Application to surface transport in Monterey Bay, *Journal of Marine Research*, 64, 221-247, 200
- Mellor, G.L., Jamada, T.: A Hierarchy of Turbulence Closure Models for Planetary Boundary Layers, Journal of Atmospheric Sciences, vol. 31, pp. 1791-1806, Corrigendum, vol.34, pp. 1482, 1974.
- Millot, C., Taupier-Letage, I.: Circulation in the Mediterrean Sea, The Handbook of Environmental Chemistry, Vol. 1 (The Natural Environment and the Biological Cycles), Springer-Verlag, 2004.
- Oddo, P. , Adani, M. ,Pinardi, N. ,Fratianni, C. , Tonani, M. , and Pettenuzzo, D.: A nested Atlantic-Mediterranean Sea general circulation model for operational forecasting. Ocean Sci. (2009) vol. 5 pp. 461-473
- Pinardi, N., Masetti, E.: Variability of the large scale general circulation of the Mediterranean Sea from observations and modelling: a review. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology (2000) vol. 158 pp. 153-173

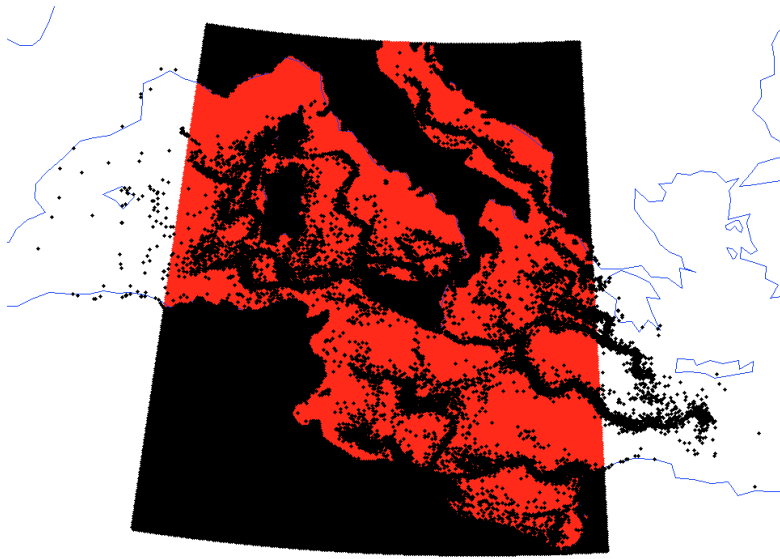


Fig.1

Il modello e' sostanzialmente bi-dimensionale e simula il contributo turbolento mediante un semplice processo stocastico tipo 'Random Walk' associato alla diffusivita' turbolenta orizzontale valutata con la formulazione di Smagorinsky. Ogni 300 secondi le particelle vengono trasportate secondo il campo di velocita' della corrente modificata dalla perturbazione stocastica. Per ogni particella il tempo passato all'interno di un cerchio centrato nel punto di rilascio e di raggio 50 km dalla particella e' il residence time stimato. Tale raggio e' stato scelto in modo da poter rappresentare in modo adeguato situazioni caratterizzate da correnti medie che vanno da .01 m/s fino a 1 m/s. La simulazione complessiva ha durata 30 giorni. In fig.1 si puo' osservare la posizione finale (in nero) delle particelle dopo 30 giorni di simulazione. In fig. 2 e 3 sono riportati ingrandimenti della stessa area corrispondenti a diversi rilasci di particelle originate nelle stesse posizioni,

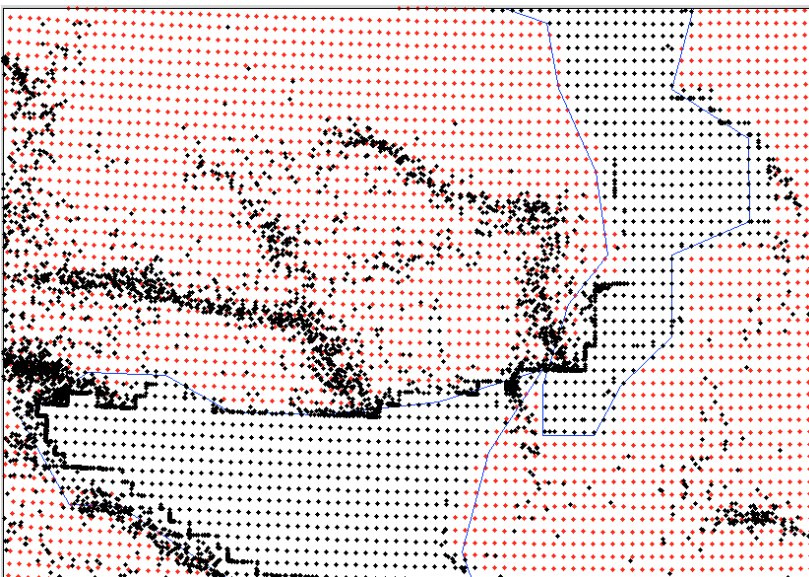


Fig.2

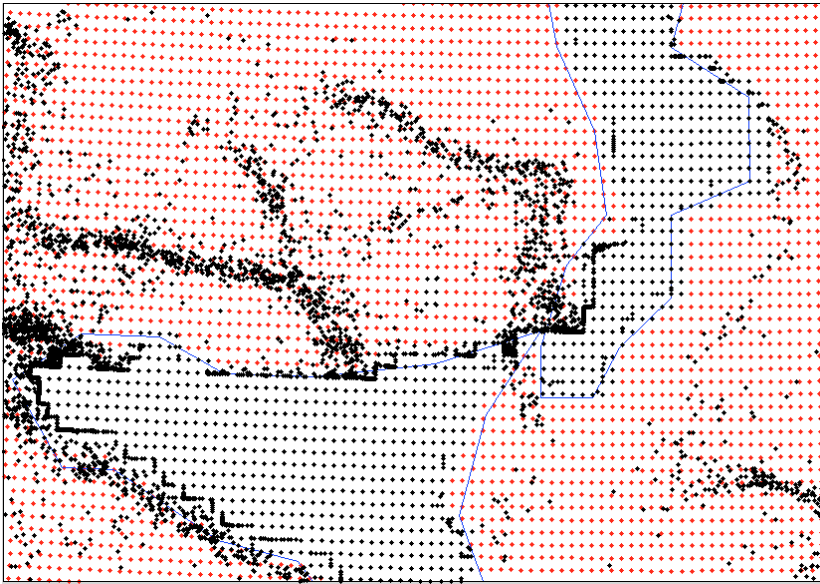


Fig.3

si puo' osservare che le posizioni finali sono vicine, ma la distribuzione non e' esattamente uguale a causa del processo stocastico considerato. In fig.4 viene mostrato il residence time normalizzato per la sotto-area considerata, calcolato per il mese di gennaio 2011.

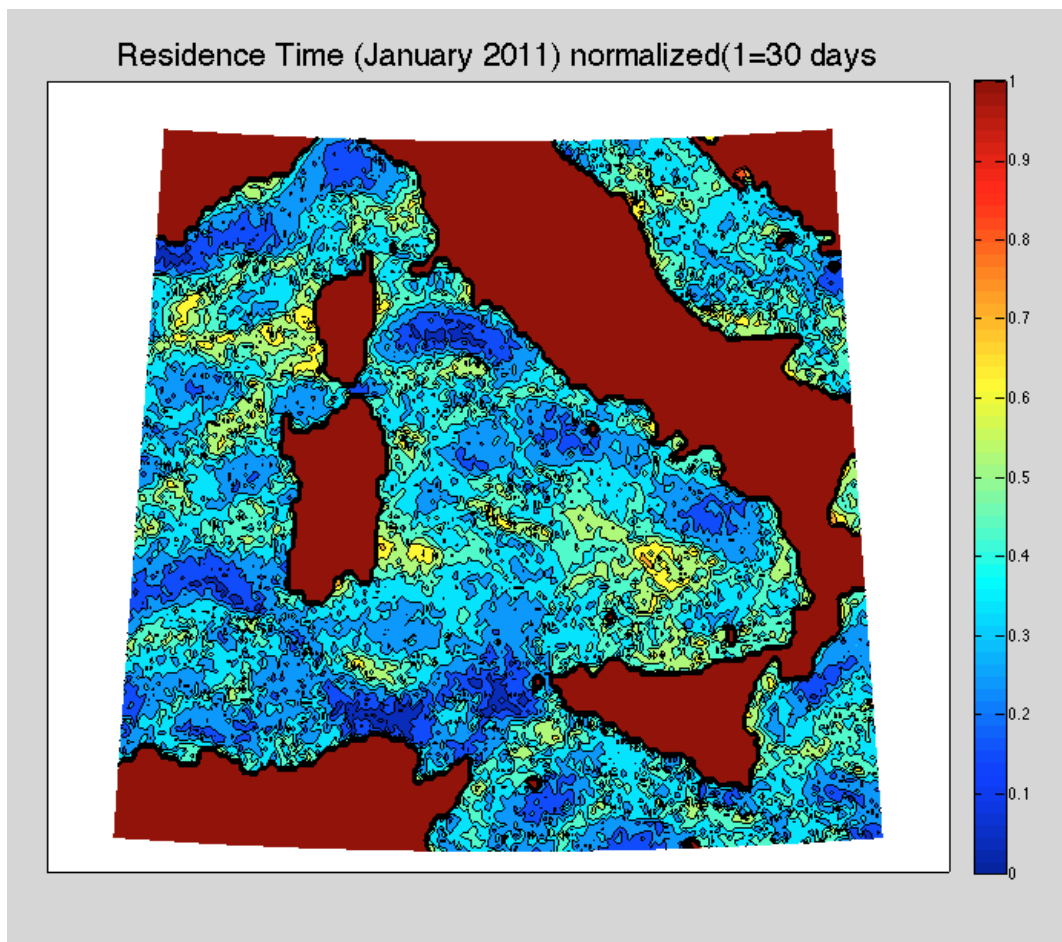


Fig.4

Sebbene il risultato abbia carattere preliminare, si puo' osservare che il valore abbia un valore basso nelle zone dove sono piu' forti le correnti medie (Mar Ligure, Stretto di Sicilia, fascia orientale Tirrenica in blu),

mentre assume valori piu' alti (15-20 giorni) laddove le correnti medie sono piu' basse e dove sono presenti strutture vorticali persistenti, come ad esempio nel Tirreno meridionale e nella parte orientale della Sardegna. Di interesse e' il valore del residence time lungo la fascia costiera, dove si osserva una significativa variabilita' spaziale. E' chiaro che i risultati mediati stagionalmente ed i valori annuali saranno piu' uniformi, tuttavia ci si puo' attendere che la metodologia, per quanto semplificata, sia in grado di catturare la variabilita' spazio-temporale intrinseca del processo, prestandosi eventualmente ad analisi piu' accurate ed approfondite nelle assessment areas che evidenzino necessita' di ulteriori raffinamenti.

### Lacune nell'informazione

La stima del RT qui proposta assume un regime stazionario delle correnti (la corrente media mensile della rianalisi del modello MFS/OPA) che ovviamente non puo' considerare la variabilita' su scale temporali sub-mensili. La risoluzione considerata (1/16 di grado lat./lon.) per il campo di corrente non e' sufficiente per tener conto di fattori importanti che caratterizzano i processi costieri. La componente verticale della corrente ovviamente non e' stata considerata, poiche' caratterizzata da una variabilita' spaziale e temporale a scala molto piu' piccola delle scale di moto considerate per le sub aree qui definite. Non sono stati considerati i runoff fluviali, sebbene le dimensioni di scala del trasporto in alcuni casi siano dell'ordine delle dimensioni del dominio in esame. Tali limitazioni verranno superate con lo studio dei processi oceanografici a scala costiera condotti sulle assessment area. In tali sottodomini verranno impiegate informazioni da satellite ad alta risoluzione (MODIS ad 1 km) per temperature superficiale, clorofilla e torbidita'. Tale studio verra' messo in relazione a simulazioni numeriche ad altissima risoluzione che metteranno in evidenza la variabilita' e la natura dei processi dinamici a scala costiera, caratterizzando compiutamente fenomeni di dispersione delle acque fluviali, upwelling e stabilita' termodinamica della colonna d'acqua. Si ritiene che uno studio preliminare possa essere completato nel 2013 per l'assessment area sul Mar Tirreno, e che possa essere esteso entro il 2018 ad altre assessment areas.

### Torbidita'

#### *Soggetti detentori di dati individuati:*

4. Progetto MARCOAST. Il progetto MARCOAST (Marine and Coastal Environment Information Services) realizzato nell'ambito del programma GMES Service Elements dell'ESA, Agenzia Spaziale Europea, e sviluppato da Planetek, ha lo scopo di fornire servizi di monitoraggio marino-costiero ad una utenza PanEuropea. L'ISPRA all'interno del suddetto Progetto ha la funzione di End User;
5. Dati campagne oceanografiche effettuate dall'ENEA e dal CNR forniti dal Presidente della COI (Dr. Giuseppe Manzella);
6. CNR-ISAC Gruppo Oceanografia da Satellite (GOS).

#### *Dati e metodi:*

2. I dati satellitari fin qui analizzati sono stati collezionati dal Progetto MARCOAST (<http://marcoast.planetek.it/>) ma provengono originariamente dagli archivi EOLI-SA dell'ESA (Ceriola et al., 2009). I dati sono parziali. Infatti l'arco temporale dei dati acquisiti e processati dal Programma MarCoast fino ad oggi va da febbraio a marzo 2012. I data set si riferiscono al coefficiente di attenuazione diffusa (Kd) collezionato dal sensore ottico MERIS dell'agenzia Spaziale Europea (ESA) a 300m di risoluzione spaziale. I dati sono stati mediati su base mensile. Essi sono ancora in fase di elaborazione e verranno elaborati entro il 15 ottobre 2012.
3. Riguardo ai dati delle campagne oceanografiche ENEA-CNR (Fig. 1-3) questi sono dati collezionati con le sonde multiparametriche (sonda SEABIRD900 CTD) su tutta la colonna d'acqua dal Mar Ionio allo Stretto di Gibilterra e validati mediante il controllo di qualita' basato sui protocolli originali MEDATLAS (MGMR Software versione 2010.01 utilizzando l'ETOP01 (Batimetria) ed i valori di

confine regionali. I dati di torbidità sono stati spazializzati su una griglia di  $0.5^\circ \times 0.5^\circ$  (55-60 km) e ad una risoluzione verticale di 10 m. Tali dati sono stati mediati su base stagionale.

L'arco temporale dei dati acquisiti dalle campagne oceanografiche suddette va da gennaio 2006 a dicembre 2011.

4. Riguardo ai dati di torbidità (Kd) presenti negli archivi del CNR-ISAC, questi sono collezionati dal sensore della NASA SeaWiFS e verranno elaborati su una griglia spaziale di  $1/16^\circ$  ovvero 7 km, al fine di poterli sovrapporre con i dati di temperatura superficiale alla stessa risoluzione spaziale. Gli stessi coprono l'arco temporale dal 1998 al 2010. Deve essere però evidenziato il fatto che per i dati che vanno dal 2004 al 2010 l'ISAC potrà fornire ad ISPRA solo le elaborazioni finali per una questione di proprietà del dato stesso. I dati CNR-ISAC sono ancora in fase di elaborazione e verranno elaborati entro il 15 ottobre 2012.

