

Osservazioni SAR durante l'evento eccezionale di Bora di inizio Febbraio 2012

M. Adamo (*), G. De Carolis (**), C. Fragiaco (**),
S. Morelli (****), F. Parmiggiani (*****), M. Bastianini (*****)

(*) ISSIA-CNR, via Amendola 122, 70126 Bari, adamo@ba.issia.cnr.it

(**) IREA-CNR, via Bassini 15, 20133 Milano, decarolis.g@irea.cnr.it

(***) INOGS, Borgo Grotta Gigante, 34010 Sgonico (TS), cfragiaco@ogs.trieste.it

(****) Dip. Sci. Fis. Info. Mat., Univ. Modena e Reggio E., via Campi, 4100 Modena, sandra.morelli@unimore.it

(*****) ISAC-CNR, via Gobetti 101, 40129 Bologna, f.parmiggiani@isac.cnr.it

(*****) ISMAR-CNR, Castello 1364/a, 30122 Venezia, mauro.bastianini@ismar.cnr.it

Riassunto

L'evento eccezionale di Bora di inizio Febbraio 2012 sul Golfo di Trieste è stato studiato con l'impiego di immagini Envisat/ASAR e mediante simulazioni numeriche di 72 ore effettuate con il modello atmosferico Eta. Le informazioni quantitative sul campo di vento superficiale sono state estratte dalle immagini ASAR con un procedimento di inversione che utilizza il modello semi-empirico CMOD5 che lega la sezione d'urto normalizzata (NRCS) misurata al vettore velocità del vento a 10 m. I dati di vento, estratti mediante il modello CMOD5 dalle immagini ASAR, sono poi confrontati con quelli registrati dalla stazione meteo dell'ISMAR-CNR, UOS di Trieste, e con i risultati prodotti solo dalle simulazioni del modello Eta.

Abstract

The exceptional Bora event of the beginning of February 2012 over the Gulf of Trieste was studied by means of Envisat/ASAR images and by numerical 72-h simulations carried out with the atmospheric Eta model. Quantitative information on the surface wind field were extracted from ASAR images with an inversion procedure which makes use of the semi-empiric CMOD5 model which links the 'normalized radar backscatter cross section' (NRCS) to the 10 m wind vector. Wind data, extracted from ASAR images by CMOD5 model, are then compared with those measured by the meteo station of ISMAR-CNR of Trieste and with the results provided only by the numerical simulations of the Eta model.

Introduzione

Tra la fine di Gennaio e l'inizio di Febbraio 2012 il Golfo di Trieste venne investito da una Bora di eccezionale durata e intensità. Già negli ultimi giorni di Gennaio la Bora si era fatta sentire grazie ad una depressione mediterranea e ad un'alta pressione sull'est Europa. Ai primi di Febbraio una massa d'aria gelida arrivata dalla Russia si portò sull'Italia, determinando forti nevicate al centro della penisola, mentre sull'Alto Adriatico e sulla Venezia Giulia si registravano forte Bora e temperature molto basse. Le immagini AVHRR di questo periodo (vedi Figura 1a) mostrano l'Italia intera interessata da questo evento ciclonico straordinario.

In analogia con studi precedenti (Alpers et al., 2009; Signell et al., 2010), questo evento di Bora eccezionale è stato studiato con l'impiego di immagini acquisiti dall'*Advanced SAR* (ASAR) a bordo del satellite europeo Envisat. E' stata effettuata, inoltre, la simulazione numerica della circolazione atmosferica nel periodo tramite un modello alla mesoscala. Il modello usato è una recente versione del modello Eta (Mesinger et al., 2012).

