



ISTITUTO NAZIONALE
di Oceanografia e di Geofisica Sperimentale



DOLCEVITA DRIFTER PROGRAM:

RAPPORTO TECNICO FINALE

L. URSELLA, R. BARBANTI e P.-M. POULAIN

Progetto sponsorizzato dall'Office of Naval Research (ONR)

Approvato :

Dr. Alessandro Crise

Direttore del Dipartimento di Oceanografia

INDICE:

1. Introduzione	Pag. 3
2. Strumenti e metodi	Pag. 4
2.1 <i>Sistemi drifter</i>	Pag. 4
2.2 <i>Sistema di trasmissione</i>	Pag. 4
2.3 <i>Messa a mare</i>	Pag. 7
2.4 <i>Editing e interpolazione dei dati</i>	Pag. 11
3. Risultati ed interpretazione	Pag. 13
3.1 <i>Distribuzione temporale dei dati</i>	Pag. 13
3.2 <i>Traiettorie editate</i>	Pag. 15
3.3 <i>Temperature superficiali editate</i>	Pag. 23
3.4 <i>Energia</i>	Pag. 23
3.5 <i>Statistiche Lagrangiane</i>	Pag. 26
4. Conclusioni	Pag. 30

1. Introduzione

DOLCEVITA (Dynamics Of Localized Currents and Eddy Variability In The Adriatic) è un progetto internazionale multidisciplinare sponsorizzato dall'ONR. Si propone di studiare le proprietà dinamiche e cinematiche dell'Adriatico settentrionale e centrale, in particolare in relazione all'azione del vento e al deflusso del fiume Po. Nel presente rapporto sono presentati ed analizzati i dati del programma "Drifter" che costituisce una parte del progetto. La fase sperimentale di tale programma copre il periodo settembre 2002 – luglio 2004, vale a dire il periodo per il quale esistono dati drifter.

2. Strumenti e metodi

2.1 Sistemi drifter

Nel corso del progetto DOLCEVITA 124 drifters di superficie sono stati messi in mare per un totale di 189 lanci. La maggior parte degli strumenti utilizzati (106) sono di tipo CODE; circa la metà dei CODE (41) hanno anche un sistema di posizionamento GPS. L'intervallo di campionamento scelto è 1 ora. I seguenti tipi di galleggianti sono stati utilizzati assieme ai CODE durante il progetto: 5 SVP, 2 MINIMET, 2 CODE/Tz e 7 CMOD dotati di una catena di termistori, e 2 SVP/OCM con sensori ottici. Le tipologie di tutti i drifters utilizzati sono state descritte nei rapporti di campagna (Poulain et al., 2003 a, b) e in un CD-ROM (Barbanti et al., 2004b), disponibile in rete nel sito http://doga.ogs.trieste.it/doga/sire/dolcevita/database_dolcevita/. Tutti gli strumenti possiedono un sistema di telemetria Argos, che permette la loro localizzazione e la trasmissione a terra degli ulteriori dati acquisiti (SST, dati di posizionamento GPS, dati di temperatura e dati ottici).

Della totalità dei drifters utilizzati, 18 unità CODE appartenevano e sono stati messi a mare dal NATO Undersea Research Centre di La Spezia, mentre i restanti drifters, di proprietà dell'OGS, sono stati messi a mare da personale OGS e da alcuni colleghi croati dell'Istituto R. Boskovic di Rovigno e dell'Institute of Oceanography and Fisheries di Spalato.

2.2 Sistema di trasmissione

Il sistema Argos prevede la trasmissione dei dati acquisiti sotto forma di messaggi nella cui intestazione sono contenuti data e posizione Argos. Il resto del messaggio contiene i dati acquisiti dai sensori (dati del GPS, SST, parametri ottici) in formato predefinito. Alcuni dei messaggi sono privi della posizione a causa di trasmissioni deboli e/o di una quantità troppo bassa di trasmissioni che non permettono così la determinazione della posizione dall'effetto Doppler sul segnale. Il sistema Argos standard prevede l'utilizzo di due satelliti. Dall'inizio del programma fino al 6 novembre 2003 sono stati utilizzati i satelliti NOAA-15 e NOAA-16 e in seguito i satelliti NOAA-16 e NOAA-17. Inoltre, dal 5 maggio al 23 ottobre 2003, Argos era disponibile sul satellite giapponese ADEOS-II. Per i drifter ottici e per quelli con catena di termistori nel periodo maggio/giugno 2003, è stato utilizzato il sistema "multi satellite service" che permette di ottenere tutti i dati in maniera più completa, visto che utilizza un maggior numero di satelliti, vale a dire NOAA 11, 12, 14, 15 e 16 e ADEOS-II (figura 1). Le figure 2-3-4 mostrano gli istogrammi della frequenza del numero di messaggi al giorno, per i tre periodi

caratterizzati da una diversa configurazione dei satelliti. In blu viene rappresentata la totalità dei messaggi, mentre in rosso solo quelli che contengono una posizione Argos. Come si può notare dalla figura 1, l'unico periodo con copertura uniforme nell'arco della giornata è quello dal 6 maggio al 23 ottobre 2003. Infatti, in questo periodo, il numero di passi al giorno che presenta la maggior frequenza è 19 (figura 3), mentre sia per il periodo precedente che per il successivo è 12 (figure 2 e 4).

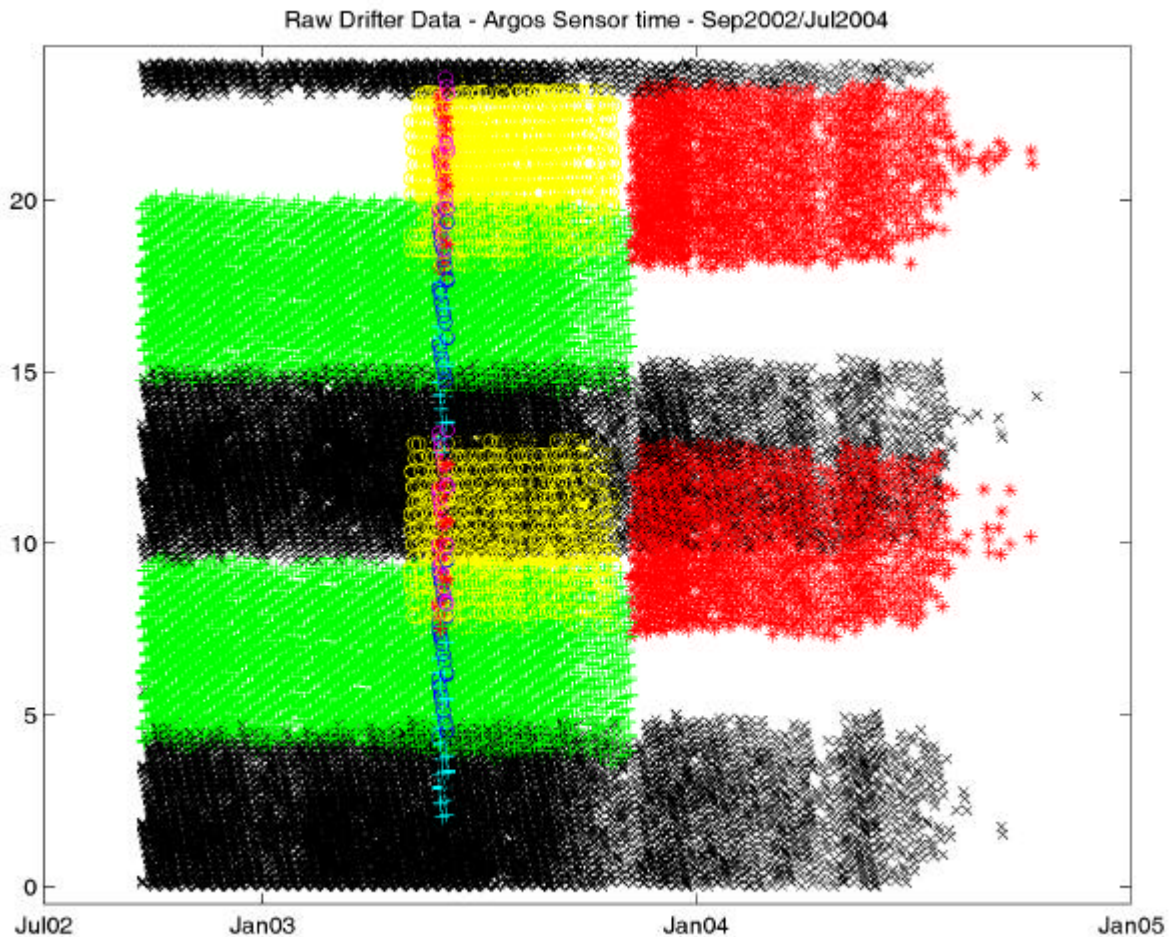


Figura 1. Ora GMT dei dati acquisiti dai sensori (calcolata da 181 files di dati grezzi) in funzione del tempo per i satelliti NOAA-16 (nero), NOAA-15 (verde), NOAA-17 (rosso), NOAA-14 (blu), NOAA-12 (azzurro), NOAA-11 (fucsia) e ADEOS-II (giallo).

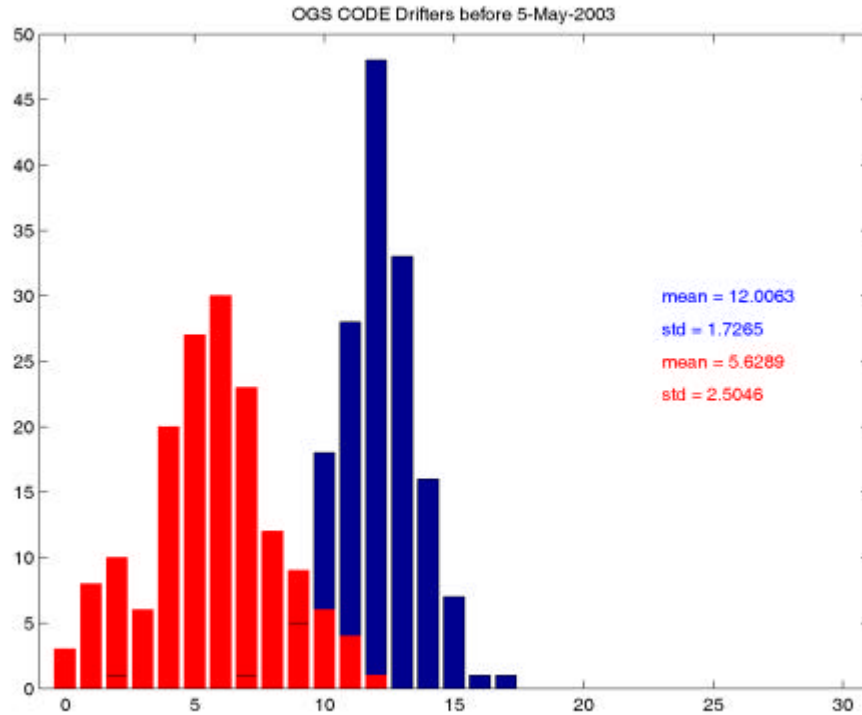


Figura 2. Frequenza del numero di passi al giorno per tutti i CODE dell'OGS prima del 5 maggio 2003. In blu vengono considerati tutti i passi, mentre in rosso vengono considerati solo i passi contenenti una posizione.

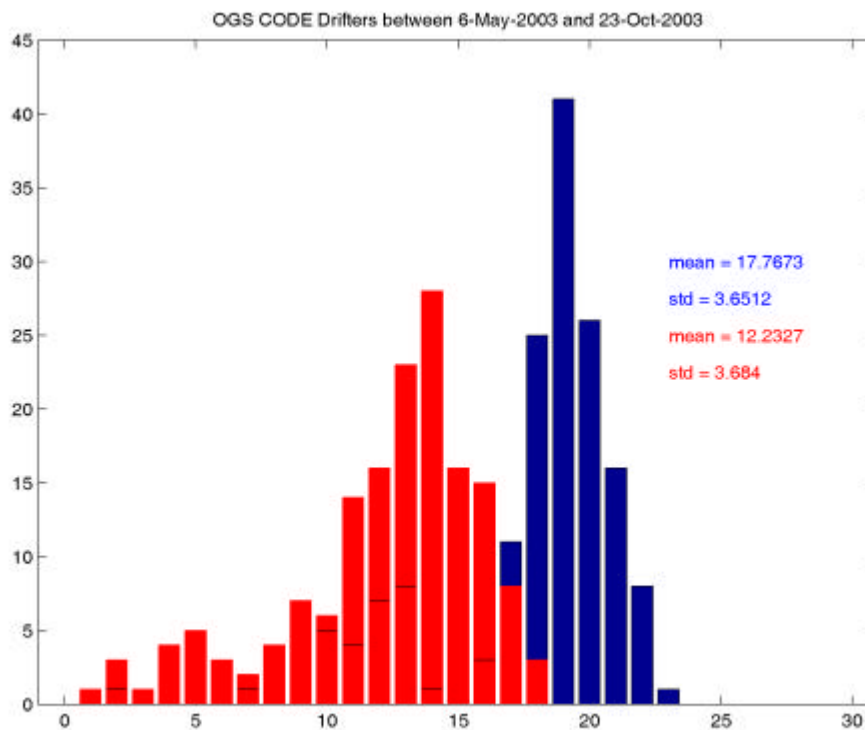


Figura 3. Come in figura 2, ma per il periodo dal 6 maggio al 23 ottobre 2003.

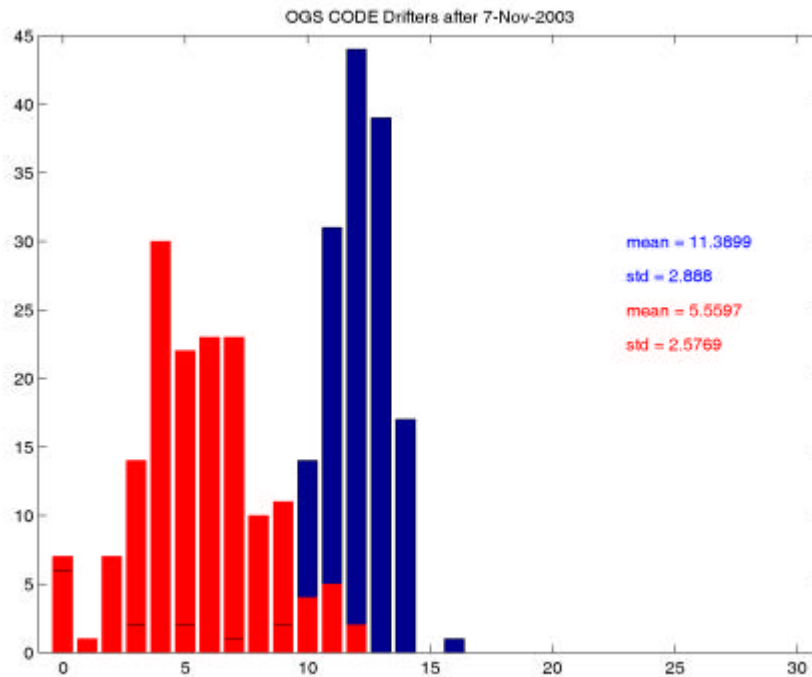


Figura 4. Come in figura 2, ma per il periodo dopo il 7 novembre 2003.

