

“LA PREVISIONE DELLO STATO DEL MARE”



C.U.G.RI. UNIVERSITA' DI SALERNO

26 Maggio 2008

Dott.ssa Sara Morucci

**Dipartimento Tutela Acque Interne e Marine
Servizio Difesa delle Coste**

OUTLINES

● **HINDCASTING: previsione a posteriori**

- serie storiche: analisi dei residui, ricostruzione delle mareggiate ecc.
- modelli numerici

● **CLIMATOLOGIA: condizioni medie**

- serie storiche: distribuzioni direzionali dei parametri caratteristici delle onde
- modelli numerici

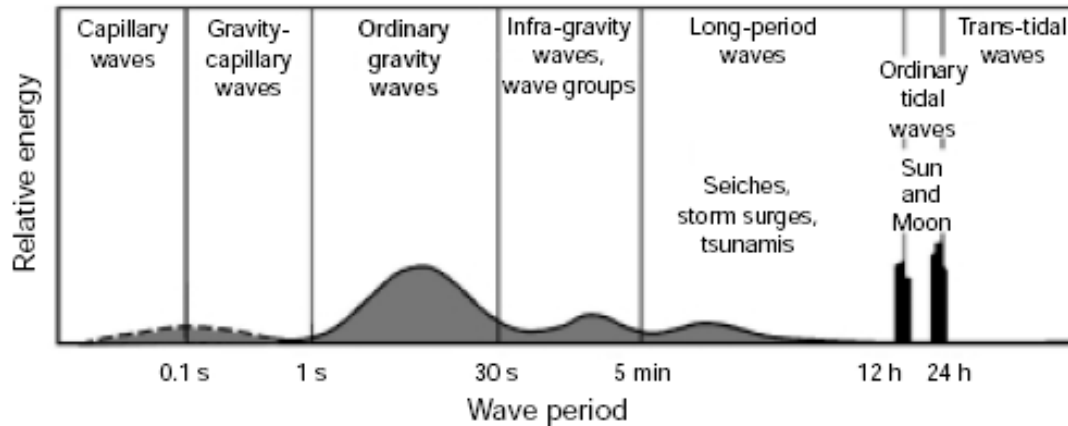
● **FORECASTING: previsione del futuro**

- serie temporali: i dati storici sono usati come base per la stima di andamenti futuri (estrapolazioni, stima del trend ecc.)
- modelli numerici



LO STATO DEL MARE

stato del mare: **dalle onde alle maree**



- osservazioni puntuali in tempo reale
- simulazioni numeriche

LO STATO DEL MARE

● **OSSERVAZIONI**

- RON, RMN, RTL

● **SIMULAZIONI NUMERICHE**

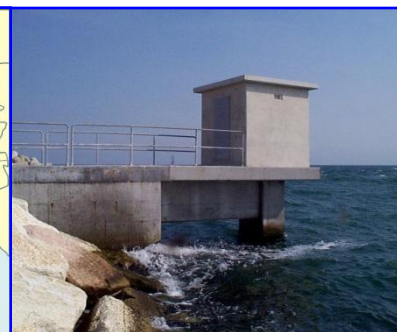
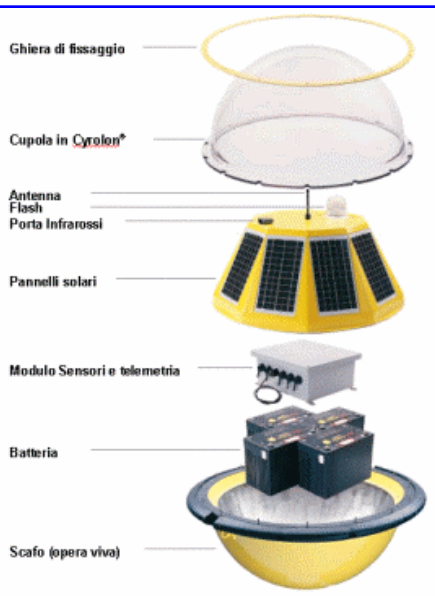
- ONDE: SIMM, SWAN

- CIRCOLAZIONE E DISPERSIONE: POM, LAWAM



LE MISURE

L'APAT gestisce la Rete Ondametrica Nazionale (RON), la Rete Mareografica Nazionale (RMN) e la Rete Mareografica della Laguna di Venezia (RTL) e dell'Alto Adriatico



LE MISURE

RON 1989-2003

-1989 - 1999, 8 boe direzionali
(WAVEC)

-1999 - 2002, 10 boe direzionali
(WAVERIDER)

- 2002, 14 boe direzionali
(TRIAxis)

- NUOVI SITI:

Chioggia
Civitavecchia
Siniscola
Palermo



LE MISURE

RON

- **ACQUISIZIONE DEI DATI:** H_s , T_p , T_m , Dir, ogni $\frac{1}{2}$ ora (dal 2002)
- **REGISTRAZIONE DEI DATI:** ogni 3 ore a Roma

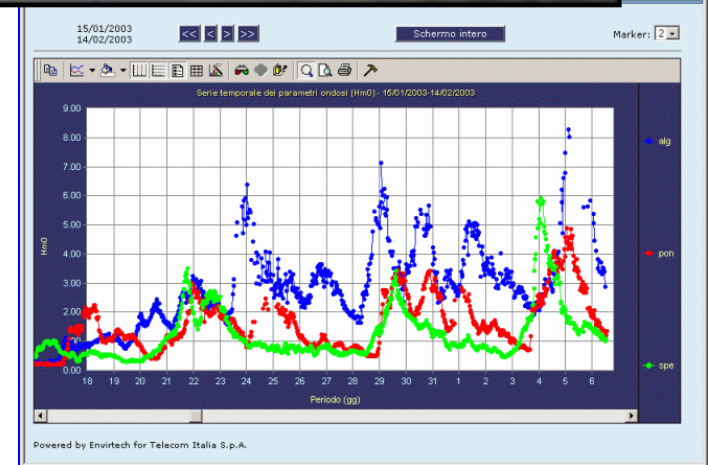
8 boe WAVEC 1989-1998



2 boe WAVERIDER
1998-2002



14 boe TRIAXIS dal 2002

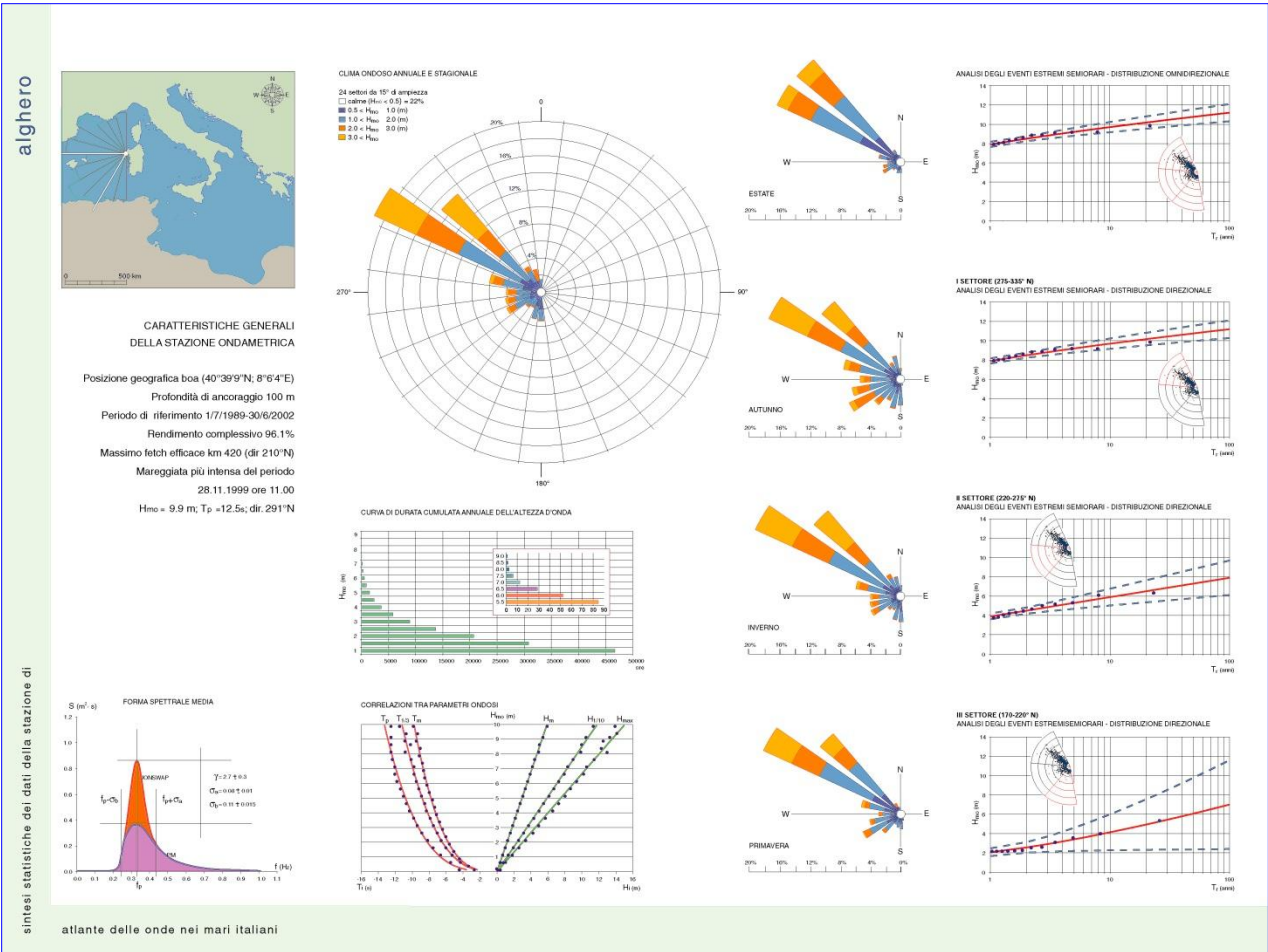




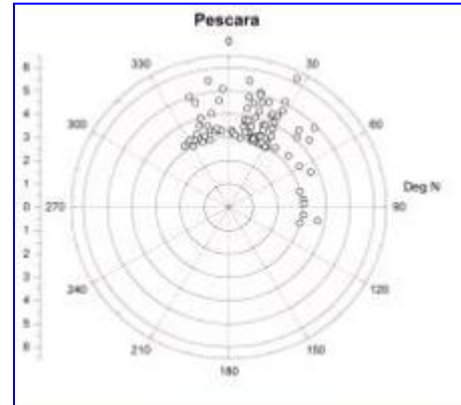
IL CLIMA ONDOSO

ATLANTE DELLE ONDE

ATLANTE DELLE COSTE



Distribuzione direzionale del flusso medio lordo annuale



Scatterplot: massimi delle mareggiate

sintesi statistiche dei dati della stazione di

atlante delle onde nei mari italiani



FORECASTING

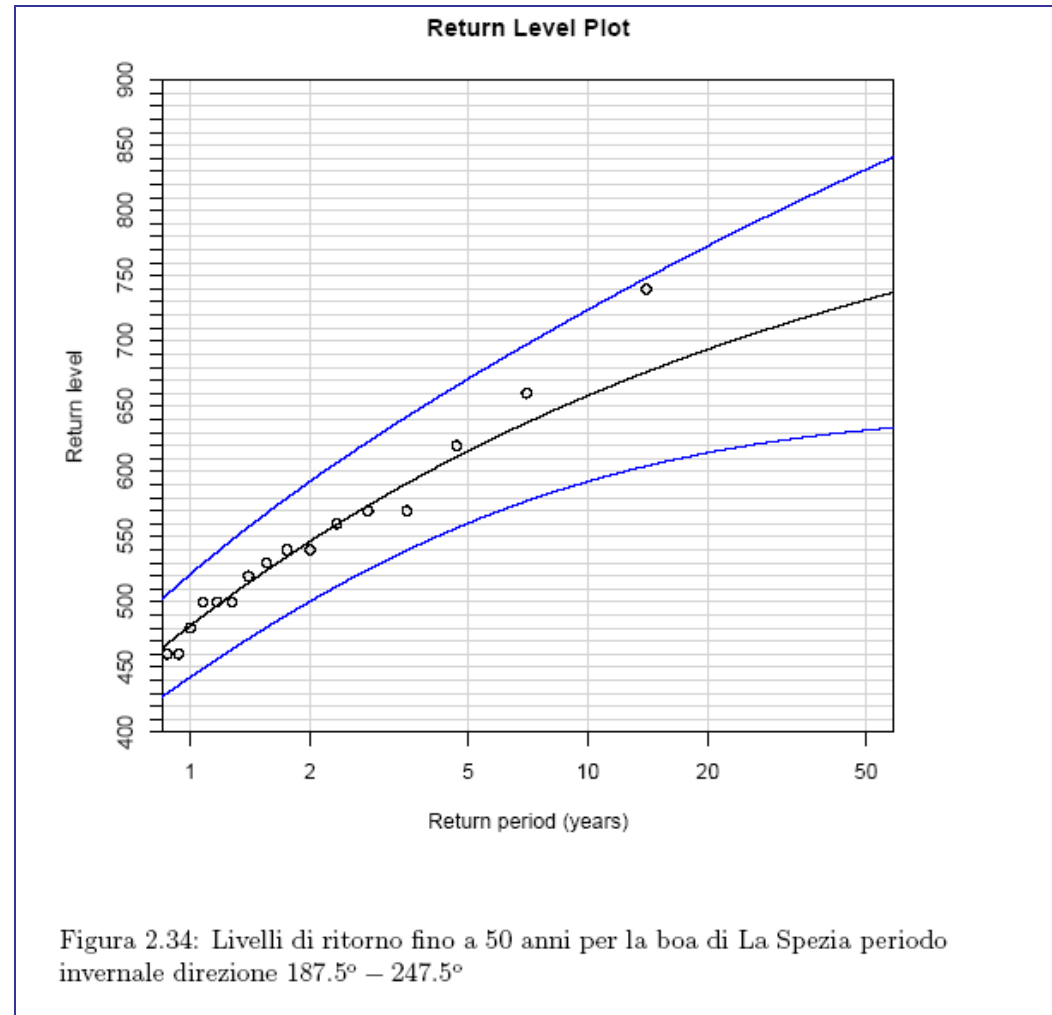
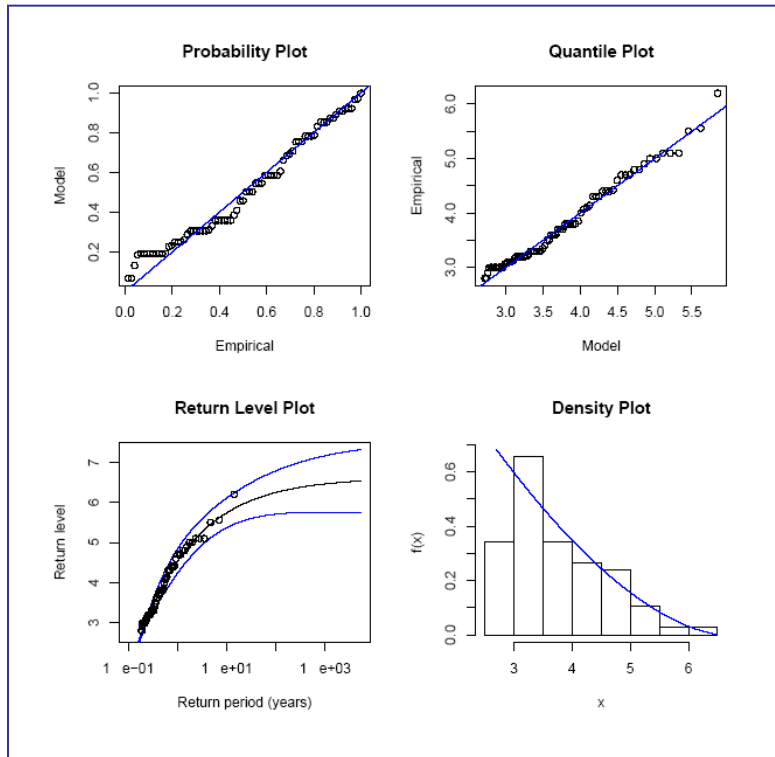
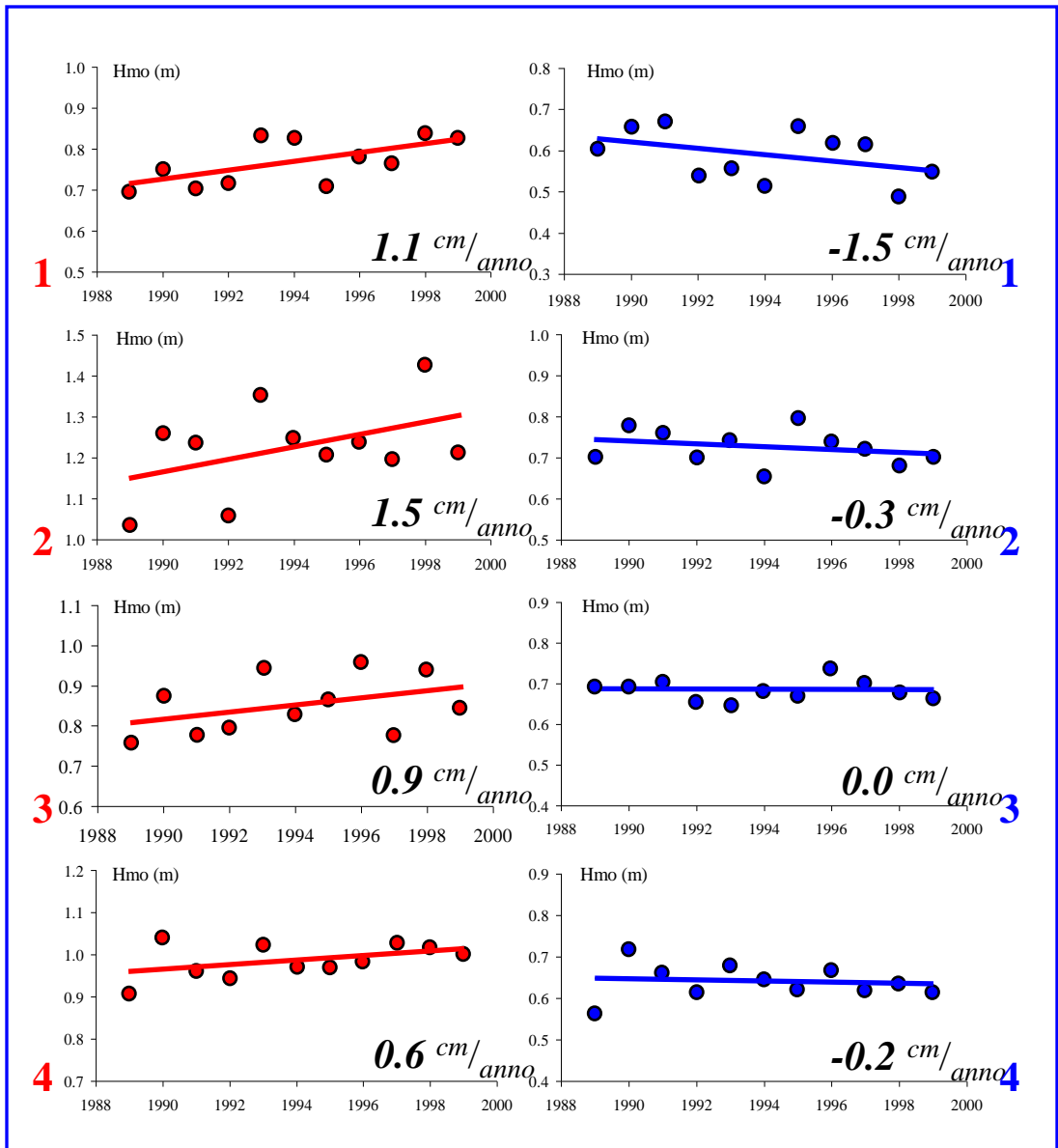
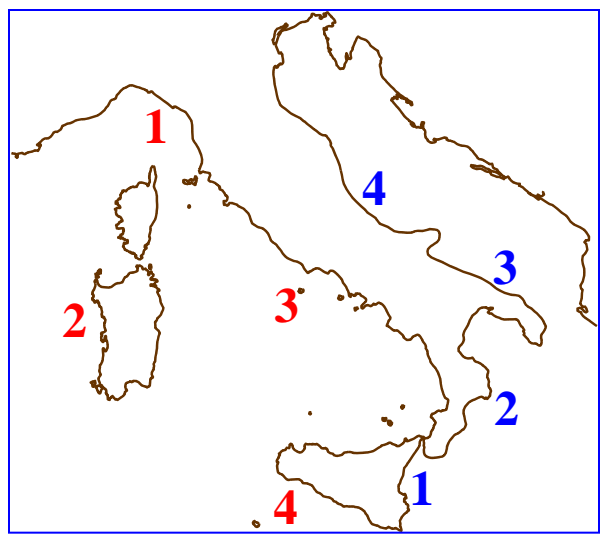


Figura 2.34: Livelli di ritorno fino a 50 anni per la boa di La Spezia periodo invernale direzione $187.5^\circ - 247.5^\circ$

FORECASTING

Tendenze Evolutive.
Variazioni annuali dell'altezza
d'onda significativa media



LE MISURE

RMN

26 stazioni misurano:

Parametri marini

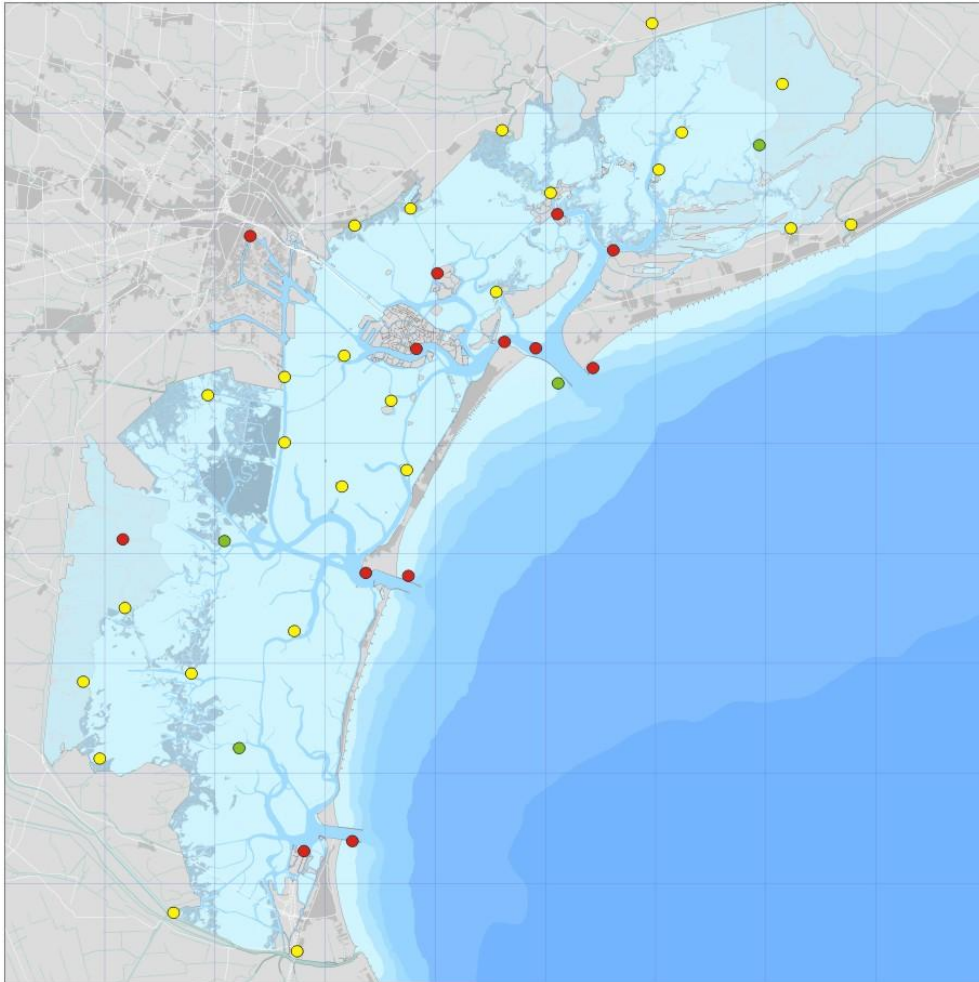
- livello del mare
- temperatura del mare

Parametri meteorologici

- intensità del vento
- direzione del vento
- pressione atmosferica
- temperatura dell'aria



RTLTV



Rete Telemareografica della
Laguna di Venezia

● 52 stazioni mareografiche
nella Laguna di Venezia che
registrano

● 6 parametri

- Livello del mare
- Velocità del vento
- Direzione del vento
- Precipitazione
- Pressione atmosferica
- Altezza d'onda

ANALISI DEI DATI DI MAREA

Una sequenza di osservazioni di alta e bassa marea, y_i , e il corrispondente istante t_i , al quale occorrono



$$y(t) = A_0 + \sum_{j=1}^M A_j \cos 2\pi(\sigma_j t - \phi_j)$$

funzione per il fit
dei dati

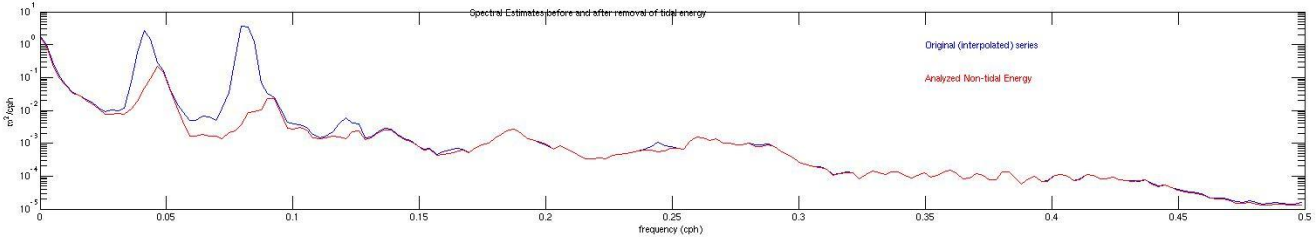
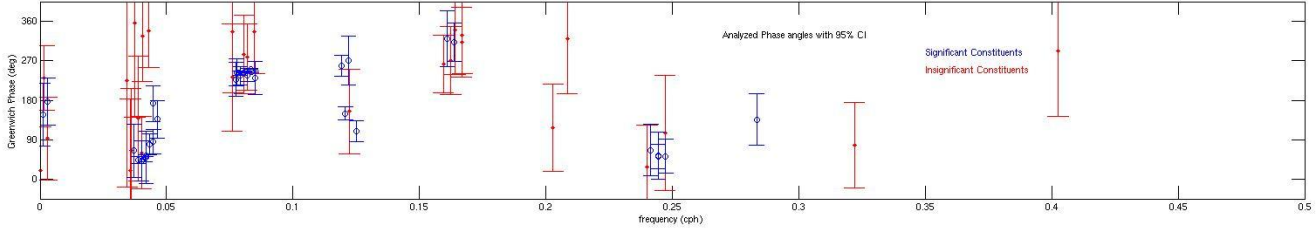
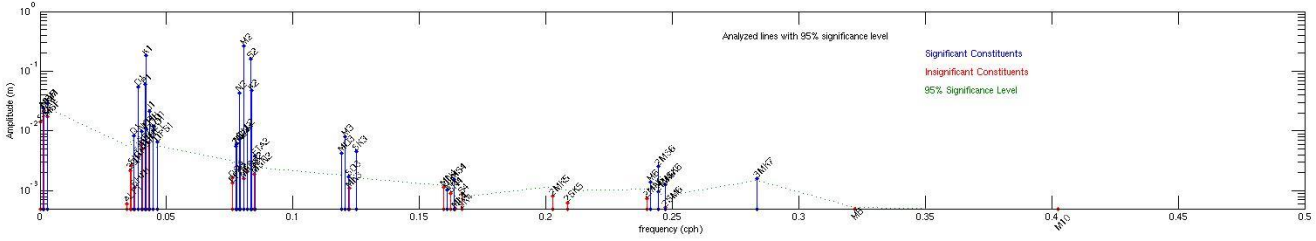
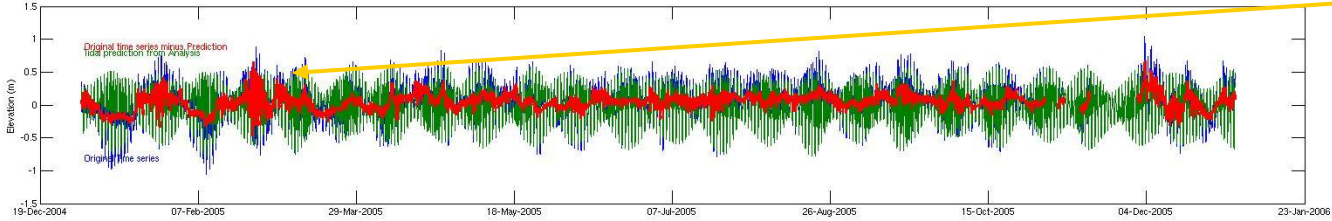
A_j e ϕ_j devono essere scelti

così che il valore, $y(t_i)$, della funzione fit all'istante t_i , aderisca il più possibile al valore osservato y_i

HINDCASTING: sessa

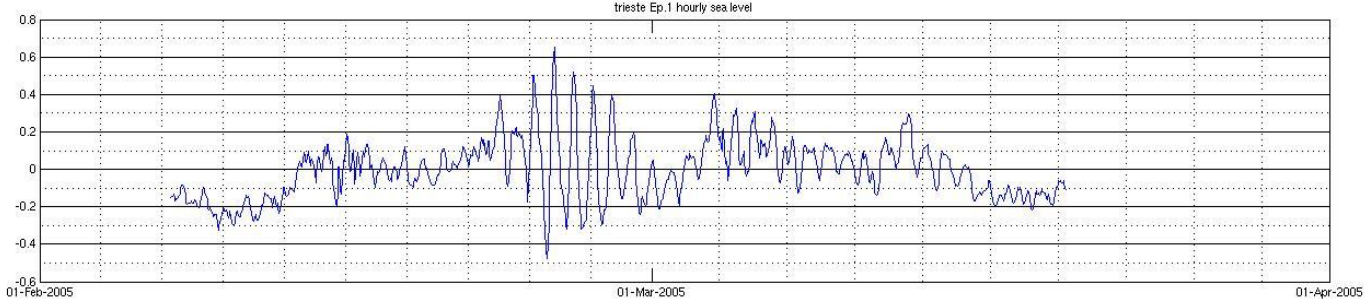
Sessa

TRIESTE 2005

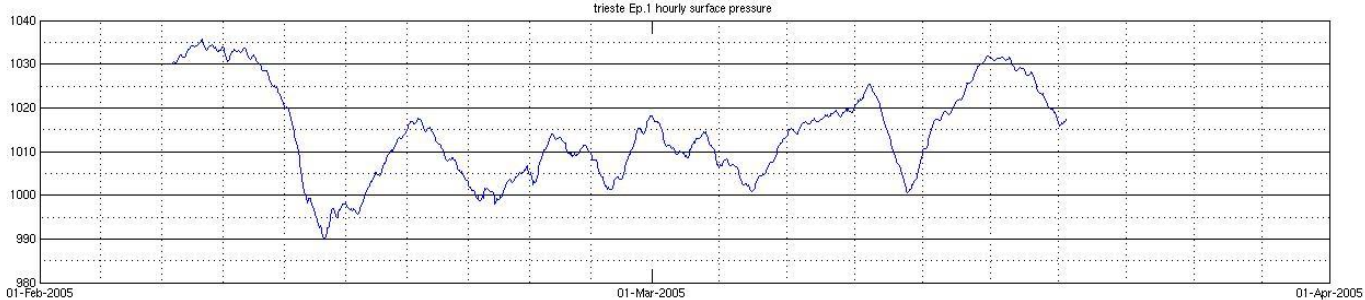


HINDCASTING: sessa

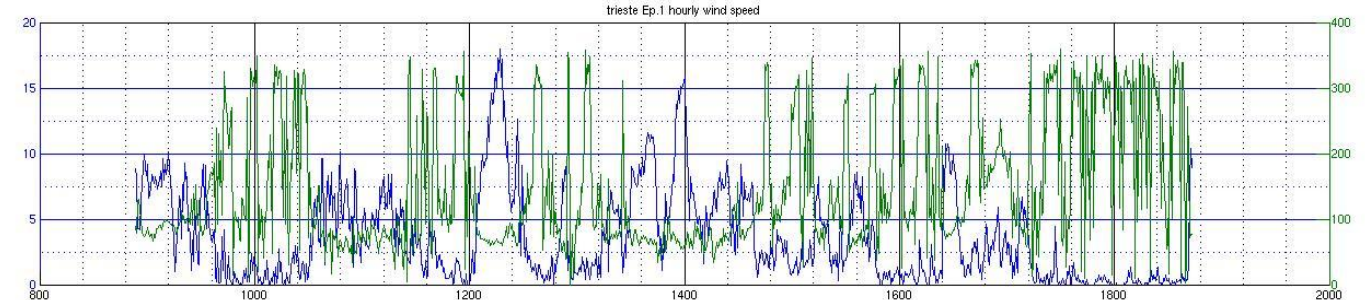
TRIESTE 2005



Sea
Lev.



