



ISPRA

Istituto Superiore per la Protezione
e la Ricerca Ambientale

Tesi di tirocinio di formazione e orientamento

(Convenzione stipulata tra ISPRA e l'Università degli Studi "Roma Tre")

VERIFICA DEI RISULTATI DI MODELLI DI PREVISIONE DI MOTO ONDOSI CON RISCONTRI IN CONTESTI COSTIERI

Ing. Francesca Catini

Tutor dell'Ente Promotore: Prof.Ing. Leopoldo Franco

Tutor ISPRA: Ing. Stefano Corsini

ANNO 2008

Data	Firma Tirocinante	Firma del Tutor ISPRA	Firma Responsabile Servizio ISPRA
	Firma del Tutor Ente Promotore		

Abstract

In questo studio è stato analizzato il funzionamento di un modello di previsione per la caratterizzazione del moto ondoso in prossimità della costa. Il modello di previsione utilizzato è SWAN che è un “wave action model” di terza generazione, cioè dinamico e completamente spettrale in frequenza e direzione.

Sono stati riportati i risultati dell'applicazione del sistema previsionale su una zona dell'alto Tirreno. Le osservazioni effettuate durante le mareggiate del 30 Ottobre e del 22 Marzo sulla boa ondometrica di Marina di Carrara sono state utilizzate per la validazione del sistema previsionale implementato. Le previsioni numeriche relative ai periodi considerati ha evidenziato una significativa sottostima del picco della mareggiata. Il risultato è stato attribuito alla insufficiente risoluzione della batimetria adottata in prossimità della costa..

Prefazione

La corretta previsione degli episodi di mareggiata e' un compito importante con grandi ricadute in campo economico, di protezione civile ed ambientale. Alla sempre migliore affidabilita' degli strumenti numerici di previsione si arriva mediante la costante verifica dei risultati e dei metodi di impiego dei modelli. In questo contesto, il lavoro qui esposto e' paradigmatico per la determinazione delle condizioni di impiego del modello SWAN nella propagazione delle onde a costa in un'area, il Golfo di Genova, dove da sempre le condizioni meteo-marine sono associate a fenomenologie di breve durata e grande intensita'. Il contributo critico del lavoro all'impiego ottimale di modelli di trasporto ondoso su bassi fondali e' di estrema utilita' nella progettazione dei sistemi di previsione dello stato del mare in condizioni di batimetria complessa, come anche all'analisi dei climi ondosì, e quindi alla valutazione dei fenomeni di tipo erosivo ed alla progettazione delle opere di difesa dei litorali.

Indice

1. <u>INTRODUZIONE</u>	4
2. <u>METODOLOGIA</u>	4
3. <u>MAREGGIATE NEL MAR LIGURE</u>	5
4. <u>BOA ONDAMETRICA DI CARRARA</u>	7

MAREGGIATA 30 OTTOBRE 2008

5. <u>WAM</u>	8
6. <u>SWAN</u>	10
7. <u>GRIGLIE DI CALCOLO</u>	11
8. <u>CAMPI DI VENTO DEL ECMWF</u>	12
9. <u>SIMULAZIONI SWAN</u>	14
10. <u>CONFRONTO SWAN-WAM-OSSERVAZIONI</u>	17

MAREGGIATA 22 MARZO 2008

11. <u>SIMULAZIONI SWAN</u>	21
12. <u>SIMULAZIONI WAM</u>	25
13. <u>CONFRONTO SWAN-WAM-OSSERVAZIONI</u>	27
14. <u>CONCLUSIONI</u>	28
15. <u>BIBLIOGRAFIA</u>	30

Introduzione

La problematica presa in esame riguarda la verifica dei risultati di modelli di previsione di moto ondoso con riscontri in contesti costieri attraverso l'applicazione a due casi nel Mar Ligure. Si farà riferimento all'ultima grande mareggiata occorsa il 30 Ottobre 2008 e alla mareggiata del 22 Marzo 2008 entrambe avvenute nel Mar Ligure.

Per la validazione dei sistemi previsionali implementati, verranno confrontati i risultati delle simulazioni con i dati disponibili presso le stazioni di misura in prossimità della costa. In particolare, verranno confrontati i risultati dell'applicazione del sistema previsionale WAM e quelli della propagazione delle condizioni di moto ondoso da largo verso riva effettuate con il modello di calcolo SWAN, con i dati ondametrici misurati dalla stazione di Marina di Carrara.

Metodologia

La procedura seguita si è basata, dapprima, sul reperimento dei dati di vento relativi al periodo della mareggiata in esame. La sorgente base per i dati di vento è stato il Centro Meteorologico Europeo (ECMWF). Le analisi del vento ottenute sono state implementate nel modello di calcolo SWAN per tenere conto della generazione di onde sotto l'azione del vento (mare vivo). Tale modello, infatti, è in grado di simulare, oltre alla rifrazione ed allo shoaling, anche i fenomeni dissipativi e la generazione delle onde ad opera della forzante eolica.

E' stata scelta una prima griglia di calcolo a larga scala (passo della griglia 5000 m). Allo scopo di studiare con maggiore dettaglio la propagazione delle onde nell'area di interesse, è stata creata una seconda griglia a maggiore risoluzione (passo griglia 1000 m), innestata alla prima che consente di migliorare la risoluzione spaziale del calcolo nell'area di interesse. Infine i risultati ottenuti su questa griglia sono stati implementati su una terza griglia con una maglia più fitta (passo griglia 100 m). I dati previsti e propagati a riva sono stati infine confrontati con le registrazioni della stazione di Marina di Carrara, posta su fondali di 13,5 m e quindi in prossimità della costa e con le previsioni del moto ondoso ottenute con il WAM del Sistema Idro-Meteo-Mare.

Mareggiate nel Mar Ligure

Il bacino del Mediterraneo è spesso caratterizzato da forti venti che agitano i mari, con la formazione di depressioni locali intorno a cui possono ruotare impetuose correnti che raggiungono e superano i 100Km/h. Quando il vento si presenta con una certa intensità e persiste per più giorni, le coste direttamente esposte alla traiettoria della forzante eolica, possono così subire violenti attacchi ad opera di onde in grado di danneggiare le strutture contro cui si infrangono. Tutti i mari che bagnano l'Italia sono soggetti a simili fenomeni, visto che l'origine del moto ondoso dipende dalla direzione di provenienza del vento e dall'ampiezza dello specchio di mare su cui si trovano a scorrere. Osserviamo nel dettaglio il Mar Ligure, chiuso a semicerchio dalle due riviere, quella di Levante e quella di Ponente.



Figura 1: Mareggiata del 30 Ottobre Genova

Quando il vento proviene da sud-ovest, origina forti mareggiate che si abbattono soprattutto sulla riviera di levante e sulle coste dell'alta Toscana, da Genova alle Cinque Terre e alla Versilia. Tipica la sua presenza in caso di transito di una perturbazione atlantica: durante il passaggio del fronte i venti assumono una componente sud-occidentale che, con la formazione di una depressione sul Golfo di Genova, può originare raffiche superiori a 100Km/h. Quanto alla Riviera di Ponente, vista l'orografia della costa, sarà invece un forte e continuo vento di scirocco a determinare forti mareggiate.

Risale al 30 Ottobre 2008 la peggior mareggiata degli ultimi trent'anni che ha avuto il suo epicentro tra Voltri e Camogli. Tra la base degli stabilimenti balneari e ciò che resta della spiaggia a Camogli ora c'è un dislivello di due metri, scavato dall'incredibile violenza di onde alte nove metri, che giovedì 30



Figura 2: Mareggiata del 30 Ottobre Genova

Ottobre hanno letteralmente divorato anche la scogliera - venti metri di enormi massi - del pennello di protezione del litorale a levante della chiesa, distruggendo le strutture balneari e marinare, spezzando e affondando anche tre grosse imbarcazioni. A Bogliasco la furia del mare ha sollevato e spezzato la struttura in cemento armato e massi del molo frangiflutti, facendo letteralmente sparire il faro sulla punta e buona parte della scogliera di protezione, con pesanti danni anche alla passeggiata.



Figura 3: Mareggiata del 30 Ottobre Genova

Boa ondametrica di Carrara

La boa ondametrica di Carrara, ubicata in posizione geografica $44^{\circ},0214'N$, $10^{\circ}.0361'E$, ancorata su un fondale di circa 13.5 m, a circa 600 m dall'imboccatura del porto di Marina di Carrara, è operativa a partire da Ottobre 2005. La boa fa parte della strumentazione del "Sistema di Monitoraggio Meteomarinò del porto di Marina di Carrara".

Il nostro studio prende in esame l'ultima grande mareggiata occorsa il 30 Ottobre 2008 e la mareggiata di Marzo 2008. Ci interessano in particolare le registrazioni dal 28 Ottobre 2008 alle ore 00:00 fino al 31 Ottobre 2008 alle ore 18:00 per quanto riguarda la prima mareggiata e dal 19 Marzo 2008 alle ore 00:00 fino al 30 Marzo 2008 alle ore 18:00 per la seconda mareggiata considerata. I dati registrati dalla boa per la mareggiata di Marzo sono disponibili però solo dal 21 Marzo alle ore 00:00 fino al 21 Marzo alle ore 20:00; successivamente l'ondametro ha smesso di funzionare.

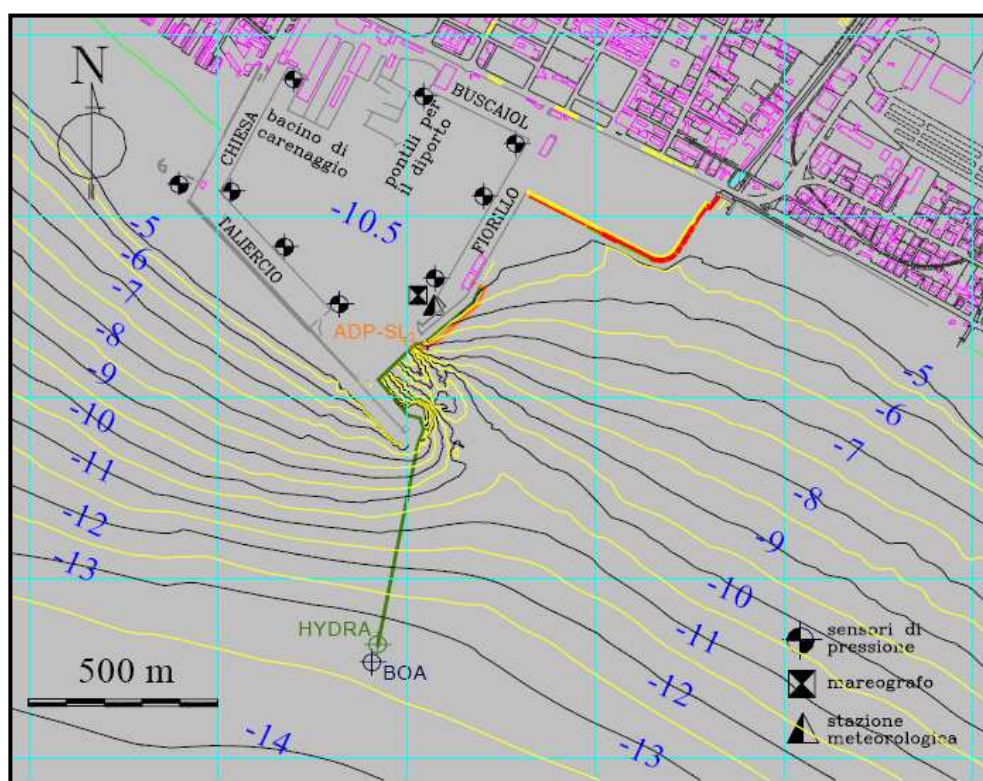


Figura 4: Inquadramento geografico Boa di Carrara

MAREGGIATA 30 OTTOBRE 2008

WAM

La previsione dei parametri meteomarini viene attualmente effettuata attraverso l'impiego di modelli numerici in grado di fornire informazioni su scala oceanica. Tra i modelli più utilizzati vi è il WAM che è di tipo spettrale di terza generazione. Prenderemo in esame le previsioni fornite dal WAM del Sistema Idro-Meteo-Mare dell'ISPRA per la mareggiata considerata. Il WAM è un modello che determina l'energia del moto ondoso, e quindi la sua distribuzione spaziale e temporale, ed ha bisogno, come unico termine forzante, del vento superficiale. In questo caso il campo di vento superficiale è ottenuto dalle previsioni fornite dal modello meteorologico QBOLAM dell'ISPRA. Entrando più nel dettaglio il WAM 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. La risoluzione spaziale utilizzata è di 10 Km su tutto il Mediterraneo. Si riporta di seguito l'andamento dell'altezza d'onda prevista il 28 Ottobre alle ore 12:00 sulla boa di Marina di Carrara per il periodo compreso tra il 29 Ottobre alle ore 03:00 e il 31 Ottobre alle ore 00:00 e le mappe di previsione del moto ondoso per il giorno della mareggiata (30 Ottobre 2008).

