

Il Sistema Idro-Meteo-Mare e le reti di monitoraggio marino dell'APAT

C. Accadia*, G. Arena**, A. Barbano°, N. Bencivenga**, M. Casaioli*, A. Colagrossi*, S. Corsini°, R. Inghilesi°, S. Mariani*, G. Monacelli°, G. Nardone**, A. Rizzo*

*APAT- Dipartimento Tutela delle acque interne e marine – Servizio Raccolta e Gestione Dati

**APAT- Dipartimento Tutela delle acque interne e marine – Servizio Mareografico

°APAT- Dipartimento Tutela delle acque interne e marine – Servizio Difesa delle Coste

°°APAT- Dipartimento Tutela delle acque interne e marine – Servizio Idrologico e delle acque interne

SESSIONE – Telerilevamento e Reti di Monitoraggio Ambientale
TEMA – Meteorologia e Clima

Abstract

The Hydrology Department of the Agency for the Protection of the Environment and the Technical Services (APAT) is involved in several important hydrological fields, in particular the knowledge and the preservation of the water resources, the analyses of the hydrologic cycle, the knowledge of the marine dynamics, the defence of the coasts from erosion.

The activities in the maritime area, as inherited from the former Department of the National Technical Services, refer basically to two areas, the marine, tidal and meteorological observational networks and the numerical forecast on the Mediterranean scale of the sea state and precipitation by means of a chain of very high resolution models.

The two areas have converged in the direction of an integrated system, the models making use of the observations in the verification and post-processing schemes and the numerical outputs being necessary to extend the punctual observations to areas not covered by instruments, and to short-rang forecasts of intense rainfalls, marine and tidal events.

Sommario

Il Dipartimento Acque Interne e Marine dell'Agenzia per la Protezione dell'Ambiente e per i Servizi Tecnici (APAT) accomuna tra le sue attribuzioni diverse risorse conoscitive nel campo dell'idrologia e del settore marino costiero. Tra le competenze istituzionali ereditate dal Servizio Idrografico e Mareografico Nazionale (SIMN) c'è lo studio della dinamica del mare negli aspetti compresi tra i lenti fenomeni mareali fino alle tempeste. Questa funzione è svolta su due diversi piani, il primo consiste nell'osservazione puntuale ed in tempo reale delle condizioni marine e meteorologiche sulle coste italiane, il secondo è relativo alla previsione numerica, su scala mediterranea, dell'evoluzione dei fenomeni considerati.

I due elementi costituiscono la base di un vero sistema integrato di monitoraggio, nel quale le osservazioni sono usate nelle operazioni di verifica e post-processamento dei modelli numerici, mentre i dati di forecast sono impiegati per estendere le informazioni puntuali fornite dagli strumenti stessi.

1 Il Dipartimento Tutela delle acque interne e marine dell'APAT

Il Dipartimento Tutela delle acque interne e marine dell'APAT, nell'ambito delle competenze e dei fini istituzionali attribuiti all'APAT ai sensi dell'art. 2 del DPR n. 207 del giorno 8 agosto 2002, svolge le attività tecnico-scientifiche per assicurare la tutela, il risanamento, la fruizione e la gestione del patrimonio idrico, nonché i compiti a supporto dello Stato per le funzioni di rilievo nazionale previste dalla normativa. Cura la raccolta e gestione dei dati in raccordo con le altre strutture nazionali e periferiche e i raccordi con gli organismi internazionali di settore.

I compiti e attività nel campo marittimo del Dipartimento consistono in:

- collaborazione con le altre Unità dell'APAT nella raccolta sistematica, anche informatizzata, dell'integrale pubblicazione dei dati sulla situazione ambientale e di tutela del territorio che interessa le acque marine, anche attraverso la realizzazione del sistema informativo e di monitoraggio;
- elaborazione di dati e di informazioni di interesse ambientale che riguardano le acque marine, diffusione dei dati sullo stato delle acque marine, elaborazione, verifica e promozione di programmi di divulgazione e formazione in materia di tutela e fruizione delle acque marine;
- analisi della congruità e dell'efficacia tecnica delle disposizioni normative in materia di tutela delle acque;
- controllo dei fattori fisici, chimici e biologici per la caratterizzazione qualitativa delle acque;
- standardizzazione dei criteri, metodi e strumenti di raccolta, elaborazione e consultazione dei dati relativi all'attività conoscitiva e di gestione e manutenzione delle reti di monitoraggio;
- descrizione dei fenomeni climatici e idrologici in rapporto alle necessità della difesa del suolo ed utilizzazione delle risorse idriche;
- descrizione, di concerto con le altre Unità dell'Agenzia, dei fenomeni marittimi in rapporto alle necessità della difesa del suolo ed alle proposte di utilizzazione delle risorse idriche;
- rilevamento, validazione, archiviazione e pubblicazione delle grandezze relative al clima marittimo, allo stato dei litorali e delle lagune ed ai livelli marini;
- promozione della ricerca di base e applicata sulle acque marine in relazione ai fenomeni di inquinamento, alle condizioni generali e di rischio e alle forme di tutela.

Tali attività e compiti nel campo marittimo sono svolti, dai seguenti Servizi:

Servizio Tutela delle Risorse

Servizio Mareografico

1.1 Il Servizio Mareografico

Le attività fondamentali del Servizio Mareografico sono quelle di:

- a) realizzare, gestire e mantenere le reti di rilevamento Mareografico e Ondametrico per il monitoraggio delle caratteristiche fisiche dei mari italiani;
- b) raccogliere, validare, elaborare e pubblicare i dati raccolti;

il Servizio partecipa infine allo sviluppo di ricerche nei settori di competenza con Università ed Istituti nazionali ed internazionali al fine di dare indirizzi e linee guida nel rilevamento e nello studio della dinamica e della meteorologia marittima; il servizio partecipa in seguito allo sviluppo.

1.2 La Rete Ondametrica Nazionale



Fig. 1.1: La Rete Ondametrica Nazionale al 1.1.2003.

La Rete Ondametrica Nazionale è attiva dal luglio 1989. La RON originaria era composta da otto boe direzionali di tipo pitch-roll, dislocate al largo di La Spezia, Alghero, Ortona, Ponza, Monopoli, Crotona, Catania e Mazara. Ogni boa, ancorata su fondali dell'ordine di 100 metri, segue il movimento della superficie dell'acqua e permette di determinare l'altezza e la direzione delle onde. Gli strumenti sono dotati di un sistema di localizzazione che utilizza il satellite ARGOS per il controllo continuo della posizione.



Fig. 1.2: Boa tipo Pitch-roll.

di tipo pitch-roll e tre costituite da una boa direzionale Datawell-Waverider di tipo a traslazione. Le stazioni sono completate da un centro di ricezione ed elaborazione a terra dei dati inviati via radio dalla boa. La boa Datawell-Wavec segue il movimento della superficie del mare e mediante il sensore Hippy 120 ne misura l'elevazione e le inclinazioni riferite ad una piattaforma inerziale, contenuta all'interno del sensore, che individua il piano di riferimento orizzontale. Per le boe Wavec l'elevazione è ottenuta dalla doppia integrazione dell'accelerazione verticale misurata da un accelerometro montato sulla piattaforma. Le inclinazioni sono ottenute dalla misura del seno degli angoli formati tra gli assi x e y del sistema di riferimento solidale con la boa ed il



Fig. 1.3: Boa tipo waverider a traslazione.

Nel 1999 sono state aggiunte alla rete preesistente nel 1998 le ulteriori boe a traslazione di Cetraro ed Ancona ed è stata sostituita con una ulteriore boa a traslazione la boa pitch-roll di Catania.

