

# CARATTERIZZAZIONE METEO-MARINA DELLE COSTE ITALIANE

**Sara Morucci**

**ISPRA**

- L'ambiente marino costiero è un sistema dinamico in equilibrio tra forzanti terrestri e forzanti marine
  
- La scelta e la realizzazione degli interventi in ambito marino costiero, non possono prescindere dalla conoscenza delle naturali tendenze evolutive (clima, mareggiate, variazione del livello del mare...)

## PERCHE'

**I fenomeni di interazione tra terra e mare, generate dalle variazioni di livello del mare e dalle mareggiate, nella fascia costiera, hanno forte impatto sulla perdita di biodiversità, di patrimonio paesaggistico e ambientale (dune, retrovegetazione dunale, spiagge ecc.)**



- informazioni sull'intensità delle mareggiate, altezza delle onde per la ricostruzione del clima presente, incluse tendenze e variabilità a varie scale temporali
- variazioni di livello del mare, sia medio che le temporanee variazioni in particolari condizioni meteorologiche

## OUTLINES

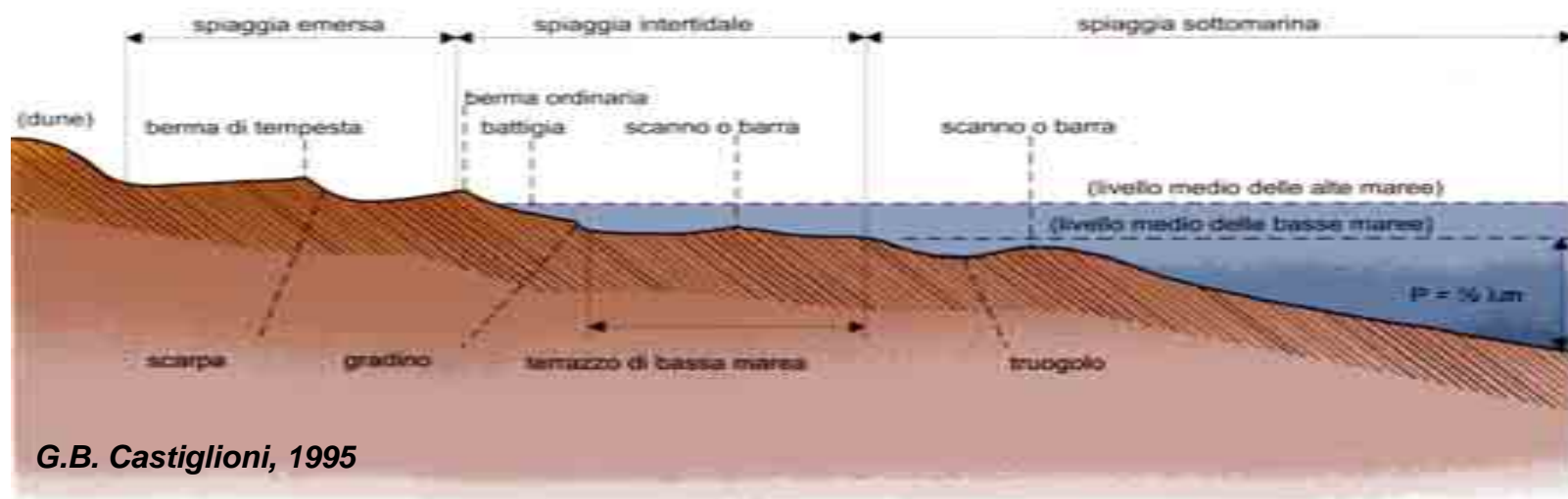
### ● ONDE

- analisi statistica su 15 anni (clima ondoso, eventi estremi)
- previsione dello stato del mare
- ricostruzione di eventi

### ● MAREE E VARIAZIONI DEL LIVELLO DEL MARE

- analisi armonica di marea, analisi del residuo (storm surge, sessa)
- variazione del livello di lungo periodo

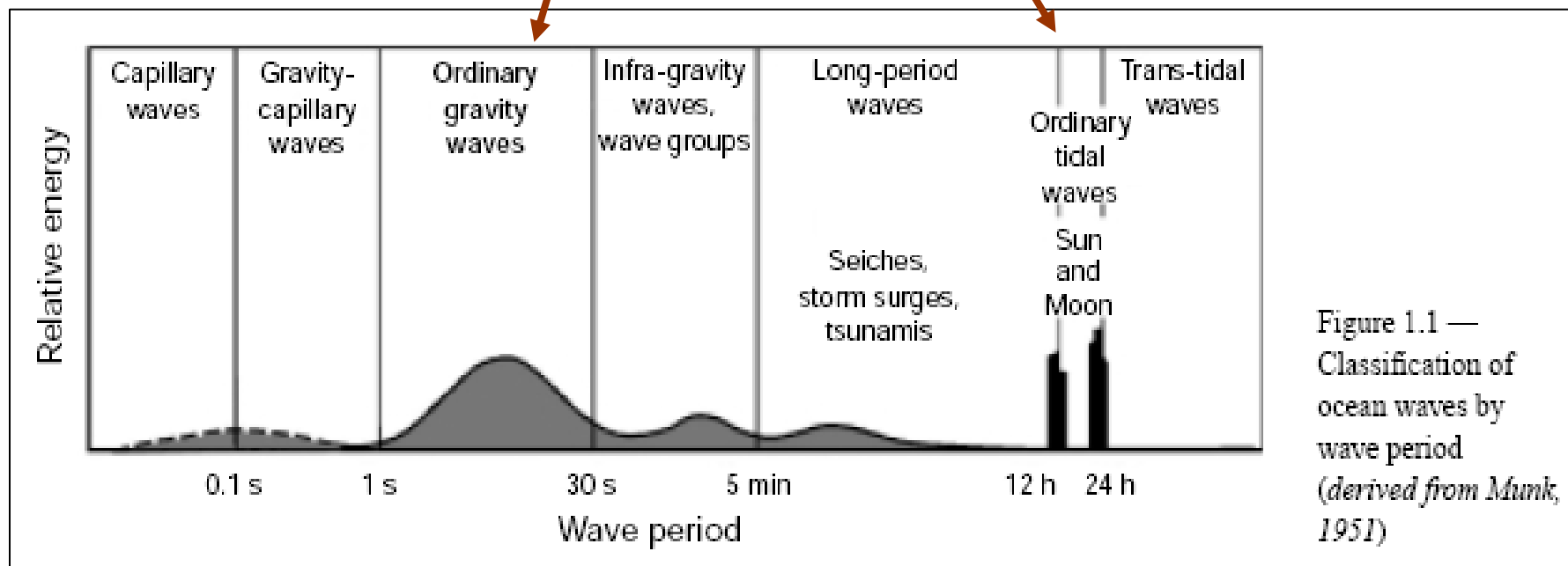
## PERCHE'



**Il moto ondoso:** indispensabile per una corretta valutazione degli eventi estremi e del trasporto solido litoraneo

**Il livello del mare:** la conoscenza delle massime variazioni del livello marino per l'analisi a breve e lungo termine della linea di costa

## PERCHE'



## LA CLIMATOLOGIA DEL MOTO ONDO SO

- DATI OSSERVATI: analisi statistica, mareggiate ed eventi estremi
- DATI DA MODELLI NUMERICI: ricostruzione di una mareggiata, previsioni

## I DATI OSSERVATI

### RON 2002 - 2006

-14 boe direzionali (TRIAXIS)

- NUOVI SITI:

Chioggia  
Civitavecchia  
Siniscola  
Palermo





## I DATI OSSERVATI

### RON

- ACQUISIZIONE DEI DATI: Hs, Tp, Tm, dir ogni ½ ora (dal 2002)

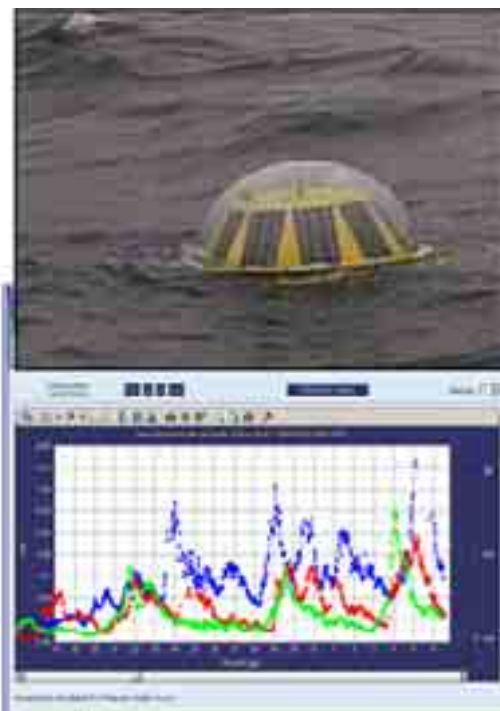
- REGISTRAZIONE DEI DATI: ogni 3 ore a Roma