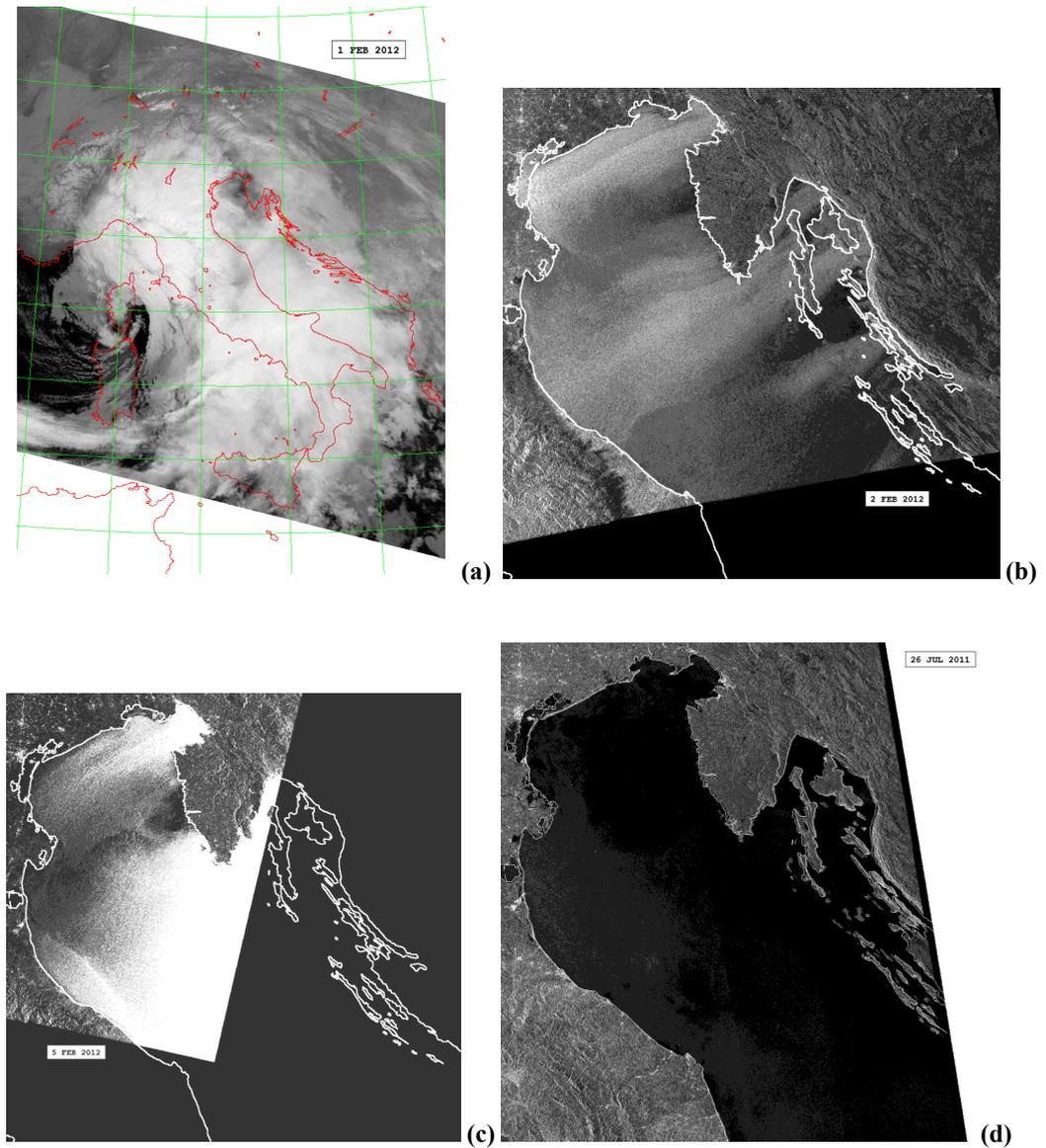


Figura 1. (a) Immagine AVHRR del 1 Febbraio 2012; (b) immagine ASAR acquisita dal satellite ENVISAT il 2 Febbraio. Sono visibili i caratteristici 'wind jet', tipici del vento di Bora, provenienti da NE; (c) immagine ASAR del 5 Febbraio. L'impronta dei wind jet sulla superficie del mare risulta attenuata rispetto ai 3 giorni precedenti; (d) immagine ASAR in un giorno d'estate: si confronti il backscatter dalla superficie del mare in condizioni di quasi assenza di vento.

