



ISPRA

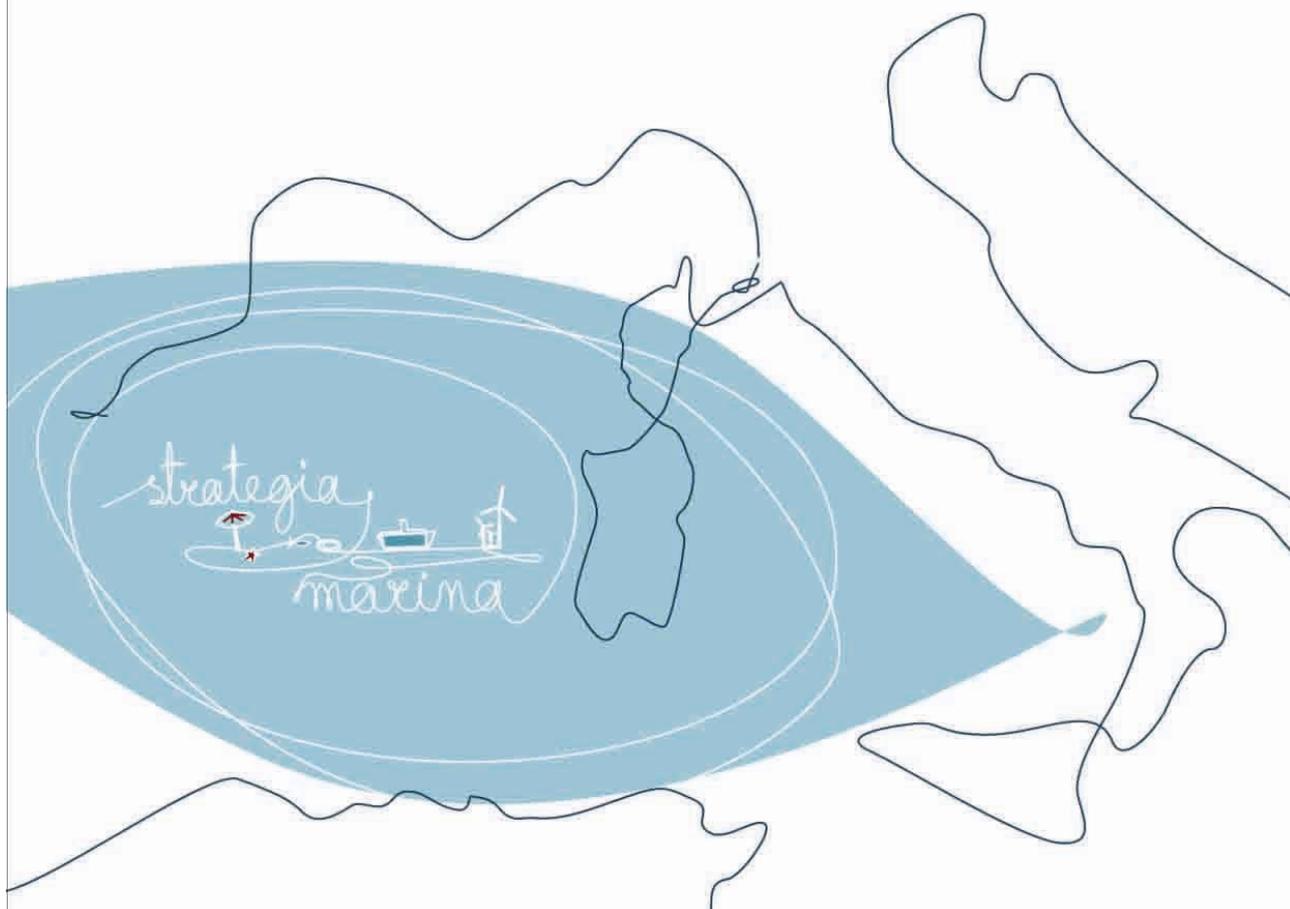
Istituto Superiore per la Protezione
e la Ricerca Ambientale

BOZZA • 10 MAGGIO 2012

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:

La batimetria della sottoregione in esame mostra una marcata variabilità fisiografica, con aree di piattaforma continentale da esigue (ad es. Mar Ligure, Tirreno meridionale) a molto estese (es.: Tirreno centro-settentrionale) e un ampio bacino medio-tirrenico interrotto da edifici vulcanici sottomarini.

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 $1/16^\circ$ 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.

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

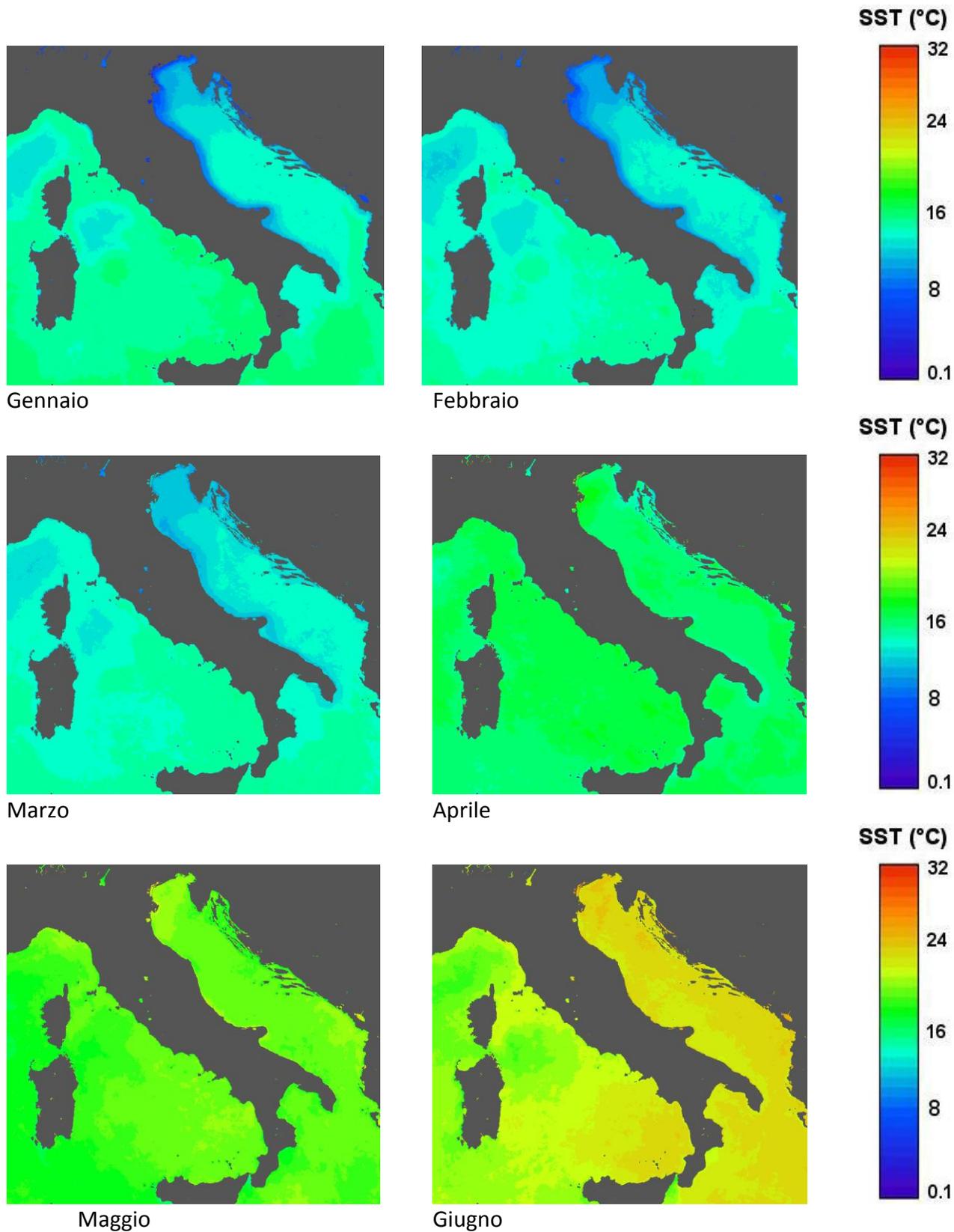
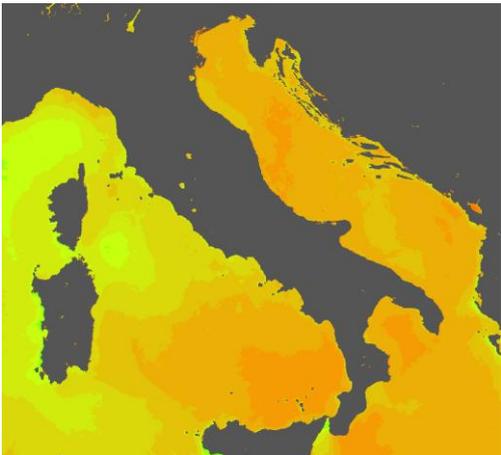
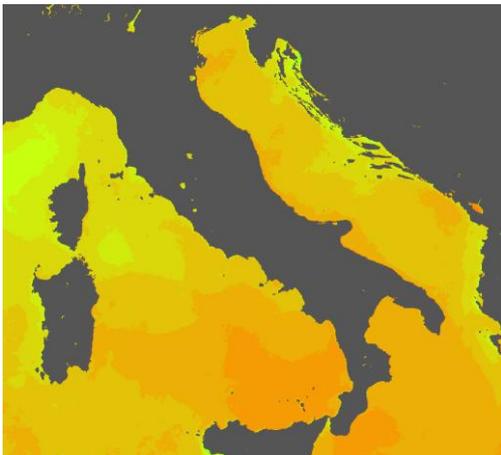


Fig.1 SST skin nelle tre sottoregioni per l'anno 2007.

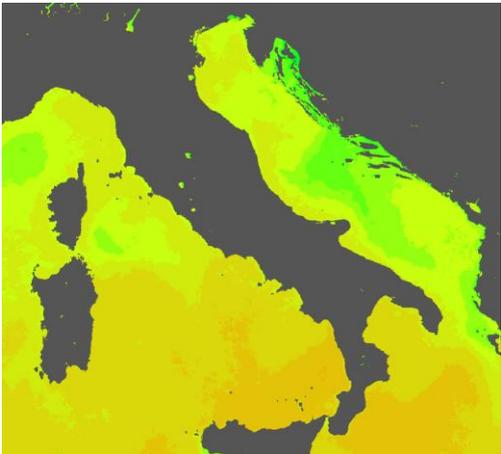
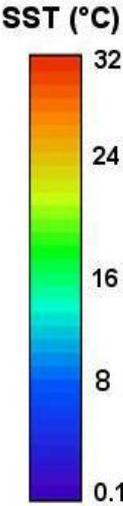
SST skin 2007



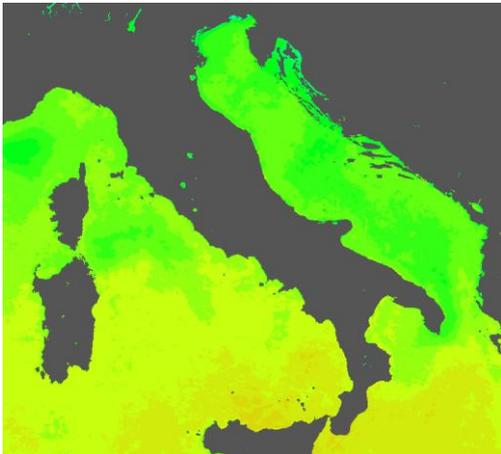
Luglio



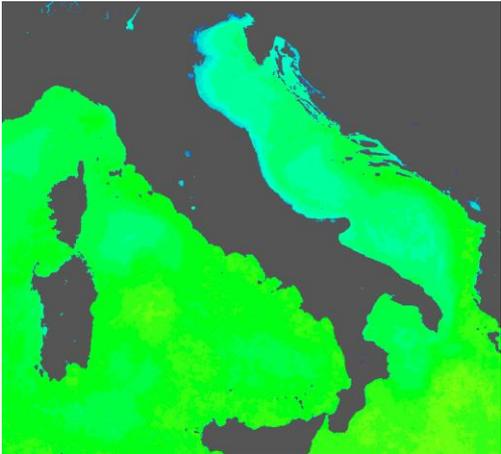
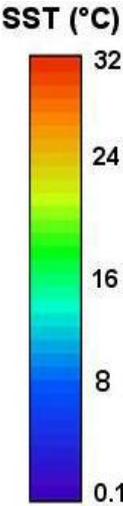
Agosto



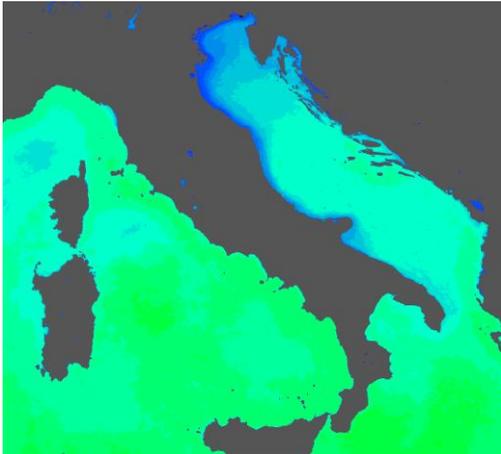
Settembre



Ottobre



Novembre



Dicembre

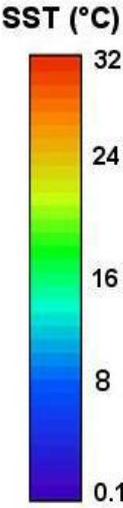
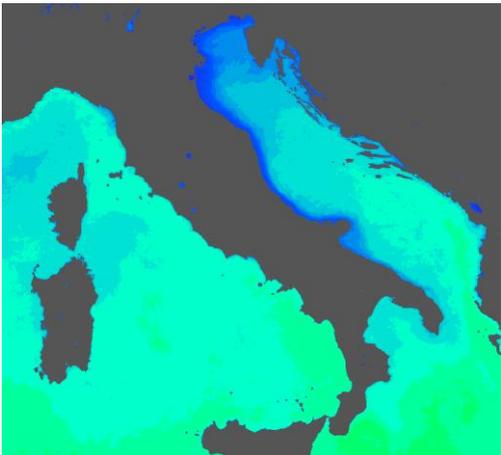
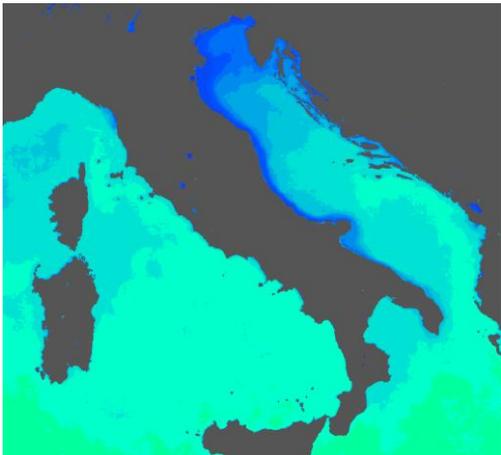


Fig.1 (cont.) SST skin nelle tre sottoregioni per l'anno 2007.

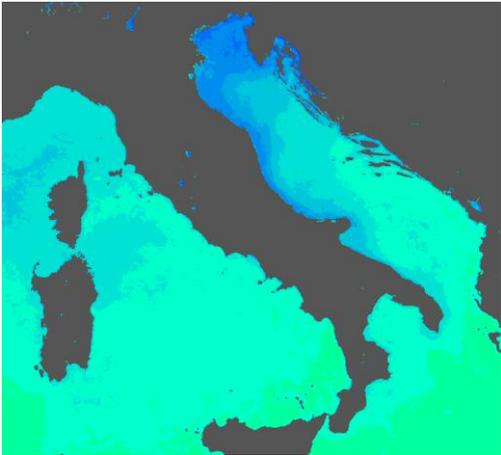
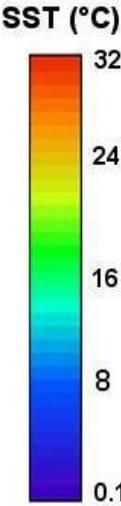
SST skin 2008



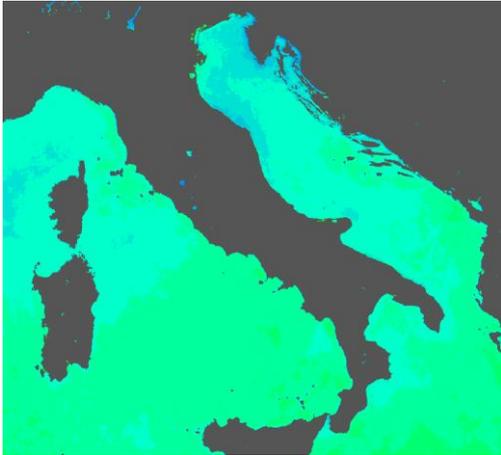
Gennaio



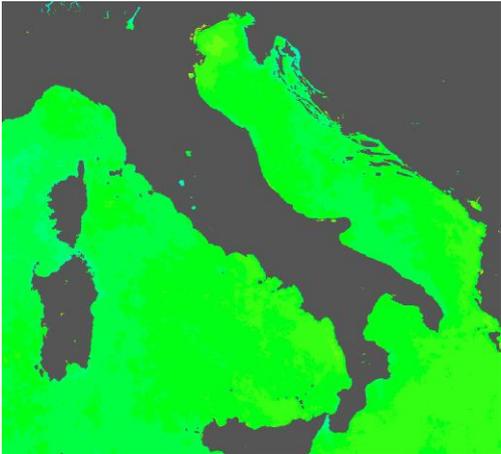
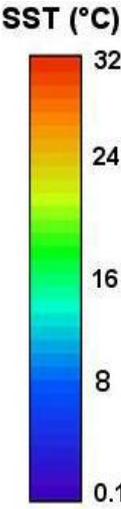
Febbraio



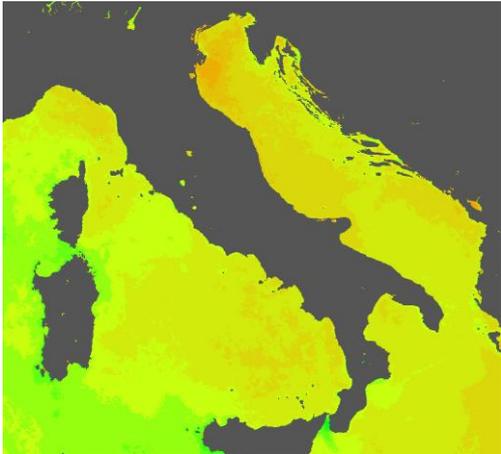
Marzo



Aprile



Maggio



Giugno

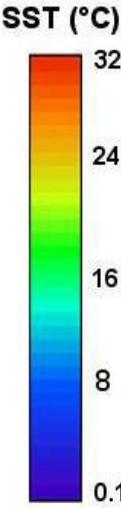
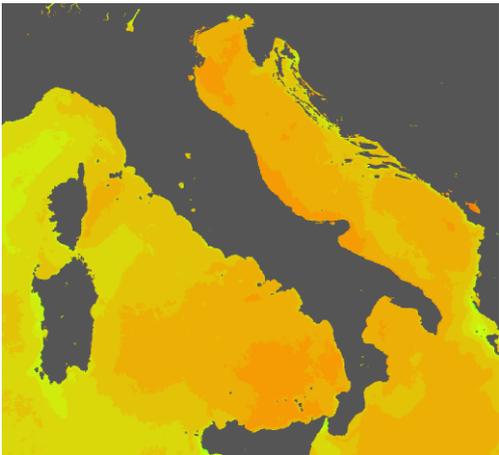
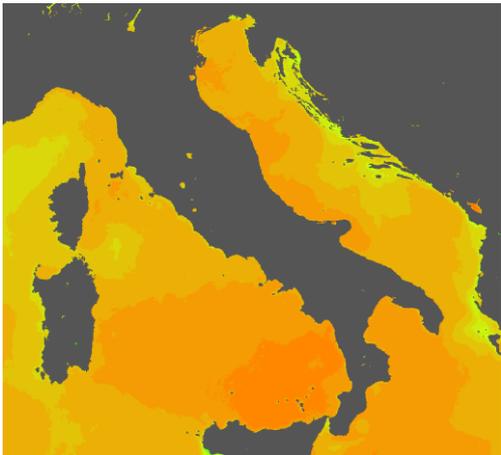


Fig.2 SST skin nelle tre sottoregioni per l'anno 2008.