Pres.



Wind

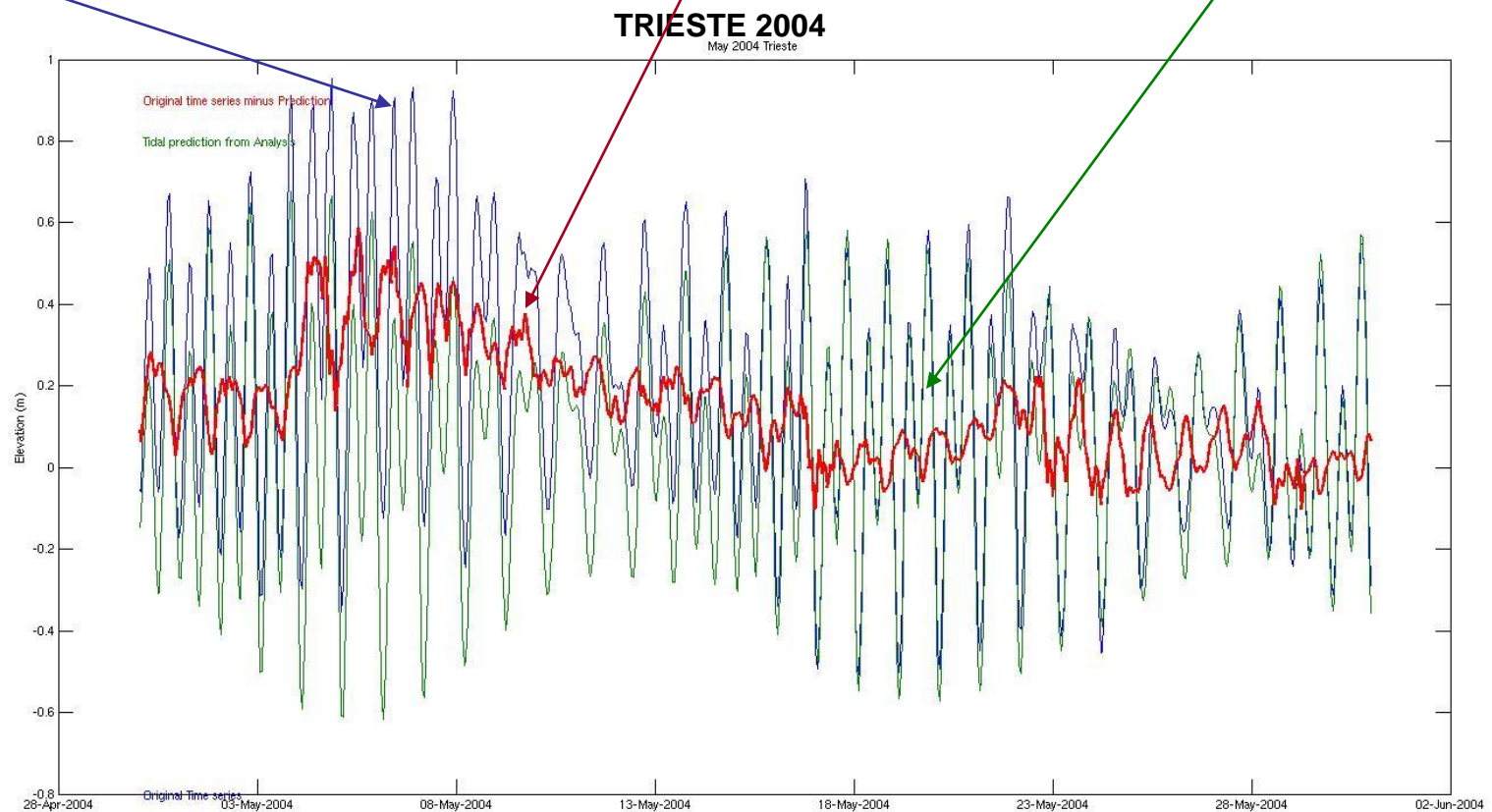


ANALISI DEI DATI DI MAREA

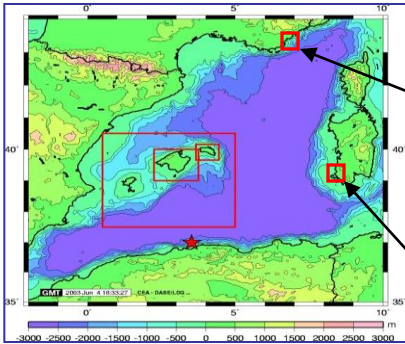
Dati osservati

Residui

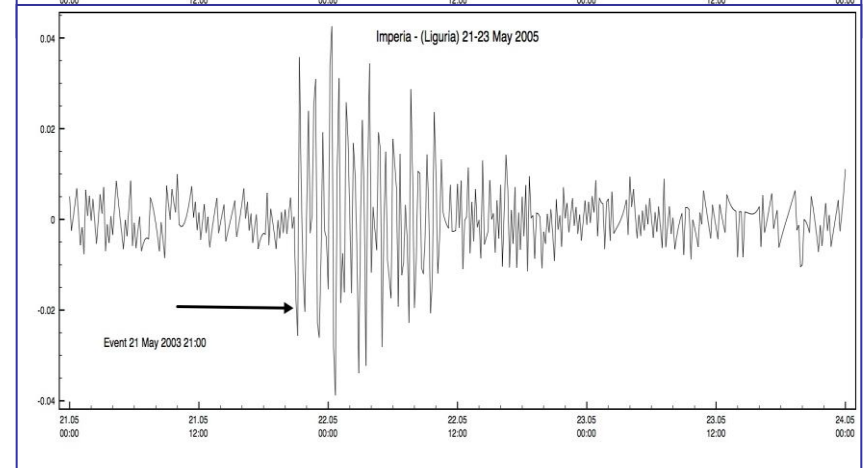
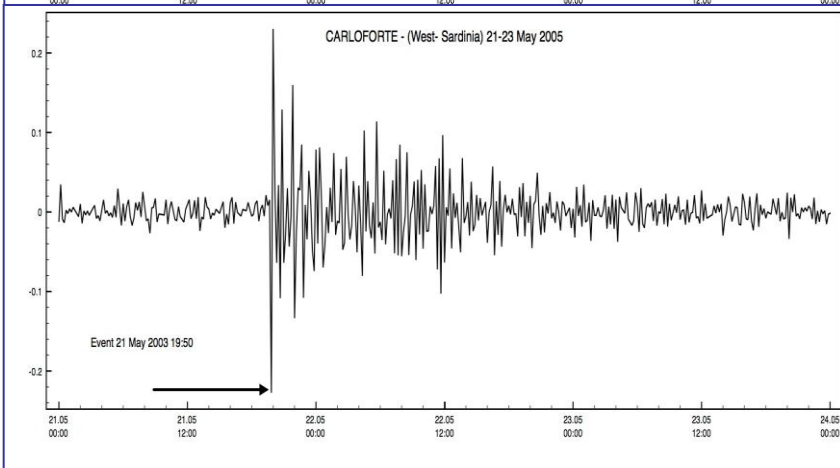
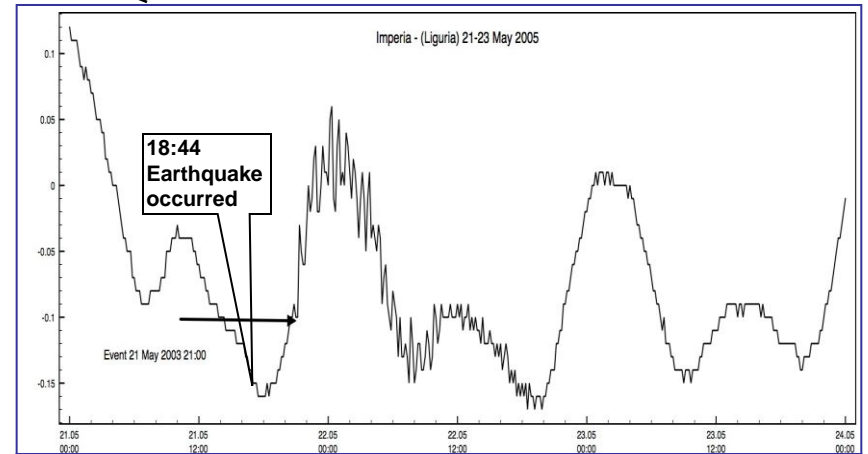
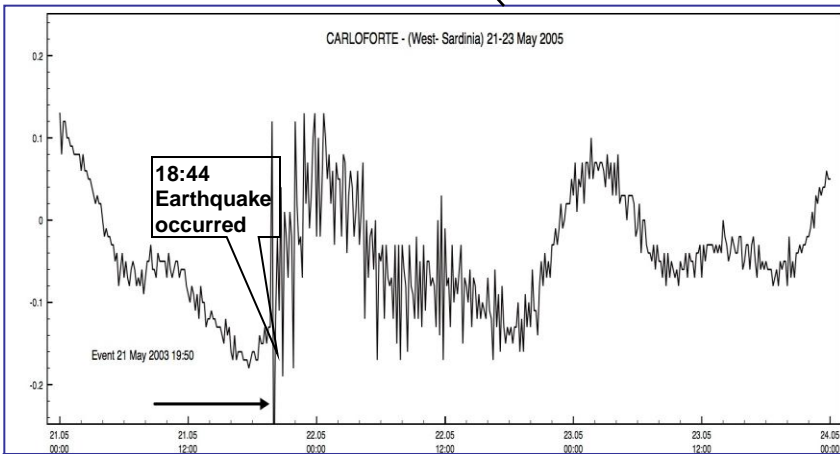
Predizione marea astronomica



ANALISI DEI DATI DI MAREA: tsunami

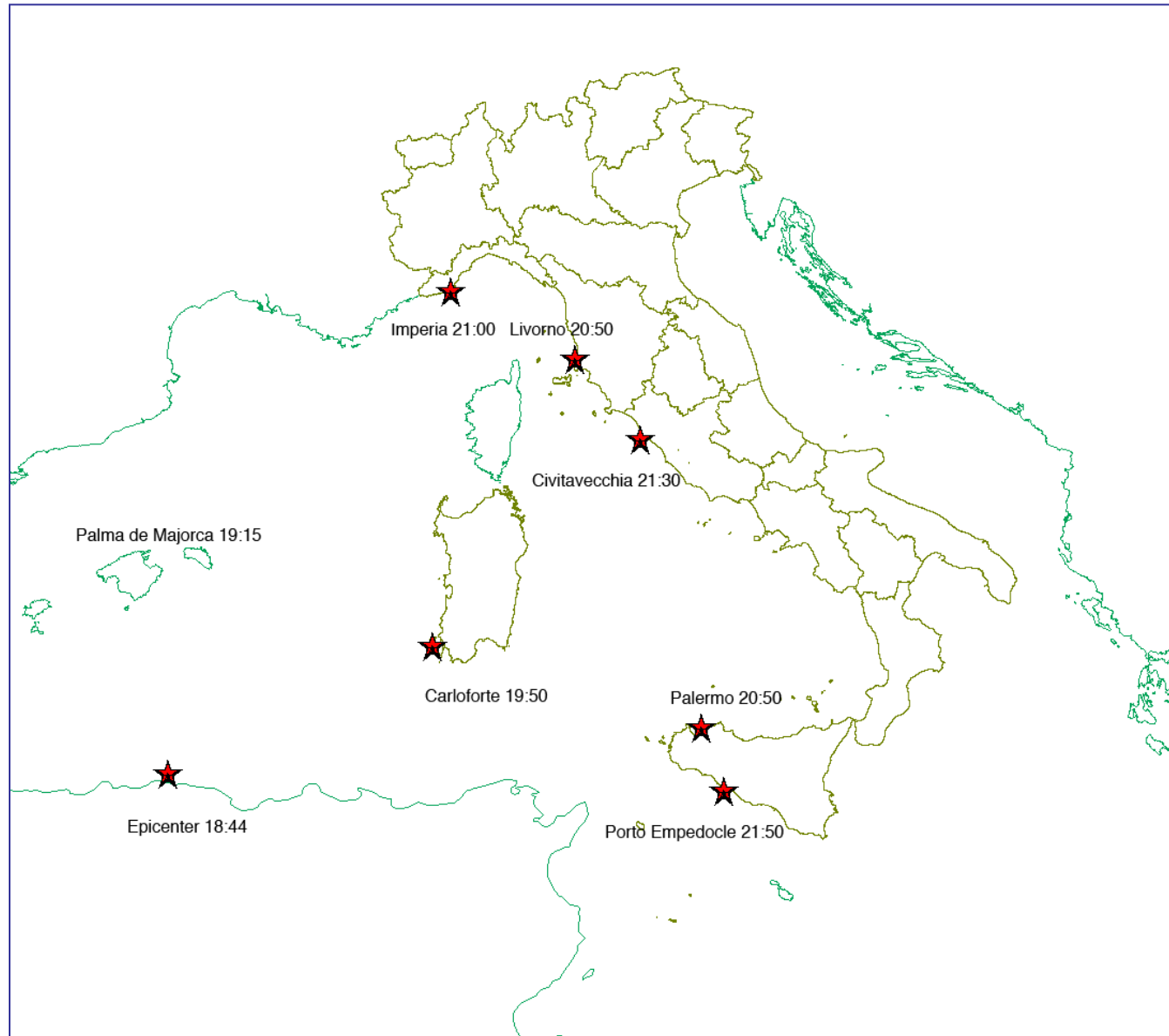


Identification of a tsunami event by means of RMN tide gauges
Comparison of sea level variation recorded at Carloforte and Imperia due to the occurrence of an earthquake on the 21st March 2003 on the Algerine Coast



ANALISI DEI DATI DI MAREA: tsunami

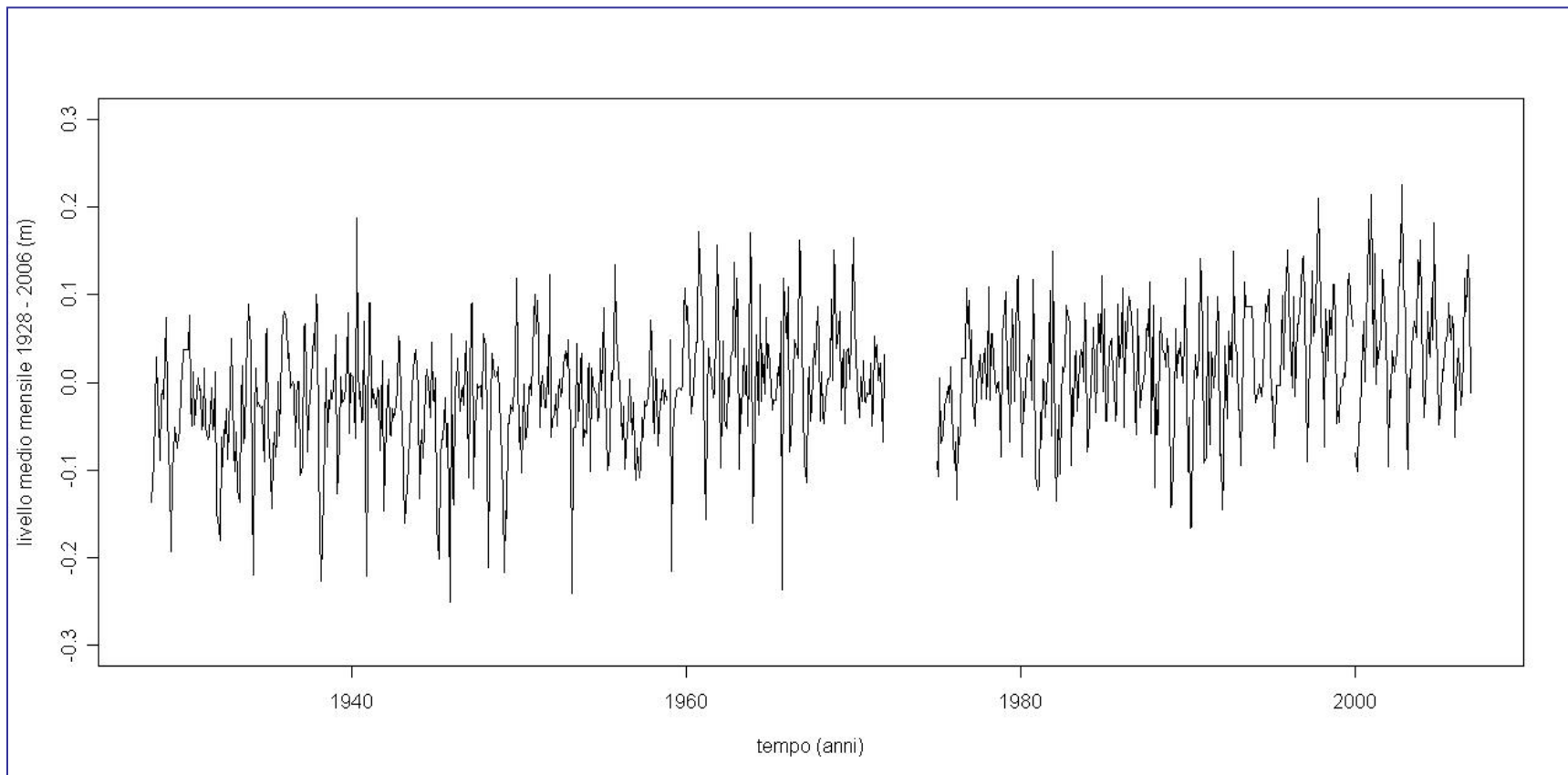
Arrival times for the 21th of may 2003 event





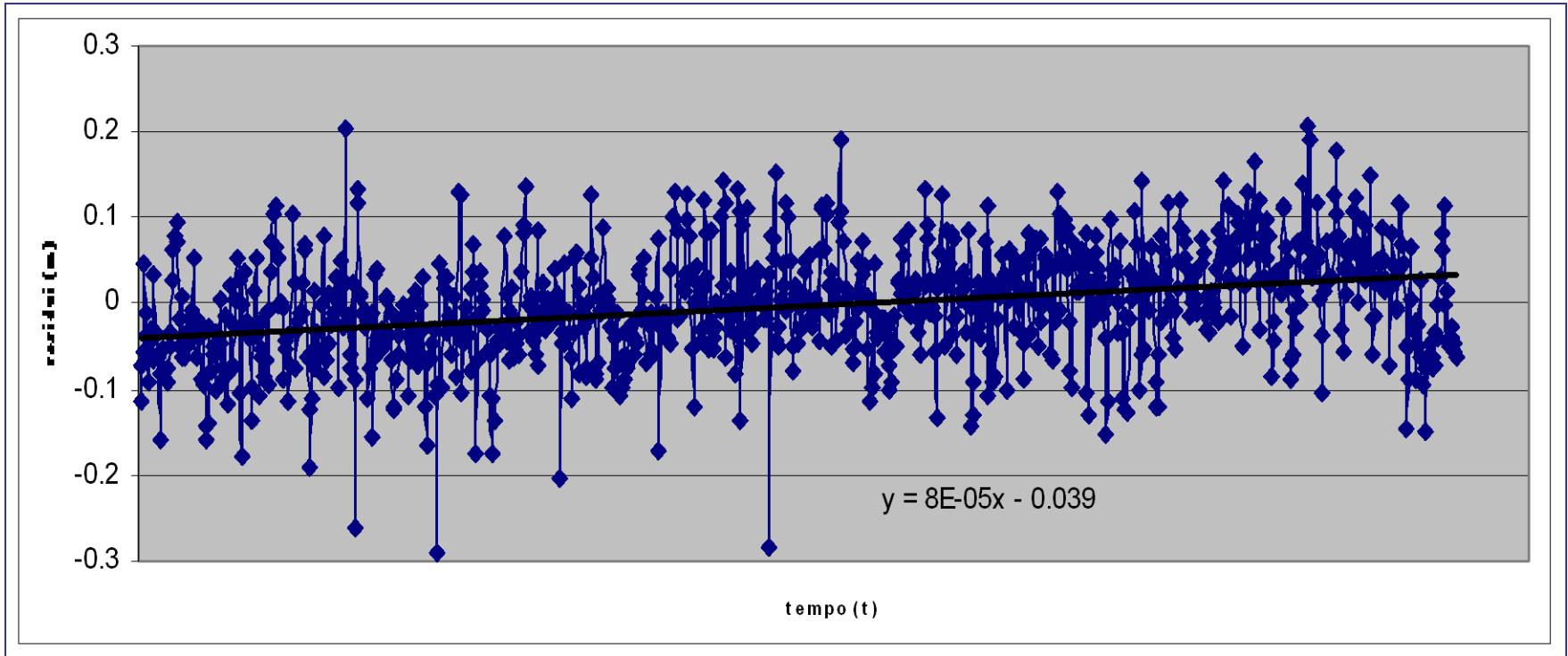
ANALISI DEI DATI DI MAREA

Genova, 1928 – 2006 medie mensili





ANALISI DEI DATI DI MAREA



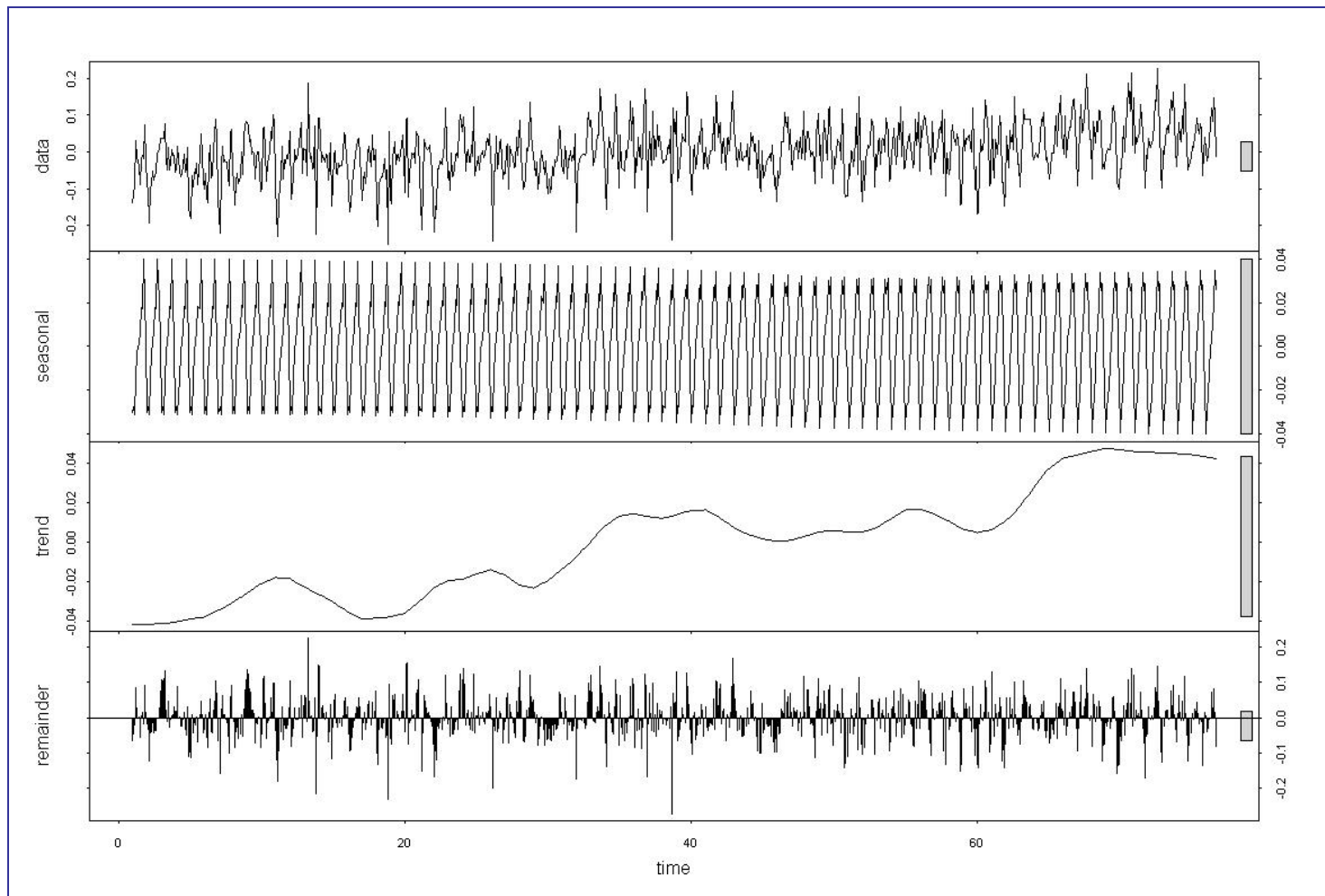
$$y = 7.69502E-5x - 0.03896 \text{ (m)}$$

(0.0769 mm/mese) (0.9 mm/anno)

(errore $5.12705E-07$ (m))



ANALISI DEI DATI DI MAREA



IL MODELLO
STL
(dati mensili)

