

Il Sistema Idro-Meteo-Mare dell'APAT per la previsione dell'acqua alta a Venezia. Metodologia di validazione e primi risultati.

L. GIANNINI , A. COLAGROSSI, S. CORSINI , M. FERLA , M. CORDELLA , L. FELLI

APAT – Agenzia per la Protezione dell' Ambiente e per i Servizi tecnici – Dipartimento Tutela Acque interne e Marine,
Via Curtatone, 3 00185 Roma, *luciana.giannini@apat.it*

Riassunto

La finalità primaria dello studio è la convalida delle previsioni di eventi di acqua alta nella laguna veneta ottenute mediante il sistema previsionale Idro-Meteo-Mare (SIMM). Il lavoro presentato si riferisce ad uno studio preliminare di verifica statistica delle previsioni dei modelli idrodinamici del Mar Adriatico con le osservazioni della Rete Telemareografica della Laguna di Venezia (RTLTV) e, del modello meteorologico, con quelle della Rete Mareografica Nazionale (RMN). Dal primo confronto si evidenziano alcune differenze significative, tra cui una sottostima ed uno sfasamento delle elevazioni da parte dei modelli, mentre, i risultati preliminari del secondo confronto evidenziano che i dati di vento previsti dal modello meteorologico sono una sovrastima di quelli osservati.

Abstract

The main goal of this study is the validation of the forecasts of high-tide events in the Venice Lagoon made by the Idro-Meteo-Mare (Hydro-Weather-Sea) forecasting system (SIMM). The present work is a statistical comparison between the forecasts of the hydrodynamic models of the Adriatic Sea, and the observations of the Tele-Marigraphic Network of the Venice Lagoon (Rete Telemareografica della Laguna di Venezia, RTLTV), as well as a comparison between the meteorological model and the observations of the National Marigraphic Network (Rete Mareografica Nazionale, RMN). The first comparison shows that data models are underestimated and shifted as regards measures. On the other hand, the preliminary results of the second comparison show that data models are overestimated with respect to experimental data.

Introduzione

L'importanza di prevedere il “fenomeno dell'acqua alta” a Venezia è da sempre risultata indiscutibilmente prioritaria ai fini della salvaguardia ambientale, sociale ed economica della Laguna. Difficoltoso, invece, è lo sviluppo dei metodi utilizzati per rendere tali previsioni più attendibili possibile. In tal senso, lo sforzo maggiore è proprio quello di creare dei modelli che forniscano una previsione affidabile, sia dal punto di vista della qualità del risultato, sia per quanto concerne la possibilità di rientrare nella tempistica per l'intervento di riduzione dei rischi ambientali e sociali.

Il Sistema Idro-Meteo-Mare (SIMM) è stato realizzato in APAT proprio per la previsione numerica dei fenomeni idrologici, meteorologici e marini che interessano il territorio nazionale e, soprattutto, per le previsioni dell'acqua alta nella Laguna di Venezia (Accadia et al., 2003).

In Figura 1 è schematizzata l'architettura del SIMM in configurazione di servizio ed il flusso principale dei dati. Il modulo principale del sistema è costituito da una catena di modelli interagenti tra loro che attengono ai differenti aspetti della problematica studiata.

Le previsioni meteorologiche al suolo, con particolare attenzione per il vento e le precipitazioni, sono prodotte dal QBOLAM (Quadrics BOlogna Limited Area Model, Nicastro, Valentinotti, 1998; Buzzi et al., 1994). Mentre, il WAM (WAve Model, The WAMDI group, 1998) e il POM (Princeton Ocean Model, Blumberg, Mellor, 1987), tengono conto rispettivamente delle condizioni del mare su tutto il Mediterraneo e sull'Adriatico. Infine, il VL-FEM (Venice Lagoon - Finite Element Model, Umgiesser et al., 1988) fornisce informazioni sull'evoluzione dei fenomeni mareali sulla laguna di Venezia con particolare riferimento agli eventi di acqua alta.

Il SIMM, gestito dal Dipartimento Tutela delle Acque Interne e Marine dell'APAT, produce quotidianamente 48 ore di previsione meteorologiche e marine con risoluzione di circa 10 km su tutto il bacino Mediterraneo oltre la previsione dell'elevazione del bacino Ionio-Adriatico, con una risoluzione crescente, arrivando sino circa a 5 Km alle bocche di della laguna di Venezia e con un dettaglio ancora maggiore al suo interno al fine, proprio, di prevedere l'acqua alta a Venezia.