2.3 Messa a mare

La scelta dei punti di lancio dei drifters (figura 5) è stata operata in maniera tale da assicurare una copertura sufficientemente omogenea nella zona di studio per la durata del progetto, tenendo conto dei mezzi a disposizione per la messa in mare degli strumenti. Per far ciò, è stato utilizzata una simulazione assumendo che le velocità lagrangiane “eddy” possano essere modellate come un processo di Markov e soddisfino perciò l’equazione di Langevin (Ozgokmen et al., 2000; Falco et al., 2000). Partendo dal solo campo di velocità medio ottenuto dalle misure drifter in Adriatico per il periodo 1 agosto 1990 - 31 luglio 1999, e assumendo dei punti di lancio, è possibile simulare le traiettorie e la conseguente copertura sul bacino (figura 6). Con l’introduzione di un errore casuale sulle velocità e del tempo di decorrelazione turbolenta previsti nelle equazioni di Langevin, sono state generate 100 possibili mappe con le traiettorie simulate; nella simulazione è stata prevista una vita massima per ciascun drifter di 150 giorni. Da queste mappe è stata calcolata la densità di dati media in bins di 20 km sull’intero nord Adriatico e per tutti i mesi della durata di DOLCEVITA. Un esempio di densità si trova nelle figure 7 e 8 per il periodo 21 settembre 2002 – 3 novembre 2002, rispettivamente per i 30 drifters previsti dal progetto e per i 32 drifters realmente messi in mare nelle posizioni effettive. Infine, in figura 9 è rappresentata la densità di dati ottenuta dalle traiettorie reali.

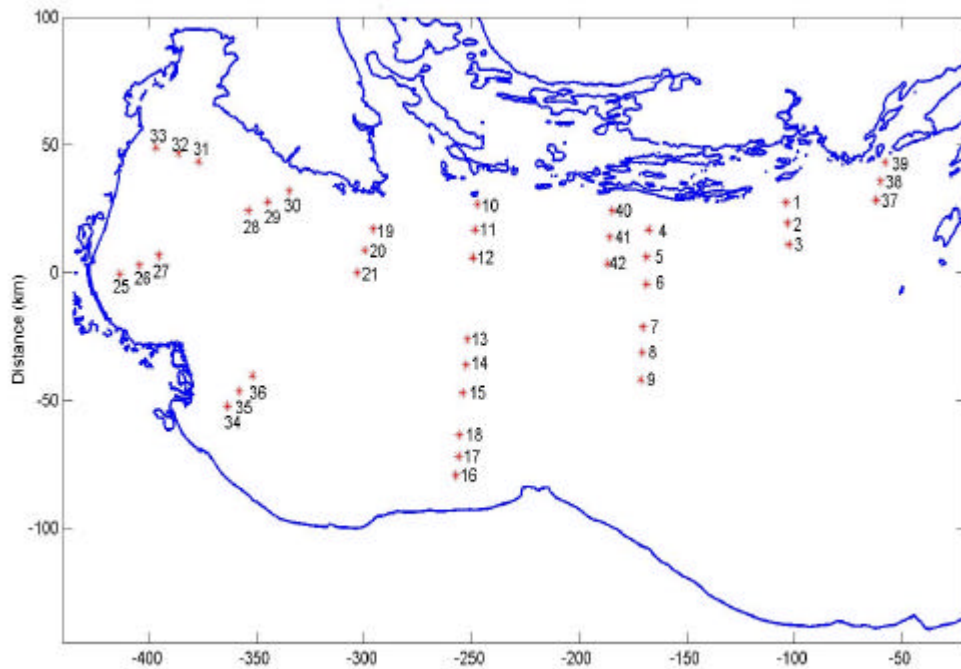


Figura 5. Punti di lancio dei drifters durante il progetto DOLCEVITA

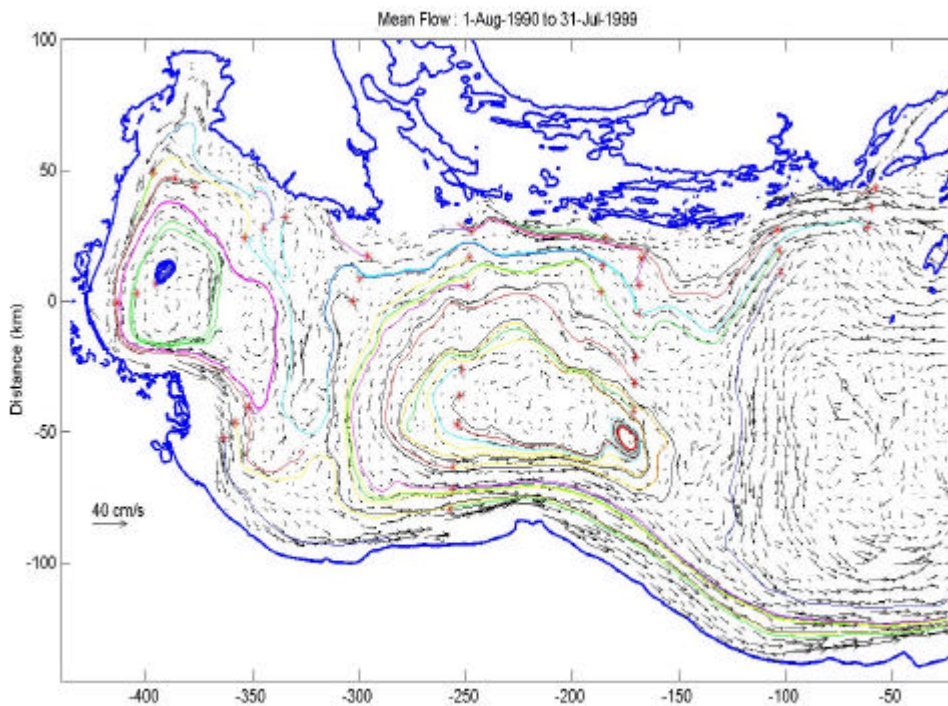


Figura 6. Traiettorie simulate dei drifters lanciati nelle posizioni indicate dagli asterischi, ottenute dal solo campo medio, assumendo come campo medio quello ottenuto dai dati nel decennio 1990-1999 (freccie nere).

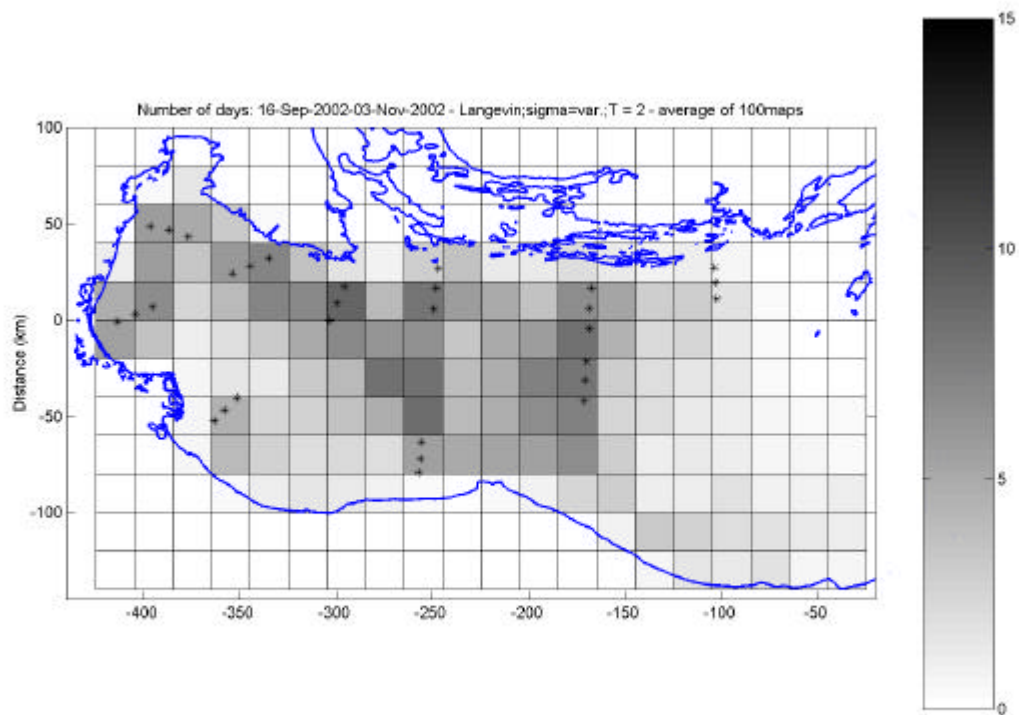


Figura 7. Quantità di drifter-days in bins di 20 km per le prime sei settimane dopo il lancio di 30 drifters, ottenuta da una simulazione che utilizza un “random flight model” (equazioni di Langevin).

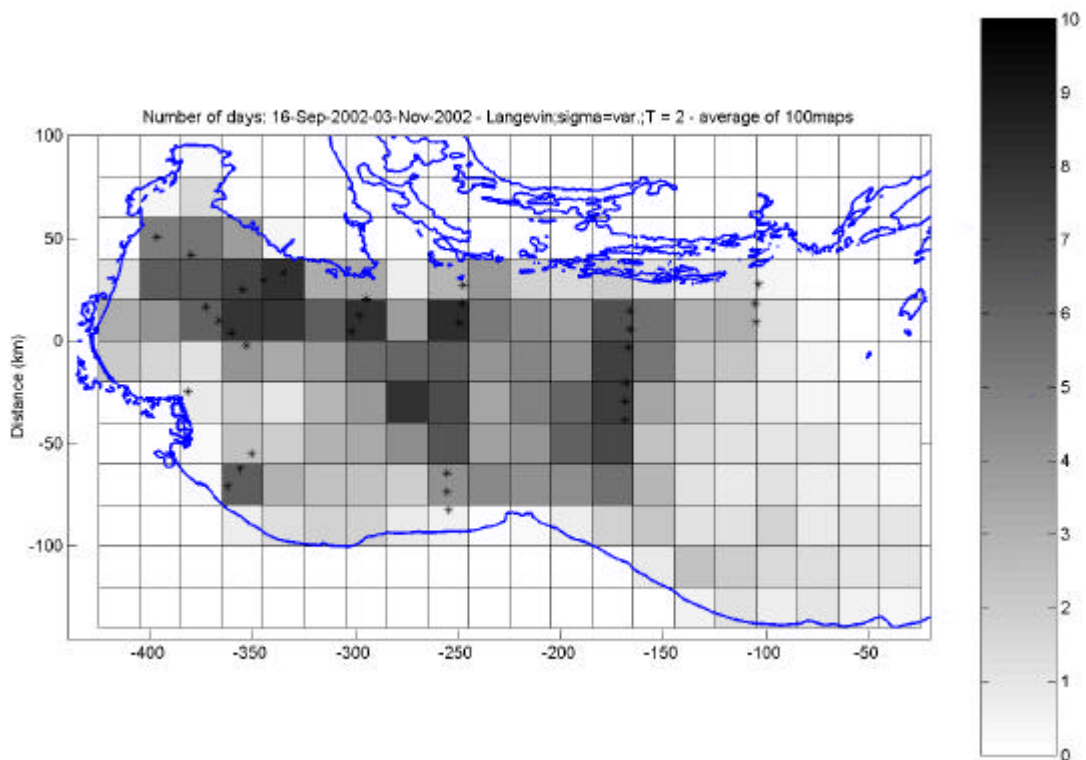


Figura 8. Come in figura 7, ma utilizzando il numero di drifters e le posizioni di lancio reali.

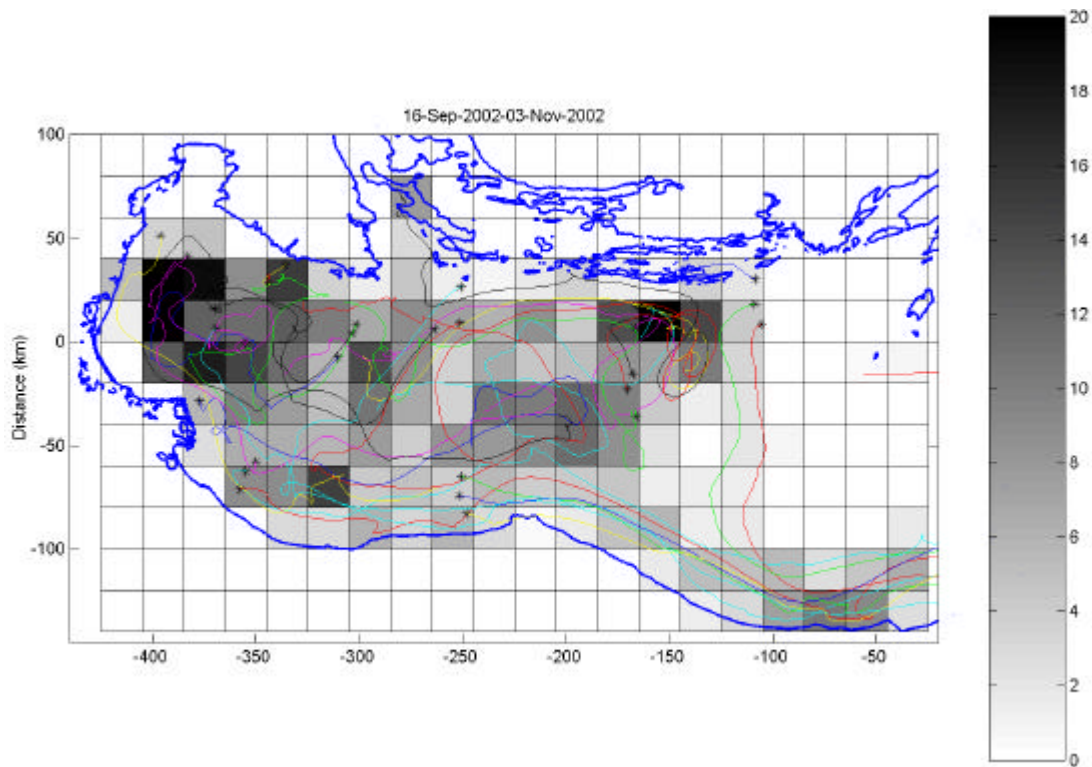


Figura 9. Densità calcolata dai dati dei 32 drifters raccolti nel periodo 16 settembre 2002 – 3 novembre 2002.