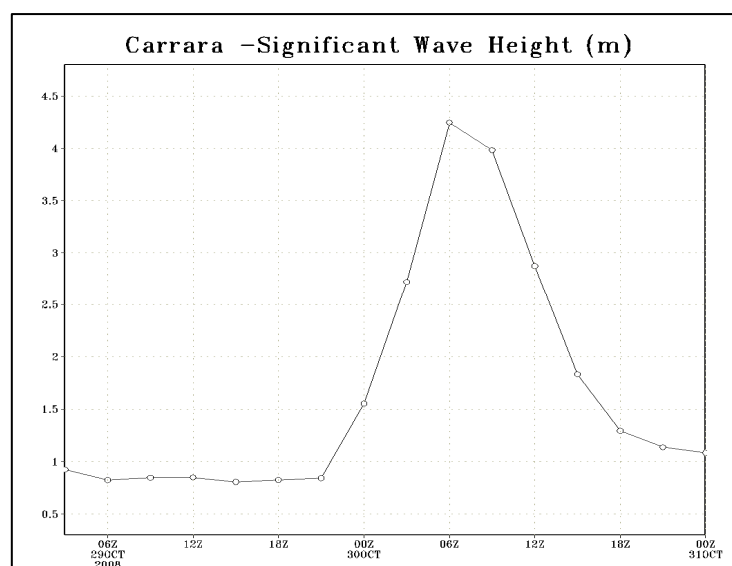


Figura 5: Andamento dell'altezza d'onda prevista dal WAM

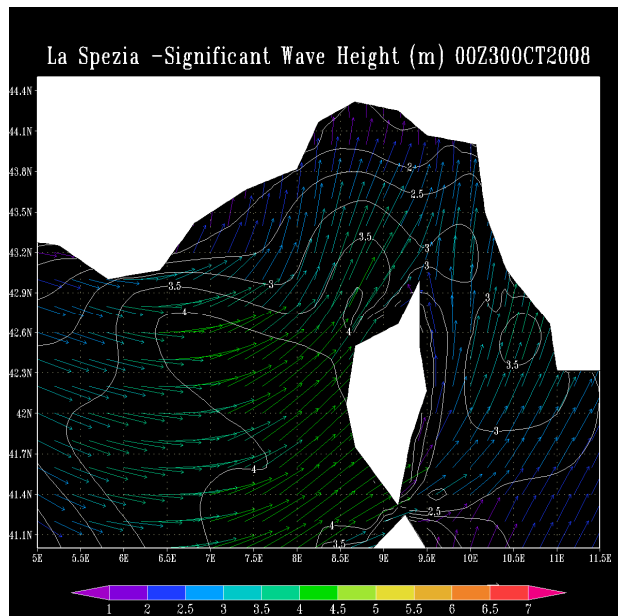


Figura 10: Mappa del 30 Ott. ore 00:00

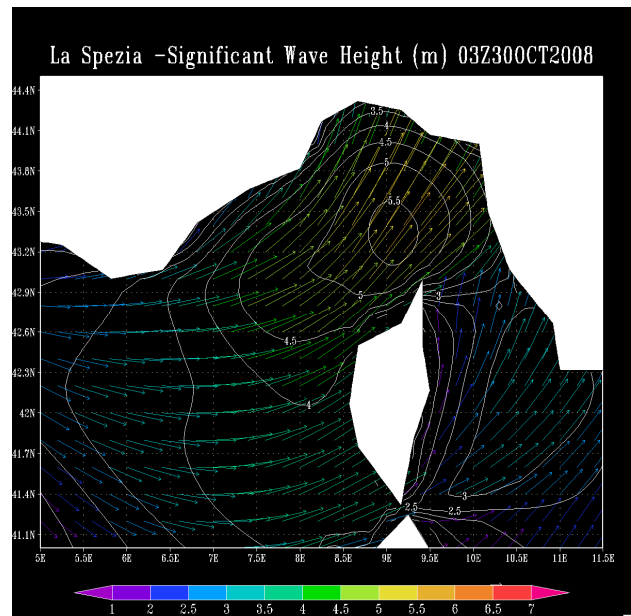


Figura 11: Mappa del 30 Ott. ore 03:00

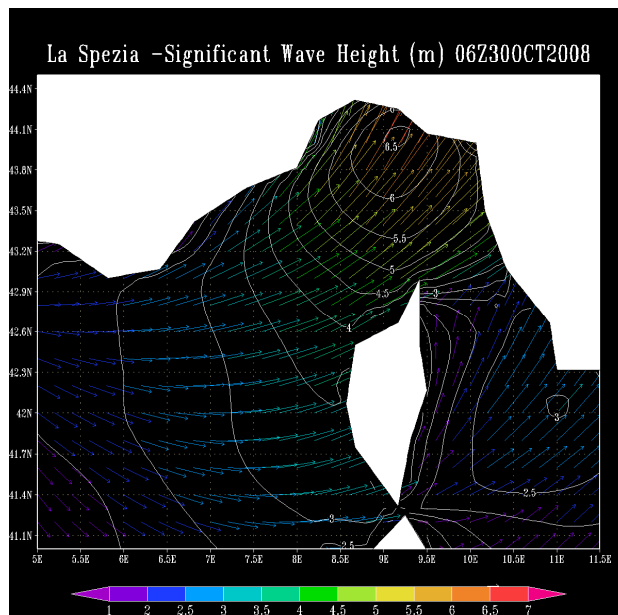


Figura 9: Mappa del 30 Ott. ore 06:00

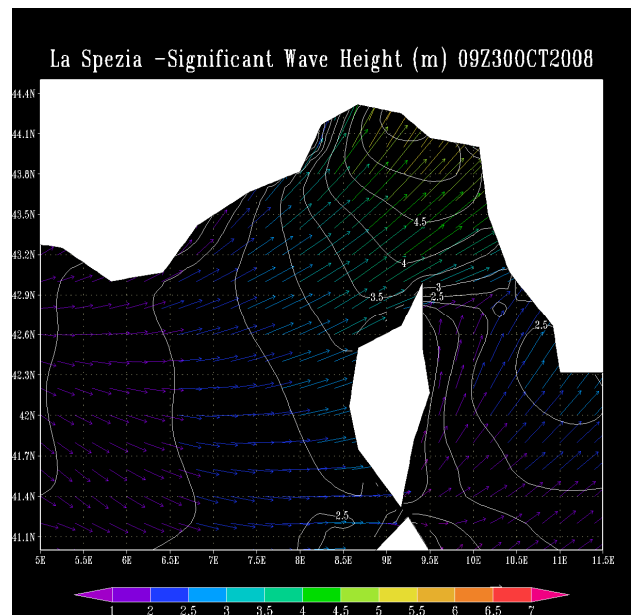


Figura 8: Mappa del 30 Ott. ore 09:00

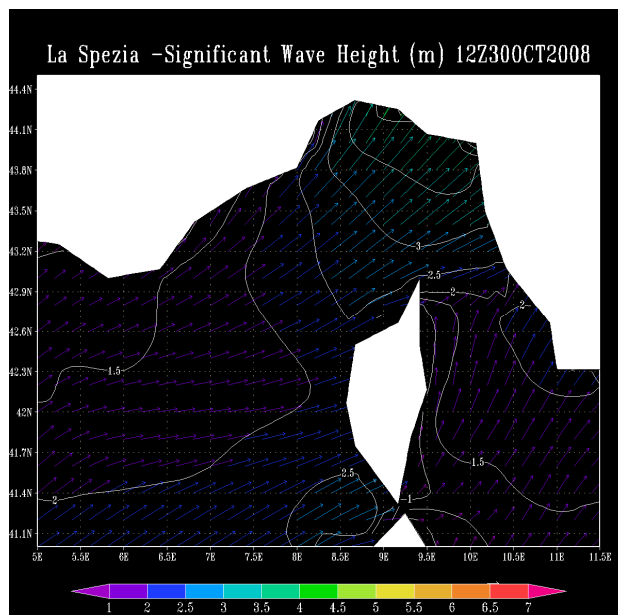


Figura 6: Mappa del 30 Ott. ore 12:00

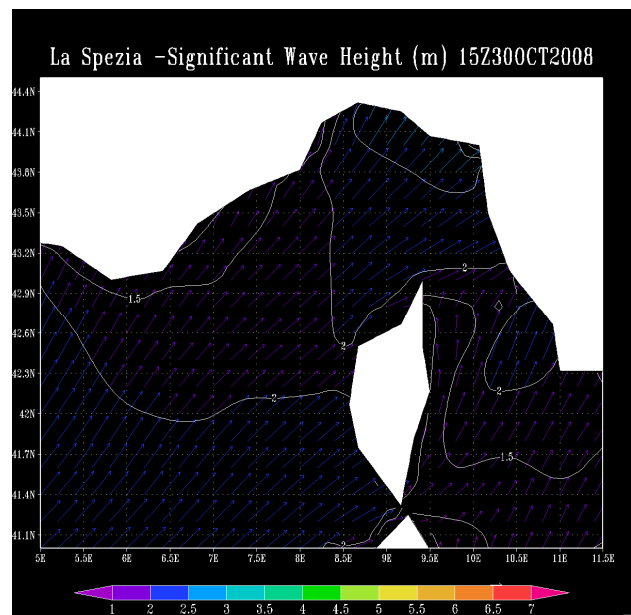


Figura 7: Mappa del 30 Ott. ore 15:00

SWAN

La propagazione del moto ondoso da largo a riva è stata effettuata utilizzando il modello SWAN, che è del tipo alle differenze finite. SWAN è un “wave action model” di terza generazione, cioè dinamico e completamente spettrale in frequenza e direzione. Ha un’implementazione fisica ed algoritmi di calcolo numerico sviluppati e studiati appositamente per superare le tradizionali difficoltà incontrate nell’applicazione di un modello d’onda in zone costiere caratterizzate da basse profondità.

Il modello SWAN può tenere conto dei seguenti processi: rifrazione dovuta al fondo e ai gradienti di corrente, shoaling dovuto al fondo e ai gradienti di corrente, riflessione dovuta alla corrente. Il modello inoltre considera le seguenti forzanti/processi dissipativi: generazione dovuta al vento, dissipazione dovuta al whitecapping, frangimento, attrito al fondo, redistribuzione dell’energia sullo spettro dovuta ad interazioni non lineari (interazioni a tre e a quattro onde). La diffrazione e la riflessione non sono modellati da SWAN.

La scelta del codice SWAN risiede nel fatto che il software è disponibile gratuitamente e facilmente reperibile in rete.