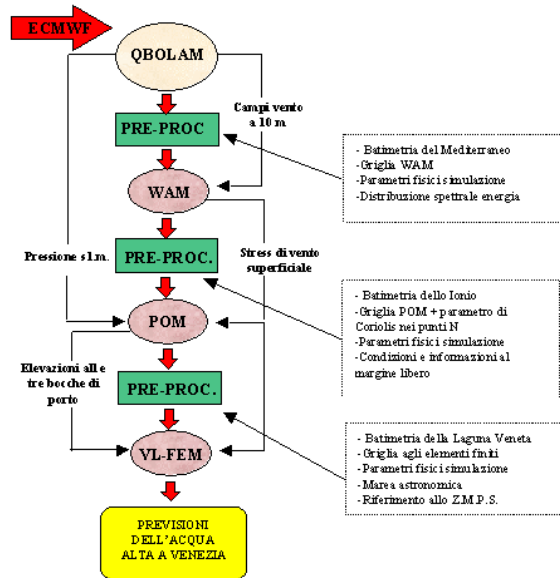


Figura 1 – Schema del SIMM.

Da tali confronti è emersa la necessità di approfondire la qualità dell'affidabilità delle previsioni riguardo i dati di vento del modello meteorologico QBOLAM. Di conseguenza, si sono confrontati i dati di vento calcolati dal modello meteorologico con le osservazioni della Rete Mareografica Nazionale (RMN), costituita da 26 stazioni uniformemente distribuite sul territorio nazionale ed ubicate prevalentemente all'interno delle strutture portuali. Quelle che verranno prese in considerazione per questo lavoro sono quelle relative alla costa adriatica e ionica ed, in particolare: Trieste, Venezia Lido, Ancona, Ravenna, Ortona, Vieste, Bari, Otranto, Taranto, Crotone, Reggio Calabria, Lampedusa (Lama, Corsini, 2000).

Analisi dell'affidabilità dei dati di livelli di marea a Venezia

Il VL-FEM è un modello di circolazione per la Laguna di Venezia (Umgiesser et al., 1988) che integra le equazioni di conservazione della massa e del momento orizzontale (approssimazione *shallow-water*) nelle incognite altezza e velocità dell'acqua. Il modello usa un metodo agli elementi finiti per l'integrazione spaziale ed un metodo semi-implicito alle differenze finite per l'integrazione temporale. Il vantaggio di usare un modello agli elementi finiti è la possibilità di



Figura 2 – Mappa della laguna con ubicazione delle stazioni considerate.

variare la dimensione e la forma degli elementi in maniera tale da poter meglio adattarsi alla complessa morfologia della laguna di Venezia. Il modello richiede, ad ogni *time step*, l'altezza dell'acqua alle bocche di porto e lo *stress* sulla superficie libera della laguna. Il modello arriva ad una previsione di elevazione di 69 ore con un dato previsto ogni 10 minuti.