In conclusione, la densità derivata dalla simulazione e quella reale, risultano confrontabili (figura 8 e 9). Occorre fare attenzione che le scale sono diverse nei due grafici. Vi sono però alcune zone che differiscono, a causa di un maggior ristagno (ad esempio nella parte più a nord del bacino) o a causa di correnti più localizzate ed intense che convogliano i drifters nella zona (ad es. la fascia lungo la costa italiana interessata dalla WAC).

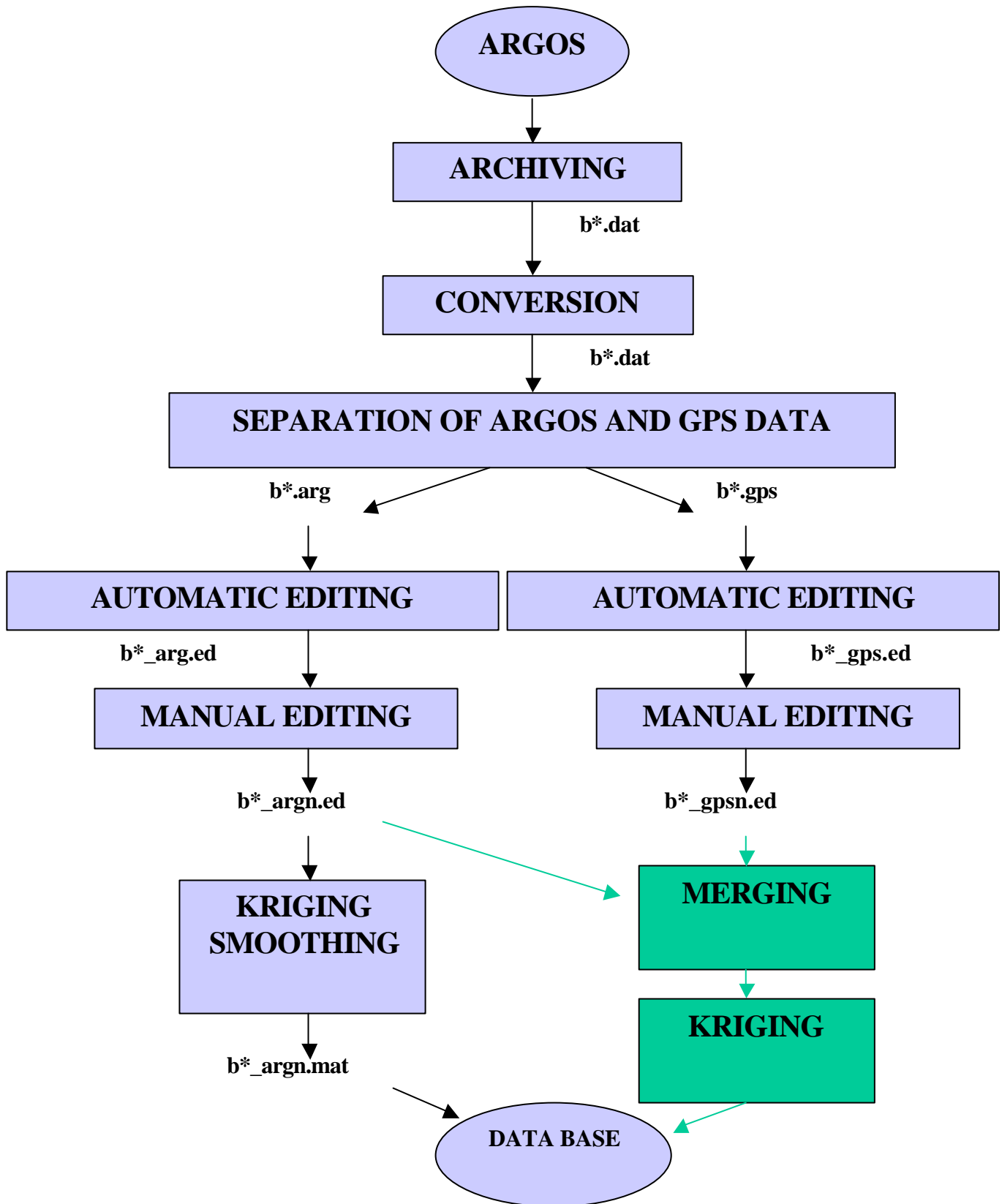
Nella tabella 1 viene riassunto il numero di drifter messi in mare per ogni mese nell'ambito di ciascuna fase del progetto. Adria02 e Adria03 sono le due campagne portate a termine a bordo del R/V Alliance; DOLCEVITA-1 e DOLCEVITA-2 sono quelle a bordo del R/V Knorr (Poulain et al., 2003 a, b); FERRY comprende i drifters lanciati dal traghetto lungo la tratta Spalato-Ancona; EACE raggruppa le campagne oceanografiche condotte dai colleghi croati; Po comprende i drifters lanciati fuori il delta del Po, ed, infine OTHERS include tutti gli altri.

	sep02	oct02	nov02	dec02	jan03	feb03	mar03	apr03	may03	jun03	jul03	aug03	sep03	oct03	nov03	dec03	Jan04	Feb04	Mar04	Apr04	TOTAL	
ADRIA02	27	10																				37
ADRIA03								2	7													9
DOLCEVITA-1						41																41
DOLCEVITA-2									15	19												34
FERRY			3		3	3	3	3	3													18
EACE			3		3	4	3	3	2													18
PO										3												3
OTHER		1	2					2		2	6	5	3	2	4				1	0	1	29
TOTAL	27	11	8	0	6	48	6	10	27	24	6	5	3	2	4	0	0	1	0	1	189	

Tabella1. Numero di drifters messi a mare durante ciascuna fase del progetto.

2.4 Editing ed interpolazione dei dati

I dati vengono estratti dal sistema Argos e salvati una volta al giorno per mezzo di una procedura automatica, che utilizza un collegamento telnet e routine Perl. I dati corrispondenti a drifters diversi vengono archiviati in files distinti. Dopo aver convertito i dati da esadecimale a decimale, i dati del GPS e quelli dell'Argos vengono separati. A questo punto viene operato un editing automatico basato sui criteri descritti in Barbanti et al. (2004b), ed in seguito uno manuale per eliminare gli spikes rimasti. Nel caso di serie temporali aventi periodi superiori ai tre giorni privi di dati di posizione, si è deciso di separare la serie in due o più files. Nel caso, inoltre, di strumenti che raggiungono la terra-ferma, e che quindi presentano un dato fisso di posizione, le serie temporali sono state tagliate. Si è anche deciso di completare le serie temporali GPS mancanti di dati all'inizio e/o alla fine del periodo di misura, con i relativi dati ARGOS e di riempirne allo stesso modo i buchi ("merging"). Infine, i dati vengono interpolati utilizzando il metodo kriging (Barbanti et al., 2004a), filtrati con un filtro passa-basso con periodo di taglio a 36 ore ed infine sottocampionati ogni 6 ore. Dai dati di posizione vengono quindi calcolate le velocità come differenze finite. I dati così elaborati vengono salvati in un data base. Il procedimento è riassunto nel seguente diagramma:



3. Risultati

3.1 Distribuzione temporale dei dati

La distribuzione temporale del numero di drifters con dati buoni è rappresentata in figura 10. Sono ben visibili tre massimi in coincidenza delle tre principali campagne oceanografiche (ADRIA02, DOLCEVITA-1 e DOLCEVITA-2). Il numero totale di lanci con esito positivo è 189, mentre il numero di lanci-anno è 28.44.

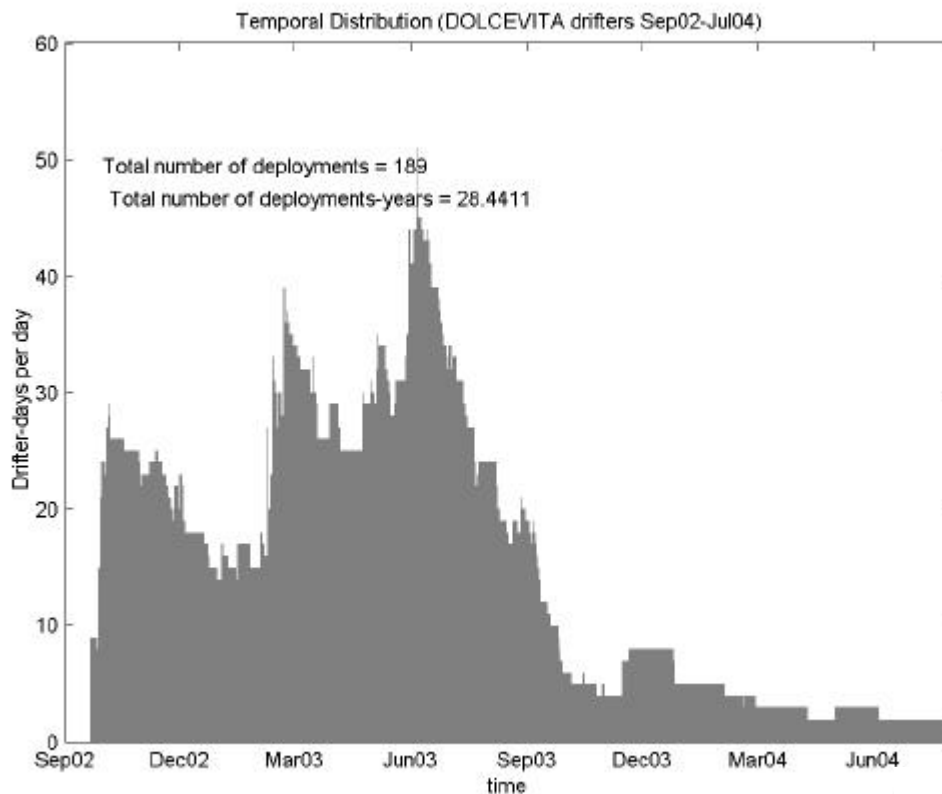


Figura 10. Distribuzione temporale del numero di drifters, a partire dal 21 Settembre 2002 fino al 29 luglio 2004.

L'istogramma della vita dei drifters (figura 11), mostra che la gran parte degli strumenti possiede una vita inferiore ai 150 giorni. Questo è dovuto alle dimensioni limitate del bacino, per cui i drifters raggiungono la spiaggia dopo poco tempo o vengono ripescati dai pescatori. Bisogna anche dire che l'Adriatico è un sistema piuttosto rumoroso dal punto di vista delle frequenze e perciò la trasmissione all'Argos può risultare incompleta o frammentaria, in particolare in condizioni di voltaggio della batteria non massimo. La "mean half life", vale a dire l'intervallo di tempo per il quale il 50% dei drifters è ancora vivo, è appena 35 giorni come appare dalla figura 12.

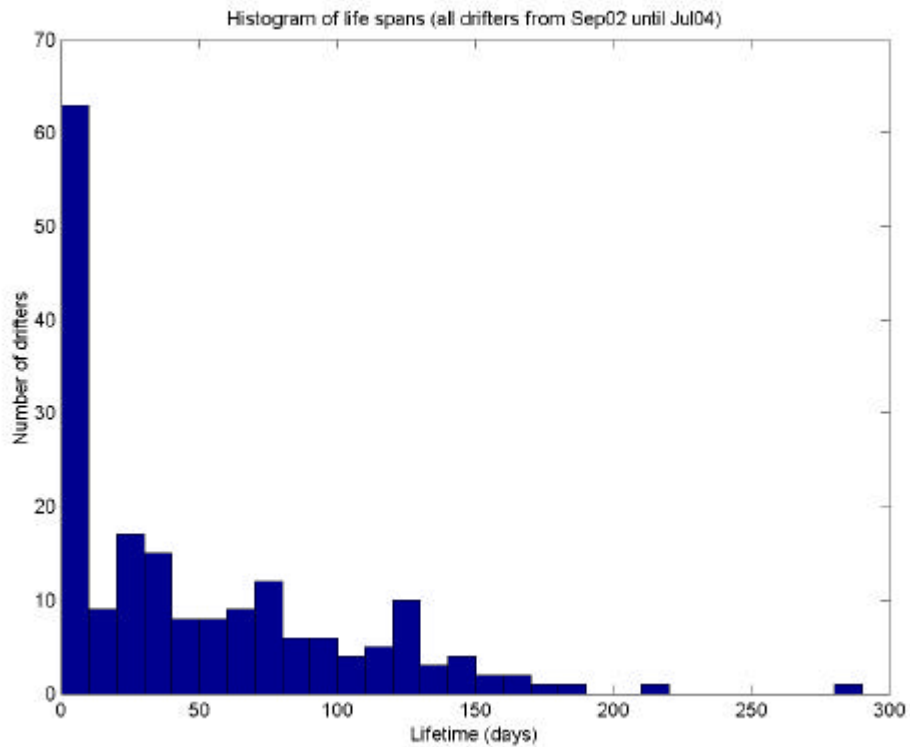


Figura 11. Istogramma della vita dei drifters del progetto.

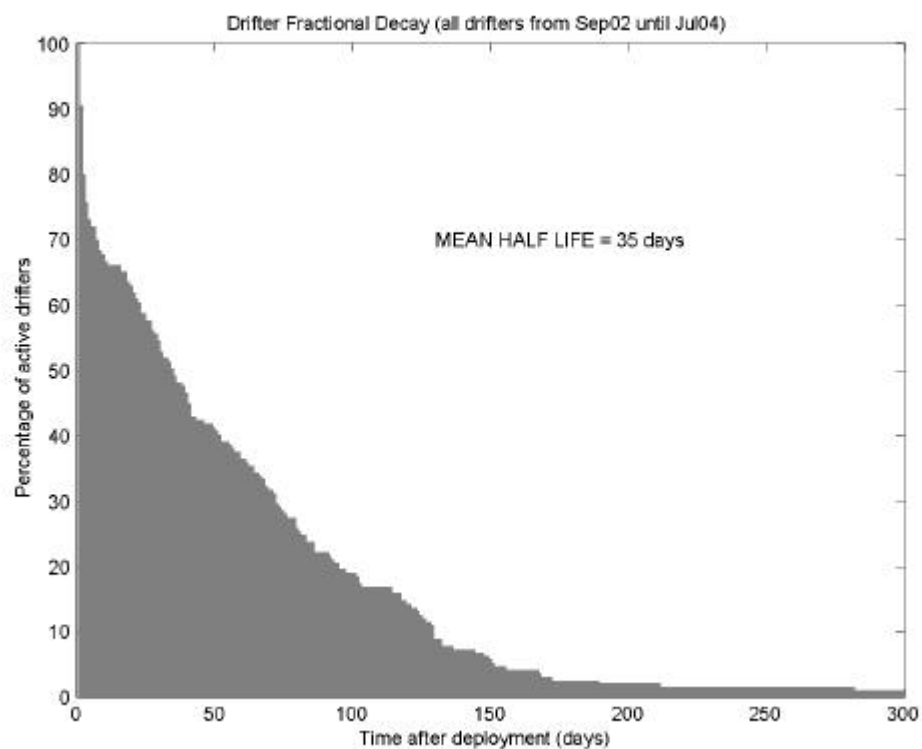


Figura 12. Percentuale di drifters “vivi” in funzione dei giorni di vita dal lancio.