Immagini SAR

Una ricerca nell'archivio dell'ESA di immagini ASAR sul Nord Adriatico, per il periodo dal 25 Gennaio al 10 Febbraio, ha mostrato la disponibilità di 2 immagini *Wide Swath*, relative ai giorni 2 e 5 Febbraio. Le 2 immagini, una volta acquisite, sono state elaborate con il software TeraScan (www.seaspace.com). Le Figure 1b) e 1c) mostrano le immagini ASAR proiettate su un riferimento geografico regolare con sovrapposte le linee di costa. Le immagini evidenziano i *wind jets* perpendicolari alla costa sloveno-croata e la forte turbolenza indotta sulla superficie del mare in tutto il bacino da questo evento straordinario di Bora. Come termine di paragone viene riportata una immagine ASAR estiva che mostra il Nord Adriatico completamente 'piatto' (Figura 1d).

Dati a terra

I dati di vento del Golfo di Trieste, registrati dalla stazione meteorologica dell'ISMAR-CNR, UOS di Trieste, sono stati ottenuti sia come valore di 'raffica' (*gust*), per il periodo dal 25 Gennaio al 5 Febbraio, che come dato orario per i giorni delle immagini ASAR, cioè il 2 e 5 Febbraio. I valori del vento sono riportati come *rose diagram* in Figura 2.

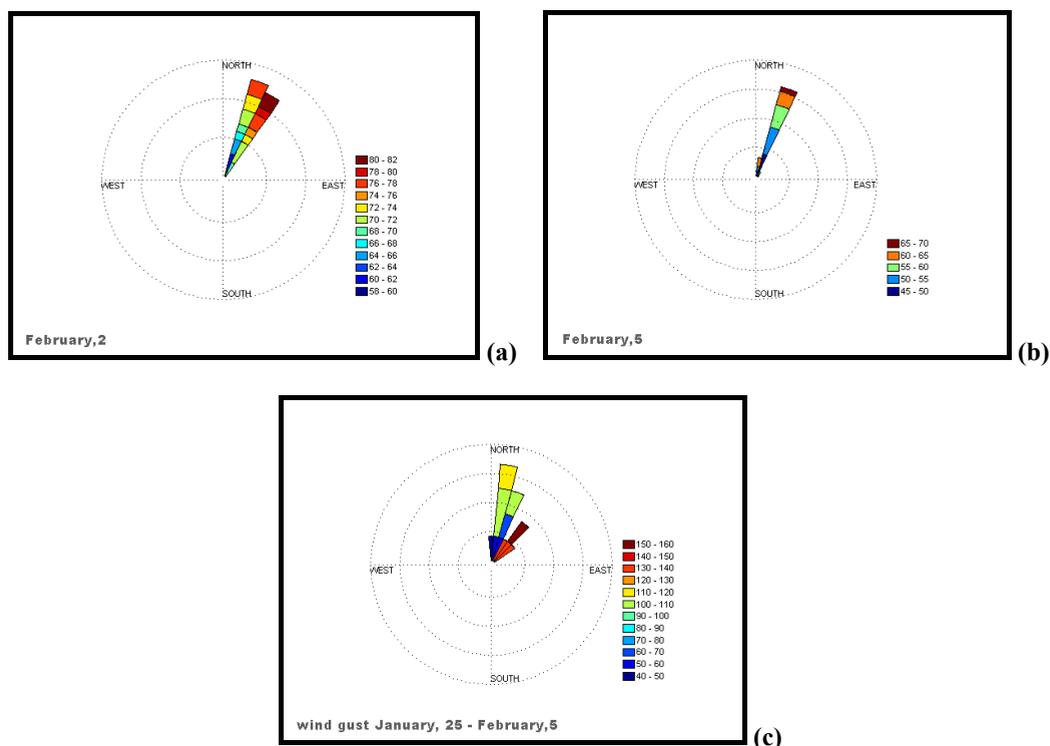


Figura 2. Diagrammi del vettore del vento per il (a) 2 Febbraio e (b) 5 Febbraio. Il pannello (c) illustra la distribuzione delle raffiche nel periodo dal 25 Gennaio al 5 Febbraio.