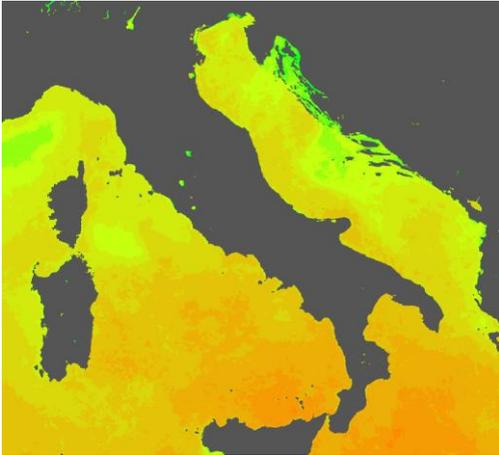
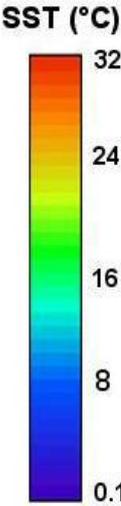
SST skin 2008



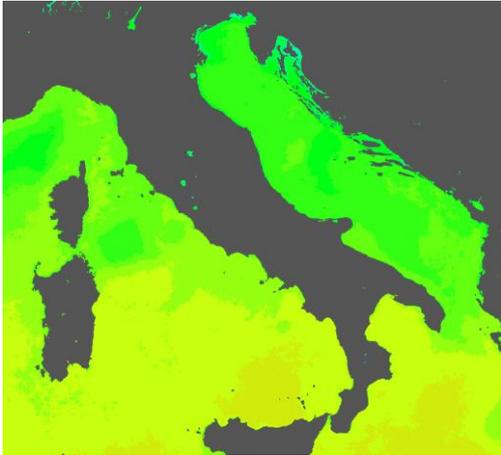
Luglio



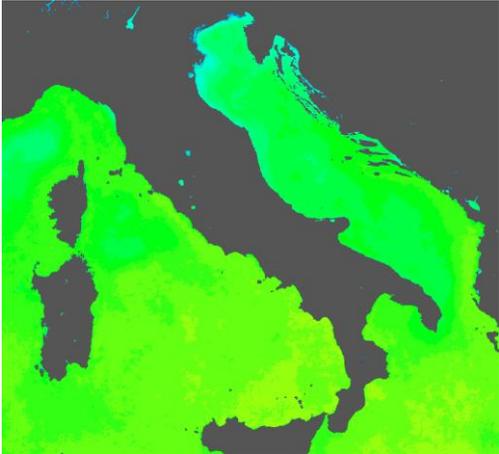
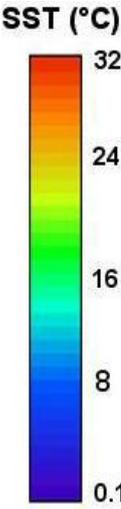
Agosto



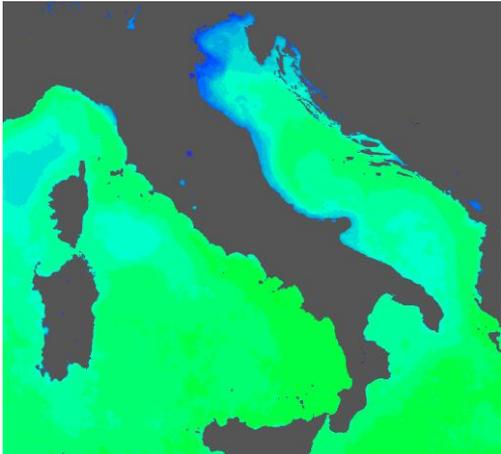
Settembre



Ottobre



Novembre



Dicembre

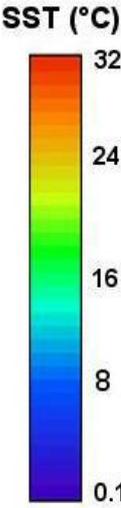
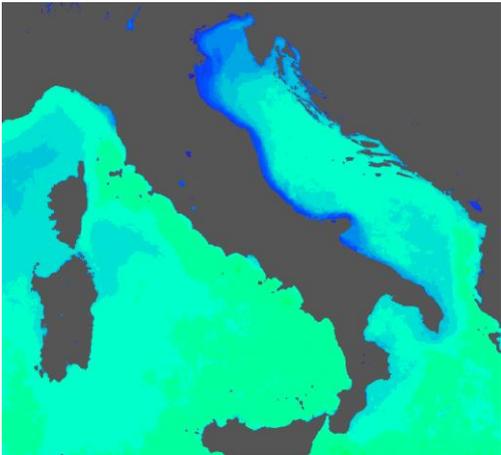
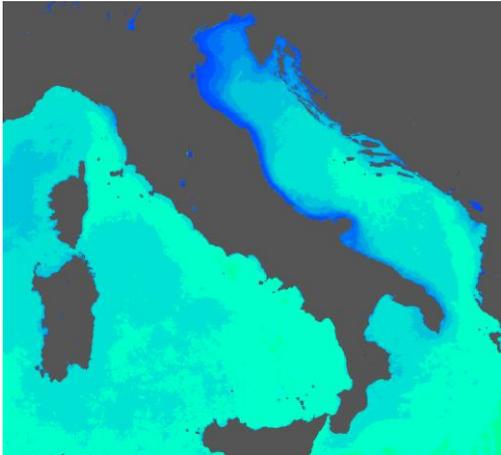


Fig.2 (cont.) SST skin nelle tre sottoregioni per l'anno 2008.

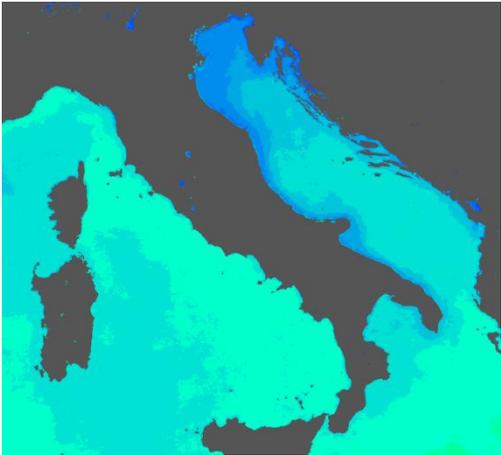
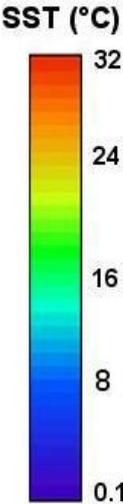
SST skin 2009



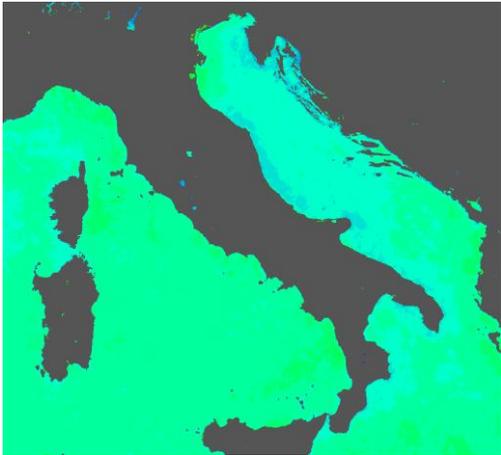
Gennaio



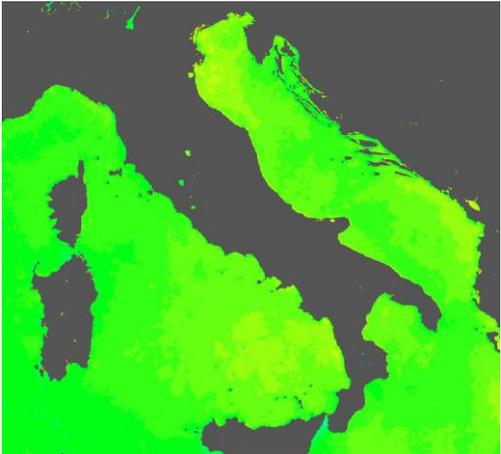
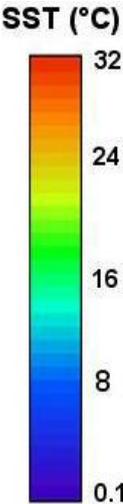
Febbraio



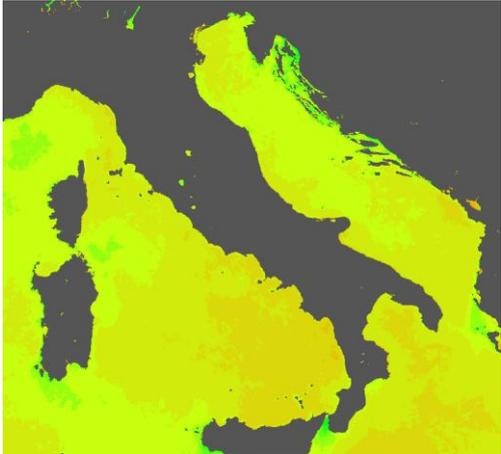
Marzo



Aprile



Maggio



Giugno

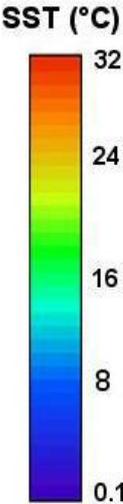
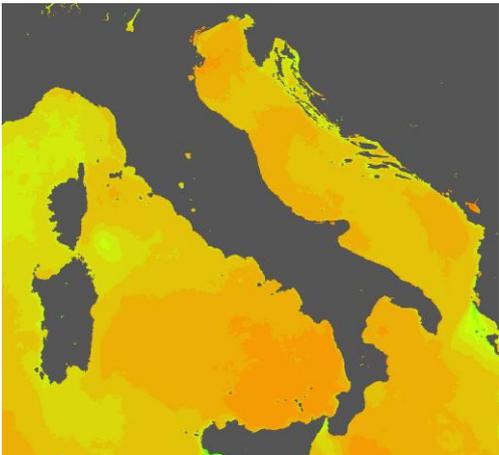


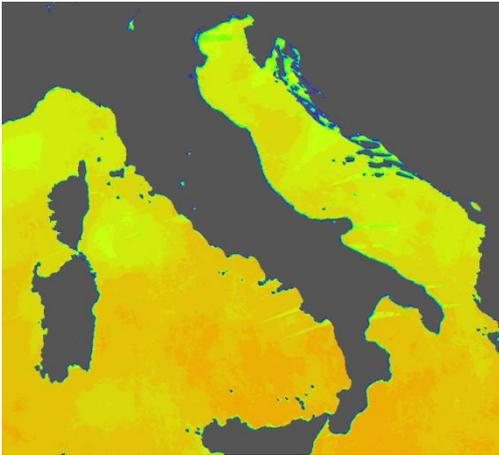
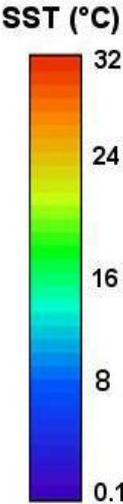
Fig.3 SST skin nelle tre sottoregioni per l'anno 2009.

SST skin 2009

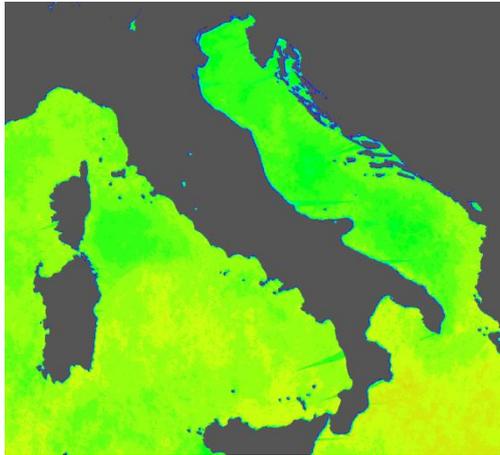


Luglio

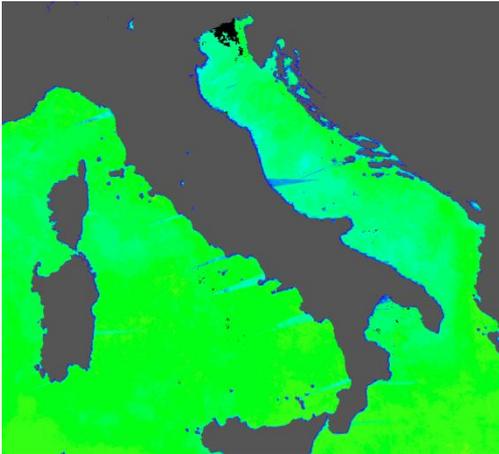
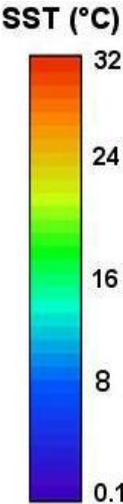
Agosto



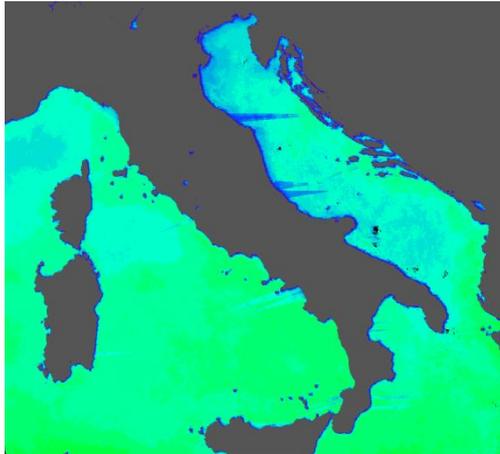
Settembre



Ottobre



Novembre



Dicembre

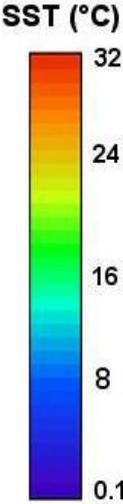
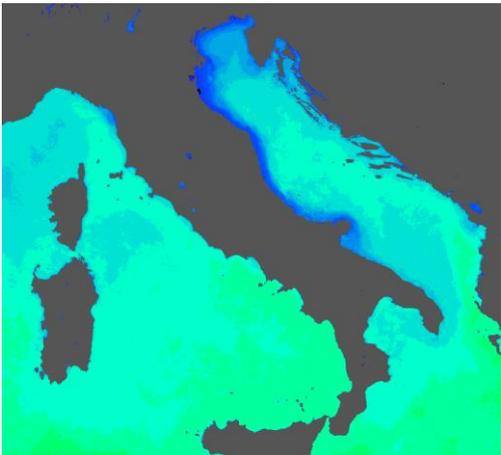
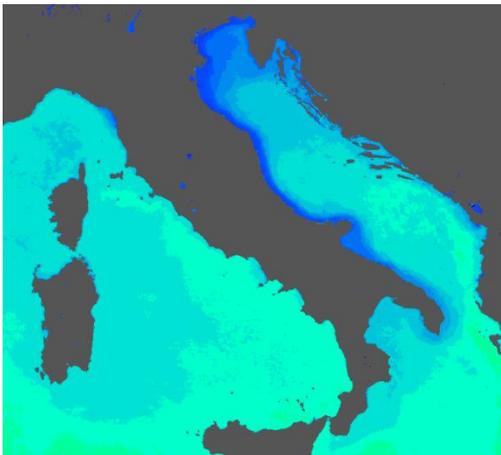


Fig.3 (cont.) SST skin nelle tre sottoregioni per l'anno 2009.

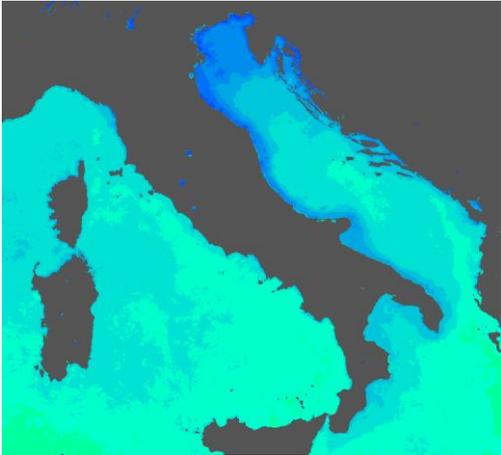
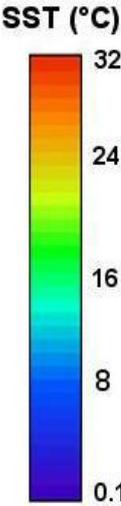
SST skin 2010



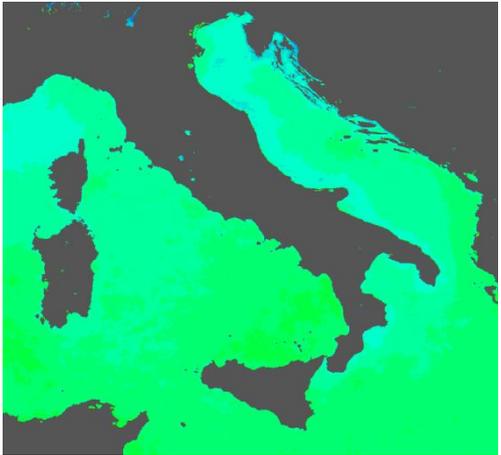
Gennaio



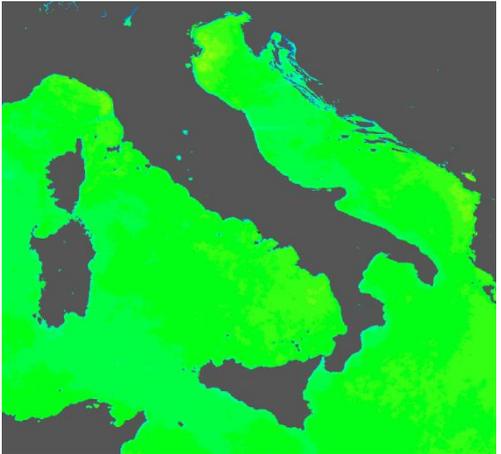
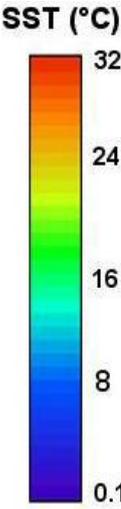
Febbraio



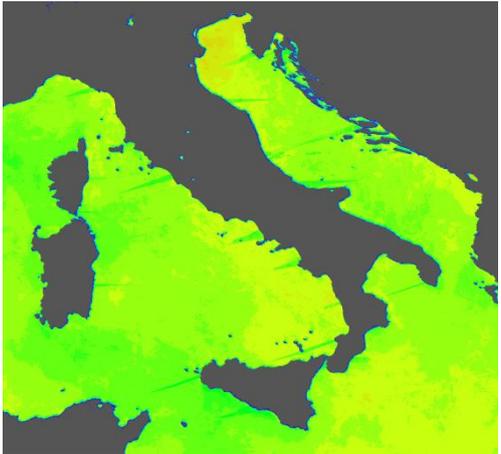
Marzo



Aprile



Maggio



Giugno

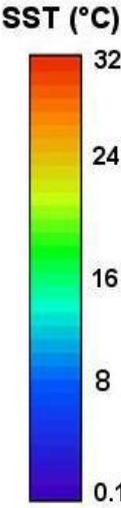
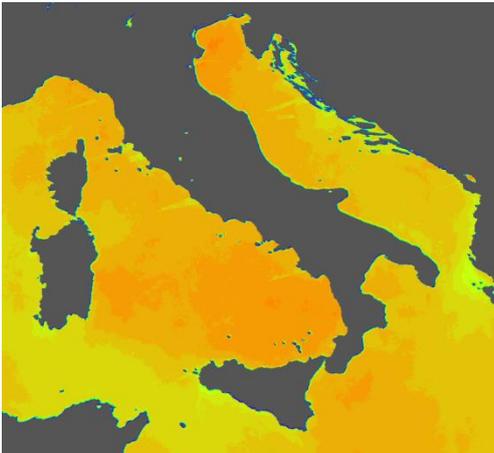
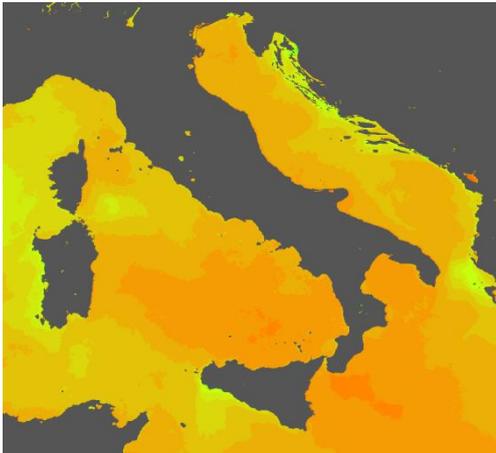


Fig.4 SST skin nelle tre sottoregioni per l'anno 2010.

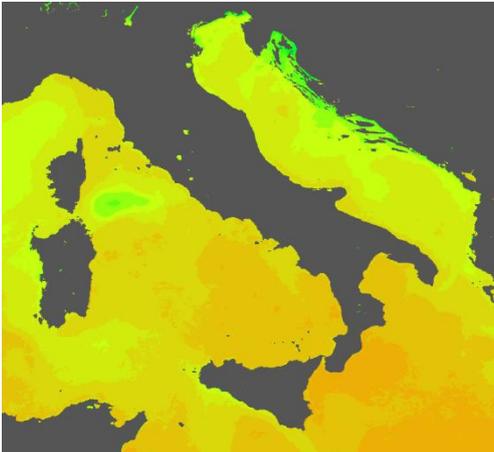
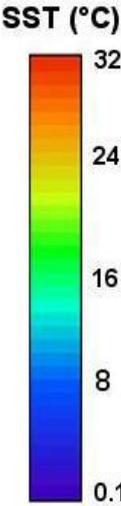
SST skin 2010



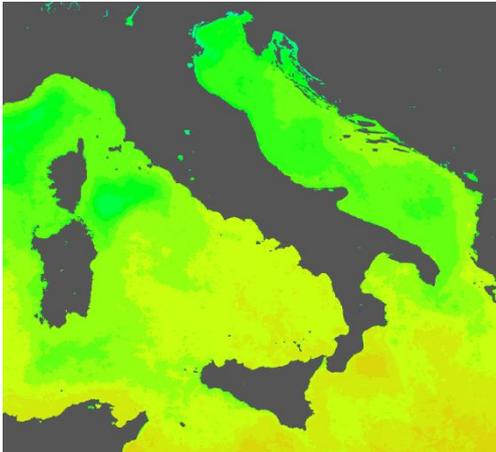
Luglio



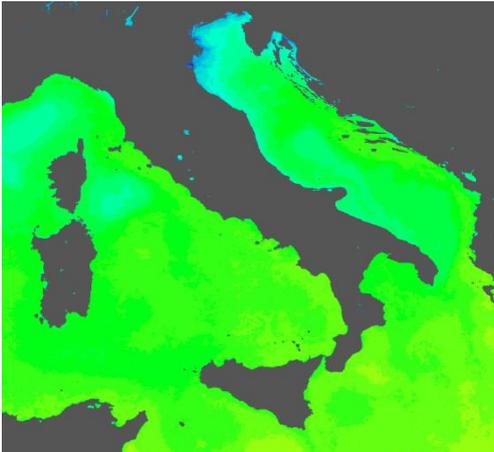
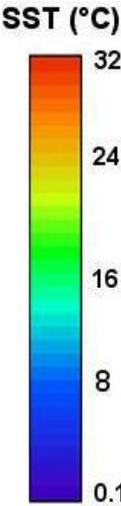
Agosto



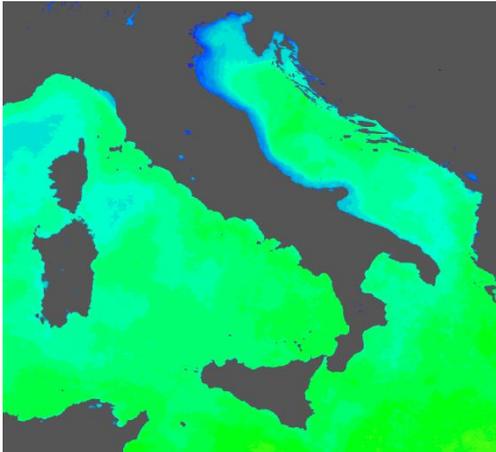
Settembre



Ottobre



Novembre



Dicembre

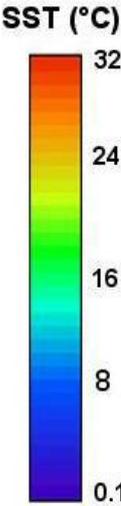
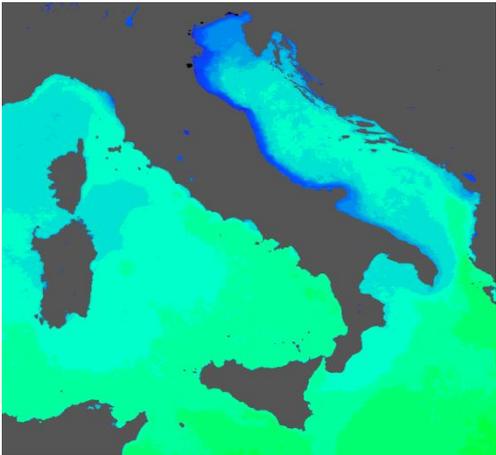
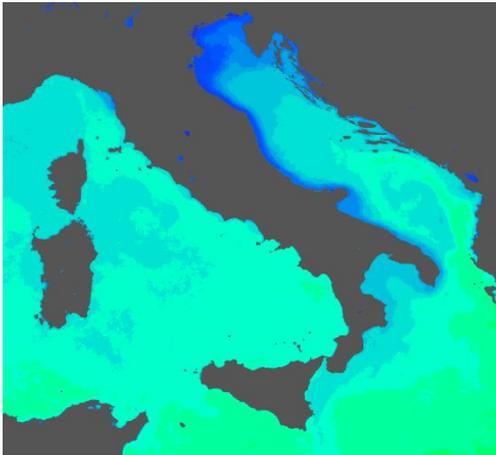


Fig.4 (cont.) SST skin nelle tre sottoregioni per l'anno 2010.