3.2 Traiettorie editate

La totalità delle traiettorie editate è rappresentato in figura 13. In rosso sono graficati i dati Argos, mentre in blu quelli GPS. Si può osservare che vi è una buona copertura spaziale nel nord dell'Adriatico ed in generale lungo la costa italiana. Una buona parte dei drifters, seguendo la corrente lungo la costa italiana, ha raggiunto lo Ionio. Uno di questi è arrivato fino sulle coste libiche.

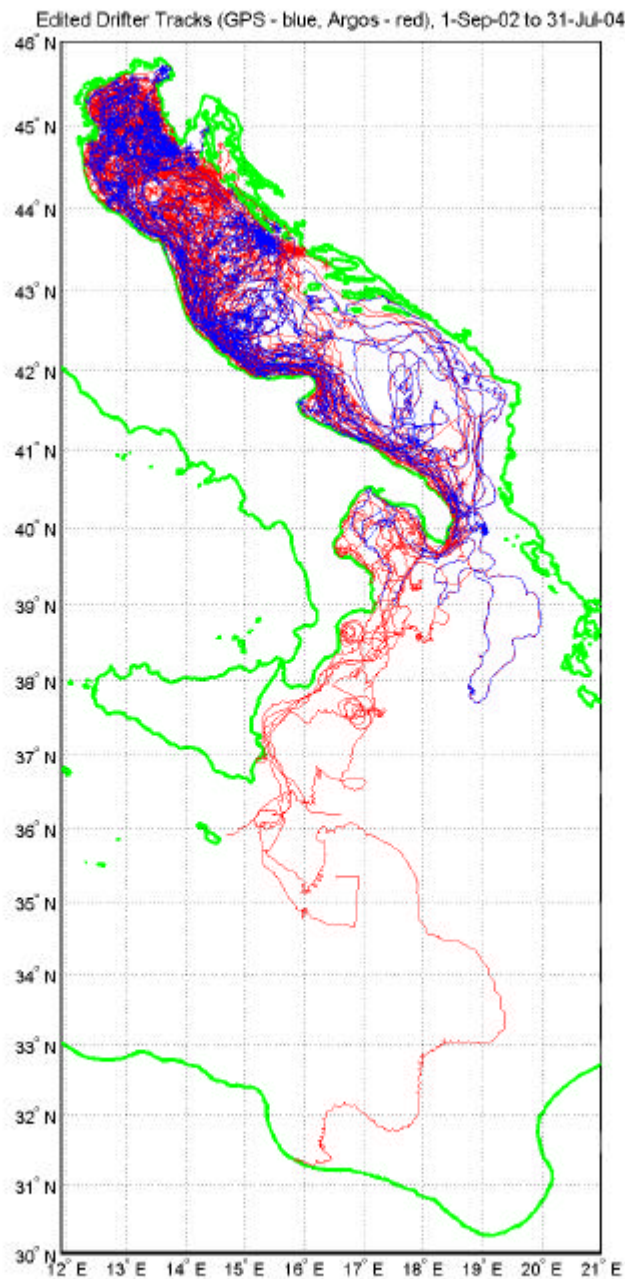


Figura 13. Traiettorie editate di tutti i drifters utilizzati durante il progetto DOLCEVITA. In rosso sono disegnate le traiettorie GPS ed in blu quelle Argos.

Nelle figure dalla 14 alla 26 sono rappresentate le traiettorie edite, per ciascun mese della durata del progetto. Si può osservare che i mesi autunnali-invernali (da ottobre a marzo) sono quelli per cui le velocità sono più alte ed i drifters vengono trascinati rapidamente verso sud dalla corrente lungo la costa italiana. Invece, durante i mesi primaverili ed estivi le traiettorie presentano un alto numero di oscillazioni inerziali ed un periodo più alto di permanenza nella zona.

Nelle figure 14 e 19 viene raffigurata anche un particolare ingrandito, allo scopo di mettere in evidenza la differenza di risoluzione tra i dati Argos e quelli GPS. Si può osservare che con i dati GPS (un dato ogni ora) le oscillazioni inerziali sono ben risolte, mentre con i dati Argos lo sono solo in parte.

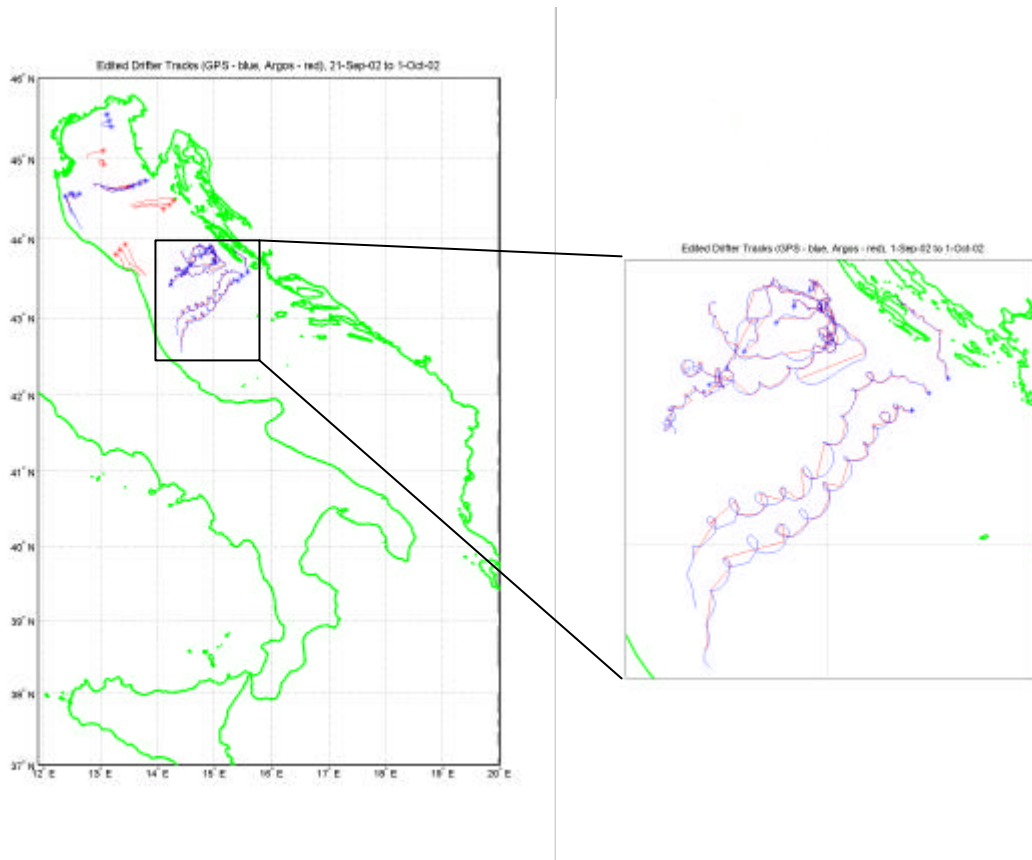


Figura 14: Traiettorie editate per il mese di settembre 2002, e particolare che mostra la differenza tra i dati Argos (rosso) e quelli GPS (blu).

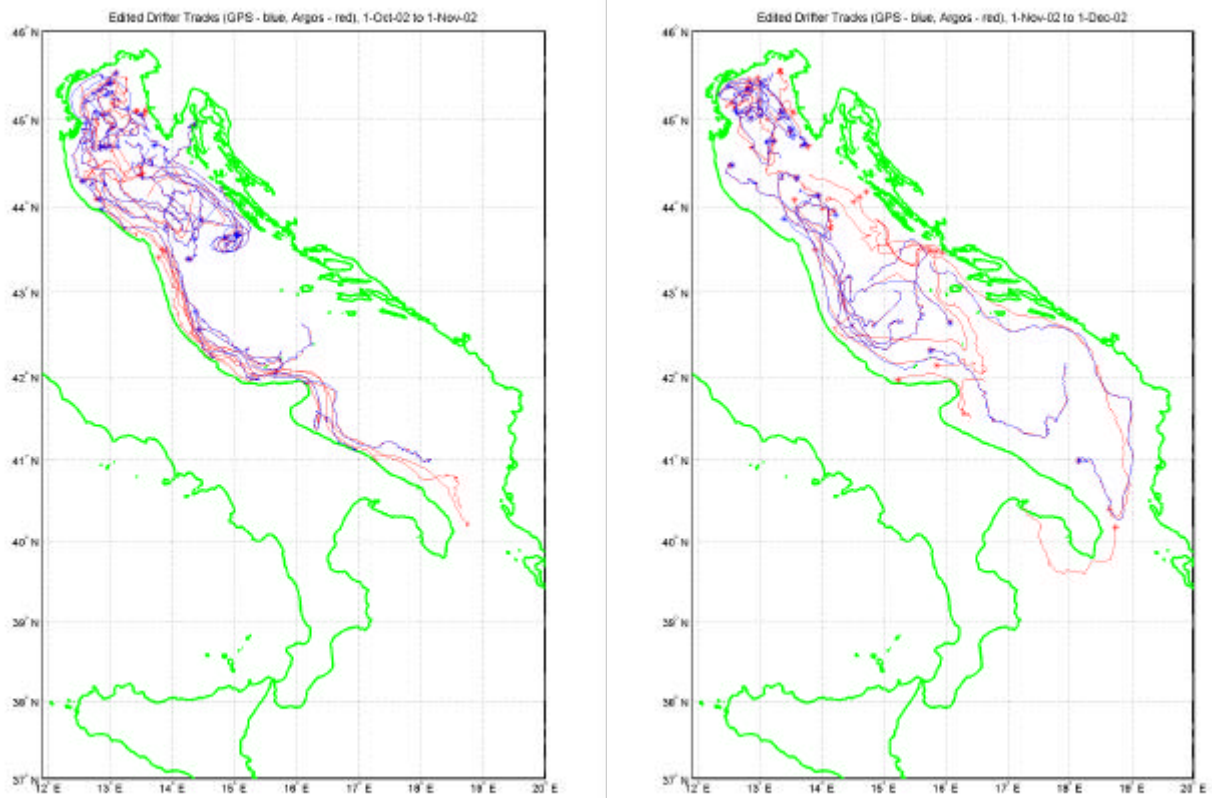


Figura 15. Traiettorie editate per i mesi di ottobre e novembre 2002.

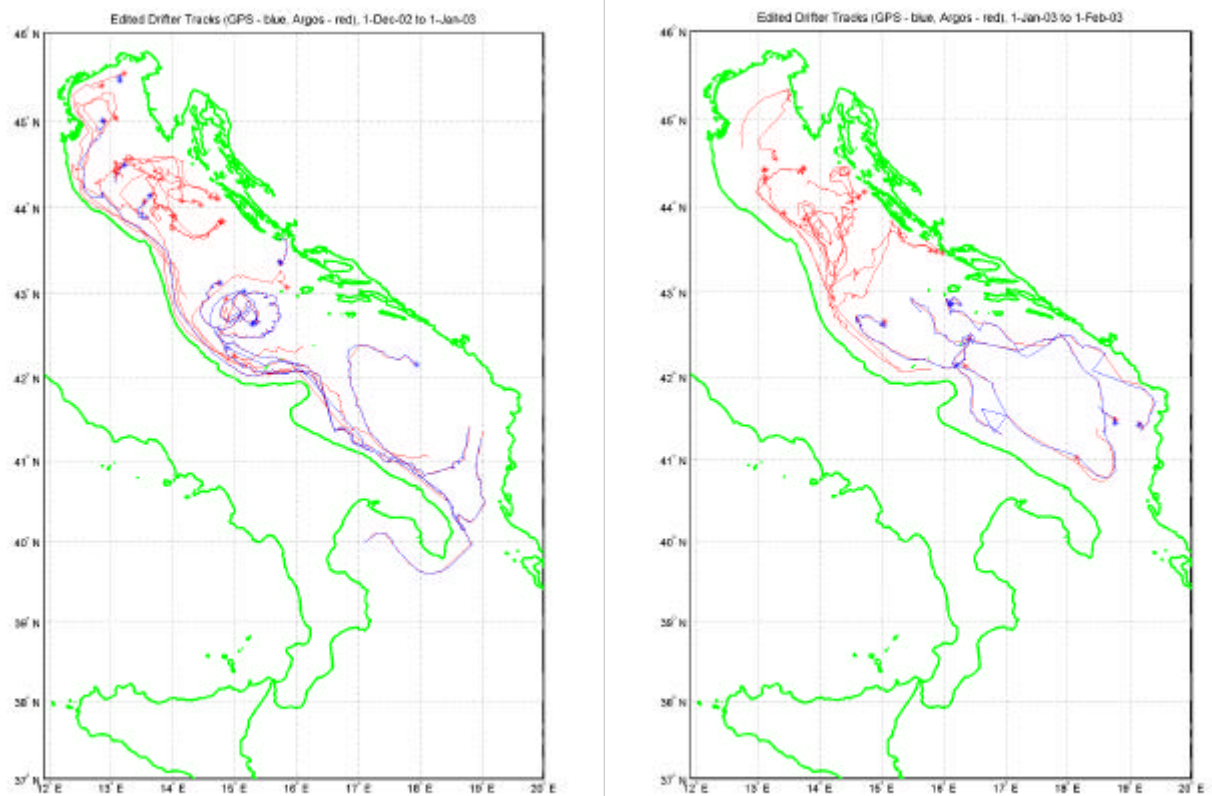


Figura 16. Traiettorie editate per i mesi di dicembre 2002 e gennaio 2003.