- SERIE STORICHE SU SCALA NAZIONALE

14 boe TRIAXIS dal 2002

2 boe WAVERIDER  
1998-2002

8 boe WAVEC 1989-1998



## I DATI OSSERVATI

### RETI REGIONALI

- REGIONE CALABRIA
- REGIONE ABRUZZO (Giulianova)
- ARPA EMR (Cesenatico)
- ARPA LIGURIA
- REGIONE TOSCANA
- REGIONE CAMPANIA
- REGIONE PUGLIA
- OGS (Boa alla foce del fiume Tagliamento)

## I DATI OSSERVATI

### PROGETTO ARCHIMEDE

Nasce per facilitare lo scambio di dati meteo marini nazionali tra amministrazioni pubbliche ed enti privati: dati di moto ondoso, di livello marino, meteo, di corrente marina



## LA CLIMATOLOGIA DEL MOTO ONDOSO

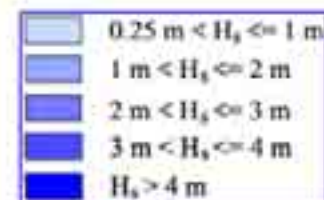
Il *regime di moto ondoso* indica le caratteristiche statistiche dei parametri ondosi sintetici, rilevati in un periodo pluriennale, analizzati su base annuale, mensile, stagionale



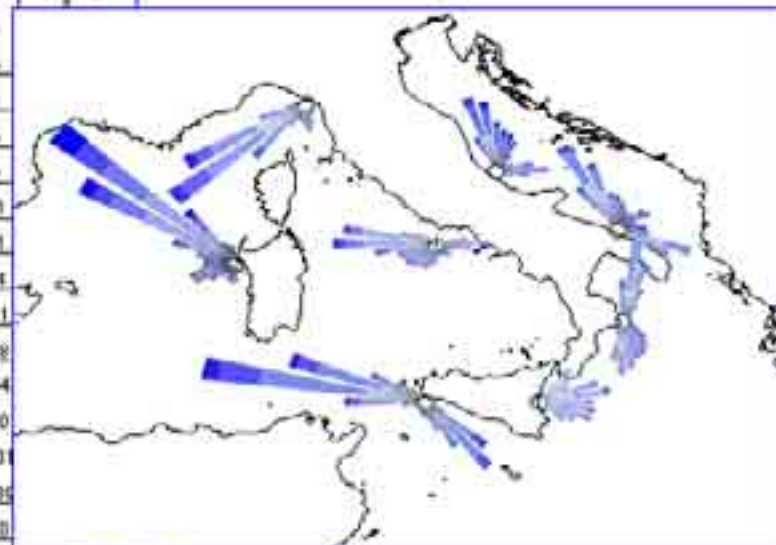
- **Distribuzione di frequenza congiunta di accadimento altezza d'onda – direzione**
- **Analisi delle mareggiate**

# LA CLIMATOLOGIA DEL MOTO ONDOSO

Tabelle di frequenza congiunta ( $H_{m0}$ , Dir)



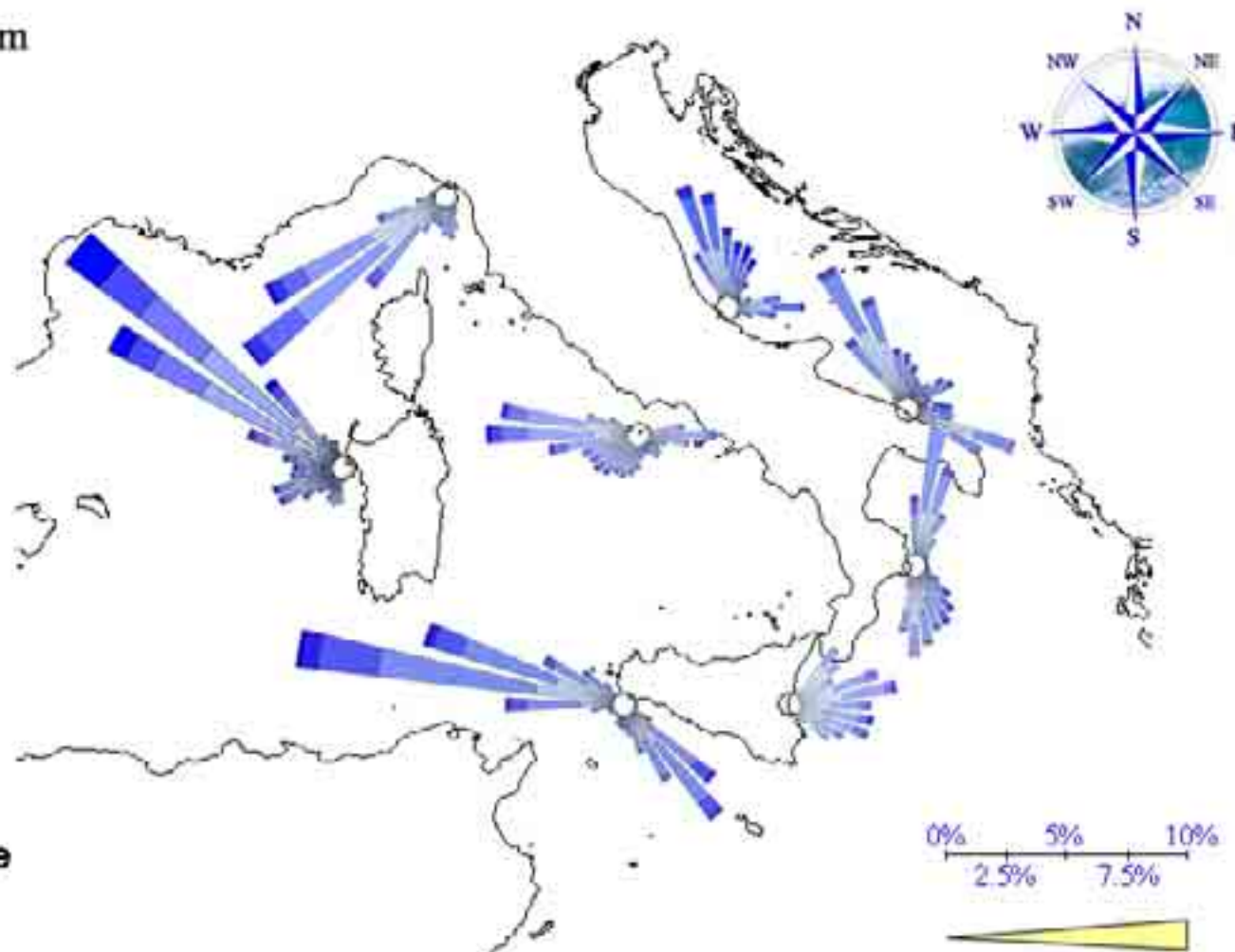
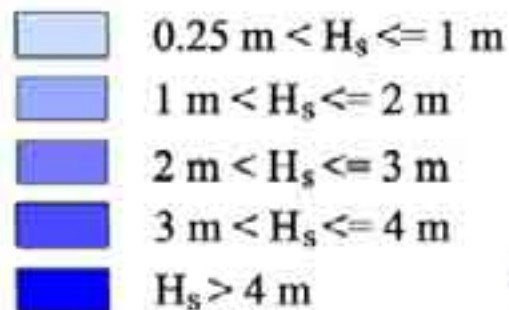
Classe di $H_{m0}$ (m)	N.O. di N.D.R. N.D.M. N.C.tra				Classe di direzione media di provenienza (deg N)																						
	540	180	114	71	65	54	40	47	40	53	80	470	1443	1755	1308	1635	2305	3108	1875	2857	8483	6590	1770	1388	35238		
9.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
9.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
8.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	1	-	-	-	-	-	2
8.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	1	-	-	-	-	5
7.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8	0	-	-	-	-
7.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	20	13	-	-	-	-	-
6.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	32	40	-	-	-	-
6.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	44	40	-	-	-	-
5.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3.0	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2.5	9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2.0	13	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1.5	52	9	7	3	3	3	1	1	2	3	6	52	144	150	140	209	359	381	247	374	1330	940	101	-	-	-	-
1.0	161	67	27	20	16	6	3	13	6	4	15	123	440	422	285	404	519	448	408	629	1611	1152	285	-	-	-	-
0.5	213	100	00	40	46	45	45	30	39	45	64	245	823	1119	700	690	704	844	654	1220	1932	1726	110	-	-	-	-
-	0	15	30	45	60	75	90	105	120	135	150	165	180	195	210	225	240	255	270	285	300	315	330	345	-	-	-