LO STATO DEL MARE

● OSSERVAZIONI

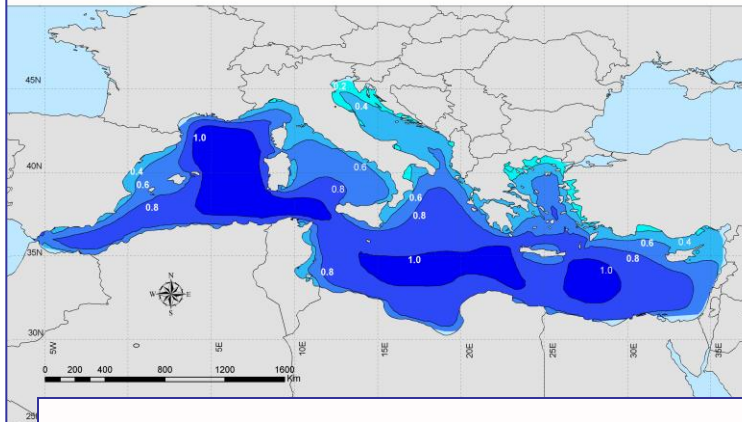
- RON, RMN, RTL

● SIMULAZIONI NUMERICHE

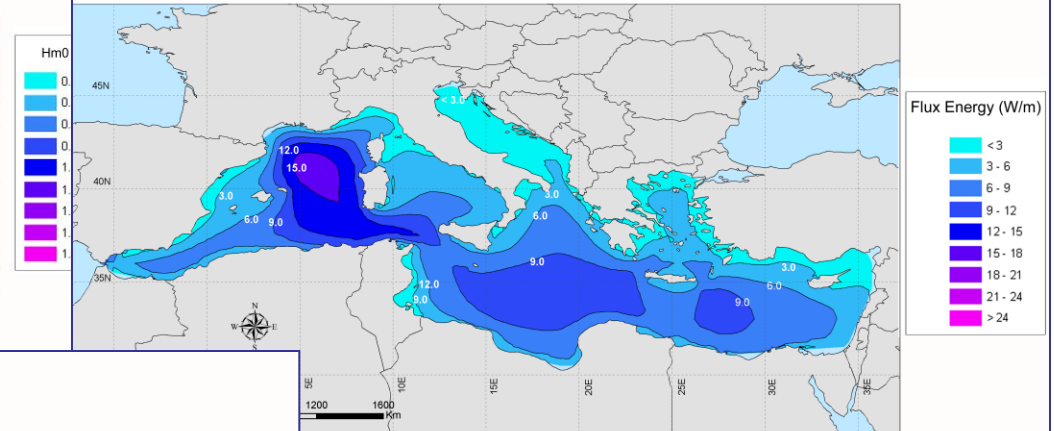
- ONDE: SIMM, SWAN
- CIRCOLAZIONE E DISPERSIONE: POM, LAWAM

HINDCASTING: mappe dello stato del mare

Mean Significant Wave Height - Annual



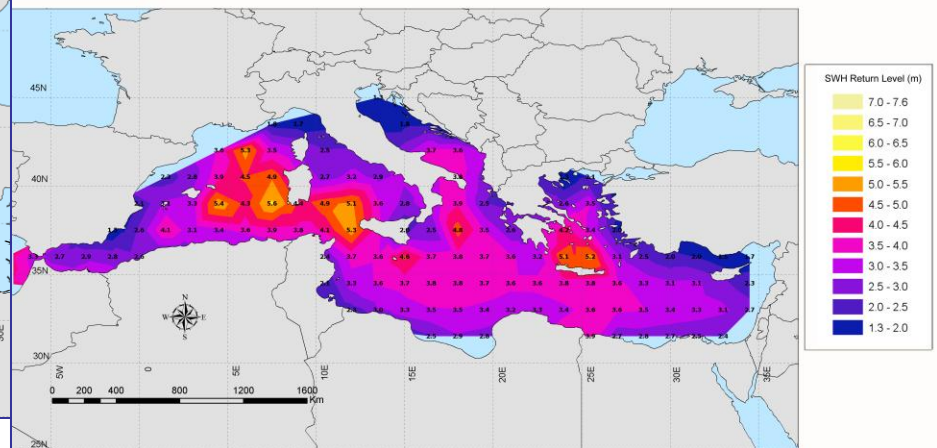
Mean Flux Energy - Annual



Mean Significant Wave Height and Direction - Annual



Significant Wave Height Return Level - 5 years



FORECASTING: SIMM

Sistema Idro Meteo Mare



sistema integrato di **previsione** e **monitoraggio**; le osservazioni sono usate nelle operazioni di verifica e post processing dei modelli, i dati di forecast sono impiegati per estendere le informazioni puntuali



FORECASTING: SIMM

Sistema Poseidon

http://www.apat.gov.it/pre_mare/poseidon.htm

INTRANET A...HOME PAGE OS X commands Apple (90) Amazon eBay Yahoo! News (349)

Sistema Poseidon

APAT
Agenzia per la protezione dell'ambiente e per i servizi tecnici

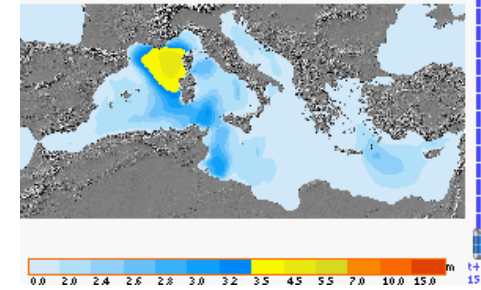
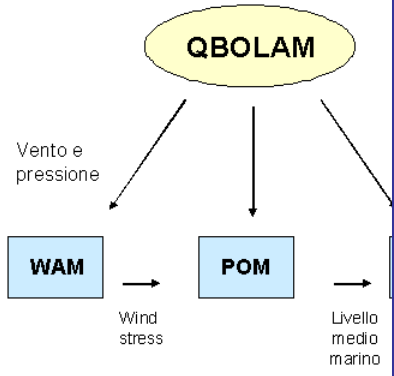
Previsioni sullo stato del mare

home Previsioni Disponibili: Mediterraneo Adriatico Venezia

- Modello WAM
- Modello POM
- Modello FEM
- Modello QBOLAM
- Sistema Poseidon

Sistema Poseidon

Il sistema previsionale **POSEIDON** (Provisional Operational System basin and the Defence of the lagOon of VeNice) è la base del (SIMM) per la previsione a breve termine dello stato del Mar Med a Venezia. Il sistema, composto da una serie di modelli in cascata una parte alla previsione delle condizioni meteorologiche a attenzione alle precipitazioni ed al vento (**QBOLAM**), dall'altra a tutto il Mediterraneo (WAVE Model, **WAM**), per il Mare Adriatico (**POM**) ed infine all'evoluzione dei fenomeni mareali all'interno del particolare riferimento al fenomeno delle acque alte (Finite Element



Modello QBOLAM

http://www.apat.gov.it/pre_mare/qbolam.htm

INTRANET A...HOME PAGE OS X commands Apple (90) Amazon eBay Yahoo! News (349)

Modello QBOLAM

APAT
Agenzia per la protezione dell'ambiente e per i servizi tecnici

home Previsioni Disponibili: Mediterraneo Adriatico Venezia

- Modello WAM
- Modello POM
- Modello FEM
- Modello QBOLAM
- Sistema Poseidon

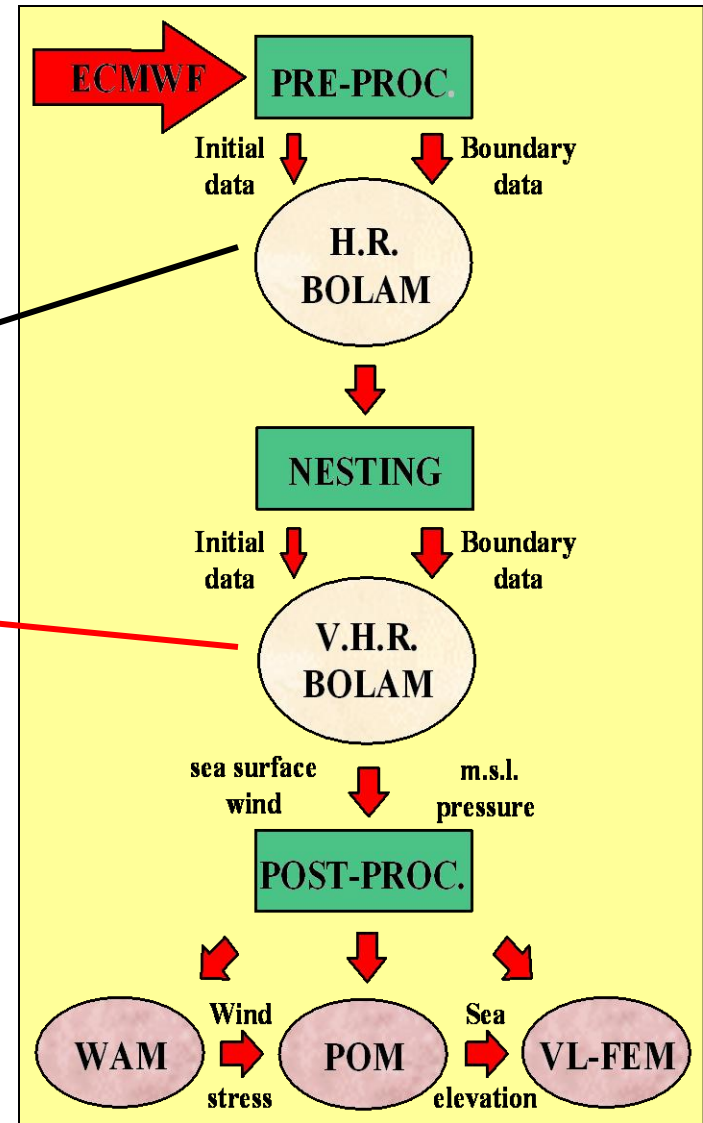
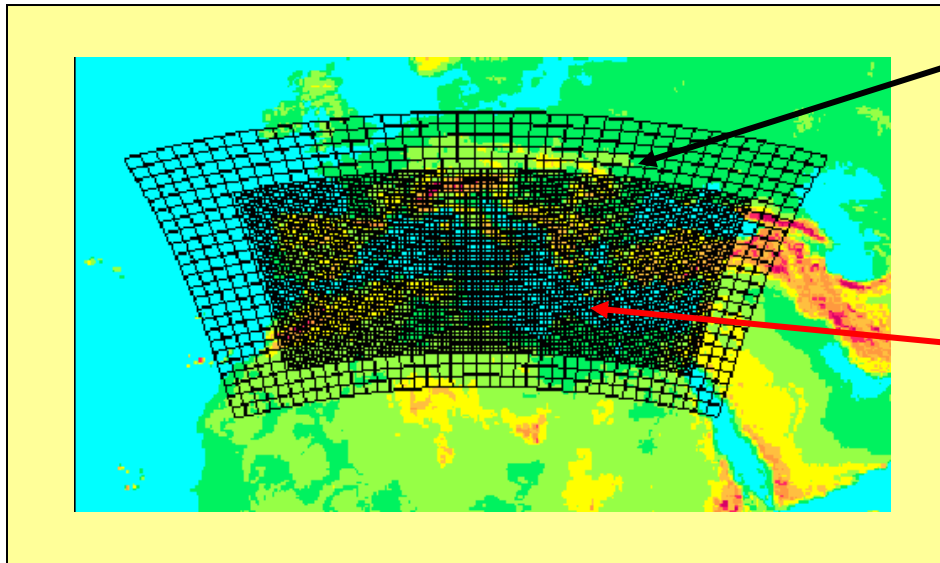
Modello QBOLAM

Il modello ad area limitata utilizzato per le previsioni meteorologiche nel sistema Poseidon, denominato QBOLAM (Nicastro and Valentiniotti, 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. Il 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) mentre in verticale è stato impiegato il grigliato di Lorentz (1960).

Il dominio d'integrazione è presentato in figura. Si tratta dell'unico modello operativo con un passo di griglia di circa 10 km, attualmente disponibile in Italia per le previsioni sullo stato del mare sull'intero Mar Mediterraneo.



FORECASTING: SIMM



www.apat.gov.it/pre_meteo/
www.apat.gov.it/pre_mare/

FORECASTING: SIMM

QBOLAM



- modello tridimensionale che integra le equazioni di conservazione della massa, del momento e dell'energia
- HR BOLAM con risoluzione di 30 Km
- VHR BOLAM con risoluzione di 10 Km
- **input:** ECMWF analysis (ogni 6 ore per HR, 3 ore per VHR)
- **output:** grandezze meteorologiche al suolo, vento, pressione atmosferica, temperatura, precipitazione



FORECASTING: SIMM

WAM



- modello che descrive l'evoluzione dello spettro delle onde risolvendo le equazioni del trasporto dell'energia
- **input:** vento ottenuto dal QBOLAM
- **output:** campo di Hs e dir

FORECASTING: SIMM

POM



- Modello tridimensionale, a superficie libera in coordinate sigma, che integra le equazioni primitive della fluidodinamica
- **input:** batimetria, stress del vento, temperatura e salinità
- **output:** elevazione della superficie libera, campo di corrente

FORECASTING: SIMM

FEM



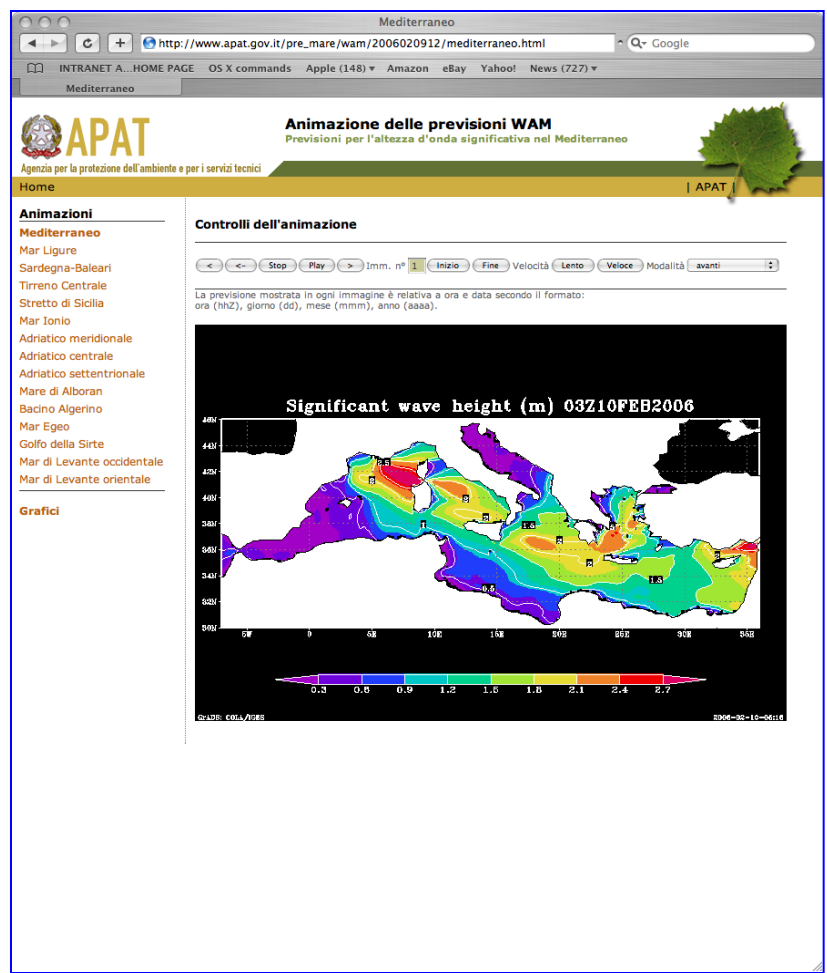
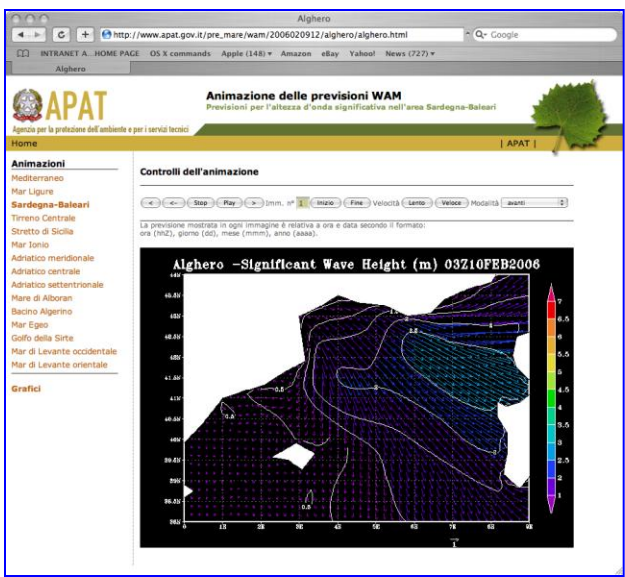
- Modello ad altissima risoluzione che integra le equazioni di conservazione della massa e del momento
- **input:** elevazione della superficie libera, stress del vento
- **output:** il livello nella Laguna di Venezia

FORECASTING: SIMM

ATTIVITA'

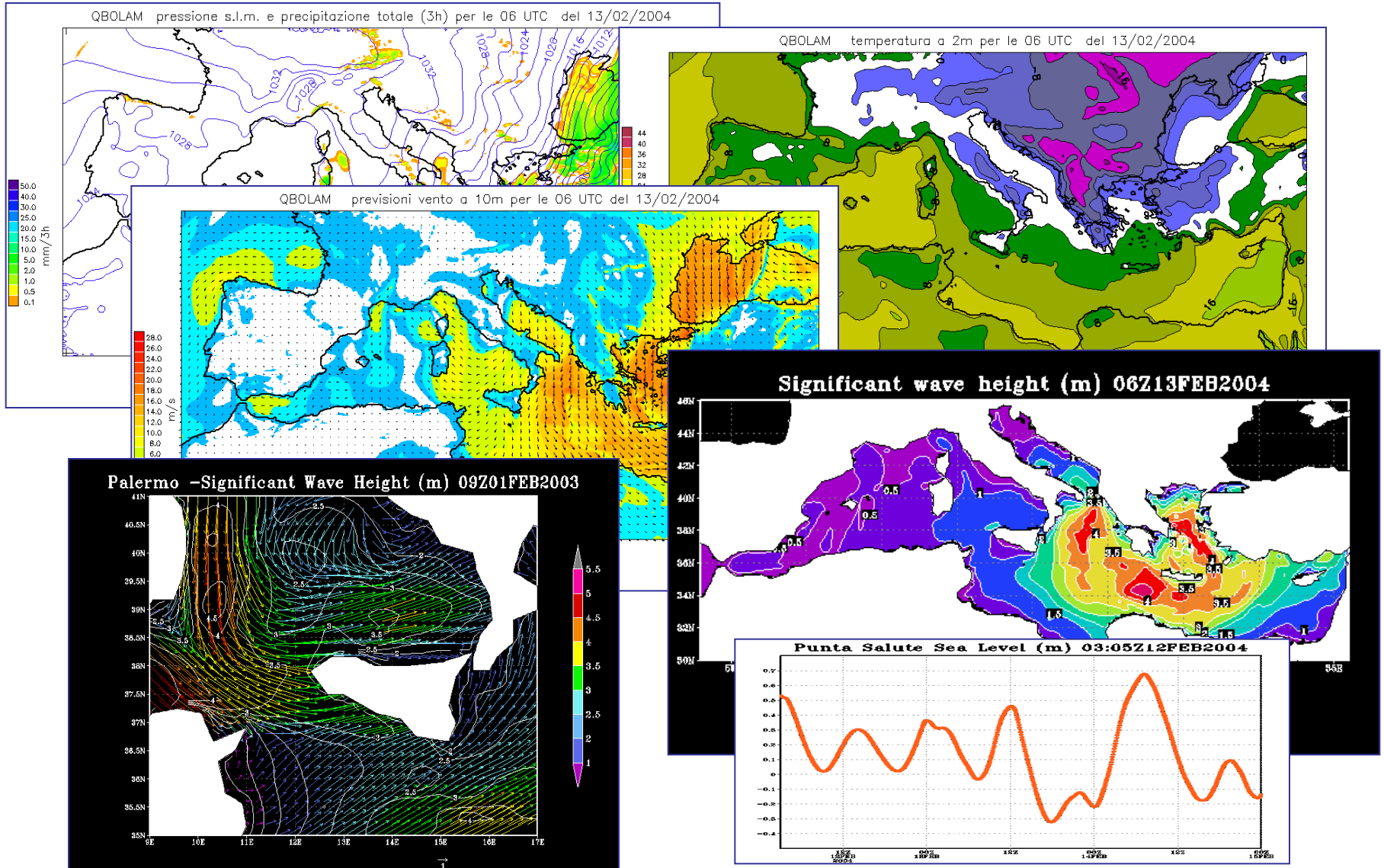
- Previsioni dello stato del mare sul Mediterraneo
- Previsione dell'acqua alta nella Laguna di Venezia

PRODOTTI



FORECASTING: SIMM

SIMM (previsioni a 48 ore)



FORECASTING: SIMM

Mediterraneo

http://www.apat.gov.it/pre_mare/wam/2006022812/mediterraneo.html

INTRANET A... HOME PAGE OS X commands Apple (90) Amazon eBay Yahoo! News (346)

Mediterraneo

APAT
Agenzia per la protezione dell'ambiente e per i servizi tecnici

Animazione delle previsioni WAM
Previsioni per l'altezza d'onda significativa nel Mediterraneo

Home | APAT |

Animazioni

- Mediterraneo
- Mar Ligure
- Sardegna-Baleari
- Tirreno Centrale
- Stretto di Sicilia
- Mar Ionio
- Adriatico meridionale
- Adriatico centrale
- Adriatico settentrionale
- Mare di Alboran
- Bacino Algerino
- Mar Egeo
- Golfo della Sirte
- Mar di Levante occidentale
- Mar di Levante orientale

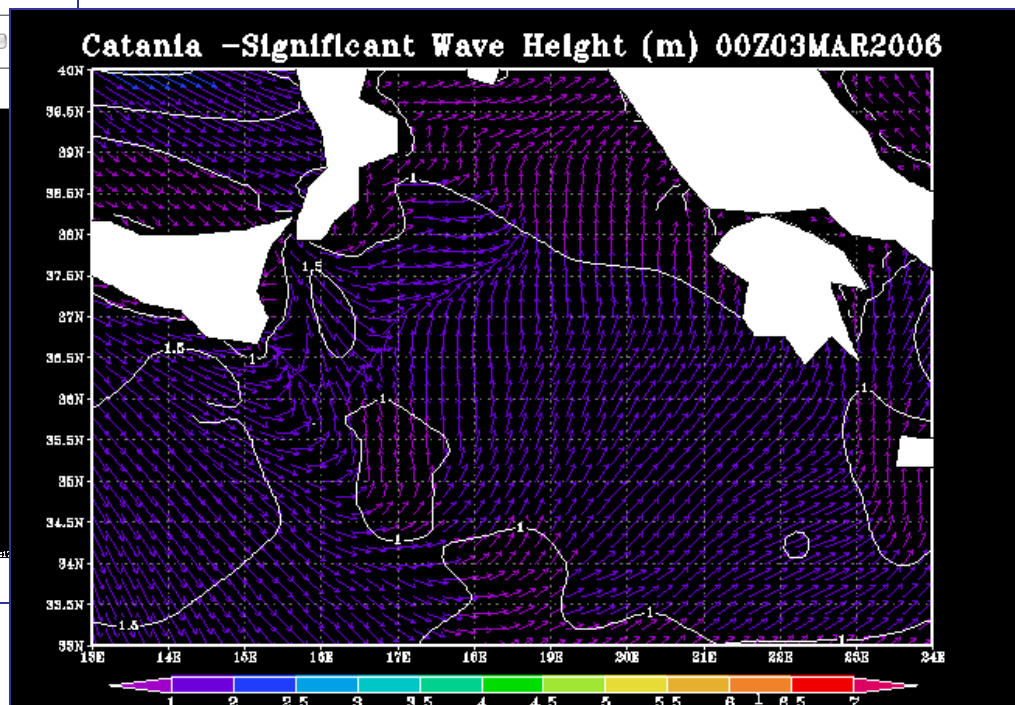
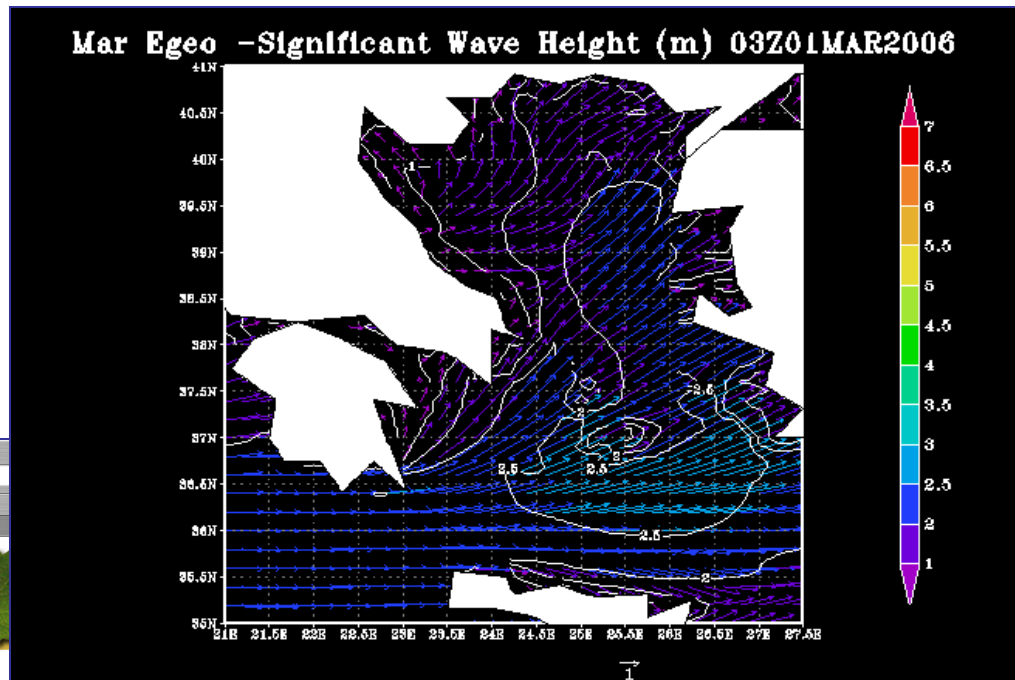
Controlli dell'animazione

Stop Play Imm. n° 1 Inizio Fine Velocità Lento Veloce Modalità avanti

La previsione mostrata in ogni immagine è relativa a ora e data secondo il formato: ora (hhZ), giorno (dd), mese (mmm), anno (aaaa).