#### Analisi:

L'analisi qualitativa preliminare si riferisce solo al dataset relativo al Programma di ricerca MARCOAST (Fig. 4). Di seguito l'andamento generale del Kd relativo ai mesi di febbraio e marzo del 2012.

#### Inverno

I valori di torbidità per il mese di febbraio nel Mar Mediterraneo occidentale risultano essere molto bassi ( $0.2 \text{ m}^{-1}$ ). I valori più alti si riscontrano lungo la fascia costiera della Campania, del Lazio e della Toscana in corrispondenza dei tre grandi fiumi Garigliano/Volturno, Tevere ed Arno con valori che si attestano intorno ai  $3-4 \text{ m}^{-1}$ . Elevati valori di Kd si riscontrano anche al largo del Mar Ligure dovuti all'innescarsi del *bloom* (fioritura) fitoplanctonico tipico di quest'area che si sviluppa in primavera e che si estende fino al Golfo del Leone.

#### Primavera

I valori di torbidità anche per il mese di marzo nel Mar Mediterraneo occidentale risultano essere molto bassi ( $0.2 \text{ m}^{-1}$ ) ad eccezione di un'ampia area al largo del Mar Ligure dove si riscontrano elevati valori di Kd, questi sono dovuti al *bloom* (fioritura) fitoplanctonico tipico di quest'area che si sviluppa durante la primavera e che si estende fino al Golfo del Leone. Elevati valori di torbidità si riscontrano sempre lungo la fascia costiera della Campania, del Lazio e della Toscana in corrispondenza dei tre grandi fiumi Garigliano/Volturno, Tevere ed Arno con valori che si attestano intorno ai  $3-4 \text{ m}^{-1}$ .

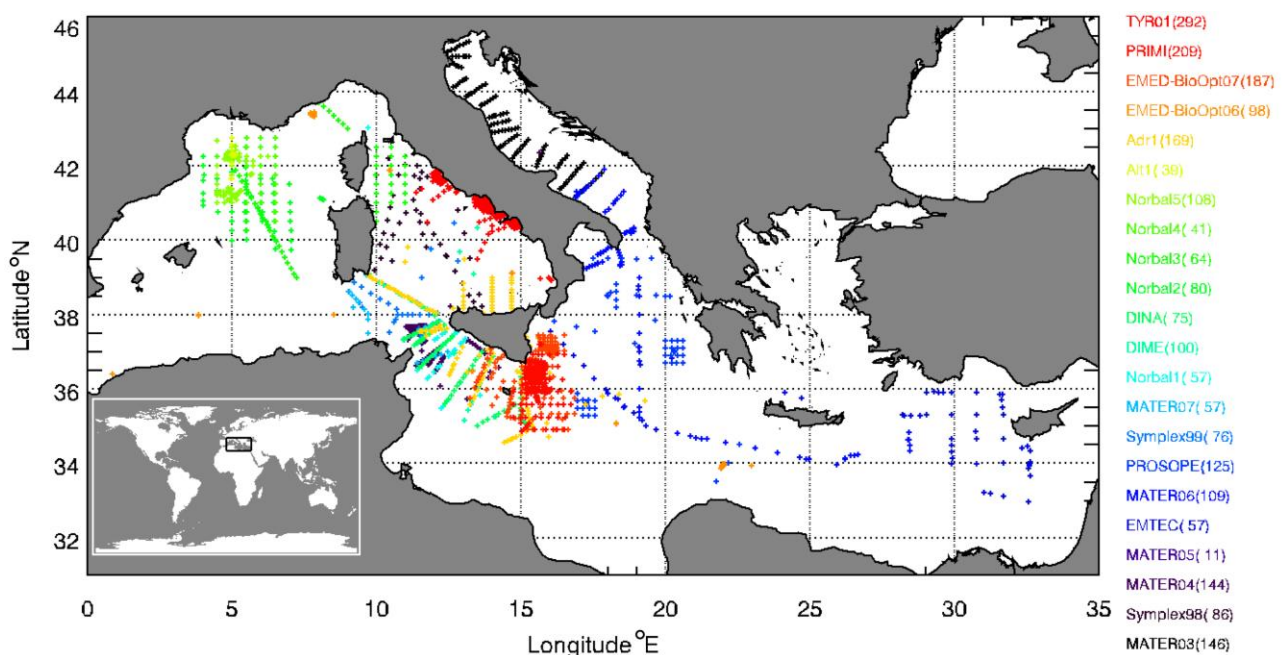


Fig. 1 Campagne oceanografiche condotte dal gennaio 2006 a dicembre 2011 dal CNR-ISAC.

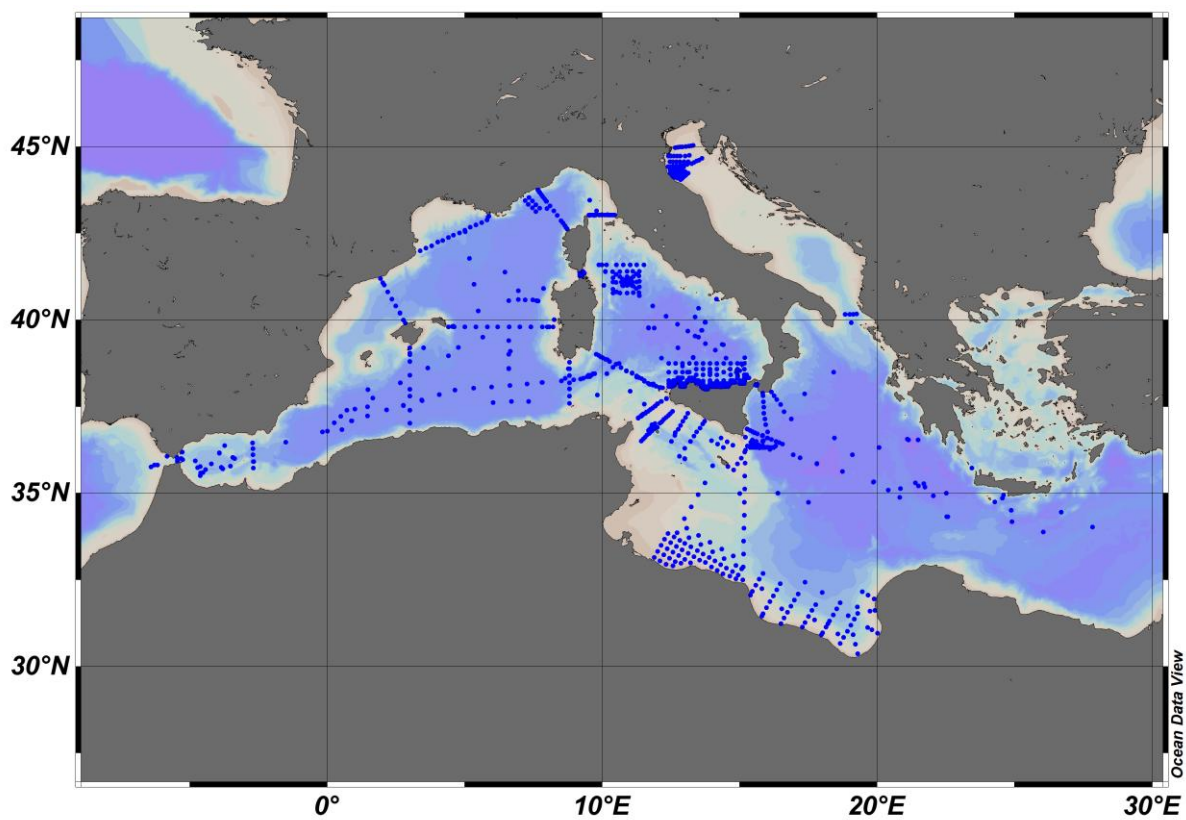


Fig. 2 Campagne oceanografiche condotte dal gennaio 2006 a dicembre 2011 dal CNR-ISMAR.



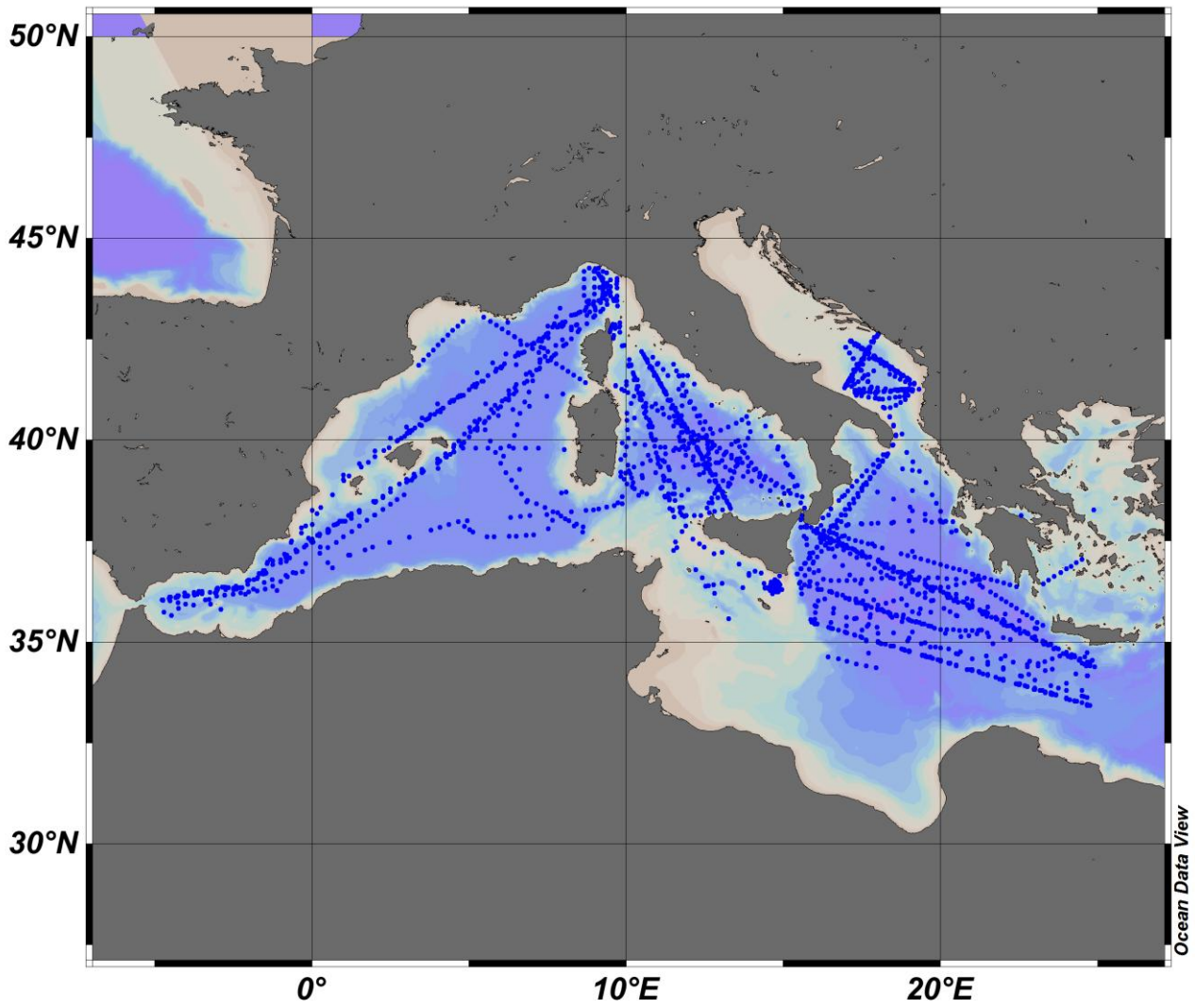
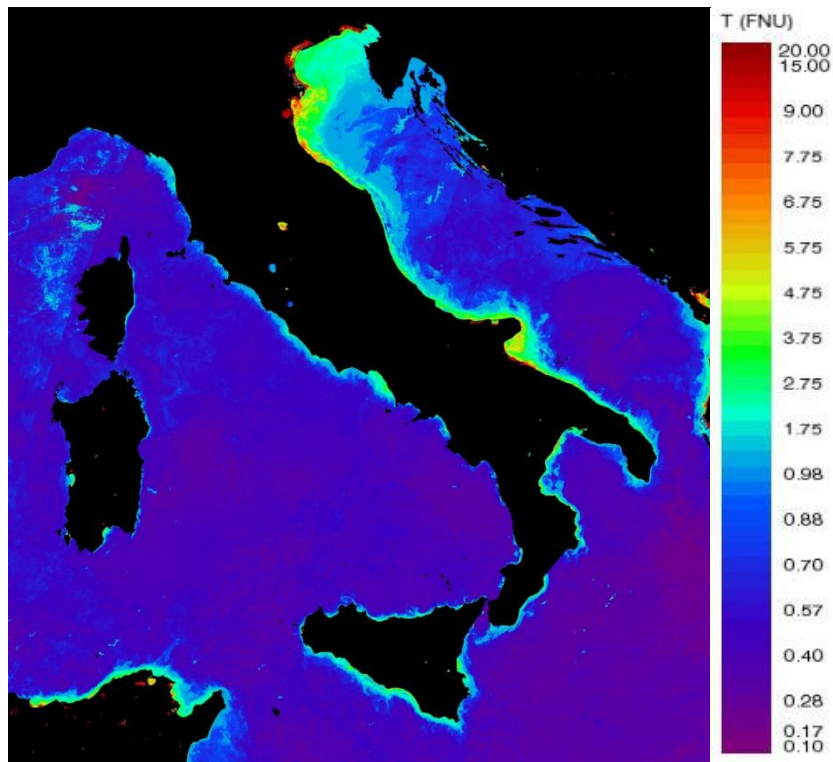
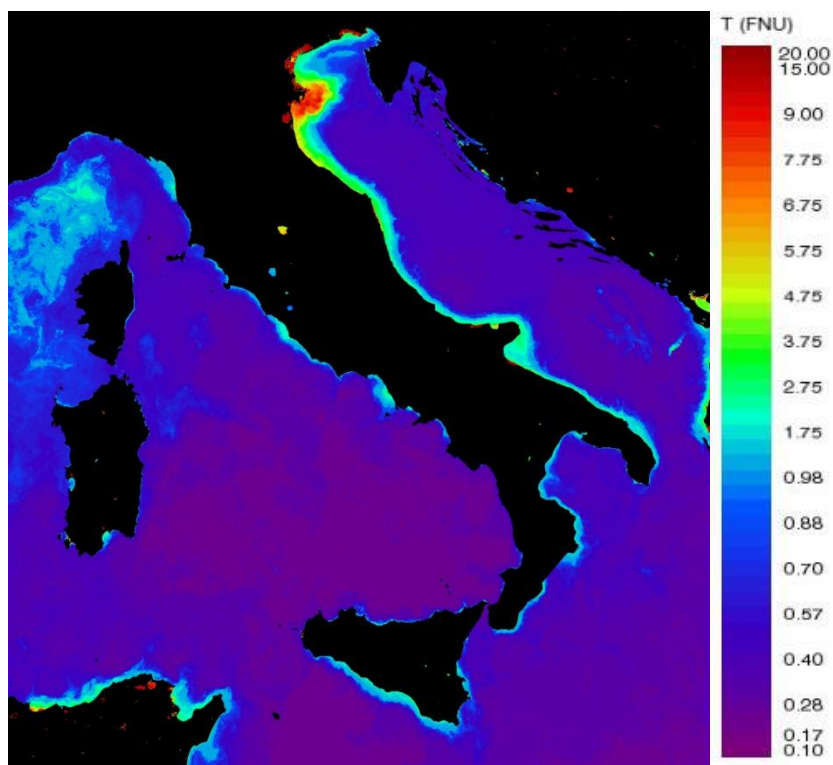


Fig. 3 Campagne oceanografiche condotte dal gennaio 2006 a dicembre 2011 dall'ENEA\_OO.



a)



b)

Fig. 4 Medie mensili del Kd nelle tre sottoregioni per l'anno 2012; a) febbraio, b) marzo.