La Rete Ondametrica Nazionale era quindi configurata su dieci stazioni di misura, di cui sette costituite da una boa direzionale Datawell-Wavec

di tipo pitch-roll e tre costituite da una boa direzionale Datawell-Waverider di tipo a traslazione. Un sistema di bussole misura le componenti del campo magnetico lungo gli assi del sistema di riferimento solidale con la boa: H_x , H_y , H_z . Da tali componenti del campo magnetico e dalle suddette inclinazioni si ricavano: il valore assoluto e l'inclinazione del campo magnetico terrestre, l'orientamento della boa e le due pendenze locali della superficie dell'acqua nelle due direzioni nord-sud ed est-ovest, che consentono di definire la direzione di propagazione delle onde. La boa Datawell-Waverider misura il moto ondoso mediante il sensore Hippy 40. Una bussola inerziale misura le componenti del campo magnetico H_x e H_y lungo gli assi x e y del sistema di riferimento solidale con la boa, e la direzione dell'asse z, perpendicolare a x e y. In tal modo la posizione della boa rispetto al sistema fisso di coordinate nord, ovest e verticale è completamente determinato. L'elevazione è ottenuta dalla doppia

integrazione dell'accelerazione verticale misurata da un accelerometro montato su una piattaforma stabilizzata. Dalle accelerazioni misurate per mezzo di altri due accelerometri lungo le direzioni x e y solidali con il riferimento mobile della boa vengono calcolate le accelerazioni lungo gli assi fissi orizzontali nord ed ovest. Le tre accelerazioni sono poi sottoposte a doppia integrazione fino ad ottenere i corrispondenti spostamenti e opportunamente filtrate. I valori misurati: elevazione, inclinazioni, Hx, Hy, Hz per le boe tipo pitch-roll ed elevazione e spostamenti in direzione nord e ovest per le boe a traslazione, sono trasmessi, via radio, in continuo dalla boa e vengono ricevuti nella stazione a terra. Il ricevitore fornisce i segnali ricevuti dalla boa in un formato codificato e un apposito computer li decodifica, esegue il controllo sulla qualità dei dati e li pre-elabora.

I dati vengono acquisiti normalmente per periodi di 30 minuti ogni tre ore e con intervalli inferiori nel caso di mareggiate particolarmente significative. Dalle tre serie temporali di elevazione, pendenza nord-sud e pendenza est-ovest per le boe Datawell-Wavec e di elevazione, spostamento nord e spostamento ovest per le boe Datawell-Waverider, vengono ottenuti:

1. i seguenti parametri sintetici:

- Hs (metri) altezza d'onda significativa spettrale;
- Tp (secondi) periodo di picco;
- Tm (secondi) periodo medio;
- Dm (gradi N) direzione media di propagazione;

2. i seguenti parametri spettrali per banda di frequenza :

- densità di energia
- direzione media di propagazione
- dispersione direzionale (spread)
- asimmetria (skewness)
- kurtosis.



Fig.1.4: Boa tipo triaxys.

Nei casi di mareggiate particolarmente significative, con valori di Hs superiori a 3.0 m per Ancona, Pescara, Monopoli, Crotona e Catania, 4.5 m per La Spezia, Ponza, Cetraro e Mazara del Vallo e 5.0 m per Alghero, l'acquisizione dei dati avviene automaticamente in continuo e i dati sono prodotti ogni mezz'ora.

Nella stazione a terra, al ricevitore sono collegati due calcolatori mediante i quali si acquisiscono i dati grezzi trasmessi dalla boa e i dati elaborati, e si trasmettono sintesi dei dati al Centro di controllo e gestione della rete presso la Direzione del Servizio Idrografico e Mareografico Nazionale.

All'inizio del 2002 sono iniziate le attività di potenziamento della RON volte alla realizzazione di un sistema affidabile di monitoraggio e diffusione dei dati in tempo

reale. Dal punto di vista dei parametri osservati non ci saranno variazioni rispetto alle grandezze misurate dal 1989, tranne per l'aggiunta delle elaborazioni nel dominio del tempo (analisi zero-crossing). Minori differenze sono in gran parte dovute alla migliore affidabilità dei dati conseguente all'incremento delle capacità di elaborazione del processore sulla boa, all'uso di sensori allo stato solido e all'aumento della frequenza di campionamento dei sensori.

Gran parte delle modifiche della rete è stata orientata a migliorare l'efficienza generale del sistema, dotando le boe di dispositivi di data-logging per recuperare i dati non trasmessi a terra, potenziando sensibilmente i centri locali di ricezione con elaboratori di tipo industriale Master/Slave in connessione multidrop e telecontrollati, dotando il centro di controllo di un efficiente file system mediante un cluster ad alta disponibilità completamente ridondato e dotando il sistema di warning per i disormeggi di un sistema automatico di posizionamento GPS con trasmissione satellitare della posizione via Inmarsat D+. Il numero delle stazioni è stato infine portato a 14, aggiungendo 4 nuove boe posizionate a Capo Linaro (Civitavecchia, Tirreno Centrale), Capo Gallo (Palermo, Sicilia), Punta della Maestra (alto Adriatico) e Capo Comino (Sardegna Orientale). La diffusione dei dati avviene principalmente via Internet, Televideo RAI e Global Telecommunication System. Gli ondometri direzionali impiegati nella RON dal terzo trimestre 2002 sono tutti TRIAXYS, fabbricati dalla ditta canadese Axys Technologies Inc. modificati per rispondere alle particolari esigenze della RON. La rete sarà comunque in grado di poter gestire tutte le differenti tipologie di ondometro impiegate correntemente in Italia. Il funzionamento ininterrotto della rete ormai di circa quindici anni, con un rendimento complessivo superiore al 90% in termini di dati archiviati, permette di avere a disposizione una gran quantità di dati validi per elaborazioni scientifiche ed ingegneristiche.

Presso il Servizio Mareografico dell'APAT, è operativo il Centro di Elaborazione e Archiviazione Dati, che svolge il servizio di supervisione dello stato della rete, acquisizione di dati sintetici in tempo reale, archiviazione ed elaborazione dei dati storici. Tali attività consistono in particolare nella verifica continua della completa funzionalità dei dispositivi; nell'acquisizione di dati sintetici in tempo reale; nell'archiviazione, elaborazione e distribuzione dei dati.

Il Servizio Mareografico cura direttamente l'elaborazione e produzione dei Bollettini delle Rilevazioni Ondametriche. In queste pubblicazioni trimestrali vengono riportati:

- il funzionamento dei sistemi di rilevamento;
- i tabulati dei dati elaborati: altezza significativa, periodo di picco e direzione media;
- le elaborazioni grafiche delle serie temporali delle altezze significative;
- le elaborazioni grafiche delle analisi spettrali (quando le altezze significative hanno valori superiori alla soglia prefissata per ogni stazione).

Al Bollettino viene allegato un floppy disk contenente i dati in formato ASCII relativi al trimestre considerato.

Dalla fine del 1997 vengono fornite, su richiesta, dati anche in tempo reale ed elaborazioni statistiche e climatologiche per tutto il periodo disponibile.

2.1 Il sistema Idro-Meteo-Mare (POSEIDON)

Il Sistema Idro-Meteo-Mare (SIMM) è stato realizzato per la previsione numerica dei fenomeni idrologici, meteorologici e marini. Il modulo principale è composto da una serie di modelli in cascata, finalizzato da una parte alla previsione delle condizioni meteorologiche al suolo, con particolare attenzione alle precipitazioni ed al vento (QBOLAM), dall'altra alle condizioni del mare su tutto il Mediterraneo (WAVE Model, WAM), per il Mare Adriatico (Princeton Ocean Model, POM) ed infine all'evoluzione dei fenomeni mareali all'interno della Laguna di Venezia, con particolare riferimento al fenomeno delle acque alte (Finite Elements Model, FEM).