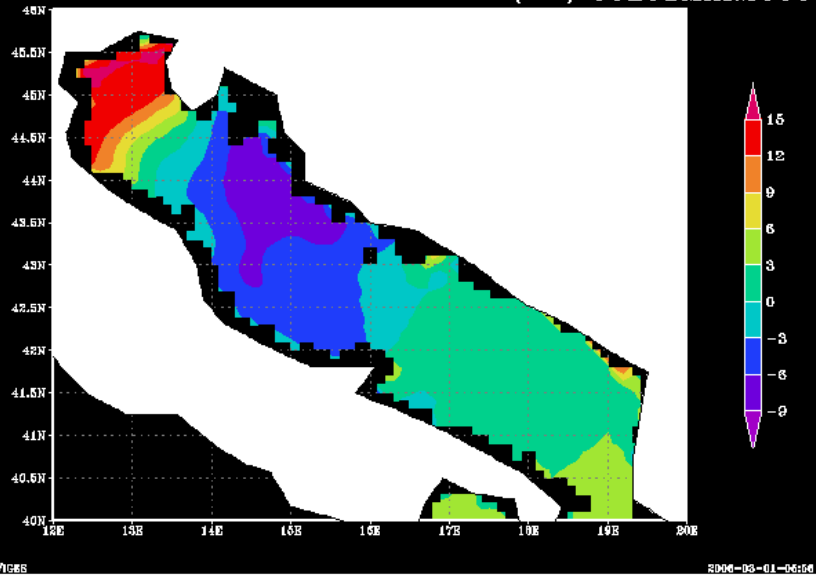
Significant wave height (m) 03Z01MAR2006

© IADP: COLA/IRIS 2006-03-01-0611

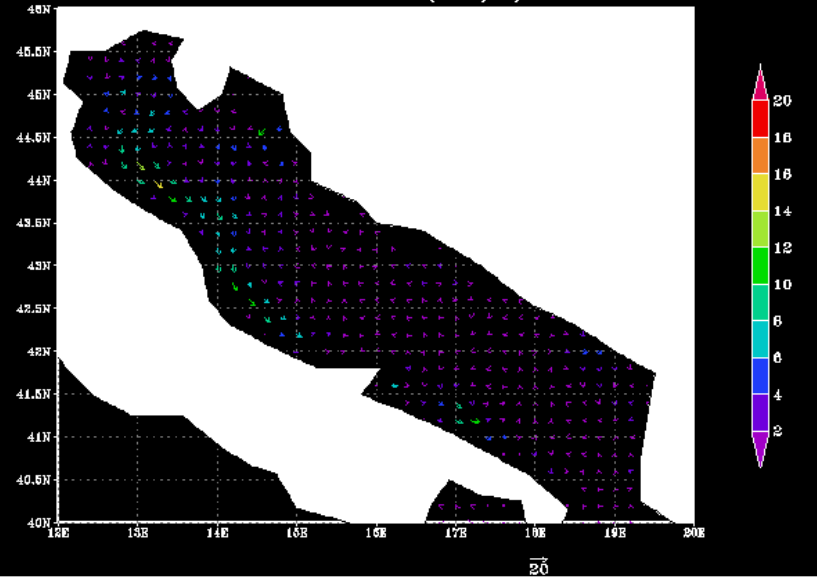


FORECASTING: SIMM

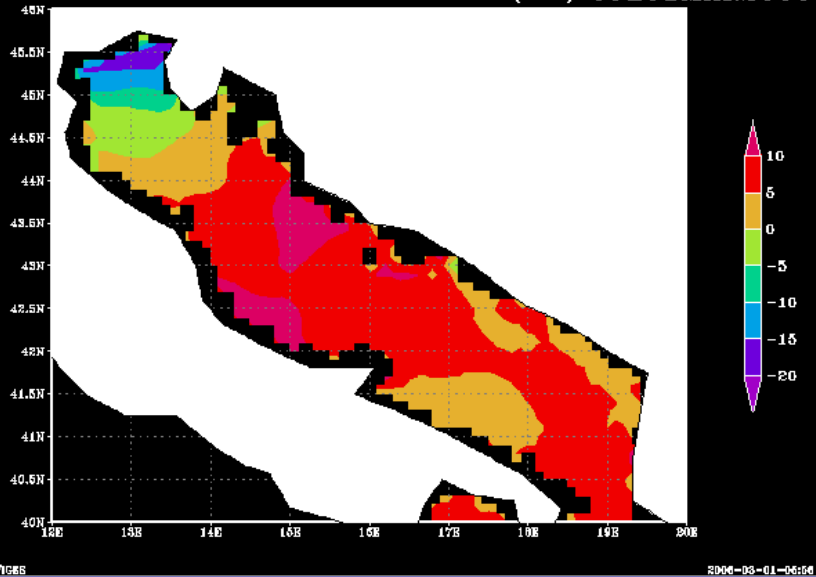
Non-tidal sea level variations (cm) 06Z01MAR2006



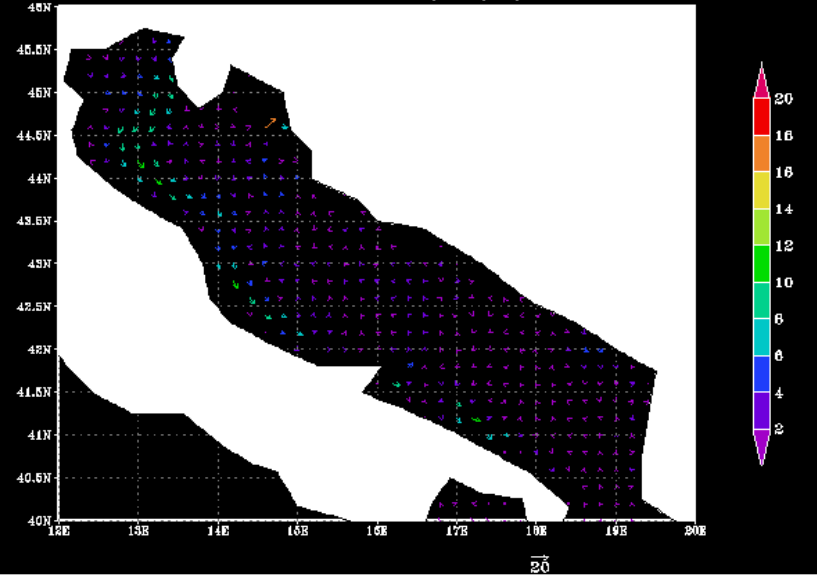
Non-Tidal Circulation Field (cm/s) 06Z01MAR2006



Non-tidal sea level variations (cm) 09Z01MAR2006



Non-Tidal Circulation Field (cm/s) 09Z01MAR2006

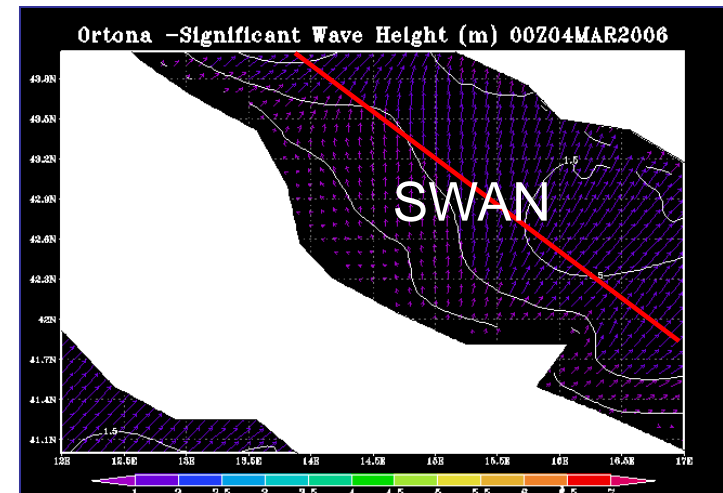




FORECASTING: LA FASCIA COSTIERA

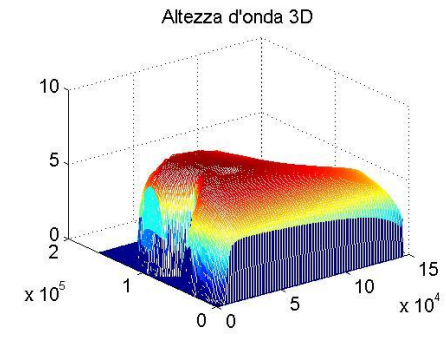
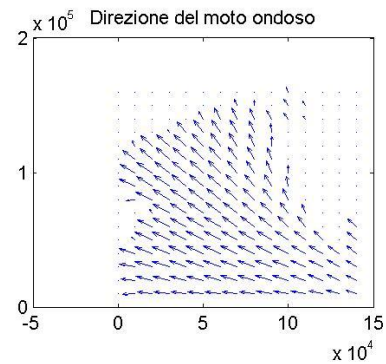
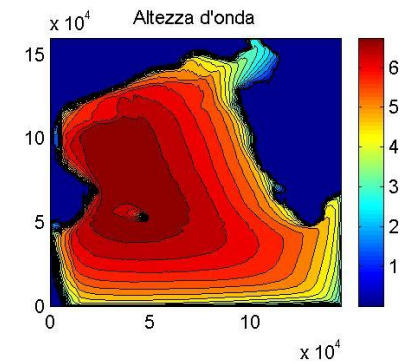
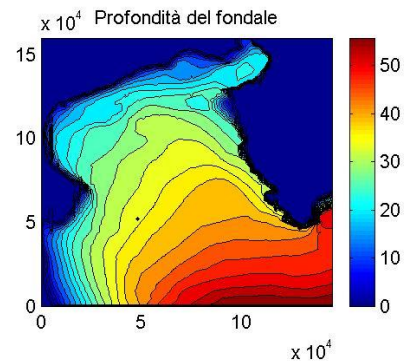
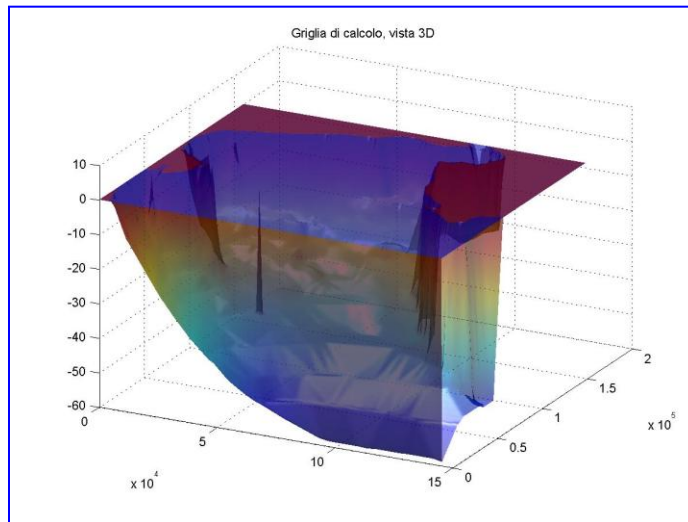
SWAN

- i bordi del dominio di integrazione dei modelli tipo WAM
- diventano importanti i fenomeni di shoaling, rifrazione, riflessione e frangimento delle onde dovuti all'interazione con il fondale
- i modelli di propagazione a grande scala non sono accurati nel considerare tali fenomenologie



Si introducono modelli a scala più piccola **SWAN** “di fronte” alla linea di costa e si propaga il moto ondoso da largo a riva utilizzando come condizioni al contorno le condizioni al largo

FORECASTING: LA FASCIA COSTIERA

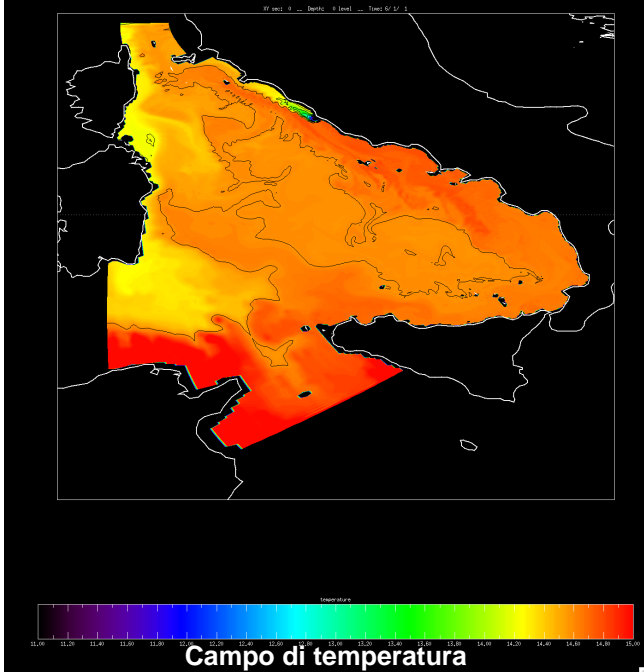
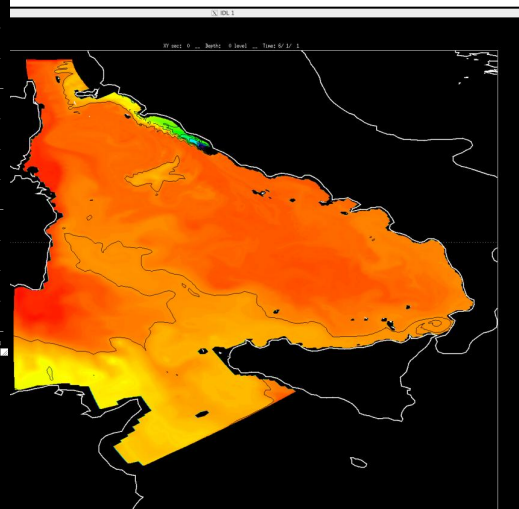
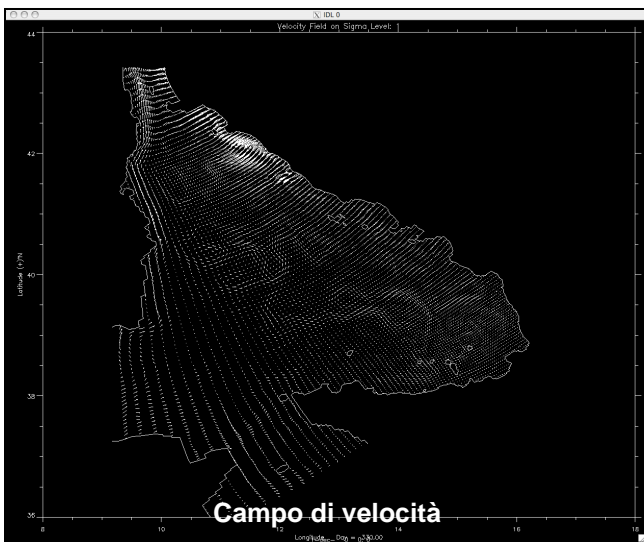


FORECASTING: CIRCOLAZIONE E DISPERSIONE

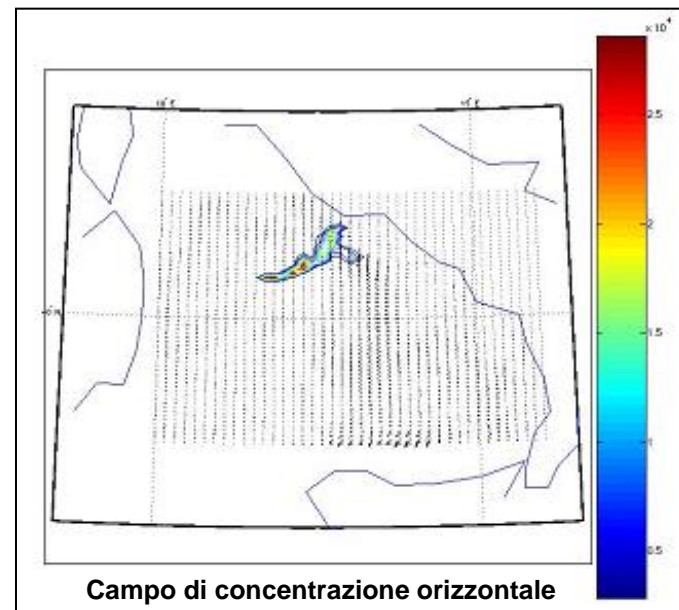
- IL POM
- IL MODELLO LAGRANGIANO
- IL MODELLO LES

FORECASTING: CIRCOLAZIONE E DISPERSIONE

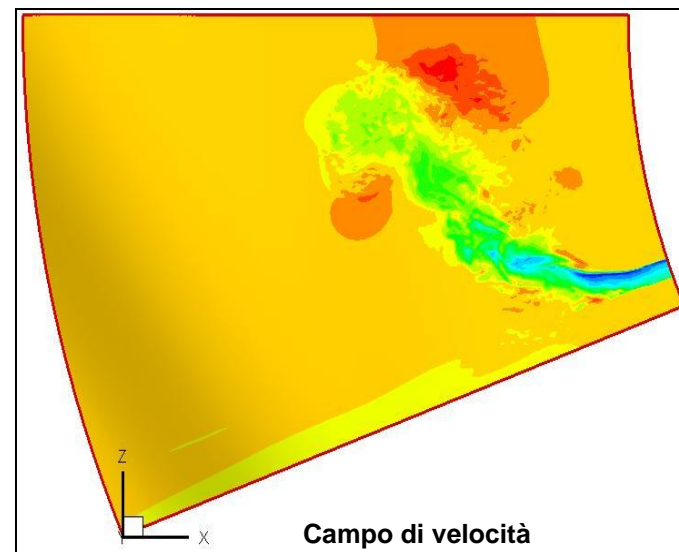
IL POM



IL LAWAM

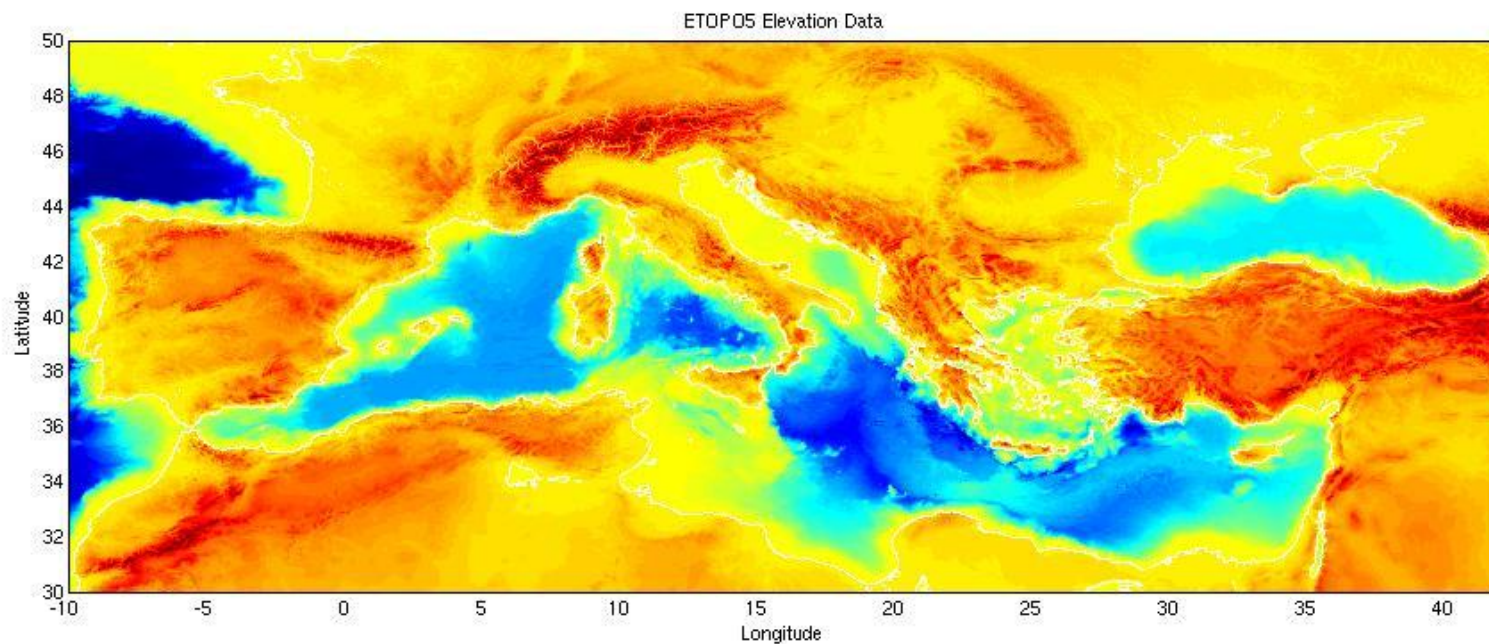


IL LES





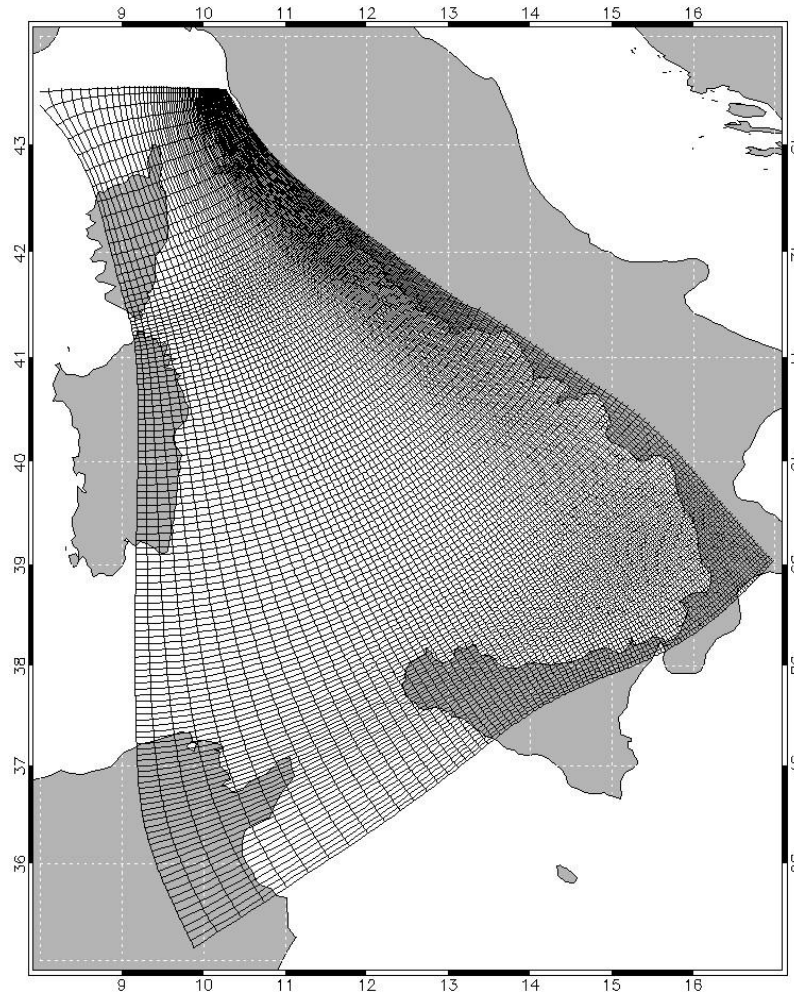
ACEPOM



Batimetria su grande scala

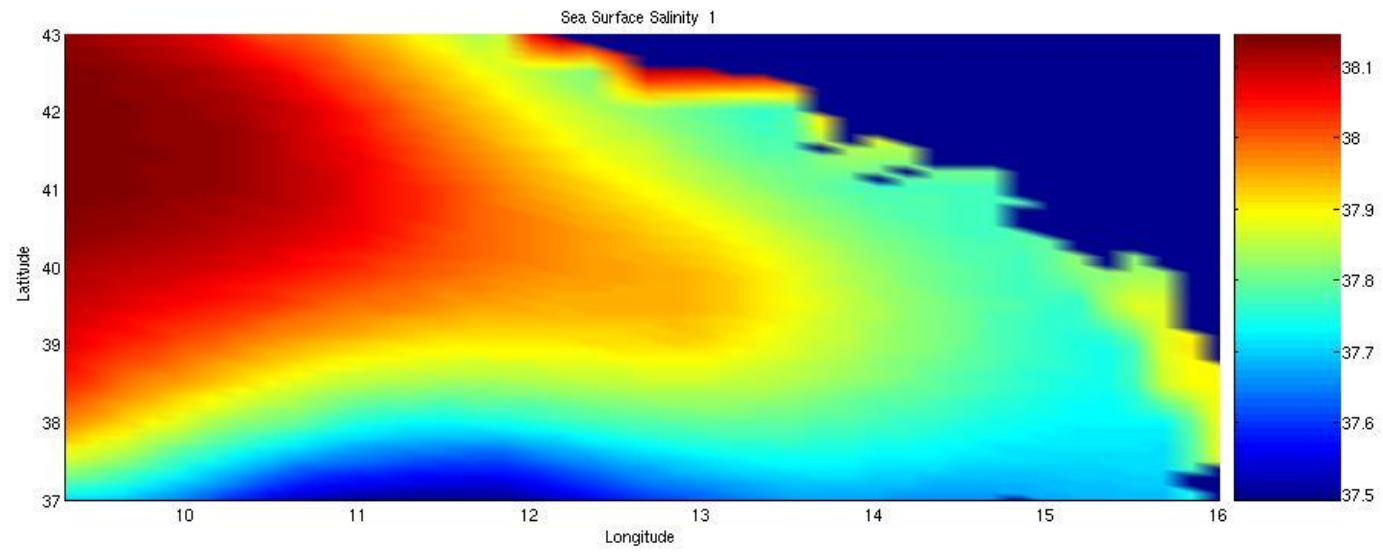
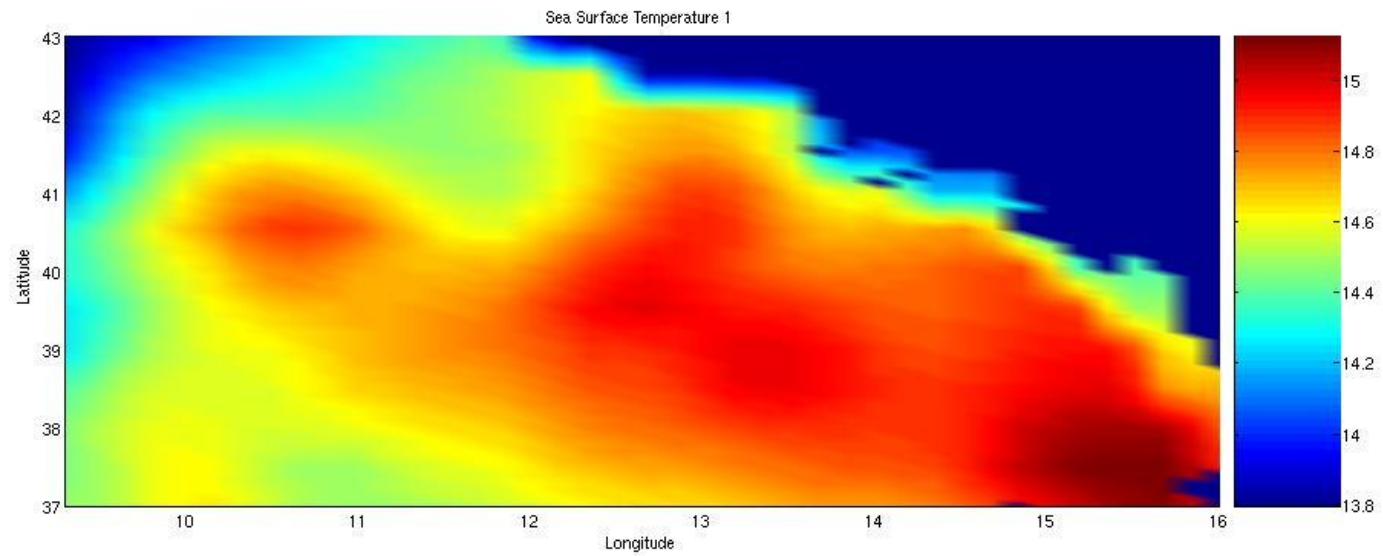
In collaborazione con l'ENEA CLIM - MOD