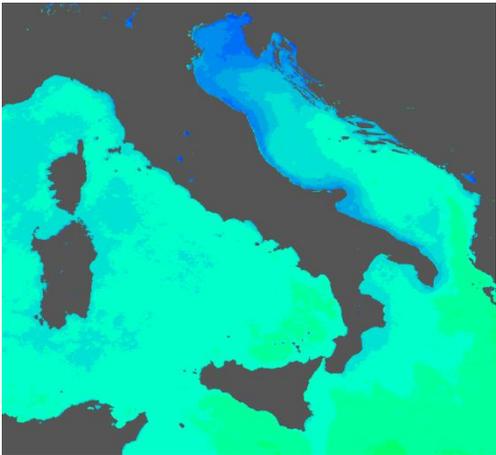
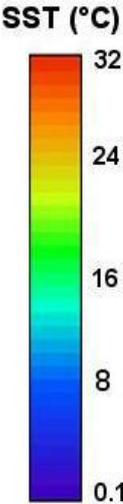
SST skin 2011



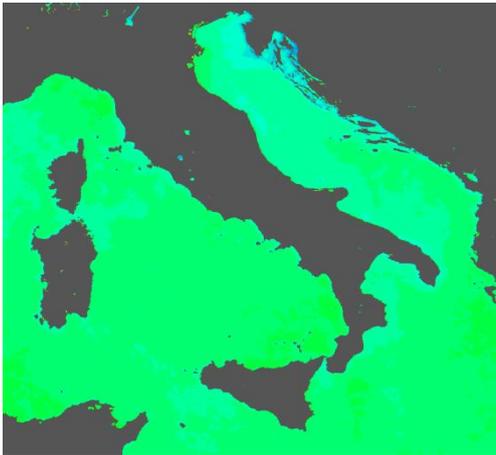
Gennaio



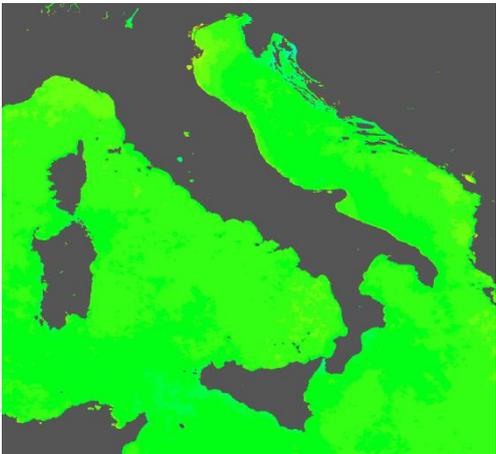
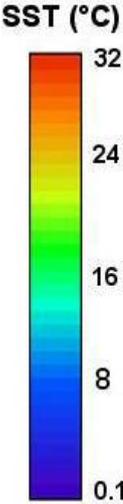
Febbraio



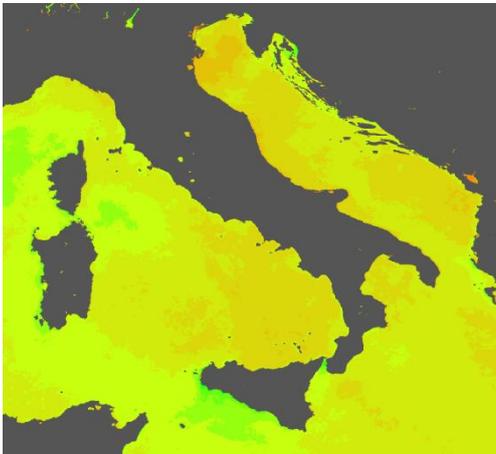
Marzo



Aprile



Maggio



Giugno

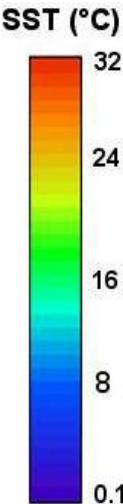
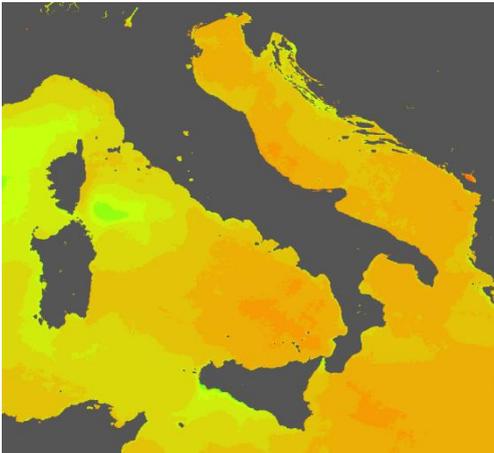
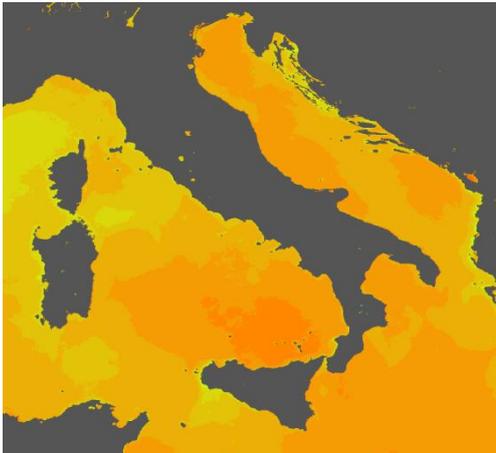


Fig.5 SST skin nelle tre sottoregioni per l'anno 2011.

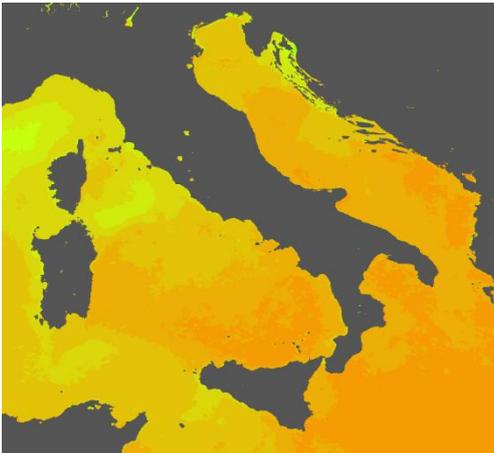
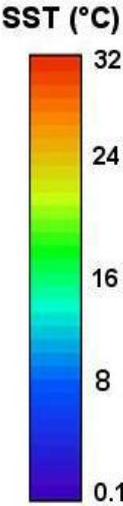
SST skin 2011



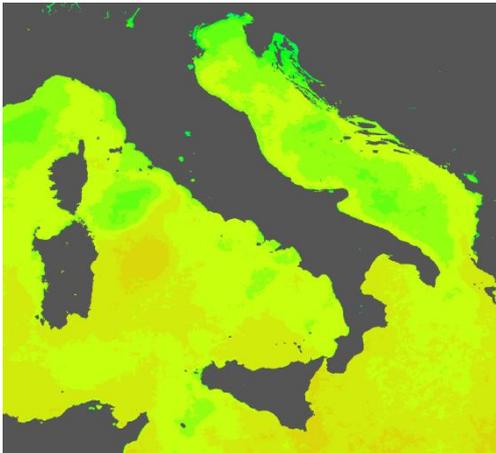
Luglio



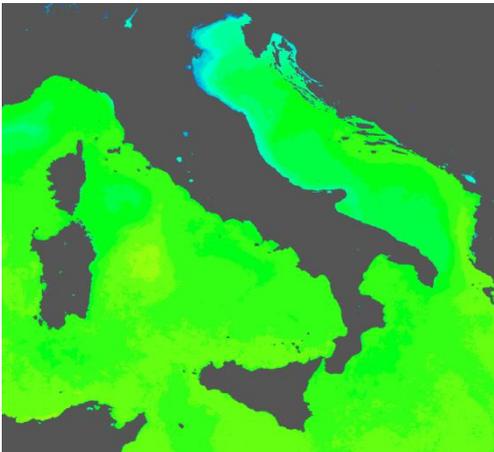
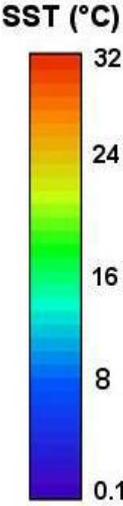
Agosto



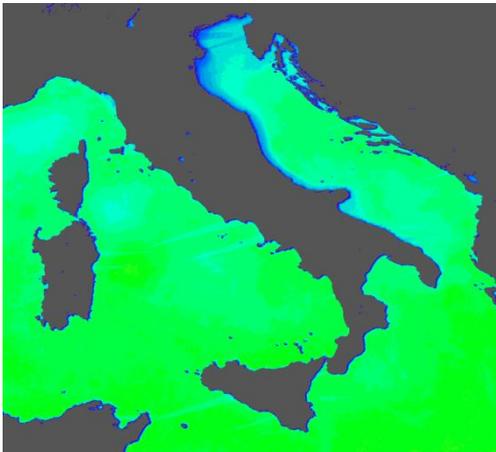
Settembre



Ottobre



Novembre



Dicembre

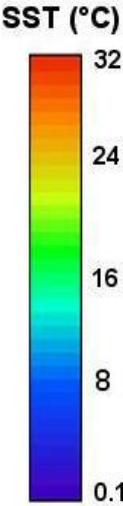


Fig.5 (cont.) SST skin nelle tre sottoregioni per l'anno 2011.

Temperatura del fondo marino¹

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.

¹ 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.

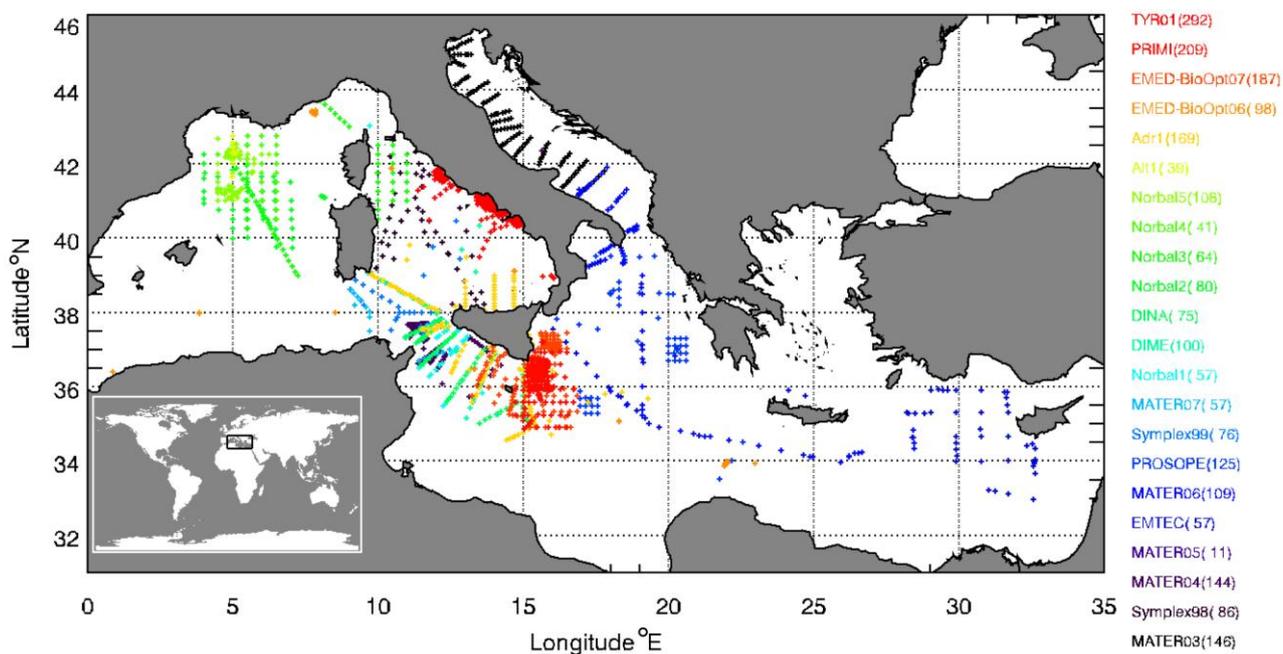


Fig. 1 Campagne oceanografiche condotte dal gennaio 2006 a dicembre 2011 dal CNR-ISAC.

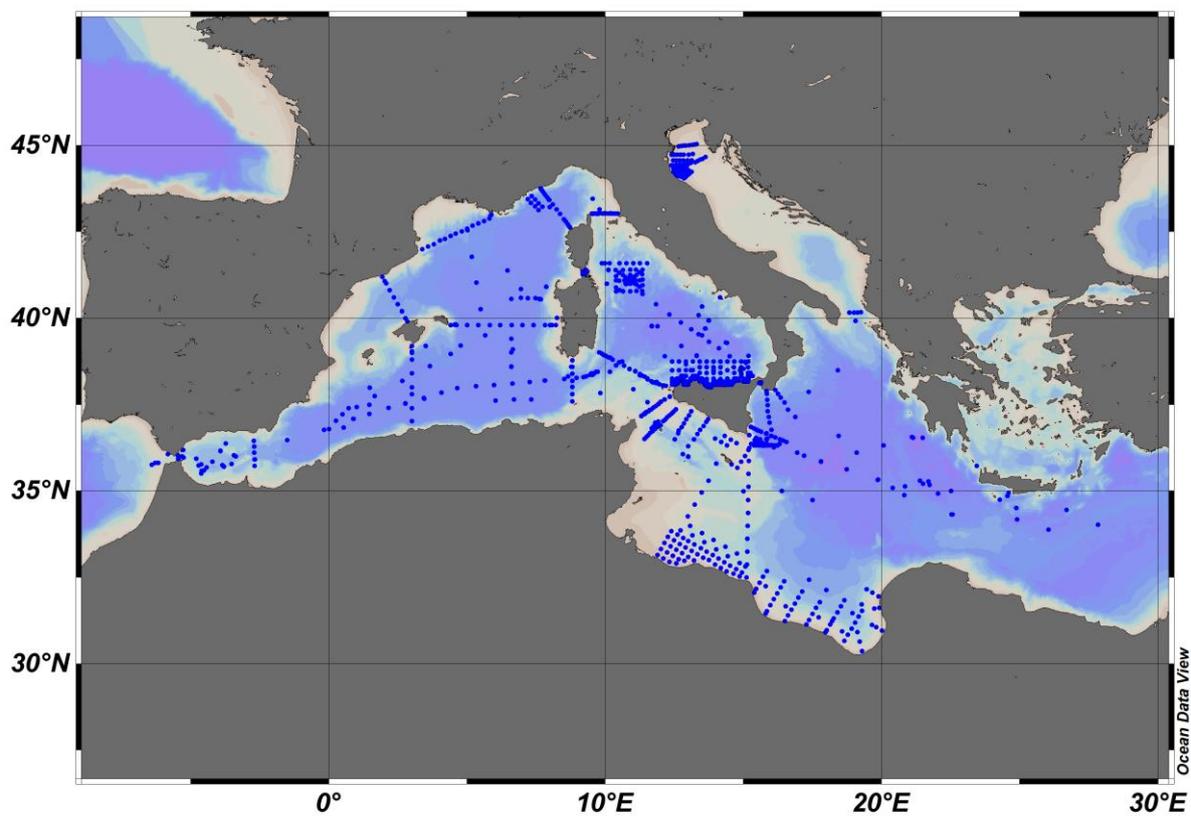


Fig. 2 Campagne oceanografiche condotte dal gennaio 2006 a dicembre 2011 dal CNR-ISMAR.

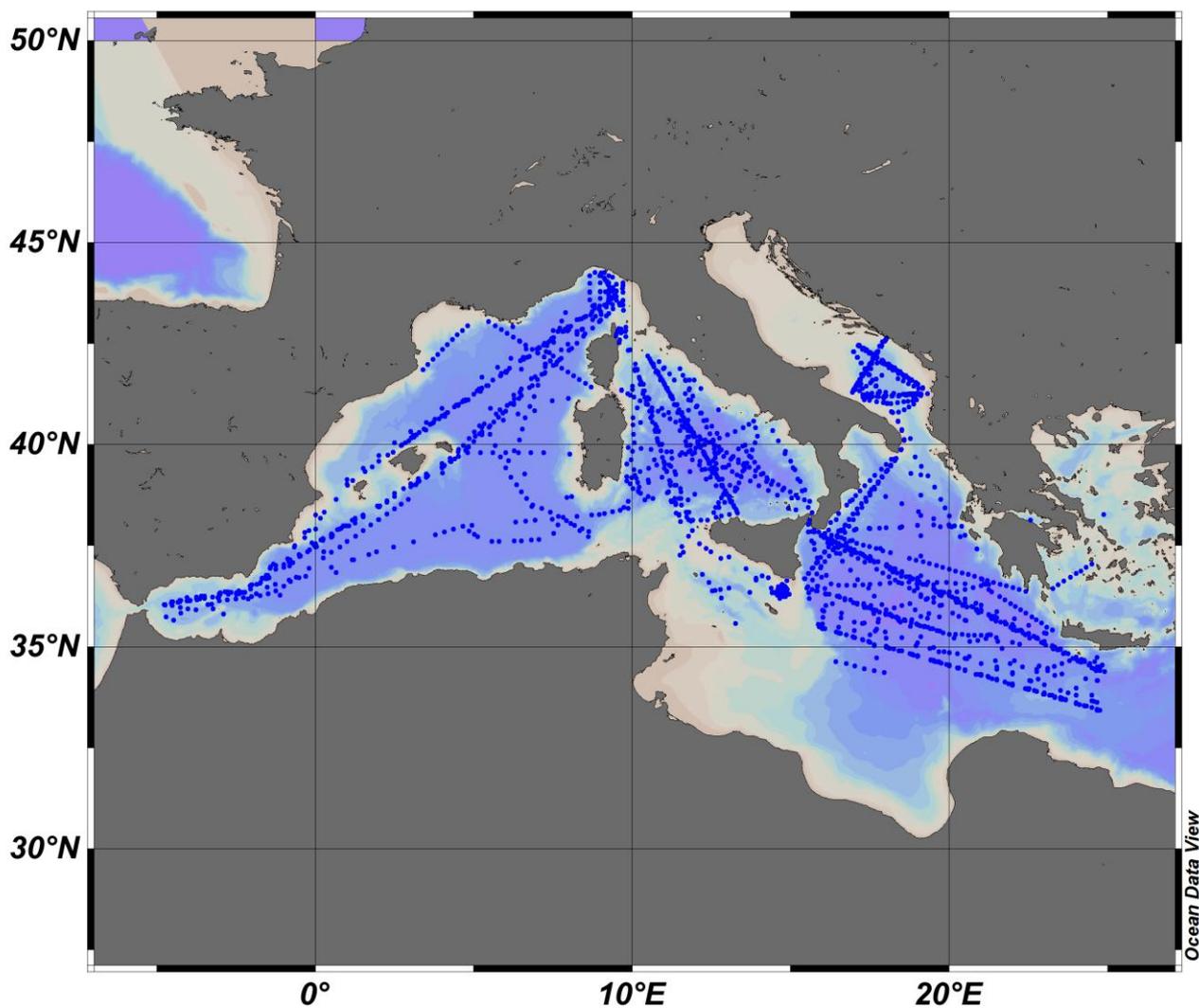


Fig. 3 Campagne oceanografiche condotte dal gennaio 2006 a dicembre 2011 dall'ENEA_OO.

Analisi:
In fase di studio.