Il sistema è stato implementato, realizzato e testato in collaborazione con l'ENEA-CLIM, Gruppo di Dinamica dell'Atmosfera e dell'Oceano.

Il modello ad area limitata QBOLAM (Quadrics BOlogna Limited Area Model) è la versione parallela su macchina QUADRICS (128 processori) del modello BOLAM (Bologna Limited Area model), sviluppato presso l'Istituto di Scienze dell'Atmosfera e dell'Oceano, Consiglio Nazionale delle Ricerche (ISAO-CNR), ora Istituto di Scienze dell'Atmosfera e del Clima (ISAC), sezione di Bologna. Il dominio d'integrazione permette di fornire le previsioni meteorologiche sull'intero Mare Mediterraneo, con un passo di griglia di circa 10 km.

Il sistema viene qui presentato, successivamente viene discusso uno studio preliminare di verifica deterministica e statistica delle previsioni fornite dal modello WAM, utilizzando le osservazioni provenienti dalle stazioni della RON.

2.2 Struttura del Sistema POSEIDON-SIMM

Il sistema previsionale *POSEIDON* (*P*revisional *O*perational *S*ystem for the *m*editerranean basin and the *D*efence of the lagoon of VeNice) è la base del Sistema Idro-Meteo-Mare per la previsione a breve termine dello stato del Mar Mediterraneo e dell'acqua alta a Venezia. Il sistema è composto da un modello meteorologico ad area limitata riscritto per piattaforme parallele tipo *Quadrics* (Bartoloni *et al.*, 1993), un codice per la simulazione del moto ondoso, un codice *shallow-water* per la simulazione della circolazione e dell'elevazione del Mar Adriatico ed un codice agli elementi finiti per la previsione del livello dell'acqua nella laguna. Il sistema, in fase operativa, produrrà 48 ore di previsione meteo-marina con risoluzione di circa 10 km su tutto il bacino Mediterraneo; la previsione dell'elevazione del bacino Ionio-Adriatico avrà una risoluzione crescente arrivando sino a circa 5 km alle bocche della laguna di Venezia e un dettaglio ancora maggiore al suo interno.

2.3 Flusso del Sistema

Per un'immediata comprensione della struttura dell'intero sistema previsionale si riporta in figura 2.1 lo schema logico con cui i vari elementi operano in cascata.

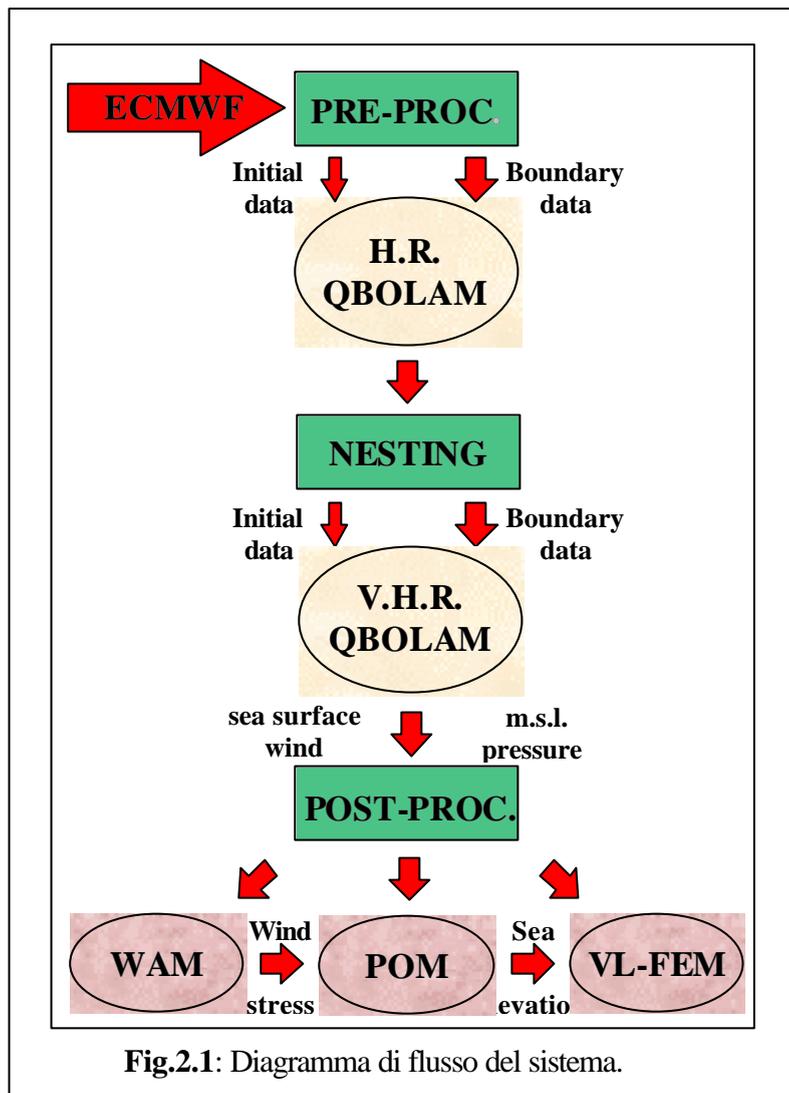


Fig.2.1: Diagramma di flusso del sistema.

Gli elementi rappresentati con ellissi costituiscono i modelli atmosferici (colore giallo) e oceanici (colore rosa) che compongono il sistema. Con rettangoli di colore verde si sono indicati quei codici necessari al pre e post processamento dei dati per i vari modelli. Le frecce rappresentano i dati che vengono scambiati tra gli elementi del sistema.

2.4 I Modelli

Il sistema previsionale è composto da una serie di modelli numerici di tipo atmosferico ed oceanico, eseguiti in sequenza. In questo paragrafo viene riportata una breve descrizione dei vari modelli utilizzati dal sistema previsionale. Per maggiori dettagli relativi ai modelli si rimanda alla bibliografia citata.

2.4.1 Il Modello Meteorologico

Il modello meteorologico ad area limitata utilizzato nel sistema, denominato *QBOLAM* (Nicastro and Valentinotti, 1998) è la versione parallela per supercalcolatori *Quadrics* del modello *BOLAM* (*Bologna Limited Area Model*, Buzzi *et al.*, 1994) sviluppato dal *CNR-FISBAT* di Bologna. *QBOLAM* è un modello tridimensionale esplicito, che integra le equazioni di conservazione della massa, del momento e dell'energia. Le variabili prognostiche sono le componenti longitudinale e latitudinale della velocità del vento, la temperatura potenziale, l'umidità specifica e la pressione superficiale. Il grigliato orizzontale, di tipo "staggered", è quello "C" di Arakawa (1966) (Fig. 2.2) mentre in verticale è stato impiegato il grigliato di Lorentz (1960).