ACEPOM



Griglia di calcolo

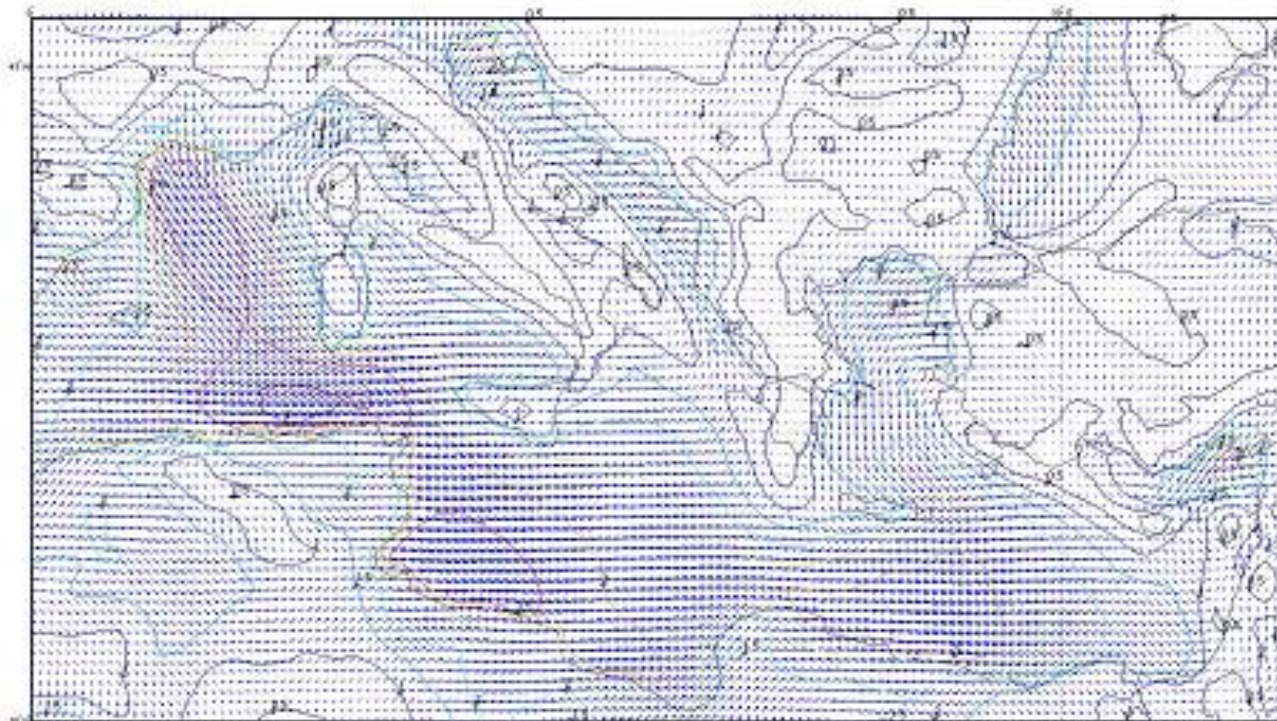
**200 X 250 X 35
nodi**



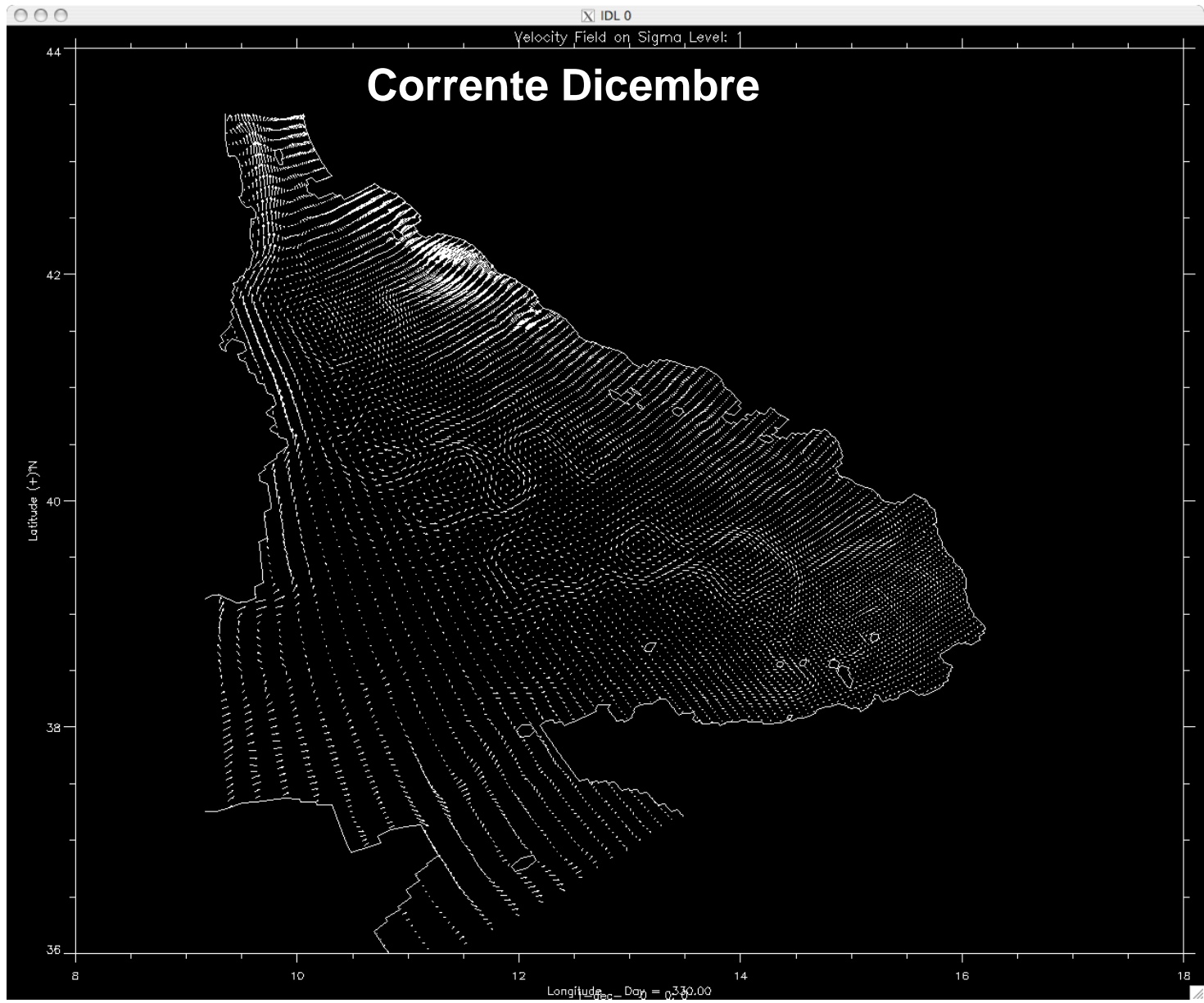


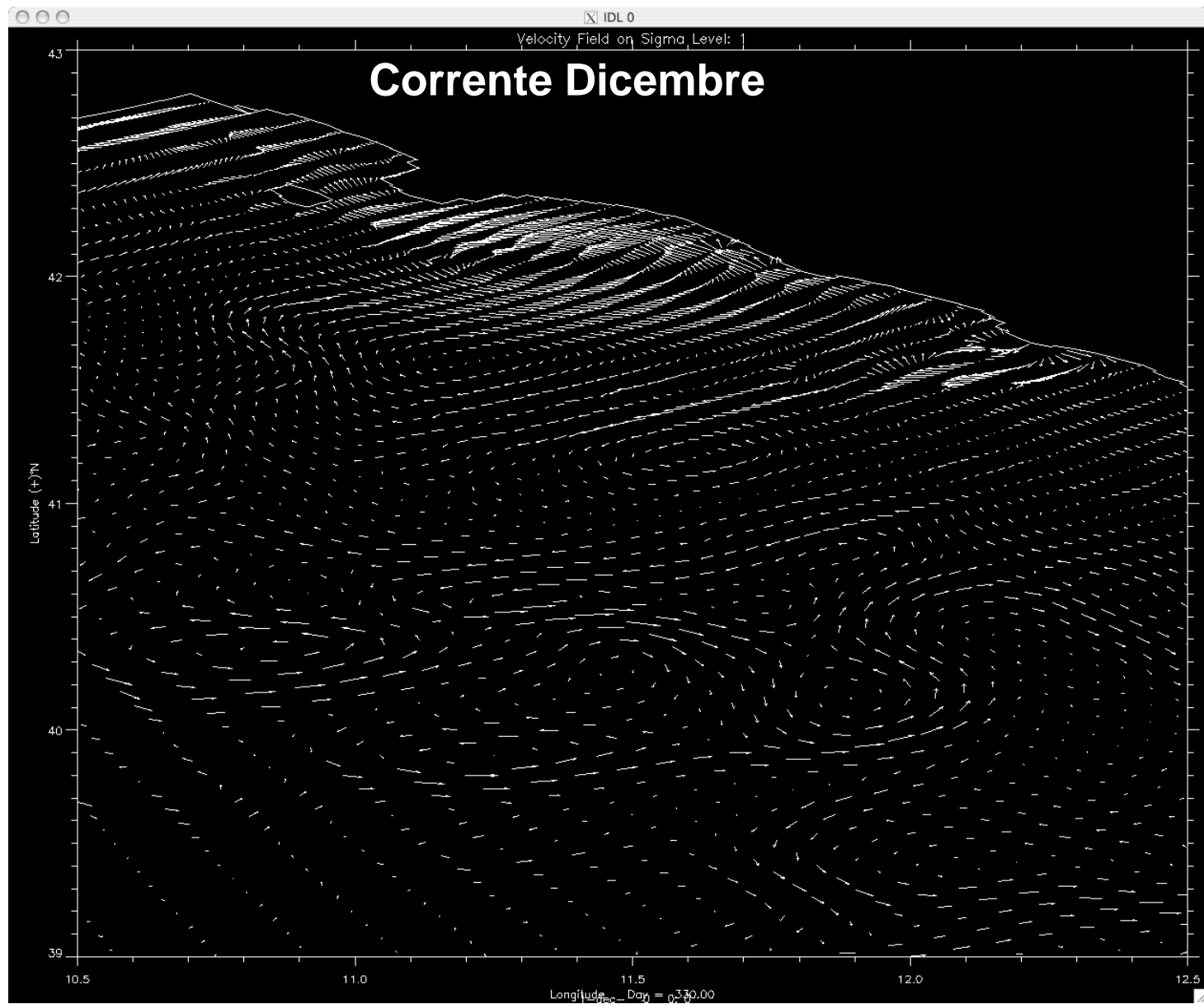
ACEPOM

ECMWF HR monthly wind average (1980-2000) analysis - December



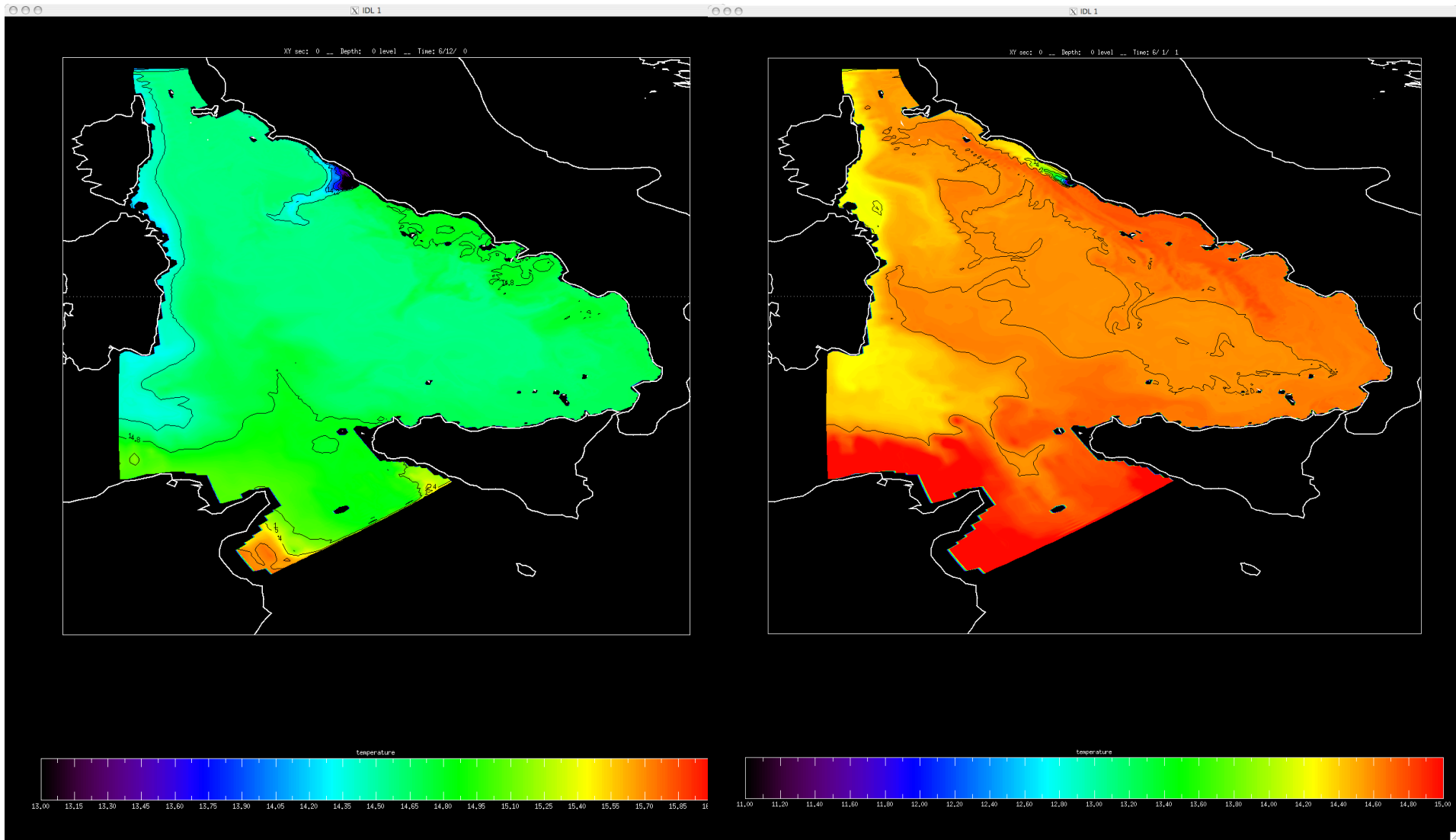
Vento ECMWF Dicembre





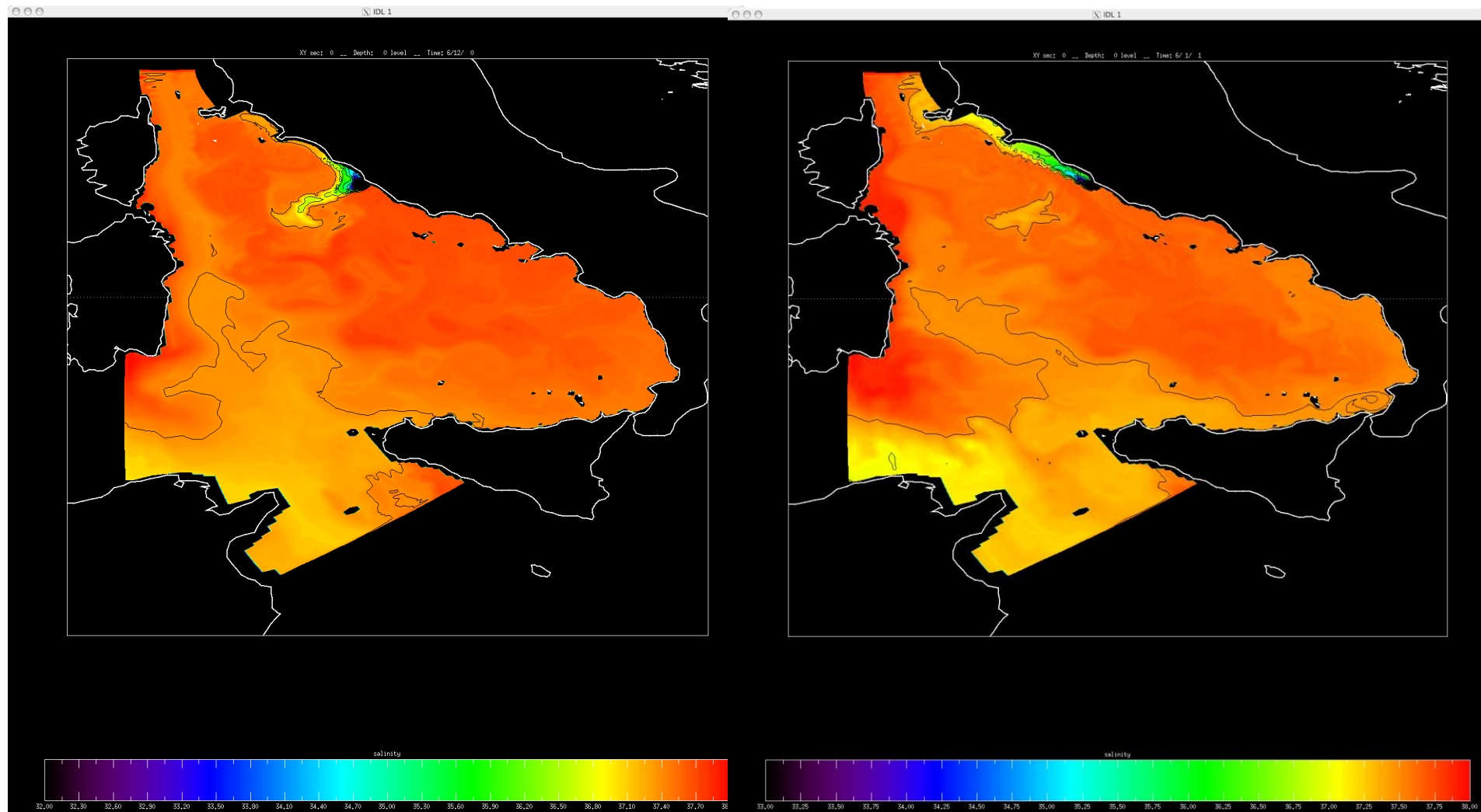


Temperatura Dicembre - Gennaio





Salinità Dicembre - Gennaio



IL MODELLO LAWAM

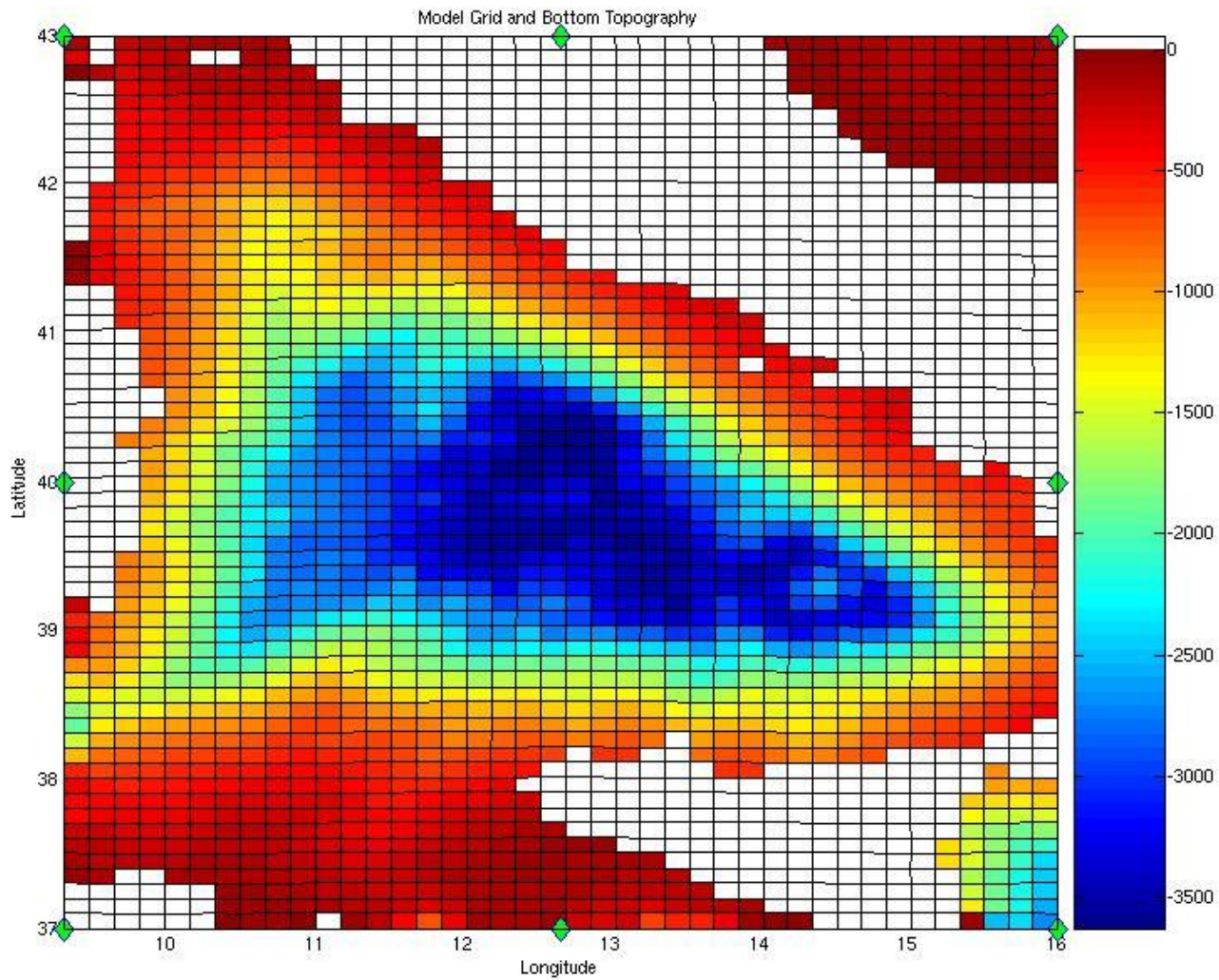
studio della dispersione di inquinanti passivi per applicazioni di tipo costiero



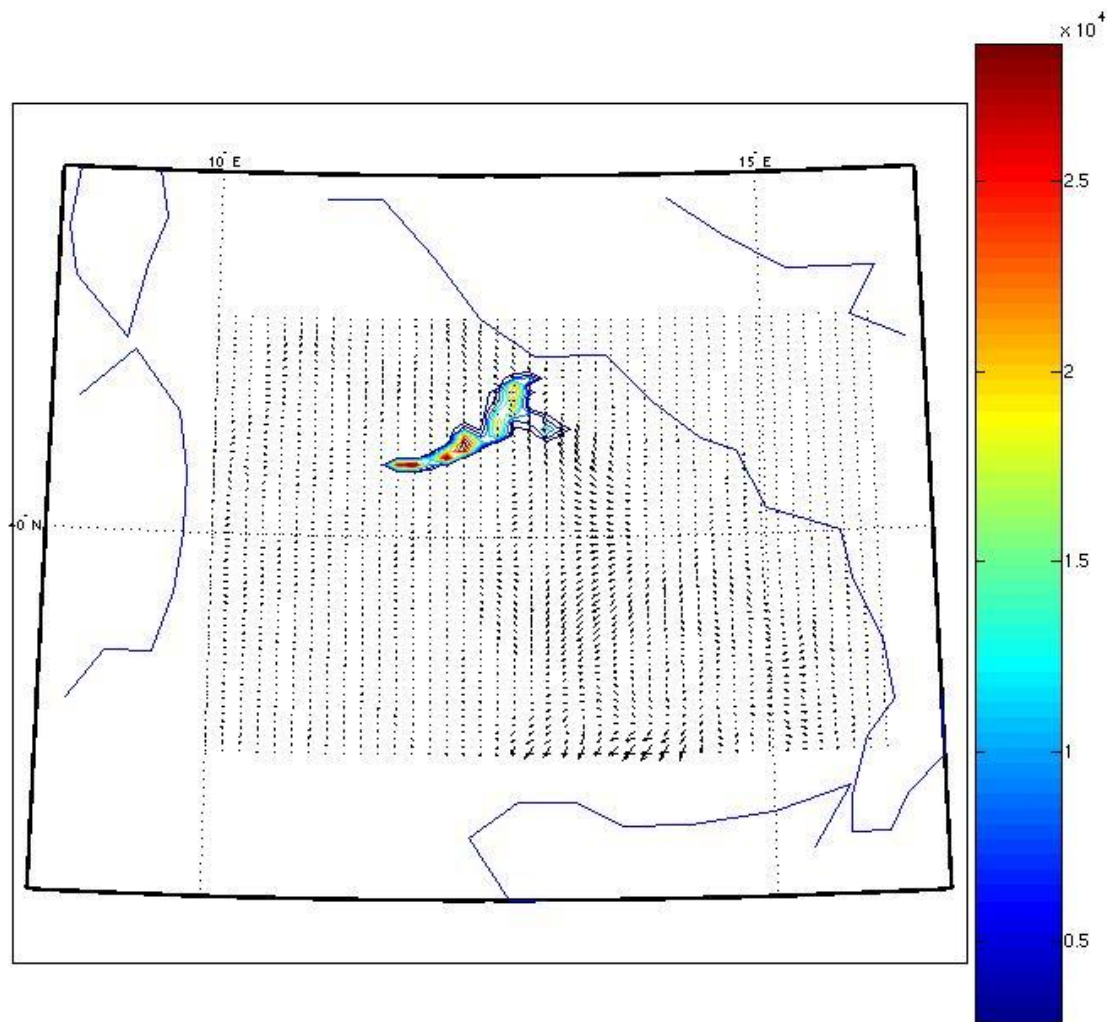
- dati di input, area, grigliato (POM)
- RUN
- Esempio di risultato



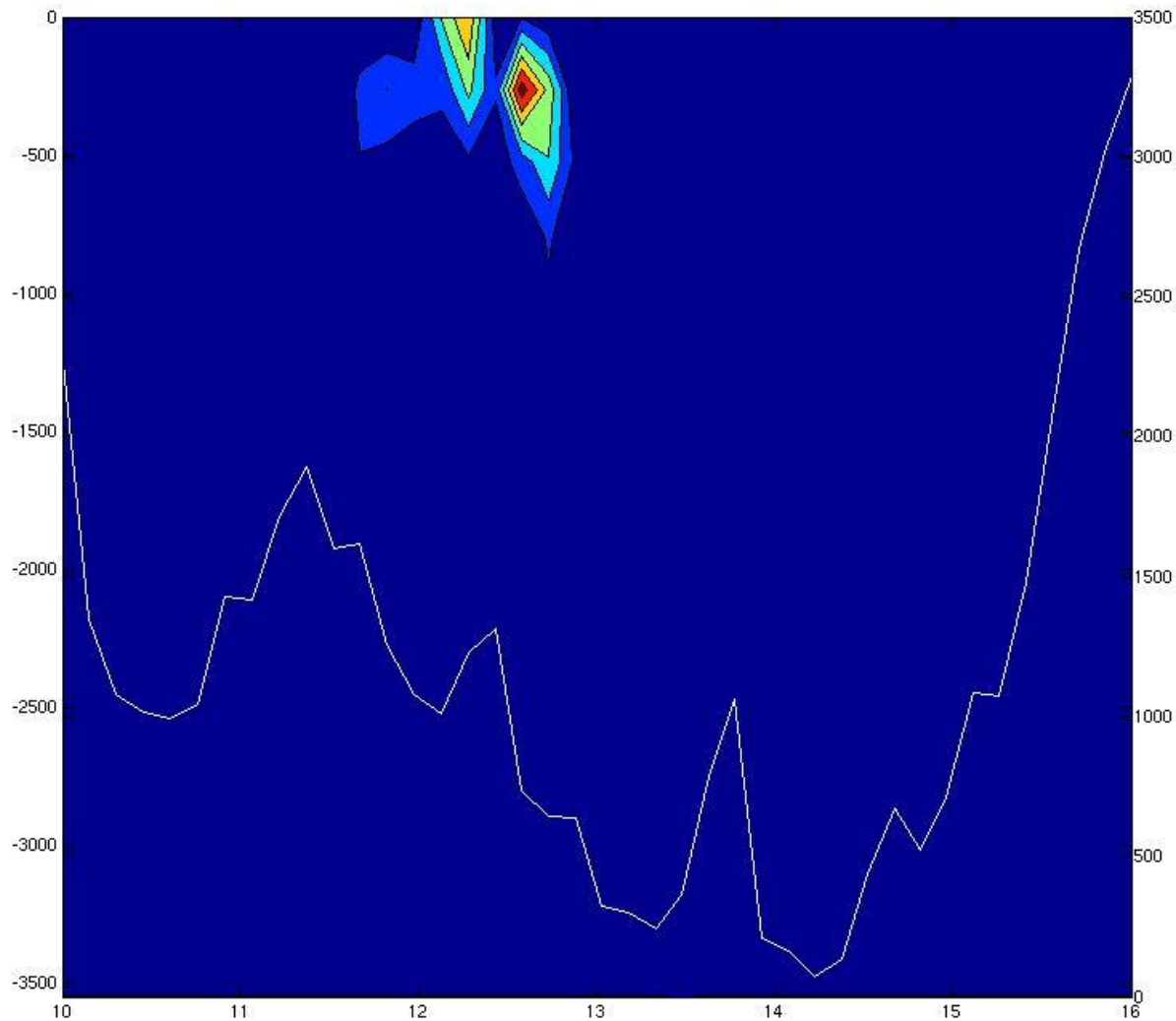
Griglia di calcolo POM



**41 X 61 X 16
nodi**



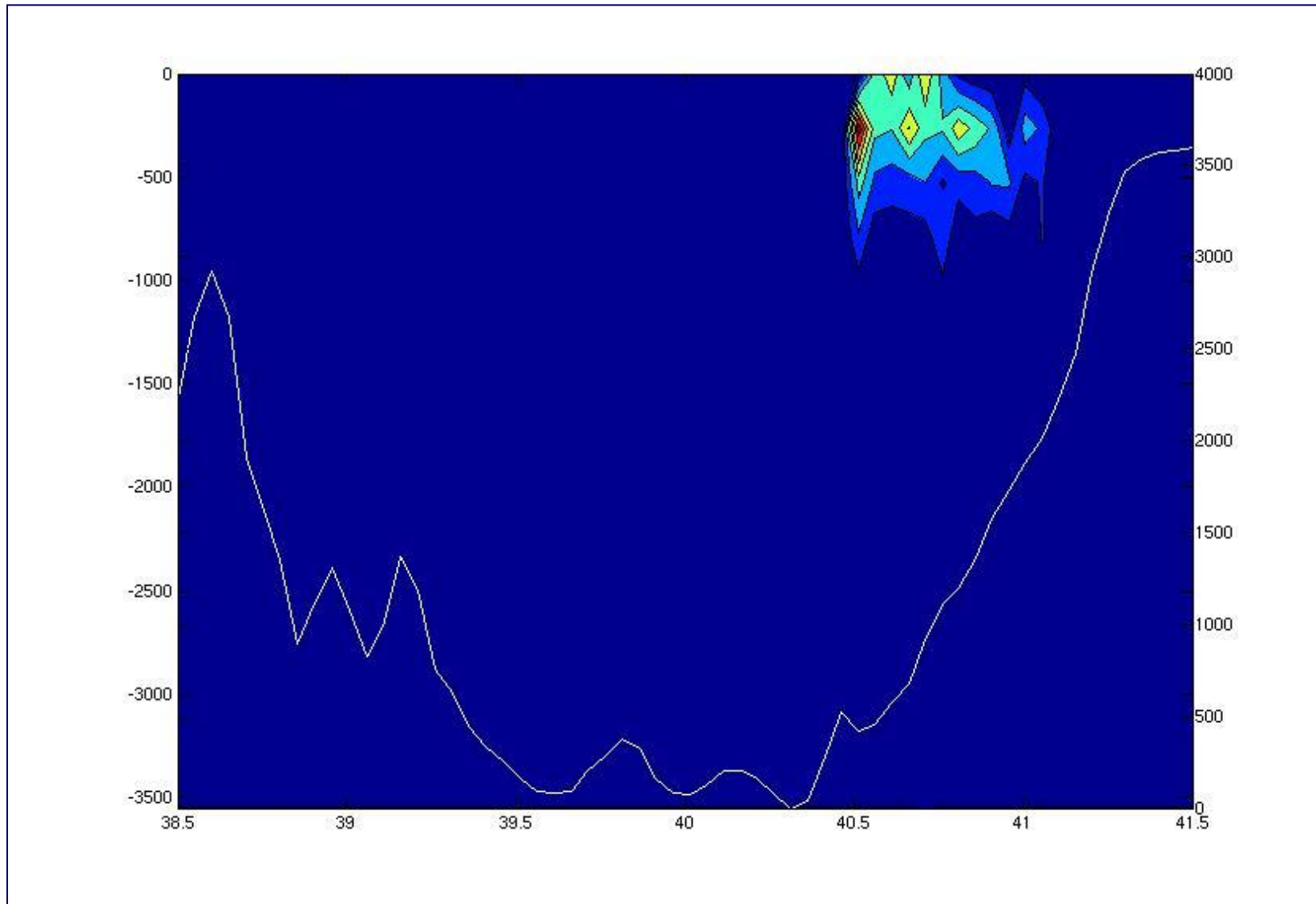
LAWAM
concentrazione
sezione orizzontale



LAWAM
concentrazione
sezione verticale
(longitudine)



LAWAM – concentrazione sezione verticale (latitudine)



IL MODELLO LES

“Modello per l'analisi della diffusione di getti sommersi in correnti costiere stratificate”

studio dei campi di moto tridimensionali marini su piccola scala

(modello parallelo)



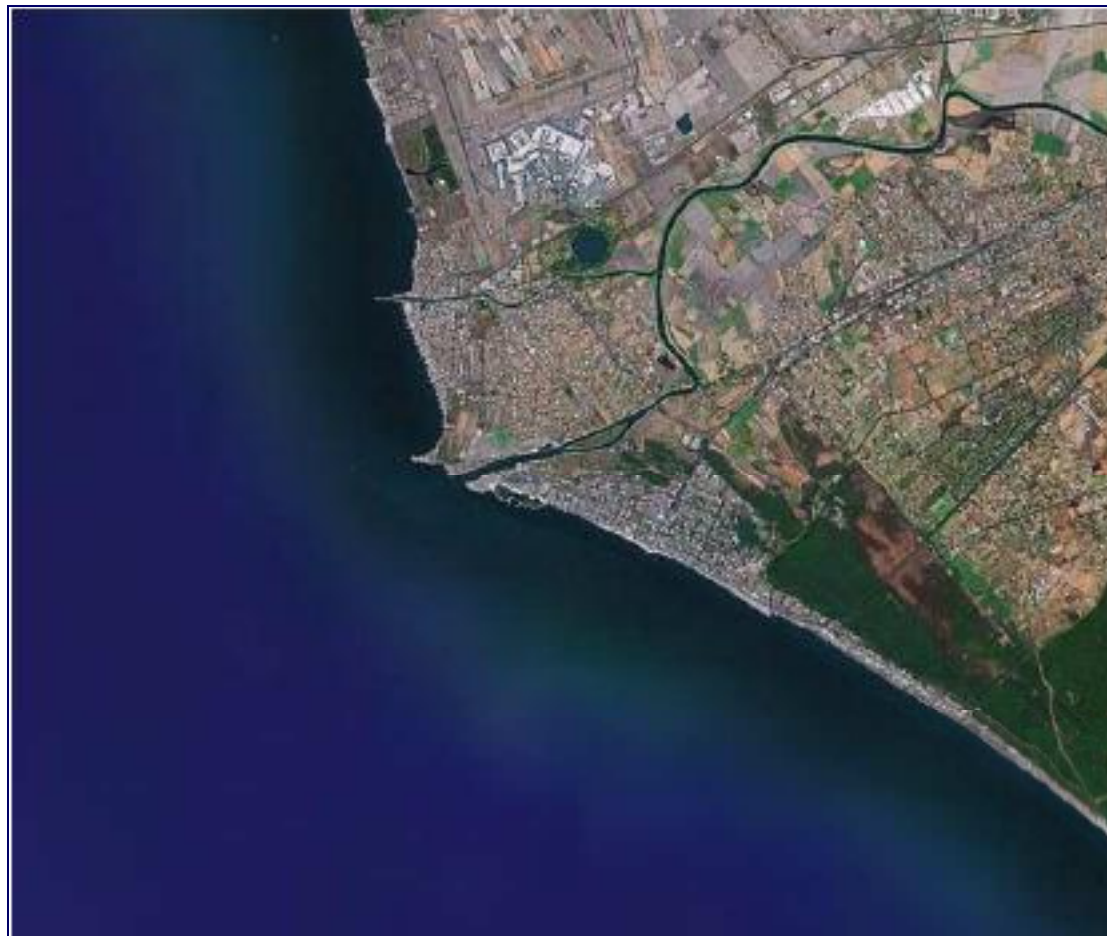
- dati di input, area, grigliato
- RUN
- Esempio di risultato