Salinità²

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:

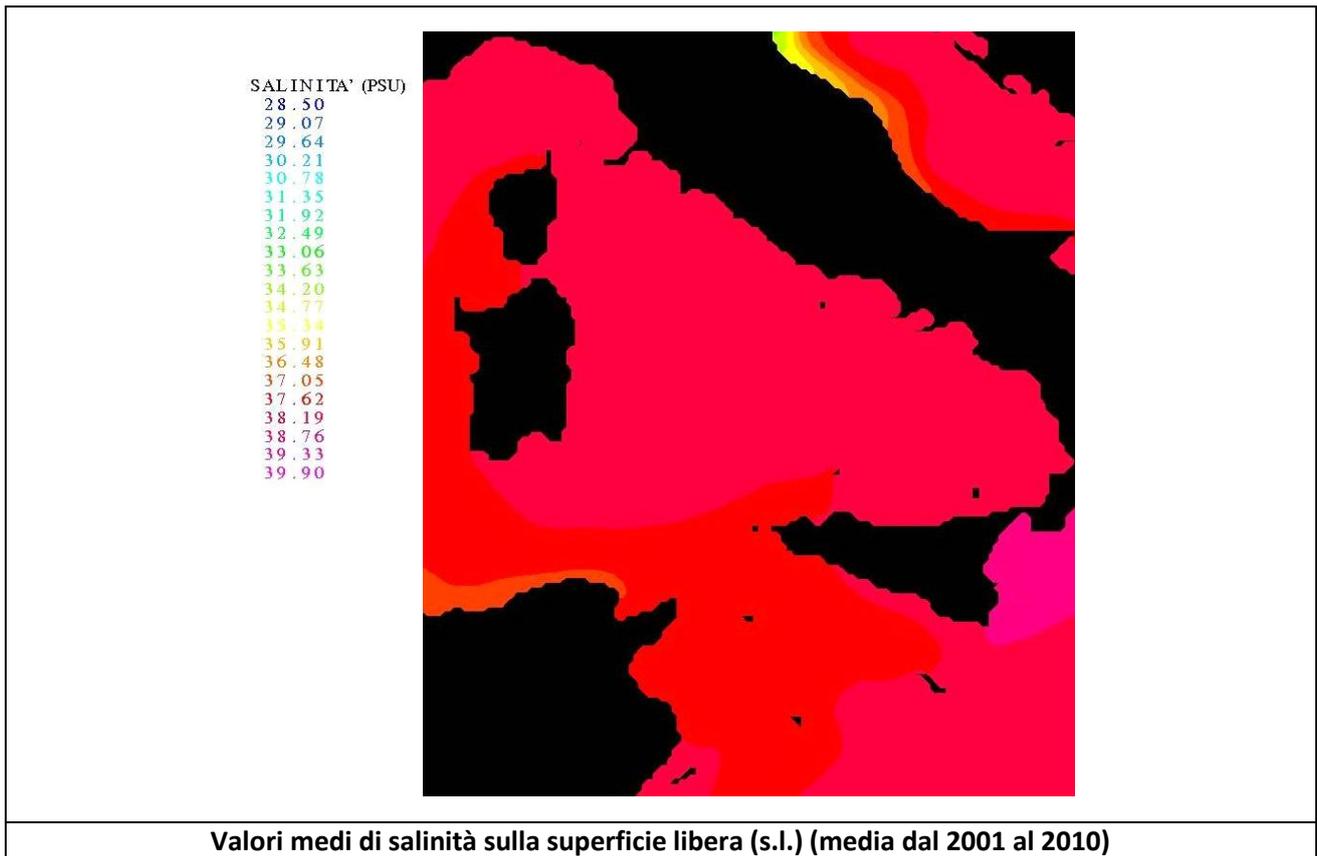
A titolo dimostrativo i risultati vengono analizzati attraverso la realizzazione di mappe dei valori di salinità sulla superficie libera. In esse sono rappresentate sia le medie annuali che le medie stagionali. Attraverso di esse è possibile caratterizzare i valori di salinità della sottoregione e valutare 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.

² 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/> ;

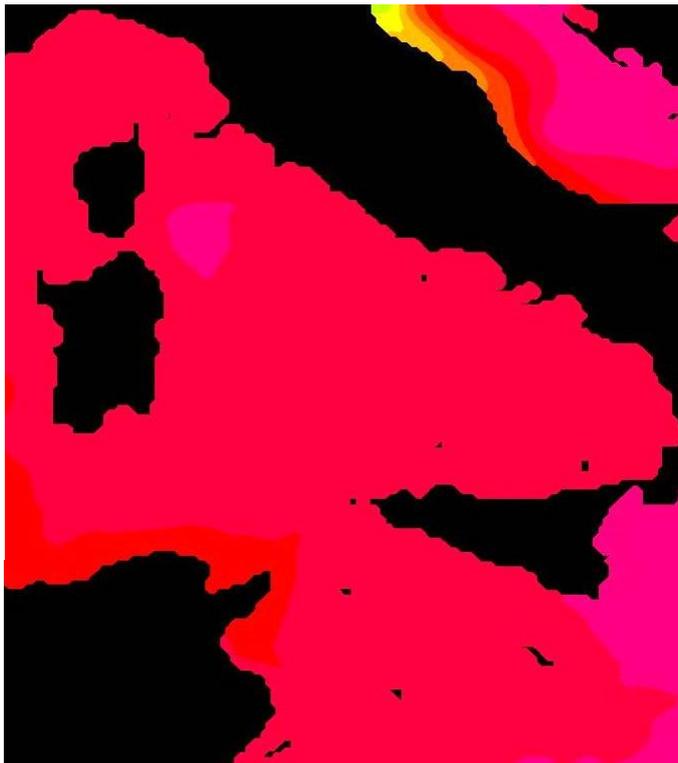


Tale immagine consente di individuare la distribuzione spaziale dei valori medi di salinità nei 10 anni analizzati.

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

SALINITA' (PSU)

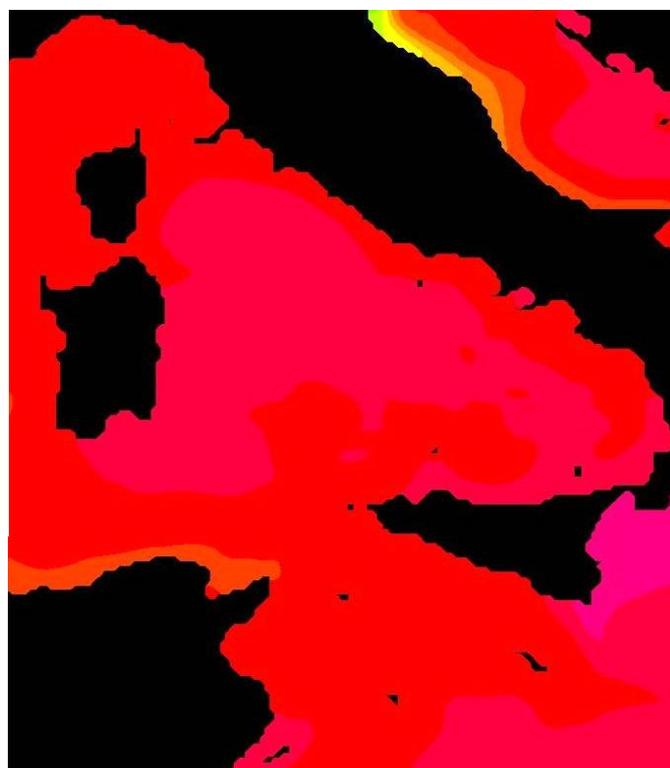
25.60
26.32
27.03
27.75
28.46
29.18
29.89
30.61
31.32
32.04
32.75
33.47
34.18
34.90
35.61
36.33
37.04
37.76
38.47
39.19
39.90



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

SALINITA' (PSU)

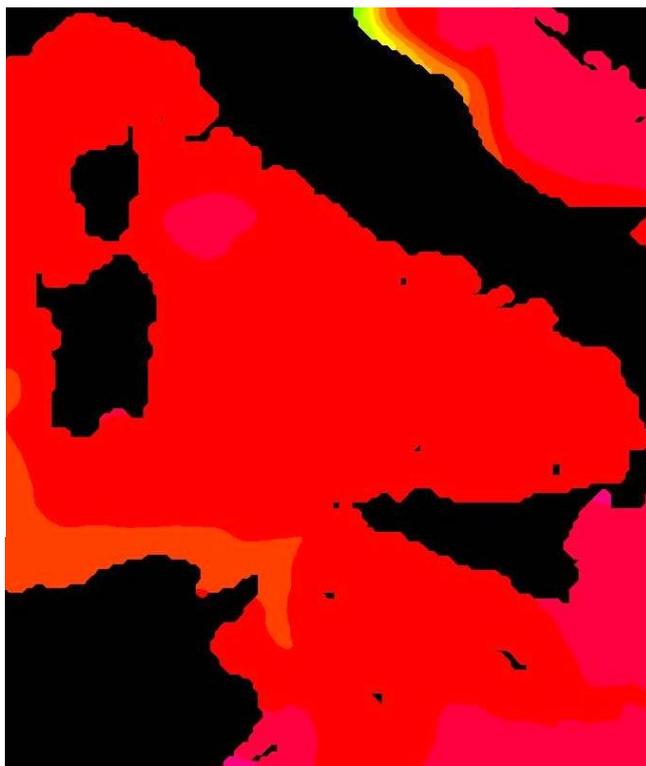
29.40
29.93
30.50
30.99
31.52
32.05
32.58
33.11
33.64
34.17
34.70
35.23
35.76
36.29
36.82
37.35
37.88
38.41
38.94
39.47
39.98



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 corrente³

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:

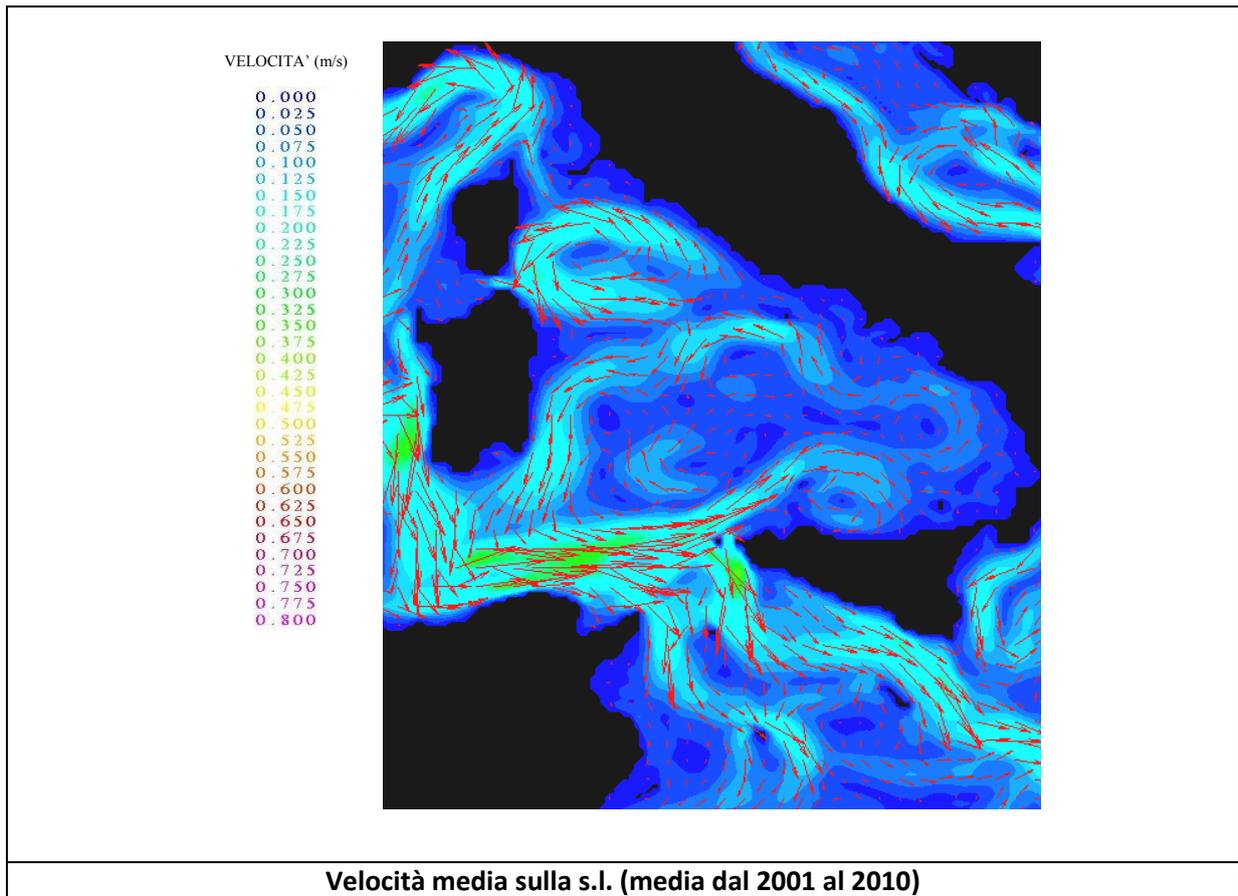
I risultati vengono analizzati attraverso la realizzazione di mappe dei valori di corrente sulla superficie e al fondo. Attraverso di esse è possibile caratterizzare il campo fluidodinamico della sottoregione e valutare la presenza di eventuali trend temporali e la distribuzione spaziale. A titolo di 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.

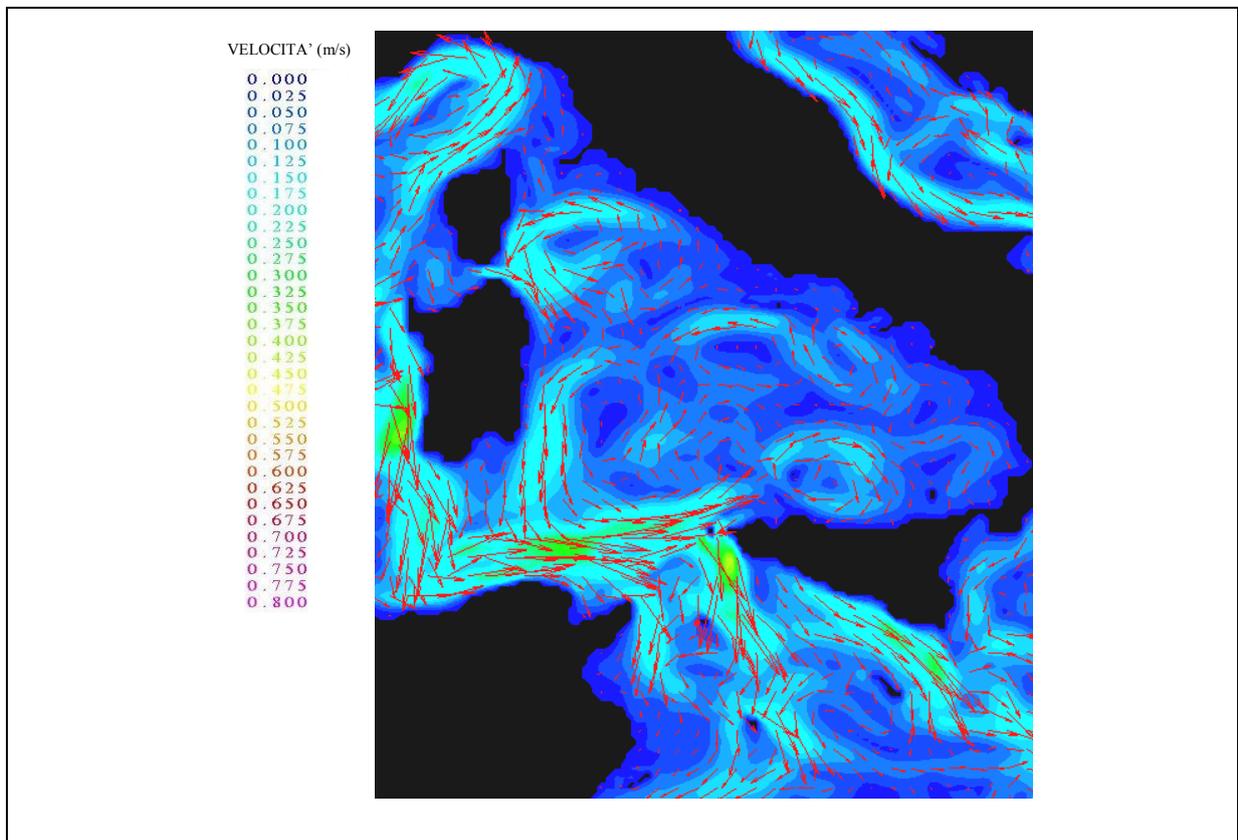
³ Riferimenti bibliografici

- 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.

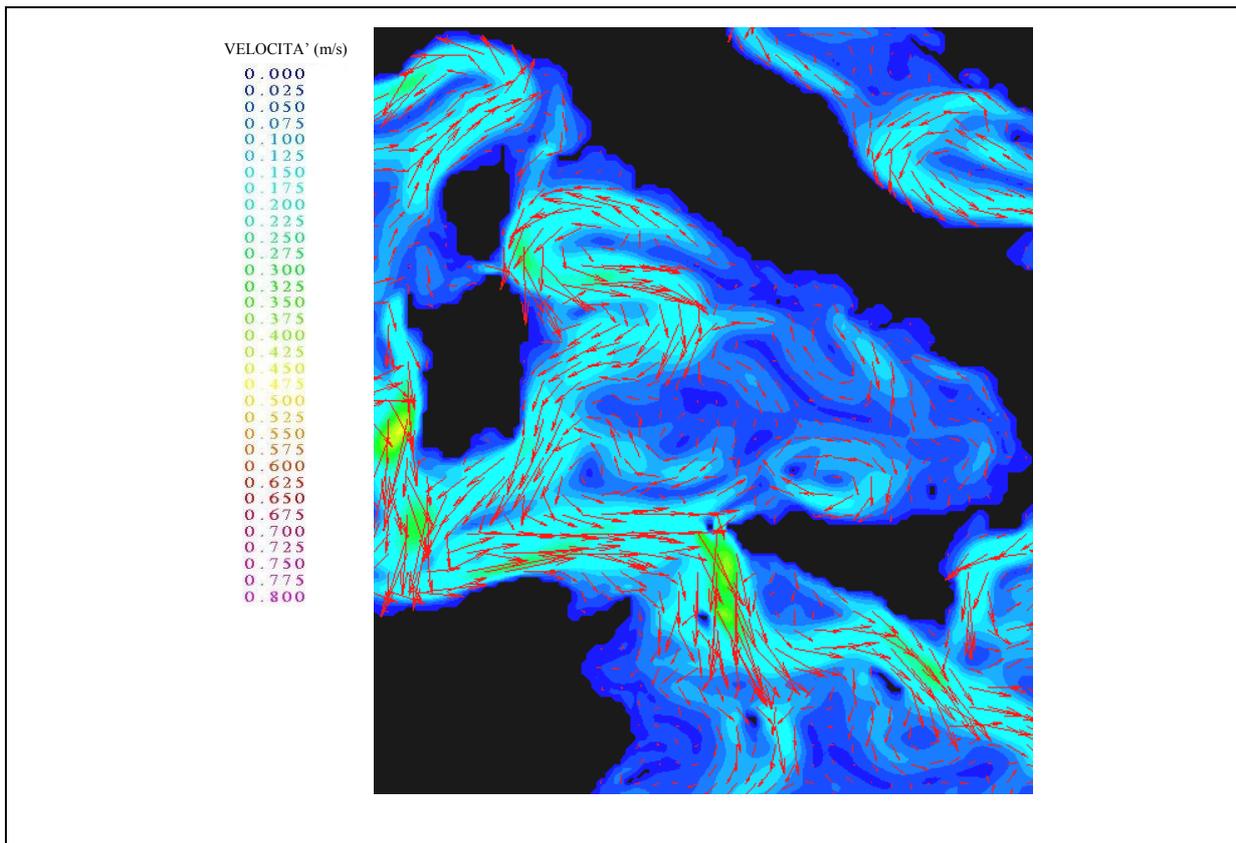
Per la validazione dei prodotti: <http://gnoo.bo.ingv.it/myocean/calval/> ; <http://gnoo.bo.ingv.it/mfs/myocean/evaluation.html>



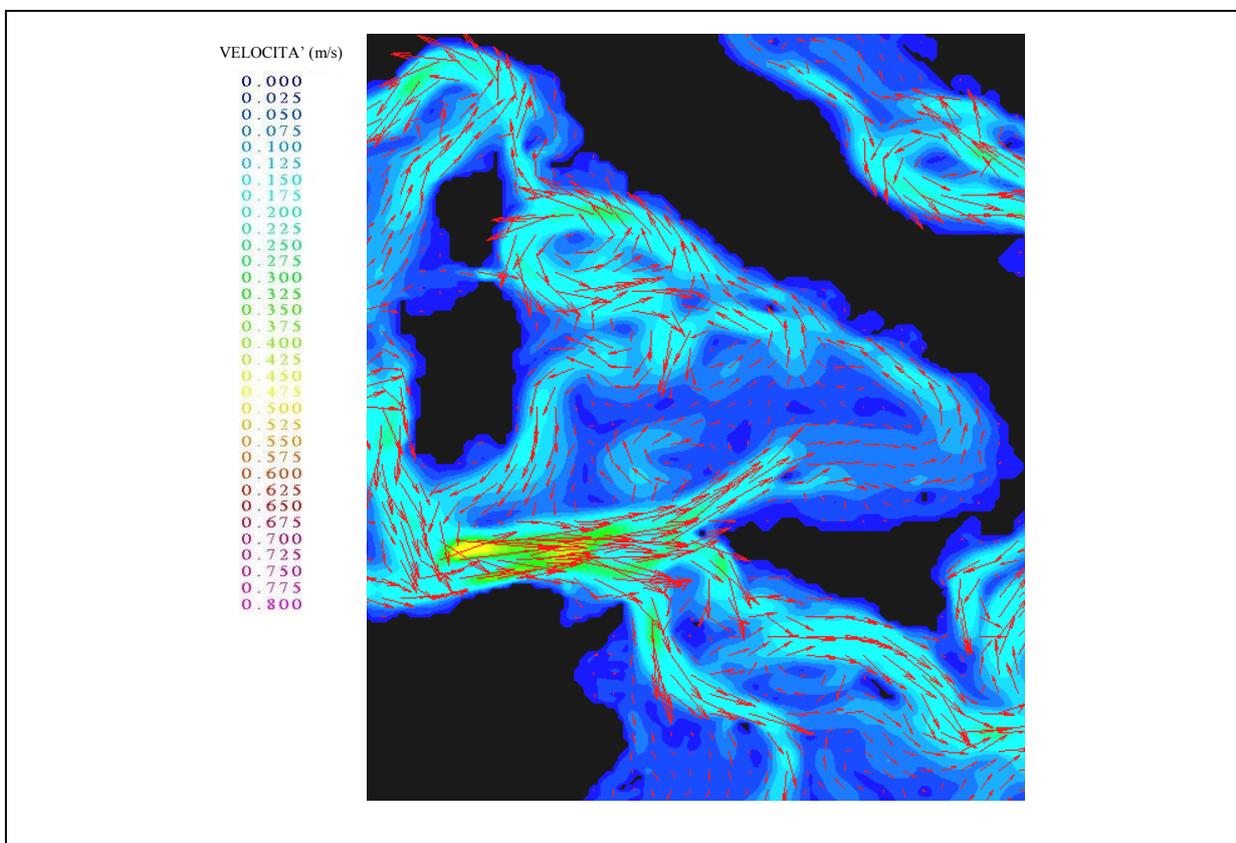
Le 4 mappe riportate nelle figure seguenti consentono di valutare la variabilità stagionale nei 10 anni analizzati.