Distribuzione di frequenza delle  $H_{m0}$

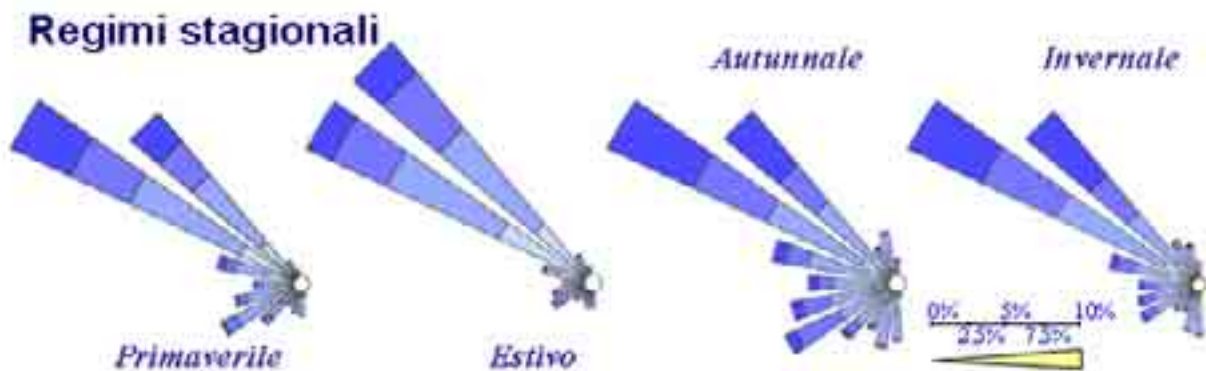
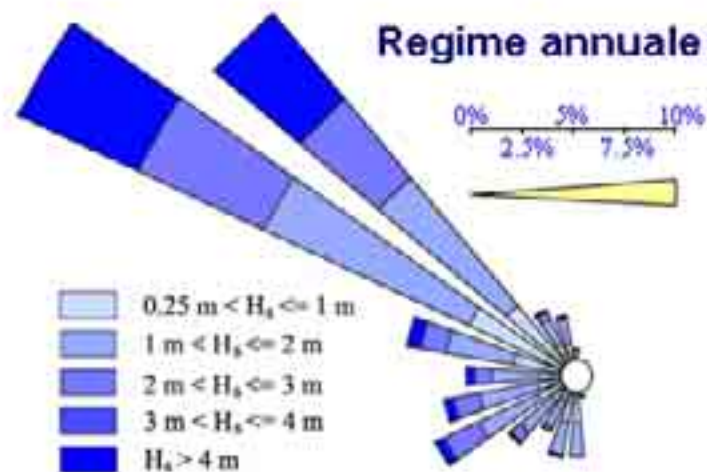
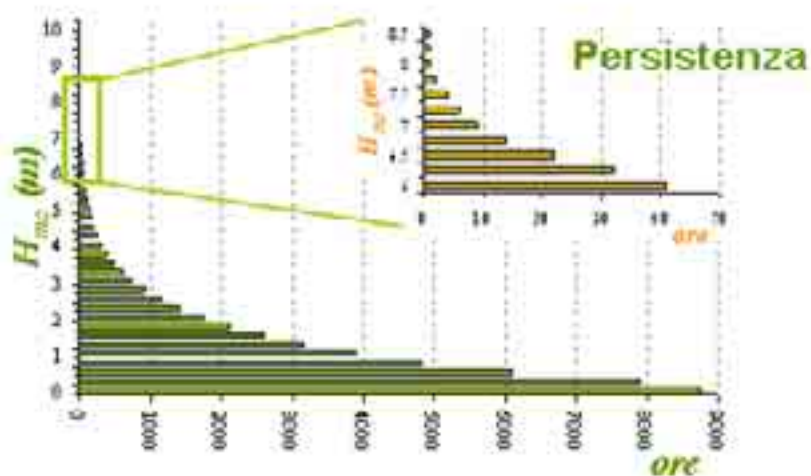
Tab 5: Tabella a doppia entrata  $H_{m0}$  - GAIghero Gdati troran: 01/07/1989 (31/12/2003); periodo: intero

## LA CLIMATOLOGIA DEL MOTO ONDOSO



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

## LA CLIMATOLOGIA DEL MOTO ONDOSO



## LA CLIMATOLOGIA DEL MOTO ONDO SO

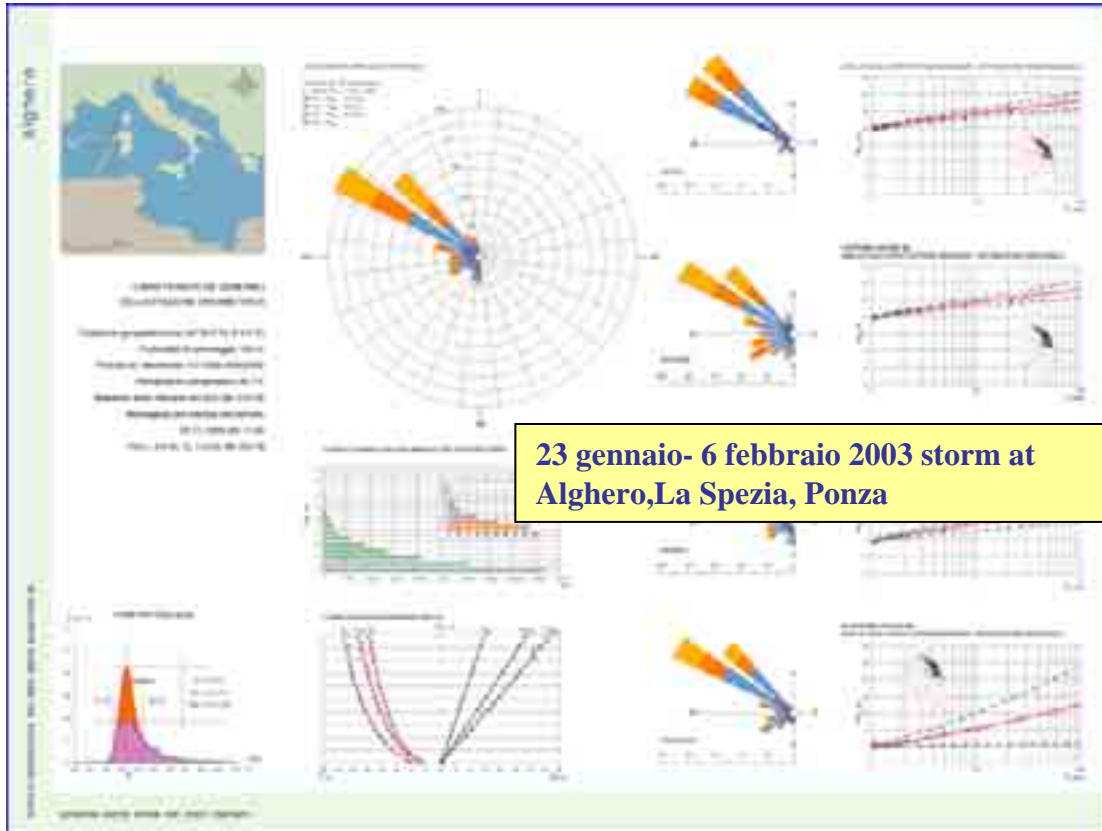
### Distribuzione in frequenza dei parametri ondosi



- definizione della probabilità di occorrenza di un evento estremo, per il dimensionamento delle opere marittime
- definizione del clima ondoso, per la valutazione delle condizioni di evoluzione di un litorale



# LA CLIMATOLOGIA DEL MOTO ONDOSO



Distribuzione direzionale del flusso medio lordo annuale

## LA CLIMATOLOGIA DEL MOTO ONDOSO

### GRAFICI

Distribuzione direzionale delle onde con  $H_s$  dovuta a vento > F7 (28 - 33 nodi)

### RADAR:

**SCATTERPLOT:** Valori massimi dei cluster al di sopra della soglia semioraria separati da un opportuno periodo sotto soglia

Stazione	SI (m)
Alghero	3.0
Ancona	2.0
Siniscola	3.0
Catania	2.0
Cetraro	3.0
Civitavecchia	3.0
Crotone	2.5
La Spezia	2.5
Mazara	3.0
Monopoli	2.0
Palermo	3.0
Ortona	2.0
Ponza	3.0
Chioggia	2.0