Modello Eta e simulazioni numeriche

Eta è un modello atmosferico, tridimensionale, a punti di griglia che usa in verticale superfici quasi orizzontali (superfici η), un sistema di coordinate sferiche ruotate e una griglia di tipo Arakawa E (*semi-staggered Arakawa E grid*). Esso è usato nel mondo sia in modo operativo per le previsioni meteorologiche sia per ricerca presso molti Centri ed Università. Informazioni generali circa il modello ed una bibliografia sia della parte dinamica che di quella fisica sono fornite, per esempio, in Morelli e Berni (2003), Cesini et al. (2004), Mesinger et al. (2012).

Le simulazioni numeriche presentate in questo lavoro sono state ottenute da una recente ed aggiornata versione del modello che ha origine dal codice *Workstation Eta* del *National Center for Environmental Predictions* (NCEP) e descritta in Mesinger et al. (2012). I codici originali di *preprocessing* e *postprocessing* sono stati modificati all'Università di Modena e Reggio Emilia.

Il dominio di integrazione è definito dai punti: (6.29°E, 49.77°N), (21.71°E, 49.77°N), (20.30°E, 37.81°N), (7.70°E, 37.81°N). In verticale sono stati adottati 50 strati dalla superficie del mare a 25 hPa, con più alta risoluzione vicino alla superficie. La risoluzione orizzontale è di circa 20 km. Sono state condotte due simulazioni idrostatiche di 72 ore ciascuna a partire dal 1 Febbraio e 4 Febbraio 2012, così che i tempi di acquisizione delle immagini ASAR corrispondono tutte al secondo giorno di simulazione. Le condizioni iniziali ed al contorno sono state ottenute dalle analisi del *European Centre for Medium Range Weather Forecasts* (ECMWF), fornite ogni sei ore. A questo scopo i codici originali di *preprocessing* sono stati opportunamente modificati. Nelle figure seguenti è rappresentato il campo del vento a 10 m simulato in corrispondenza ai tempi più vicini alle acquisizioni dei dati ASAR: il 02 Febbraio alle 21 UTC (Figura 3) ed il 05 Febbraio alle 10 UTC (Figura 4), rispettivamente. Per questioni di chiarezza, solo un vettore ogni 3 è stato disegnato e l'area rappresentata è solo una parte del reale dominio di integrazione del modello. Le figure mostrano che vento da Nord Est è simulato per tutti i periodi considerati sull'area Adriatica. Il vento oltrepassa le Alpi Dinariche e soffia sul mare fino quasi alla costa italiana. In accordo con le misure a Trieste il vento simulato è più intenso il giorno 2 Febbraio e va, poi, diminuendo nei giorni successivi.

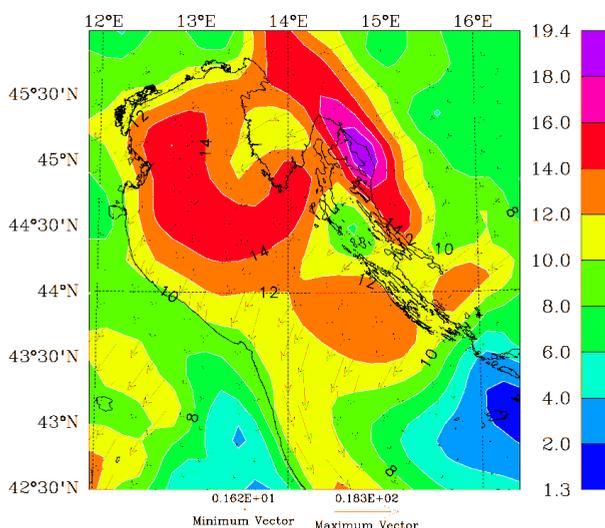


Figura 3. Velocità (m/s) e direzione (vettori) del vento simulato a 10 m dalla superficie valido il 2 Febbraio alle 21:00 UTC. Per chiarezza sono rappresentati solo una porzione del dominio di integrazione ed un vettore ogni tre.