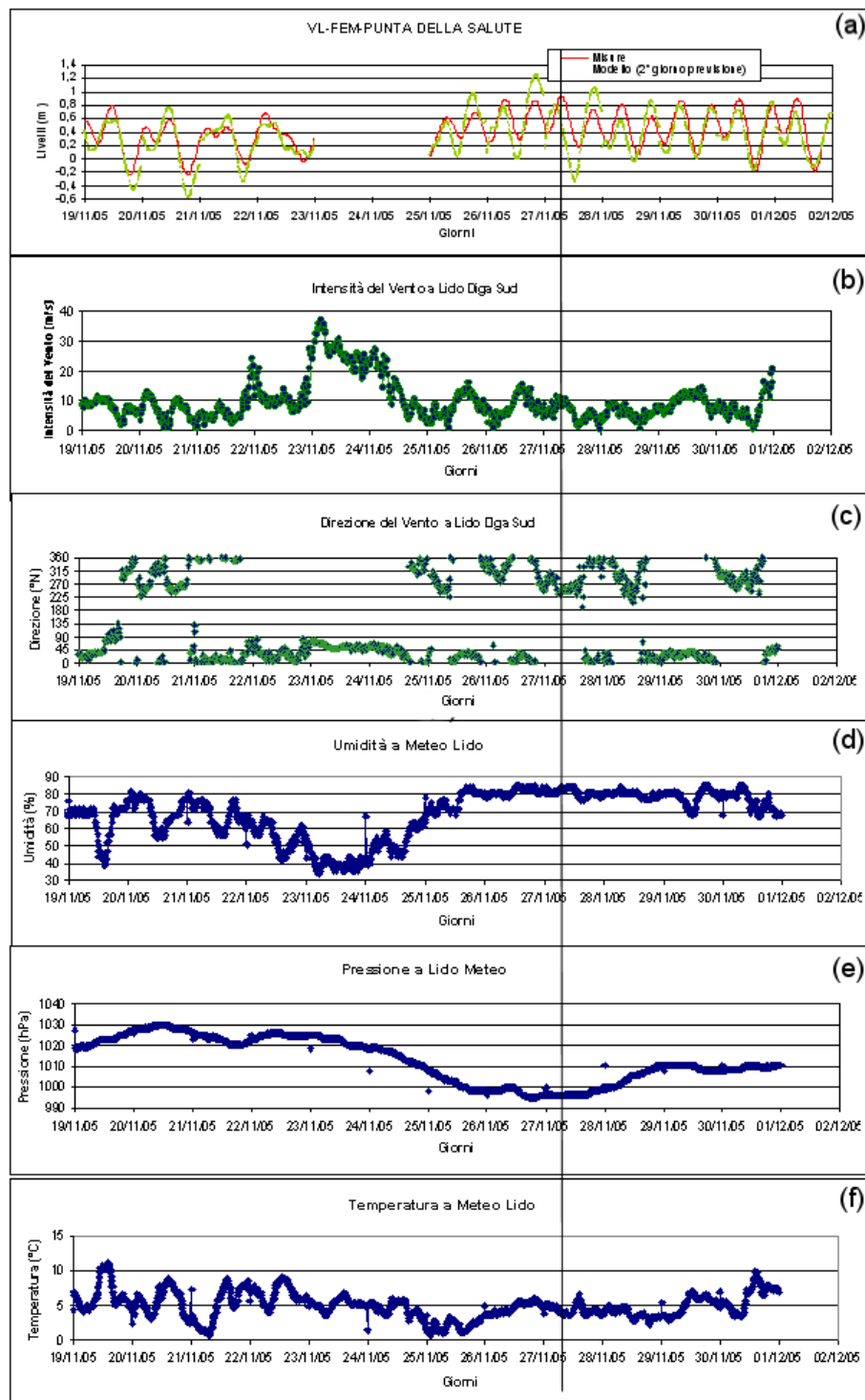


Figura 3 - Serie temporali del periodo 19/11/2005-01/12/2005 delle (a) elevazioni (in metri Z.M.P.S) previste dal VL-FEM e misurate dalla RLTV a Punta della Salute; (b,c) intensità e direzione del vento a Lido Diga Sud; (d,e,f) umidità, pressione e temperatura misurate a Meteo Lido dalla RLTV.

La prima analisi che si è eseguita è quella di un confronto qualitativo tra i valori di elevazione misurati dalla stazioni di Lido Diga Nord (DN, 45°25'N;12°26'E), Lido Diga Sud (DS, 45°25'N;12°26'E), Chioggia (SC, 45°14'N;12°19'E) Malamocco (NM, 45°20'N;12°20'E), Punta

della Salute (PS, 45°26'N;12°20'E) e quelli determinati dal VL-FEM. In figura 2 vi è riportata la mappa geografica della laguna con l'ubicazione delle stazioni considerate.