Il flusso di energia lordo dell'onda  $\bar{P}$  è stato calcolato a partire dalla densità di energia

$$\bar{E} = \frac{\rho g H^2}{8}$$

come:

$$\bar{P} = \bar{E} C_g$$

Essendo  $C_g$  la velocità di gruppo definita in acque profonde da:

$$C_g = \frac{gT}{4\pi}$$

il flusso di energia risulta infine

$$\bar{P} = \frac{\rho g^2}{32\pi} T H^2 \approx 0.982 H_{m0}^2 T_m$$

ed il flusso totale, espresso in W/m, è dato dalla somma di tutti i contributi

$$\bar{P} \approx 0.982 \sum (H_{m0}^2 T_m)$$

## IL CLIMA ONDOSO: IL TIRRENO



Distribuzione  
Hs massime

Media annuale  
del flusso di  
energia per  
settori  
direzionali

## IL CLIMA ONDOSO: IL MAR DI SICILIA



Distribuzione  
Hs massime

Media annuale  
del flusso di  
energia per  
settori  
direzionali

## IL CLIMA ONDOSO: IL MAR DI SICILIA

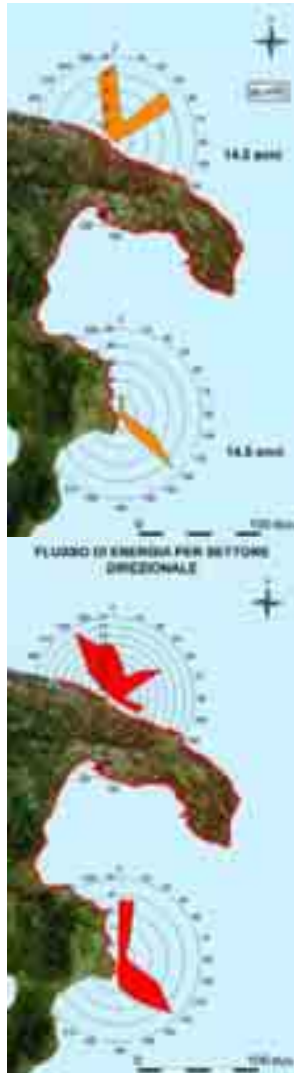


**Distribuzione  
Hs massime**



**Media annuale  
del flusso di  
energia per  
settori  
direzionali**

## IL CLIMA ONDOSO: IL MAR ADRIATICO



**Distribuzione  
Hs massime**



**Media annuale  
del flusso di  
energia per  
settori  
direzionali**

## IL CLIMA ONDOSO: IL MAR ADRIATICO



FLUSSO DI ENERGIA PER SETTORE DIREZIONALE



FLUSSO DI ENERGIA PER SETTORE DIREZIONALE



Distribuzione  
Hs massime

Media annuale  
del flusso di  
energia per  
settori  
direzionali

## IL CLIMA ONDOSO: IL MAR DI SARDEGNA



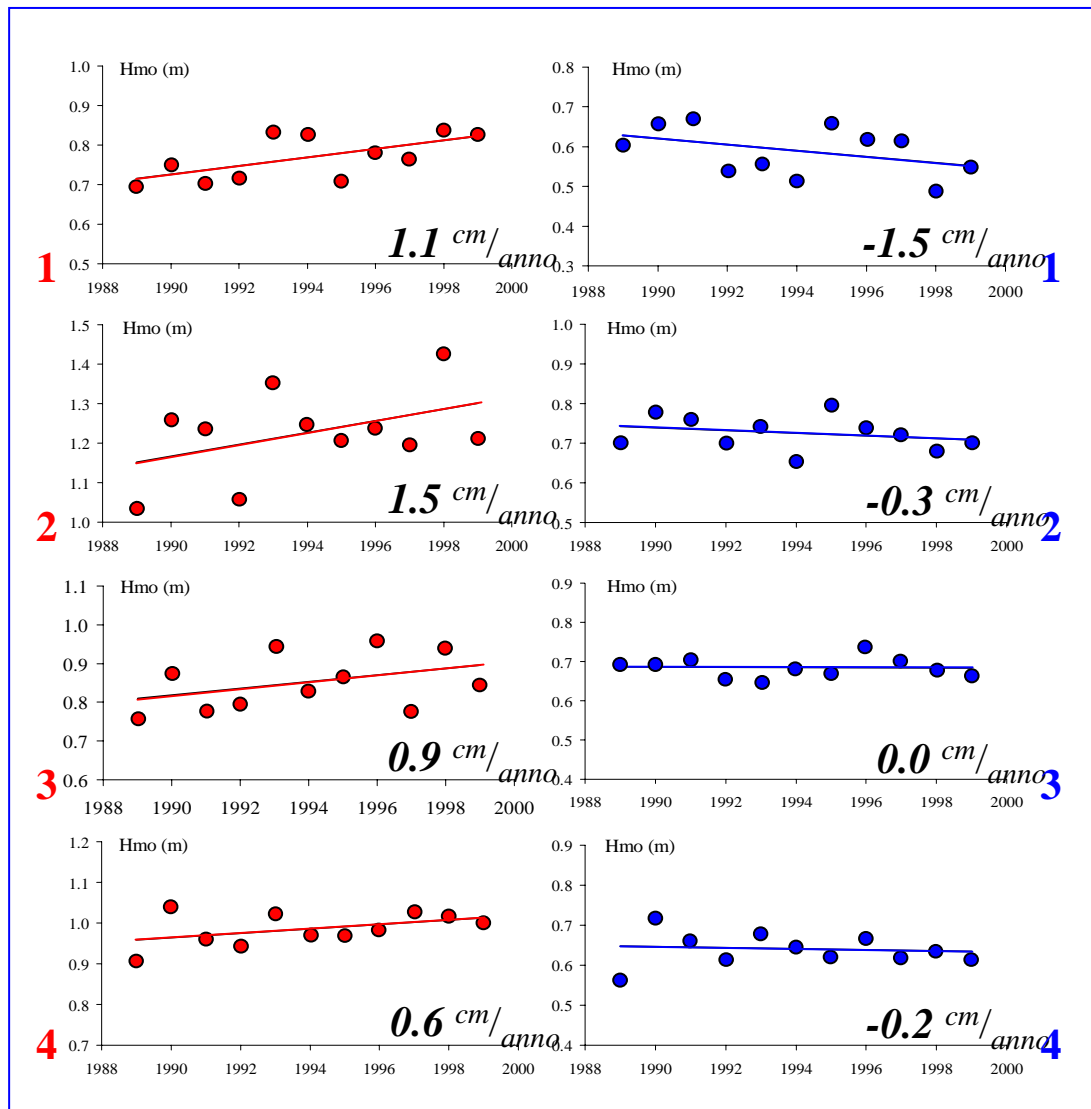
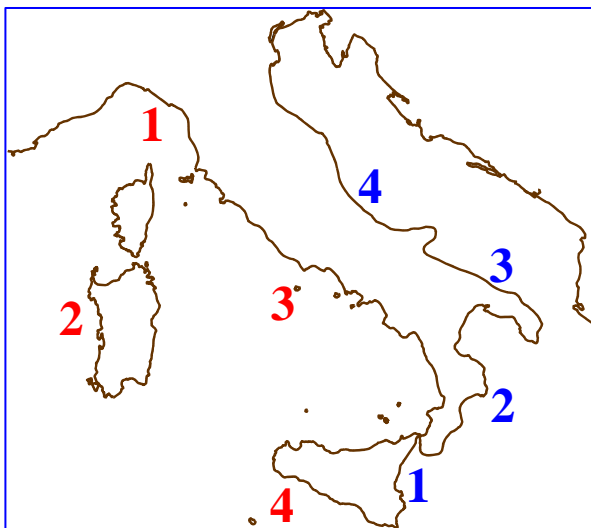
Distribuzione  
Hs massime

Media annuale  
del flusso di  
energia per  
settori  
direzionali



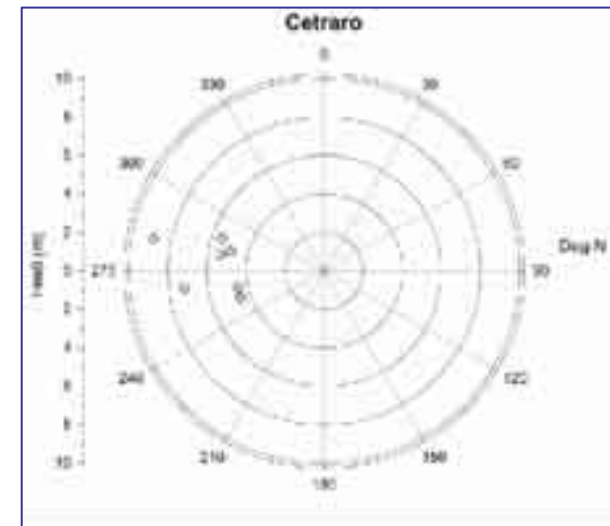
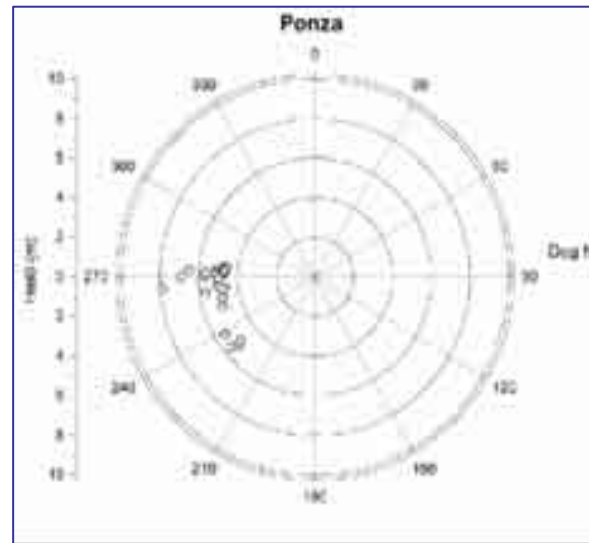
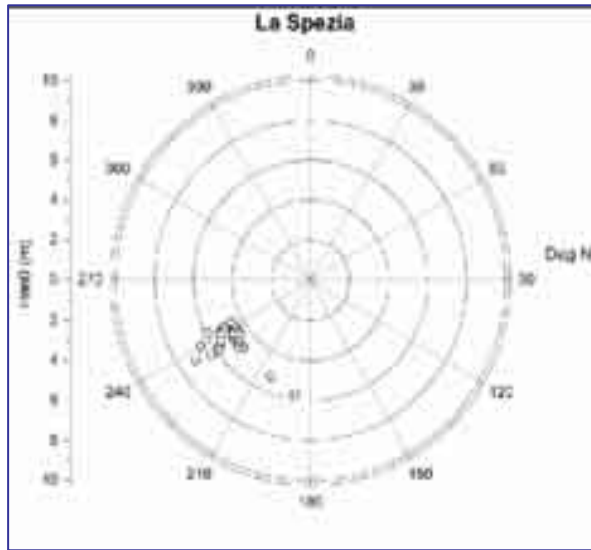
# LA CLIMATOLOGIA DEL MOTO ONDOSO