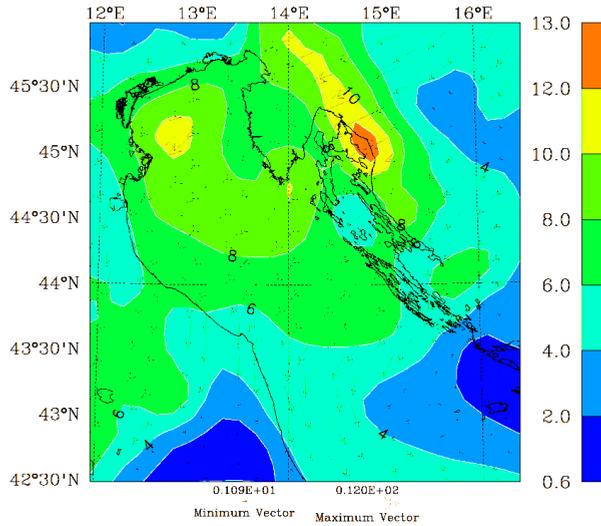


Figura 4. Come per Fig. 3, ma valido il 5 Febbraio alle 10:00 UTC.

Il campo di vento dalle immagini ASAR

Le informazioni quantitative sul campo di vento superficiale sono state estratte dalle immagini ASAR mediante inversione della sezione d'urto normalizzata (NRCS) misurata, σ_{ASAR}^o , nel vettore della velocità del vento a 10 m \vec{W}_{10} . La procedura di inversione si basa sulla minimizzazione di una funzione costo che tiene conto del contributo informativo aggiunto dal dato SAR a partire dalle simulazioni del vettore del vento \vec{W}_{10} fornite dal modello atmosferico di previsione Eta su una scala spaziale di circa 20 km. La relazione funzionale tra σ_{ASAR}^o e \vec{W}_{10} è fornita dalle previsioni del modello geofisico semi-empirico CMOD5 (σ_{CMOD5}^o) (Hersbach et al., 2007).

La funzione costo da minimizzare è data dalla seguente espressione:

$$J = \left(\frac{\sigma_{ASAR}^o - \sigma_{CMOD5}^o}{\Delta \sigma_{ASAR}^o} \right)^2 + \left(\frac{U_{Eta} - U_{trial}}{\Delta U_{Eta}} \right)^2 + \left(\frac{V_{Eta} - V_{trial}}{\Delta V_{Eta}} \right)^2 \quad [1]$$

dove U e V sono le componenti zonale e meridionale del vettore del vento di prova (*trial*) e predetto dal modello Eta (*Eta*); infine, $\Delta U_{Eta} = \Delta V_{Eta} \approx 2\text{m/s}$ rappresentano l'incertezza associata alle previsioni Eta e $\Delta \sigma_{ASAR}^o \approx 0.08 \times \sigma_{ASAR}^o$ rappresenta la variabilità della NRCS all'interno della cella di misura. Il vettore vento $W^* = (U_{trial}^*, V_{trial}^*)$ che minimizza J è considerato come la migliore stima del vettore del vento nella particolare cella presa in esame.

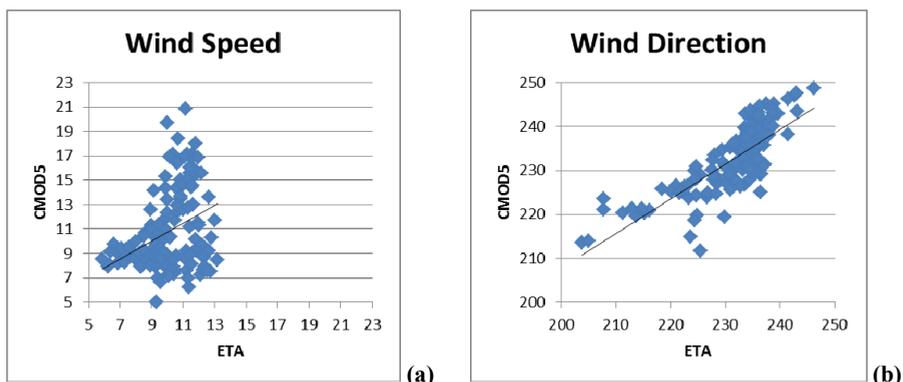


Figura 5. Scatterplot tra velocità (a) e direzione di propagazione (b) del vento ETA e quello ottenuto mediante inversione del dato SAR del 2 Febbraio alle 21:00 UTC.