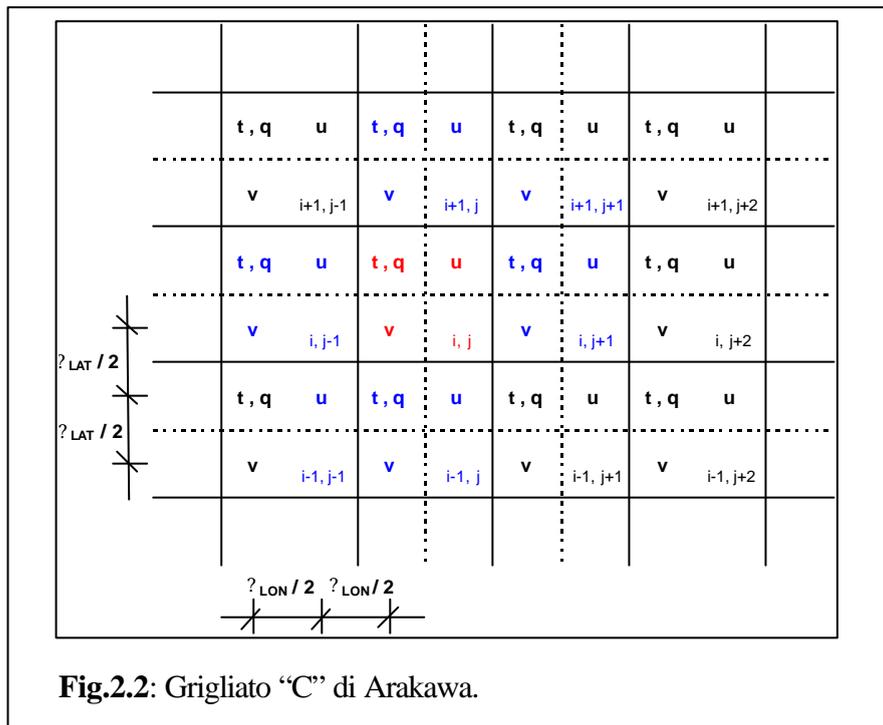


Fig.2.2: Grigliato "C" di Arakawa.

Lo schema numerico utilizzato nel modello per l'avvezione orizzontale e verticale delle variabili prognostiche tridimensionali è denominato *FBAS* (*Forward-Backward Advection Scheme*, Malguzzi *et al.*, 1999). Secondo questo schema, le variabili sono aggiornate prima nei punti pari del grigliato (fase *forward*), poi su quelli dispari (fase *backward*) usando i valori appena calcolati nella fase precedente. In questo modo è possibile utilizzare un *time step* più lungo rispetto a quello massimo consentito da altri schemi espliciti (es. *leapfrog*) e minimizzare la quantità di memoria per immagazzinare le variabili prognostiche. Al fine di ridurre la crescita delle onde gravitazionali, alle variabili prognostiche tridimensionali è applicato un operatore iperdiffusivo del 4° ordine e alla divergenza del momento un operatore diffusivo del 2° ordine. Nel modello è presente un ciclo di *adjustment* (Gadd, 1978) caratterizzato da uno schema numerico *forward-backward* (Mesinger, 1976, 1977) con *time step*

ridotto per i termini delle equazioni primitive che descrivono i modi gravitazionali veloci. La fisica del modello *QBOLAM* include la diffusione verticale (Louis, 1982), il bilanciamento al suolo dell'energia e della quantità d'acqua, una parametrizzazione semplificata per la radiazione (Page, 1986, Ruti *et al.*, 1997), uno schema di Kuo modificato per la convezione dei cumuli (Kuo, 1974) e una parametrizzazione per la precipitazione a larga scala. Il rilassamento delle condizioni al contorno viene effettuato applicando lo schema di Davies (1976), modificato da Lehmann (1993), a tutte le variabili prognostiche.

All'interno del sistema il modello meteorologico viene eseguito a due differenti risoluzioni spaziali. Con la sigla *HR-QBOLAM* (*High Resolution QBOLAM*) si è indicata la configurazione ad alta risoluzione (circa 30 km di passo di griglia orizzontale) e con la sigla *VHR-QBOLAM* (*Very High Resolution QBOLAM*) si è indicata la configurazione ad altissima risoluzione (circa 10 km di passo di griglia orizzontale). Il grigliato del modello *VHR-QBOLAM* copre l'intero bacino del Mar Mediterraneo ed è innestato nel grigliato di *HR-QBOLAM* nella maniera indicata in figura 2.3.

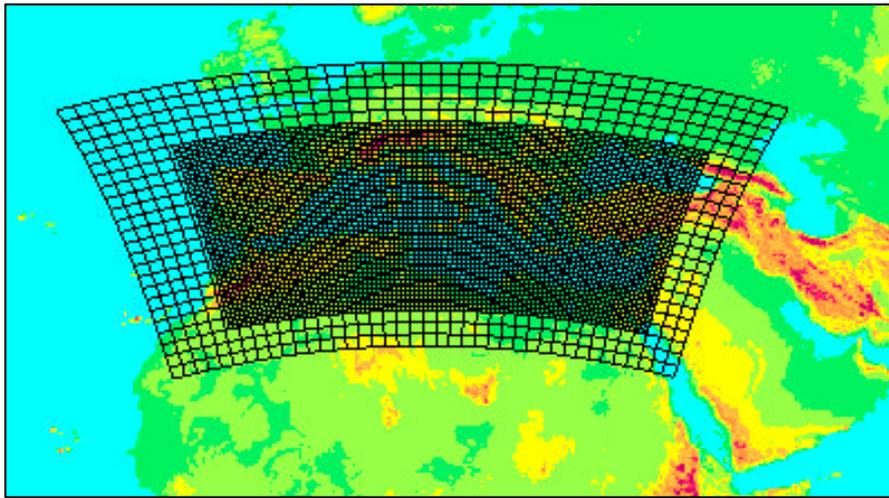


Fig.2.3: Domini computazionali del modello meteorologico per le due risoluzioni spaziali.

2.4.2 Il Modello Spettrale per il Mediterraneo

La previsione dell'ampiezza, della frequenza e della direzione delle onde del Mar Mediterraneo è ottenuta attraverso il modello *WAM* (*Wave Model*, The WAMDI group, 1988). Tale modello descrive l'evoluzione dello spettro delle onde del mare risolvendo le equazioni del trasporto dell'energia. Lo spettro delle onde è modificato localmente da una funzione sorgente che rappresenta l'energia di *input* dovuta al vento, la redistribuzione dell'energia dovuta alle interazioni non lineari e la dissipazione dell'energia dovuta alla rottura delle onde e agli attriti sul fondo. Nella configurazione standard lo spettro delle onde è discretizzato con 12 direzioni e con 21

frequenze che variano da 0.06 Hz a 0.42 Hz . La propagazione dell'energia e l'integrazione della funzione sorgente sono trattate numericamente con tecniche differenti. Il termine avvertivo è integrato usando uno schema *upwind* del primo ordine. La funzione sorgente è integrata con uno schema implicito che permette l'uso di un *time step* più lungo rispetto a quello usato per lo schema esplicito e dell'ordine del tempo di risposta delle onde lunghe.

2.4.3 Il Modello di Circolazione per l'Adriatico

La circolazione nel Mar Adriatico è simulata utilizzando il modello oceanico *POM* (*Princeton Ocean Model*, Blumberg and Mellor, 1987). Sebbene *POM* sia un modello tridimensionale, nel sistema il modello viene utilizzato in approssimazione barotropica in cui le variabili prognostiche sono l'elevazione della superficie libera e la velocità orizzontale mediata verticalmente. Gli schemi numerici utilizzati sono espliciti sia per l'avvezione (*leapfrog* con filtro di Asselin) sia per la diffusione delle variabili prognostiche. La condizione al contorno, ovvero alla superficie libera, è data dallo *stress* superficiale dovuto al vento tenendo conto della rugosità del mare.