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

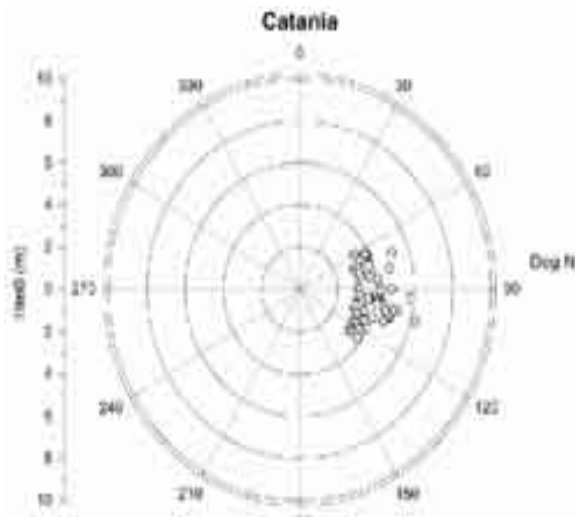
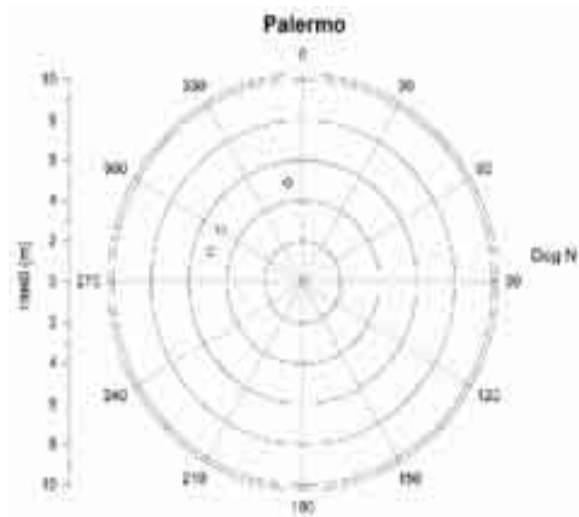


## LE MAREGGIATE: IL TIRRENO

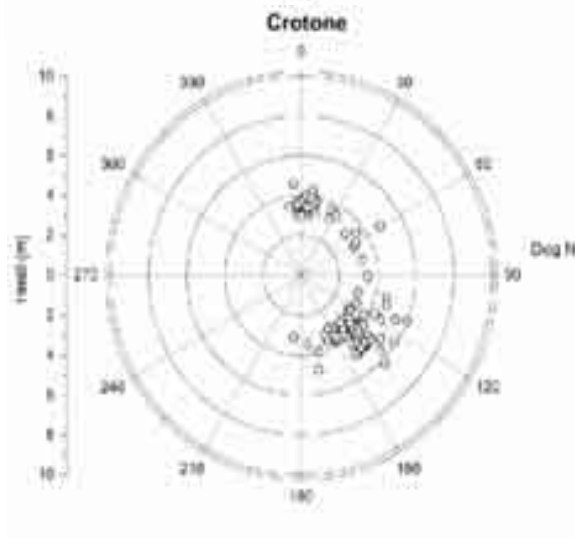
Hs massime delle mareggiate



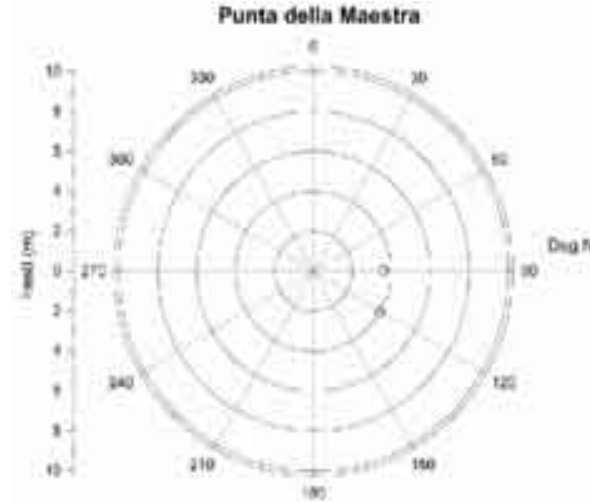
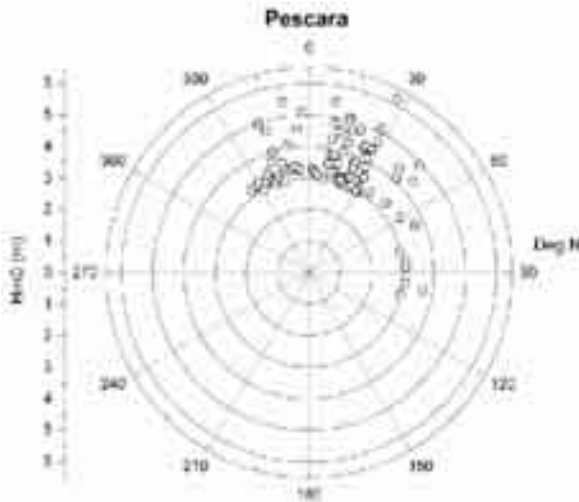
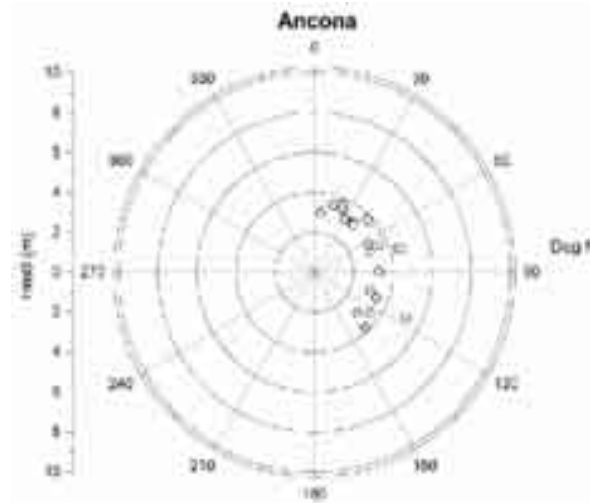
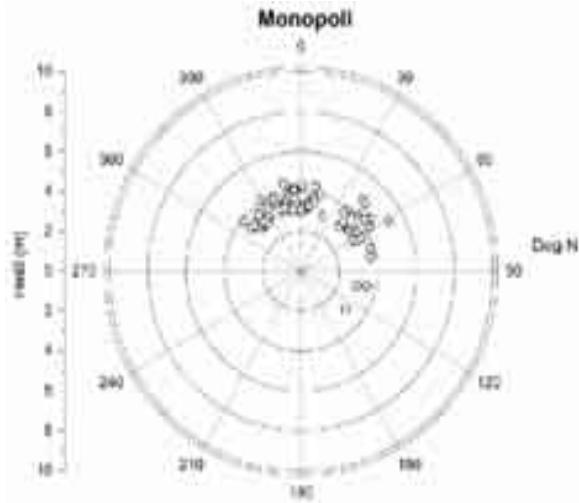
## LE MAREGGIATE: IL MAR DI SICILIA