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



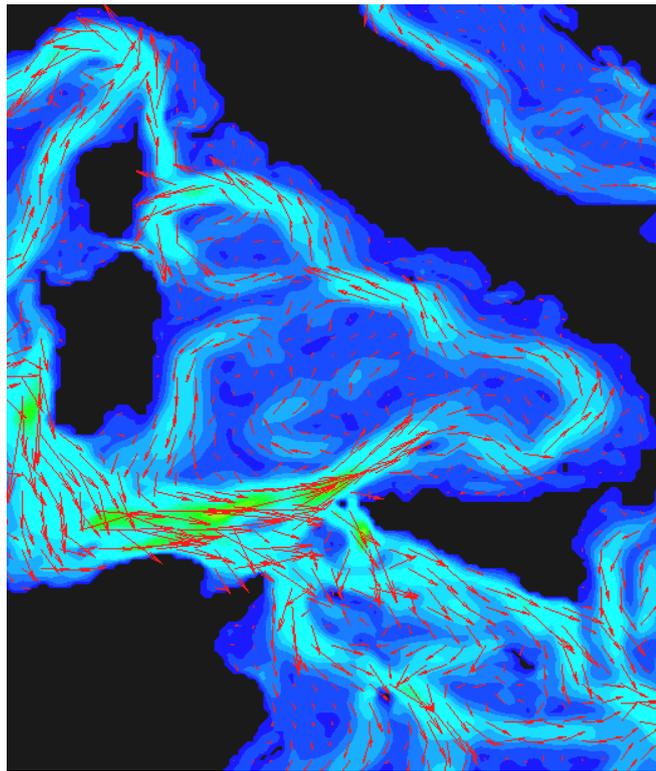
Velocità media sulla s. l. nel periodo estivo (media dall'estate 2001 all'estate 2010)



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 mescolamento⁴

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

⁴ 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>

Upwelling⁵

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 saranno 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 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 faranno riferimento agli anni dal 2009 al 2011.

Analisi:

L'analisi preliminare consiste nella caratterizzazione del clima ventoso lungo le coste italiane, attraverso l'impiego dei dati di intensità e direzione forniti dalle stazioni mareografiche della Rete Mareografica Nazionale.

I dati con campionamento orario si riferiscono al periodo 2009 – 2011, e sono stati graficati attraverso le rose dei venti; questi grafici forniscono informazioni circa la distribuzione angolare degli eventi ventosi classificati in base alla loro intensità.

Nella fattispecie le classi angolari sono di 15° e le classi di intensità di 1.5 m/s.

Questo studio consente di individuare la sezione angolare parallela al litorale in ciascun punto di osservazione.

Le direzioni del vento parallele rispetto all'orientamento della costa e con provenienza da Nord sono state scelte, in questa fase preliminare, considerando 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. È stata inoltre 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 nel tratto considerato, allo scopo di individuare le classi di direzioni ad essa parallele.

Una volta individuate tali direzioni, per ciascun punto di misura sono stati estratti dalle serie storiche gli eventi ventosi di massima intensità compresi in quel settore direzionale.

Questi sono stati graficati ancora una volta attraverso le rose dei venti.

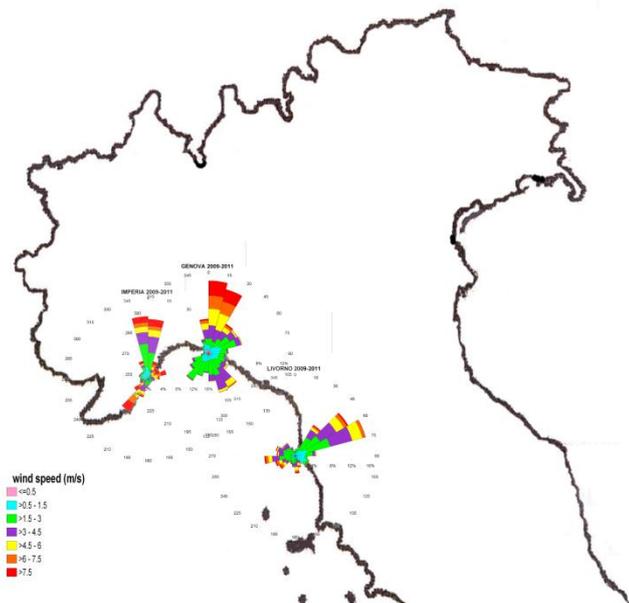
In una fase successiva potranno essere ridefiniti i criteri di definizione della pendenza e del parallelismo della costa rispetto agli eventi ventosi.

⁵ Bibliografia:

Bohm E., Banzon V., D'Acunzo E., D'Ortensio F., Santoleri R., (2003) Adriatic Sea surface temperature and ocean colour variability during the MFSPP. *Annales Geophysicae* vol. 21, pp.137-149.

Masseti 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



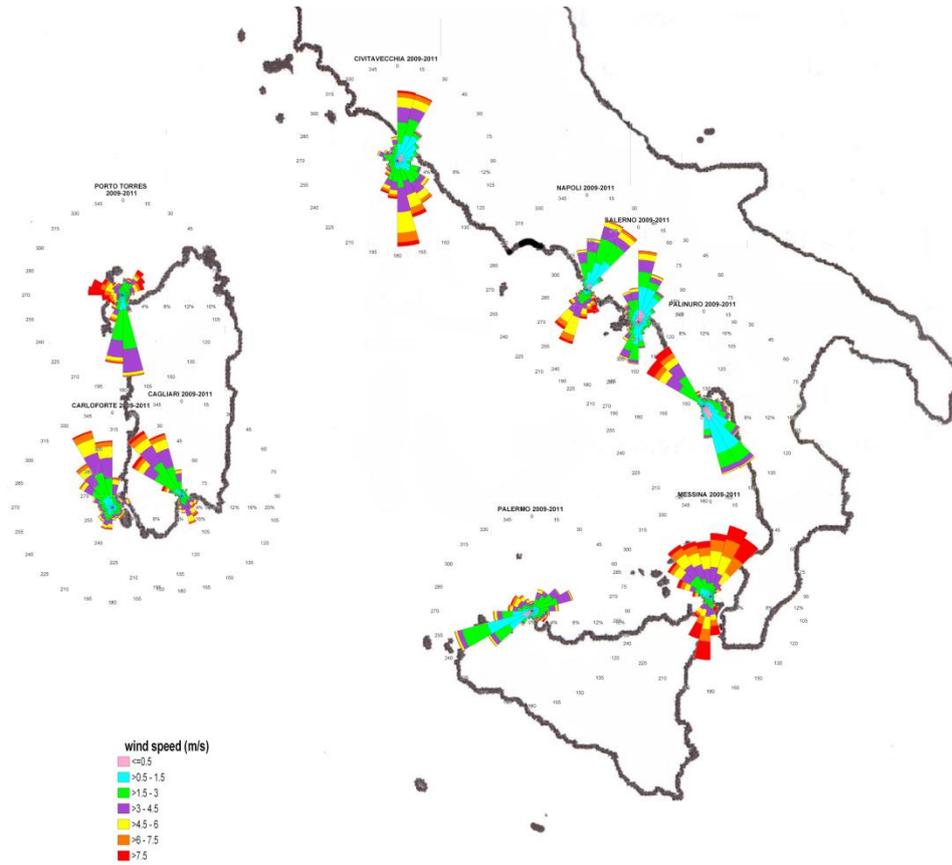
Le tre stazioni considerate presentano direzioni favorevoli alla generazione di fenomeni di upwelling prevalentemente dai seguenti settori direzionali (gradi N):

Imperia 228° – 258°

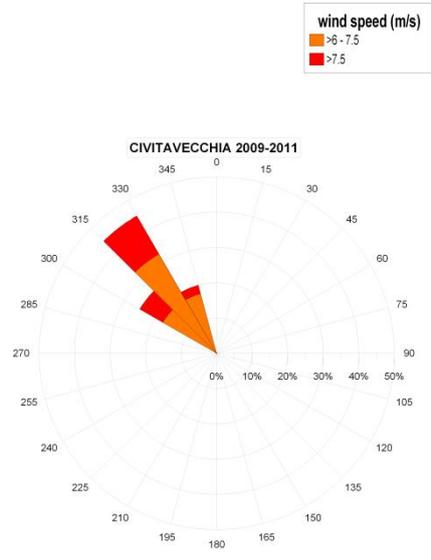
Genova 92° - 122°

Livorno 158° - 188°

Le stazioni di Civitavecchia, Napoli e Salerno nell'area mediterranea occidentale presentano direzioni favorevoli all'upwelling che variano tra i 270° e i 340°; i punti di misura relativi a Palinuro, Messina, Cagliari, Portotorres e Carloforte 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.



In particolare, la stazione di Civitavecchia ha rilevato 40 casi favorevoli al fenomeno dell'upwelling su 24874 casi totali, con direzioni di provenienza del vento dal settore angolare fra $310^\circ - 340^\circ$.



Tempo di residenza⁶

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).

⁶ 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

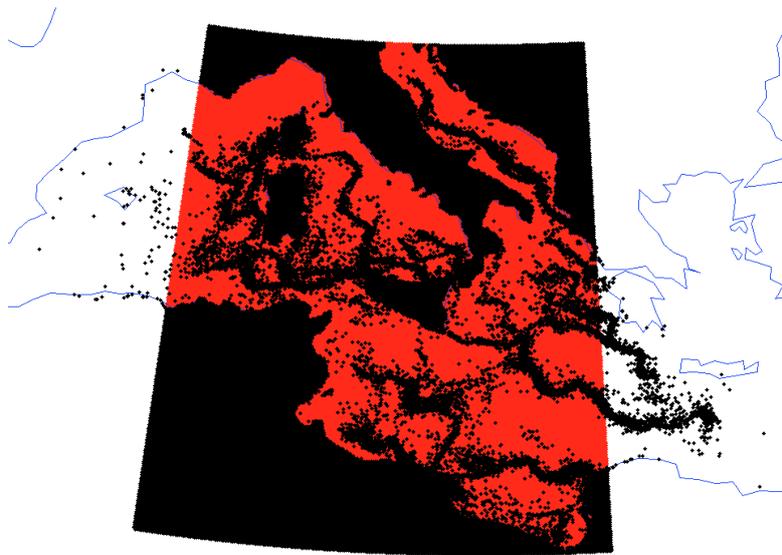


Fig.1

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,

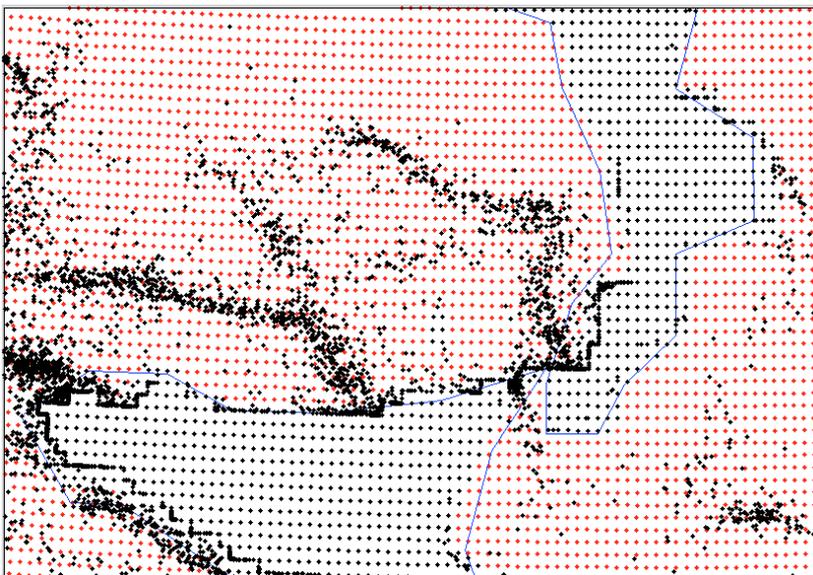


Fig.2

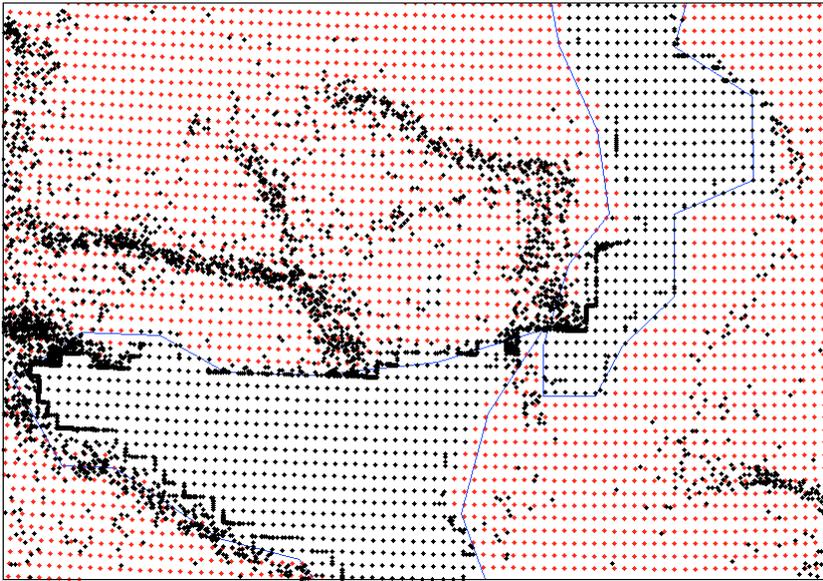


Fig.3

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.

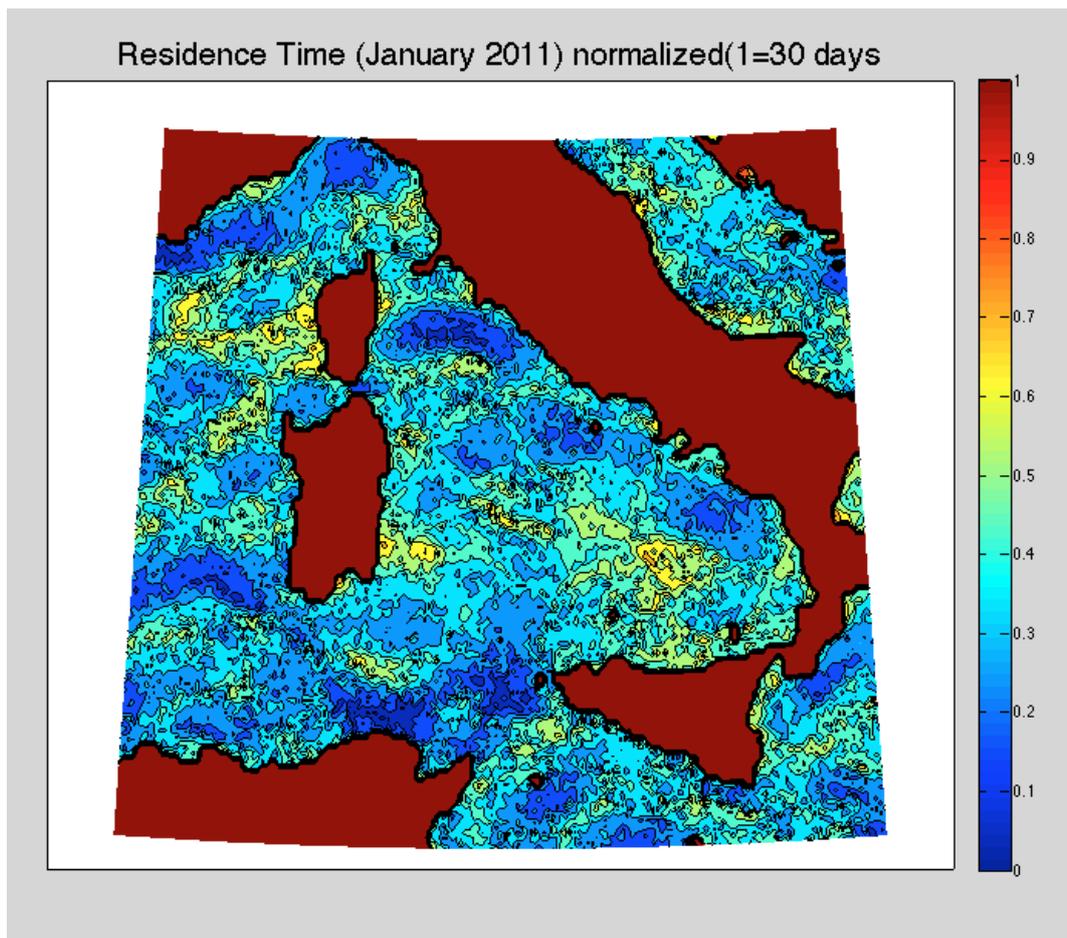


Fig.4

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.

Torbidità

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 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 $0.5^\circ \times 0.5^\circ$ (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 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 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 $3-4 \text{ m}^{-1}$.

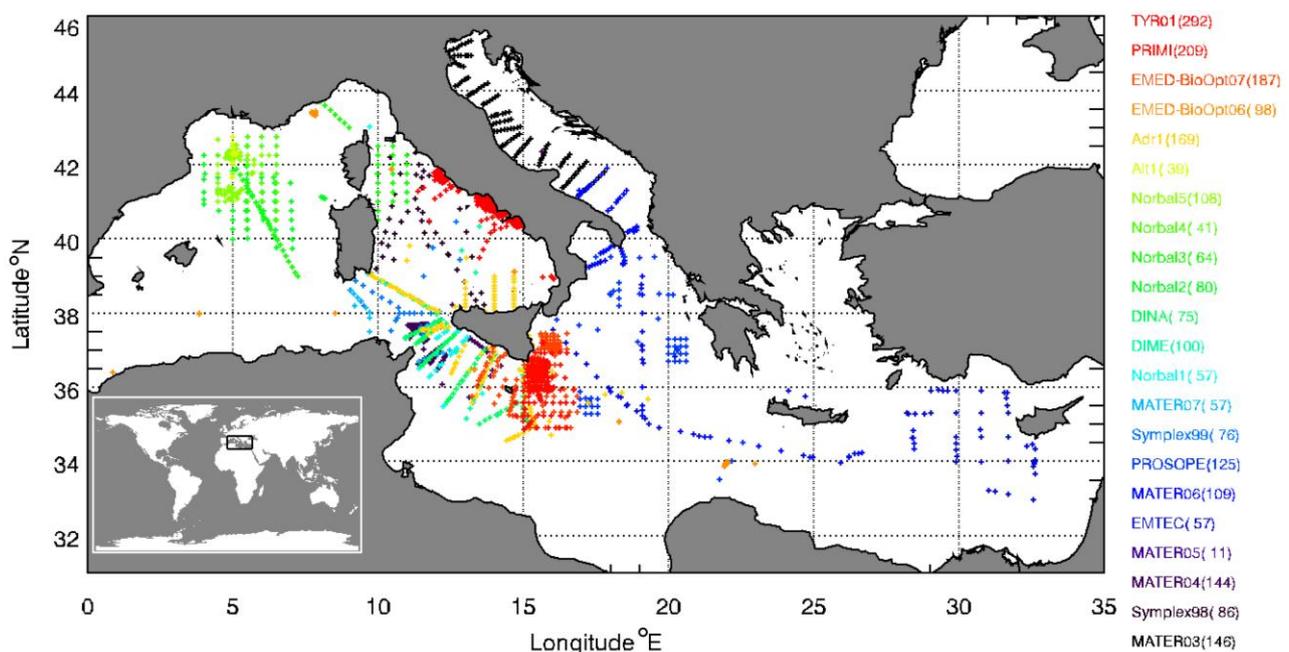


Fig. 1 Campagne oceanografiche condotte dal gennaio 2006 a dicembre 2011 dal CNR-ISAC.