2.4.5 Il Modello di Circolazione per la Laguna di Venezia

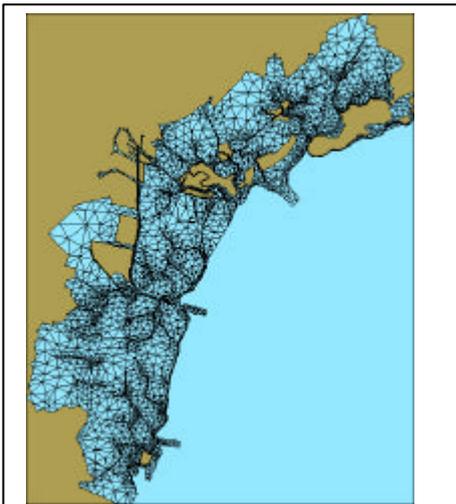


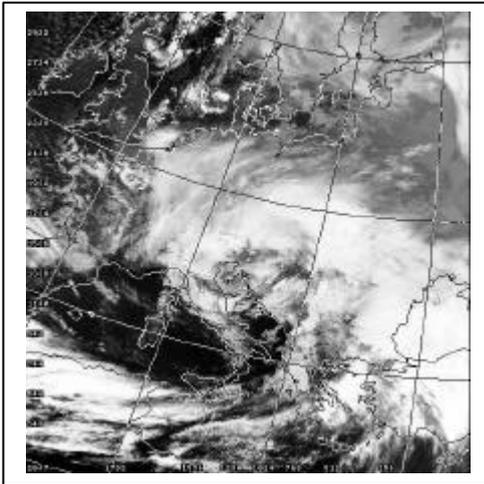
Fig. 2.4: Mesh agli elementi finiti per la Laguna di Venezia.

Il modello per la laguna di Venezia (Umgiesser *et al.*, 1988), in seguito denominato *VL-FEM*, 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 e un metodo semi-implicito alle differenze finite per l'integrazione temporale. Il vantaggio di usare un modello agli elementi finiti è la possibilità di variare la dimensione e la forma degli elementi in maniera tale da poter meglio adattarsi alla complessa morfologia della laguna di Venezia (Fig. 2.4). Il modello richiede, ad ogni *time step*, l'altezza dell'acqua alle bocche di porto e lo *stress* sulla superficie libera della laguna.

3. Previsioni dello stato del mare –Applicazioni del sistema POSEIDON

Il sistema è stato attivato in configurazione prototipale dal giugno 1999, è entrato in fase operativa nel 2001. Una delle principali applicazioni del sistema nel campo marino è stata la ricostruzione degli eventi estremi occorsi lungo le coste italiane.

3.1 L'evento di Natale 1999



L'evento principale, che ha colpito con violenza le coste italiane meridionali tirreniche, è avvenuto il 28-29 dicembre 1999, ed è noto come l'evento di Natale 1999 (The Christmas Event). Si osservano nelle figure 3.1, 3.2, 3.3 la dimensione e alcuni tra gli effetti provocati dall'evento (Le foto sono state gentilmente messe a disposizione dal Prof. L. Franco).



Fig. 3.2: Il mare presso Cetraro poche ore dopo la mareggiata.



Fig. 3.3: Danni provocati dalla mareggiata lungo il litorale in Calabria.

L'analisi dell'evento che emerge dal confronto tra previsioni a 24 ore del WAM-POSEIDON ed osservazioni raccolte dalle boe RON durante l'evoluzione temporale della mareggiata, come indicato nelle figure 3.4 e 3.5, mostra che l'evento è stato previsto correttamente nel suo insieme, con una buona precisione sul mare Tirreno centrale e meridionale, dove più intenso è stato il manifestarsi dell'evento, meno preciso nello sviluppo delle condizioni al largo della Sardegna, in corrispondenza della stazione di Alghero.

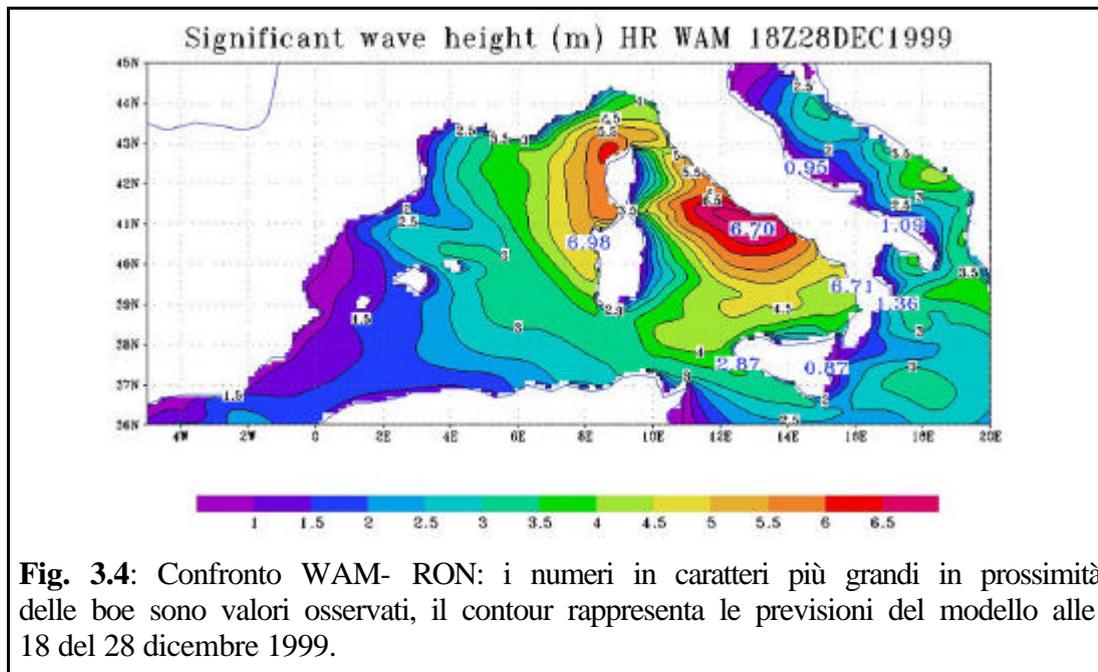
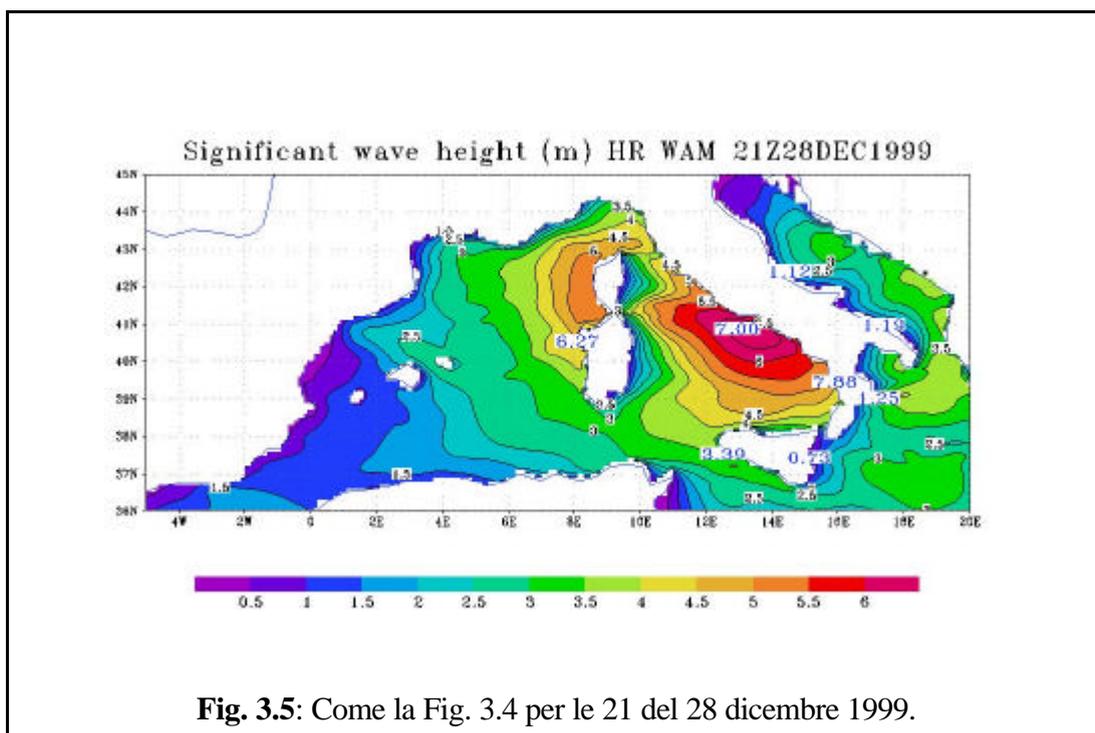