In collaborazione con l'Università di Trieste, Facoltà di Ingegneria

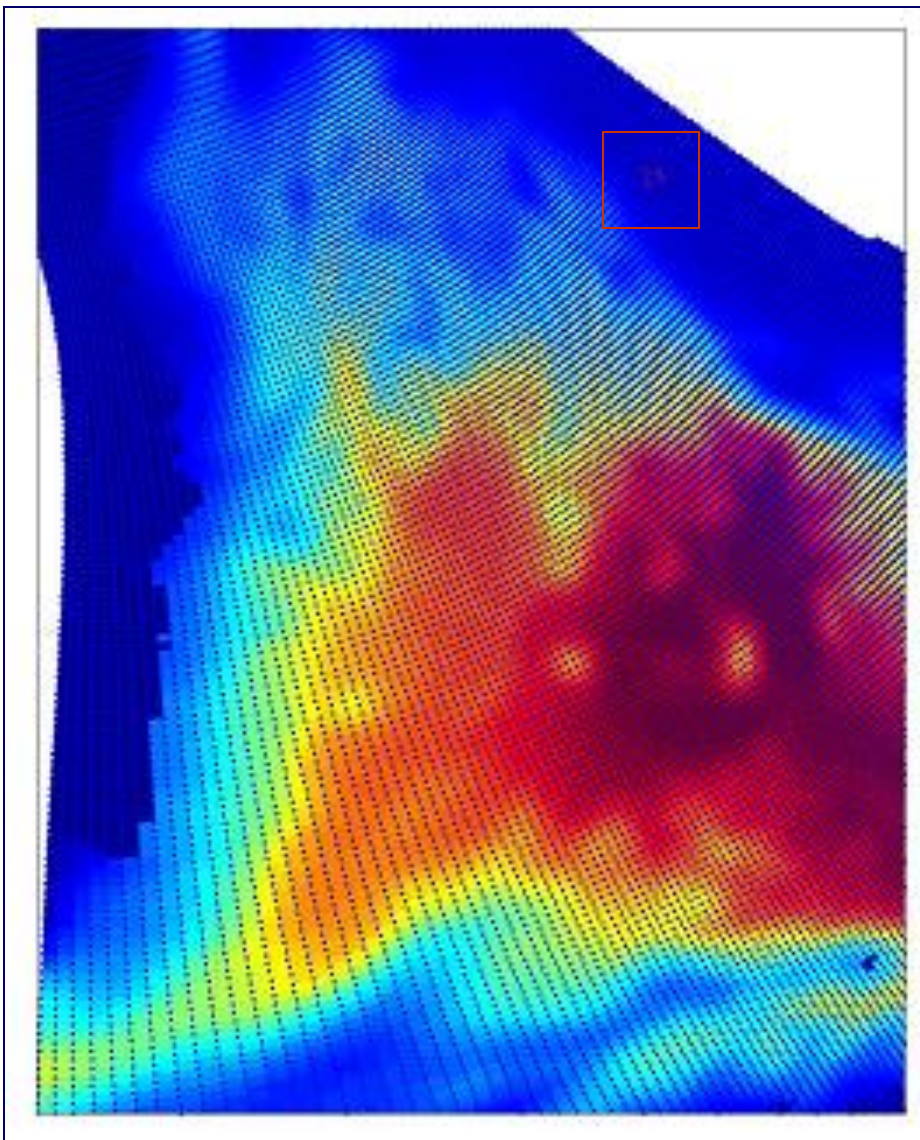


IL MODELLO LES

Foce del Tevere



IL MODELLO LES

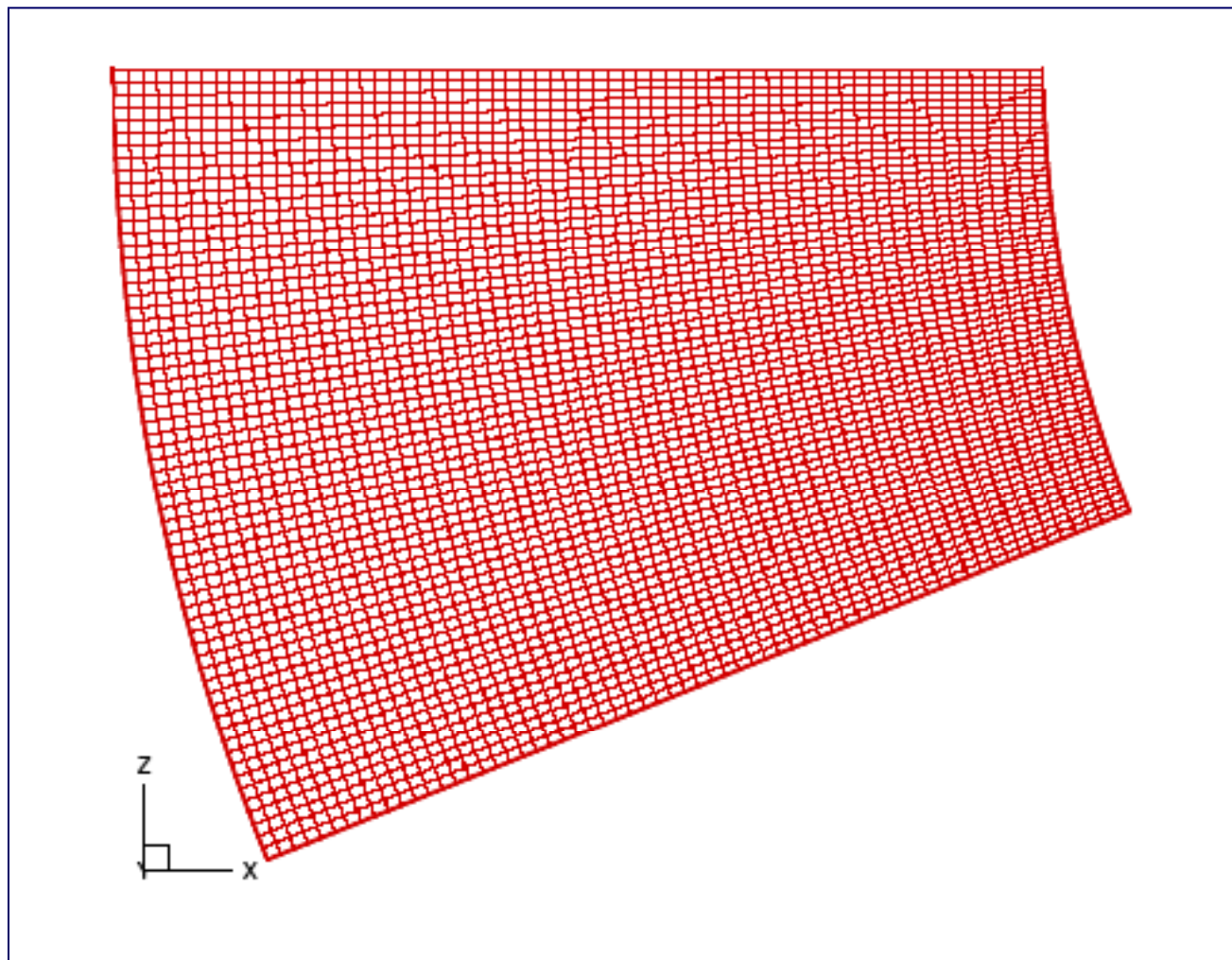


Domini di calcolo



IL MODELLO LES

Griglia di calcolo

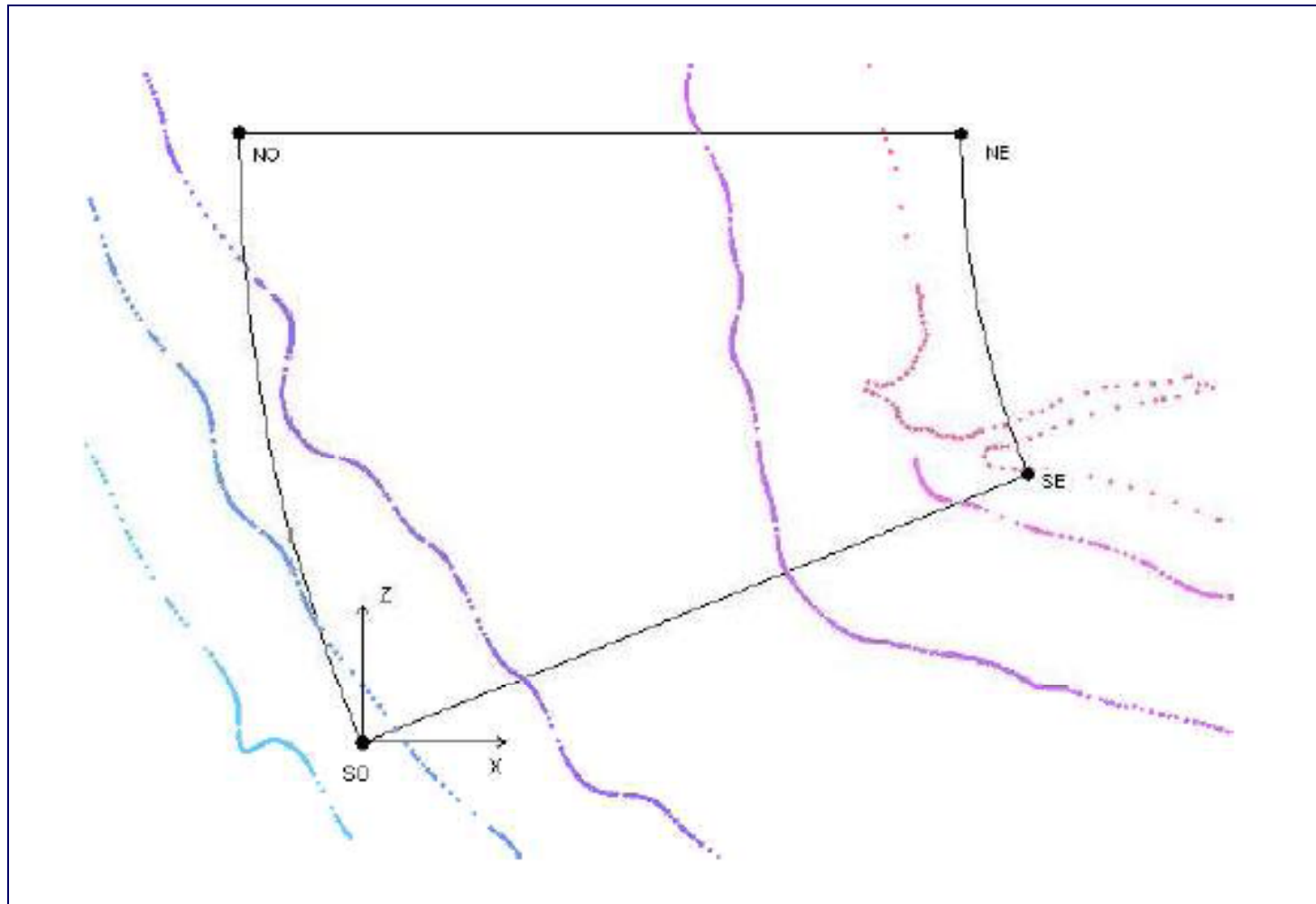


**64 X 64 X 16
nodi**



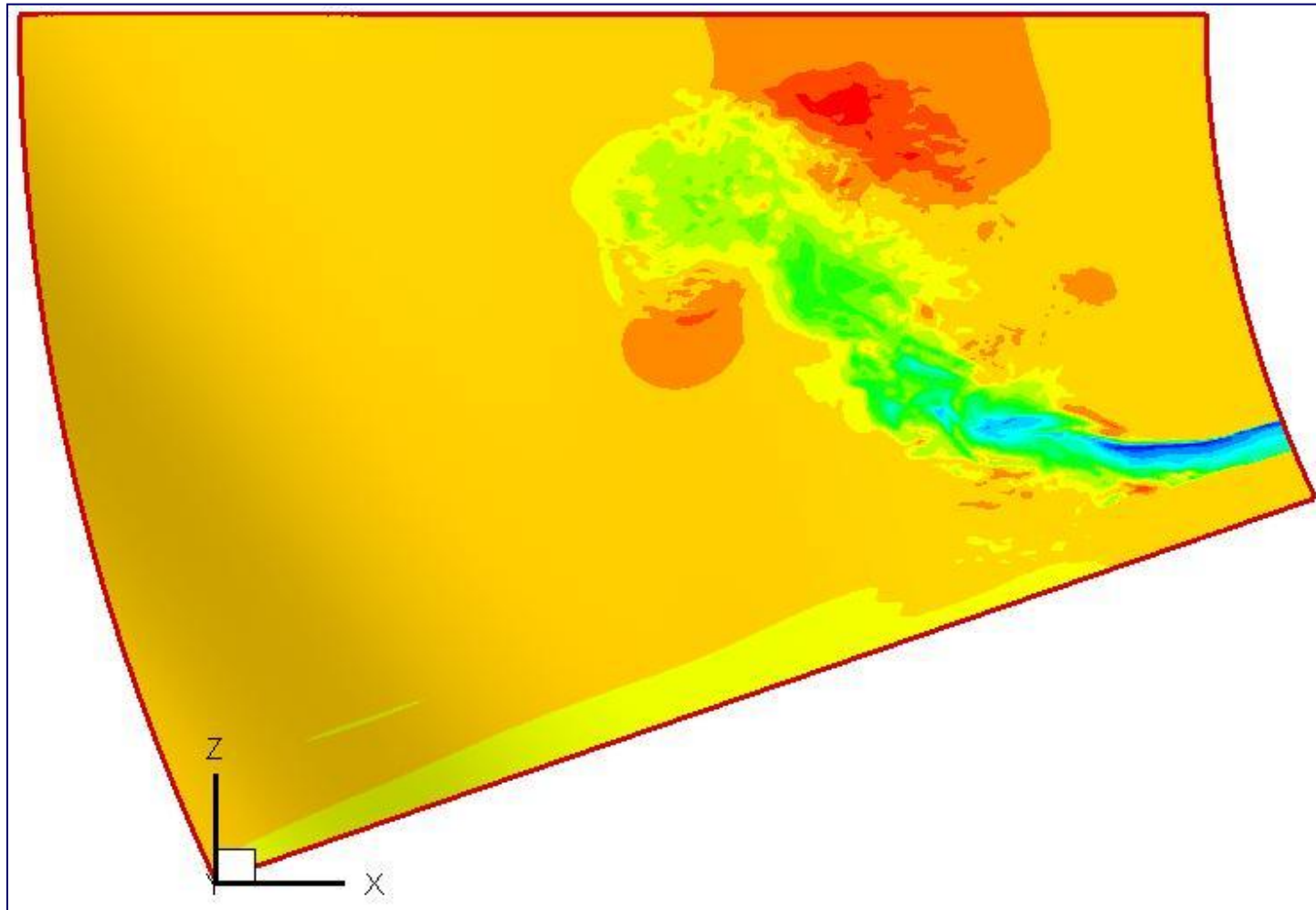
IL MODELLO LES

Batimetria dell'area del Tevere – Dati IIM





IL MODELLO LES



PREVISIONE DELLA MAREGGIATA NEL TIRRENO MARZO 2008

DATI: Hs, Dir del SIMM



Mareggiata Marzo 2008





Mareggiata Marzo 2008

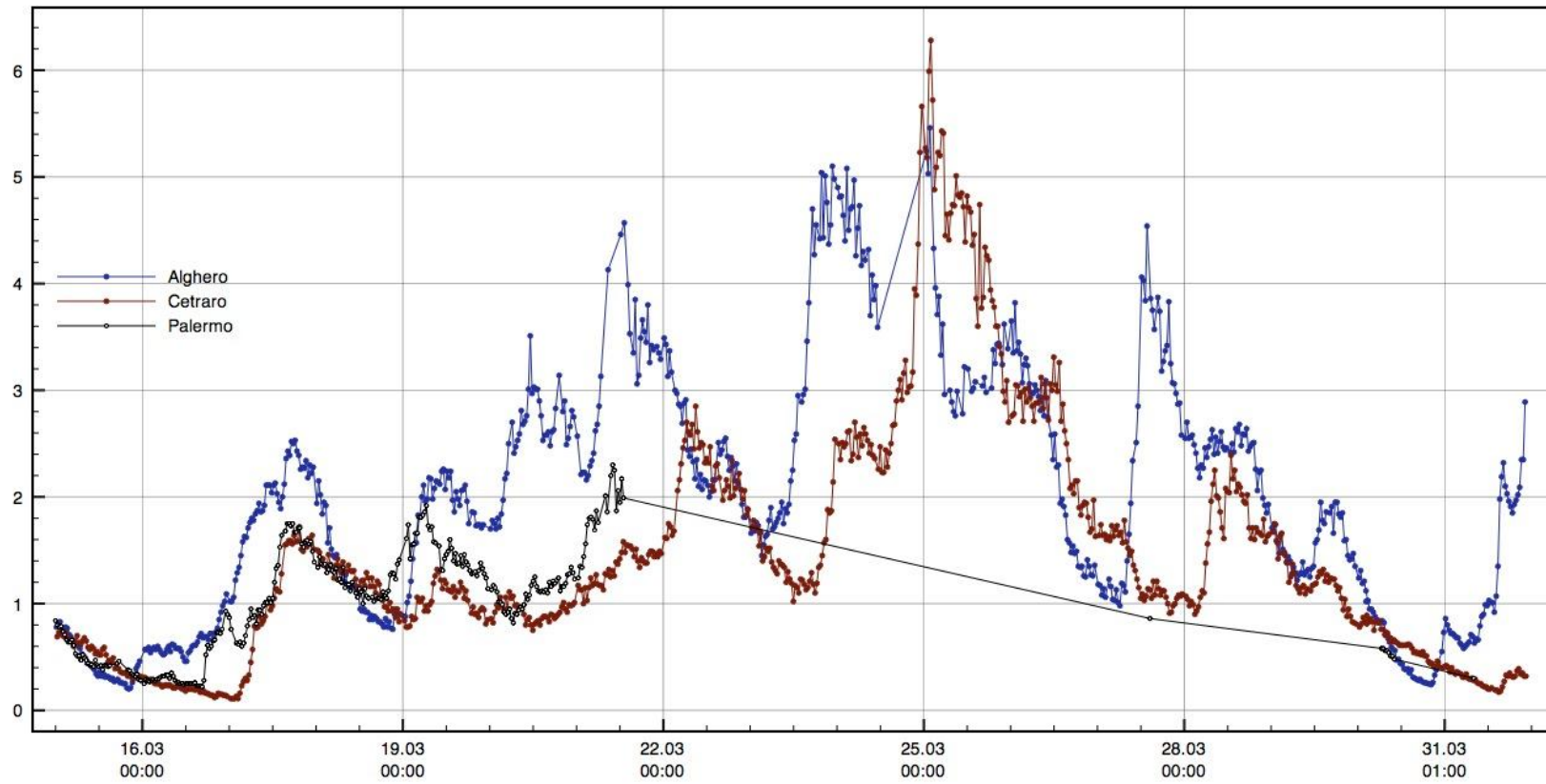




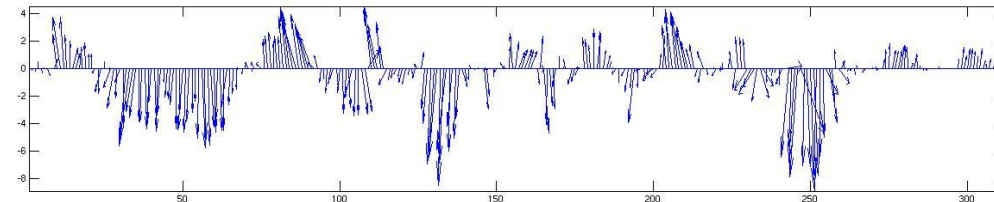
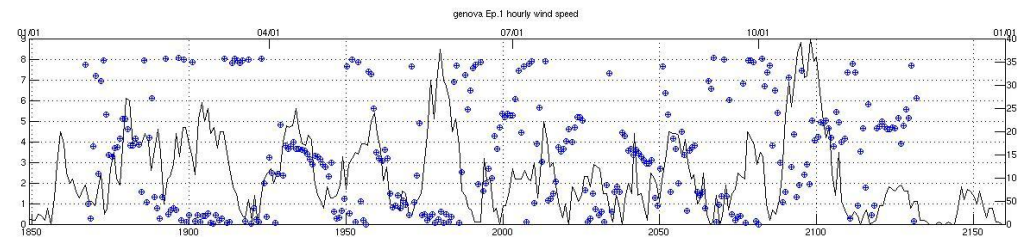
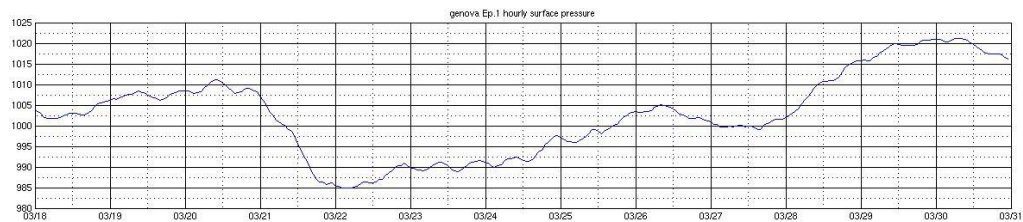
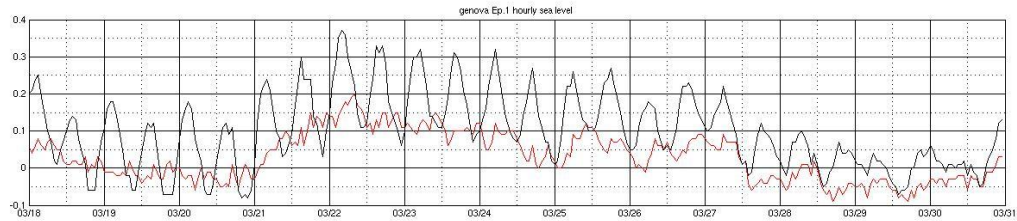
Sestri Levante



EVOLUZIONE DELLA MAREGGIATA



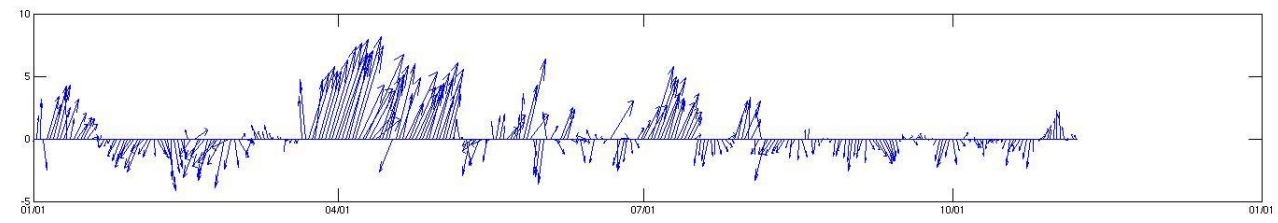
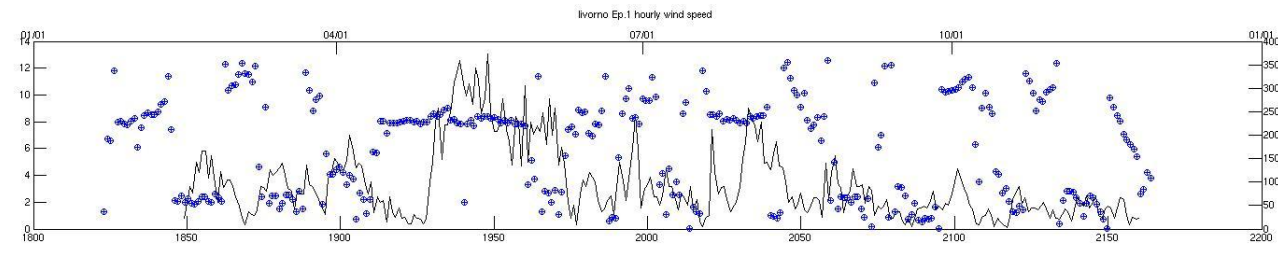
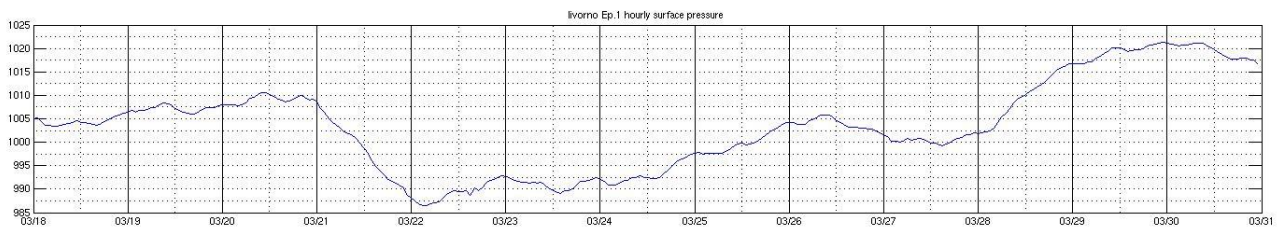
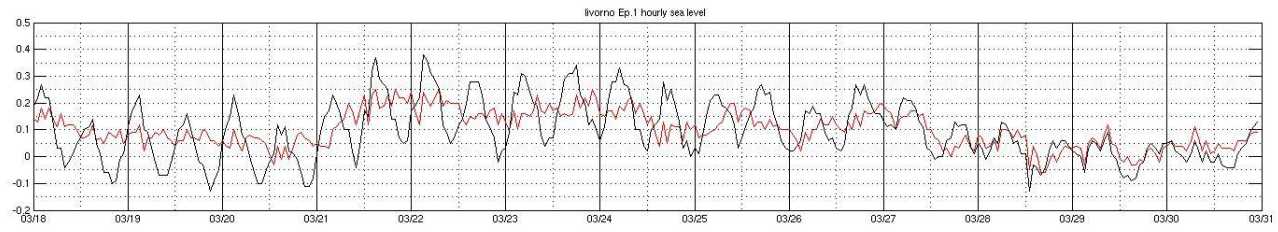
EVOLUZIONE DELLA MAREGGIATA