Griglie di calcolo

Nel presente studio la propagazione del moto ondoso da largo a riva è stata effettuata utilizzando tre griglie di calcolo. La prima griglia ha un passo, costante in x e y, pari a 5000 m e dimensioni di 750 Km lungo la x e di 600 Km lungo la y, e presenta quindi 151 nodi x e 121 nodi y. La seconda griglia di calcolo è annidata alla prima ed ha una maglia più fitta, con passo pari a 1000 m, e dimensioni di 250 Km lungo la x e di 136 Km lungo la y e presenta quindi 251 nodi x e 137 nodi y. La terza griglia di calcolo innestata alla seconda ha un passo di 100 m e dimensioni di 15 Km lungo la x e di 18 Km lungo la y, quindi 151 nodi x e 181 nodi y. Tutte le griglie hanno l'asse y ruotato in senso antiorario di 315° rispetto al Nord. Le linee batimetriche sono state fornite dall'Istituto Idrografico della Marina nel riferimento UTM33S.

I risultati delle simulazioni basate sulla griglia più estesa, tramite l'operazione di 'nesting', verranno utilizzati come input per le simulazioni *annidate*.

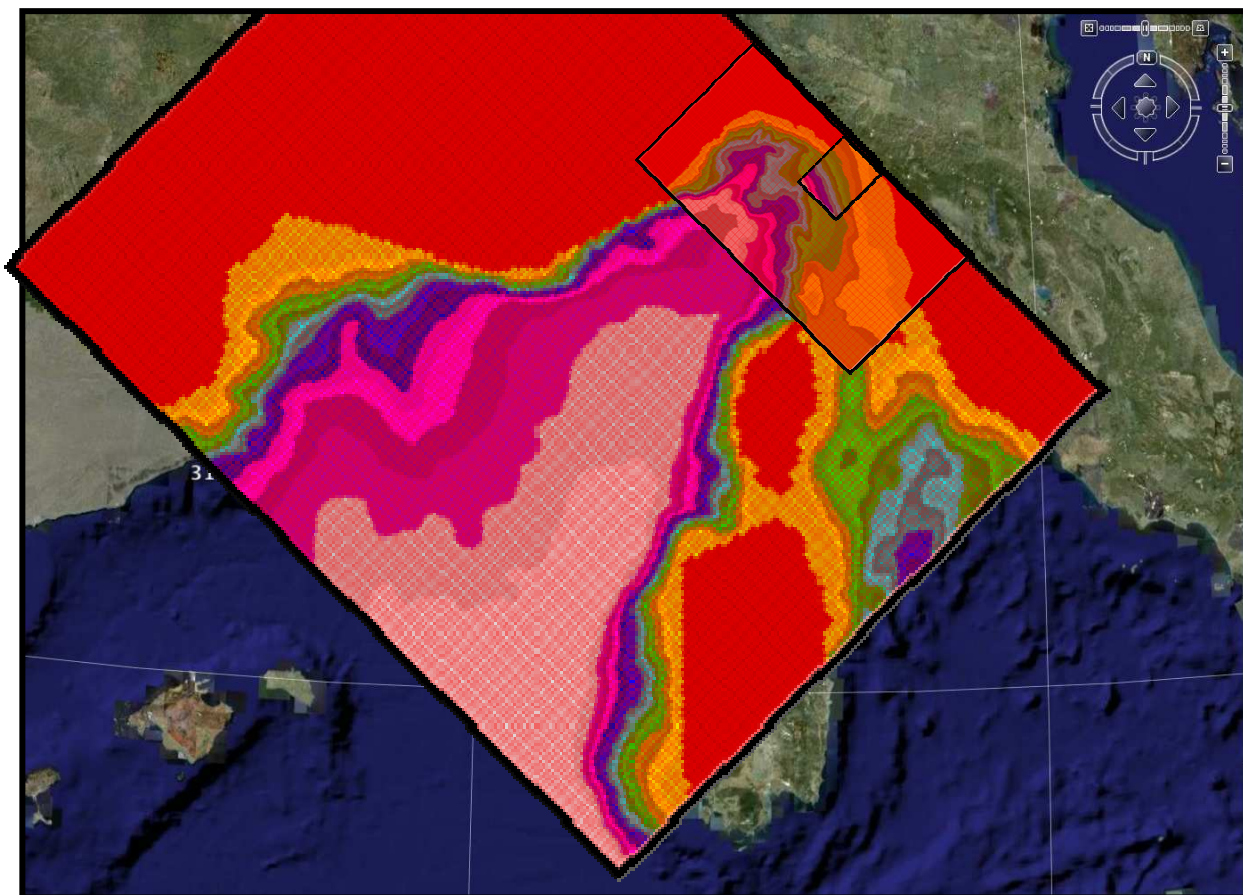


Figura 12: Griglie di calcolo

Analisi di vento del ECMWF

Ad intervalli fissi, ogni sei ore, questo Centro effettua una analisi delle condizioni iniziali e lancia la simulazione per i 10 giorni seguenti, utilizzando una griglia di 25 km, e mette a disposizione di tutti gli stati membri i propri risultati.

Dal 1979, l'European Center of Medium-range Weather Forecast (ECMWF) di Reading in Inghilterra, sta seguendo la procedura "Analisi" per l'assimilazione ed integrazione delle osservazioni meteorologiche in una rete di punti distribuiti sul globo terrestre, per produrre il campo di inizializzazione del modello meteorologico di previsione. Nel corso degli anni, il modello è stato migliorato sia nella risoluzione spaziale sia nella parametrizzazione dei processi fisici e regolarmente aggiornato. L'analisi dei dati di un modello a circolazione generale, come quello ECMWF, consente di filtrare fenomeni locali. Questo filtro da una parte riduce la "risoluzione" del modello, ovvero la sua capacità di distinguere tra le diverse aree meteo-climatiche a piccola scala, dall'altra rivela con maggior chiarezza la distribuzione spaziale dei fenomeni, mettendo in luce le strutture a grande scala dei parametri meteo-climatici che potrebbero essere nascosti dalle analisi delle stazioni meteorologiche. Queste ultime, infatti, risentono maggiormente di eventuali fattori locali e del problema della rappresentatività del dato.

Si riportano di seguito le mappe del vento, con un intervallo di sei ore, relative al giorno in cui si è verificata la mareggiata nel Golfo di Genova, il 30 Ottobre 2008.

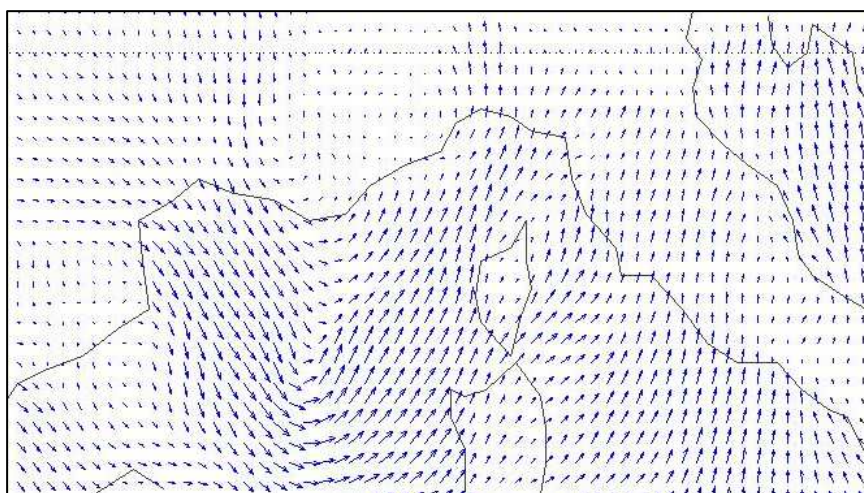


Figura 13: Mappa del vento del 30/10/2008 ore 00:00

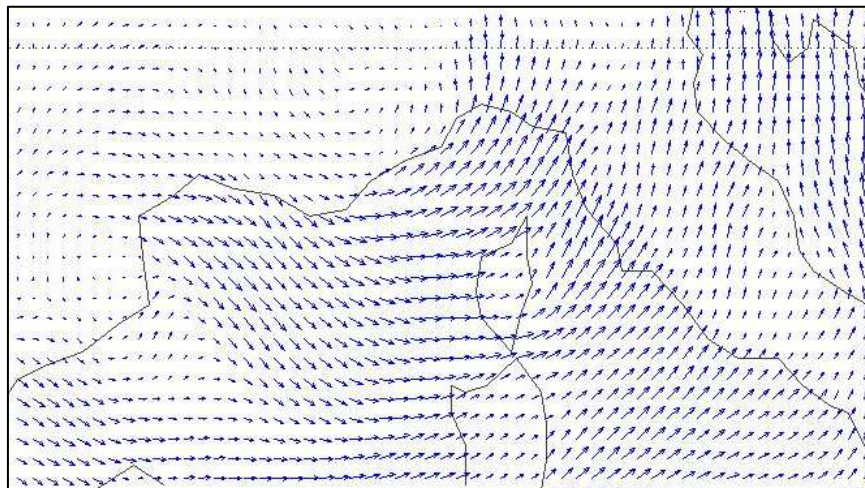


Figura 14: Mappa del vento del 30/10/2008 ore 06:00

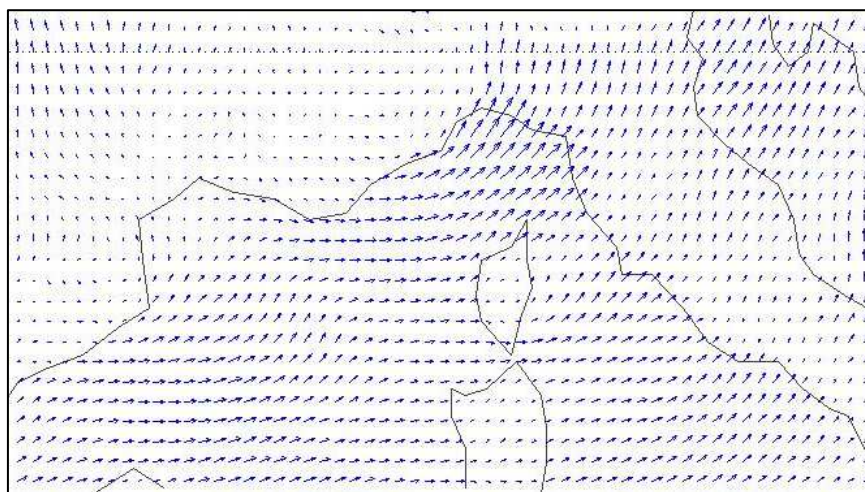


Figura 15: Mappa del vento del 30/10/2008 ore 12:00

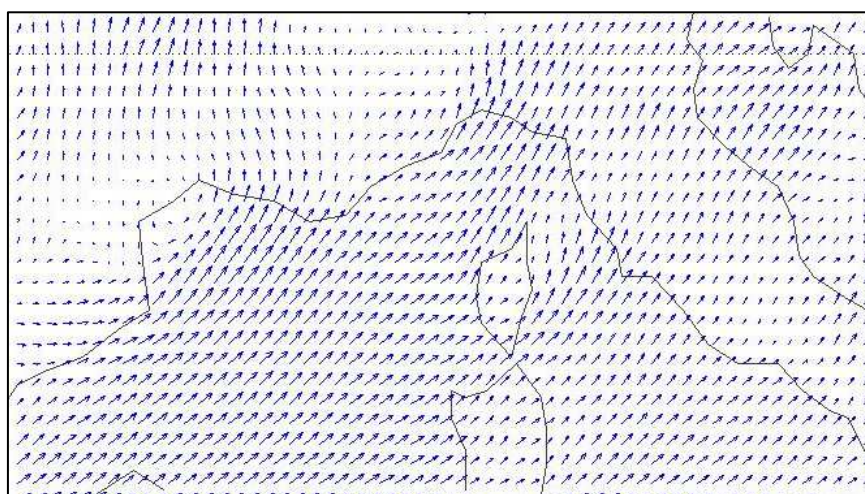


Figura 16: Mappa del vento del 30/10/2008 ore 18:00

Simulazioni con SWAN

Per tenere conto della generazione di onde sotto l'azione del vento, con il modello di calcolo SWAN sono state utilizzate le analisi del vento del ECMWF (Centro Meteorologico Europeo). Si fa riferimento all'ultima grande mareggiata occorsa alla fine dell'inverno 2008 nel Mar Ligure, dunque al periodo che va dal 28 Ottobre 2008 alle ore 00:00:00 fino al 31 Ottobre 2008 alle ore 18:00:00.