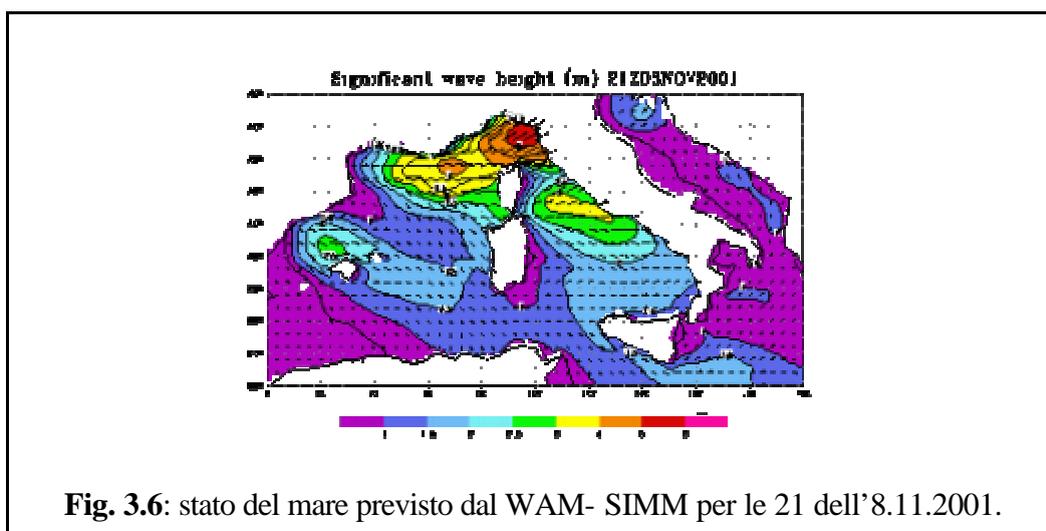
Fig. 3.4: Confronto WAM- RON: i numeri in caratteri più grandi in prossimità delle boe sono valori osservati, il contour rappresenta le previsioni del modello alle 18 del 28 dicembre 1999.

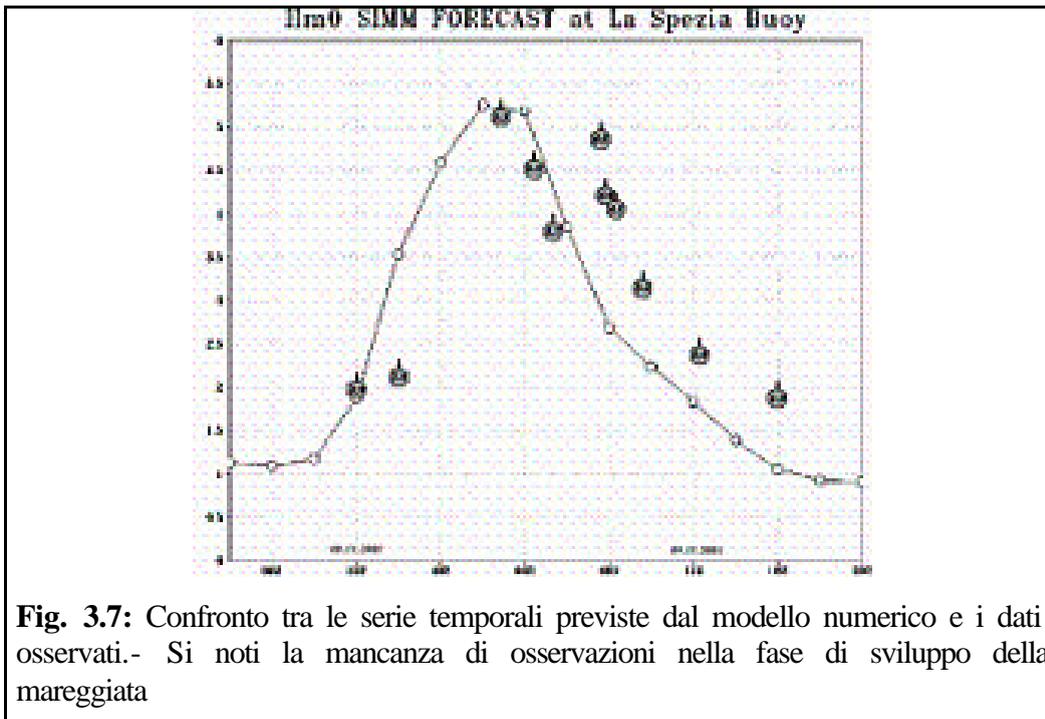
La previsione del valore di picco del WAM (contour) è in ottimo accordo col valore registrato sulla boa di Cetraro (numero grande in prossimità della posizione della boa).



3.2 Ricostruzione di eventi

Un'altra applicazione del modello WAM è la stima delle condizioni del mare in mancanza di osservazioni dirette delle boe, nell'evento seguente lo strumento di La Spezia ha avuto problemi di trasmissione dei dati durante il picco della mareggiata. I dati del WAM sono stati impiegati per stimare l'andamento della mareggiata occorsa sulle coste liguri l'8 Novembre 2001.





3.3 Verifiche preliminari sull'affidabilità del sistema ai fini delle attività operative di forecast

Sono attualmente in corso i confronti tra le stime del modello WAM e le osservazioni nel primo triennio di attività (2000-2002). Tali analisi sono necessarie per valutare le capacità previsionali del modello, in relazione alle possibili tipologie di eventi occorsi in questo primo periodo di attività. Sono rappresentati in figura 3.8-3.11

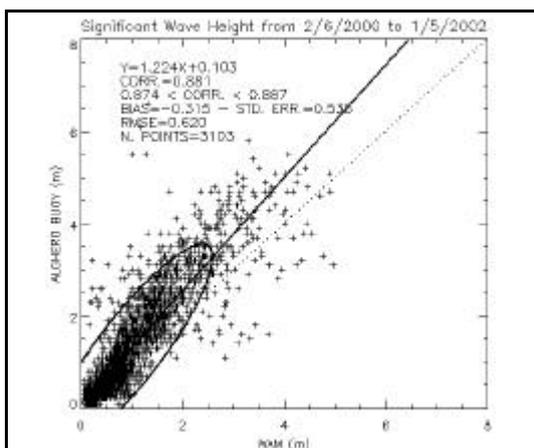


Fig.3.8: Scatter diagram WAM-POSEIDON e osservazioni RON presso la boa di Alghero.

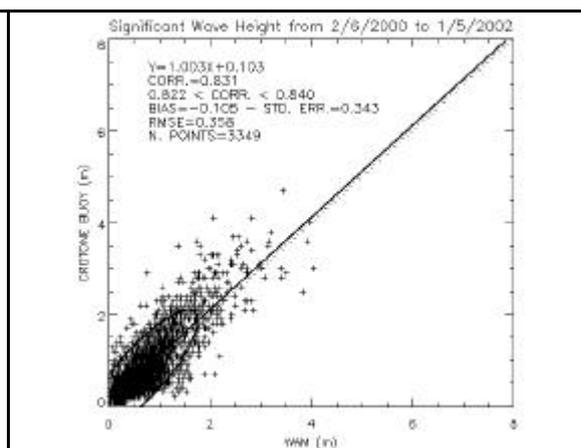


Fig.3.9: Scatter diagram WAM-POSEIDON e osservazioni RON presso la boa di Crotona.