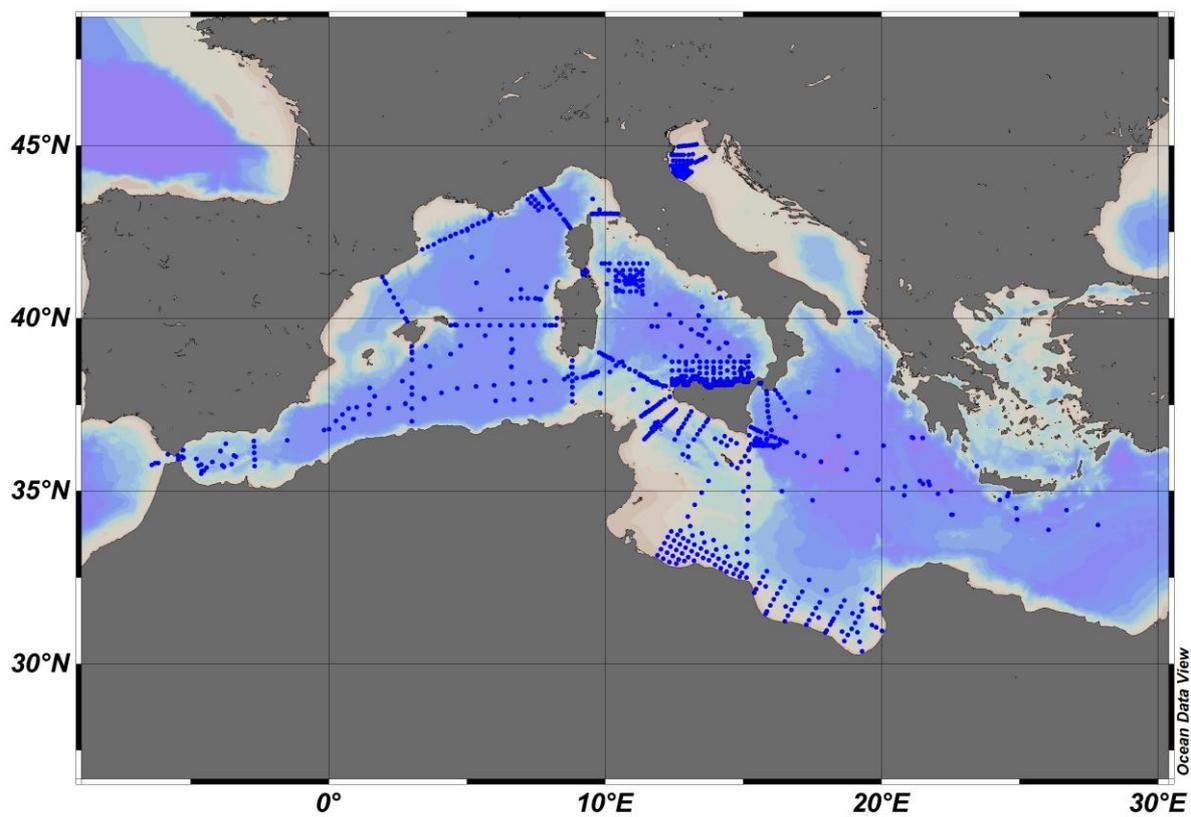


Fig. 2 Campagne oceanografiche condotte dal gennaio 2006 a dicembre 2011 dal CNR-ISMAR.

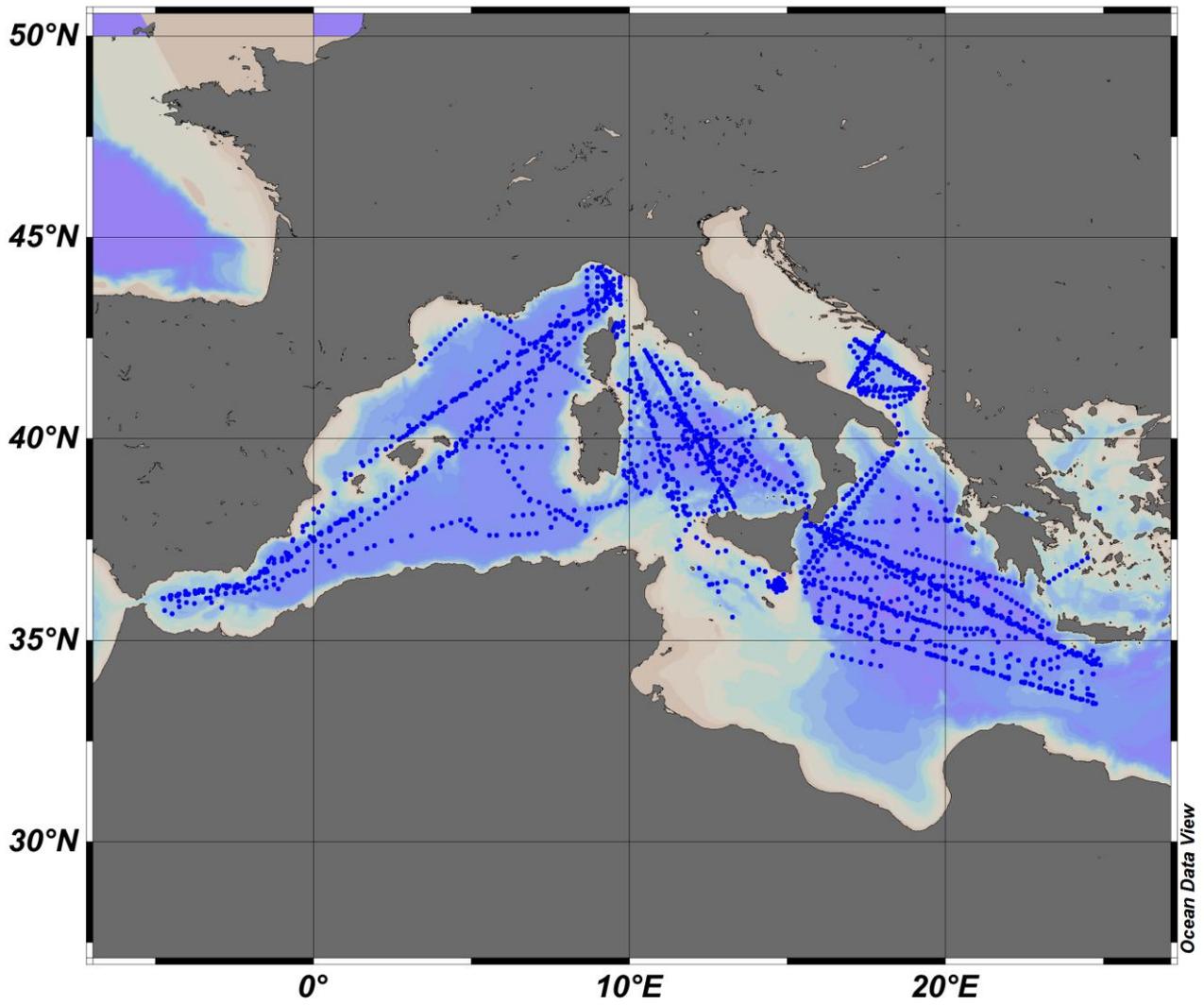
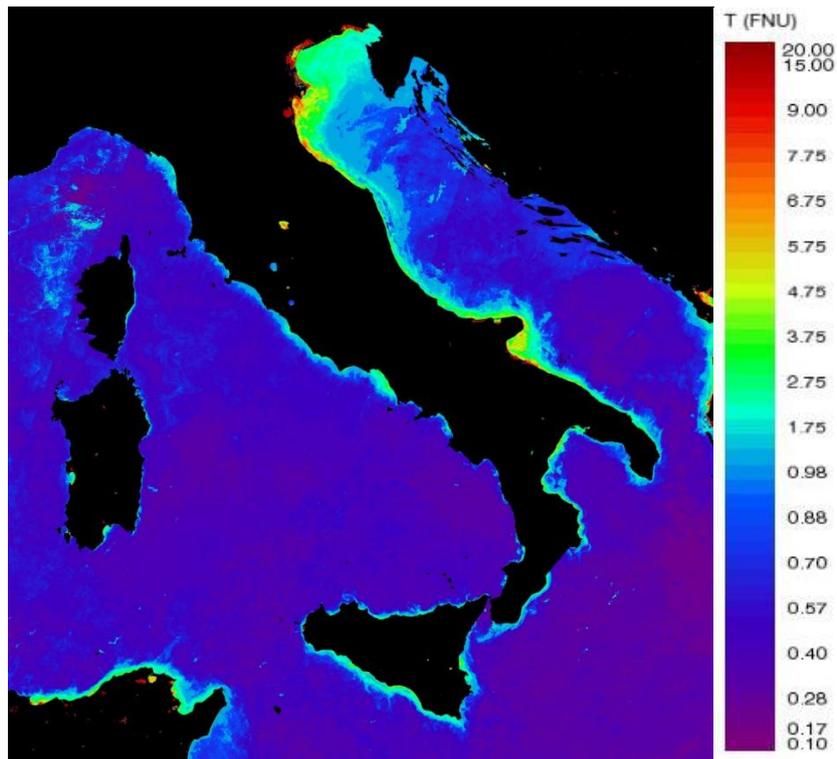
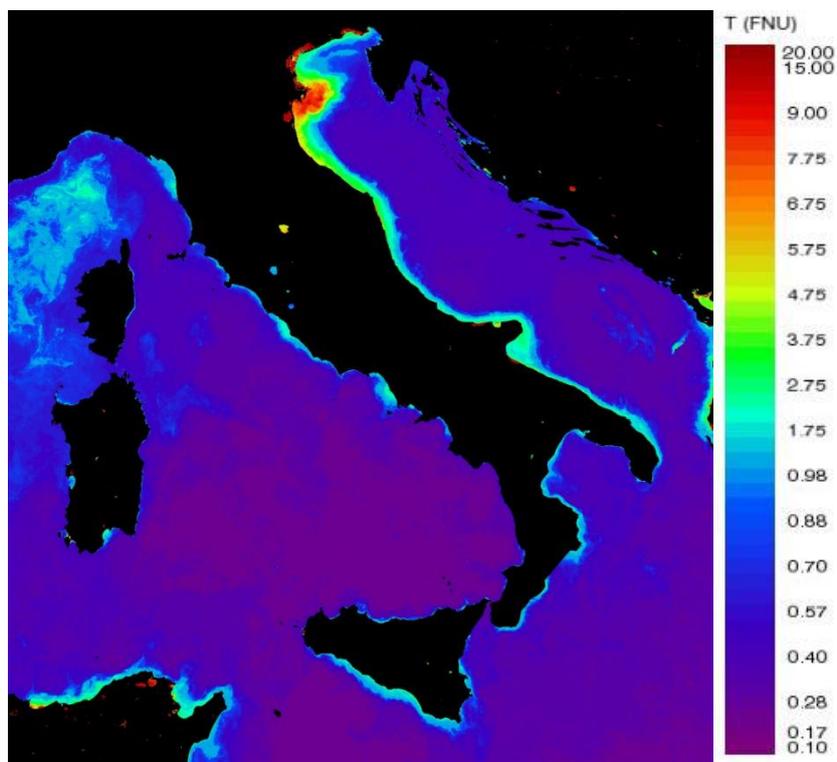


Fig. 3 Campagne oceanografiche condotte dal gennaio 2006 a dicembre 2011 dall'ENEA_OO.



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

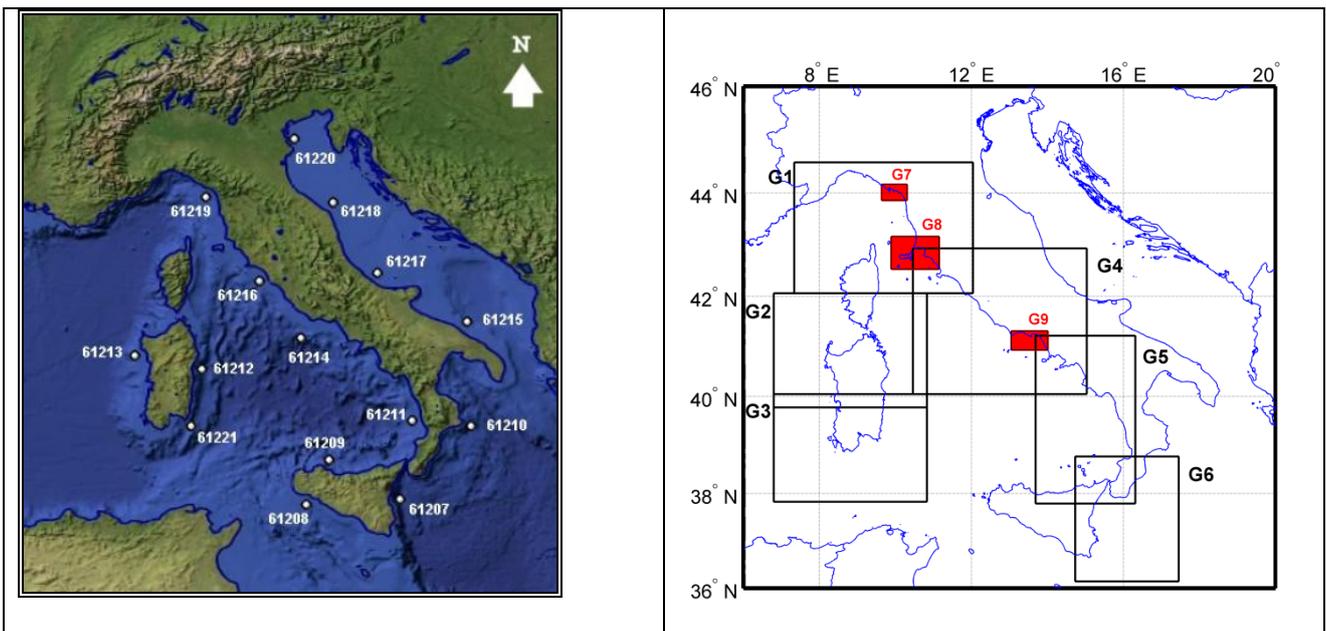


Fig. B

3.1.2.1 INFORMAZIONE UTILIZZATA

Esposizione al moto ondoso⁷

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.

⁷ 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

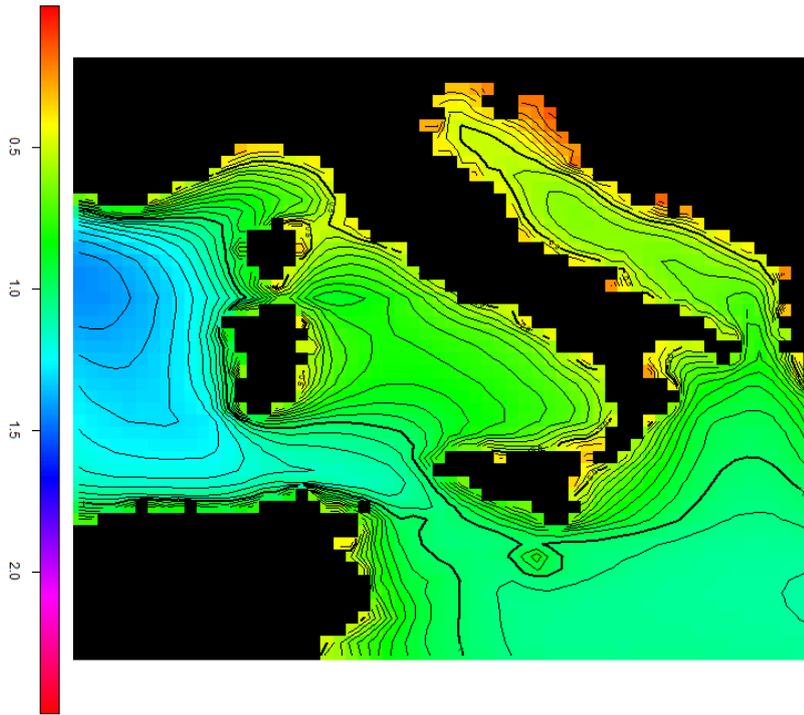


Fig.1 – Media annuale dell'altezza d'onda significativa – anno 2005

2006

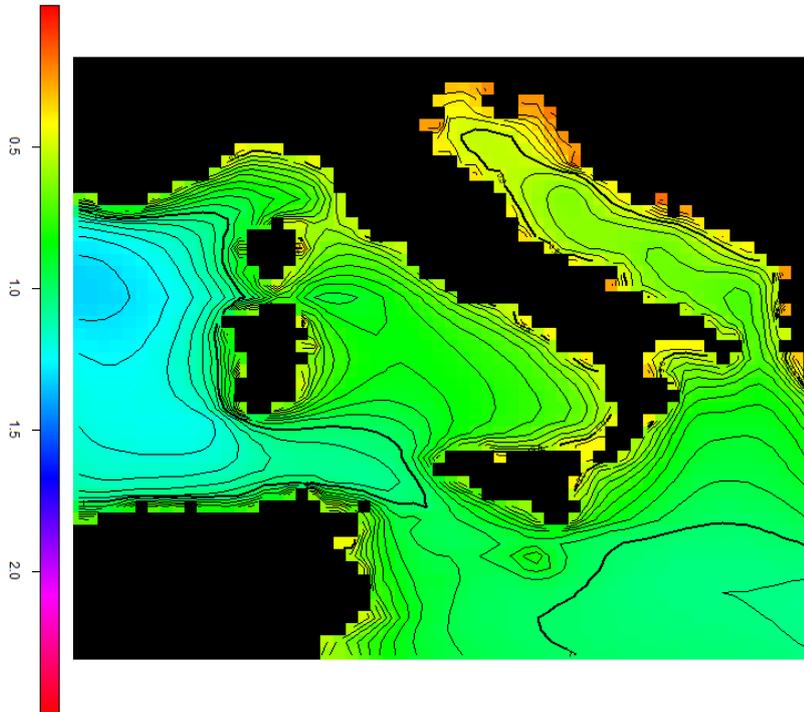


Fig.2 – Media annuale dell'altezza d'onda significativa – anno 2006

2007

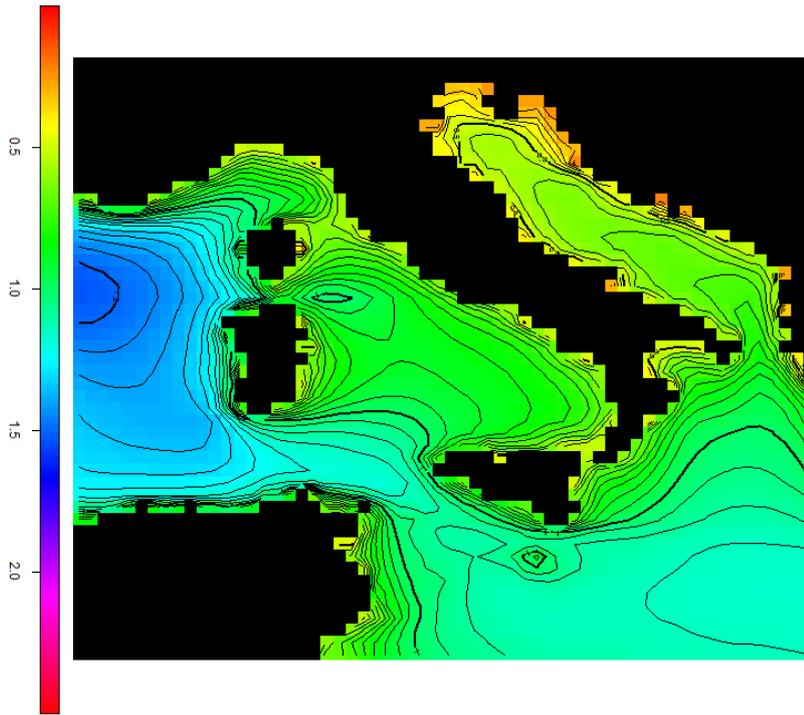


Fig.3 – Media annuale dell'altezza d'onda significativa – anno 2007

2008

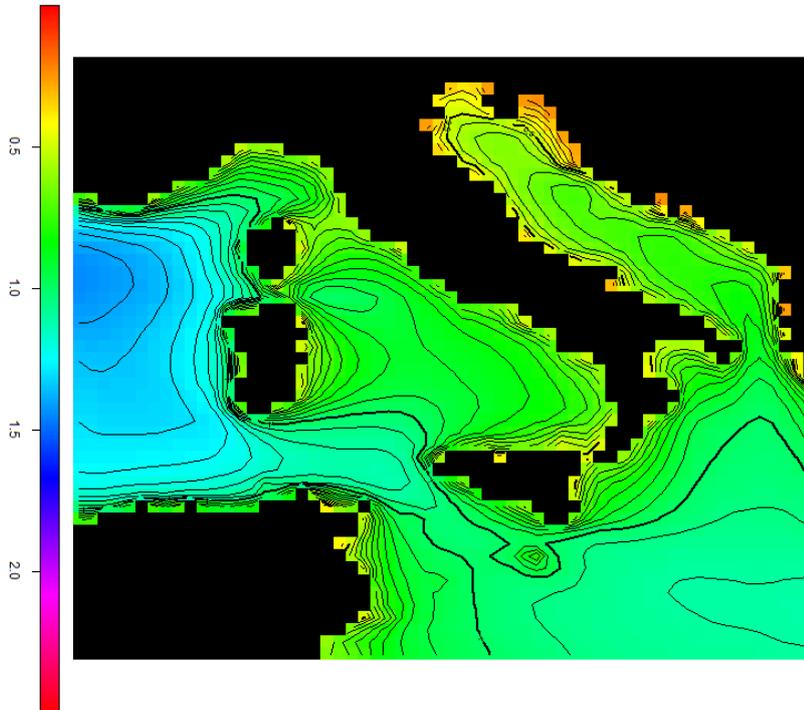


Fig.4 – Media annuale dell'altezza d'onda significativa – anno 2008

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

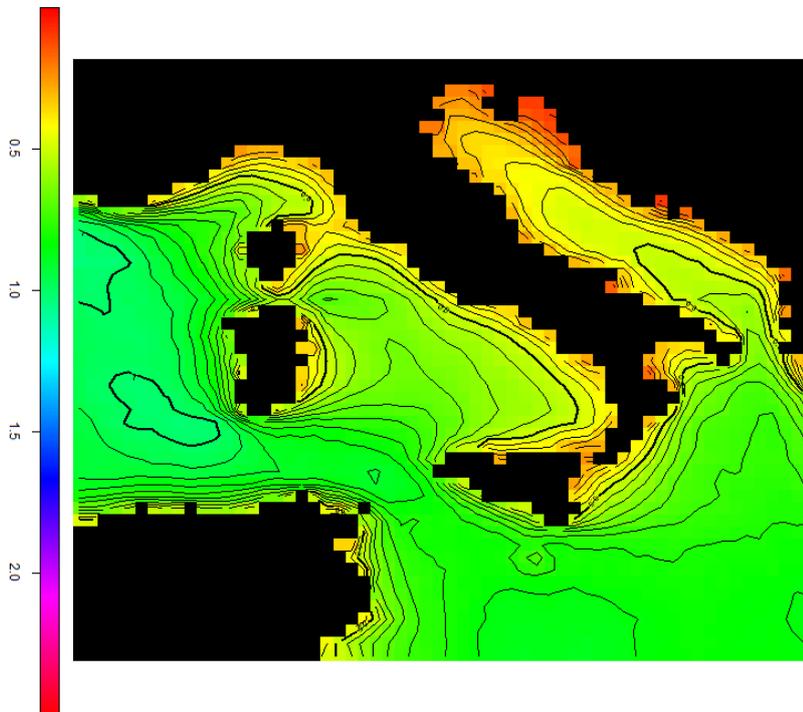


Fig.5 – Valore mediano annuale dell'altezza d'onda significativa – anno 2005

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.