Per migliorare l'accuratezza delle simulazioni, sono state modificate alcune impostazioni numeriche di SWAN. E' stato imposto al modello di terminare le iterazioni solo se il cambiamento dell'altezza d'onda e la variazione del periodo medio tra due iterazioni consecutive fosse minore di un certo valore. La prima simulazione in condizioni non stazionarie è stata condotta utilizzando come time step per la 'non-stationary computation' dieci minuti. Si riportano di seguito gli output grafici del campo d'onda ottenuti per le tre griglie di calcolo e l'andamento dell'altezza d'onda previsto da questa prima simulazione sulla boa di Carrara.

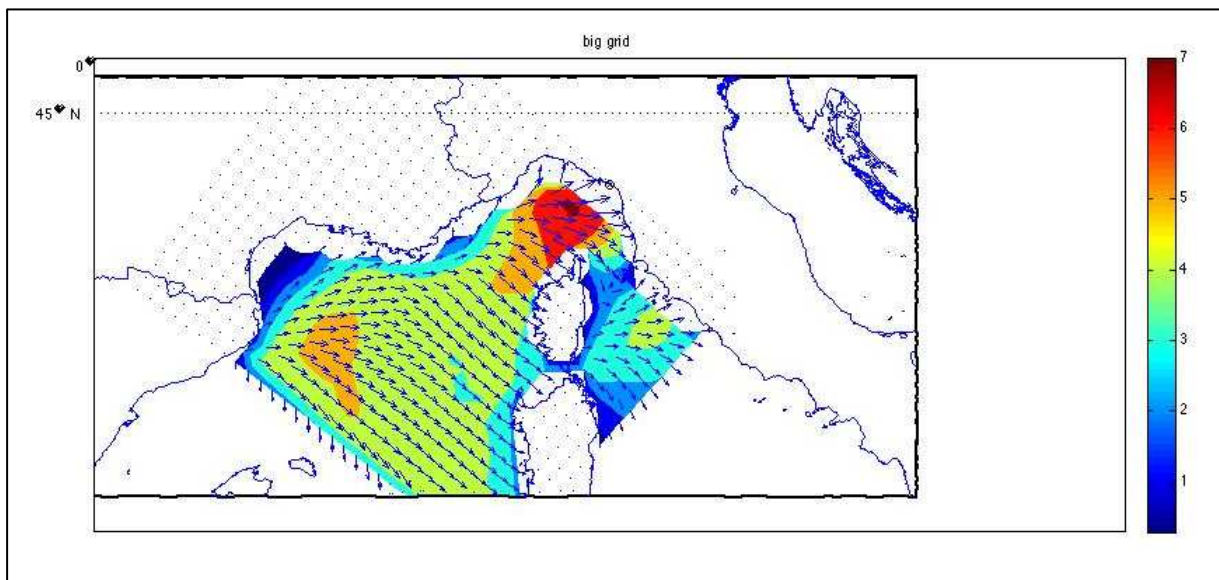


Figura 17: Altezza e direzione moto ondoso, griglia grande

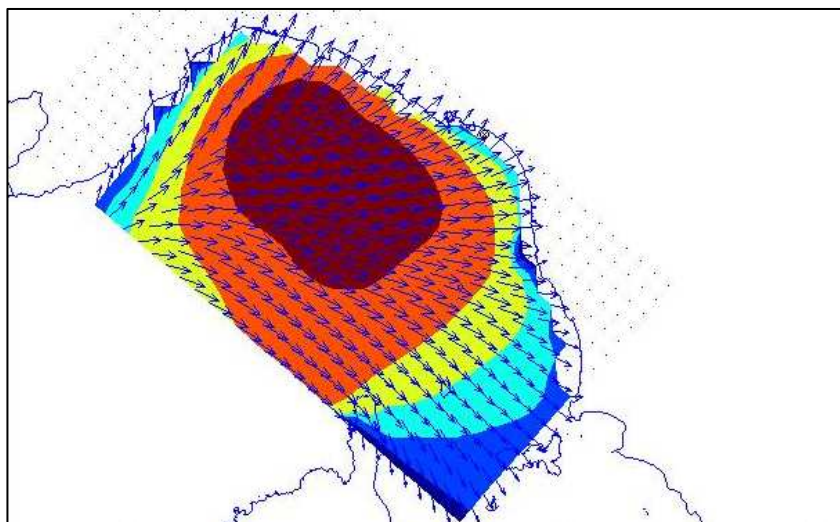


Figura 18: Altezza e direzione moto ondoso, griglia intermedia

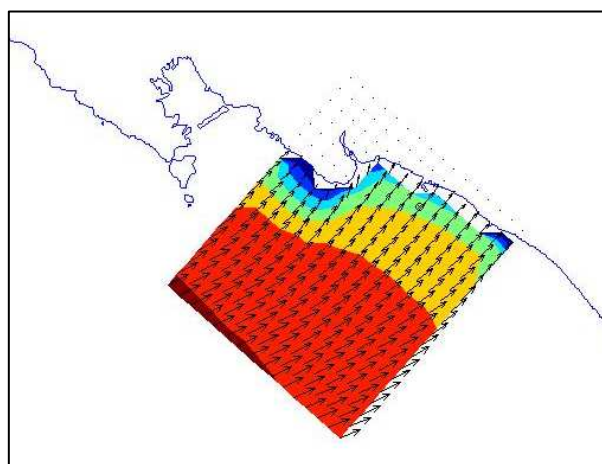
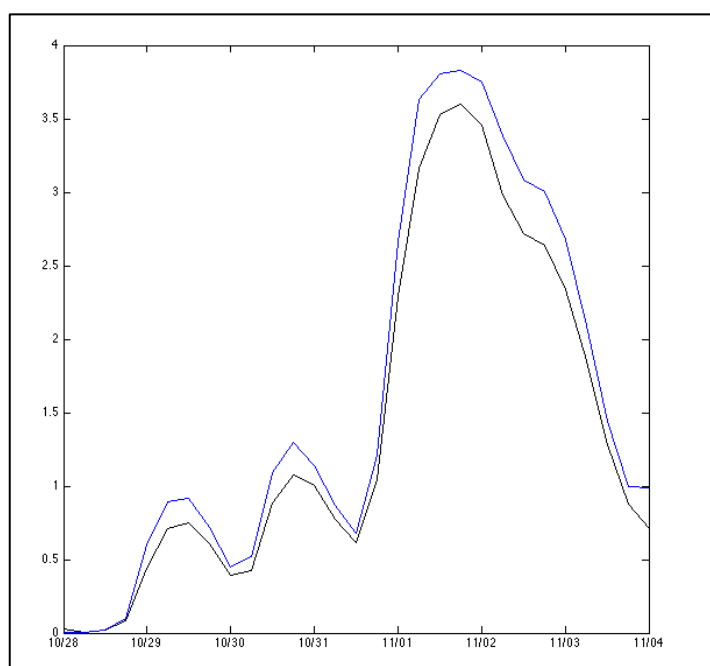


Figura 19: Altezza e direzione moto ondoso, griglia piccola



**Figura 20: Andamento dell'altezza d'onda previsto sulla Boa di Carrara;
nero: griglia con passo 1000m blu: griglia con passo 100m**

Il grafico di fig.21 evidenzia i vantaggi che si sono ottenuti adottando una terza griglia a maggiore risoluzione (passo griglia 100 m), innestata alla seconda (passo griglia 1000 m) che consente di migliorare la risoluzione spaziale del calcolo nell'area di interesse. Di seguito si riporta lo *scatter diagram* che permette di verificare l'esistenza o meno di una correlazione statisticamente significativa tra i risultati ottenuti nelle due griglie di calcolo. La distribuzione generale delle unità di rilevazione mostra che esse risultano nel complesso allineate lungo la retta di regressione. La distribuzione così evidenziata indica con chiarezza che i due attributi presi in esame sono tra loro correlati. E' evidente inoltre che l'incremento di altezza d'onda ottenuto con l'operazione di nesting, risulta maggiore sulle onde più basse.

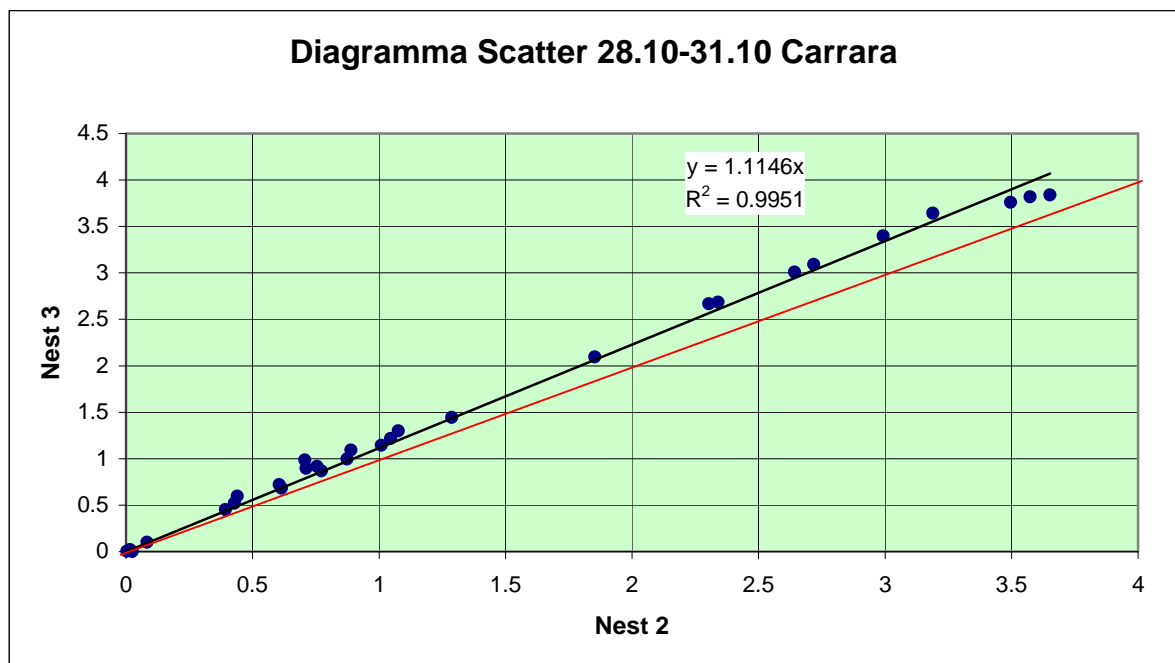


Figura 21: Scatter Diagram 28/10/2008 - 31/10/2008 Carrara

Per risolvere le variazioni temporali del campo d'onda stimato è bene che il time step per la 'non-stationary computation' sia sufficientemente piccolo soprattutto nelle griglie di dettaglio ove vi è un maggior gradiente di profondità, affinché il sistema arrivi a convergenza. Provando ad utilizzare un time-step di due minuti non si sono notate grandi variazioni nei risultati ottenuti se non dopo il picco della mareggiata come mostrato in Figura 22.