Il periodo considerato è 19/11/2005-02/12/2005. I dati di elevazione che vengono riportati di seguito si riferiscono allo Z.M.P.S (Zero mareografico di Punta della Salute). In figura 3a viene riportato il confronto delle serie temporali previste e misurate per la stazione di Punta della salute. Si è individuato un caso di acqua medio alta (>0.90 m Z.M.P.S.) verificatosi il 27/11/2005 (APAT, 2006). Per tale giorno alle ore 7.30 UTC (linea verticale in nero in figura 3) si è registrato un livello massimo di 0.92 m Z.M.P.S. Inoltre, anche nei giorni successivi al 27 novembre i livelli massimi sono comunque risultati essere sempre al di sopra dei 0.80 m Z.M.P.S. Nelle figure 3 b-f sono riportate le serie temporali, per il periodo di analisi, anche dei dati meteorologici. I dati del vento si riferiscono alla stazione RLTV di Lido Diga Sud (fig.2), mentre la pressione, l'umidità e la temperatura sono state rilevate dai sensori della stazione RLTV di Lido Meteo (LM, 45°26'N;12°23'E, fig.2). Si osserva che nel periodo antecedente al 27 novembre e, precisamente tra il 23 ed il 25 novembre, si sono verificate le condizioni meteorologiche tipiche dell'acqua alta a Venezia (Ferla,2003). In particolare, si ha l'istaurarsi di un regime di bora caratterizzato da un aumento di intensità del vento con un valore massimo di circa 37 m/s ed una direzione di provenienza da nord-est (fig.3b,c). Inoltre, si evidenzia l'istaurarsi di una situazione di bassa pressione con un picco di minimo in corrispondenza del 26 novembre (fig.3e). Questa condizione di bassa pressione si è poi protratta fino al 28 novembre. Tra il 27 ed il 28 novembre la temperatura e l'umidità hanno un andamento crescente (fig.3d,f). Per tale periodo si è anche registrato un valore di pioggia cumulata pari a 27 mm. Quindi, l'evento del 27 novembre rilevato alle 7.30 UTC a Punta della Salute ha tutte le caratteristiche per essere classificato un evento di acqua medio alta. Purtroppo, dall'analisi qualitativa che si può fare dal grafico di figura 3a, si deduce uno scarso accordo tra le misure dei livelli di marea e le previsioni. Di conseguenza, si è cercato di indagare quanto la previsione del POM potesse influenzare quella del FEM. In particolare, il POM fornisce, nell'ambito del sistema, le condizioni al contorno per il VL-FEM che sono le elevazioni alle tre bocche di porto (fig.2). Si è preso in esame il periodo tra il 1 ottobre e il 1 dicembre del 2004. In figura 4a vengono confrontate le serie temporali delle elevazioni calcolate dal POM e quelle misurate dalla RLTV a Chioggia per il periodo tra il 7 e il 19 novembre 2004. Tale periodo è stato caratterizzato da eventi eccezionali di acqua alta (> 1,10 m Z.M.P.S.). Mentre, in figura 4b sono

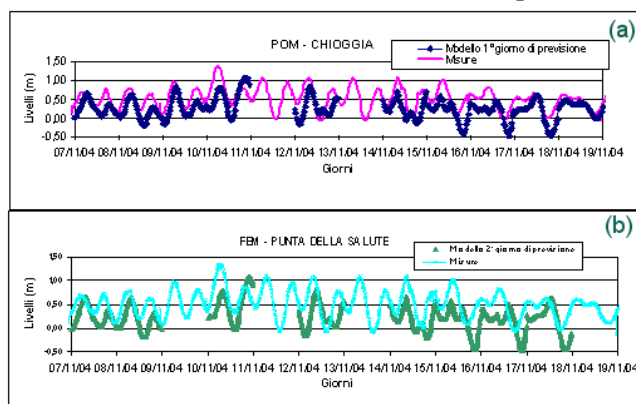


Figura 4 - Confronto tra le serie temporali delle misure e dei modelli:(a) POM -SC (b) VL-FEM – PS.

Analogamente accade per la stazione di Punta della Salute, dove per il 10 ottobre viene registrato alle 7.40 UTC un valore di 1,33 m Z.M.P.S., mentre il VL-FEM calcola un valore di 0.81 m Z.M.P.S. Inoltre, si evidenzia una scarsa correlazione tra i dati calcolati dal POM e i dati misurati dalla RLTV per le stazioni di Malamocco (fig 5a), Lido Diga Nord (fig. 5b) e Chioggia (fig. 5c) e, che il POM, statisticamente sottostima i livelli di marea.

messe a confronto le serie temporali misurate e previste dal VL-FEM per lo stesso periodo a Punta della Salute. Entrambi i modelli sembrano seguire l'andamento delle osservazioni anche se si evidenzia uno sfasamento ed i valori di massimo non sono confrontabili. Per fare un esempio, il 10 ottobre 2004 alle 7.10 UTC le strumentazioni della RLTV hanno registrato a Chioggia un livello di 1,35 m Z.M.P.S., pertanto un fenomeno di acqua alta eccezionale.

Il POM fornisce in corrispondenza, anche se con un certo ritardo, un valore di 0.88 m.