### 3.1.2 AREA DI VALUTAZIONE

Poiché le informazioni derivanti dal modello globale, per ragioni di tempo di calcolo, non possono essere ad alta risoluzione, per descrivere in modo accurato i fenomeni locali le informazioni sulle tre sub-regioni sono integrate da misure da boe ondometriche direzionali e dai risultati di rianalisi da modelli ad alta risoluzione dove disponibili.

Per la determinazione delle caratteristiche dei processi di interazione delle onde con gli ecosistemi in ambito costiero si ritiene che le scale tipiche dei fenomeni considerati debbano essere dell'ordine dei 2-400 metri. Effettuare un monitoraggio dei parametri ondosi su tale scala per tutte le aree costiere italiane rappresenterebbe tuttavia costi proibitivi, quindi si rende necessario introdurre uno studio approfondito su aree di assessment.

Il criterio della scelta delle assessment areas è stato diversificato per consentire la rappresentazione di dettaglio dei dati ondometrici rilevati dalle stazioni di misura della Rete Ondometrica Nazionale (RON) dell'ISPRA individuata da un tema puntuale su una cartografia GIS (fig.A), nonché, la particolarizzazione dei dati di rianalisi del modello WAM nelle aree costiere per le quali si dispone di idonee batimetrie (fig.B).

Fig. A

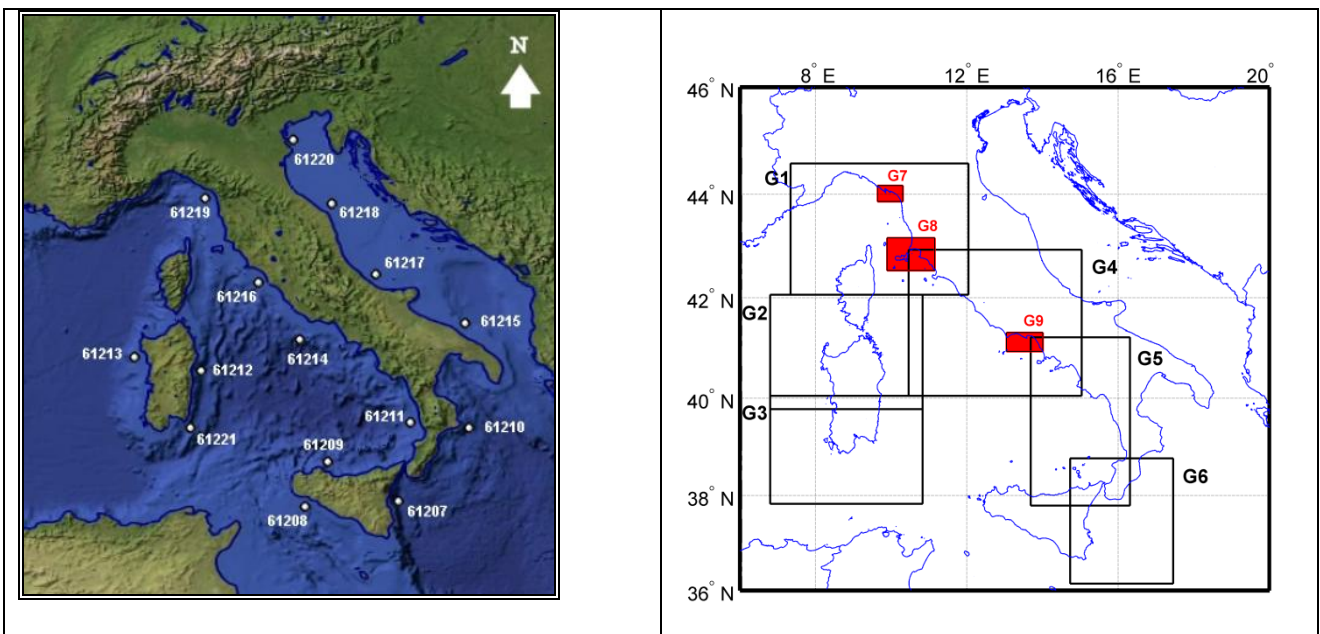


Fig. B

#### 3.1.2.1 INFORMAZIONE UTILIZZATA

## Esposizione al moto ondoso<sup>7</sup>

### Soggetti detentori di dati individuati:

- Centro Meteorologico Europeo per la Previsione a Medio termine (ECMWF);
- ISPRA dati ondometrici direzionali della RON e rianalisi WAM ad alta risoluzione;
- CASPUR;
- INGV;
- EUMETSAT.

### Dati e metodi:

L'evoluzione dello stato del mare è guidata da una serie di processi (per esempio, generazione da parte del vento, dissipazione di energia, rifrazione e frangimento sotto costa, scambi di energia fra le diverse onde) che sono descritti da una serie di equazioni che costituiscono appunto il modello del moto ondoso. Per le finalità del reporting del tema in esame è necessario integrare le informazioni di altezza significativa, periodo e direzione delle onde spazializzate derivanti dai modelli globali di rianalisi del clima ondoso utilizzate con quelle puntuali dei programmi di misura. I dati utilizzati, per omogeneità e per consentirne il confronto, sono i dati di rianalisi ERA Interim Re-Analysis del ECMWF dal 01/01/2005 al 31/12/2008 e quelli corrispondenti della RON.

I datasets derivati dal ECMWF sono costituiti da file GRIB contenenti i dati sinottici riferiti al grigliato di passo 0,25° lat-long corrispondente a circa 28 Km. Il modello restituisce per ogni punto della griglia e per ogni parametro, un valore ogni sei ore (per un totale di 5844 dati nel periodo di analisi).

Poiché le informazioni derivanti dal modello globale, per ragioni di tempo di calcolo, non possono essere ad alta risoluzione, per descrivere in modo accurato i fenomeni locali le informazioni sulle assessment areas sono integrate dalle misure puntuali della RON e dai risultati di rianalisi del modello WAM ad alta risoluzione di ISPRA dove disponibili.

---

### <sup>7</sup> Bibliografia:

1. Cavaleri, L. and Sclavo, M.: The calibration of wind and wave model data in the Mediterranean Sea, *Coast. Eng.*, 53, 613–627, 2006.
2. ECMWF: ECMWF WAVE MODEL, IFS Documentation, part VII– Cy33r1 Operational implementation, 2009.
3. Franco, L., Piscopia, R., Corsini, S., and Inghilesi, R.: L'Atlante delle onde nei mari italiani - Italian Wave Atlas, Full Final Report, University of Roma TRE – APAT, 2004
4. Holthuijsen, L. H.: *Waves in Oceanic and Coastal Waters*, CUP, 2007.
5. Holthuijsen, L. H., Booij, N., and Bertotti, L.: The propagation of wind errors through ocean wave hind casts, *J. Offshore Mech. Arct. Eng.*, 118, 184–189, 1996.
6. Inghilesi R., F. Catini, G. Bellotti, L. Franco, A. Orasi, and S. Corsini, Implementation and validation of a coastal forecasting system for wind waves in the Mediterranean Sea, *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 12, 1–10, 2012
7. Janssen, P. A. E. M.: *The Interaction of Ocean Waves and Wind*, CUP, 2004.
8. Janssen, P. A. E. M.: Progress in ocean wave forecasting, *J. Comput. Phys.*, 227, 2008
9. Komen, G. J., Hasselmann, S., and Hasselmann, K.: On the Existence of a Fully Developed Wind-Sea Spectrum, *J. Phys. Ocean.*, 14, 1271–1285, 1984.
10. Komen, G. J., Cavaleri, L., Donelan, M., Hasselmann, K., Hasselmann, S., and Janssen, P. A. E. M.: *Dynamics and Modeling of Ocean Waves*, Cambridge University Press, 1994.
11. Lavrenov, I. V.: *Wind Waves in Oceans – Dynamics and Numerical Simulations*, Springer, 2003.
12. Lagouvardos, K., Kotroni, V., Koussis, A., and Feidas, H.: The Meteorological Model BOLAM at the National Observatory of Athens: Assessment of Two-Year Operational Use, *J. Appl. Met.*, 42, 1667–1678, 2003.
13. Lionello, P., Malanotte-Rizzoli, P., and Boscolo, R.: *Mediterranean Climate Variability*, Elsevier, Chapter 6, 325–372, 2006.
14. Miles, J. W.: On the generation of surface waves by shear flow, *J. Fluid Mech.*, 3, 185–204, 1957.
15. Phillips, O. M.: On the generation of waves by turbulent wind, *J. Fluid. Mech.*, 2, 417–445, 1957.
16. Polnikov, V. G., Dymov, V. I., Pasechnik, T. A., Lavrenov, I. V., Abuzyarov, Z. K., and Sannasiraj, S. A.: Testing and verifying the wind wave model with an optimized source function, *Oceanology*, 48, 7–14, 2008.
17. The SWAN Team: *SWAN Technical Manual*, SWAN Cycle III version 40.81, Delft University of Technology, 1993.
18. The WISE Group: *Wave Modeling – The State of the Art*, *Progress in Oceanography*, 75, 2007.
19. Van der Westhuysen, A. J., Zijlema, M., and Battjes, J. A.: Nonlinear saturation based white capping dissipation in SWAN for deep and shallow water, *Coast. Eng.*, 54, 151–170, 2007.
20. Fisher. N.I. , “Statistical Analysis of Circular Data”, Cambridge University Press, 1993.

La rete RON fornisce per ogni boa e per ogni parametro, un valore ogni 30 minuti (per un totale di 70128 misure attese in assenza di gap). I parametri misurati dalle boe della RON utilizzati sono: l'altezza d'onda significativa, il periodo medio, il periodo di picco e la direzione di provenienza del moto ondoso. I primi tre parametri sono caratterizzati da una evidente asimmetria nella distribuzione dei dati, mentre la direzione è spesso affetta da multimodalità a causa delle caratteristiche morfologiche dei bacini interessati dal moto ondoso.

La metodologia usata prevede la definizione di valori medi e mediani per tutti i parametri, nonché valori modali per le direzioni. Inoltre, per le altezze d'onda vengono forniti anche i valori del 90° percentile che fornisce una buona descrizione della tipologia degli eventi estremi occorsi. Tutte queste grandezze vengono valutate su differenti scale temporali, quali il mese, la stagione e l'anno.

I risultati finali sono in corso di elaborazione e saranno elaborati entro ottobre 2012.

Per realizzare lo studio in ambito costiero si possono utilizzare metodi numerici ad altissima risoluzione spaziale e monitoraggio in situ. Tale sistema permetterebbe di accumulare statistiche sul moto ondoso in aree morfologicamente complesse, in cui le interazioni con il fondale a costa diventano importanti. Il modo di implementare un sistema di previsione costiera è quello di procedere ad una catena di nesting partendo dalla scala del Mediterraneo, quindi effettuando un downscaling su aree regionali ed alla fine arrivare alle simulazioni in ambito costiero.

In fig. c è rappresentata la struttura delle aree 6 regionali (g1-g6 in nero) e 3 aree costiere realizzabili entro il 2013 (g7-g9 in rosso). I modelli da usare in cascata sono il WAVE Model (WAM) per il Mediterraneo e le aree regionali, lo Simulating Waves Nearshore (SWAN). La risoluzione finale in ambito costiero sarebbe 1/240 di grado, corrispondente a circa 400m.

Il sistema farebbe uso di accurate batimetrie messe a disposizione nel quadro della MSFD, vento ad alta risoluzione (10 km) fornito dal sistema SIMM di ISPRA, correnti prodotte dal modello oceanografico MFS/OPA di INGV e dati da satellite Jason2, Envisat per assimilazione dei dati altimetrici.

Si ritiene che il sistema costiero possa essere implementato sulle prime tre assessment areas nel Mar Ligure, Tirreno centrale e Tirreno Meridionale entro il 2013, fornendo 2 anni di statistiche, e potrebbe essere sviluppato sulle altre assessment areas del Mediterraneo Centrale e Mar Ionio nel 2014-2018.

#### *Analisi:*

Di seguito si riportano le cartografie della esposizione al moto ondoso (attualmente riferita alle tre subregioni):

I valori medi, mediani, modali e i percentili fino ad ora elaborati sono riferiti ai parametri di altezze e direzione dell'onda per i dati ricavati dal modello WAM del ECMWF

I valori medi annuali dell'altezza d'onda significativa sono dell'ordine di:

- 0.5 - 1 m nel Tirreno centrale con picchi anche superiori al metro al largo di Corsica e Sardegna per effetto delle perturbazioni agenti nello Stretto di Bonifacio;
- 0.5 m nell'Adriatico con valori minimi nell'Alto Adriatico e massimi nel Basso Adriatico (0.7 – 0.8 m)
- 0.5 – 1 m nel mar Ionio
- 0.5 – 1 m nel mar Ligure
- superiori al metro nel canale di Sicilia e Mediterraneo Occidentale al largo della Sardegna.