**Hs massime delle mareggiate**

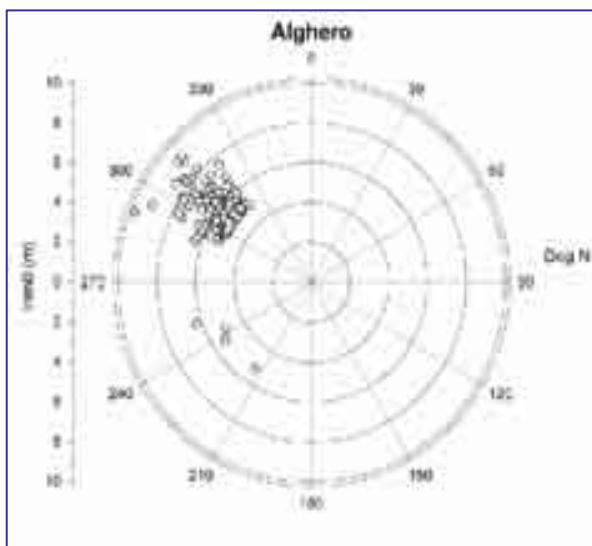


## LE MAREGGIATE: IL MAR ADRIATICO

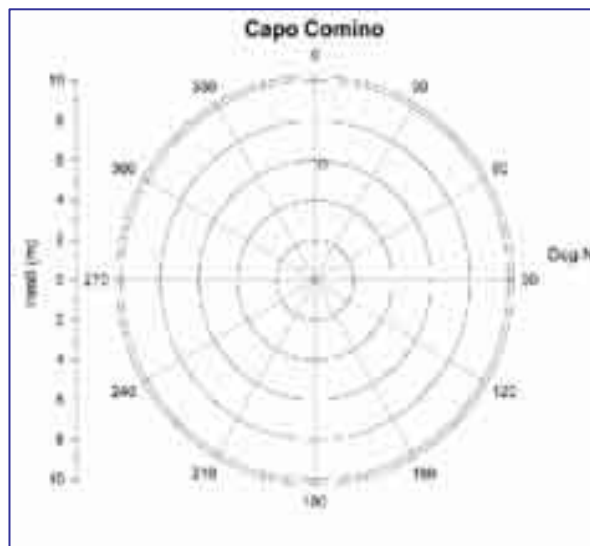


**Hs massime delle mareggiate**

# LE MAREGGIATE: IL MAR DI SARDEGNA



**Hs massime delle mareggiate**

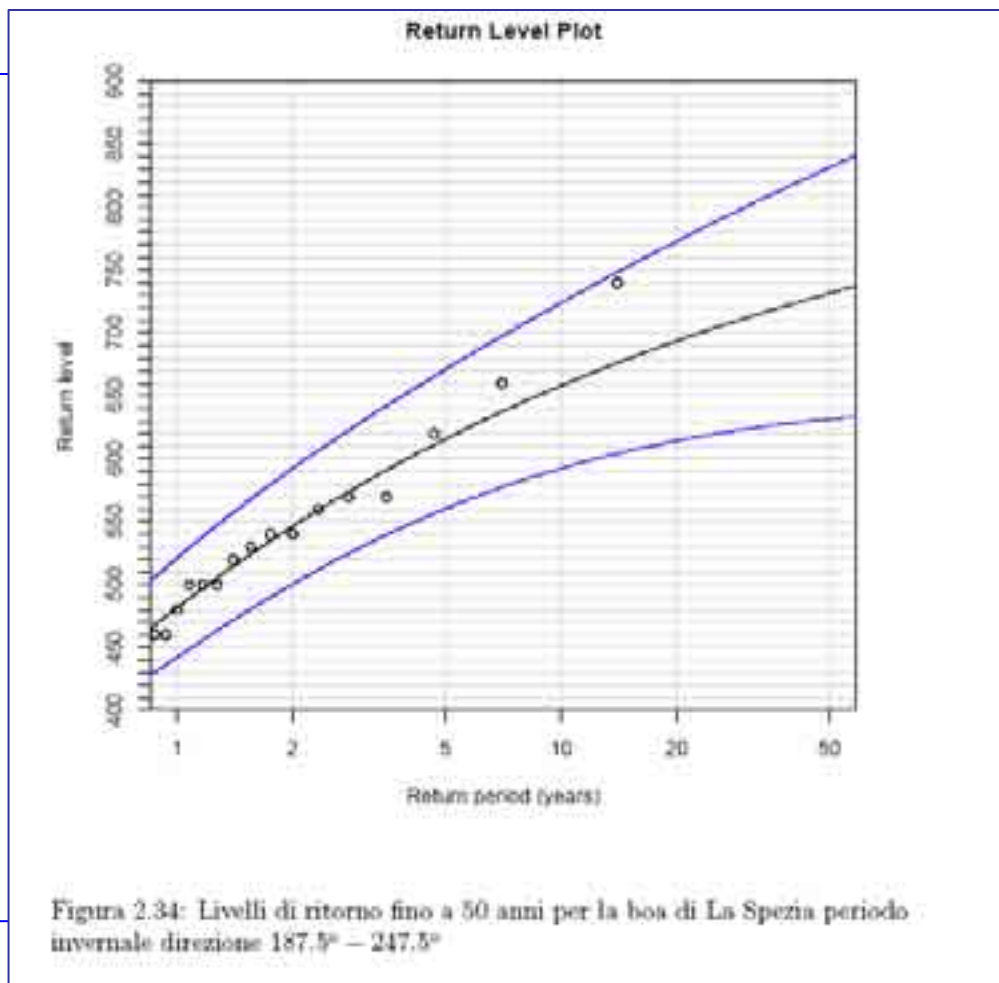
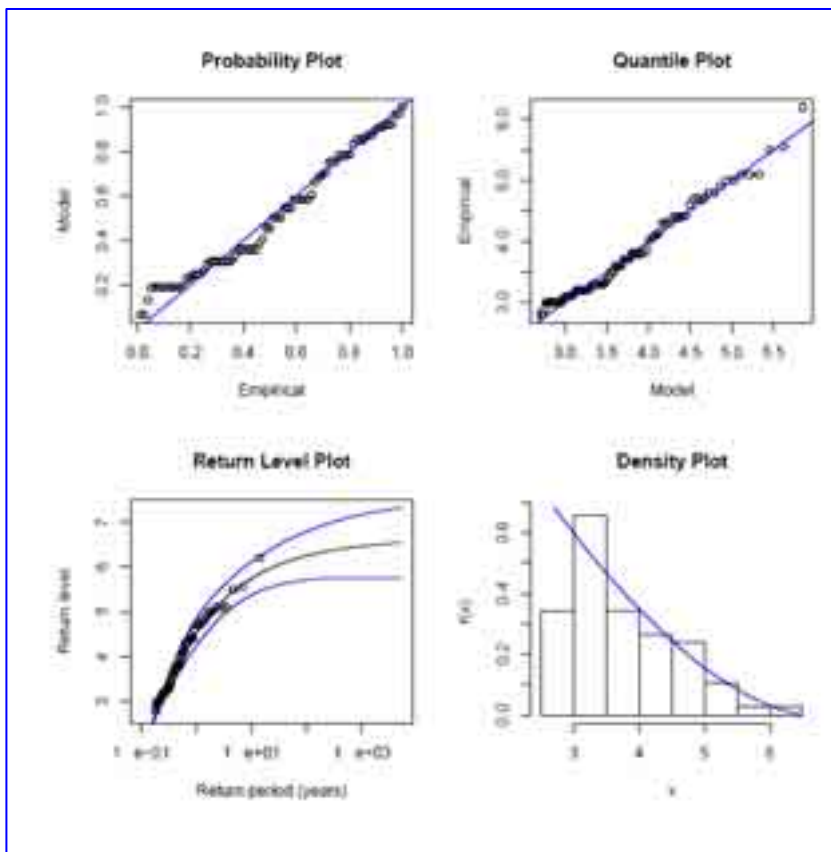