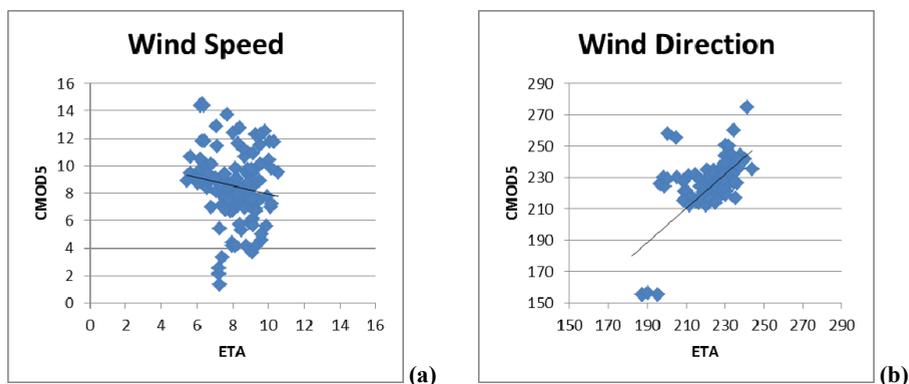


Figura 6. Scatterplot tra velocità (a) e direzione di propagazione (b) del vento ETA e quello ottenuto mediante inversione del dato SAR del 5 Febbraio alle 09:32 UTC.

In Figura 5 e 6 sono rappresentati gli *scatterplot* delle stime di velocità (a) e direzione (b) del vento ottenute mediante la procedura di inversione del dato SAR rispetto ai valori stimati dal modello ETA e utilizzati come *guess* per la procedura di inversione, rispettivamente per l'acquisizione del 02/02/2012 e del 05/02/2012. Da questi si evince che le stime ASAR correggono le previsioni Eta della velocità, lasciando parzialmente inalterate le direzioni. Si nota infatti che il modello Eta tende in generale a sottostimare la velocità massima, fino a circa 7 m/s per il caso del giorno 2 e 3 m/s per il giorno 5. I risultati forniti dall'*imaging* ASAR sono coerenti con le misure anemometriche rilevate dalla stazione ISMAR-CNR che per il giorno 2 Febbraio riportano una velocità del vento pari a 22 m/s e direzione di propagazione 244° N, mentre il giorno 5 la velocità del vento registrata è di 15 m/s con 252° N di propagazione. Si conclude che i risultati della modellistica atmosferica descrivono in maniera esauriente le proprietà strutturali del campo di vento in termini di modalità di propagazione delle masse d'aria in prossimità della superficie del mare. Per contro, le immagini ASAR consentono di estendere le osservazioni puntuali da anemometro su una scala sinottica ad elevata risoluzione spaziale.

Conclusioni

La Bora è un fenomeno costiero locale che si manifesta con forti venti che vengono incanalati dai sistemi montuosi costieri verso il mare. Il sito più noto dove il fenomeno della Bora si presenta con maggiore intensità è il Mare Adriatico settentrionale. Il campo di vento della Bora può variare grandemente su scale spaziali di pochi chilometri; pertanto, il radar ad apertura sintetica (SAR), con la sua alta risoluzione spaziale, è lo strumento ideale per studiare tale fenomeno.

In questo studio è stato analizzato, mediante immagini Envisat/ASAR, un evento eccezionale di Bora che occorre nei primi giorni di Febbraio 2012. Le informazioni quantitative sul campo di vento superficiale sono state estratte dalle immagini ASAR con una procedura di inversione che utilizza il modello semi-empirico CMOD5.

Mediante l'impiego di una versione recente ed aggiornata del modello atmosferico Eta, sono state condotte delle simulazioni numeriche per un periodo di 72 ore a partire dal 1 Febbraio e dal 4 Febbraio 2012, in modo che i tempi di acquisizione delle immagini ASAR corrispondessero al secondo giorno di simulazione. Il dominio di integrazione del modello corrisponde all'incirca alla intera penisola italiana e mari limitrofi (per chiarezza solo la metà superiore del Mare Adriatico è mostrata nelle figure).