2005

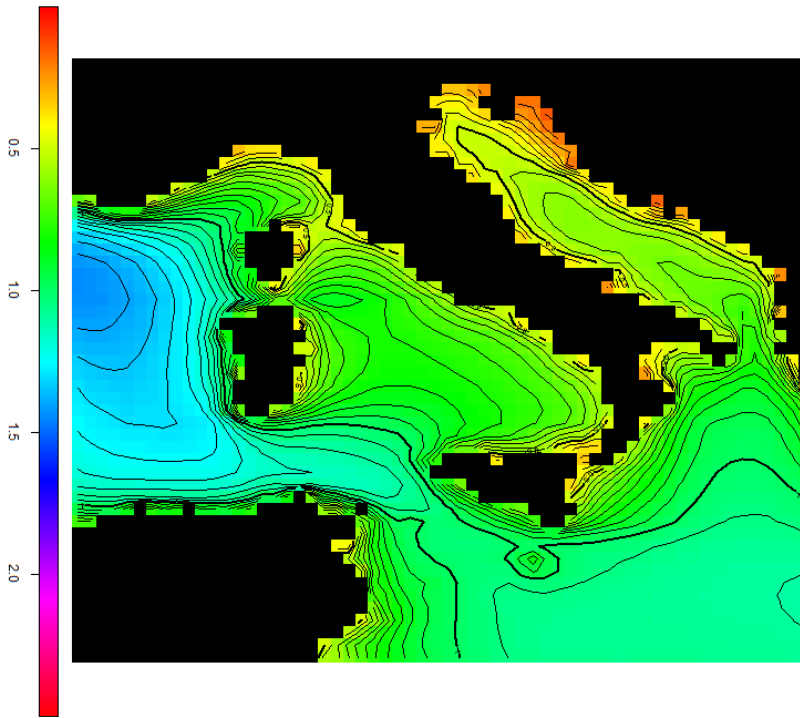


Fig.1 – Media annuale dell'altezza d'onda significativa – anno 2005

2006

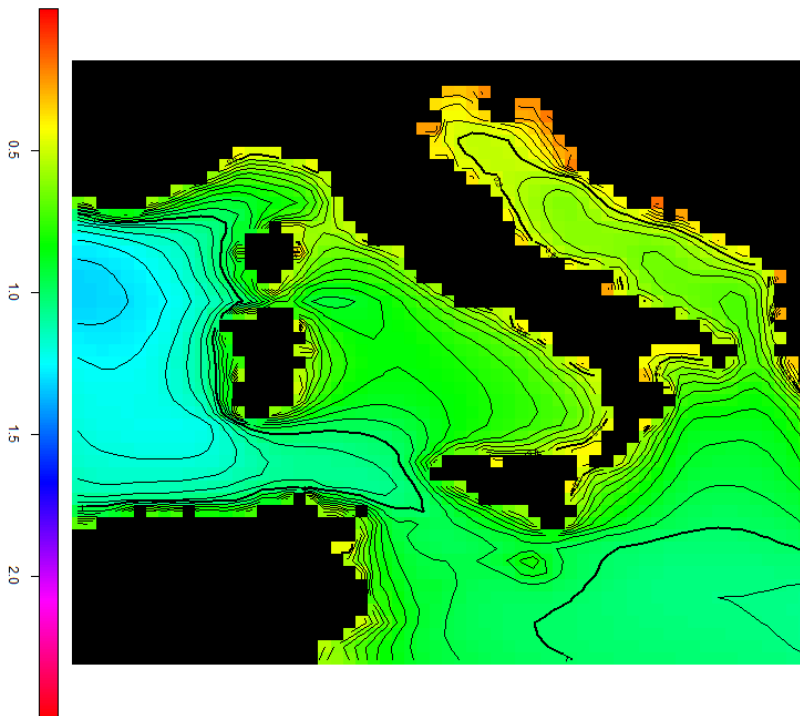


Fig.2 – Media annuale dell'altezza d'onda significativa – anno 2006

2007

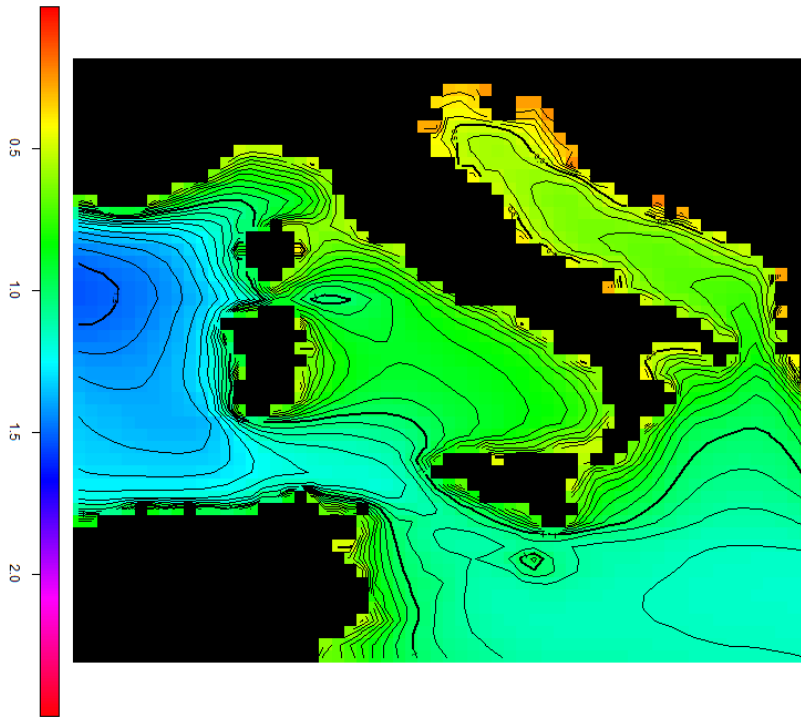


Fig.3 – Media annuale dell'altezza d'onda significativa – anno 2007

2008

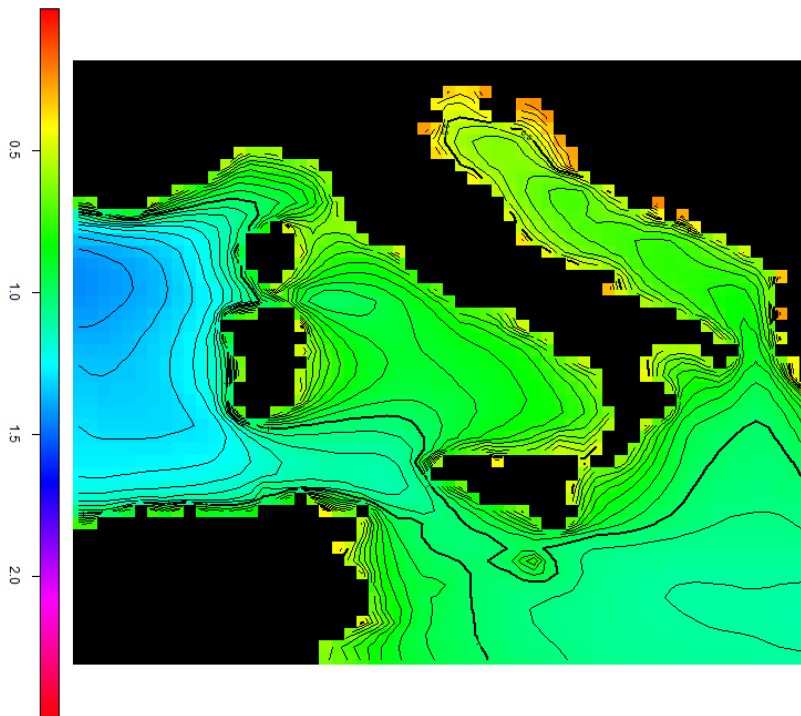


Fig.4 – Media annuale dell'altezza d'onda significativa – anno 2008

Le altezze medie annuali mostrano andamenti analoghi ai precedenti, ma con valori ridotti di circa il 30% (in figura viene riportato il solo valore mediano relativo all'anno 2005).

2005

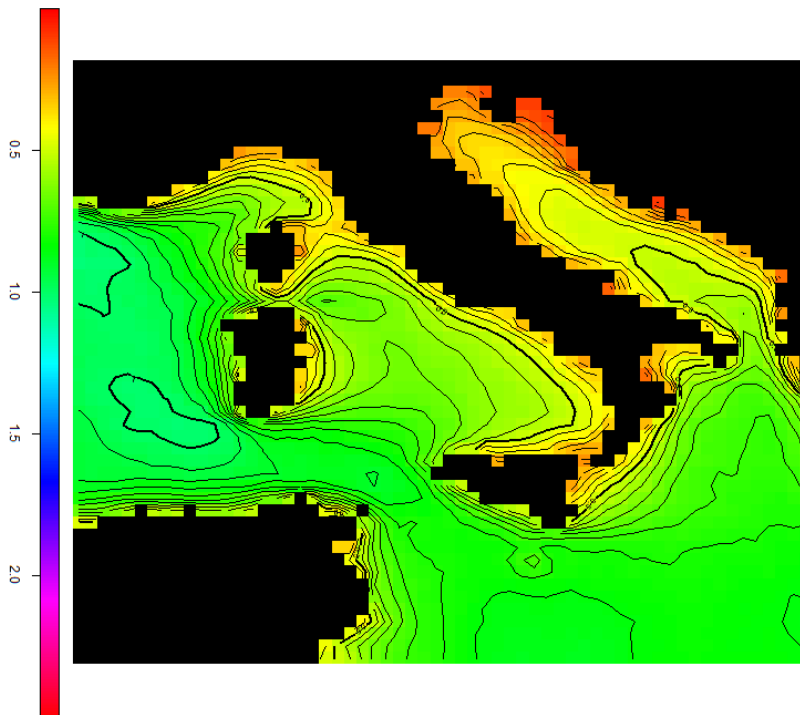


Fig.5 – Valore mediano annuale dell'altezza d'onda significativa – anno 2005

Il valore annuale del 90° percentile risulta di conseguenza maggiore nel Mediterraneo Occidentale e nel Canale di Sicilia, con punte anche dell'ordine di 3.5 metri e si mantiene comunque superiore al metro nelle altre aree.



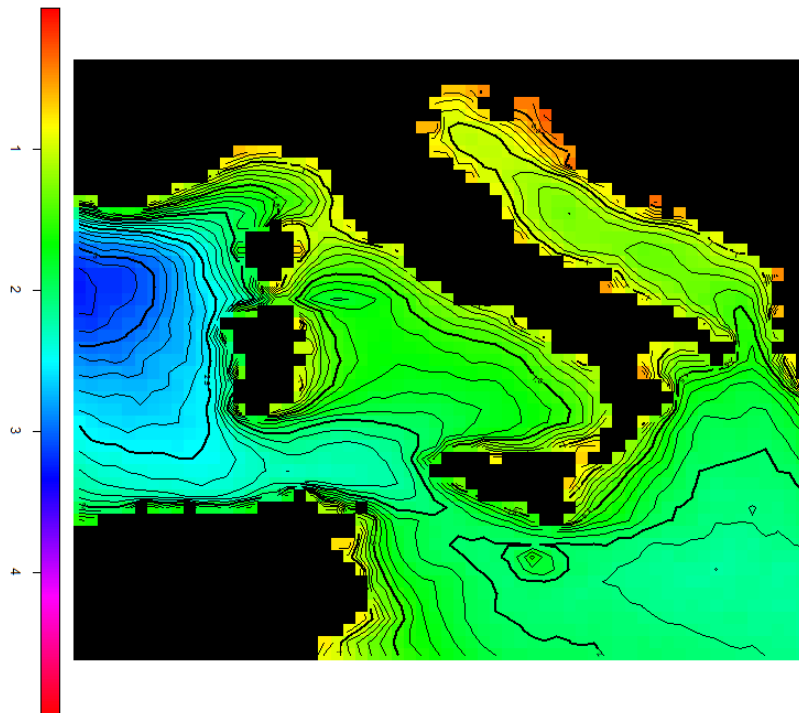


Fig.6 – 90° percentile dell'altezza d'onda significativa – anno 2005

Le medie climatiche mensili e stagionali mostrano una netta stagionalità del fenomeno derivante dalla variabilità nell'arco dell'anno degli eventi atmosferici. Nel periodo autunno - invernale si assiste quindi a altezze d'onda medie nel Mediterraneo occidentale maggiori di 1.5 m (con picchi nei mesi di novembre e dicembre superiori a 2 m). Nel Mar Tirreno e nel Mar Adriatico tali medie raggiungono rispettivamente i valori di 1 - 1.5 m e 0.5 – 1 m. Di conseguenza, i valori del 90° percentile si assestano intorno a 3.5 m nel Mediterraneo Occidentale, 2 – 2.5 m nel Tirreno e 1 – 1.5 nell'Adriatico.