## LE MAREGGIATE



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

## EVENTI ESTREMI



# IL CLIMA ONDOSO NEI MARI ITALIANI

## DUE REGIMI ONDOSI

● **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**

**Mareggiate:**

Pescara e Monopoli da NORD

Catania e Crotona da EST – SUD EST

**Stagionalità: maggiore**

**Tendenze evolutive:** trascurabile  
diminuzione

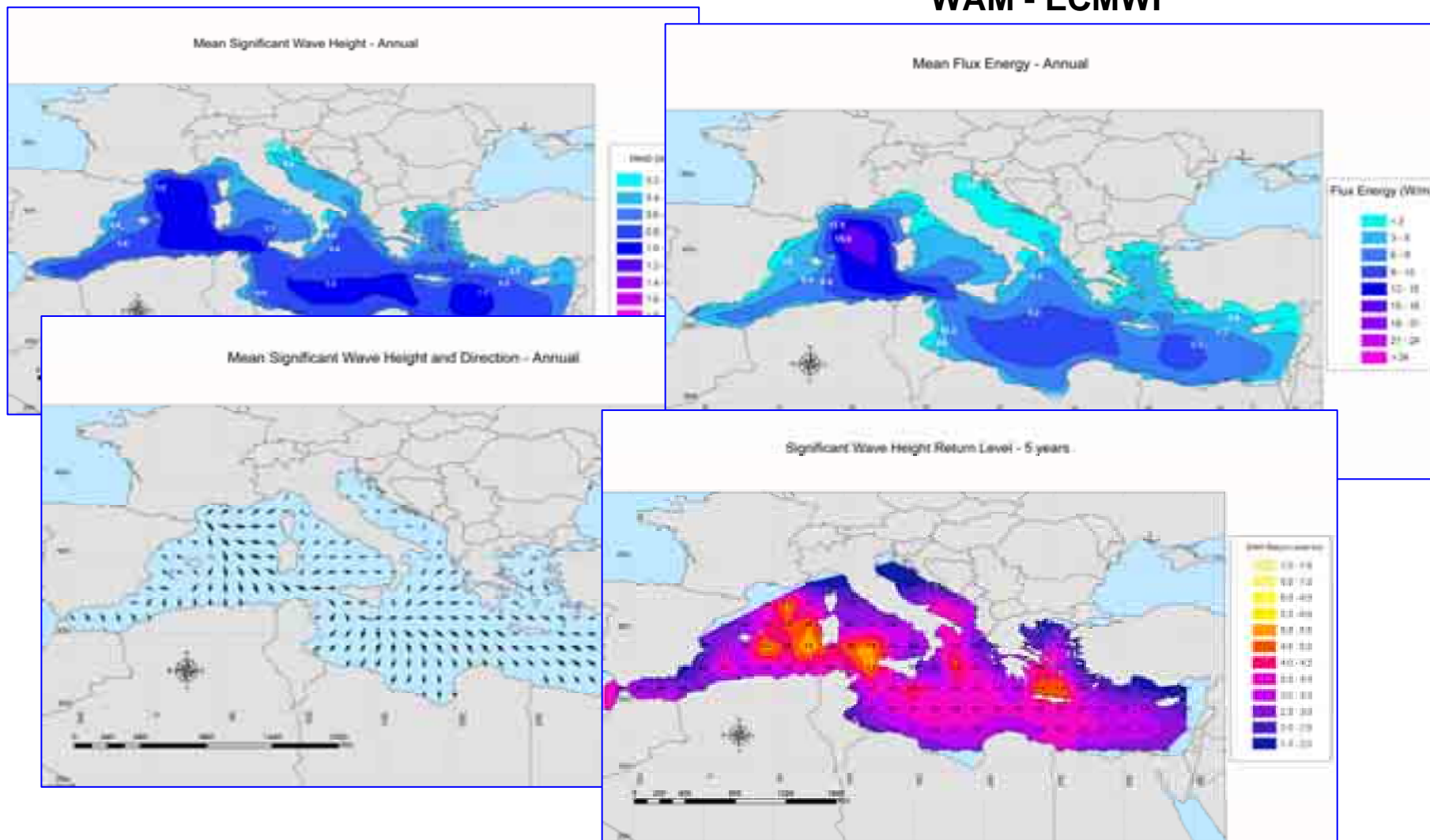


## LA CLIMATOLOGIA DEL MOTO ONDO SO

- DATI OSSERVATI
- ANALISI STATISTICA
- MAREGGIATE ED EVENTI ESTREMI
- DATI DA MODELLI NUMERICI: mappe, ricostruzione di una mareggiata, previsioni