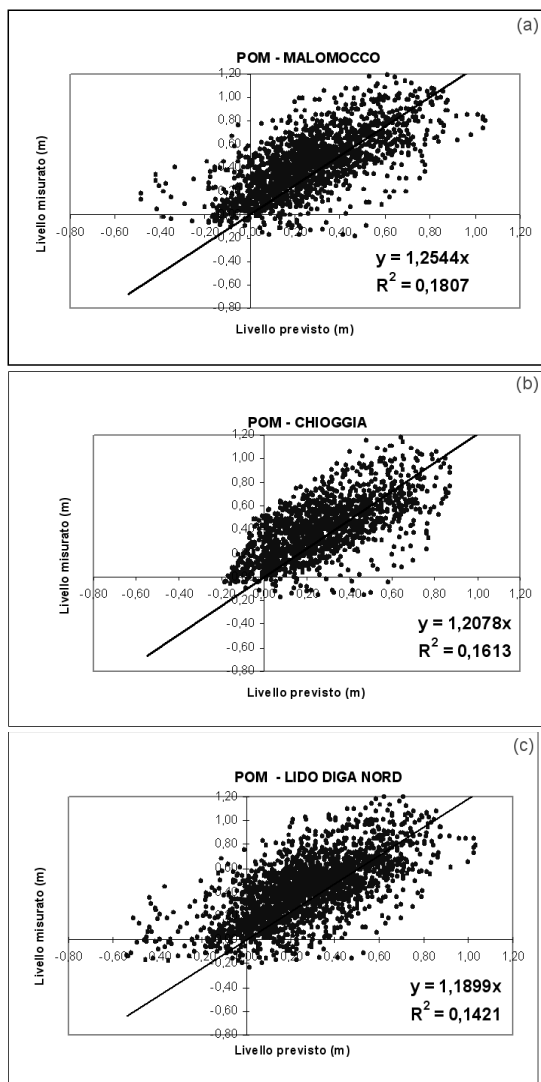


Figura 5 – Scatter – plot osservazioni RTLV v.s. POM per le stazioni di (a) Malamocco; (b) Chioggia; (c) Lido Diga Nord.

scarti sull'intensità si distribuiscono secondo una Gaussiana, ma la deviazione standard è elevata rispetto al valor medio.

Alla luce di quanto emerso, si è pensato di andare ad indagare sulle grandezze “forzanti” dei modelli mareografici della catena. In particolare, si sono confrontati statisticamente i dati di vento calcolati dal modello meteorologico con le osservazioni della RMN.

Si sono analizzate le serie temporali ottobre-dicembre di tre anni: 2002, 2003 e 2004 relative alle 13 stazioni adriatiche elencate in precedenza.

La scelta del periodo autunno-inverno è concorde con la stagionalità in cui si verificano gli eventi di acqua alta a Venezia. Dal momento che il vento è una variabile statistica direzionale, si sono eseguite due diversi tipi di analisi: una per la direzione ed una per l'intensità.

Per la direzione del vento si è utilizzato un Indice di Dissomiglianza I (Mardia, Jupp, 2000), che confronta statisticamente due grandezze angolari. Se tale indice è zero, significa che la differenza tra i due angoli è minima, mentre tale differenza è massima se l'indice assume valore 2.

Per l'intensità si sono determinate, per la singola stazione, le rette di regressione del tipo $y = Ax$ delle osservazioni RMN in funzione dei dati QBOLAM e si è eseguito per i residui il test della distribuzione Gaussiana.

In Tabella 1 sono riportati i valori calcolati sulle 13 stazioni di I, della relativa varianza $\text{var}(I)$, dei valori di A e del relativo coefficiente di correlazione R^2 , il valor medio dei residui S_m e la relativa deviazione standard $\sigma(S)$. Per quanto riguarda la direzione, I assume valori comunque inferiori all'unità, ma la sua varianza è elevata; riguardo l'intensità, si osserva che statisticamente il modello sovrastima i dati di vento rispetto alle osservazioni. Mentre, gli