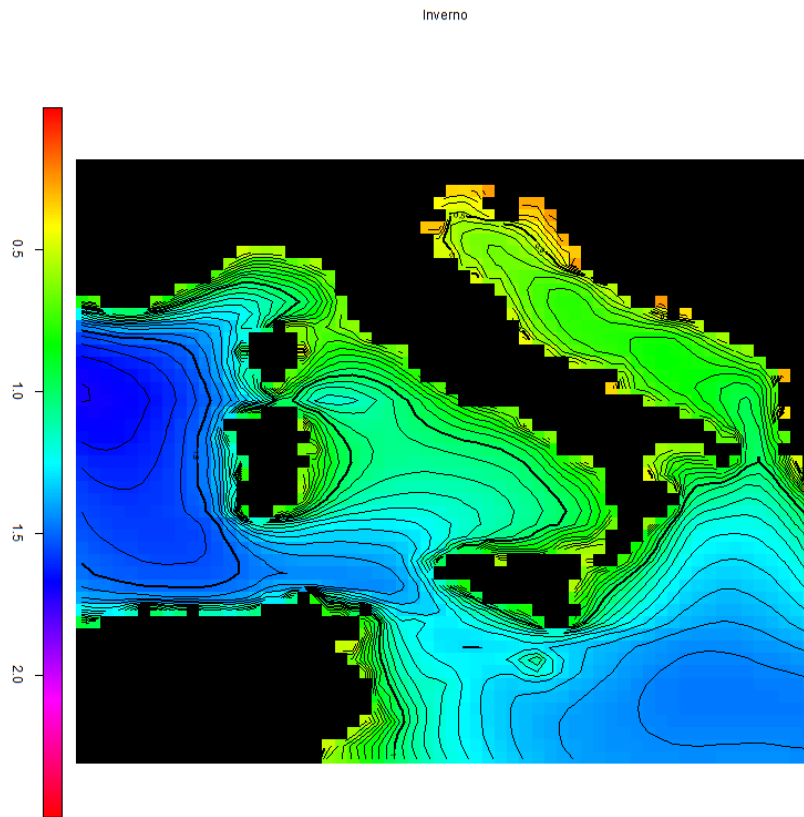


Fig.7 – Media stagionale dell'altezza d'onda significativa – Inverno 2005 - 2008

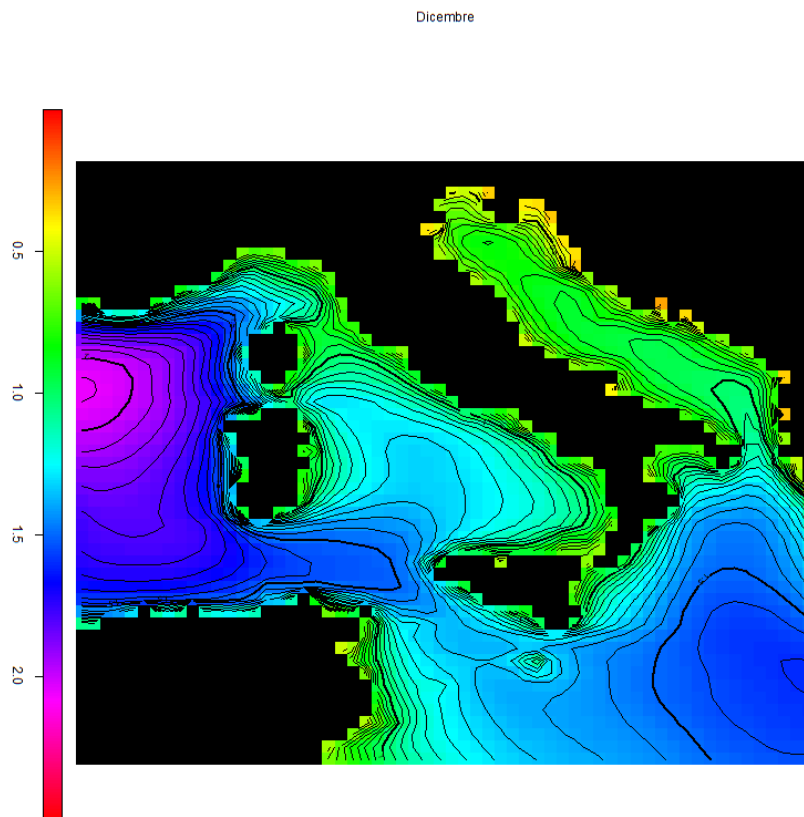


Fig.8 – Media mensile dell'altezza d'onda significativa – Dicembre 2005 - 2008

Inverno

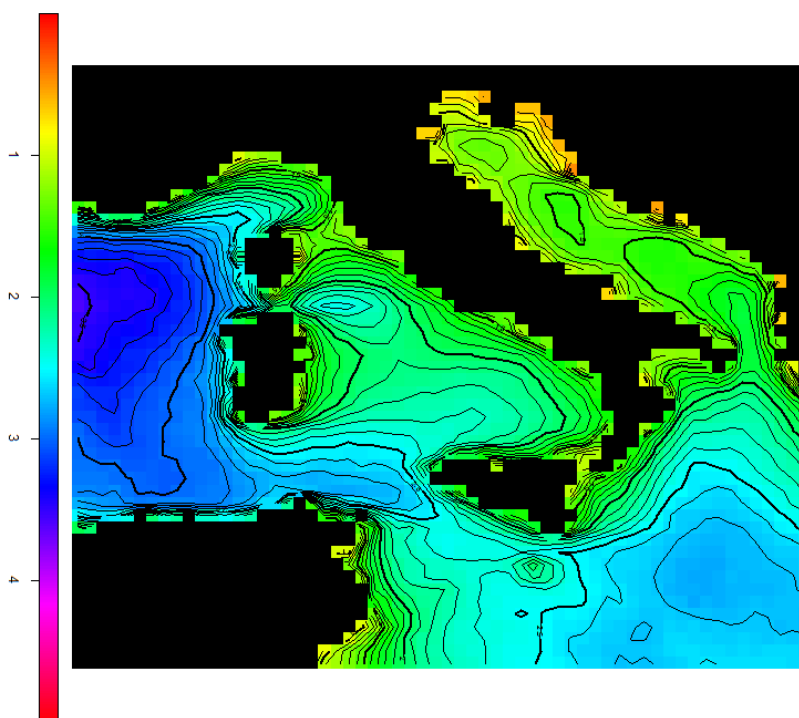


Fig.9 – 90° percentile stagionale dell'altezza d'onda significativa – 2005 - 2008

Le medie e le mode annue della direzione di provenienza del moto ondoso presentano una notevole stabilità. Si evidenziano differenze tra i valori medi e modali delle direzioni nel Mar Adriatico a causa della multimodalità dei valori analizzati dovuta alla presenza di almeno due direzioni principali di provenienza del moto ondoso.

2005

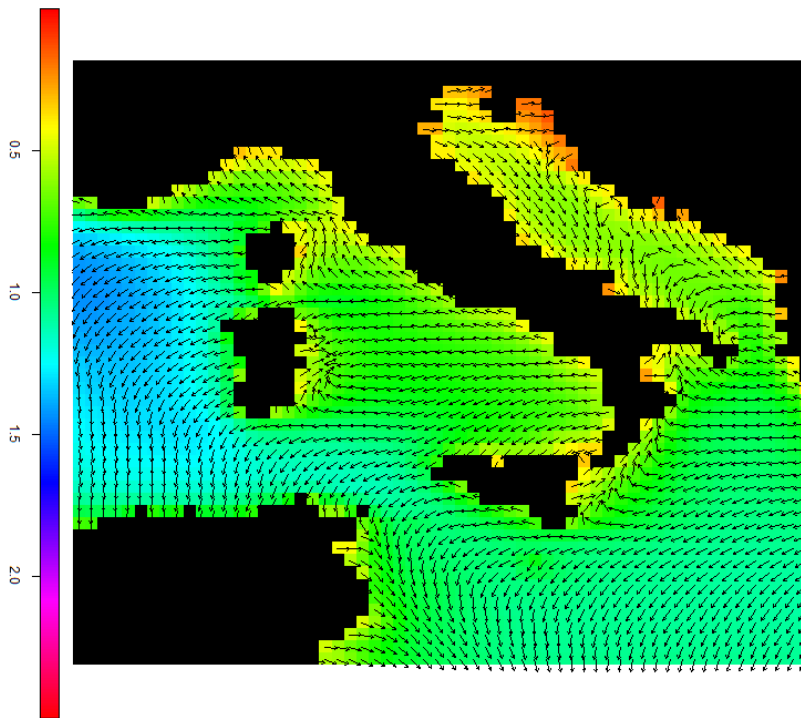


Fig.10 – Direzione media annuale della direzione dell'onda – 2005

2005

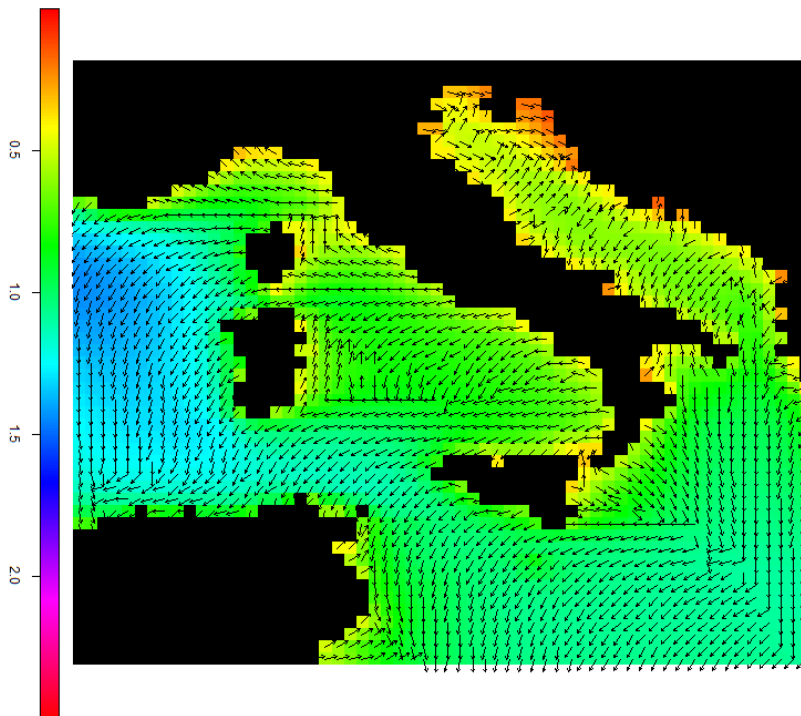


Fig.11 – Direzione modale annuale della direzione dell'onda – 2005

Di seguito si riportano i dati di esposizione al moto ondoso ottenuti dalle misurazioni puntuali ricavate dalle boe della RON (attualmente riferiti a titolo di esempio a due delle quindici stazioni RON):

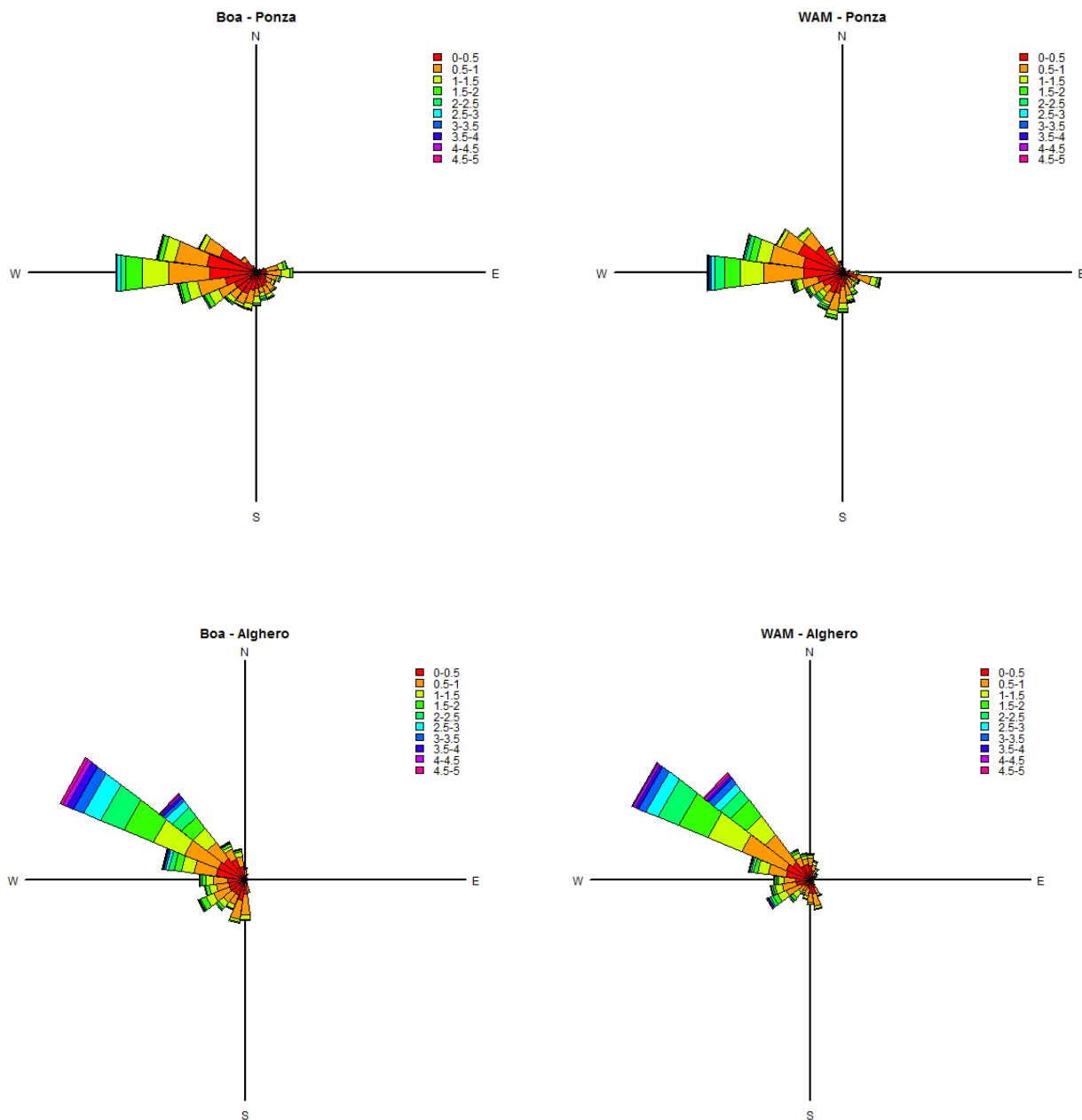


Fig.12 – Confronto tra osservazioni ondamiche e valori stimati da modello – 2005-2008

A partire dalle osservazioni ondamiche ricavate della RON, è stato effettuato un confronto tra i dati reali e i dati da modello (WAM). Le seguenti rose rappresentanti il clima ondoso nel periodo 2005-2008 suggeriscono una buona ricostruzione dello stato di mare da parte del modello. Tuttavia si riscontrano anche delle differenze soprattutto nella ricostruzione degli eventi estremi in cui il modello sembra sottostimare i valori di altezza d'onda.

Di seguito si riportano le cartografie della esposizione al moto ondoso ottenuti dai modelli ad alta risoluzione (attualmente riferita ad alcune delle aree disponibili):

Si riporta in fig.13-14 il confronto tra modello ad alta risoluzione per acque profonde e modello ad altissima risoluzione per la propagazione a costa. Il confronto si riferisce all'area G7 nel caso di una mareggiata

avvenuta a marzo del 2008. Si puo' osservare come i processi di interazione col fondale (shoaling, breaking, attrito sul fondo) sono presenti nella fig. 14 ma non nella 13.

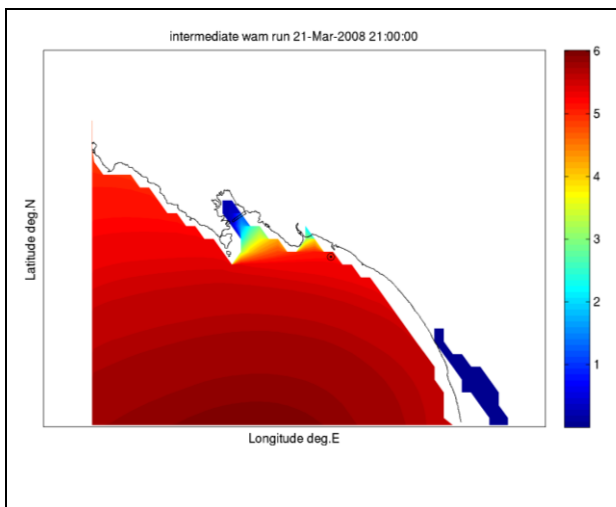


Fig.13 Simulazione modello ondoso per acque profonde

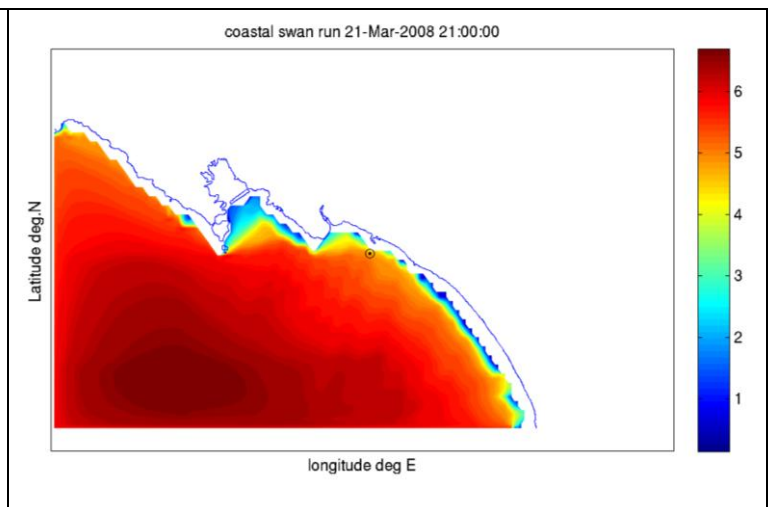


Fig.14 simulazione del modello costiero

La catena di nesting permette di considerare gli effetti dovuti alla rifrazione delle correnti nelle aree regionali (fig 15-16), che possono contribuire in modo significativo in alcune aree importanti del Tirreno e del Mediterraneo Centrale.