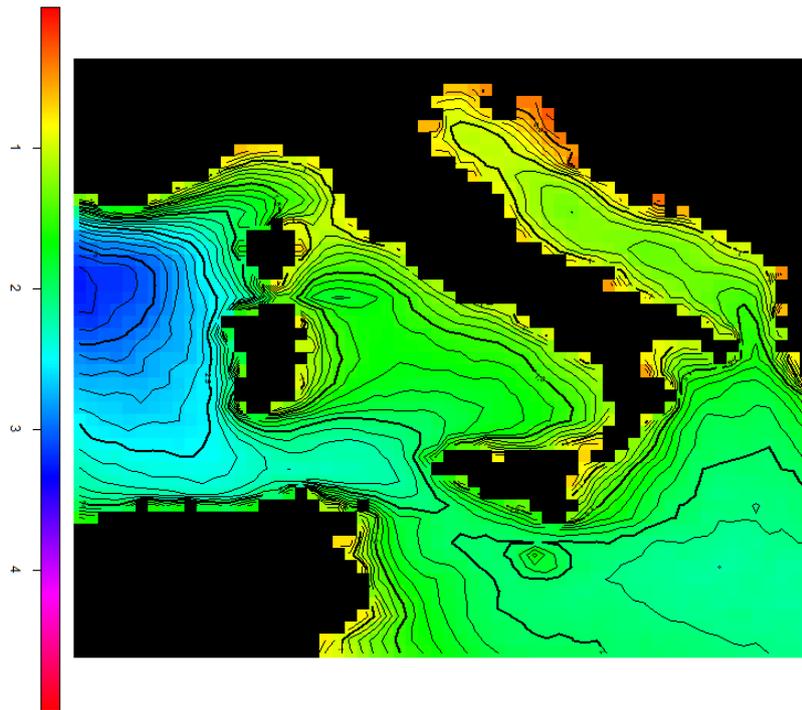


Fig.6 – 90° percentile dell'altezza d'onda significativa – anno 2005

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.

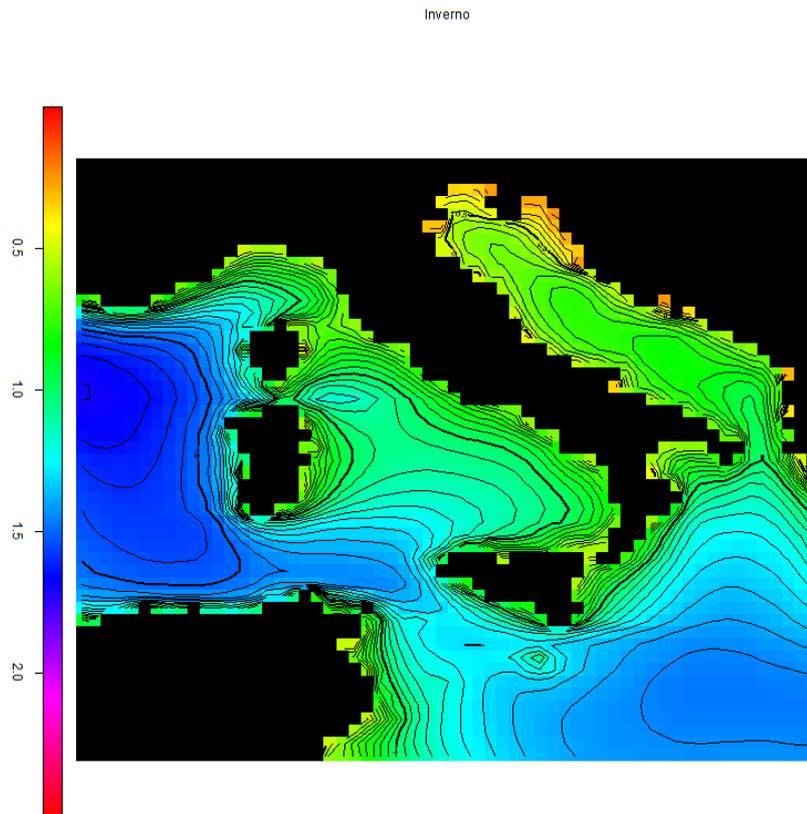


Fig.7 – Media stagionale dell'altezza d'onda significativa – Inverno 2005 - 2008

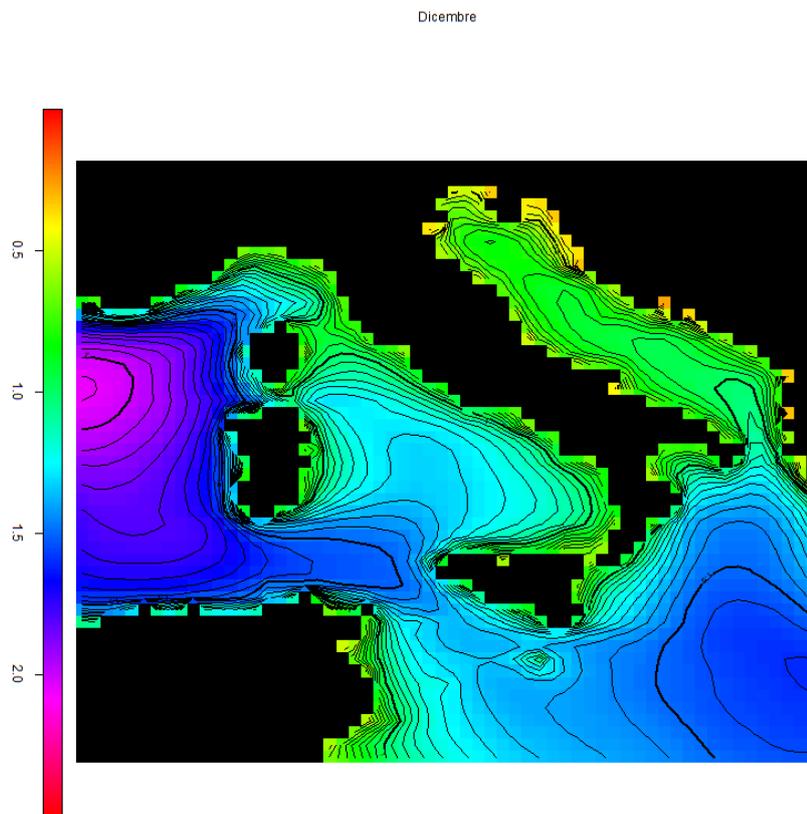


Fig.8 – Media mensile dell'altezza d'onda significativa – Dicembre 2005 - 2008

Inverno

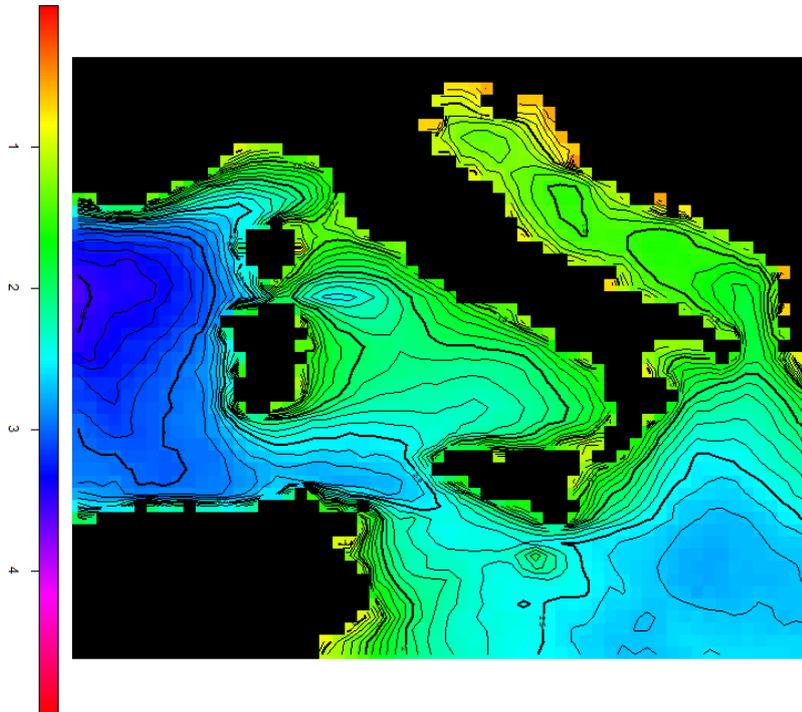


Fig.9 – 90° percentile stagionale dell'altezza d'onda significativa – 2005 - 2008

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

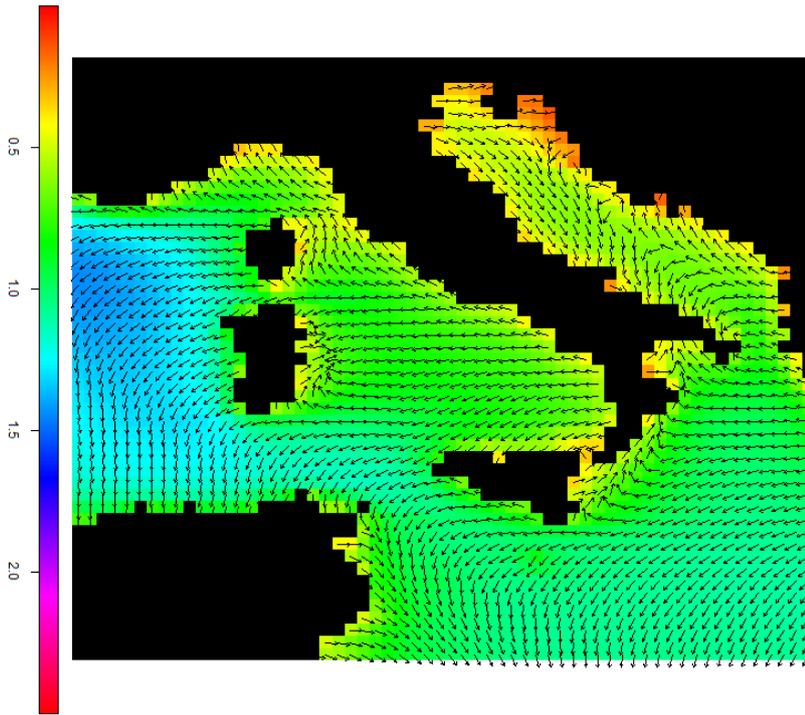


Fig.10 – Direzione media annuale della direzione dell'onda – 2005

2005

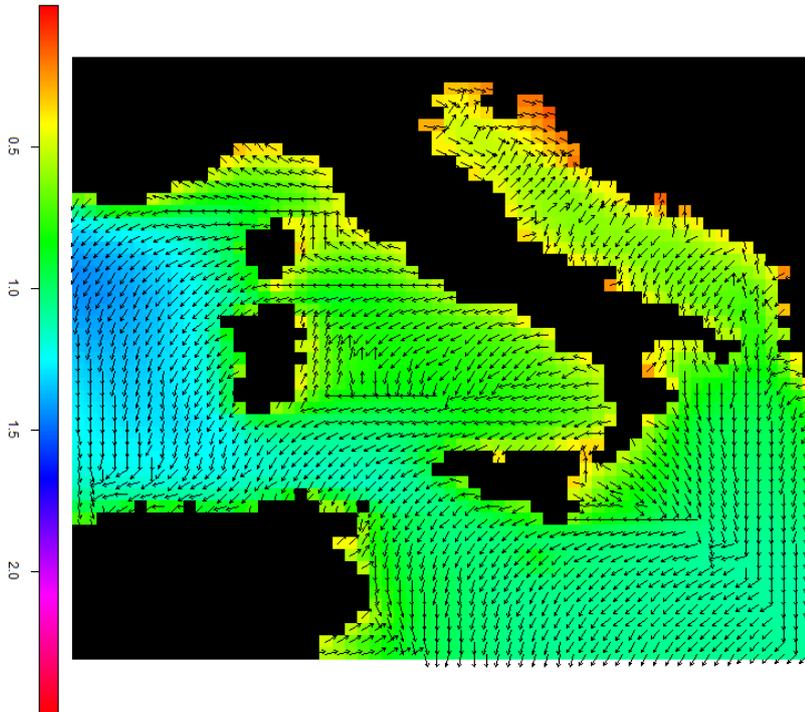


Fig.11 – Direzione modale annuale della direzione dell'onda – 2005

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):

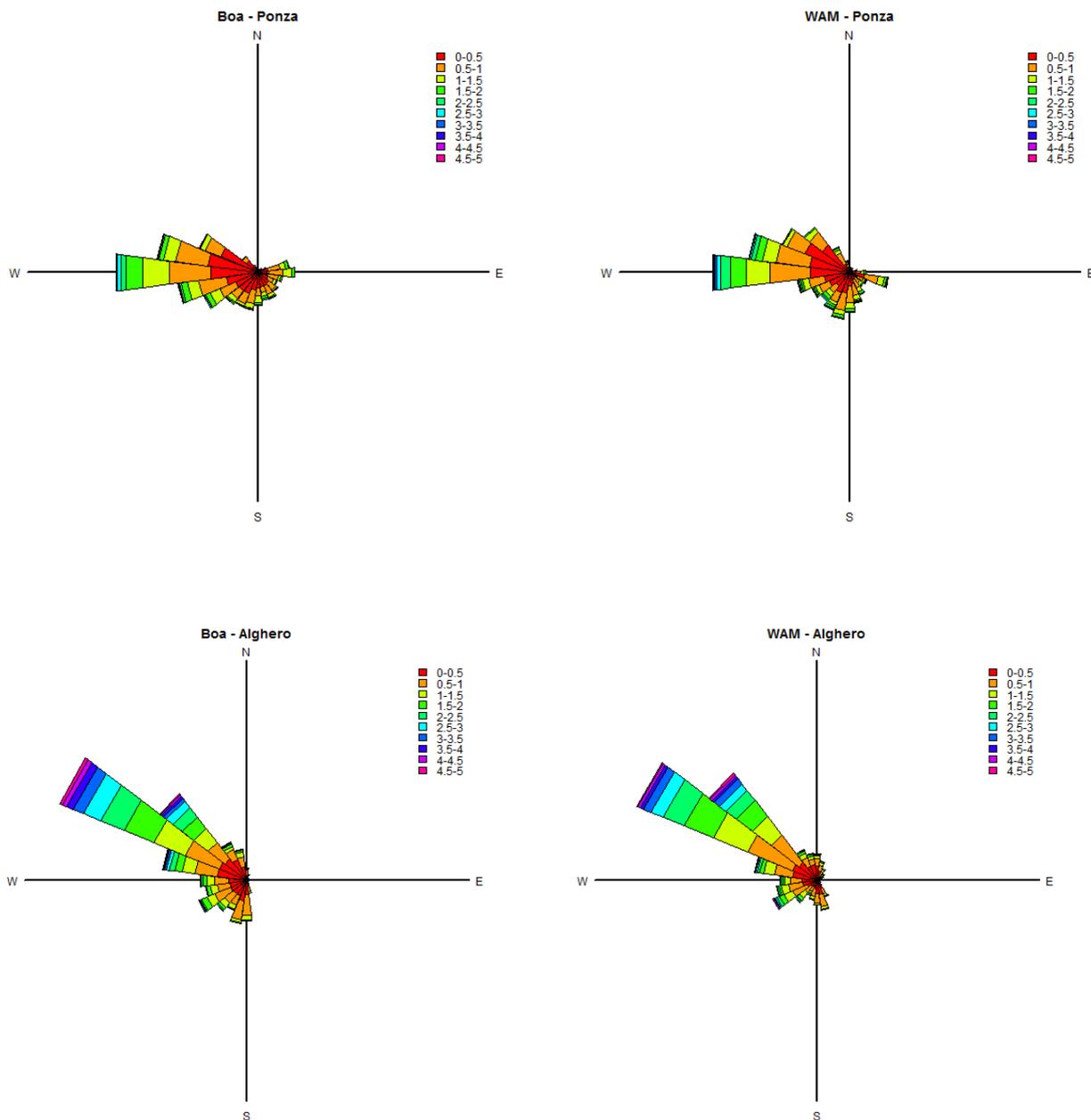


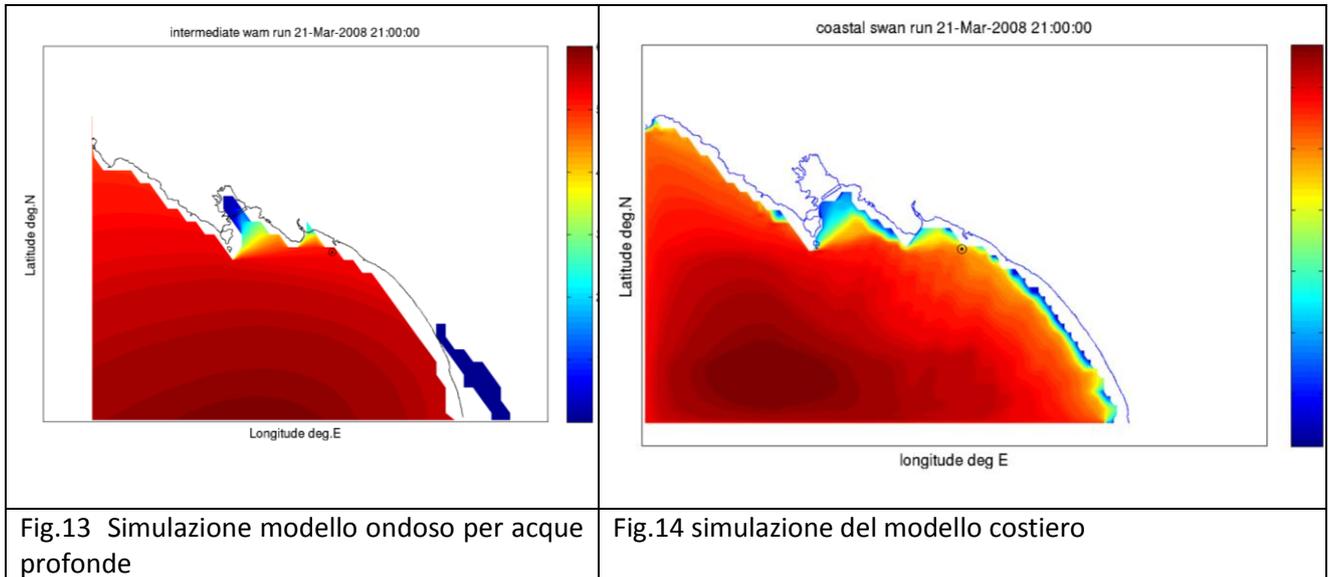
Fig.12 – Confronto tra osservazioni ondamiche e valori stimati da modello – 2005-2008

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.

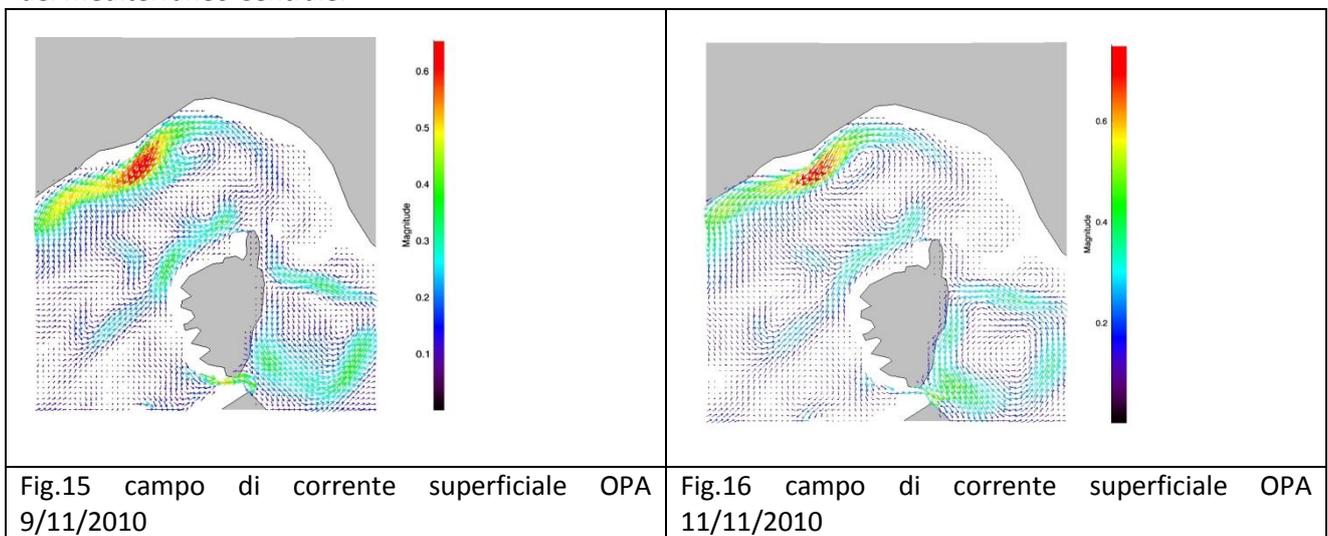
Di seguito si riportano le cartografie della esposizione al moto ondoso ottenuti dai modelli ad alta risoluzione (attualmente riferita ad alcune delle aree disponibili):

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.



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.



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.