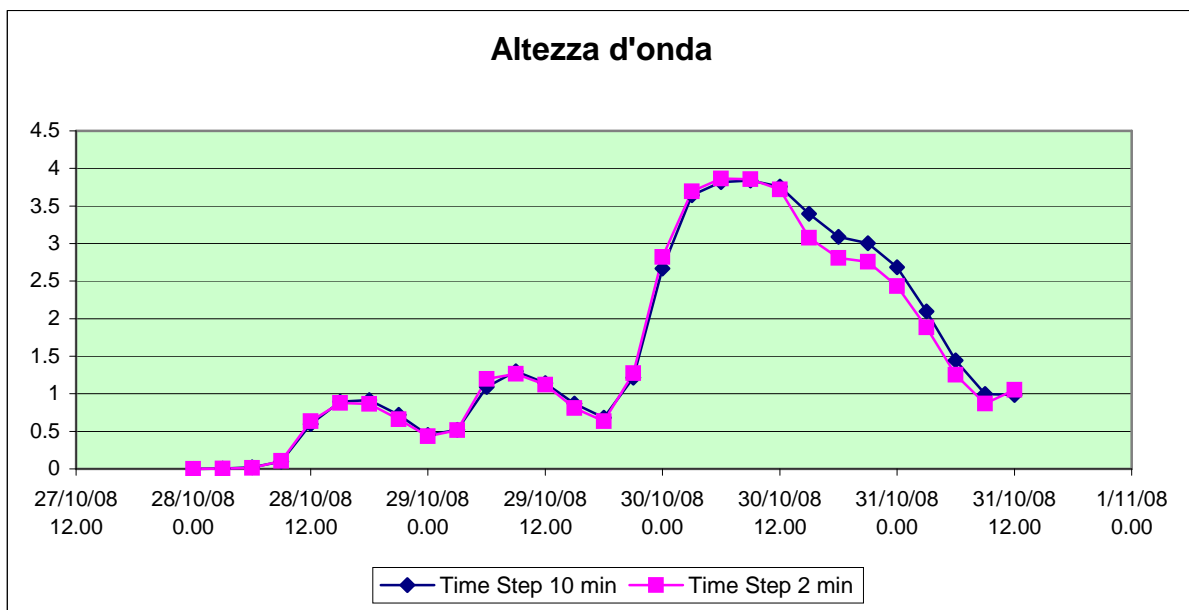


Figura 22: Altezza d'onda prevista sulla Boa di Carrara

Confronto SWAN-WAM-DATI

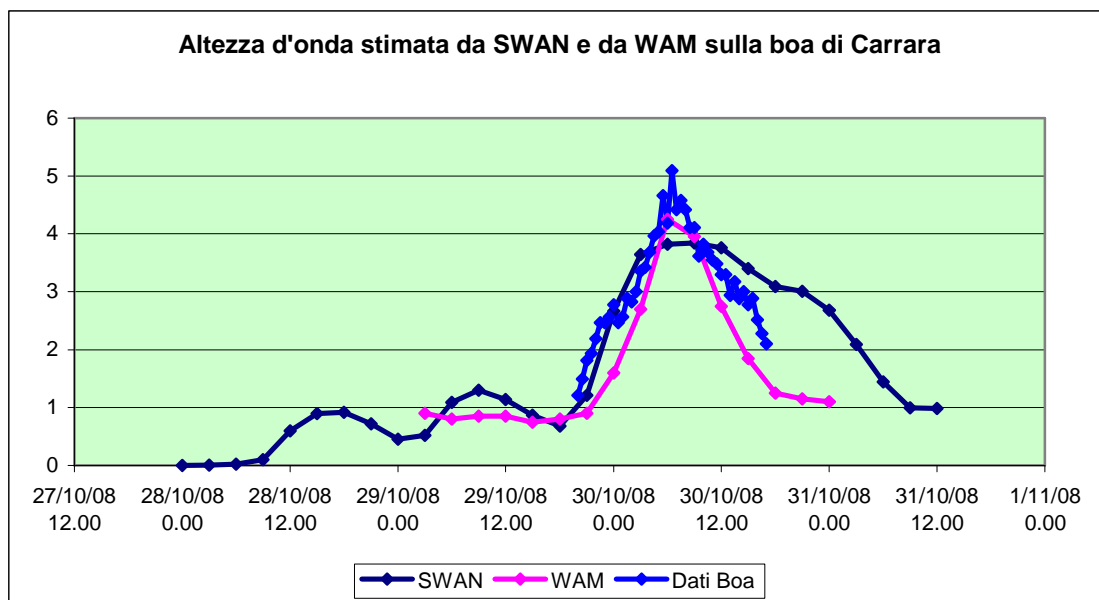


Figura 23: Confronto delle previsioni con i dati registrati dalla Boa di Carrara

Dal confronto emerge che i risultati delle simulazioni effettuate con il modello di calcolo SWAN si discostano notevolmente dai dati osservati dalla Boa di Carrara.

E' stato effettuato un'ulteriore confronto con le misure registrate dall'ondametro direzionale di Gorgona. Tale ondametro è ubicato in acque profonde.

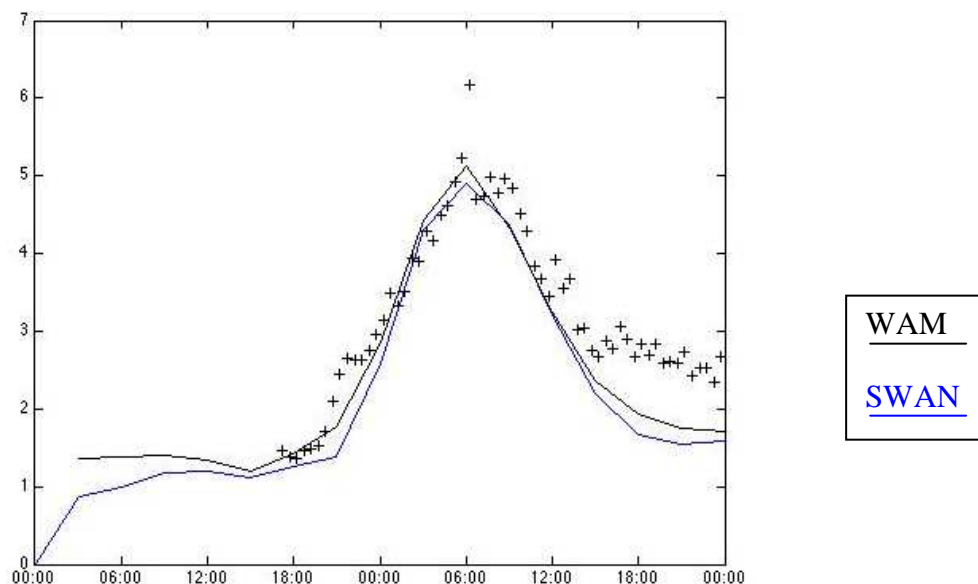


Figura 24: Confronto delle previsioni con i dati registrati dalla Boa di Gorgona

E' evidente come in questo caso i risultati ottenuti dalle simulazioni effettuate con SWAN siano simili ai dati osservati. In realtà SWAN è un codice di calcolo numerico sviluppato appositamente per superare le tradizionali difficoltà incontrate nell'applicazione di modelli d'onda in zone costiere caratterizzate da basse profondità, quindi ci saremmo dovuti aspettare risultati migliori in acque basse, ovvero sulla Boa di Carrara. D'altra parte per ottenere dei buoni risultati nelle zone costiere, soprattutto in basse profondità come nel caso di Carrara ($h=-13.5$ m), è di fondamentale importanza la risoluzione e la precisione della batimetria. In questo studio è stata utilizzata la batimetria dell'Istituto Idrografico della Marina a scala 1:100000, riportata in Fig.25. Si può osservare che il livello di dettaglio non è sufficiente a caratterizzare adeguatamente la fascia costiera oltre la linea $h=-20$ m nella zona considerata.

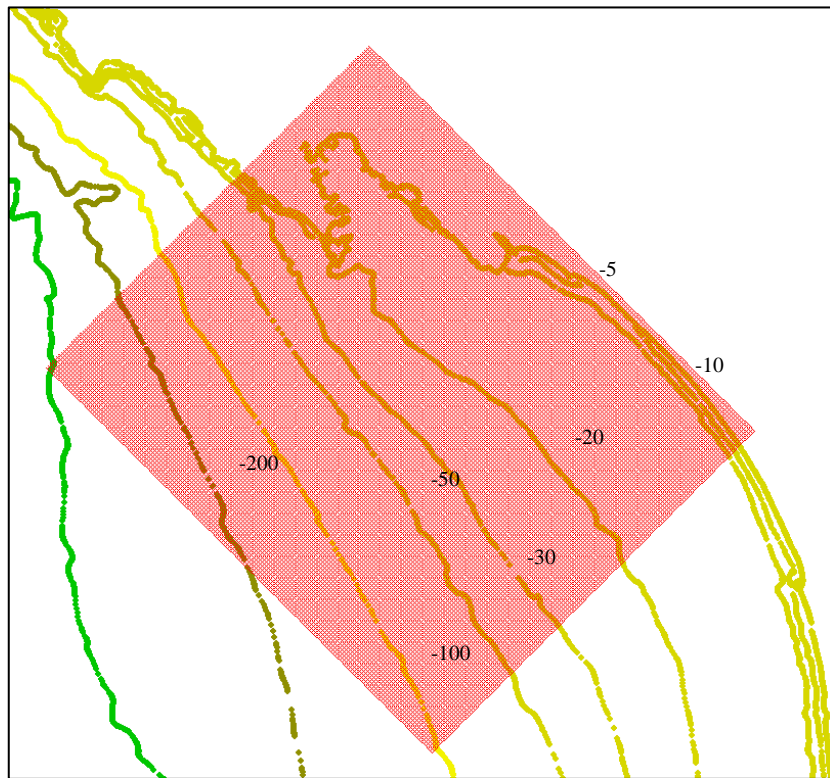


Figura 25: Linee batimetriche dell'Istituto Idrografico della Marina

In particolare nel caso specifico, i problemi sulla Boa di Carrara sono molto evidenti poiché, essendo ancorata ad una profondità di 13,5 m, tra la batimetria -10 m e -20 m, e non essendoci neanche una linea batimetria -15 m, quando si effettua l'operazione di interpolazione triangolare si ottengono eccessive approssimazioni per la profondità nella zona di interesse. La boa infatti risulta erroneamente disposta sulla batimetria -10 m. Di seguito si riporta la batimetria che si è ottenuta sull'intero grigliato e l'ubicazione della boa.

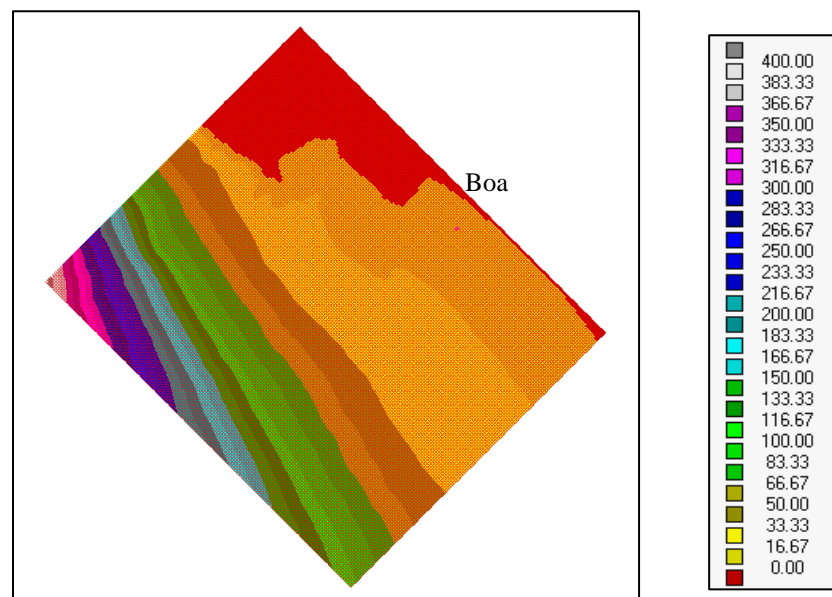


Figura 26: Batimetria sulla griglia di dettaglio

E' stata effettuata un'ulteriore simulazione per verificare che si trattasse effettivamente di un problema legato alla batimetria. Sollevando rigidamente la batimetria della griglia di dettaglio di circa 8m sono stati ottenuti i seguenti risultati:

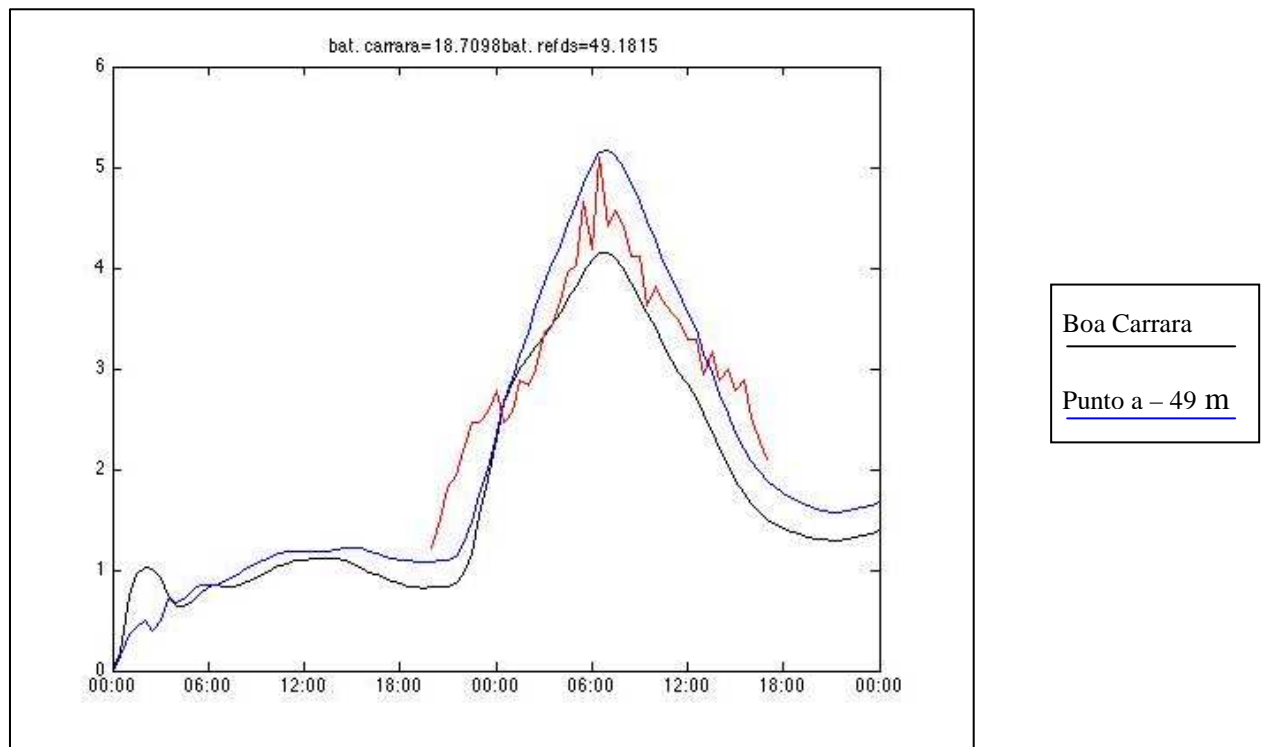


Figura 27: Andamento dell'altezza d'onda previsto sulla Boa di Carrara (-18 m) e su un punto a profondità 49 m

Effettivamente i risultati di questa simulazione sono più vicini ai dati osservati rispetto alla simulazione precedente. Ovviamente questa procedura non è corretta ma mostra quanto le variazioni sulla batimetria utilizzata per il codice di calcolo influiscano notevolmente sui risultati ottenuti dal codice.

MAREGGIATA 22 MARZO 2008

Simulazioni con SWAN

Una terribile mareggiata, una delle più violente registrate negli ultimi 50 anni, si è verificata il 22 Marzo 2008. E' interessante applicare il nostro studio anche a questo caso. Sono state utilizzate anche per questa simulazione le analisi del vento del ECMWF (Centro Meteorologico Europeo). Il periodo considerato va dal 19 Marzo 2008 alle ore 00:00:00 fino al 30 Marzo 2008 alle ore 18:00:00. I dati registrati dalla boa sono disponibili solo dal 21 Marzo alle ore 00:00 fino al 21 Marzo alle ore 20:00; successivamente l'ondametro ha smesso di funzionare. Si riportano i risultati della simulazione non stazionaria effettuata con il modello di calcolo SWAN considerando un time step di dieci minuti, a confronto con i dati registrati dalla boa.

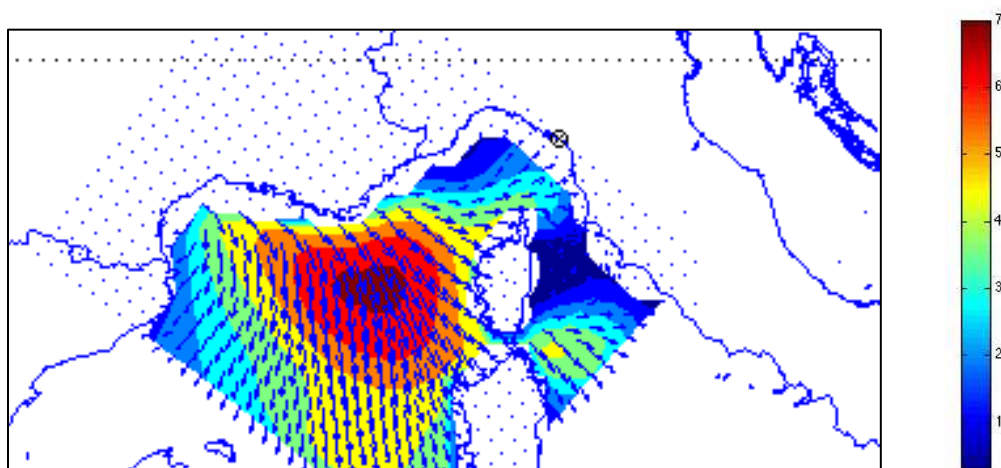


Figura 28: Altezza e direzione moto ondoso, griglia grande

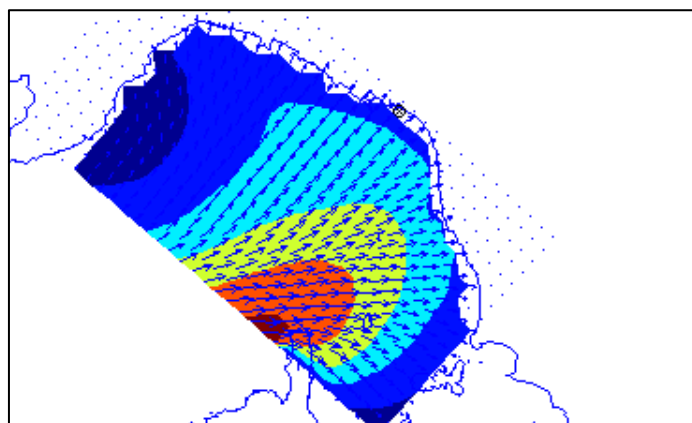


Figura 29: Altezza e direzione moto ondoso, griglia intermedia

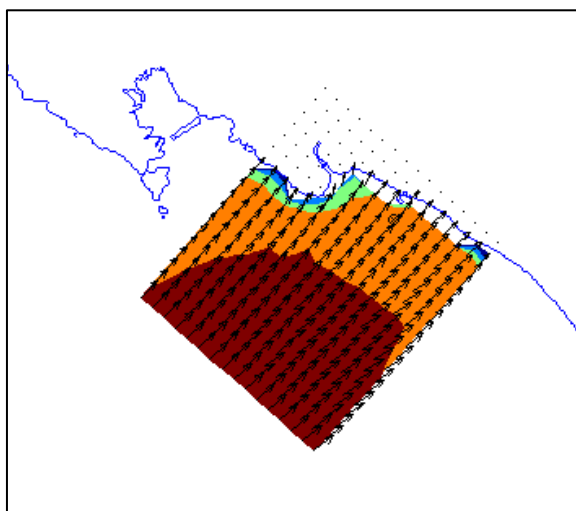
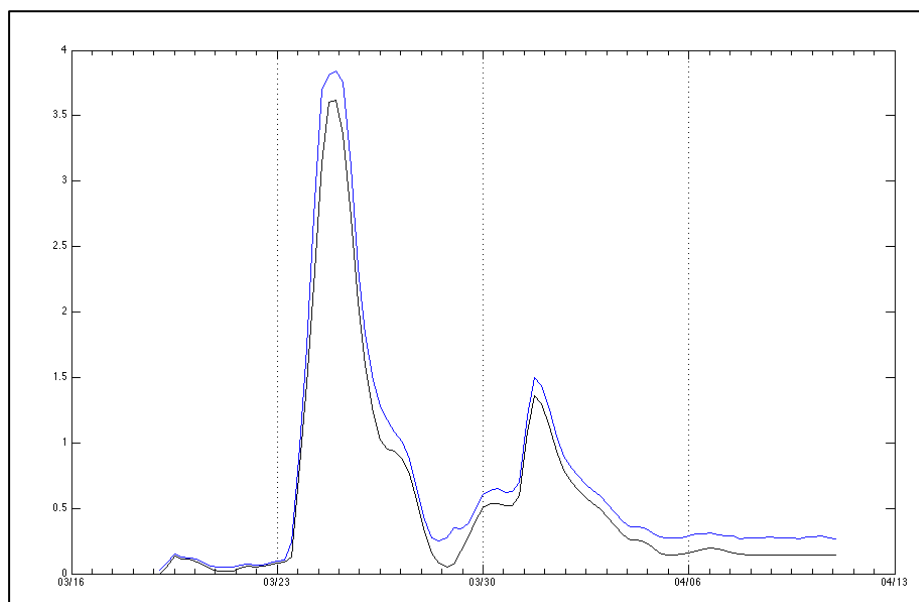


Figura 30: Altezza e direzione moto ondoso, griglia piccola



**Figura 31: Andamento dell'altezza d'onda previsto sulla Boa di Carrara;
nero: griglia con passo 1000m blu: griglia con passo 100m**

Nel grafico precedente è riportato l'andamento dell'altezza d'onda previsto sull'ondametro di Marina di Carrara ottenuto rispettivamente sulla seconda (passo griglia 1000 m) e sulla terza griglia (passo griglia 100 m). innestata alla seconda (passo griglia 1000 m) che consente di migliorare la risoluzione spaziale del calcolo nell'area di interesse. Di seguito si riporta lo *scatter diagram* dei risultati ottenuti nelle due griglie di calcolo. Le risposte ottenute sulle due griglie risultano nel complesso allineate lungo la retta di regressione. La distribuzione indica che i due attributi presi in esame sono tra loro correlati. E' evidente inoltre che l'incremento di altezza d'onda ottenuto con l'operazione di nesting, risulta maggiore sulle onde più basse.

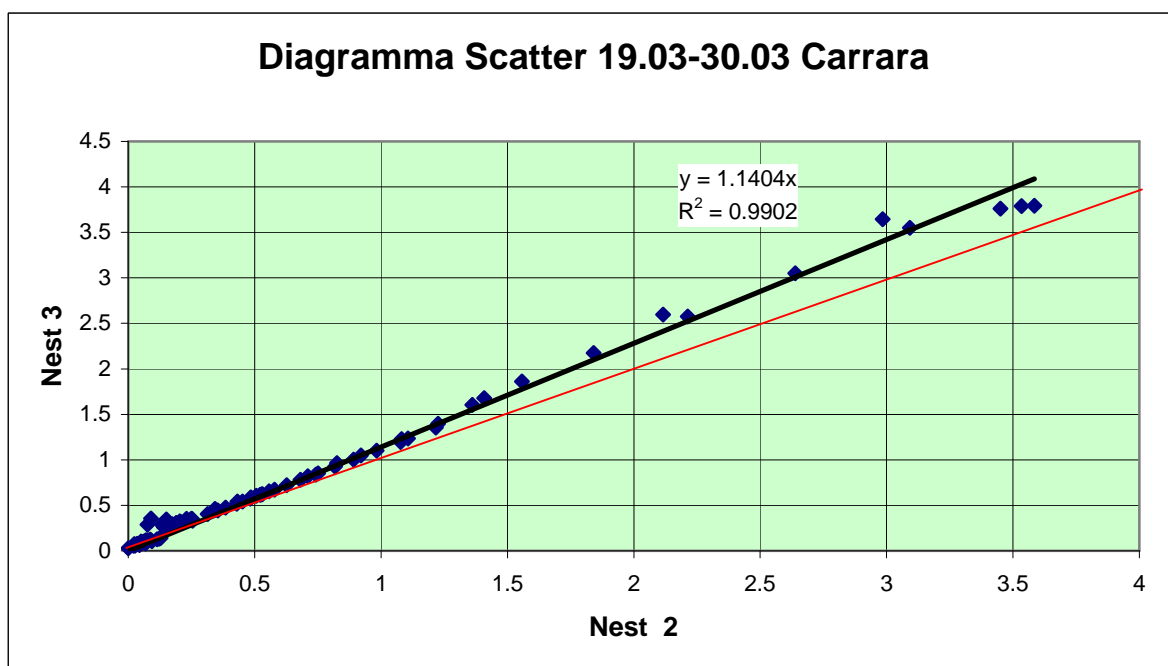


Figura 32: Scatter Diagram 19/03/2008 - 30/03/2008 Carrara

Confrontiamo l'altezza d'onda stimata dal codice di calcolo SWAN con i dati registrati dalla boa di marina di Carrara per il periodo considerato.