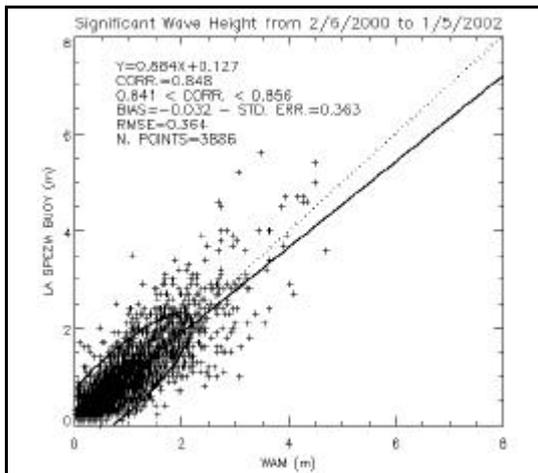


Fig.3.10: scatter diagram WAM-POSEIDON e osservazioni RON presso la boa di La Spezia.

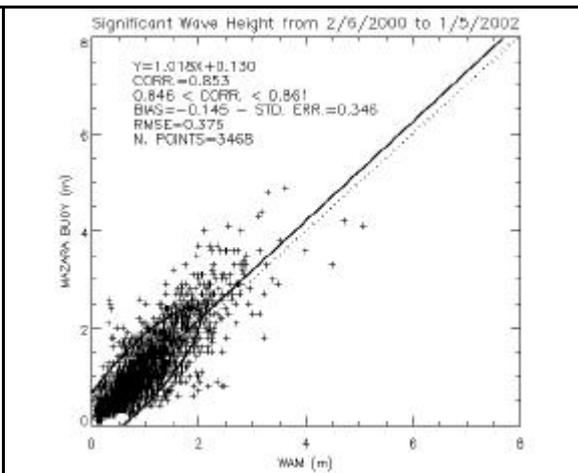


Fig.3.11: scatter diagram WAM-POSEIDON e osservazioni RON presso la boa di Mazara.

I confronti mostrano che, pur in assenza di post-processamento dei dati, il sistema POSEIDON possiede un buona capacità predittiva nelle diverse aree considerate. Si osserva oltretutto che i confronti sono stati effettuati sull'insieme dei dati di altezza significativa triorari, e che quindi l'evoluzione temporale delle mareggiate più rapide (9-12 ore) può essere stata risolta in modo insoddisfacente dal modello. Le capacità predittive del modello possono inoltre essere valutate sulla base del confronto diretto delle serie temporali osservate e previste a 12 ore, durante tre episodi presso le boe di La Spezia (Fig. 3.12), Crotone (Fig. 3.13) e Ponza (Fig. 3.14).

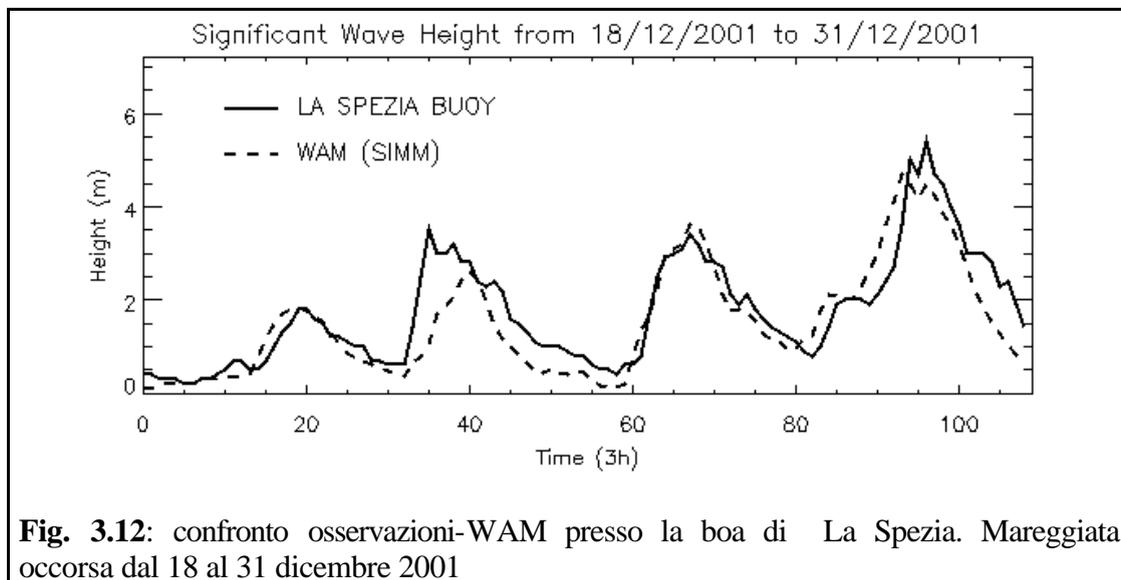
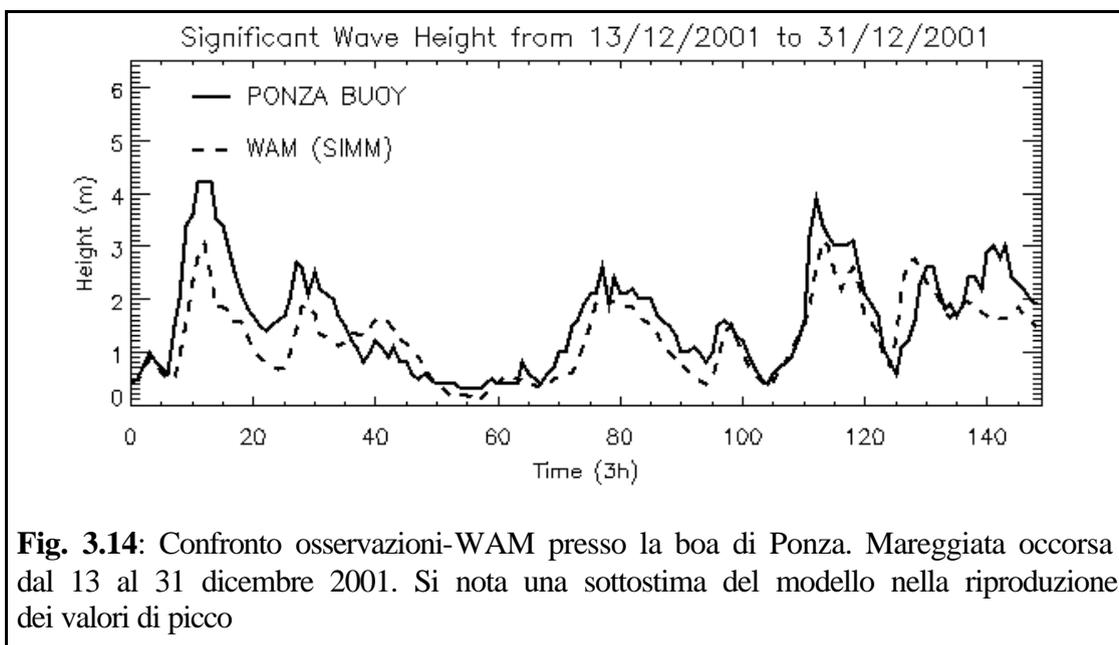
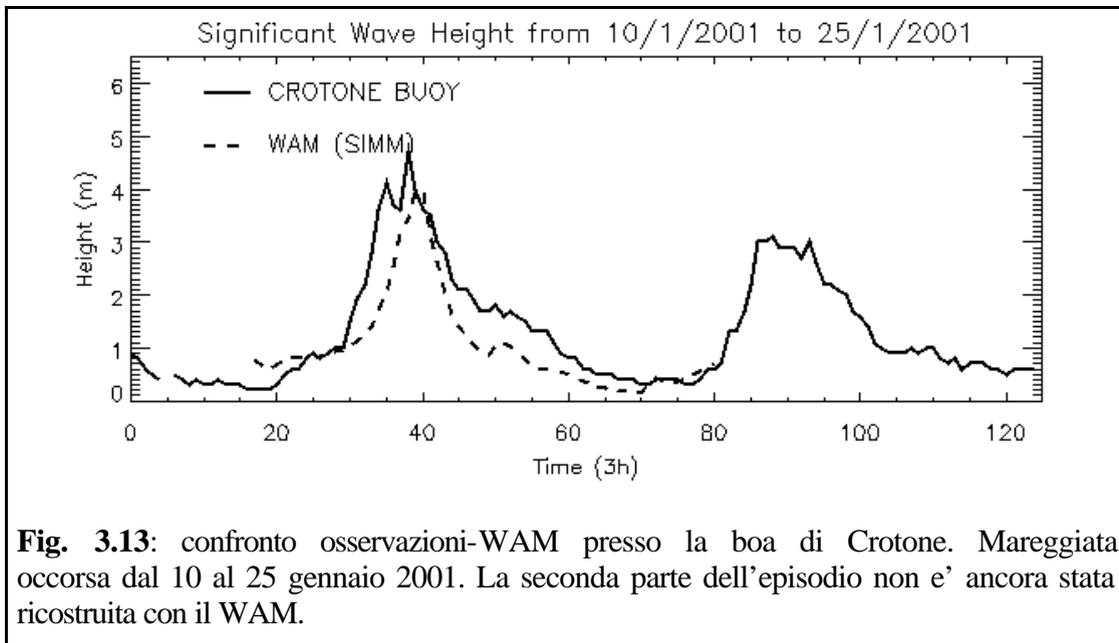