Stazione	I	var(I)	A	R^2	S_m (m/s)	$\sigma(S)$ (m/s)
ANCONA	0.35	0.49	0.80	0.68	0.40	2.43
BARI	0.04	0.61	0.98	0.75	0.06	2.33
CATANIA	0.38	0.45	0.77	0.69	0.56	2.14
CROTONE	0.51	0.40	0.72	0.77	1.40	2.54
LAMPEDUSA	0.67	0.27	0.67	0.85	1.88	2.30
ORTONA	0.12	0.50	0.52	0.69	1.30	1.59
OTRANTO	0.54	0.37	0.67	0.69	1.14	2.34
RAVENNA	0.31	0.49	0.67	0.66	1.07	2.25
REGGIO CALABRIA	0.44	0.35	0.43	0.68	2.86	2.86
TARANTO	0.50	0.38	0.68	0.78	1.74	2.73
TRIESTE	0.40	0.43	0.57	0.70	2.11	2.33
VENEZIA	0.26	0.46	0.70	0.78	1.38	2.22
VIESTE	0.47	0.36	0.75	0.73	0.77	2.60

Tabella 1 – Confronti statistici tra il vento calcolato dal QBOLAM e le osservazioni della RMN.

Conclusioni e sviluppi futuri

I risultati preliminari che si sono raggiunti sono che i modelli mareografici sottostimano i livelli di marea e producono uno sfasamento rispetto alle osservazioni. Inoltre, poiché il POM fornisce le *boundary conditions* al FEM, le anomalie riscontrate nelle previsioni del POM sicuramente influenzano i risultati del VL-FEM. Alla luce di tali risultati, si è iniziato ad indagare sulle forzanti dei modelli mareografici fornite dal modello meteorologico. In particolare, si sono analizzati i dati di vento confrontandoli statisticamente con le osservazioni. I risultati mostrano una sovrastima dei valori di intensità ed una elevata varianza per l'indice di dissomiglianza della direzione del vento. L'attività futura sarà, comunque, quella di continuare ad analizzare i dati di vento prodotti dal QBOLAM considerando periodi più estesi e discriminando per intensità e direzione del vento. L'obiettivo sarà quello di studiare la possibilità di produrre dei fattori correttivi per migliorare l'affidabilità del sistema per le previsioni dell'acqua alta a Venezia.

Riferimenti bibliografici

- Accadia C., Arena G., Barbano A., Bencivenga N., Casaioli M., Colagrossi A., Corsini S., Inghilesi R., Mariani S., Monacelli G., Tardone G., Rizzo A. (2003), "Il Sistema Idro-Meteo-Mare e le reti di monitoraggio marino dell' APAT", *Atti della Settima Conferenza Nazionale delle Agenzie Ambientali, Milano*, 24-26 novembre 2003
- APAT – Dipartimento Tutela delle Acque Interne e Marine – Servizio Laguna di Venezia "Attività conoscitiva per la salvaguardia della Laguna di Venezia" *Rapporti APAT 31/2003*.
- APAT – Dipartimento Tutela delle Acque Interne e Marine – Servizio Laguna di Venezia "Aggiornamenti sulle osservazioni dei livelli di marea a Venezia" *In stampa come rapporto APAT 2006*.
- Buzzi A., Fantini M., Malguzzi P., Nerozzi F. (1994) Validation of limited area model in cases of Mediterranean cyclogenesis: surface fields and precipitation scores. *Meteorol. Atmos Phys.*, 53: 53-67
- Blumberg A.F., Mellor G.L. (1987), A description of a 3-dimensional coastal ocean circulation model. In 3-dim coastal ocean Models", *Coastal and Estuarine Science, N.S.Heaps ed., AGU*, 4,1-16
- Ferla M. (2003), " Monitoraggio e previsione dell'acqua alta a Venezia", *Atti della Settima Conferenza Nazionale delle Agenzie Ambientali, Milano*, 24-26 novembre 2003
- Lama R., Corsini S. (2000), *La rete Mareografica Italiana*, Presidenza del Consiglio dei Ministri – Dipartimento per i Servizi tecnici Nazionali – Istituto Poligrafico e Zecca dello Stato, 259
- Nicastro S., Valentinotti F. (1998), *Parallel implementation of a meteorological model on SIMD architecture*, Lecture Notes in Computer Science, Sloat-Bubak-Hetzberger (Eds.), Springer, 1401, 151-159
- Mardia K.V., Jupp P.E. (2000), *Directional Statistics*, J. Wiley, Chichester [etc.], 429, 15-20
- The WAMDI group (1988), "The WAM model – A third generation ocean waves prediction model." *J. Phys. Ocean.*, 18: 1776-1810
- Umgiesser, G., J. Sundermann, and E. Runca (1988), "A semi-implicit finite element model for the Lagoon of Venice", *Proceedings of an International Conference on Computer Modelling in Ocean Engineering*, Venice 19-23 Sept