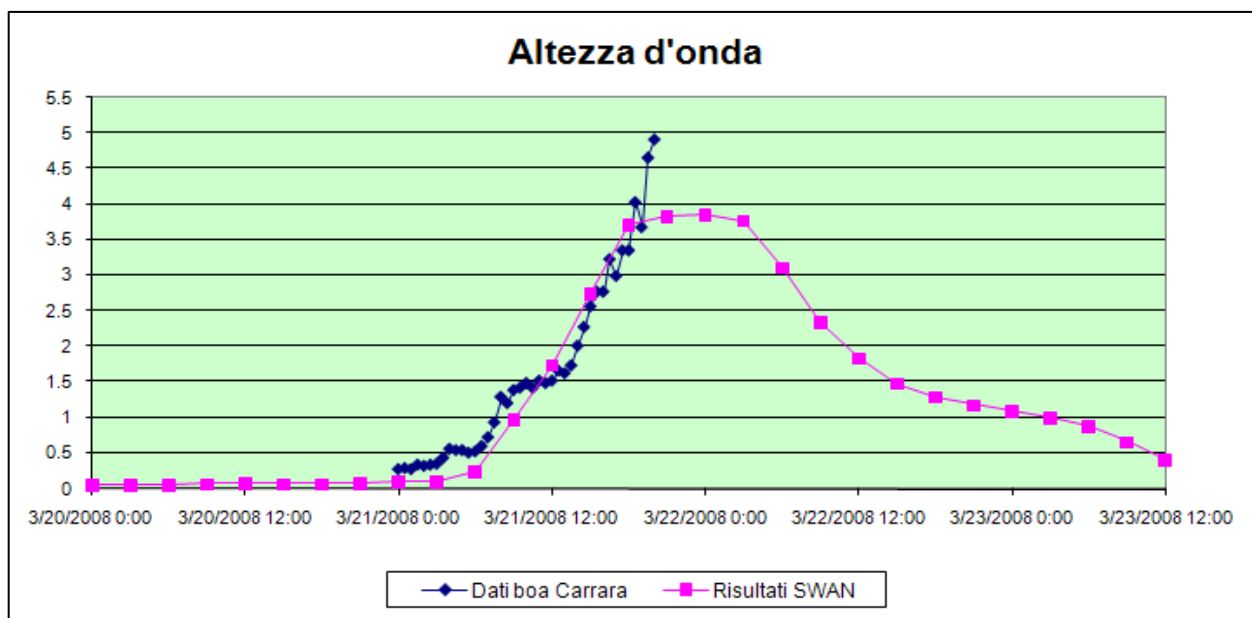
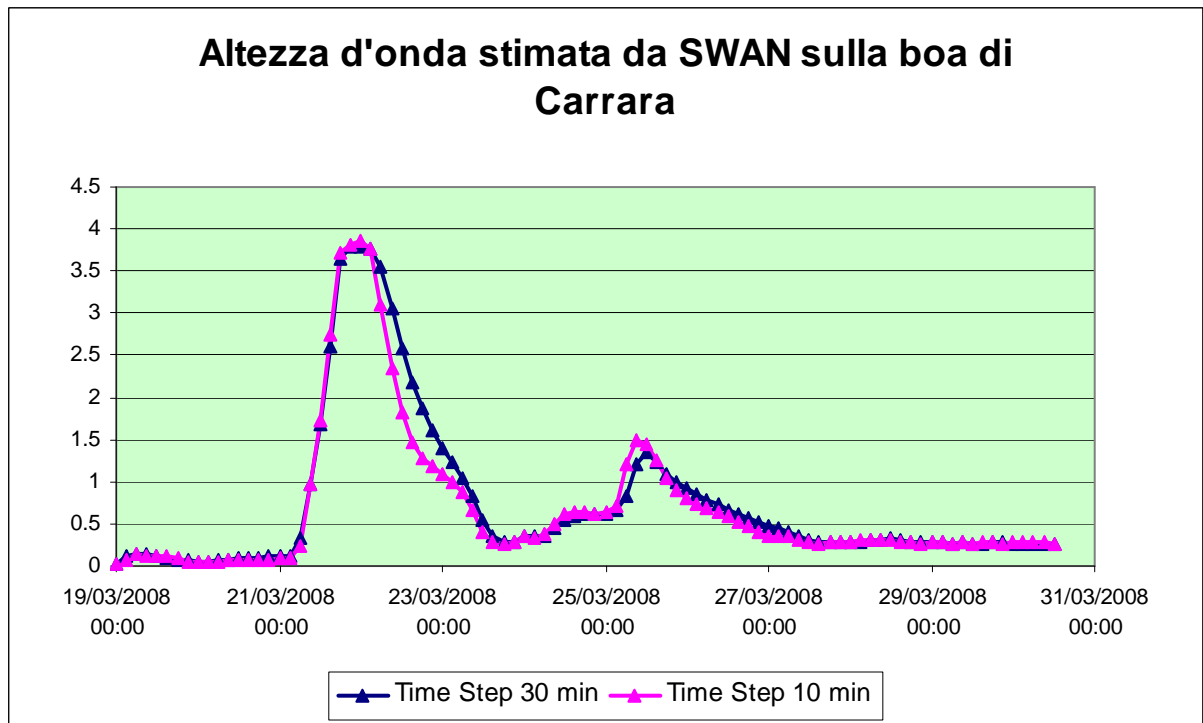


Figura 33: Altezza d'onda registrata dalla boa e stimata da SWAN a confronto

E' evidente come l'utilizzo del modello spettrale SWAN per la propagazione dei parametri previsti da largo a riva abbia permesso di ottenere soddisfacenti previsioni di moto ondoso in prossimità della costa. Si riscontra una notevole variazione tra i valori

stimati e quelli della boa solo per le ultime registrazioni, le quali non si esclude siano affette da errori dovuti al non perfetto funzionamento dell'ondametro. Infatti subito dopo tali registrazioni l'ondametro ha smesso di funzionare.

Fin'ora nelle simulazioni, si è fatto riferimento ad un time-step di 10 minuti. E' interessante osservare come cambino le previsioni del modello, considerando un time-step maggiore, dell'ordine del periodo di campionamento della boa, ossia 30 minuti.



Come si legge dal grafico il sistema arriva a convergenza anche per un valore del time step di 30 minuti, ottenendo risultati analoghi a quelli conseguiti con un time step di 10 minuti. Ovviamente ciò rappresenta un enorme vantaggio dal punto di vista computazionale perché permette di ridurre notevolmente il tempo necessario per effettuare le simulazioni.

Simulazioni con WAM

Si riportano di seguito la mappa di previsione del moto ondoso per il valore massimo della mareggiata (21 Marzo 2008 ore 21:00) e l'andamento dell'altezza d'onda prevista dal modello per il periodo in esame sulla boa di Marina di Carrara.

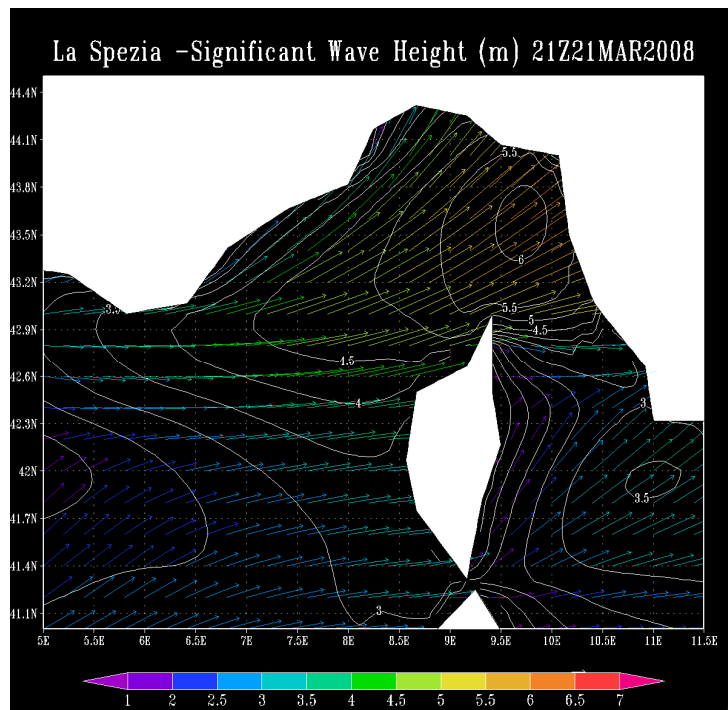


Figura 34: Mappa del 21 Marzo ore 21:00

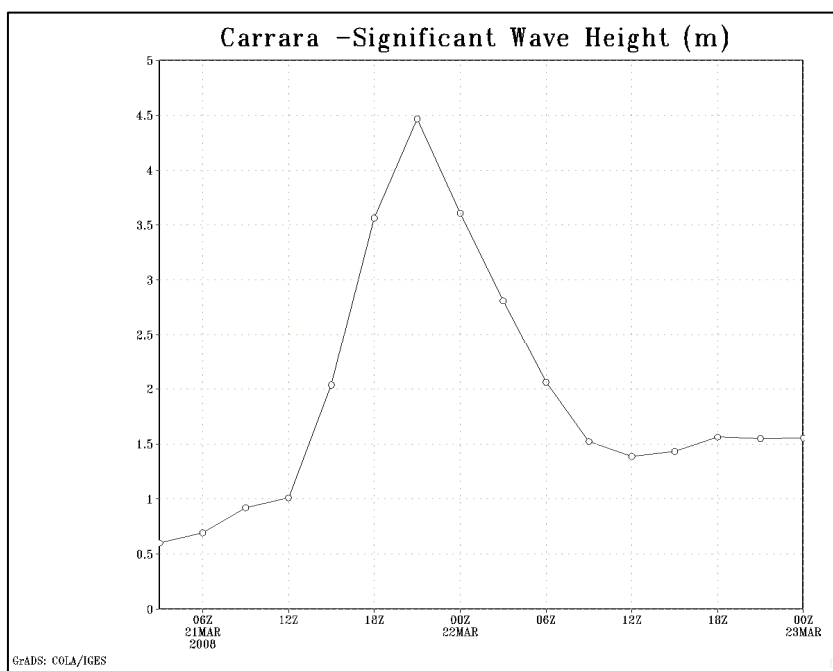


Figura 35: Andamento dell'altezza d'onda previsto sulla Boa di Carrara

Le previsioni ottenute dal modello WAM del SIMM, mostrate dal grafico seguente, seguono abbastanza bene le osservazioni. Purtroppo il confronto per questa mareggiata è parziale non avendo le registrazioni successive alle ore 20:00 del 21 Marzo 2008, a causa del mancato funzionamento della boa.