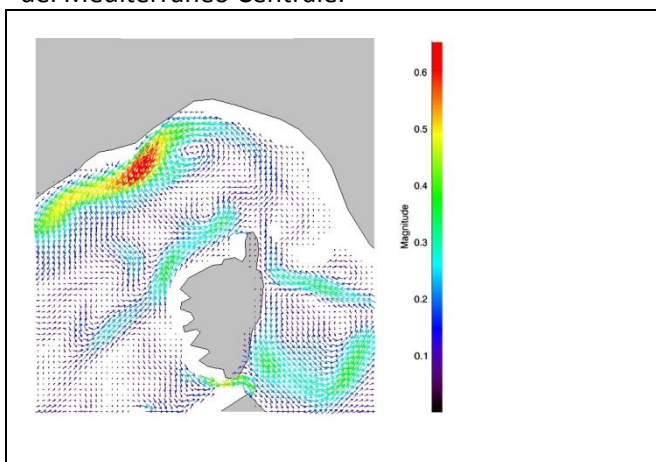


Fig.15 campo di corrente superficiale OPA 9/11/2010

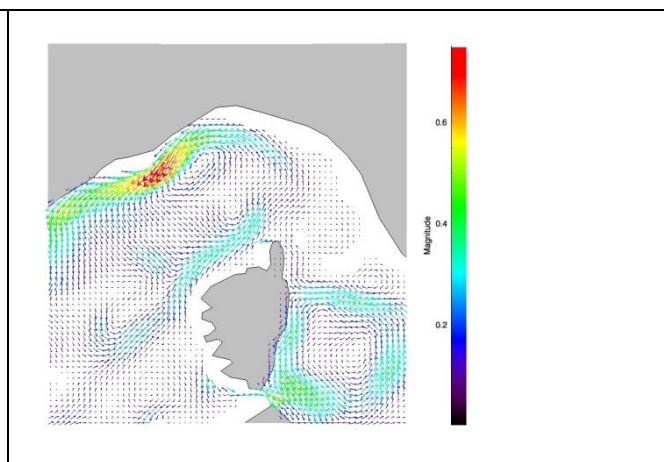


Fig.16 campo di corrente superficiale OPA 11/11/2010

Il sistema può assimilare dati da satellite prodotti da Jason-1, Jason-2 ed ENVISAT. Si valuta che per le simulazioni a grande scala possano essere considerati da 8 ad 11 passaggi sul Mediterraneo (fig.17-18), questo permetterebbe di migliorare la qualità delle previsioni sul breve periodo e delle ricostruzioni di episodi.

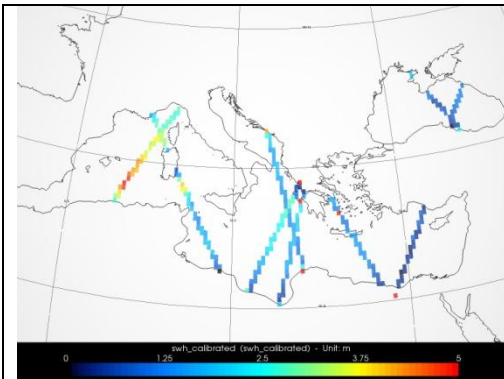


Fig. 17 - tracce dei satelliti disponibili sul Mediterraneo il giorno 10/11/2010

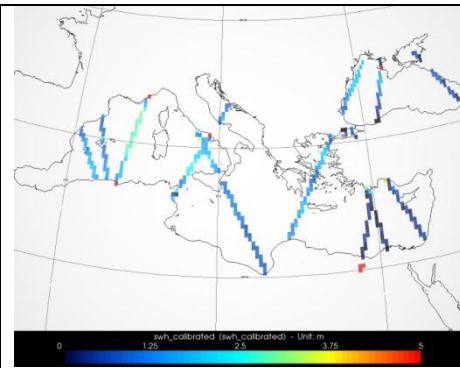


Fig. 18 - tracce dei satelliti disponibili sul Mediterraneo il giorno 11/11/2010

Il monitoraggio in situ prodotto dall'ISPRA e quello che si può realizzare con simulazioni numeriche del sistema costiero sono generalmente in buon accordo sia sulle aree regionali dove si valutano le onde in mare aperto (fig. 19-20) su fondale 90-100 m

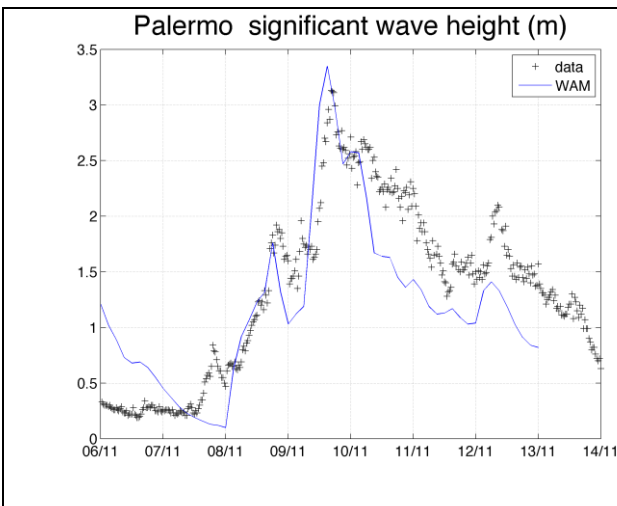


Fig. 19 - confronto modello Wam regionale e boa RON Palermo 6-11/14-11 2010

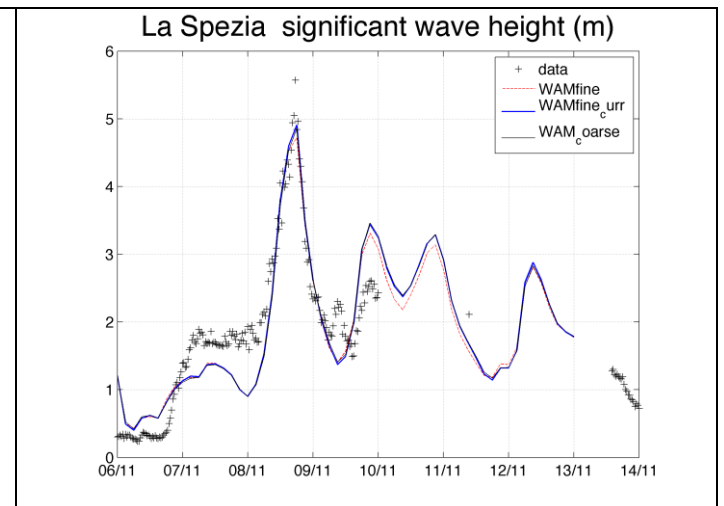


Fig. 20 - confronto modello Wam regionale e boa RON La Spezia 6-11/14-11 2010

Che nelle aree costiere, come si può vedere nella figura 21-22 dove si confrontano le simulazioni numeriche del sistema costiero (WAM+SWAN) con le osservazioni su un fondale di 12 m

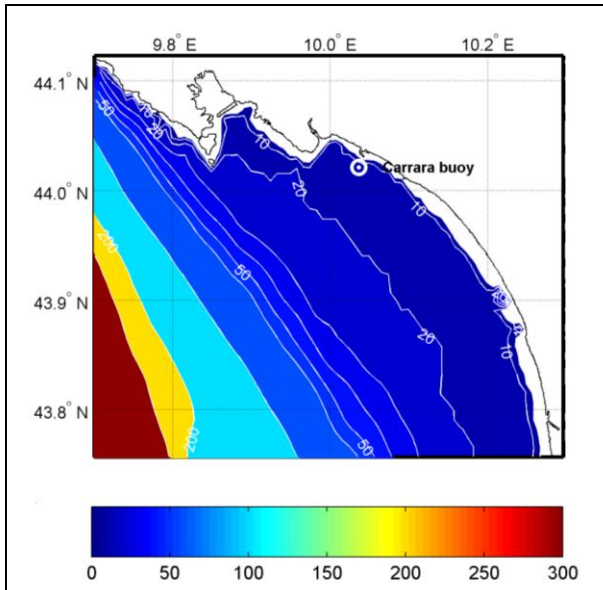


Fig. 21 - batimetria dell'area di Carrara e posizione della boa

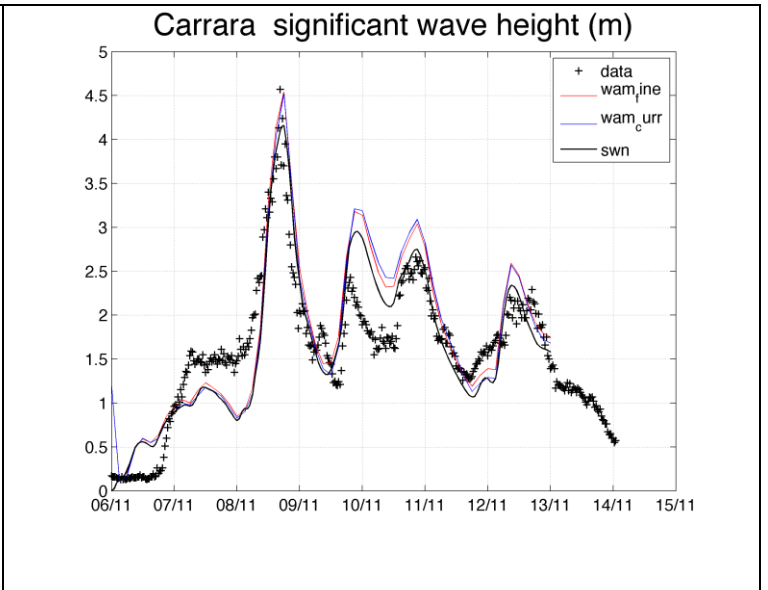


Fig. 22 - confronto modello SWAN costiero e boa Carrara 6-11/14-11 2010



## **CASO STUDIO: TIRRENO CENTRALE**

L'area è stata scelta per la rilevanza degli afflussi del Tevere per la circolazione superficiale e per la rilevanza dei processi oceanografici su scale sub-regionale e per tempi dell'ordine dei dieci giorni. La circolazione nel Tirreno è forzata dalla circolazione generale termohalina del Mediterraneo in inverno, mentre si disaccoppia dal sistema durante la tarda estate-autunno. In queste ultime condizioni la circolazione è debole, caratterizzata da eddies a mesoscala e dall'azione del vento. Il Tevere è il terzo fiume più lungo in Italia, ha portate che variano tra valori intorno a 150 m<sup>3</sup>/s in estate ed oltre 1500 m<sup>3</sup>/s in caso di piene invernali. La dispersione in superficie del plume fluviale può arrivare ad eccedere distanze dell'ordine di 200 km. In tali condizioni si ritiene che sia necessario studiare tale dominio considerando dati e metodi numerici in grado di risolvere processi a scala marino-costiera.

Lo studio proposto per ottobre 2011 su un numero limitato di episodi può fornire indicazioni preliminari importanti sulla dinamica dei processi marini a scala costiera.

La variabilità spazio-temporale dei processi esaminati sembra indicare la necessità di uno studio sistematico dei processi meteo-marini a scala costiera portato avanti con i metodi sopra proposti. Si ritiene che nel periodo 2011-2013 si potrebbe effettuare un monitoraggio sistematico dei dati da satellite ad alta risoluzione nell'area considerata, e, con l'uso di metodi di simulazione numerica sopra descritti si può caratterizzare in modo quantitativo la dinamica dei processi fisici, fornendo tutti i parametri (temperatura, salinità, corrente, mixing e residence time) necessari alla GES. Nello studio verrebbero considerati i contributi alla formazione del jet costiero da parte di tutti i corsi d'acqua presenti nell'area. Nel periodo 2014-2018 si possono estendere i risultati ad altre aree di assessment importanti nelle sub aree del Mediterraneo Centrale, Mar Ionio ed Adriatico.

## **INFORMAZIONE UTILIZZATA**

### **Salinità**

*Soggetti detentori di dati individuati:*

ISPRA, INGV, CASPUR, CNR/ISAC

*Dati e metodi:*

Nell'area, onde caratterizzare processi di circolazione a scala marino-costiera, lo studio viene condotto con monitoraggio da satellite (MODIS) ad 1 km di risoluzione e modelli numerici ad alta risoluzione (2 km), sia oceanografici che lagrangiani a particella. Il parametro da satellite più utile per il tracciamento del plume fluviale è il diffuse light attenuation coefficient at 490nm (**K490**). Le mappe disponibili di K490 sono confrontate con simulazioni numeriche effettuate con un modello ICE-POM nestato nel dominio del modello OPA/MFS e con le concentrazioni di particelle simulate con modello Lagrangiano.



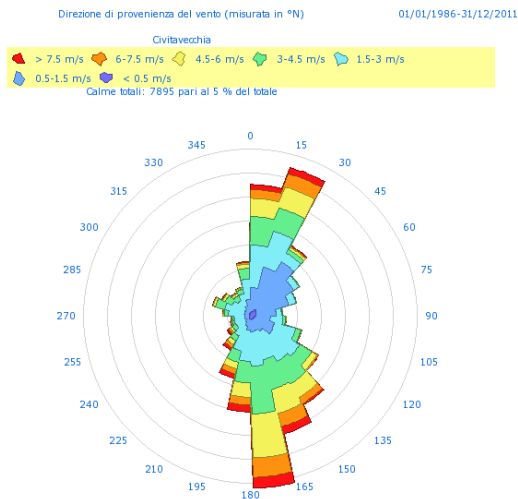
Fig.1

*Analisi:*

L'accoppiamento (1 way) del modello oceanografico ICE\_POM con il modello a scala Mediterranea MFS/OPA consente di effettuare simulazioni ad alta risoluzione che mettano in risalto l'importanza di processi dinamici a scala marino-costiera mantenendo condizioni molto simili alle condizioni reali. Questo e' possibile perche' il modello di circolazione generale OPA dell'INGV utilizza uno schema di assimilazione di dati da satellite ed osservazioni in situ, il modello ICE-POM dell'ISPRA usa dati di vento trionari ad alta risoluzione (10 km), temperatura da satellite ad 1 km di risoluzione e portate osservate presso la stazione di Ripetta del Tevere. L'analisi ad alta risoluzione dei dati da satellite e' stata condotta dal CNR/ISAC-GOS con ISPRA. I modelli numerici ad alta risoluzione (2 km x 2 km) richiedono notevoli risorse computazionali e sono girati su macchine parallele presso il CASPUR.

Il dominio del modello ICE\_POM e' indicato nella fig.1 in rosso, le condizioni di nesting con MFS/OPA sono applicate sui bordi aperti indicate in nero. La discarica fluviale e' inserita nell'ICE-POM come processo di sottogriglia assimilandola ad un buoyant-jet (Oey et al.1996). Questo e' giustificato dal fatto che la dimensione della foce fluviale (200m)e' molto minore della dimensione della cella del modello. Data la grande variabilita' della salinita' superficiale, sono stati presi in considerazione 4 periodi di durata 30 giorni in condizioni estive (luglio 2010) ed invernale (dicembre 2008, gennaio 2010, novembre 2010) in corrispondenza di episodi di upwelling estivo ed episodi rilevanti di discarica fluviale in inverno.