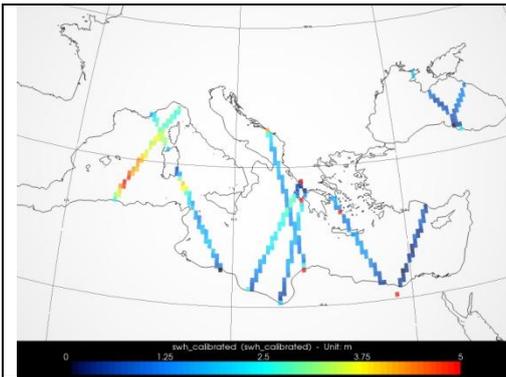


Fig. 17 - tracce dei satelliti disponibili sul Mediterraneo il giorno 10/11/2010

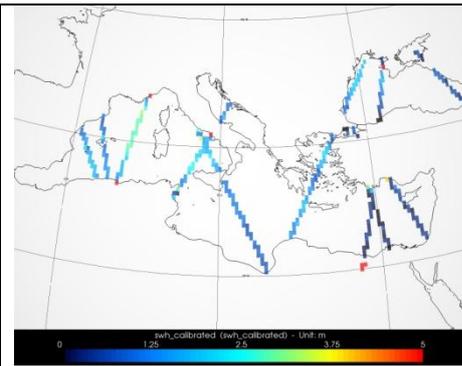


Fig. 18 - tracce dei satelliti disponibili sul Mediterraneo il giorno 11/11/2010

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

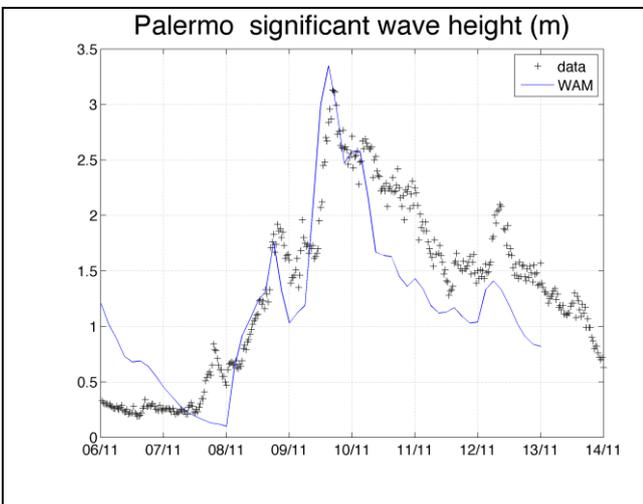


Fig. 19 - confronto modello Wam regionale e boa RON Palermo 6-11/14-11 2010

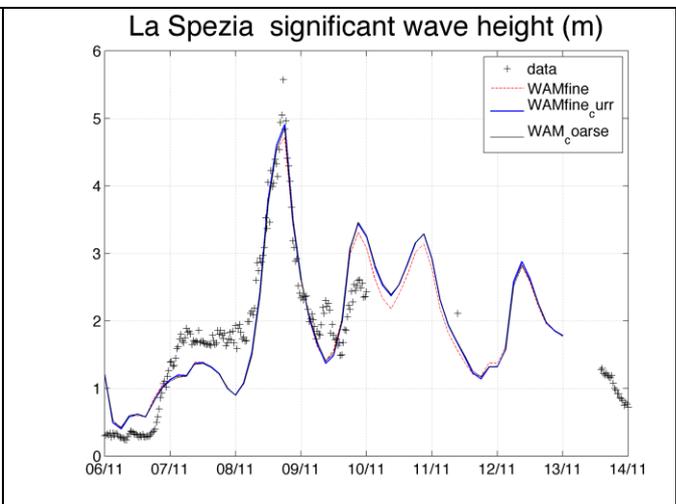


Fig. 20 - confronto modello Wam regionale e boa RON La Spezia 6-11/14-11 2010

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

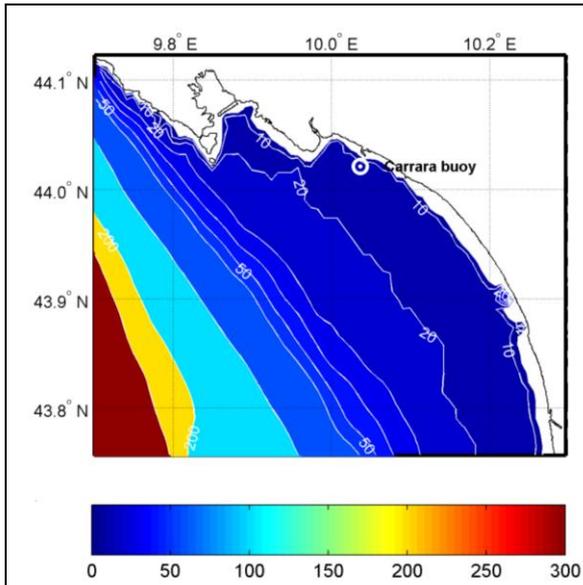


Fig. 21 - batimetria dell'area di Carrara e posizione della boa

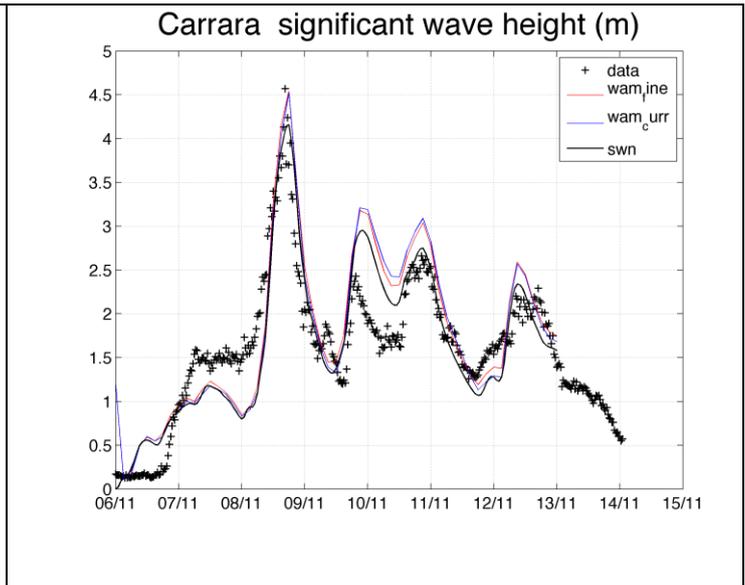


Fig. 22 - confronto modello SWAN costiero e boa Carrara 6-11/14-11 2010

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 m³/s in estate ed oltre 1500 m³/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.



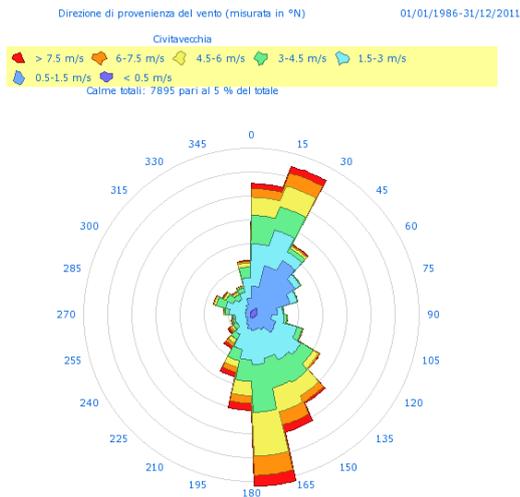
Fig.1

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 scarica 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 scarica fluviale in inverno.

Il vento ha una grande importanza per la 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.

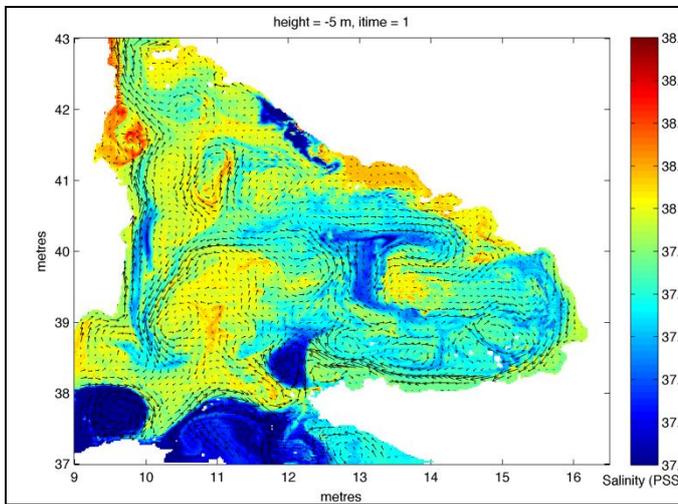


Fig. 3 Salinita' superficiale e corrente il 14/7/2010

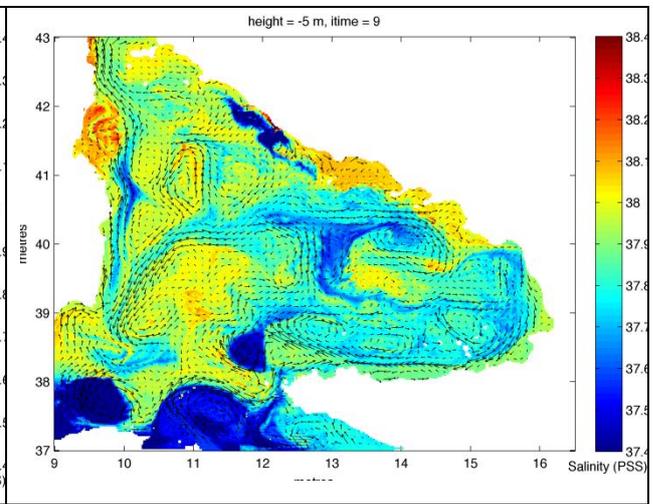


Fig. 4 Salinita' superficiale e corrente il 18/7/2010

Temperatura

Soggetti detentori di dati individuati:

ISPRA, INGV, CASPUR, CNR/ISAC

Dati e metodi:

analoghi a quanto mostrato nel descrittore salinita'.

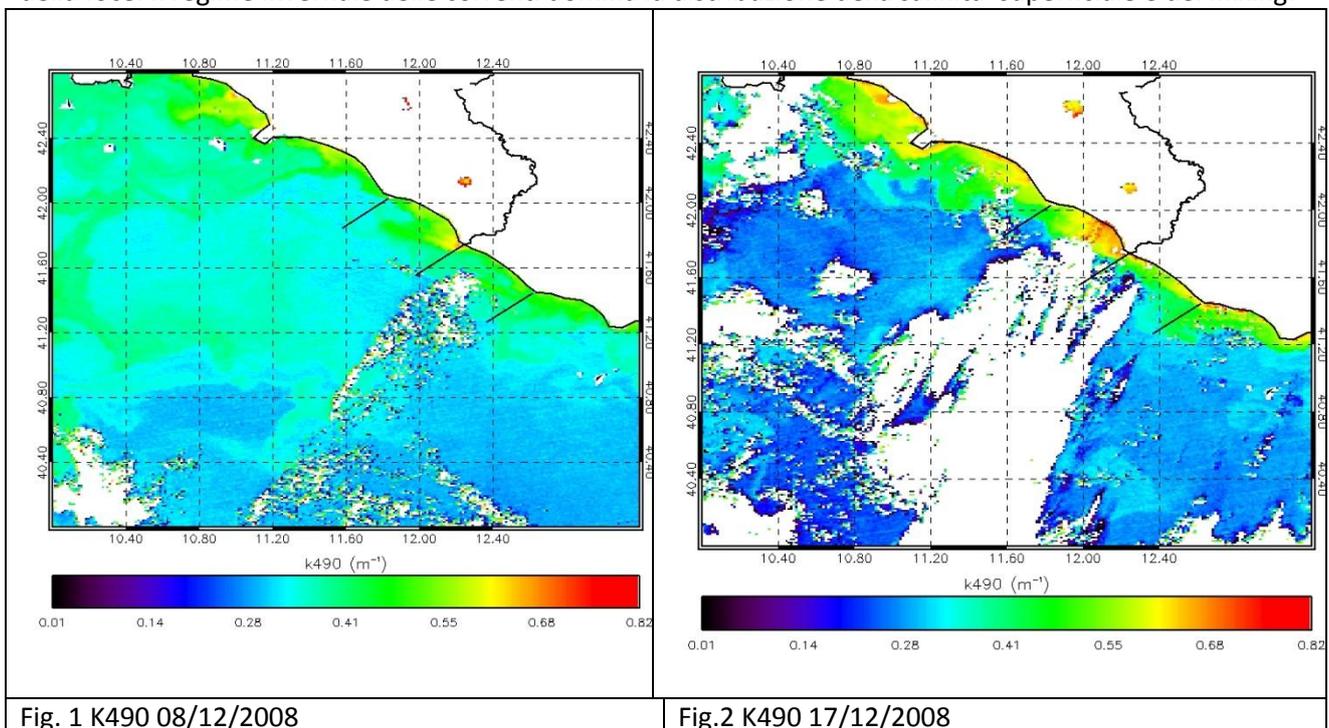
Correnti

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 m³/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.



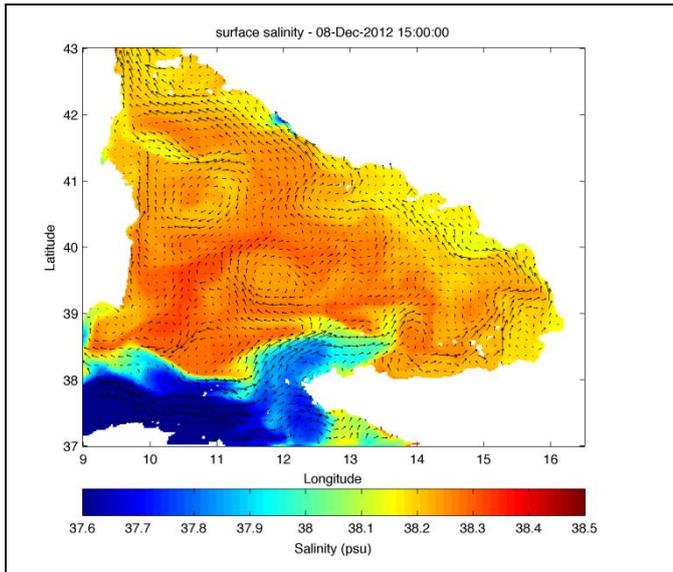


Fig. 3 Salinita' superficiale e corrente l'8 dicembre 2008

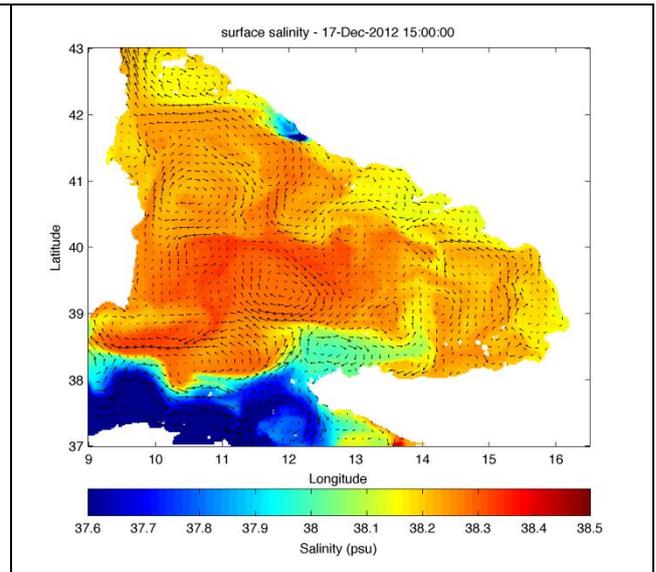


Fig. 4 Salinita' superficiale e corrente il 17 dicembre 2008

Residence Time

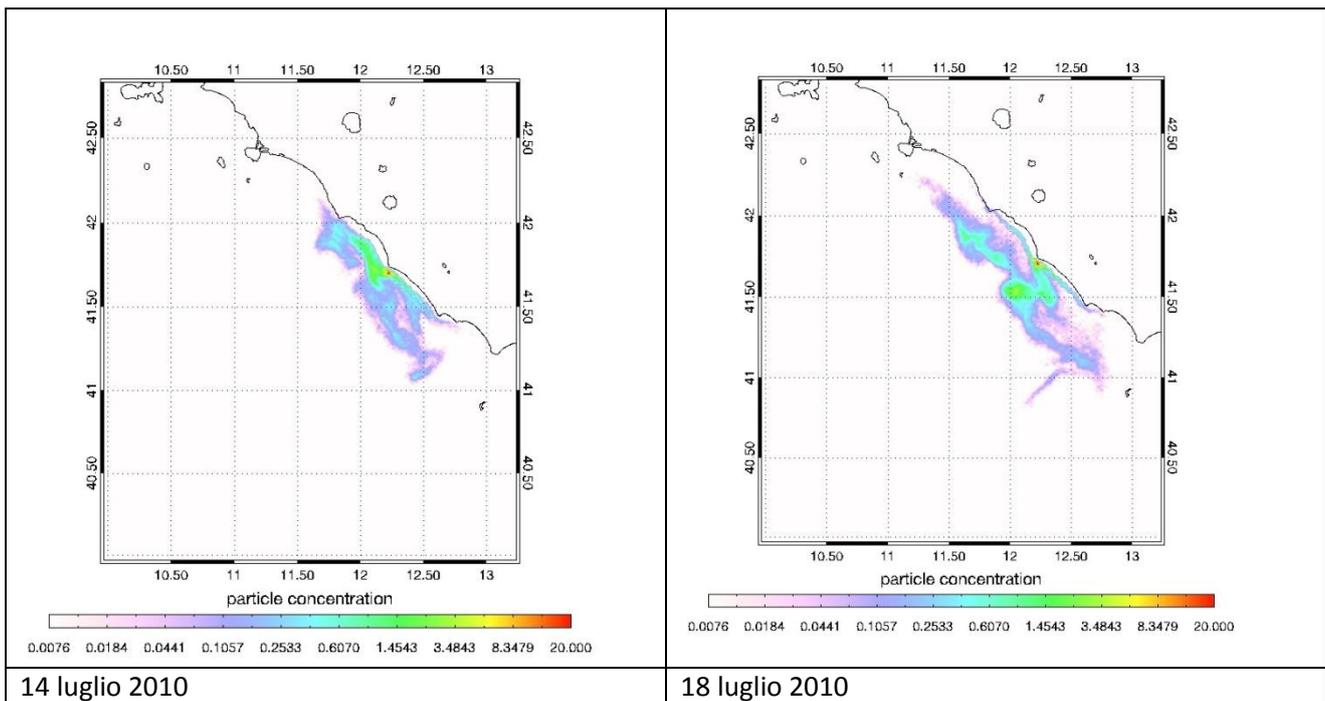
Soggetti detentori di dati individuati:
ISPRA,INGV, CASPUR, CNR/ISAC

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.

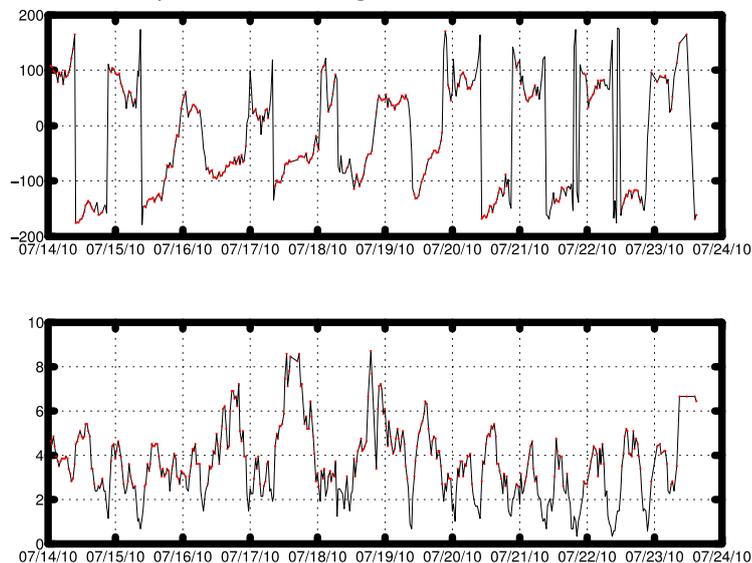
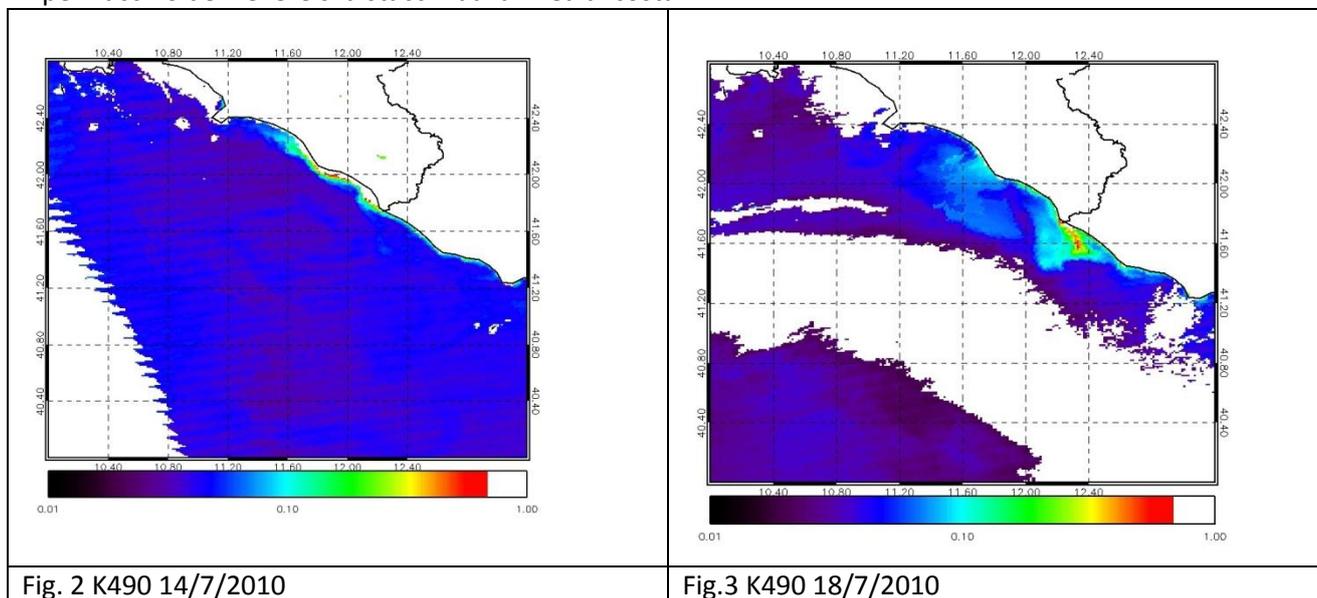


Fig.1

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.



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 improbe 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