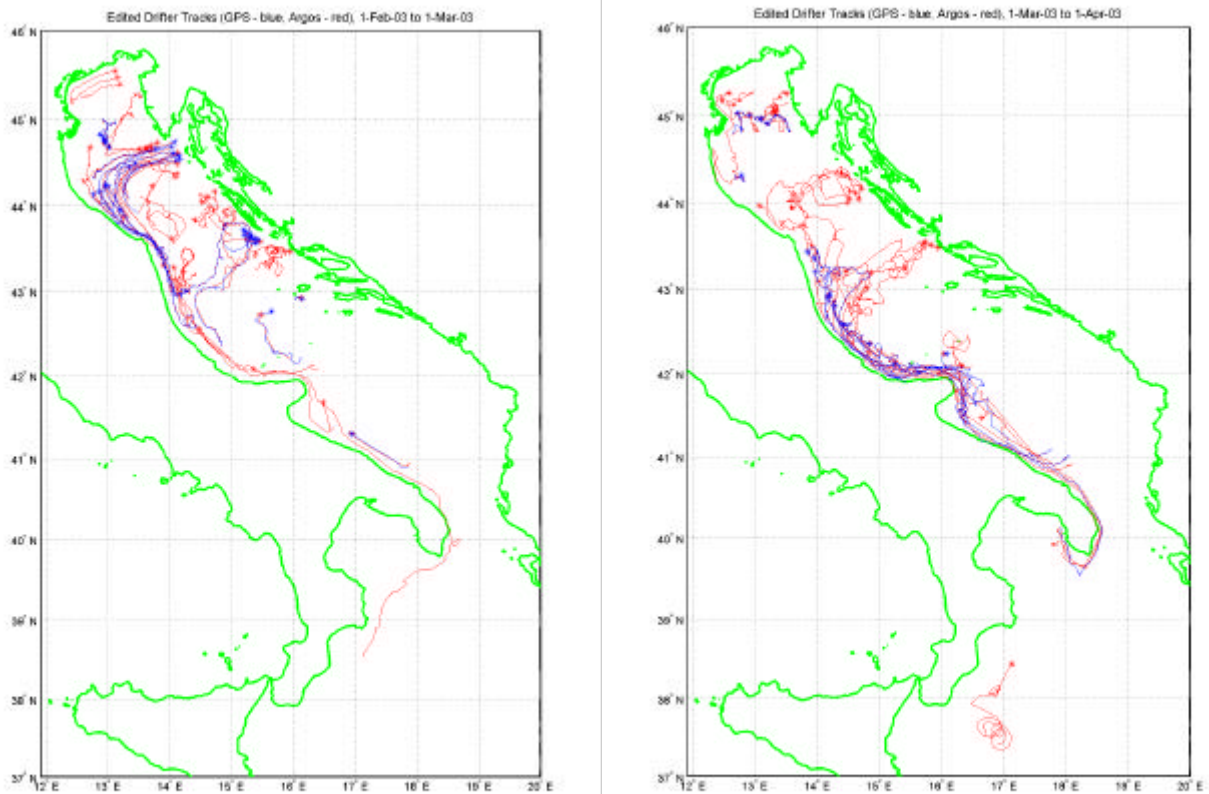


Figura 17. Traiettorie editate per i mesi di febbraio e marzo 2003.

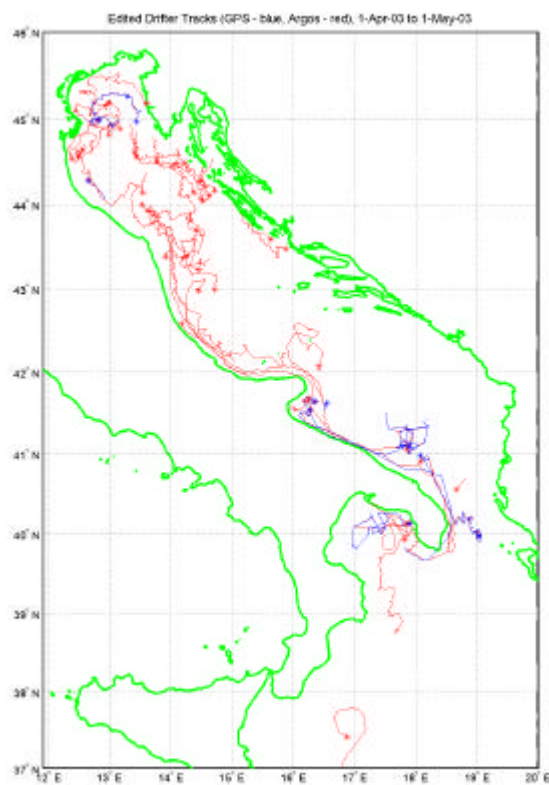


Figura 18. Traiettorie editate per il mese di aprile 2003.

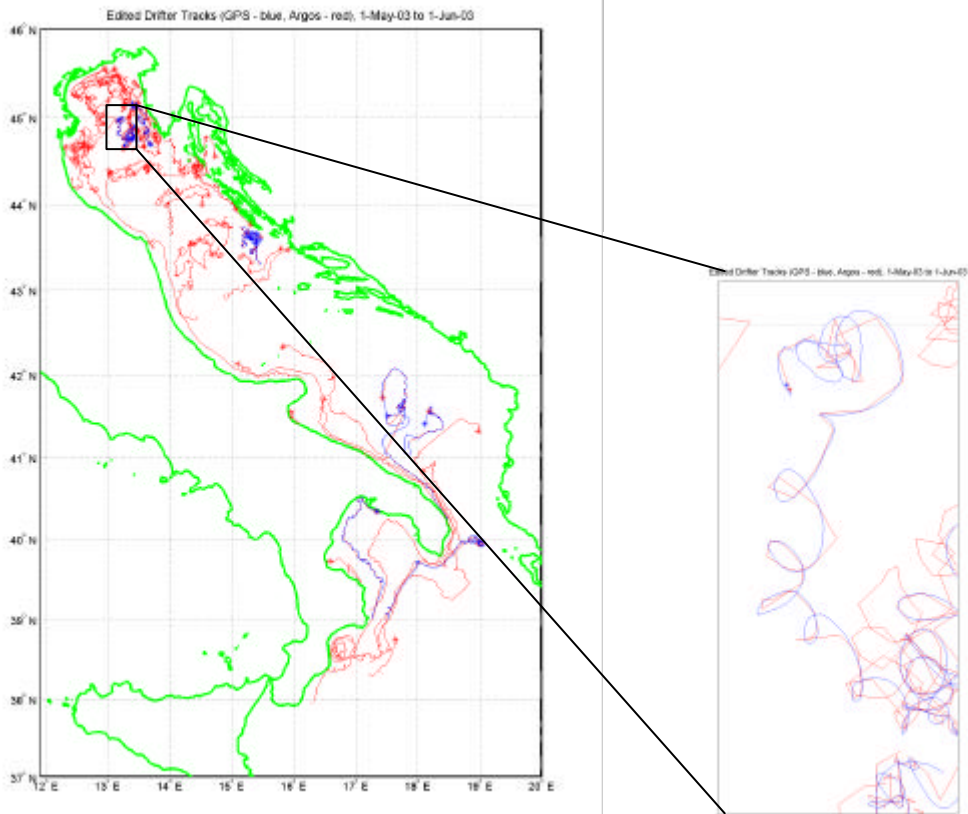


Figura 19. Traiettorie editate per il mese di maggio 2003, e particolare che mostra la differenza tra i dati Argos (rosso) e quelli GPS (blu).

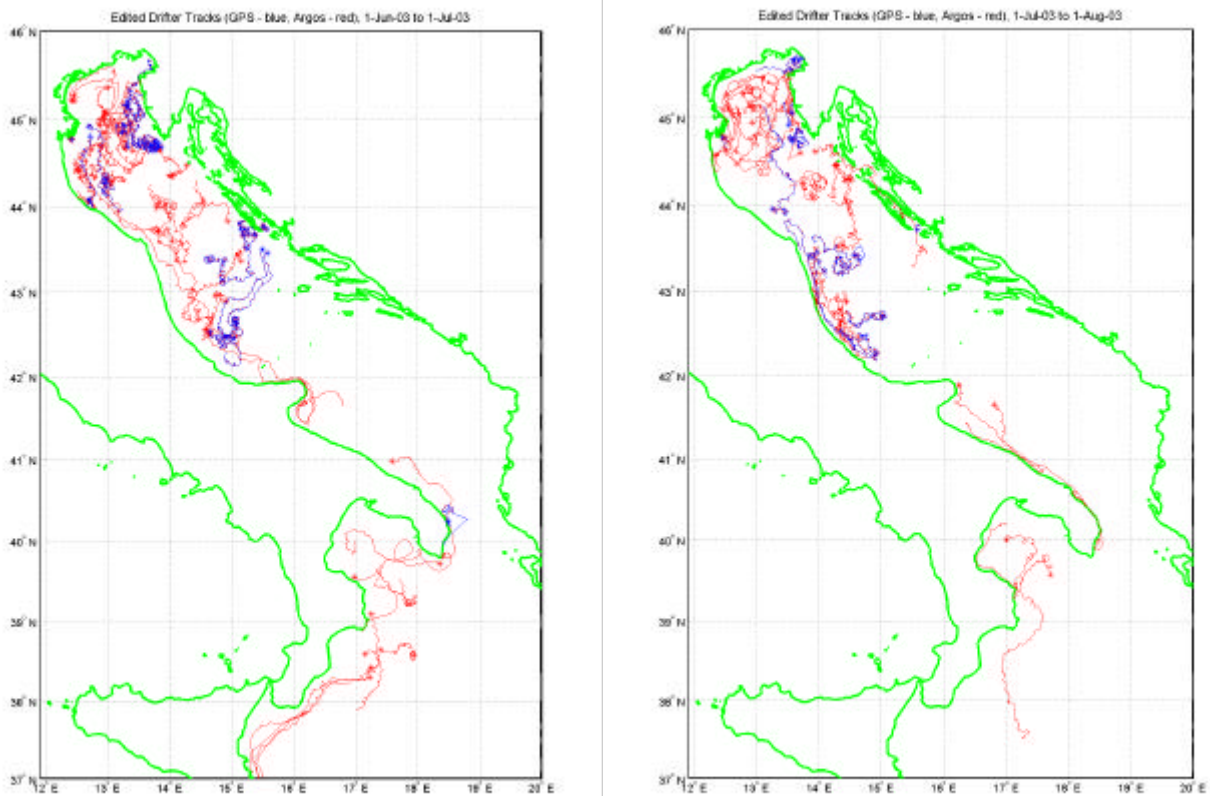


Figura 20. Traiettorie editate per i mesi di giugno e luglio 2003.

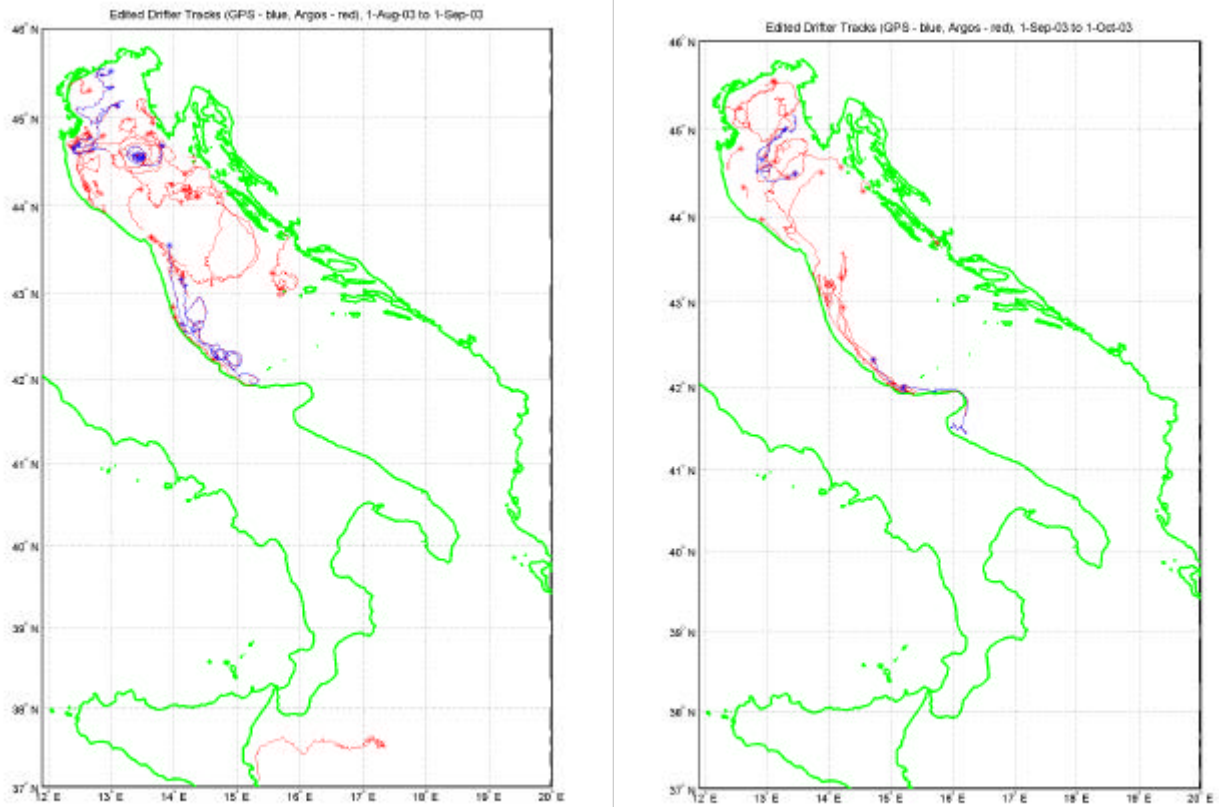


Figura 21. Traiettorie editate per i mesi di agosto e settembre 2003.

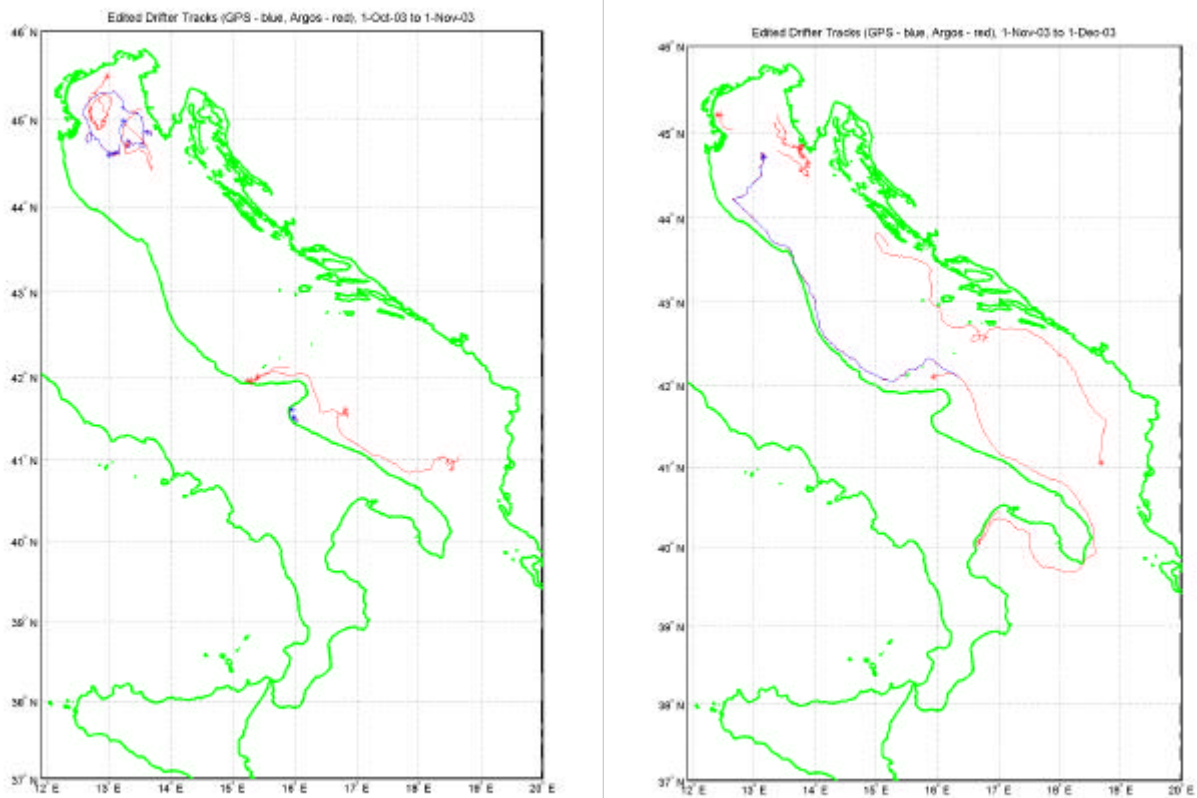


Figura 22. Traiettorie editate per i mesi di ottobre e novembre 2003.