Il vento ha una grande importanza per a circolazione estiva, si mostra in fig.2 la rosa dei venti osservata nel periodo 1986-2011 presso la stazione costiera di Civitavecchia dell'ISPRA. Si puo' osservare che il regime dominante in inverno e' da Nord-est, mentre quello estivo e' da Sud, Sud-Est. La percentuale dei casi favorevoli alle condizioni di upwelling (direzione intorno a 315 gradi N) e' bassa, mentre quelle favorevoli al downwelling (circa 160 gradi N) e' piu' rilevante.



In Fig. 3-4 e' indicata la transizione da regime di brezza ad upwelling come si osserva dalle mappe di K490 per i giorni 14 e 18 luglio 2010. Si puo' osservare che il ruolo del vento in tali condizioni e' quello di staccare il plume fluviale dalla costa e disperdere le acque dolci grazie alle piu' intense correnti al largo. Dalle figure e' possibile osservare la variabilita' spaziale dei campi di salinita' associati alla presenza di gyres caratteristici ben definiti dal modello. La circolazione (vedi descrittore correnti) e' coerente con gli studi climatologici sul regime invernale. In particolare sono ben riprodotti i campi di circolazione associati alla presenza di Mediterranean Atlantic Water (MAW) e Levantine Intermediate Waters (LIW). Dalla conoscenza delle distribuzioni dei campi di corrente e dalla rosa dei venti e' possibile dare una valutazione preliminare sulle condizioni di mixing, sui campi di salinita' e di temperatura sulla base di un numero limitato di casi studio. Uno studio sistematico su un periodo di 3 anni permetterebbe di caratterizzare compiutamente e quantitativamente tutti i processi e la dinamica costiera.

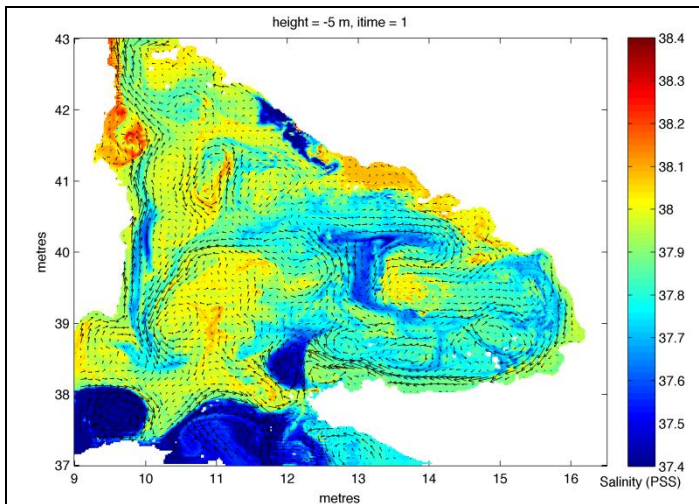


Fig. 3 Salinita' superficiale e corrente il 14/7/2010

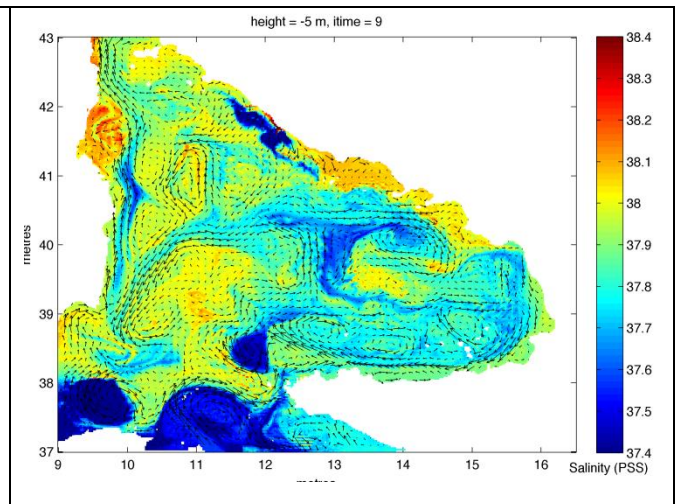


Fig. 4 Salinita' superficiale e corrente il 18/7/2010

## Temperatura

*Soggetti detentori di dati individuati:*

ISPRA,INGV, CASPUR, CNR/ISAC

*Dati e metodi:*

analoghi a quanto mostrato nel descrittore salinita'.

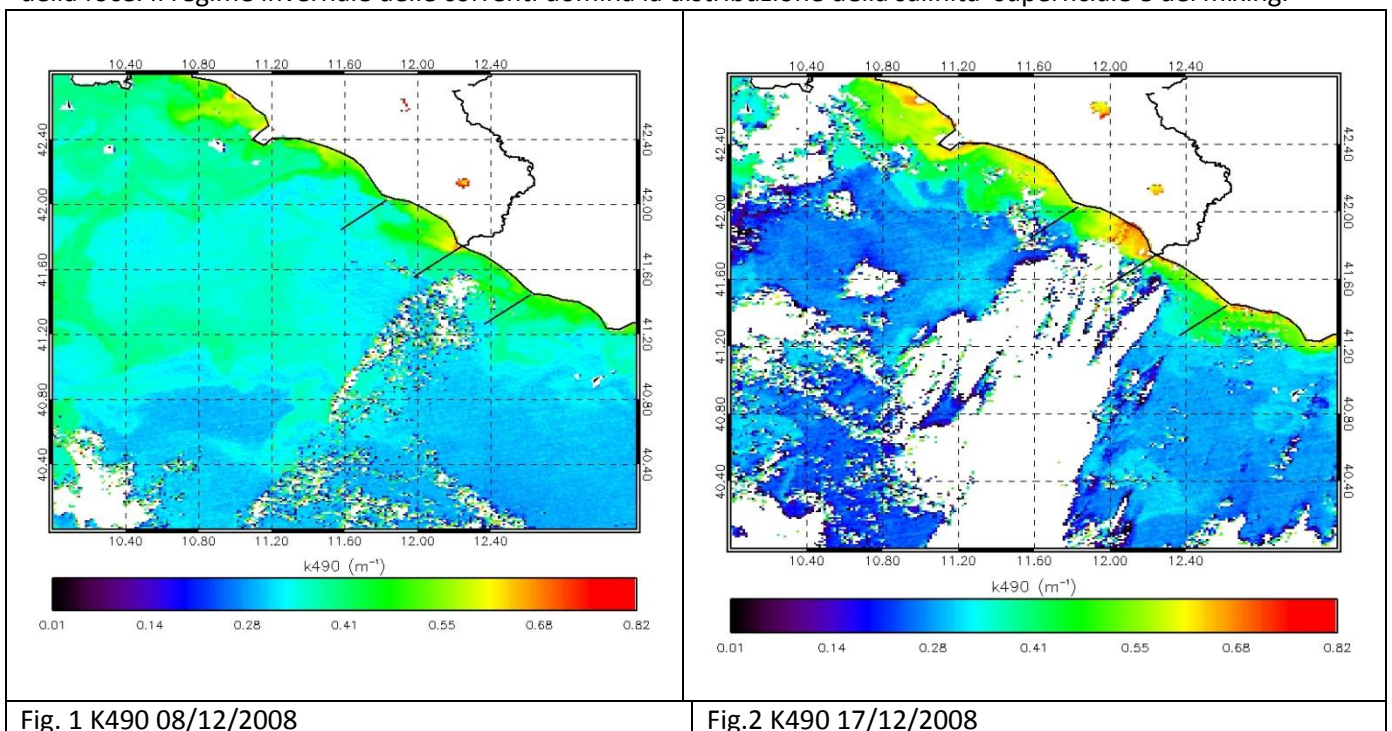
## Correnti

*Soggetti detentori di dati individuati:*  
ISPRA, INGV, CASPUR, CNR/ISAC

*Dati e metodi:*  
analoghi a quanto mostrato nel descrittore salinita'.

### *Analisi:*

In figura 1-2 sono mostrati i campi di K490 per l'8 e 17 dicembre 2008 . Il caso corrisponde ad un intenso evento di piena (massimo 1600 m<sup>3</sup>/s) avvenuto tra il 12 ed il 18 dicembre . Si puo' osservare l'estensione del jet costiero a nord della foce dopo la piena, indicativo della dispersione delle acque dolci superficiali. Nelle figure 3-4 sono indicati i campi di corrente simulati dal modello ICE-POM. Si puo' osservare come la presenza di un piccolo gyre sotto l'Elba sia importante per il mescolamento delle acque costiere a nord della foce. Il regime invernale delle correnti domina la distribuzione della salinita' superficiale e del mixing.



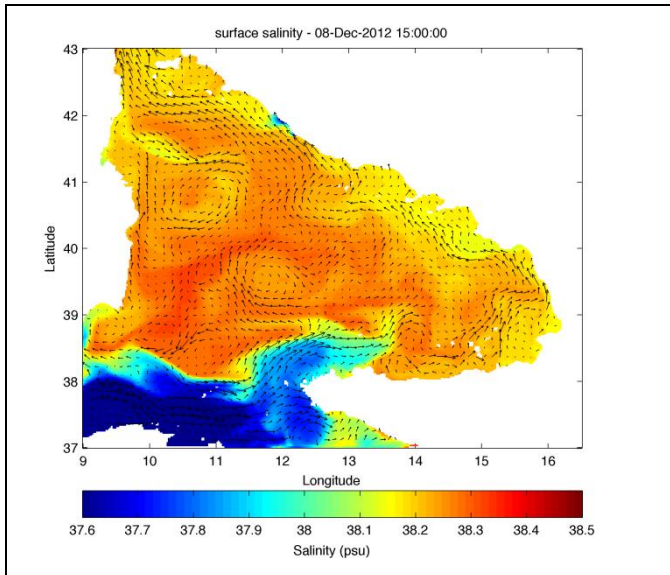


Fig. 3 Salinita' superficiale e corrente l'8 dicembre 2008

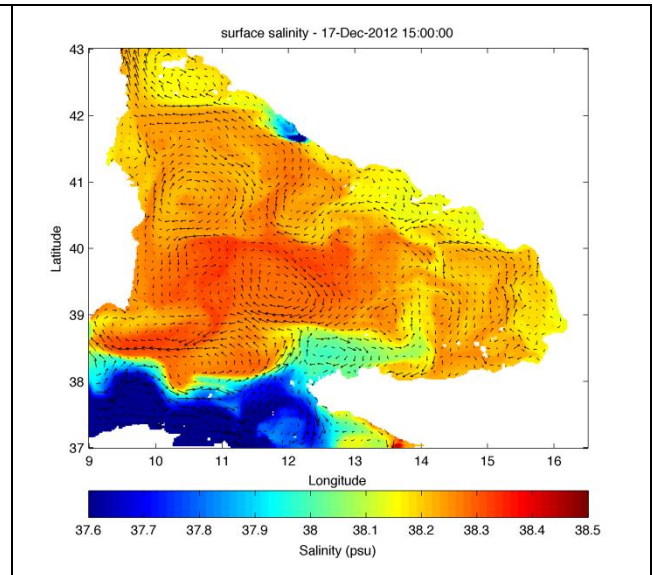


Fig. 4 Salinita' superficiale e corrente il 17 dicembre 2008

## Residence Time

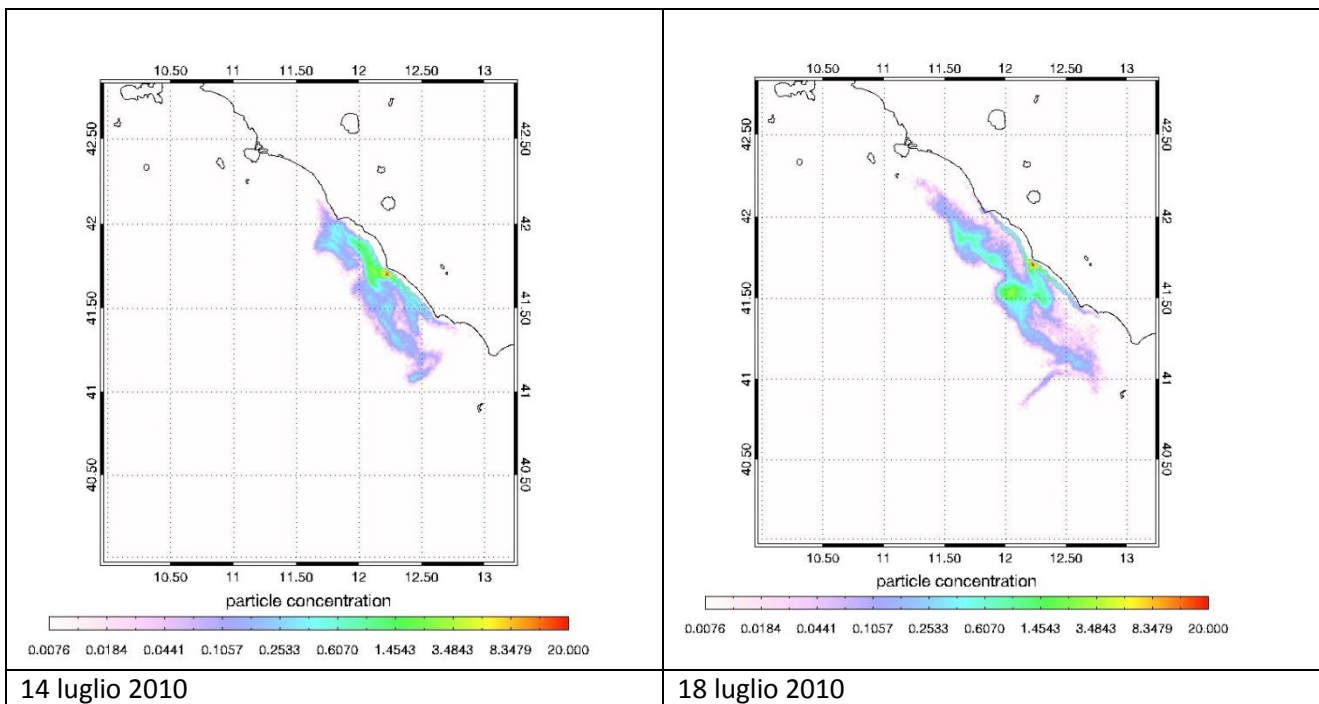
*Soggetti detentori di dati individuati:*  
ISPRA,INGV, CASPUR, CNR/ISAC

### *Dati e metodi:*

Viene impiegato un modello Lagrangiano a particelle per valutare la dispersione associata al regime fluviale. Il numero di particelle, emesse in corrispondenza della foce fluviale e' proporzionale alla portata giornaliera del fiume. Il modello Lagrangiano e' tridimensionale e considera il contributo turbolento come un processo stocastico tipo Random Walk in cui la diffusivita' turbolenta orizzontale e' valutata con la formulazione di Smagorinsky e quella verticale con la chiusura di Mellor-Yamada. Le correnti sono state prodotte dal modello ICE-POM a risoluzione 2 km.