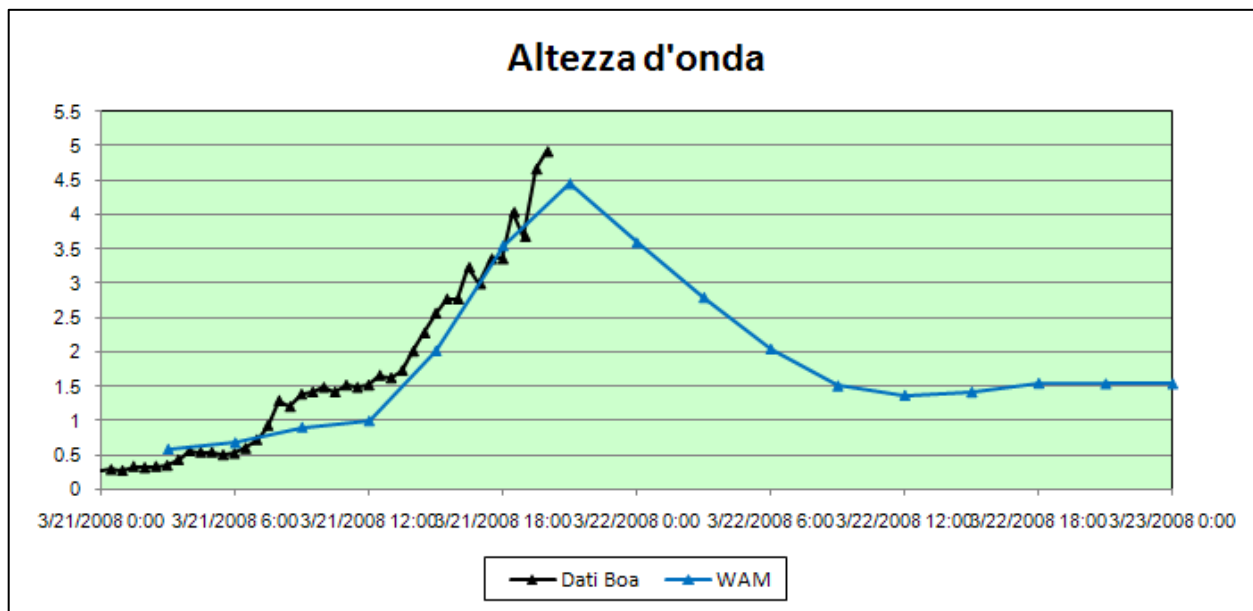


Figura 36: Altezza d'onda registrata dalla boa e stimata da WAM a confronto

Confronto SWAN-WAM-OSSERVAZIONI

Le principali differenze tra i due modelli di previsioni riguardano la risoluzione spaziale utilizzata, che per il WAM è di 10 Km, mentre lo SWAN utilizza le analisi del vento del ECMWF che hanno una risoluzione di 25 Km e i dati di vento su cui si basano le simulazioni, che per il WAM sono le previsioni del vento mentre per lo SWAN sono le analisi del vento. Queste ultime, anche se caratterizzate da una minore risoluzione rispetto alle previsioni, rivelano con maggior chiarezza eventuali trend dei parametri meteo-climatici. Si riportano i risultati ottenuti dell'applicazione del sistema previsionale WAM e quelli della propagazione delle condizioni di moto ondoso da largo verso riva effettuate con il modello di calcolo SWAN, a confronto con i dati ondametrici disponibili misurati dalla stazione di Marina di Carrara.

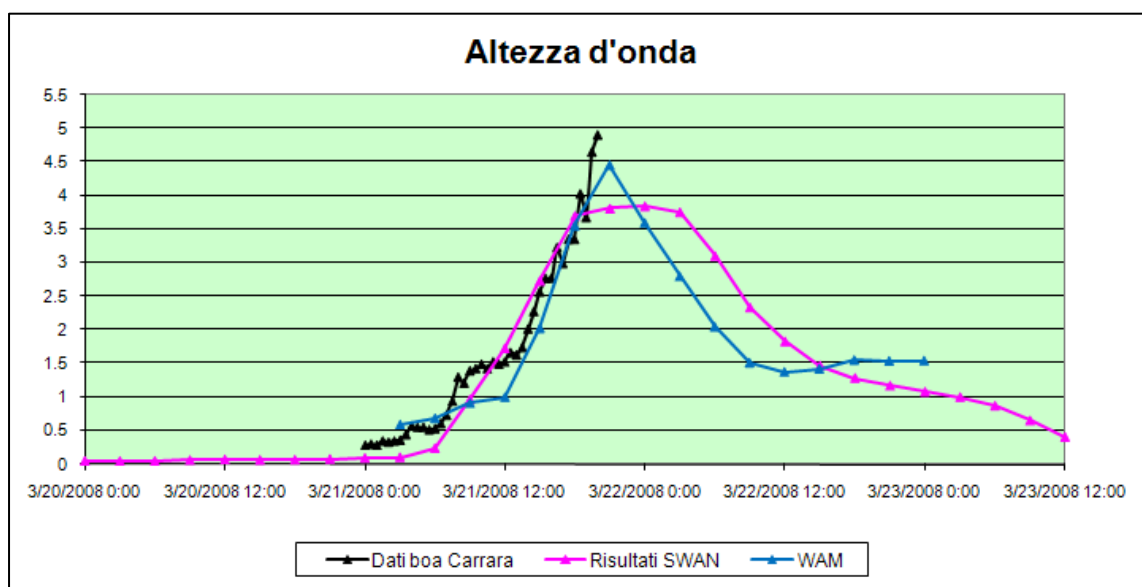


Figura 37: Altezza d'onda registrata dalla boa e stimata da SWAN e da WAM a confronto

Si osserva come i risultati della simulazione condotta con SWAN approssimino meglio i dati registrati dalla boa ondametrica di Marina di Carrara, rispetto alle previsioni del WAM, solo all'inizio della mareggiata. Al picco della mareggiata con il modello di previsione WAM si ottengono migliori risultati. Abbiamo già osservato per la mareggiata di Ottobre che per ottenere dei buoni risultati nelle zone costiere è di fondamentale importanza migliorare la risoluzione della batimetria. Va ricordato inoltre che le ultime registrazioni potrebbero essere affette da errori dovuti al non perfetto funzionamento dell'ondametro. Infatti subito dopo tali registrazioni l'ondametro ha smesso di funzionare.

Conclusioni

Il fine di questo studio è stato l'analisi dei diversi sistemi numerici per la previsione dei caratteri meteomarini in prossimità della costa. Si è fatto riferimento all'ultima grande mareggiata occorsa il 30 Ottobre 2008 e alla mareggiata del 22 Marzo 2008.

Un primo obiettivo è stato individuare e testare previsioni di moto ondoso in acqua profonda attraverso l'impiego del modello WAM del SIMM. Tali previsioni sono state confrontate con le osservazioni raccolte dalla boa ondometrica di Carrara, del "Sistema di Monitoraggio Meteomarino del porto di Marina di Carrara". Dal confronto emerge la buona qualità delle previsioni fornite da questo modello numerico per entrambe le mareggiate analizzate.

Successivamente, si è utilizzato il modello spettrale di moto ondoso SWAN per la propagazione dei parametri previsti da largo a riva. Sono state fatte delle simulazioni utilizzando le analisi del vento fornite dal ECMWF. Ad intervalli fissi, ogni sei ore, questo Centro effettua una analisi delle condizioni iniziali e lancia la simulazione per i 10 giorni seguenti, utilizzando una griglia di 25 km. Il confronto dei risultati, ottenuti implementando nel modello di calcolo i campi di vento del ECMWF, con i dati osservati alla boa di Marina di Carrara ha evidenziato una significativa sottostima del picco della mareggiata di Ottobre (25%) sul basso fondale ($h=-13.5\text{m}$). Il risultato è stato attribuito alla insufficiente risoluzione della batimetria adottata in prossimità della costa. Per la mareggiata del 30 Ottobre 2008 è stato effettuato un'ulteriore confronto con le misure registrate dall'ondametro direzionale di Gorgona, ubicato in acque profonde ($h=-150\text{m}$). In questo caso i risultati ottenuti dalle simulazioni effettuate con SWAN sono simili ai dati osservati. In realtà poiché SWAN è un codice di calcolo numerico sviluppato appositamente per l'applicazione in zone costiere caratterizzate da basse profondità, ci saremmo dovuti aspettare risultati migliori in acque basse, ovvero sulla Boa di Carrara. D'altra parte per ottenere dei buoni risultati nelle zone costiere è di fondamentale importanza la risoluzione e la precisione della batimetria. In questo studio è stata utilizzata, anche in prossimità della costa, la batimetria dell'Istituto Idrografico della Marina a scala 1:100000, che non è risultata sufficientemente dettagliata per una propagazione dello stato del mare fino ad oltre la linea batimetria $h=-20\text{m}$ nella zona costiera considerata.

Un altro aspetto interessante è il confronto dell'andamento dell'altezza d'onda, previsto sull'ondametro di Marina di Carrara, ottenuto rispettivamente sulla seconda griglia e sulla terza griglia di calcolo (passo griglia 100 m). Quest'ultima è stata innestata alla seconda

(passo griglia 1000 m) per migliorare la risoluzione spaziale del calcolo nell'area di interesse. Il risultato evidenzia un importante incremento dell'altezza d'onda ottenuto utilizzando la terza griglia a maglia fitta.

E' stata condotta un'ulteriore analisi per determinare il valore del time-step che consentisse al sistema di arrivare a convergenza e contemporaneamente fosse sufficientemente grande da ridurre notevolmente il tempo necessario per effettuare le simulazioni. Sono stati adottati due valori per il time step rispettivamente di 30 e di 10 minuti. Avendo ottenuto risultati analoghi per entrambi i casi considerati risulta conveniente utilizzare, anche per applicazioni future, un time step di 30 minuti per i motivi descritti in precedenza.

Bibliografia

- Delft University of Technology. “Implementational Manual SWAN Cycle III version 40.72”
website: <http://fluidmechanics.tudelt.nl/swan/index.htm>, (2008).
- “The calibration of wind and wave model data in the Mediterranean Sea”, Luigi Cavalieri, Mauro Sclavo (2005). *Institute of Marine Sciences (ISMAR)*
- “Comparison of wind and wave model data in the Mediterranean Sea”, Fabrice Ardhuin, Luciana Bertotti, Jean-Raymond Bidlot, Luigi Cavaleri, Valentina Filipetto, Jean-Michel Lefevre, Paul Wittmann (2006). *SHOM (Brest, France), ISMAR (Venice, Italy), ECMWF (UK), Météo France (Toulouse, France), FNMOC (Monterey, USA)*
- “Wave Modeling, where to go in the future”, Luigi Cavaleri (2005). *Institute of Marine Sciences (ISMAR)*
- “On coupling the SWAN and the WAM WAVE MODELS for accurate nearshore wave predictions”, Stephen F. Wornom, David J. S. Welsh, Keith W. Bedford (2001). *US Army Engineer Research and Development Center, Department of Civil and Environmental and Geodetic Science (The Ohio University)*
- “The wave model”, Peter Janssen (2000). *Research Department*
- “Verification of the ECMWF wave forecasting system against buoy and altimeter data”, Peter Janssen, Bjorn Hansen, Jean Bidlot (1996).
- “Error estimation of buoy, satellite and model wave height data”, Peter Janssen, Saleh Abdalla, Hans Hersbach (2003). *Research Department*
- “Dinamics and modeling of ocean waves”, G.J. Komen, L. Cavaleri, M. Donelan, K. Hasselmann, S. Hasselmann, P.A.E.M. Janssen (1996).

Ringraziamenti

Si ringrazia l'Autorità Portuale di Marina di Carrara per la disponibilità nel fornire i dati di moto ondoso registrati dalla boa ondometrica del “*Sistema di Monitoraggio Meteomarino del porto di Marina di Carrara*”.

Si ringraziano il Dott. Roberto Inghilesi per aver supportato la preparazione dei codici, la Dott.ssa Sara Morucci per aver fornito le batimetrie per l'area in esame, l'Ing. Stefano Corsini (tutore indicato dall'ente ISPRA) e il Prof. Ing. Leopoldo Franco quale tutore indicato dall'Università degli Studi Roma Tre.