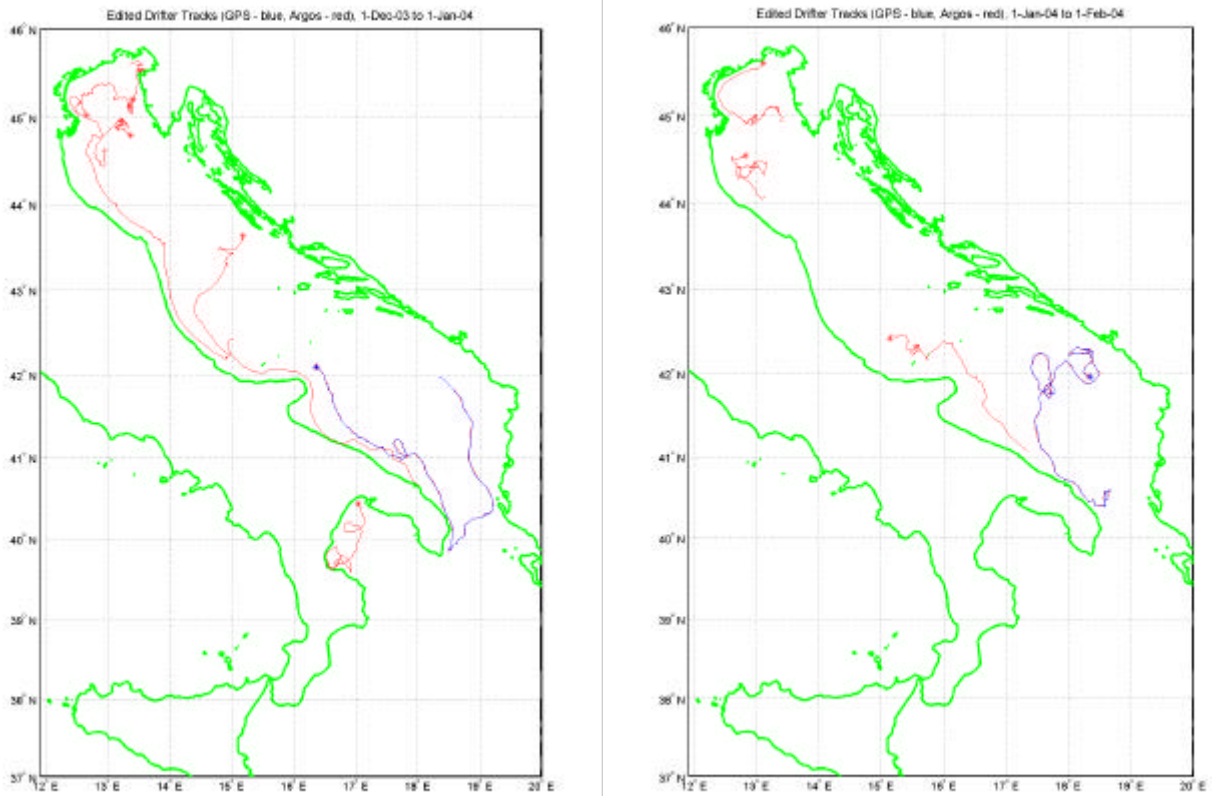


Figura 23. Traiettorie editate per i mesi di dicembre 2003 e gennaio 2004.

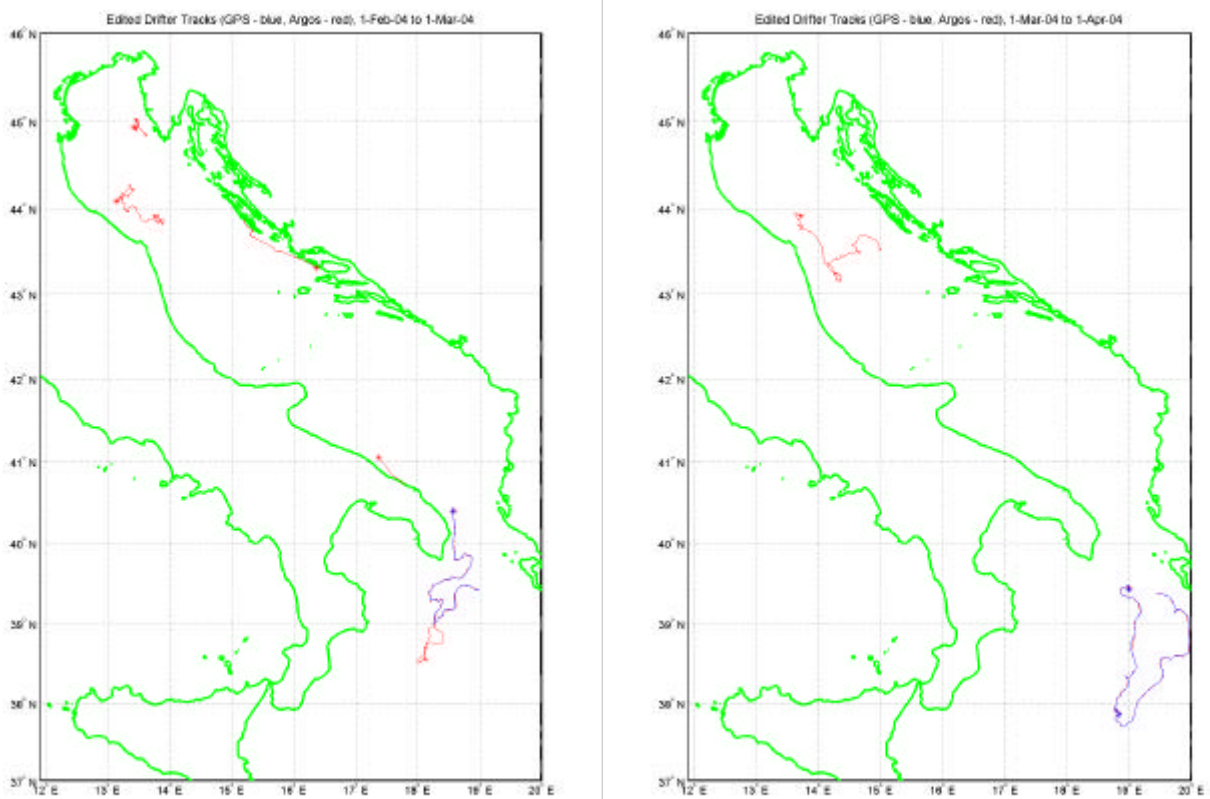


Figura 24. Traiettorie editate per i mesi di febbraio e marzo 2004.

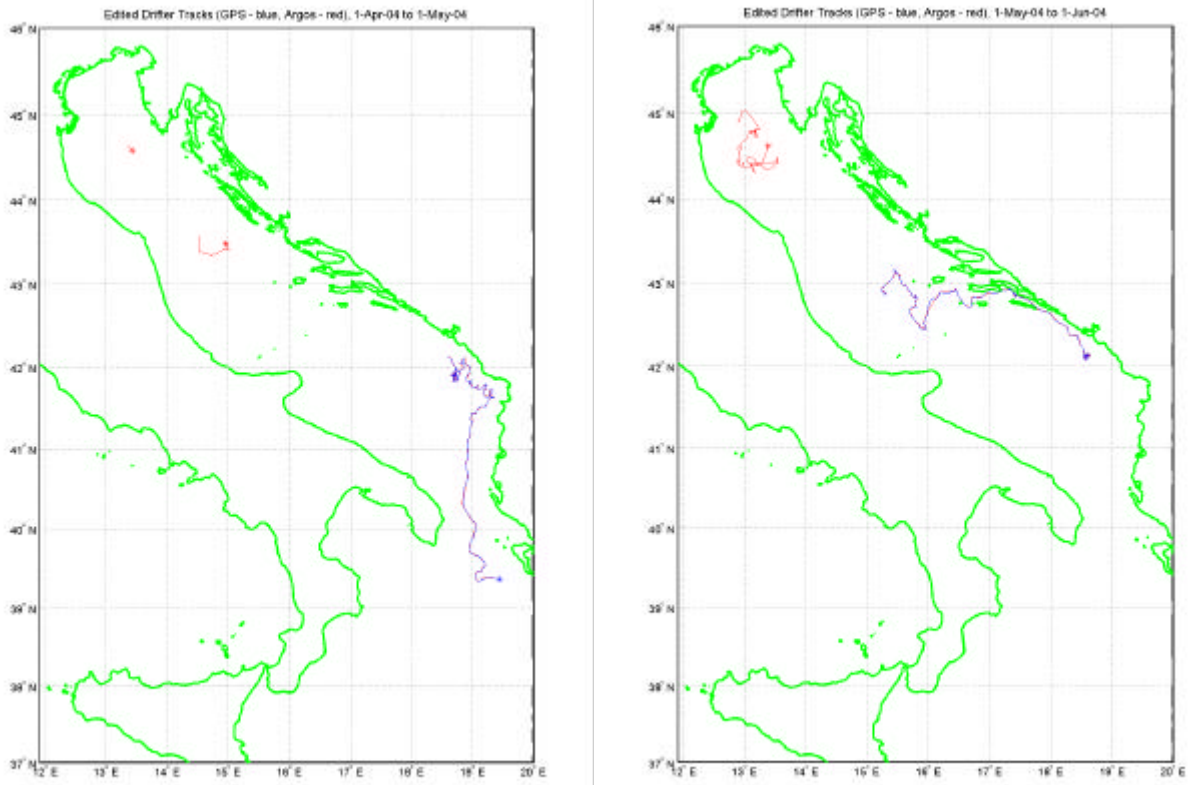


Figura 25. Traiettorie editate per i mesi di aprile e maggio 2004.

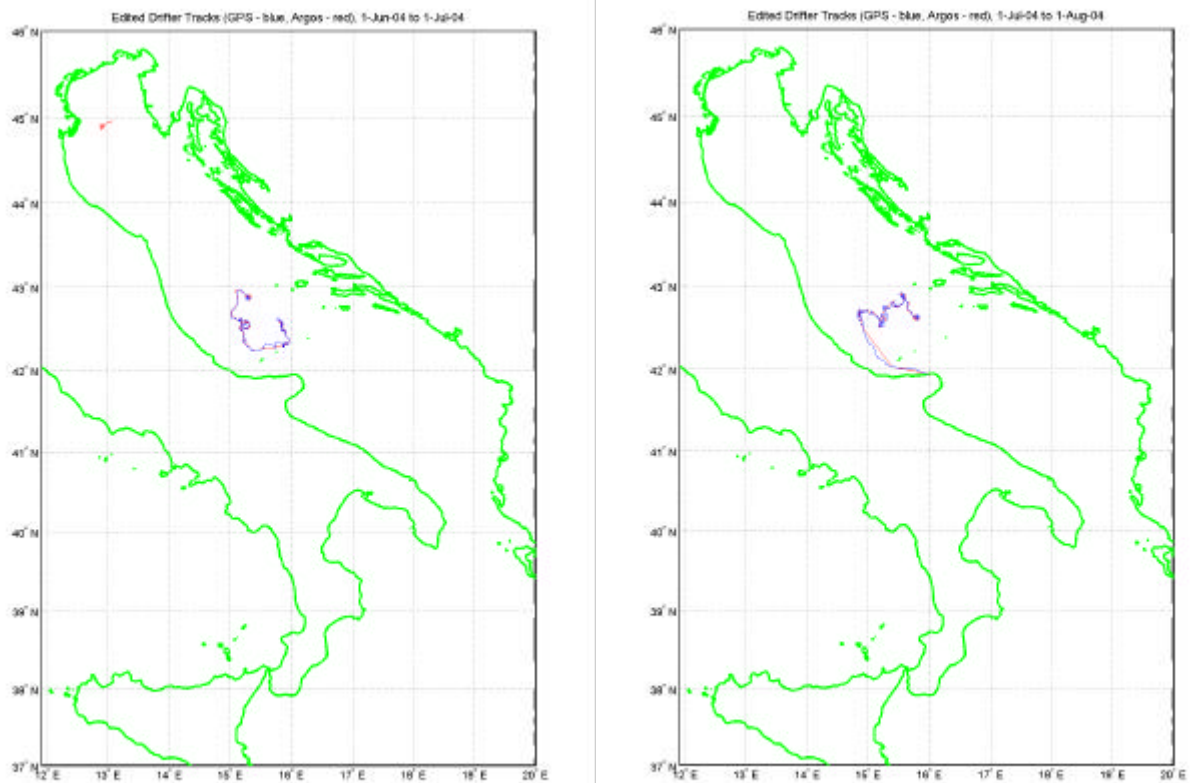


Figura 26. Traiettorie editate per i mesi di giugno e luglio 2004.

3.3 Temperature superficiali editate

I dati di temperatura superficiale (SST) raccolti dal sensore dei drifters ed editati sono raffigurati in figura 27.