### Analisi:

Il metodo impiegato permette di effettuare simulazioni di durata fino a circa 40 giorni, sono stati considerati gli stessi episodi gia riportati nel descrittore salinita'. Si mostra in figg. 1-2 il campo della concentrazione di particelle nel caso estivo 14-18 luglio 2010 prima e dopo un episodio di upwelling alla foce del Tevere.



Il Residence Time, non mostrato qui, puo' essere valutato con il metodo descritto per le 3 sub-aree considerate, prendendo in esame scale spazio-temporali fino a 30 giorni.

## Upwelling

*Soggetti detentori di dati individuati:*  
ISPRA,INGV, CASPUR, CNR/ISAC

### *Dati e metodi:*

come descritto per il descrittore temperatura

### Analisi:

La metodologia proposta permette di caratterizzare compiutamente i fenomeni di upwelling, che hanno, nel caso considerato una frequenza di occorrenza bassa, una durata molto limitata nel tempo ma un effetto sensibile per il mixing delle acque costiere nella stagione estiva-autunnale. In Fig. 1 e' riportata la serie temporale del vento osservato presso la boa offshore di Civitavecchia tra il 14 ed il 24 luglio 2010. Il regime prevalente nel periodo considerato e' quello di brezza, condizioni favorevoli per l'upwelling sono tuttavia evidenti nel periodo 17-18 luglio.

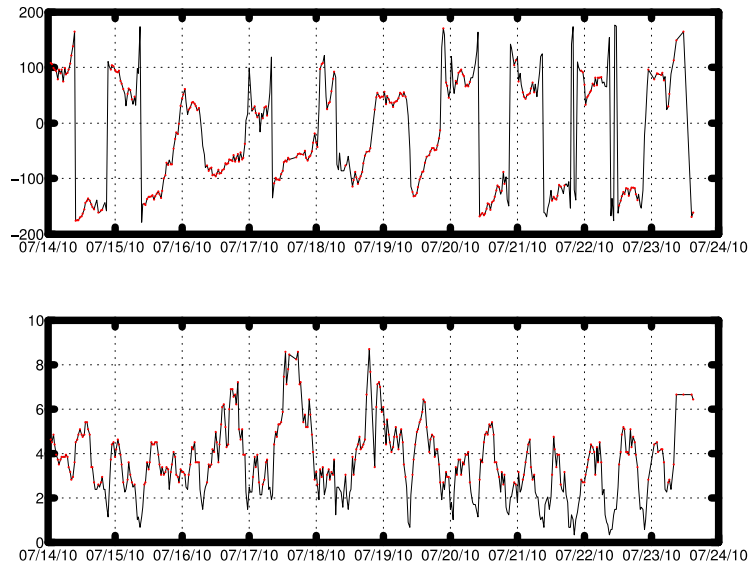


Fig.1

Le mappe di K490 da satellite indicano in modo chiarissimo la transizione di regime, si puo' osservare come il pennacchio del Tevere si distacchi dalla linea di costa.

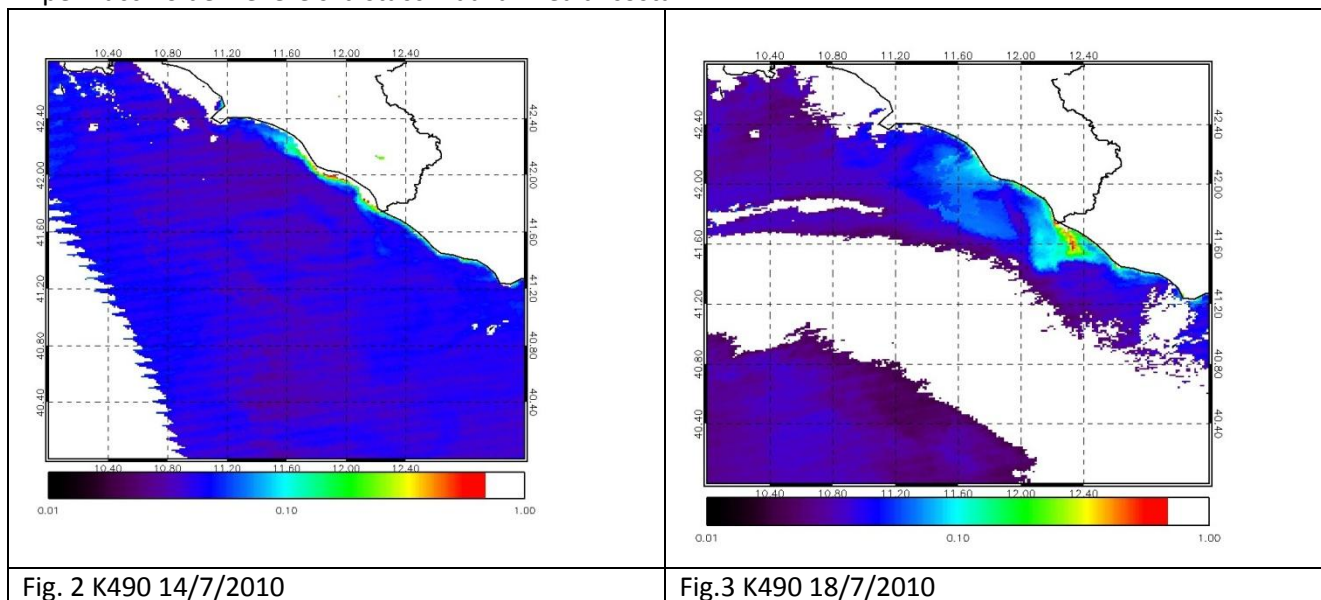


Fig. 2 K490 14/7/2010

Fig.3 K490 18/7/2010

Le immagini sono in accordo con le simulazioni numeriche gia' mostrate nel paragrafo salinita' e Residence time per lo stesso episodio.

Mediante le simulazioni numeriche e' possibile descrivere quantitativamente il processo, definirne l'estensione spaziale e la dimensione del processo di mescolamento nella verticale.

#### Bibliografia

Artale, V., Astraldi, M., Buffoni, G., Gasparini, P.: Seasonal variability of gyre-scale circulation in the northern Tyrrhenian Sea, *Journal of Geophysical Research*, vol.99, pp. 127-137, 1994.

Astraldi, M., Gasparini, G.P.: The seasonal Characteristics of the Circulation in the North Mediterranean Basin and Their Relationship With the Atmospheric-Climatic Conditions, *American Geophysical Union*, 92JC00114, pp. 9531-9540, 1992.

- Bargagli, A., A. Carillo, G. Pisacane, P. M. Ruti, M. V. Struglia, and N. Tartaglione, 2002: An integrated forecast system over the Mediterranean Basin: Extreme surge prediction in the Northern Adriatic Sea. *Mon. Wea. Rev.*, 130, 1317-1332.
- Bignami, F., Sciarra, R., Carniel, S., Santoleri, R.: Variability of Adriatic Sea coastal turbid waters from SeaWiFS imagery, *Journal of Geophysical Research*, vol. 112, C03S10, 2007.
- Buongiorno Nardelli, B., Tronconi, C., Santoleri, R. 2011: High and Ultra-High resolution processing of satellite Sea Surface Temperature data over the Southern European Seas in the framework of MyOcean project, paper submitted to RSE
- Blumberg, A.F., Mellor, G.L.: A Description of a Three-Dimensional Coastal Ocean Circulation Model, reprinted from *Three Dimensional Coastal Ocean Models* by N.S. Heaps (Editor), American Geophysical Union, Washington DC, pp. 1-16, 1987.
- Capelli, G., Mazza, R., Papiccio, C.: Intrusione salina nel Delta del Fiume Tevere. *Geologia, idrologia e idrogeologia del settore romano della piana costiera*, *Giornale di Geologia Applicata*, vol.5, pp. 13-28, 2007.
- Buzzi, A., Fantini, M., Malguzzi, P., and Nerozzi, F.: Validation of a limited area model in cases of Mediterranean cyclogenesis: surface fields and precipitation scores., *Meteorol. Atmos. Phys.*, 53, 137-153, 1994.
- Chao, S.Y.: River-Forced Estuarine Plumes. *Journal of Physical Oceanography*, vol. 18 pp. 1-17, 1987
- Chao, S.Y.: Wind-Driven Motion of Estuarine Plumes. (1988) vol. 18 pp. 1-23
- Dobricic, S., Pinardi, N., Adani, M., Bonazzi, A., Fratianni, C., Tonani, M.: Mediterranean Forecasting System: an imprecise assimilation scheme for sea-level anomaly and its validation, *Q. J. R. Meteorol. Soc.*, 131, pp. 3627-3642, 2005.
- Ezer, T., Mellor, G.L.: Sensitivity studies with the North Atlantic sigma coordinate Princeton Ocean Model, *Dynamics of Atmospheres and Oceans*, 32(2000), pp. 185-208, 1999.
- Fong, D.A., Geyer, W.R.: Response of a river plume during an upwelling favorable wind event *J. Geophys. Res.* vol. 106 (C1) pp. 1067-1084, 2001
- Garcia Berdeal, I., Hickey, B.M. and Kawase, M.: Influence of Wind Stress and Ambient Flow on a High Discharge River Plume. *J. Geophys. Res.* vol. 107 pp. 3030-3050, 2002
- Garcia Lafuente, J., Sanchez Roman, A., Diaz del Rio, G., Sannino, G., Sanchez Garrido, J.C.: Recent observations of seasonal variability of the Mediterranean outflow in the Strait of Gibraltar, *Journal of Geophysical Research*, vol. 112, C10005, 2007.
- Garvine, R. W.: Estuary Plumes and Fronts in Shelf Waters: A Layer Model. *Journal of Physical Oceanography* (1987) vol. 17 pp. 1877-1896
- Hsieh, W.W., Gill, A.E.: The Rossby Adjustment Problem in Rotating, Stratified Channel, with and without Topography. *Journal of Physical Oceanography* (1983) vol. 14 pp. 1-14
- Kourafalou, V.H., Oey, L.Y., Wang, J.D., Lee, T.N.: The fate of river discharge on the continental shelf 1. Modeling the river plume and the inner shelf coastal current. *J. Geophys. Res.* vol. 104 (C2) pp. 3415-3434, 1996
- Mellor, G.L.: Users guide for a three-dimensional, primitive equation, numerical ocean model, 2004.
- Mellor, G.L., Jamada, T.: A Hierarchy of Turbulence Closure Models for Planetary Boundary Layers, *Journal of Atmospheric Sciences*, vol. 31, pp. 1791-1806, Corrigendum, vol.34, pp. 1482, 1974.
- Menzel, W.P.: Remote sensing applications with meteorological satellites, NOAA Satellite and Information Service, University of Wisconsin, Madison, WI, 2006.
- Millot, C.: Circulation in the Western Mediterranean Sea, *Journal of Marine System*, vol. 20, pp. 423-442, 1999.
- \bibitem[Millot (2004)]{mil04}
- Millot, C., Taupier-Letage, I.: Circulation in the Mediterranean Sea, *The Handbook of Environmental Chemistry, Vol. 1 (The Natural Environment and the Biological Cycles)*, Springer-Verlag, 2004.
- Mobley, C.D., Stramsky, D., Bisset, W.P., Boss, E.: Optical modeling of ocean waters. Is the Case 1- Case 2 classification still useful?, *Oceanography*, 17(2), pp. 60-67, 2004.
- Morel, A., Prieur, L.: Analysis of variations in ocean color, *Limnology and Oceanography*, 22(4), pp.709-722, 1977.
- Oey, L.Y. and Mellor, G.L.: Subtidal Variability of Estuarine Outflow, Plume and Coastal Current: A Model Study. *Journal of Physical Oceanography* vol. 23 pp. 1-8, 1992
- Oddo, P., Adani, M., Pinardi, N., Fratianni, C., Tonani, M., and Pettenuzzo, D.: A nested Atlantic-Mediterranean Sea general circulation model for operational forecasting. *Ocean Sci.* (2009) vol. 5 pp. 461-473
- Oey, L.Y.: Simulation of Mesoscale Variability in the Gulf of Mexico: Sensitivity Studies, Comparison with Observations, and Trapped Wave Propagation, *Journal of Physical Oceanography*, vol. 26, pp. 145-175, 1996.
- Palma, E.D., Matano, R.P.: Dynamical impacts associated with radiation boundary conditions. *Journal of Sea Research* (2001) vol. 46 pp. 117-132
- Pinardi, N., Allen, I., Demirov, E., De Mey, P., Korres, G., Lascaratos, A., Le Traon, P.Y., Maillard, C., Manzella, G., Tziavos, C.: The Mediterranean ocean forecasting system: First phase of implementation (1998-2001), *Annales Geophysicae*, 21, pp. 3-20, 2003.
- Pinardi, N., Masetti, E.: Variability of the large scale general circulation of the Mediterranean Sea from observations and modelling: a review. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* (2000) vol. 158 pp. 153-173
- Santoleri, R., Volpe, G., Marullo, S., Buongiorno Nardelli, B.: Open Waters Optical Remote Sensing of the Mediterranean Sea, *Journal of Geophysical Research*, vol. 108, pp.1-14, 2003.
- Sciarra, R., Bšhm, E., D'Acunzio, E., Santoleri, R.: The large scale observing system component of ADRICOSM: the satellite system, *Acta Adriatica*, 47 (Suppl.), pp. 51-64, 2006.
- Serravall, R., Cristofalo, G.C.: On the presence of a coastal current of Levantine intermediate water in the central Tyrrhenian Sea, *Oceanologica Acta*, vol. 22 n.3, pp. 281-290, 1999.
- Speranza, A., C. Accadia, M. Casaioli, S. Mariani, G. Monacelli, R. Inghilesi, N. Tartaglione, P. M. Ruti, A. Carillo, A. Bargagli, G. Pisacane, F. Valentinotti, and A. Lavagnini, 2004: POSEIDON: An integrated system for analysis and forecast of hydrological, meteorological and surface marine fields in the Mediterranean area. *Nuovo Cimento*, 27 C (4), 329-345.



Vetrano, A., Gasparini, G.P., Molcard, R., Astraldi, M.: Water flux estimates in the central Mediterranean Sea from an inverse box model, *Journal of Geophysical Research*, vol.109, C01019, 2004.

Volpe, G., Santoleri, R., Vellucci, V., Ribera d'Alcalá, M., Marullo, S., D'Orenzio, F.: The colour of the Mediterranean Sea: Global versus regional bio-optical algorithms evaluation and implication for satellite chlorophyll estimates, *Remote sensing of Environment*, 107, pp.625-638, 2007.

Volpe, G., Banzon, V.F., Evans, R.H., Santoleri, R., Mariano, A.J., Sciarra, R.: Satellite observations of the impact of dust in a low-nutrient, low-chlorophyll region: fertilization or artifact?, *Global Biogeochemical Cycles*, vol23, GB3007, 2009.

Xing, J. and Davies, A.M.: The effect of wind direction and mixing upon the spreading of a buoyant plume in a non-tidal regime. *Continental Shelf Research* (1999) vol. 19 pp. 1437-1483

Yanovsky, A.E. and Chapman, D.C.: A Simple Theory for the Fate of Buoyant Coastal Discharges. *Journal of Physical Oceanography* (1997) vol. 27 pp. 1386-1401