La modellistica atmosferica cattura le proprietà spaziali del campo di Bora, riproducendo i *wind jet* che si osservano sulle immagini ASAR. Inoltre, le simulazioni Eta predicono l'attenuarsi del fenomeno nel passaggio dal giorno 2 al 5. I *run* del modello si riferiscono ad una risoluzione spaziale di circa 20 km, relativamente bassa per rappresentare dettagliatamente la topografia della zona. Ci proponiamo perciò di estendere le simulazioni fino ad una risoluzione spaziale di qualche km per descrivere più precisamente il campo di vento nell'area di interesse e verificarne l'impatto sulla procedura di inversione di immagini SAR.

Riconoscimenti

Si ringrazia:

- la *European Space Agency*, ESA, per la messa a disposizione delle immagini ASAR *Wide Swath* usate in questo studio;
- il dr. Racich dell'ISMAR-CNR, UOS di Trieste per aver fornito i dati di vento, raccolti dalla stazione meteo dello stesso Istituto, utilizzati in questo lavoro;
- il Prof. F. Mesinger e il *Center for the Weather Prediction and Climate Studies*, CPTEC, Cachoeira Paulista, SP, Brazil per avere reso disponibile il modello Eta;
- lo *European Centre for Medium Range Weather Forecasts*, ECMWF, per avere fornito le analisi da cui sono state ottenute le condizioni iniziali ed al contorno per l'integrazione del modello Eta.

Bibliografia

- [1] Adamo M., De Carolis G., Morelli S., Parmiggiani F. (2004), "Synergic use of SAR imagery and high-resolution atmospheric model to estimate wind vector over Mediterranean Sea", *Proc. EOS/SPIE Symposium in Remote Sensing*, Vol. 5574.
- [2] Adamo M., De Carolis G., Morelli S., Parmiggiani F. (2006), "Synergic use of SAR imagery and high resolution atmospheric model to estimate marine wind fields : an application in presence of an atmospheric gravity wave episode", *Rivista Italiana di Telerilevamento*, vol.35, 147-160.
- [3] Alpers W., Ivanov A., Horstmann J. (2009), "Observations of Bora Events over the Adriatic Sea and Black Sea by Spaceborne Synthetic Aperture Radar", *Monthly Weather Review*, Vol. 137, Issue: 3, 1150-1161.
- [4] Cesini D., Morelli S., Parmiggiani F. (2004), "Analysis of an intense bora event in the Adriatic area", *Natural Hazards and Earth System Sciences*, vol. 4, Issue 2 : 323 - 337.

- [5] Hersbach H., Stoffelen A., de Haan S. (2007), “An improved C-band scatterometer ocean geophysical model function: CMOD5”, *J. Geophys. Res.*, 112, doi:10.1029/2006JC003743
- [6] Mesinger F., Chou S.C., Gomes J.L., Jovic D., Bastos P., Bustamante J.F., Lazic L., Lyra A.A., Morelli S., Ristic I., Veljovic K. (2012), “An upgraded version of the Eta model”, *Meteorol Atmos Phys*, 116: 63–79, doi :10.1007/s00703-012-0182-z
- [7] Morelli S., Berni N. (2003), “On a bora event simulated by the Eta model”, *Meteorol. Atmos. Phys.* 84: 11-22, doi:10.1007/s00703-002-0573-7
- [8] Portabella M., Stoffelen A., Johannessen J.A (2002), “Toward an optimal inversion method for synthetic aperture radar wind retrieval”, *J. Geophys. Res.*, 107, doi: 10.1029/2001JC000925
- [9] Signell R.P., Chiggiato J., Horstmann J., Doyle J.D., Pullen J., Askari F. (2010), “High-resolution mapping of Bora winds in the northern Adriatic Sea using synthetic aperture radar”, *J. Geophys. Res.*, Vol. 115, C04020, doi:10.1029/2009JC005524.