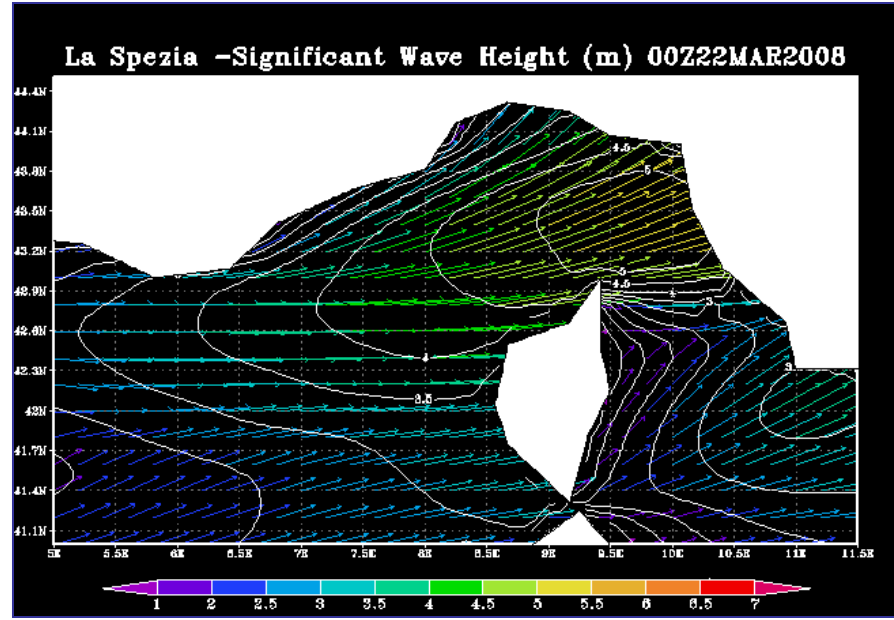
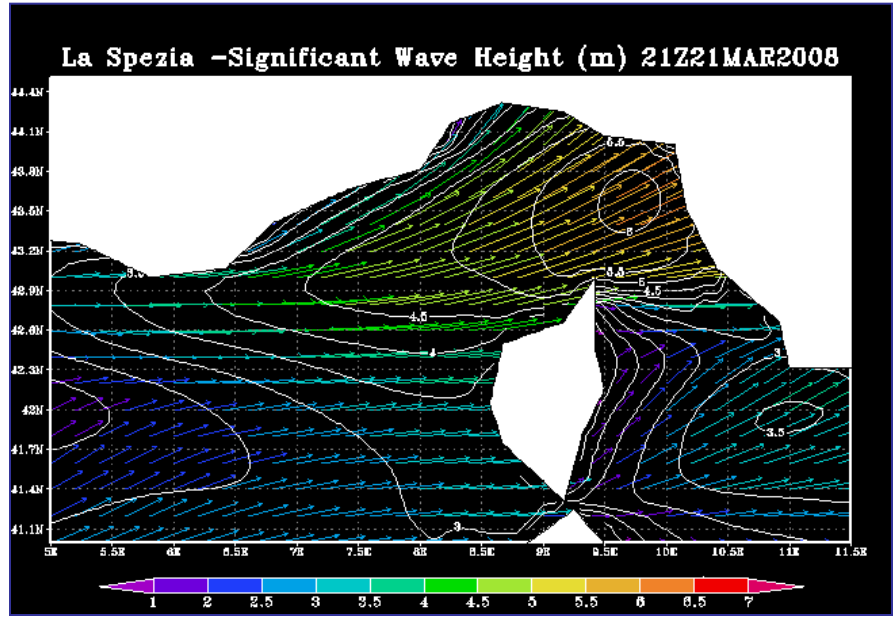
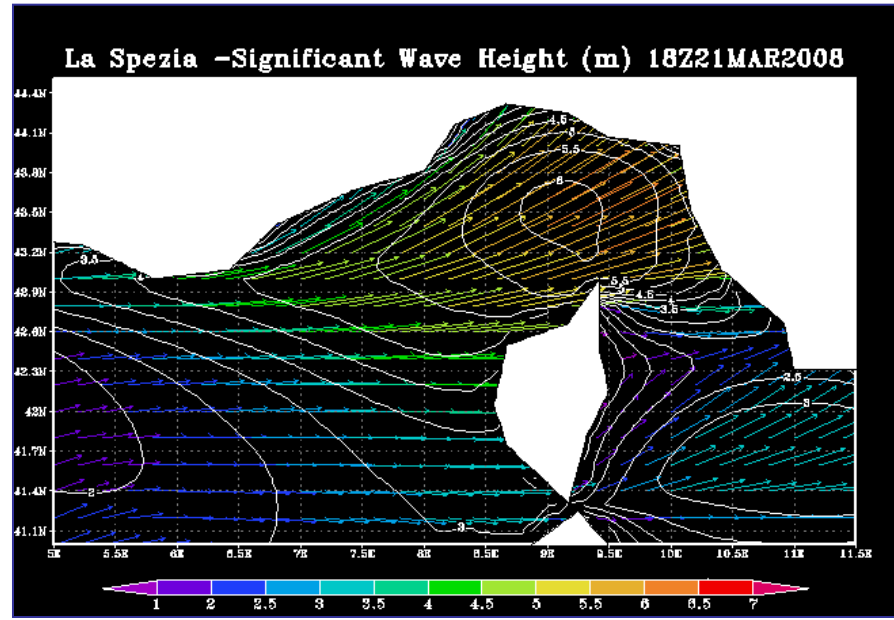
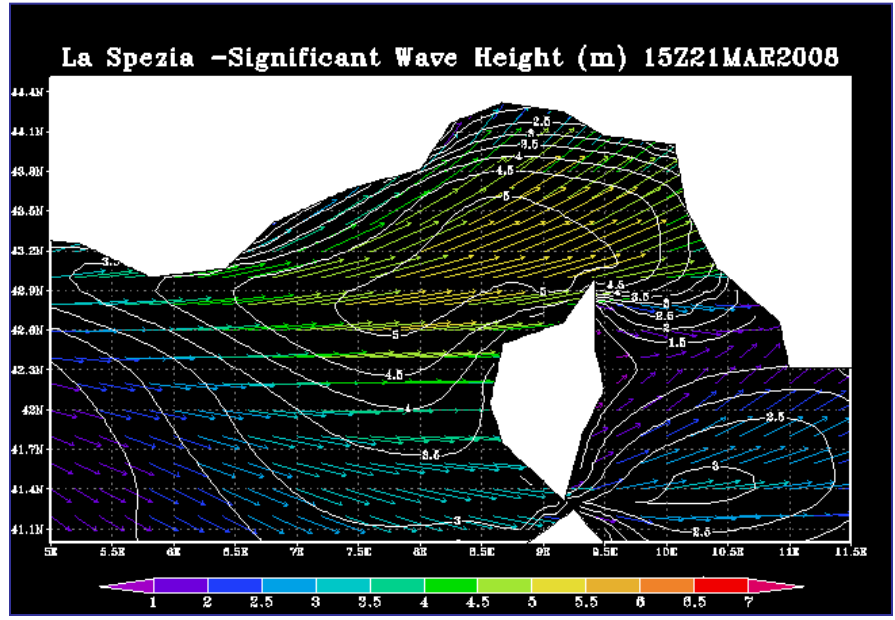
**Analisi del livello
e dei residui per
la stazione di
Genova**

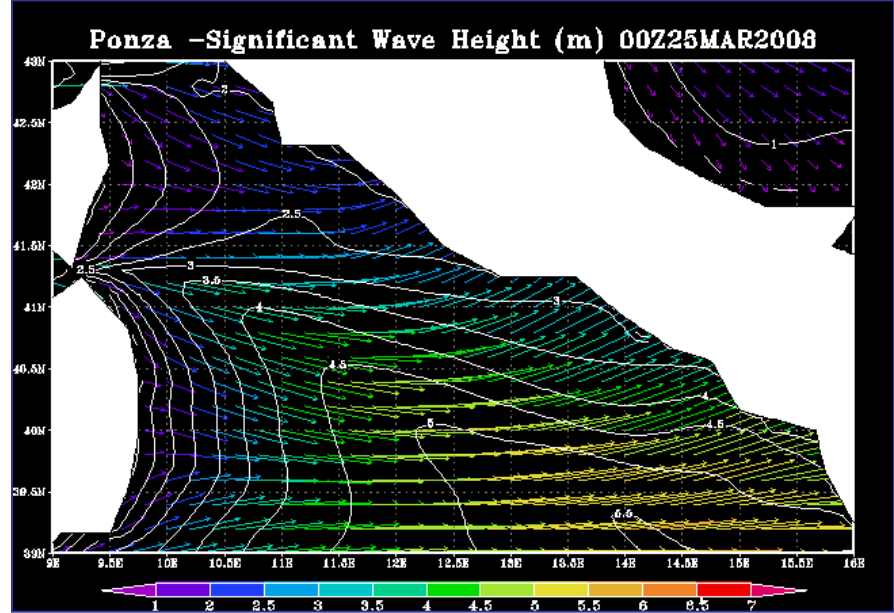
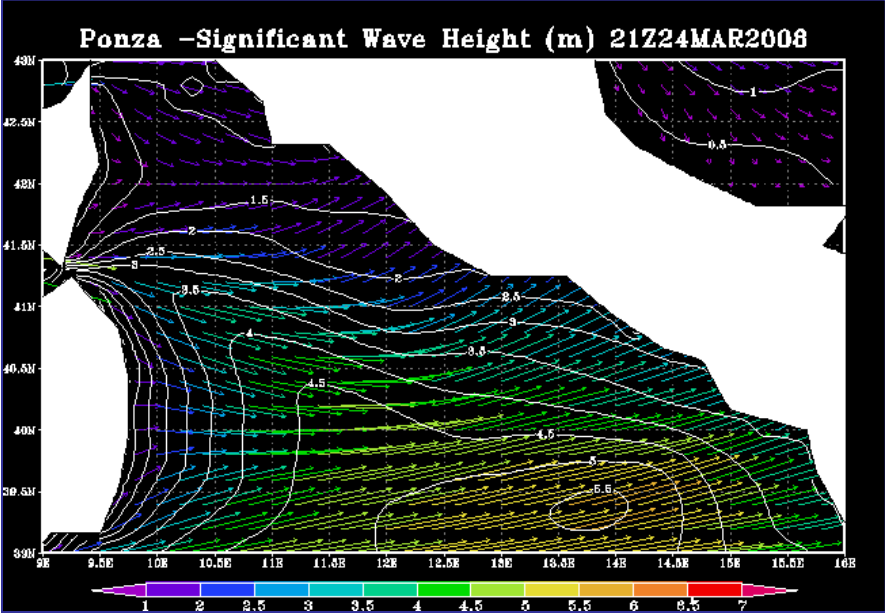
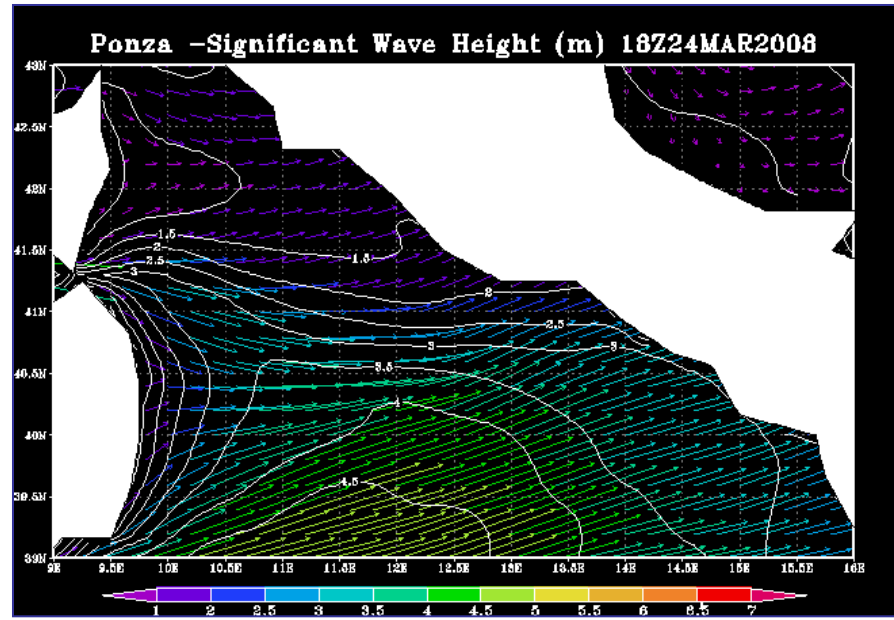
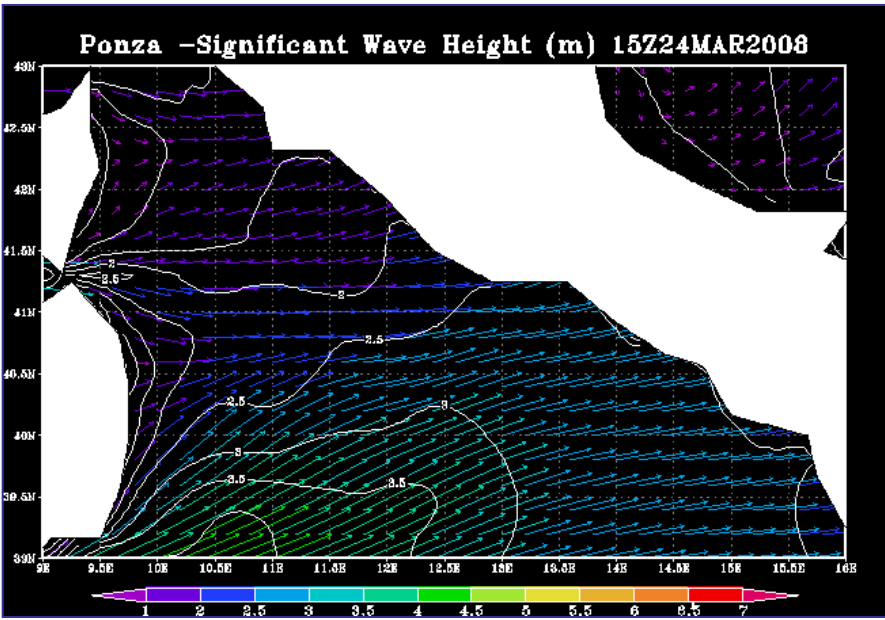


EVOLUZIONE DELLA MAREGGIATA



Analisi del livello e dei residui per la stazione di Livorno







PROPAGAZIONE A COSTA DEL MOTO ONDOSONO

MODELLO DELFT 3D - SWAN

- condizioni di H_s , Dir al largo fornite dai dati del WAM del SIMM
- vento misurato dalla RMN
- livello osservato
- run non stazionario
- batimetria fornita dall'IIM

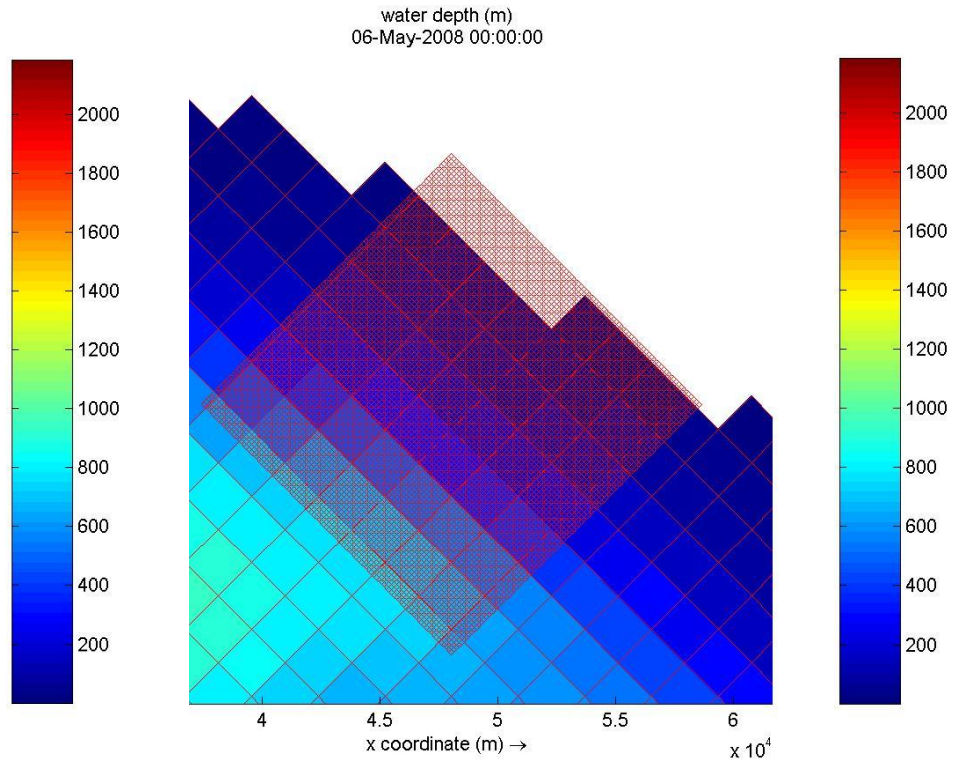
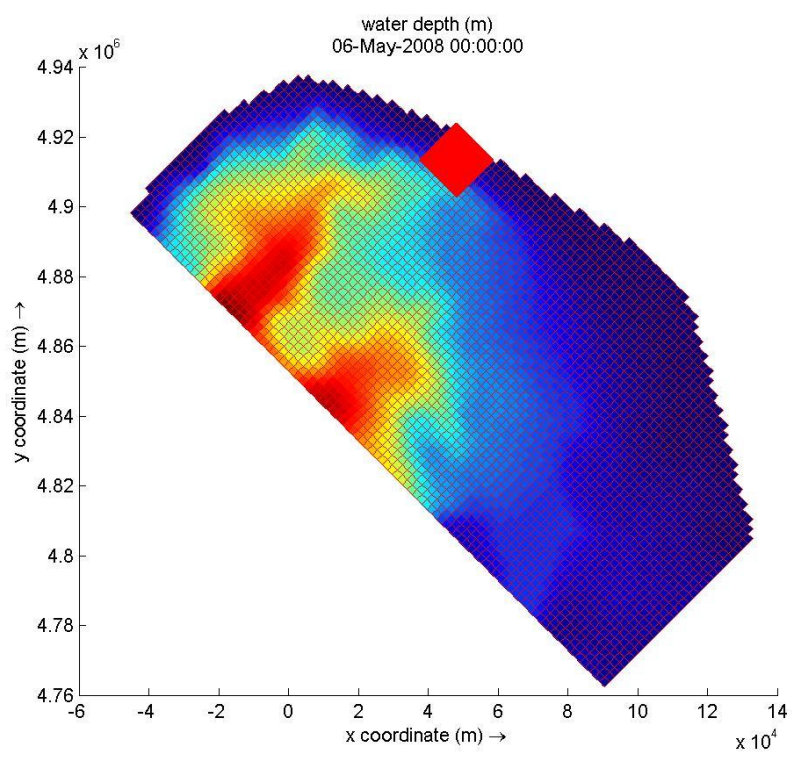
PROPAGAZIONE A COSTA DEL MOTO ONDOSO

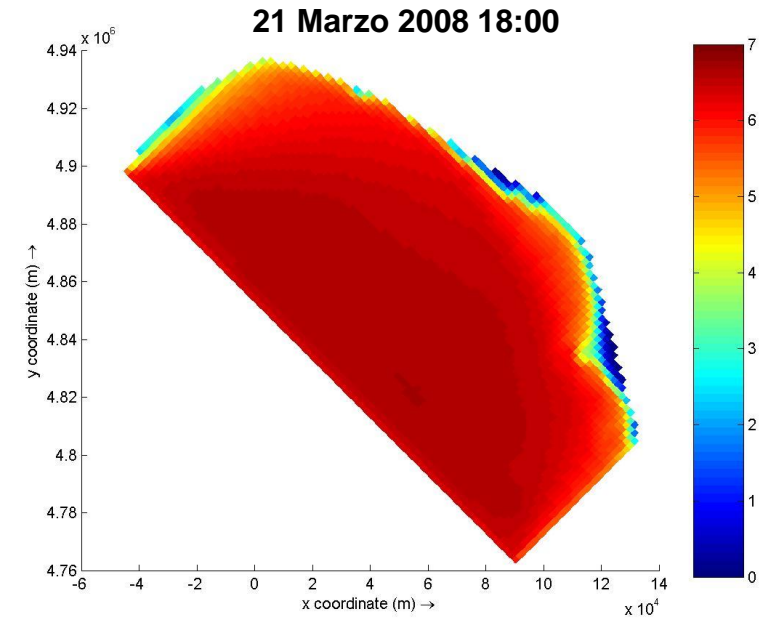
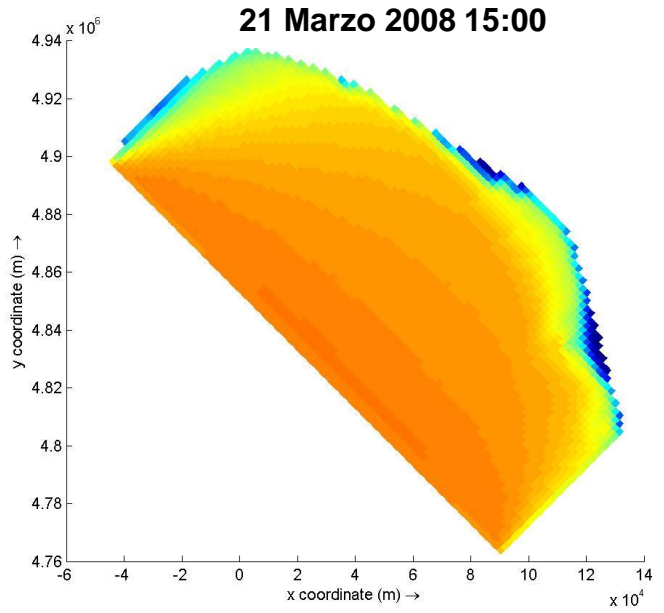
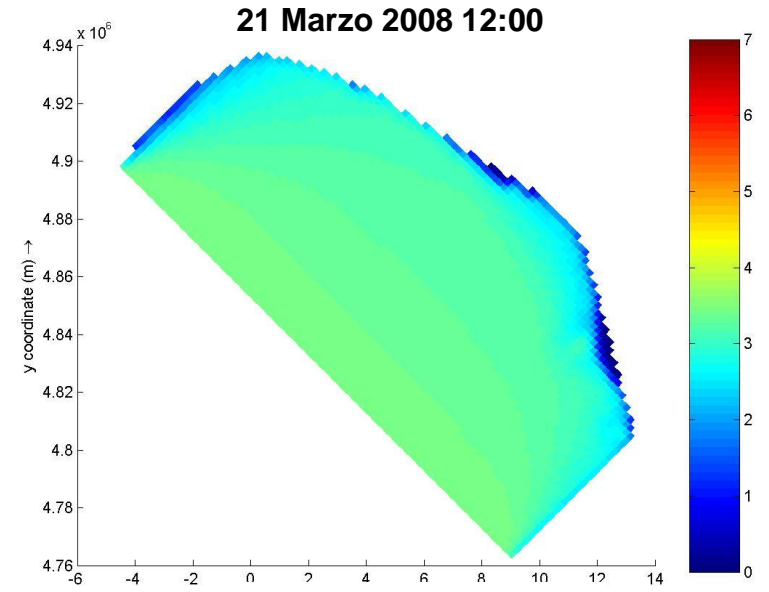
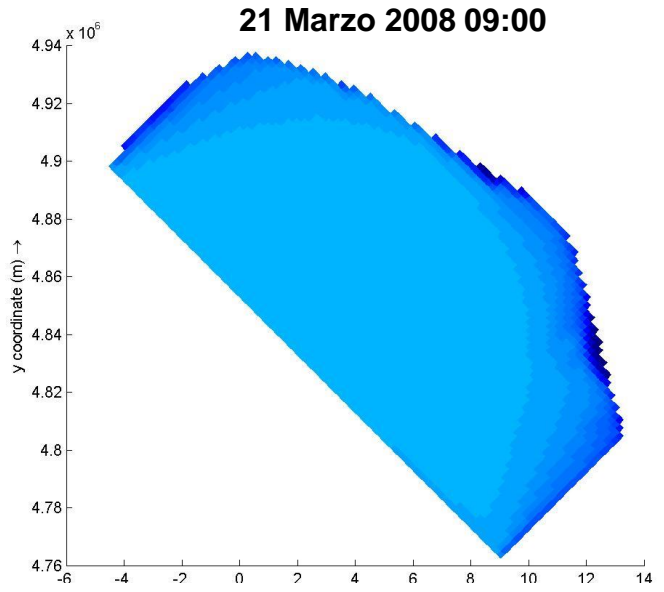
MODELLO DELFT 3D - SWAN