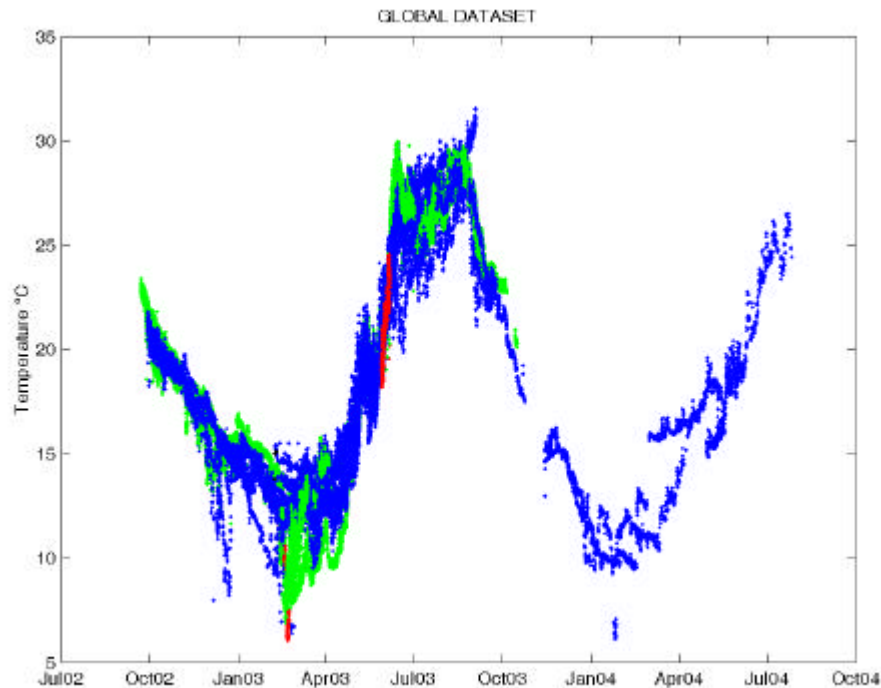


Figura 27. SST per tutti i drifters del progetto. In blu sono rappresentati i dati dei CODE, in verde quelli dei CODE-GPS e in rosso quelli di CODE-TZ e SVP/OCM.

Si può osservare la forte variabilità stagionale della temperatura superficiale, con minimi nella stagione invernale, crescita progressiva a partire da aprile, e massimi estivi in luglio-agosto. Si può notare un'escursione di circa 20-25° C tra minimi (6°C) e massimi (31°C). Lo “spessore” della curva è dovuto alla dispersione spaziale dei drifters nel bacino.

3.4 Energia

Dai dati puliti, interpolati e filtrati sono state calcolate le statistiche lagrangiane ed euleriane (Ursella et al., 2005), dopo aver ruotato le coordinate di 45°, scegliendo come origine il punto (14°E, 44°N). In particolare, dal campo medio di velocità è stata calcolata l'energia cinetica media (MKE) ed “eddy” (EKE) per tutto l'Adriatico centro-settentrionale. Nella figura 28 viene rappresentata l'energia in funzione delle dimensioni dei bins in cui viene suddivisa la zona di interesse, e che vengono utilizzati per la statistica. Si può osservare che per bassi valori

delle dimensioni dei bins, la MKE e la EKE hanno lo stesso ordine di grandezza, mentre al crescere delle dimensioni dei bins l'energia diventa progressivamente quasi solo EKE.

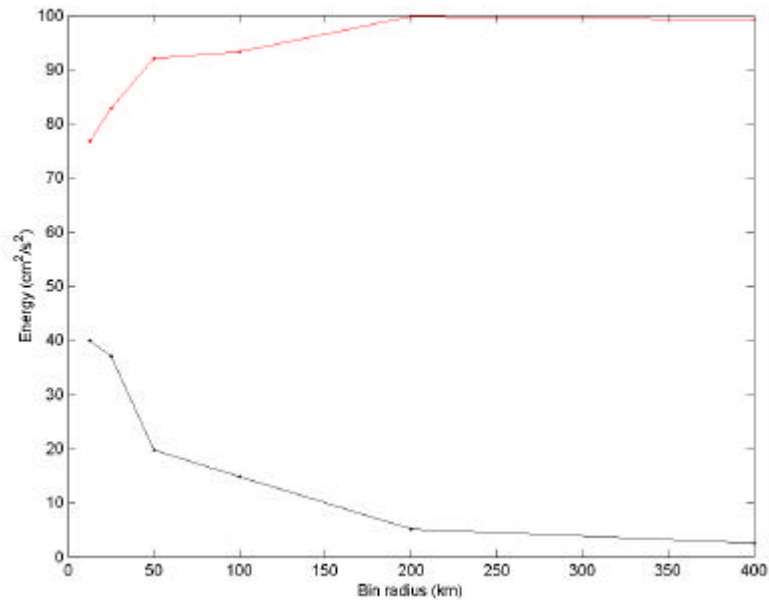


Figura 28. MKE (nero) e EKE (rosso) in funzione delle dimensioni dei bins (12.5, 25, 50, 100, 200 e 400 km).

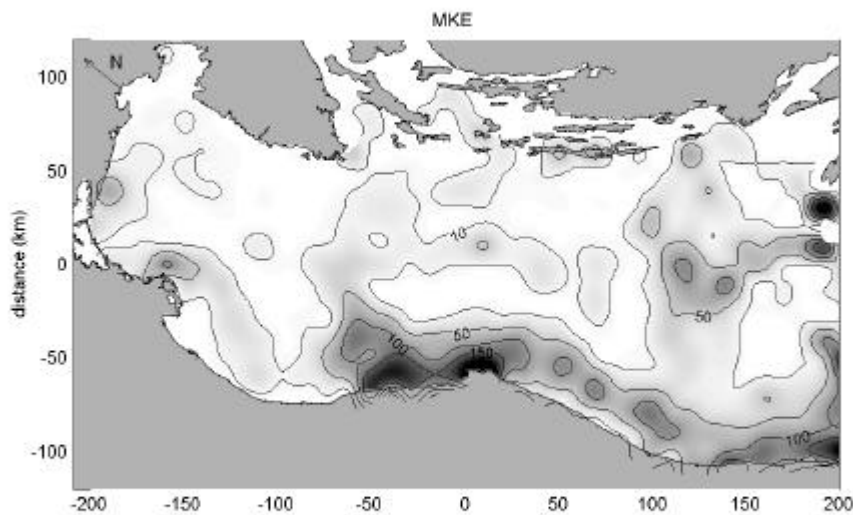


Figura 29. Distribuzione spaziale dell' MKE per l'Adriatico settentrionale e centrale.

Per il calcolo delle statistiche euleriane sono stati scelti bins di 10 km di raggio separati da 10 km. Con questa scelta, la MKE per l'intera zona di studio è $40 \text{ cm}^2/\text{s}^2$, mentre la EKE è 75

cm^2/s^2 . Sono state quindi prodotte mappe di MKE ed EKE per la zona di studio suddivisa in bins da 10 km (Ursella et al., 2005). Nelle figure 29 e 30 si possono osservare le distribuzioni della MKE ed EKE, rispettivamente. Nella figura 31 si può invece osservare il rapporto EKE/MKE. Valori alti per EKE/MKE si trovano quasi esclusivamente in corrispondenza di bassi valori della MKE, a cui corrispondono sia medi che bassi valori di EKE.

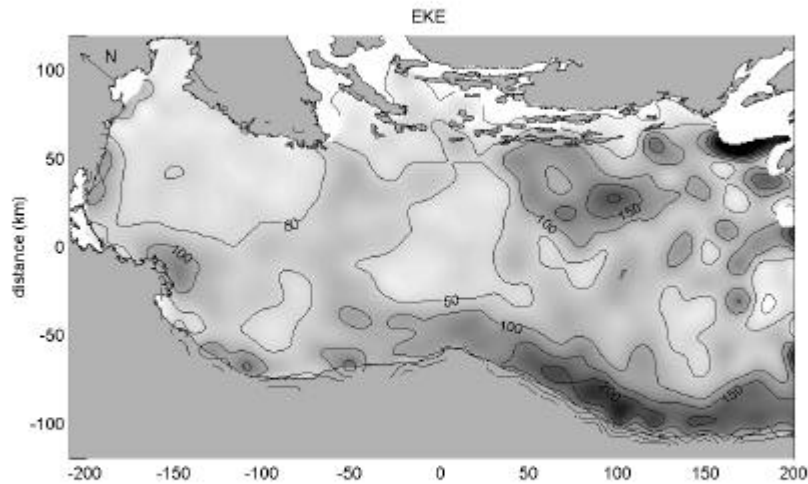


Figura 30. Distribuzione spaziale dell' EKE per l' Adriatico settentrionale e centrale.

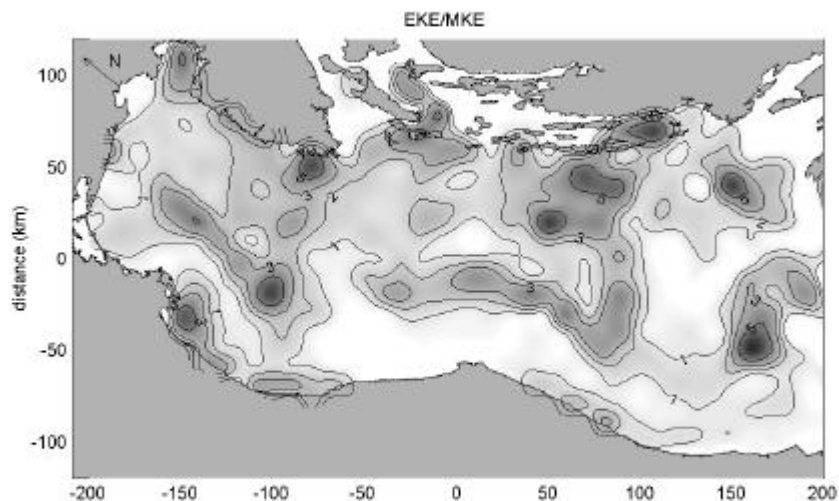


Figura 31. Distribuzione spaziale del rapporto EKE/MKE calcolato suddividendo la zona di studio in bins di 10 km di raggio.

La dipendenza dell'energia cinetica dalle stagioni, dal deflusso del Po e dai diversi regimi di vento, è stata analizzata in Ursella et al. (2005).

3.5 Statistiche Lagrangiane

Le statistiche lagrangiane per tutto Adriatico sono state presentate in Ursella et al.(2005).

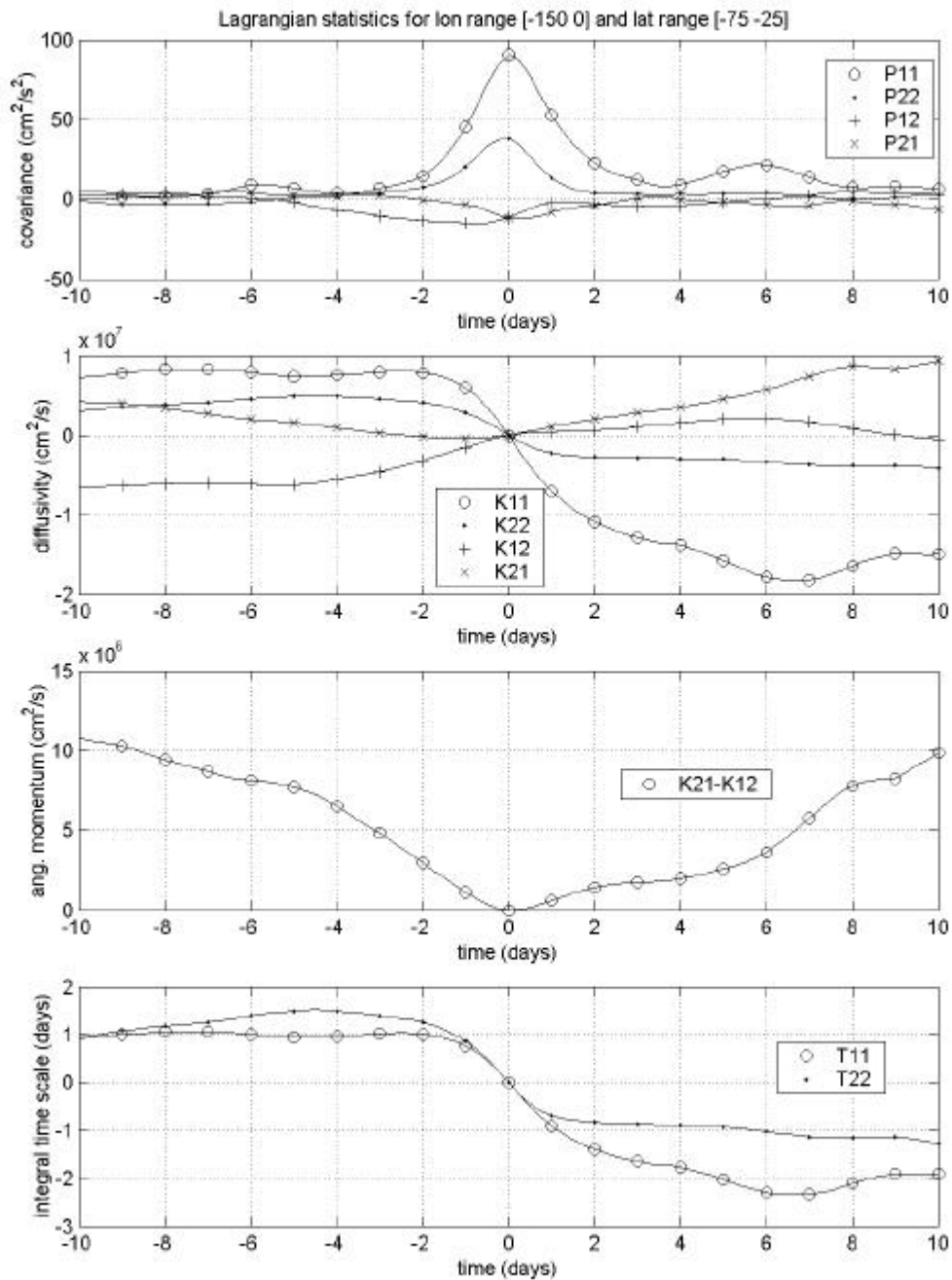


Figura 32. Statistiche lagrangiane per la zona interessata dalla WAC (Western Adriatic Current) nella regione con x nel range [-150 0] e y nel range [-75 -25].