Fig. 3.12: confronto osservazioni-WAM presso la boa di La Spezia. Mareggiata occorsa dal 18 al 31 dicembre 2001

Un fattore da considerare nell'analisi è la crescente influenza della batimetria in prossimità della costa in relazione agli eventi più intensi. In tali casi i confronti delle

previsioni del modello con le osservazioni delle boe possono mostrare significative discordanze dovute al fatto che il modello non è adatto alla riproduzione delle condizioni di propagazione tipo 'shallow water'. Le previsioni al largo potrebbero essere invece maggiormente rispondenti a quanto osservato.



Al momento le attività di sviluppo del sistema prevedono il completamento della fase generale di diagnostica e post-processing dei dati dei modelli WAM, POM, e FEM ai fini delle previsioni dello stato del mare e dei livelli di marea nella laguna di Venezia.

Bibliografia

- Arakawa, A.**, 1966: Computational design for long term numerical integration of equations of fluid motion: Two dimensional incompressible flow. Part I. *J. Comput. Phys.*, **1**, 119-143.
- Batini G, G. Arena, S. Corsini, P. Fiorletti, F. Guiducci, M. Russo**, “Attività del Servizio Idrografico e Mareografico Nazionale in campo marittimo”, XXV Convegno di Idraulica e Costruzioni Idrauliche - Torino 1996.
- Arena G., S. Corsini, F. Guiducci**, “Activities of the National Hydrographic and Oceanographic Service in the maritime field”, PIANC Bulletin, 1997.
- Arena G., S. Corsini, R. Inghilesi**, “The Latest Developments of the National Wave Monitoring System”, International Conference: Monitoring and control of marine and harbour structures, Genova 1999.
- Arena G., S. Corsini, L. Franco**, “The Italian Wave Measurement Buoy Network: 12 years management experience WAVES’01 – San Francisco, sept 2001
- Arseni A., Corsini S., Franco L., Inghilesi R.**, “Analisi della tempesta del 28-29 dicembre 1999 nei mari occidentali italiani”, AIPCN Giornate Italiane di Ingegneria Costiera, Reggio Calabria, 2000
- Bartoloni, A., et al.**, 1993: The software of the APE100 processor. *International Journal of Modern Physics C*, **4**(5), 955-967.
- Bartoloni, A., et al.**, 1993: A hardware implementation of the APE100 architecture. *International Journal of Modern Physics C*, **4**(5), 969-976.
- Benassai E., S. Corsini, F. Guiducci, G. Paoletta**, “Maritime connection to airports:the Messina Strait sea-air integrated transport system”, PIANC Congress, The Hague, 1998.
- Blumberg, A.F., and G.L. Mellor**, 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.
- Buzzi, A., M. Fantini, P. Malguzzi and F. Nerozzi**, 1994: Validation of a limited area model in cases of Mediterranean cyclogenesis: surface fields and precipitation scores. *Meteorol. Atmos. Phys.*, **53**, 53-67.
- Davies, H.C.**, 1976: A lateral boundary formulation for multilevel prediction model. *QJRMS*, **102**, 405-418.
- Corsini S.**, “Misure ed analisi dei parametri meteomarini per la progettazione, l’esecuzione e la gestione delle opere marittime”, Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici e AIPCN-PIANC: Ciclo di seminari sulle opere portuali e di difesa delle coste, Roma 1999.
- Corsini S., F. Guiducci, R. Inghilesi**, “Statistical Extreme Wave Analysis of the Italian Sea Wave Measuring Network Data in the Period 1989-1999” Proceedings of the tenth International Offshore and polar Engineering Conference, Seattle, USA, May 2000
- Corsini S.**, “Il sistema di rilevamento marino” Atti del Seminario: Attività di integrazione ANPA-Dipartimento per i Servizi Tecnici Nazionali in materia di sistemi conoscitivi, Roma 2000
- Gadd, A.J.**, 1978: A split explicit integration scheme for numerical weather prediction. *QJRMS*, **104**, 569-582,.

- Inghilesi R., S. Corsini, F. Guiducci, A. Arseni**, “Statistical Analysis of Extreme Waves on the Italian Coasts in the period 1989-1999” *Bollettino Naz. Di Geofisica*, vol. 41, 2000.
- Lehmann, R.**, 1993: On the choice of relaxation coefficients for Davies’ lateral boundaries scheme for regional weather prediction models. *Meteorol. Atmos. Phys.*, **52**, 1-14.
- Lorentz, E.N.**, 1960: Energy and numerical weather prediction. *Tellus*, **12**, 364-373.
- Malguzzi, P., and N. Tartaglione**, 1999: An economical second order advection scheme for numerical weather prediction, *Q.J.R. Meteorol. Soc.*, **125**, 2291-2303.
- Mesinger, E.**, 1977: Forward-backward scheme and its use in a LAM. *Atmos. Phys.*, **50**, 200-210.
- Mesinger, F., and A. Arakawa**, 1976: Numerical methods used in atmospheric models. *GARP Publication Series, WMO*, **1**(17)
- Nicastro, S., and Valentinotti, F.**, 1998: Parallel implementation of a meteorological model on a SIMD architecture. *Lecture Notes in Computer Science*, Sloot-Bubak-Hertzberger (Eds.), Springer, **1401**, 151-159.
- R. Piscopia, R. Inghilesi, A. Panizzo, S. Corsini, L. Franco**, “Analysis of 12-year wave measurements by the Italian Wave Network” ICCE Conference 2002- Cardiff (UK)
- 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.