- simulazione della mareggiata nell'Alto Tirreno, 20 – 23 Marzo 2008

PROPAGAZIONE A COSTA DEL MOTO ONDOSO

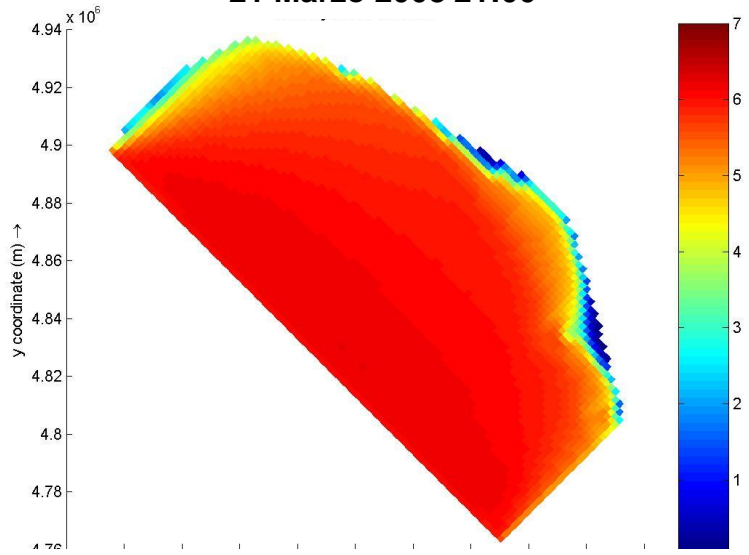
MODELLO DELFT 3D – SWAN NESTING



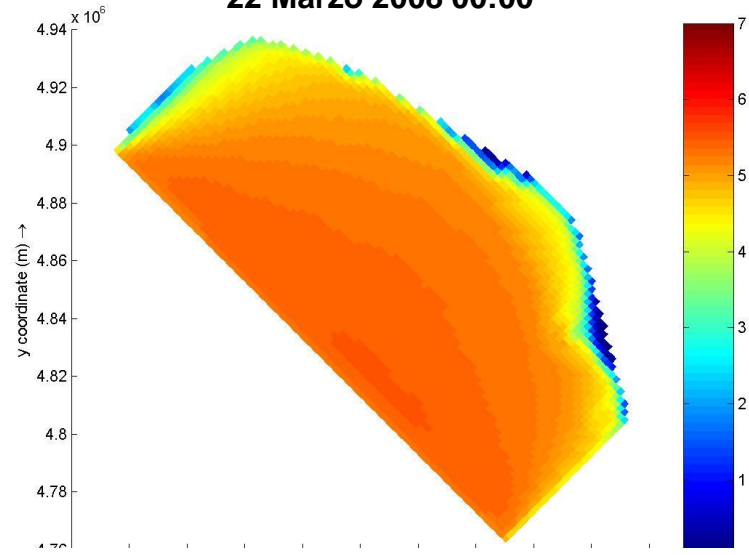




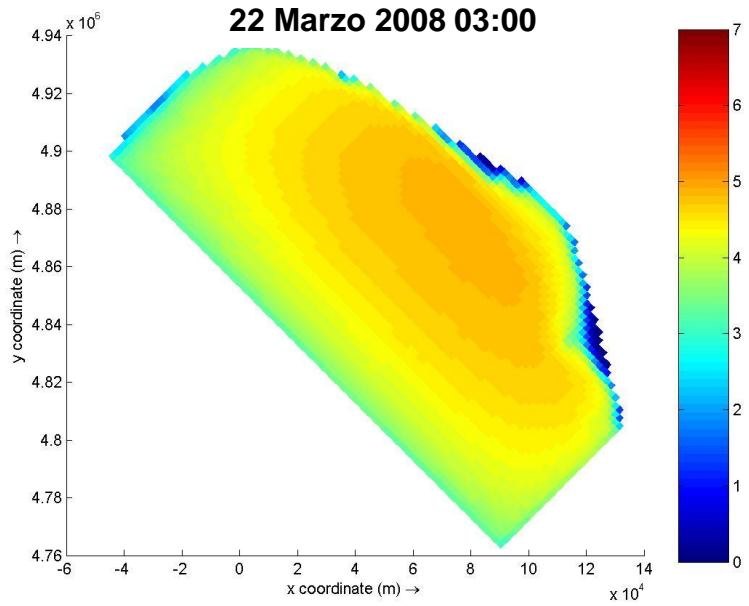
21 Marzo 2008 21:00



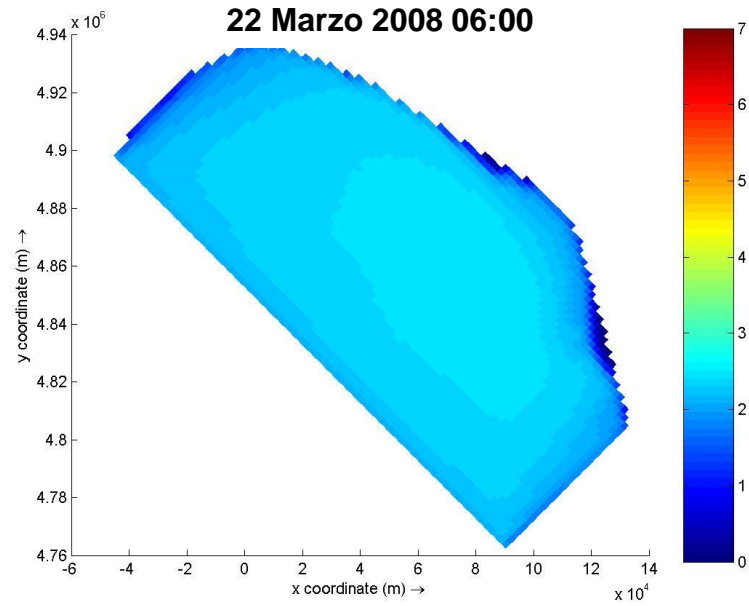
22 Marzo 2008 00:00



22 Marzo 2008 03:00

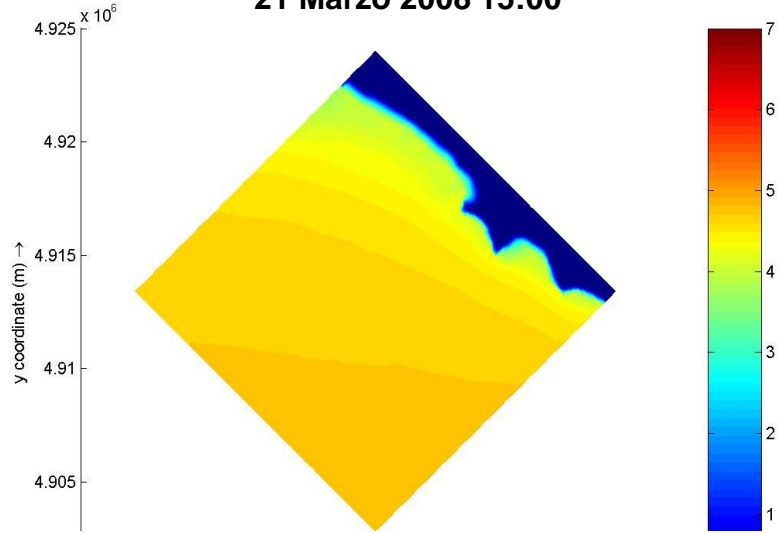


22 Marzo 2008 06:00

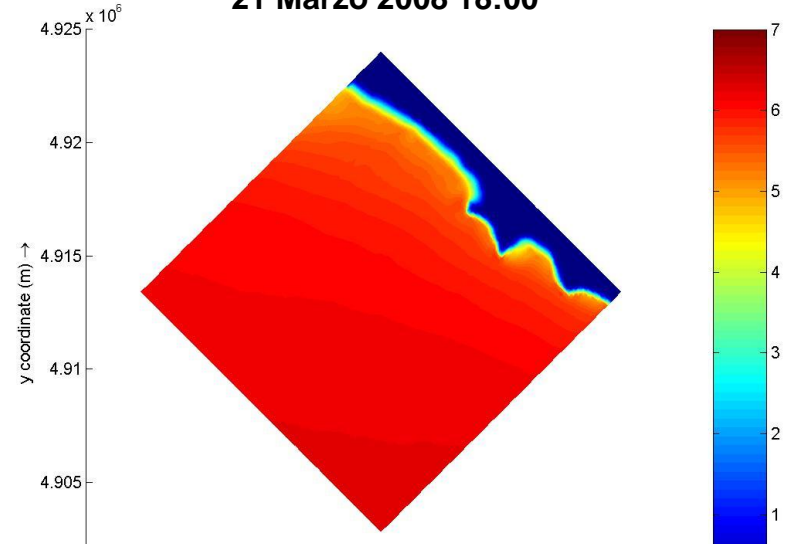




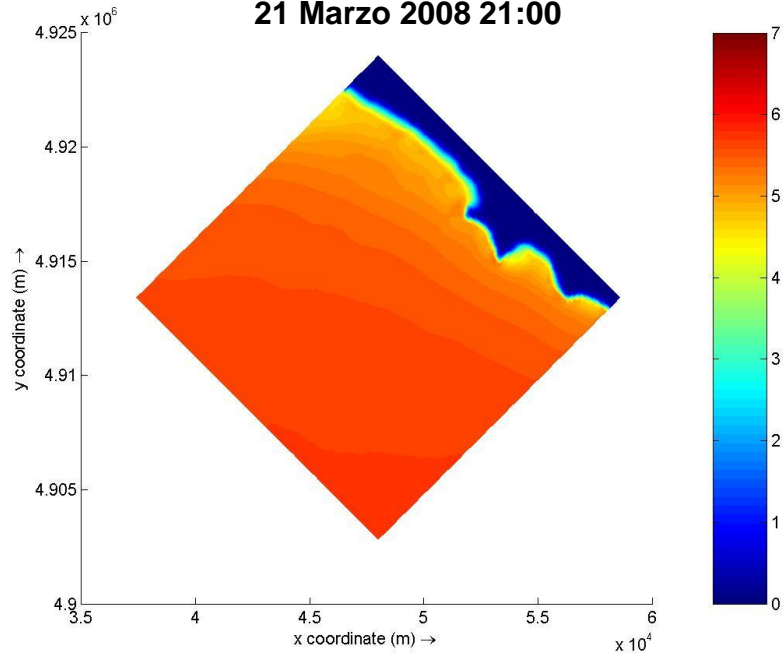
21 Marzo 2008 15:00



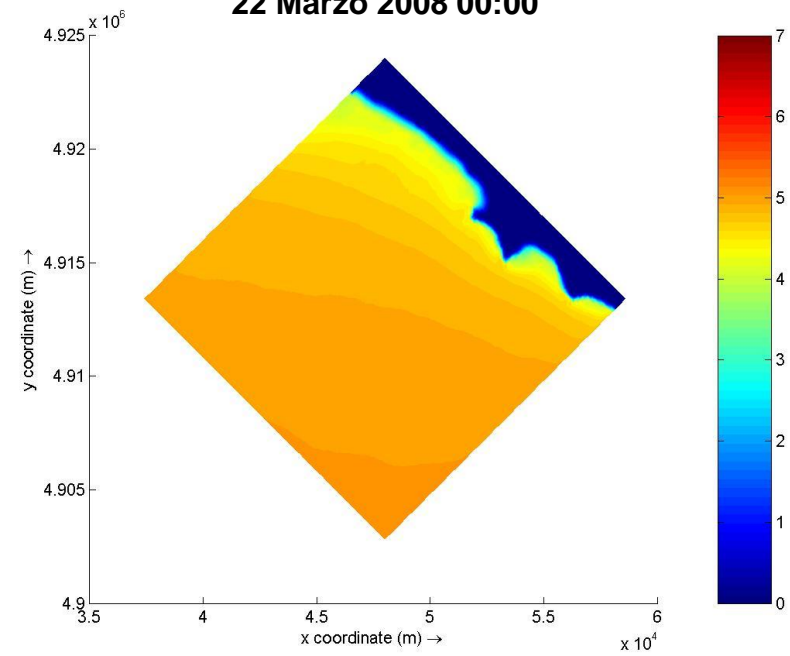
21 Marzo 2008 18:00



21 Marzo 2008 21:00



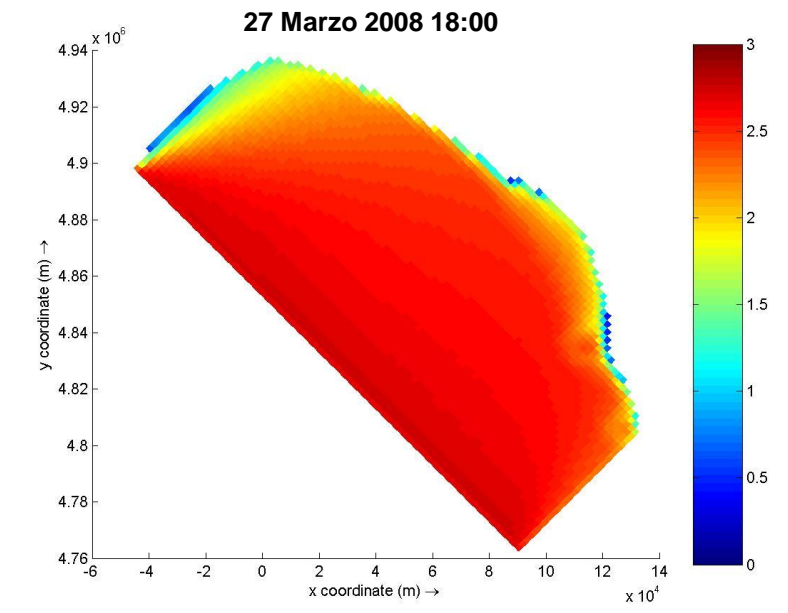
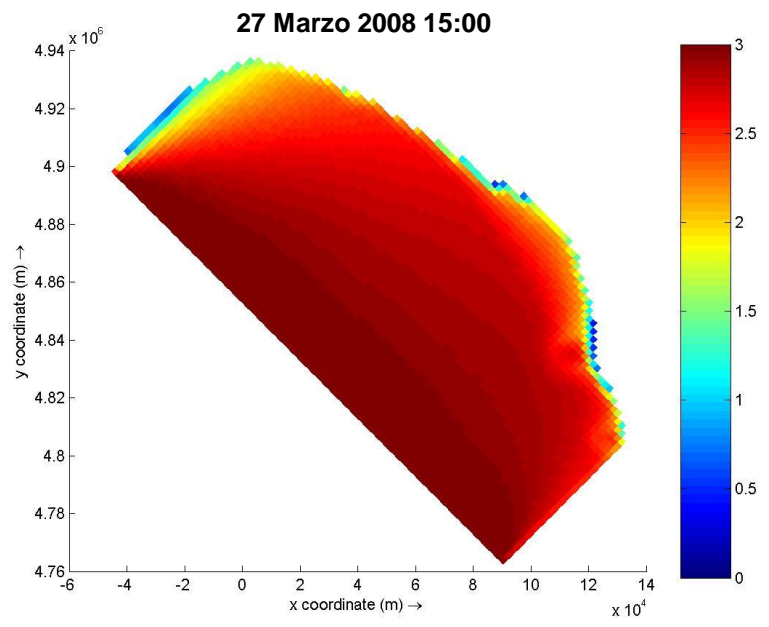
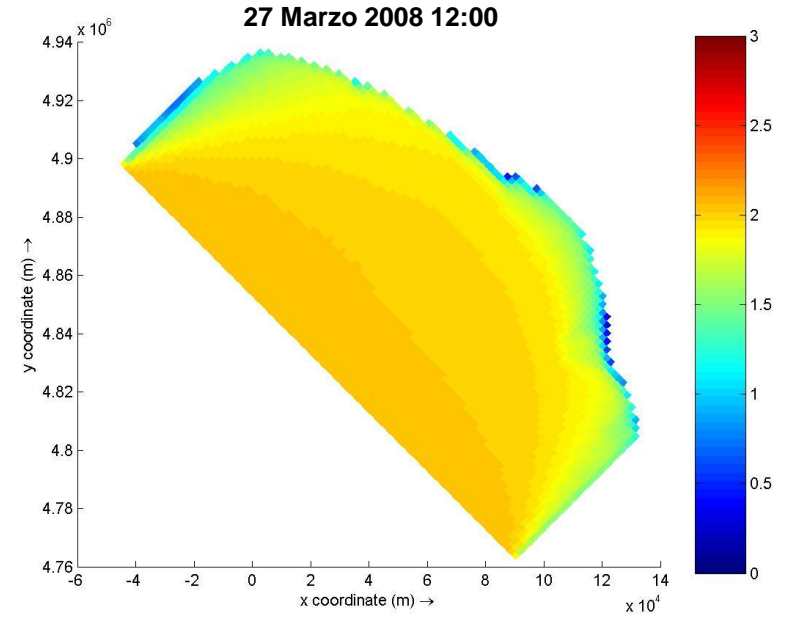
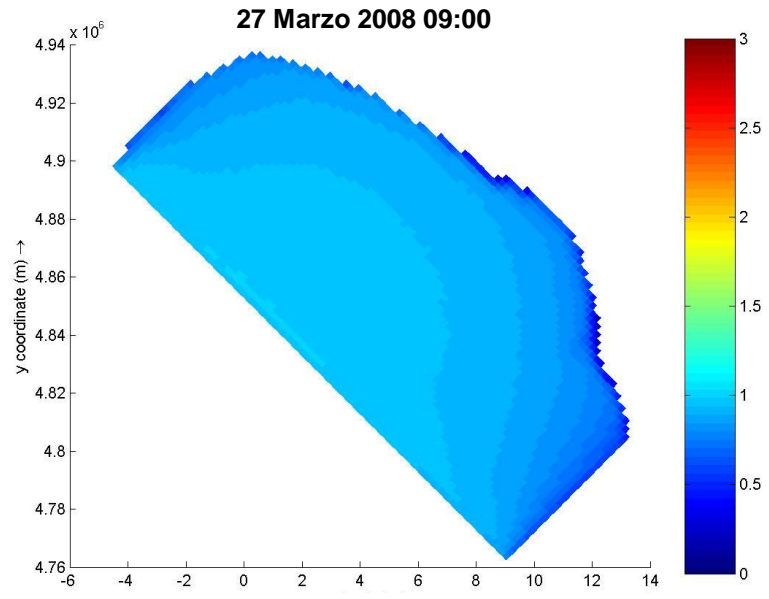
22 Marzo 2008 00:00



PROPAGAZIONE A COSTA DEL MOTO ONDOSO

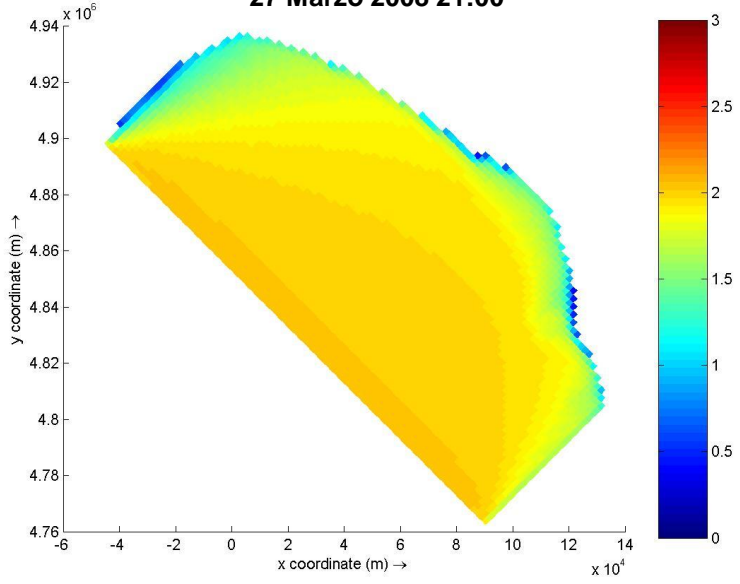
MODELLO DELFT 3D - SWAN

- simulazione della mareggiata nell'Alto Tirreno, 26 – 27 Marzo 2008

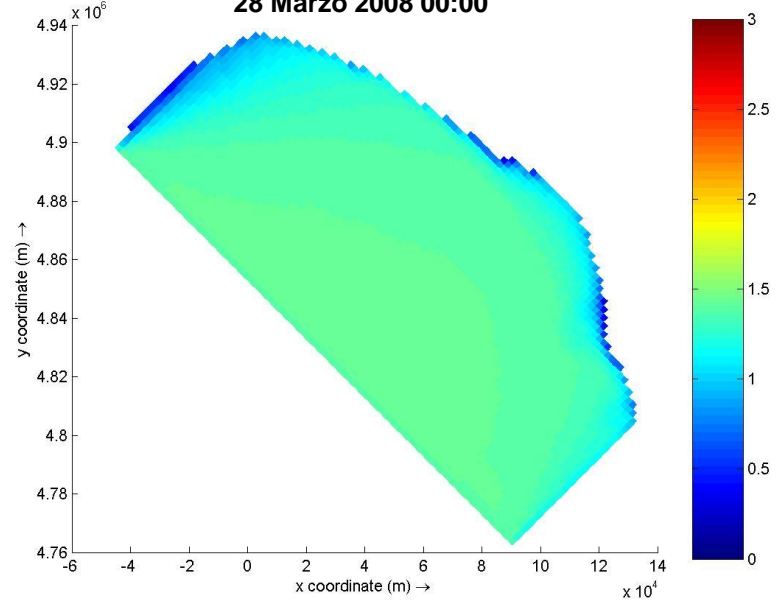




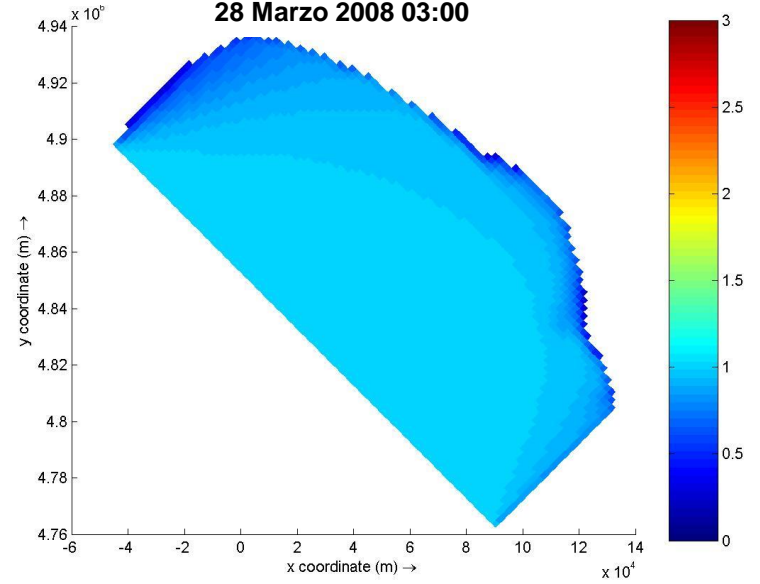
27 Marzo 2008 21:00



28 Marzo 2008 00:00



28 Marzo 2008 03:00



“STUDIO DEL TRASPORTO DI INQUINANTI IN MARE”



“...e il sole salì, lasciando il mare splendente, nel cielo di bronzo, per brillare agli eterni e ai mortali” (Omero – Odissea)

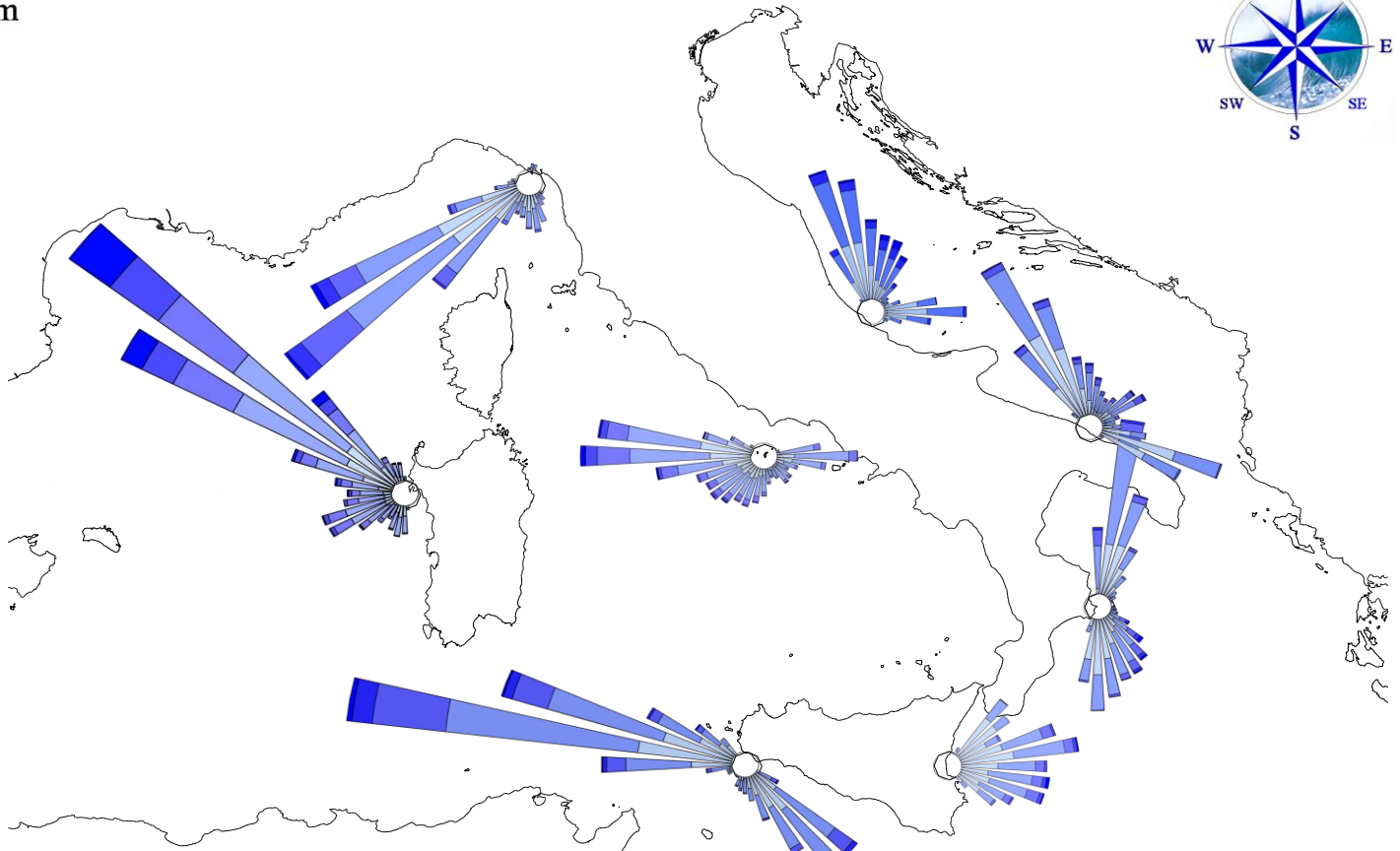
Dott.ssa Sara Morucci

**Dipartimento Tutela Acque Interne e Marine
Servizio Difesa delle Coste**

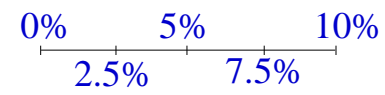


IL CLIMA ONDOSO

- $0.25 \text{ m} < H_s \leq 1 \text{ m}$
- $1 \text{ m} < H_s \leq 2 \text{ m}$
- $2 \text{ m} < H_s \leq 3 \text{ m}$
- $3 \text{ m} < H_s \leq 4 \text{ m}$
- $H_s > 4 \text{ m}$



Distribuzione in frequenza delle H_s per le 8 boe
(1989 – 2001)







IL CLIMA ONDOSO

λ : numero medio di mareggiate per anno
Max Hm0 massima registrata dal 1989
Tr: stima del periodo di ritorno associabile al valore massimo misurato


La Spezia
Max 6.3 m
26.01.1990
Tr~12 anni
 $\lambda=16.6$



Ancona
Max 5.2 m
16.11.2002




Ortona
Max 6.2m
28.03.1995
Tr ~ 50 anni
 $\lambda=8.3$


Monopoli
Max 5.1 m
14.01.1995
 $\lambda \sim 5.36$



Alghero
Max 9.88 m
28.12.1999
Tr~50 anni
 $\lambda=25.6$


Ponza
Max 7.9 m

28.12.1999
Tr>>50 anni
 $\lambda=14.4$

Cetraro
Max 8.9 m

28.12.1999

Crotone
Max 5.8 m
21.01.2003
Tr~15 anni
 $\lambda=8.5$

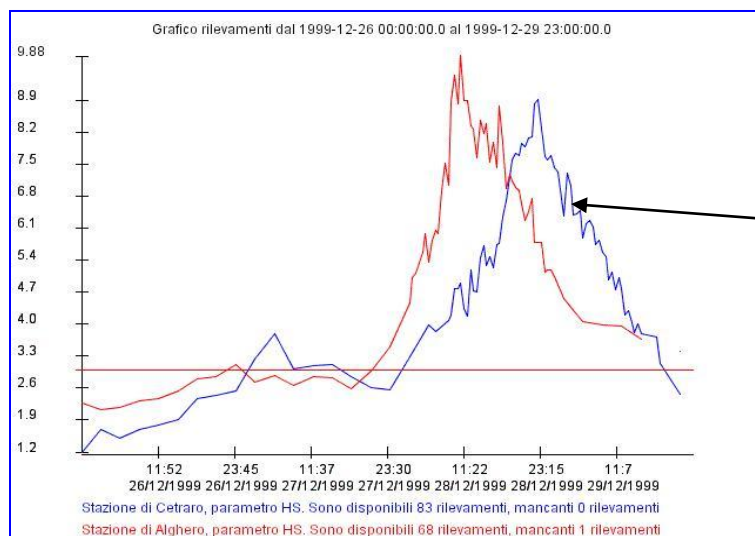

Mazara del Vallo
Max 5.98 m
21.01.1998
Tr~10 anni


Catania
Max 5.70 m

28.02.1996
Tr~16 anni
 $\lambda=6.6$

Eventi Massimi osservati nel periodo 1989-2003: periodo di ritorno e numero medio di mareggiate per anno

EVENTI ESTREMI

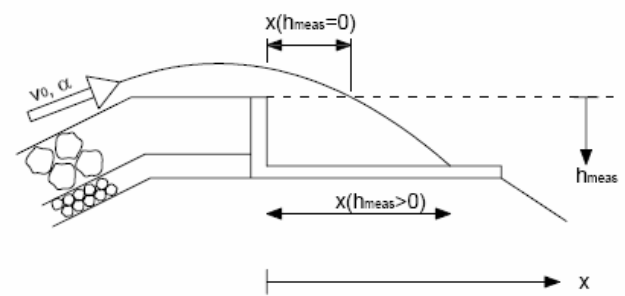
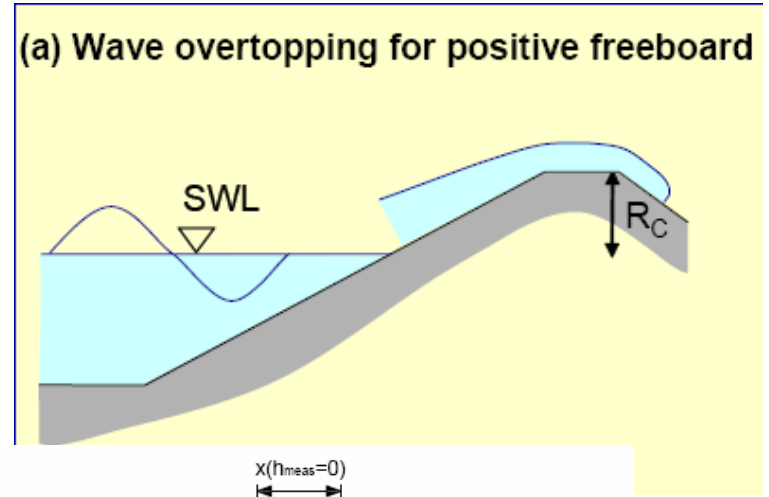
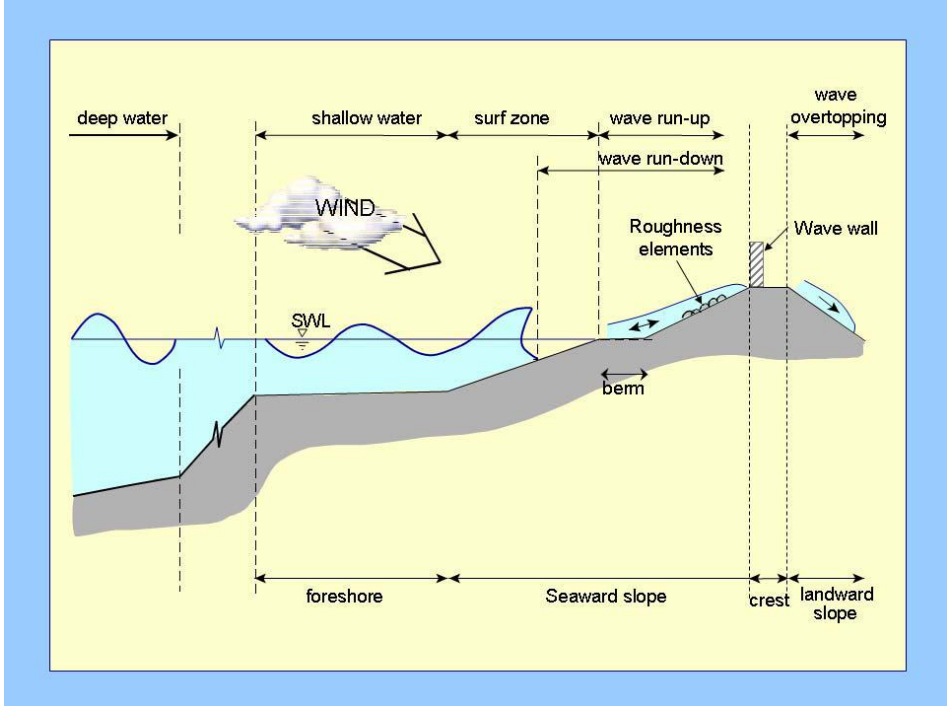
Mareggiata di Natale del 1999



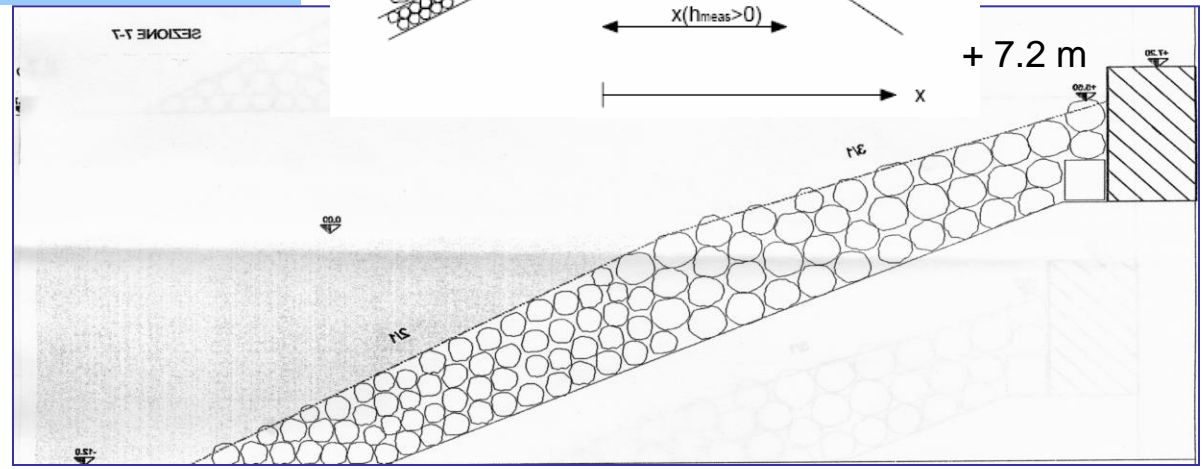
Cetraro



Overtopping dell'opera marittima a Sestri Levante



$H_{mo} = 5.5 \text{ m}$



IL CLIMA ONDOSO

DUE REGIMI DIREZIONALI

● Mar di Sardegna, Mar Ligure, Mar Tirreno Centrale

Regime unimodale: OVEST

Mareggiate:

Alghero e Ponza da OVEST

La Spezia da OVEST – SUD OVEST

Stagionalità: minore

Tendenze evolutive: aumento della tempestosità

● Mar Ionio, Mare Adriatico

Regime bimodale: NORD – SUD

(Catania unimodale, Mazara del Vallo bimodale)

Mareggiate:

Pescara e Monopoli da NORD

Catania e Crotone da EST – SUD EST

Stagionalità: maggiore

Tendenze evolutive: trascurabile diminuzione