Le statistiche sono state calcolate anche in sottodomini della zona di studio, per i quali era evidente una particolare dinamica. In figura 32 la zona scelta è la fascia più settentrionale interessata dalla WAC lungo la costa italiana. Le quantità graficate sono la covarianza (P_{ij}), la

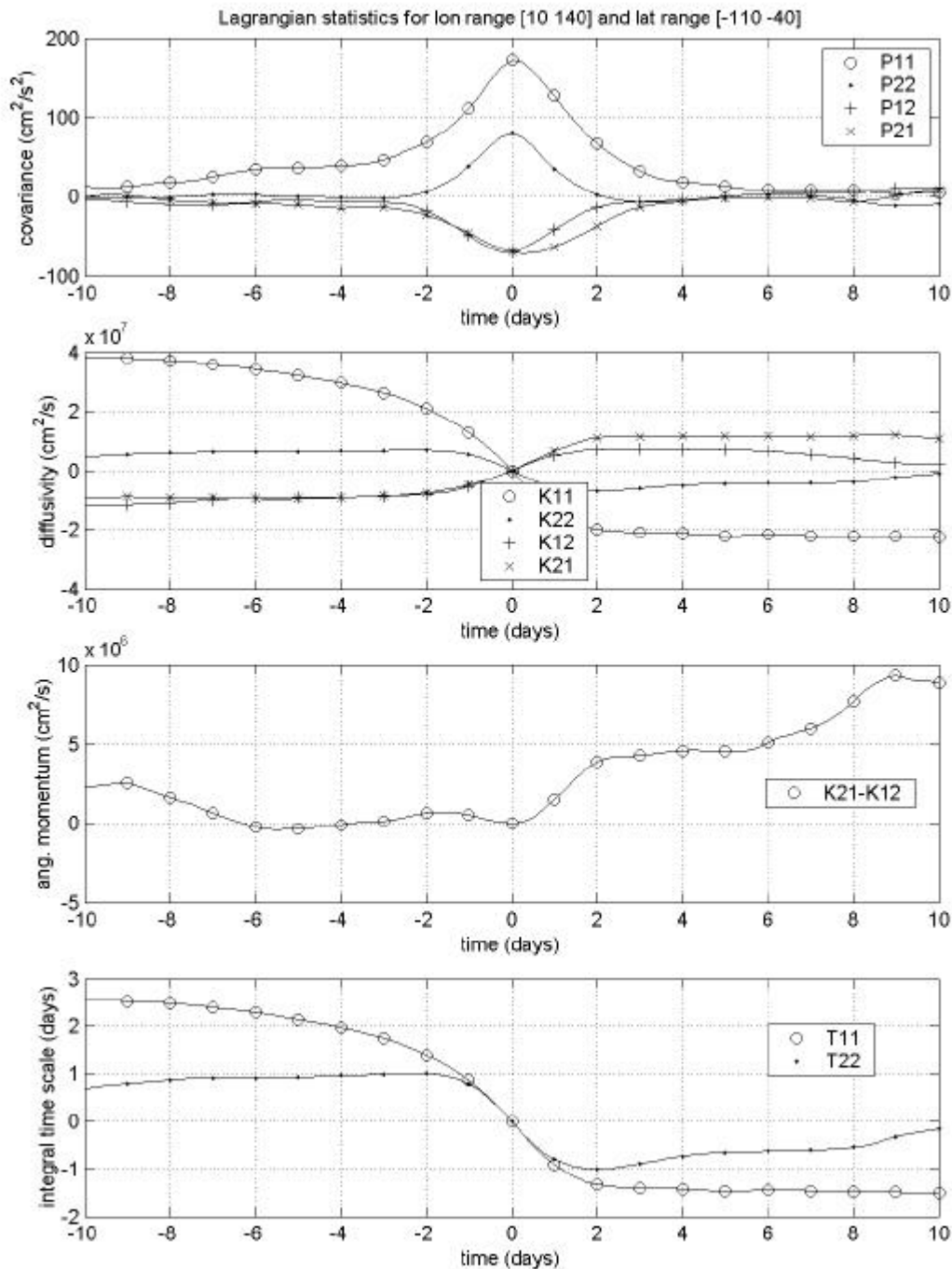


Figura 33. Come in figura 32, ma per la regione del WAC meridionale con x in [10 140] e y in [-110 -40].

diffusività (K_{ij}), il momento angolare e il tempo di decorrelazione (T_{ii}). L'indice 1 si riferisce alla dimensione longitudinale del bacino, mentre l'indice 2 a quella trasversale. In figura 33 sono rappresentate le stesse quantità per la zona più meridionale interessata dalla WAC; in figura 34 viene considerata la zona più settentrionale, mentre in figura 35, la zona interessata dalla EAC lungo la costa croata.

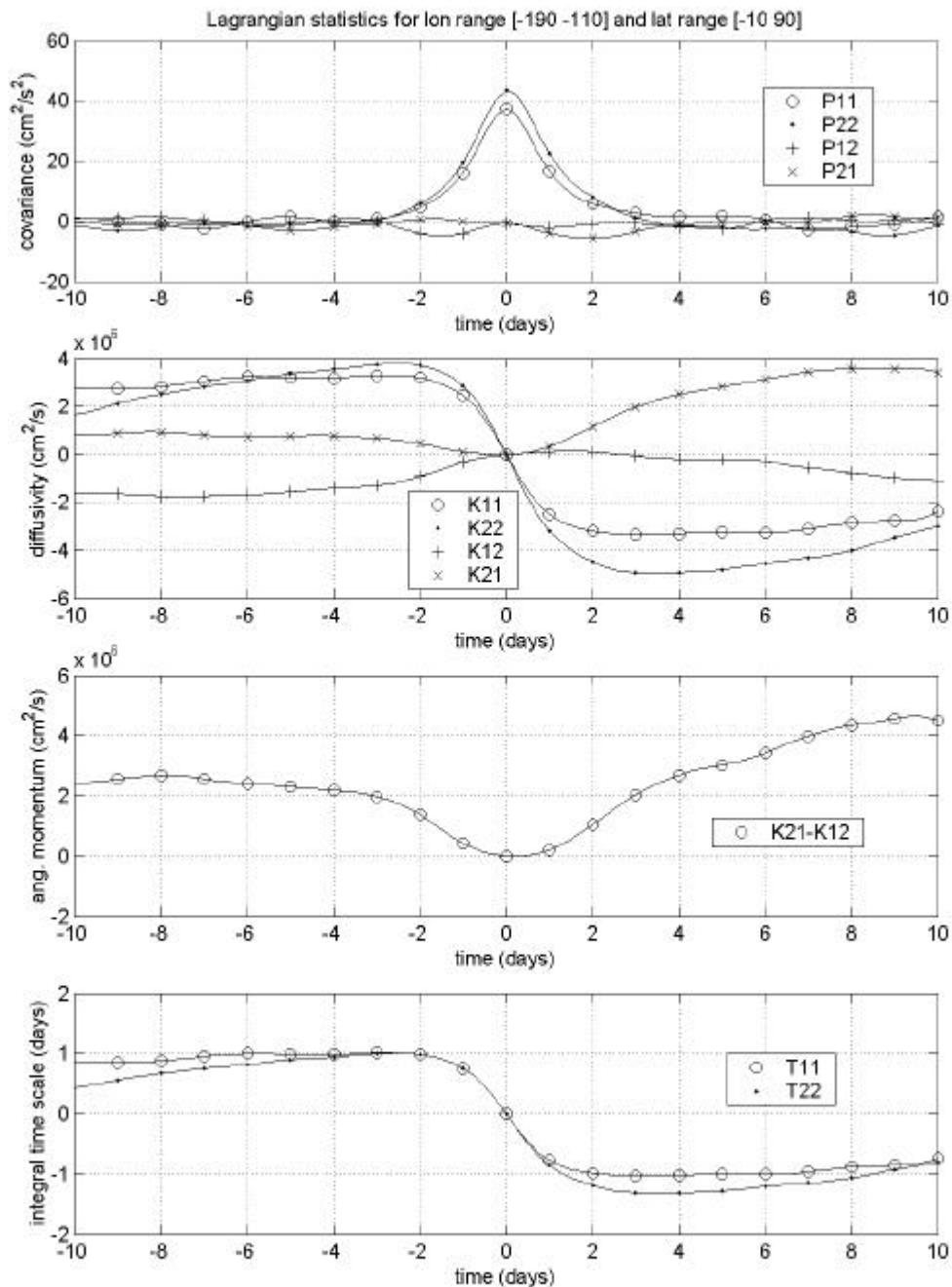


Figura 34. Come in figura 32, ma per la regione più settentrionale del bacino, con x in $[-190 - 110]$ e y in $[-10 90]$.

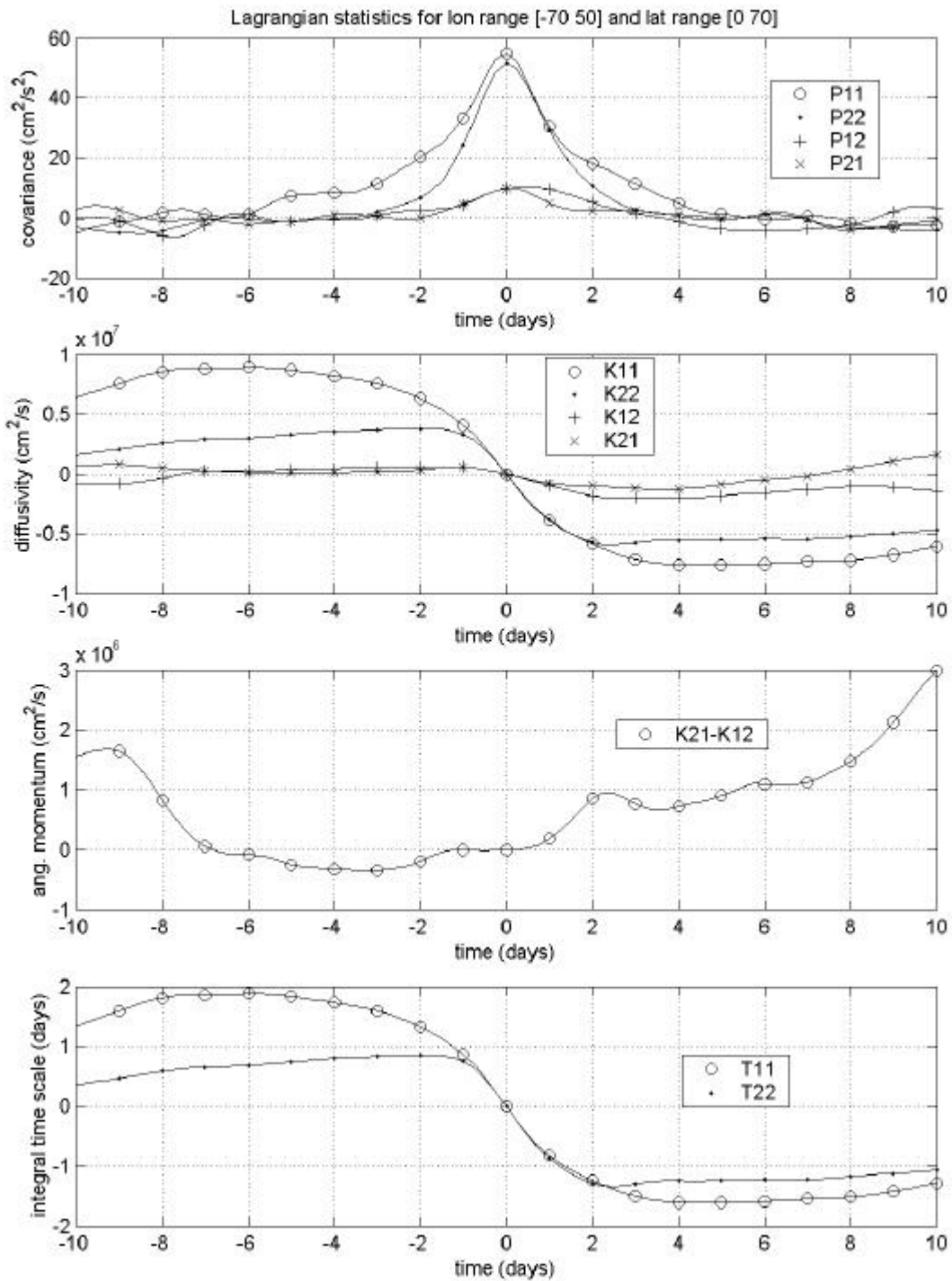


Figura 35. Come in figura 32, ma per la regione interessata dalla EAC (Eastern Adriatic Current) lungo la costa croata, con x in $[-70 50]$ e y in $[0 70]$.

4. Conclusioni

Nel corso del progetto DOCEVITA 124 drifters sono stati messi a mare con lo scopo di studiare la circolazione superficiale dell'Adriatico settentrionale e centrale, in particolare in relazione all'azione del vento e del deflusso del fiume Po. I punti di rilascio sono stati selezionati sulla base di una simulazione, al fine di ottenere una copertura spazio-temporale sufficientemente completa nell'arco del progetto. I dati puliti, interpolati e filtrati sono stati utilizzati per il calcolo delle statistiche lagrangiane ed euleriane.

Ringraziamenti

Si ringraziano le seguenti persone per il loro aiuto nelle operazioni di messa a mare e recupero dei drifters: Alessandro Bubbi, Fabio Brunetti, Davide Deponte, Michele Deponte, Elena Mauri, Paolo Mansutti, Gulio Notarstefano, Vlado Dadic, Branka Grbec, Nenad Leder, Nenad Smodlaka, Vlado Malacic, Federico Spagnoli, Elio Paschini, Andrea Mazzoldi, Craig Lee, Pierre Flament, Philip Moravcik, Mirko Orlic, Jeff Paduan, Rich Signell e Pietro Zanasca. Si ringrazia inoltre il NATO Undersea Research Centre (La Spezia, Italy) per averci fornito alcuni dei dati utilizzati in questo rapporto tecnico.

Referenze

Barbanti, R., Ursella, L., Poulain, P.-M., 2004a. Interpolazione mediante kriging di dati lagrangiani e confronto tra i dati del Mar Nero e del Mar Adriatico. Rel. 73/2004/OGA/29.

Barbanti, R., Poulain, P.-M., Ursella, L., Cecco, R., 2004b. Adriatic surface drifter database. 21 september 2002 to 29 February 2004.

http://doga.ogs.trieste.it/doga/sire/dolcevita/database_dolcevita/

Falco, P., Griffa, A., Poulain P.-M., Zambianchi, E., 2000. Transport Properties in the Adriatic Sea as deduced from drifter data. *J. Phys. Oceanogr.*, 30, 2055-2071.

Ozgekmen, T., Griffa, A., Mariano, A.J., Piterbarg, L., 2000. On the predictability of Lagrangian Trajectories in the Ocean. *J. Atmos. Ocean. Tech.*, 17, 366-383.

Poulain, P.-M, Ursella, L., Mauri, E., Deponte, D., 2003a. DOLCEVITA–1 Cruise. 31 January-24 February 2003 Report of drifter-related activities. Rel. 08/2003/OGA/03.

Poulain, P.-M, Ursella, L., Mauri, E., Deponte, D., 2003b. DOLCEVITA–2 Cruise. 26 May-15 June 2003 Report of drifter-related activities. Rel. 29/2003/OGA/11.

Ursella, L., Poulain, P.-M., Signell, R., 2005. Circulation in the northern and middle Adriatic Sea using surface drifters. Part I: Mesoscale to seasonal variability. In preparation.