# MAPPE DELLO STATO DEL MARE

## WAM - ECMWF



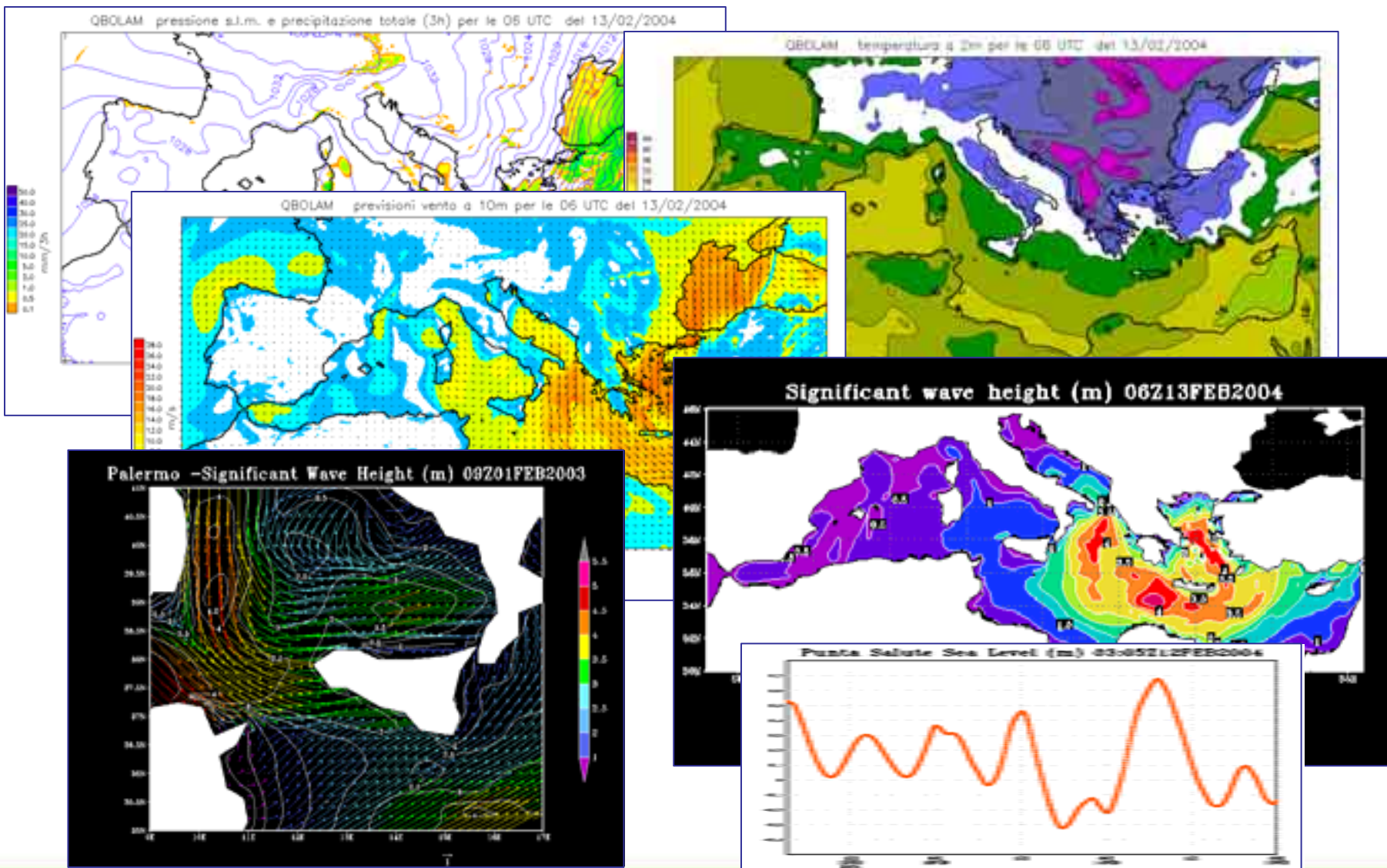
## PREVISIONI: SIMM

### 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

# PREVISIONI: SIMM (previsioni a 48 ore)



# PREVISIONE DELLA MAREGGIATA NEL TIRRENO MARZO 2008

DATI: Hs, Dir del SIMM

## Mareggiata Marzo 2008



## Mareggiata Marzo 2008

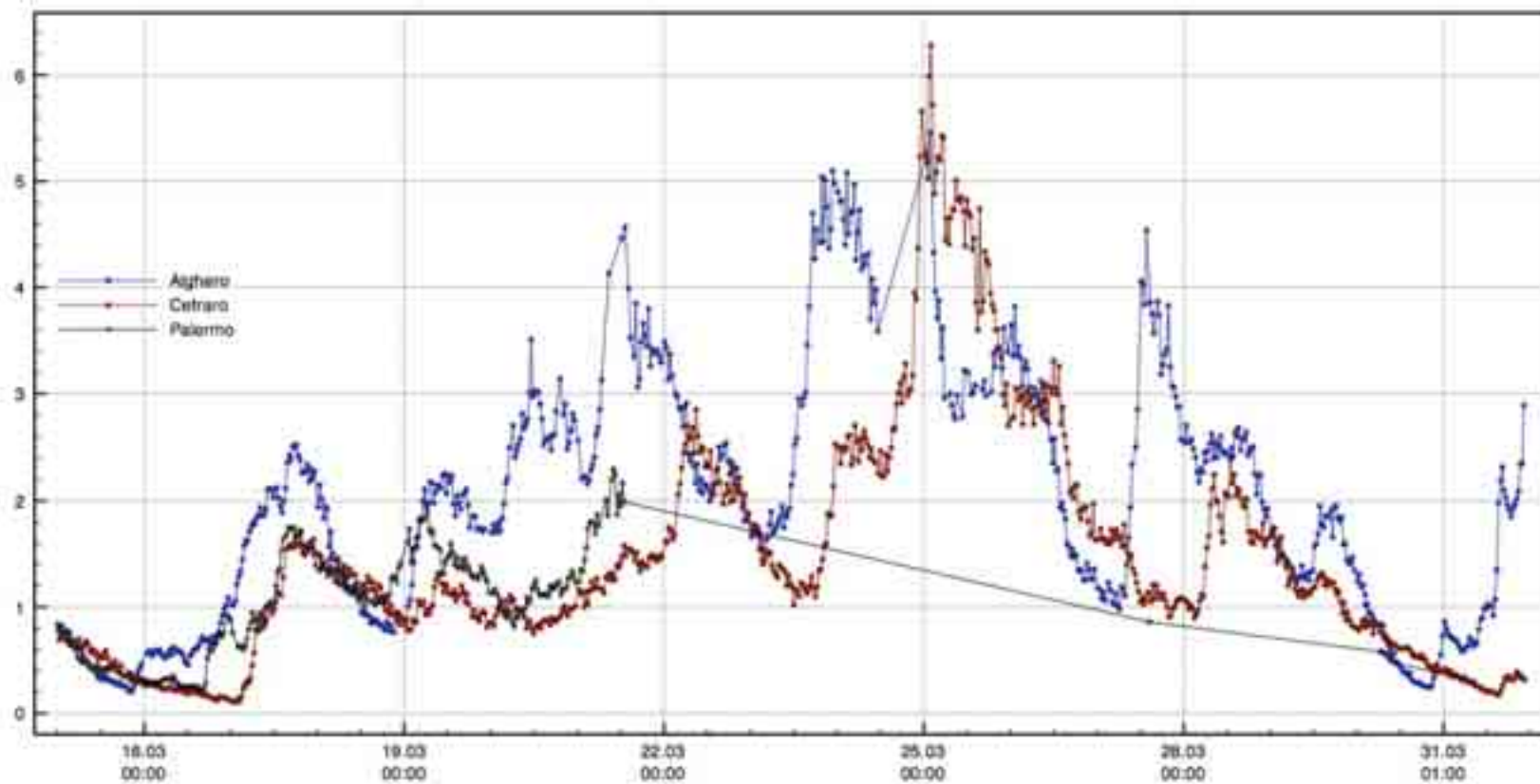


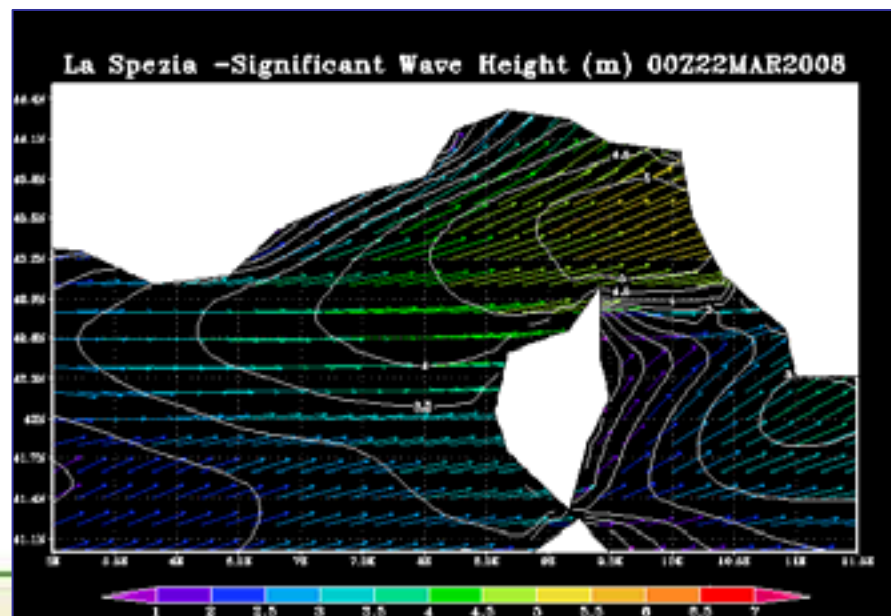
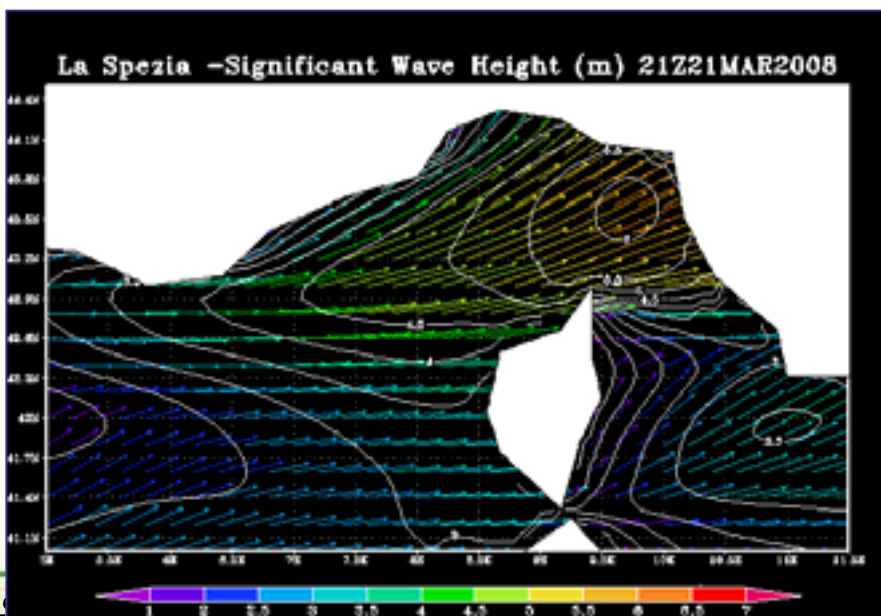
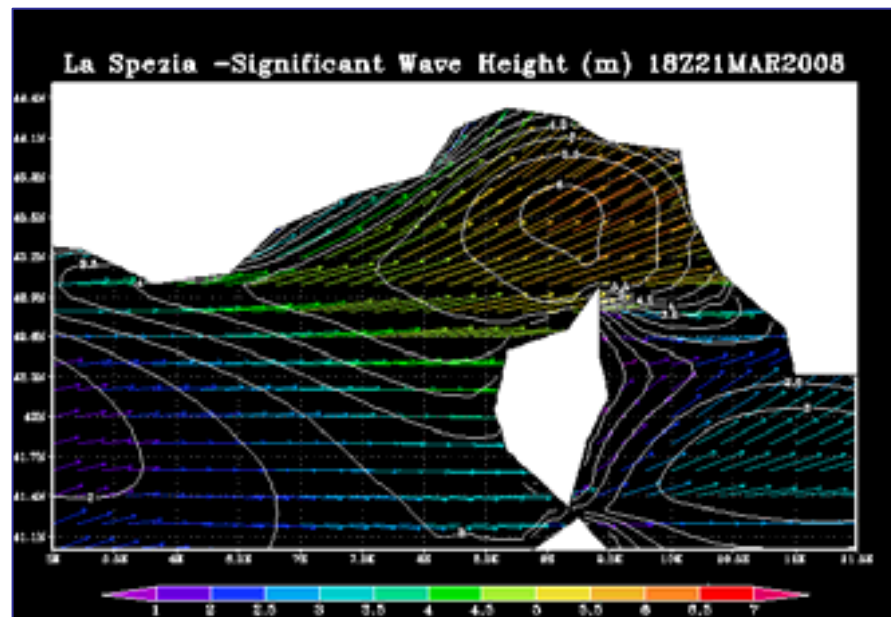
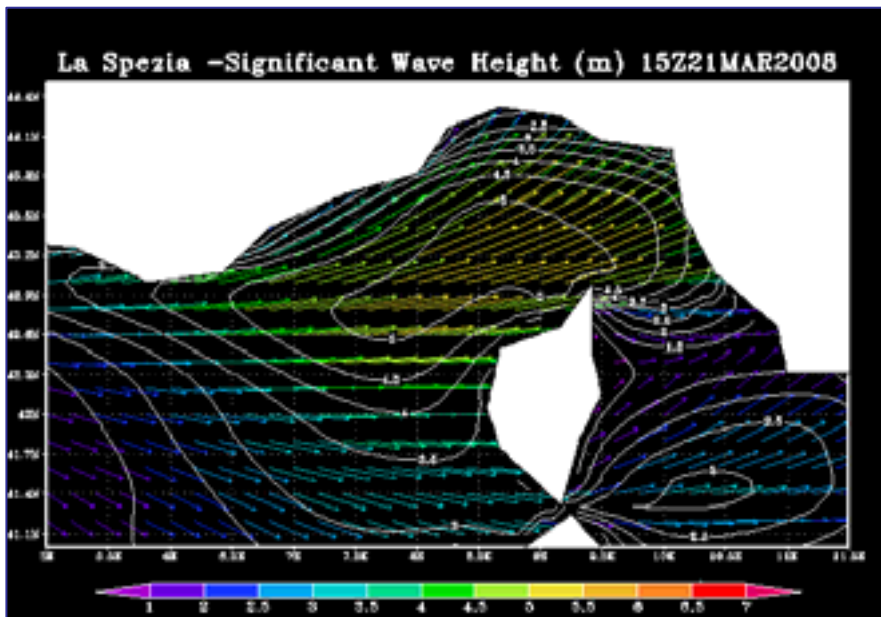
## Sestri Levante

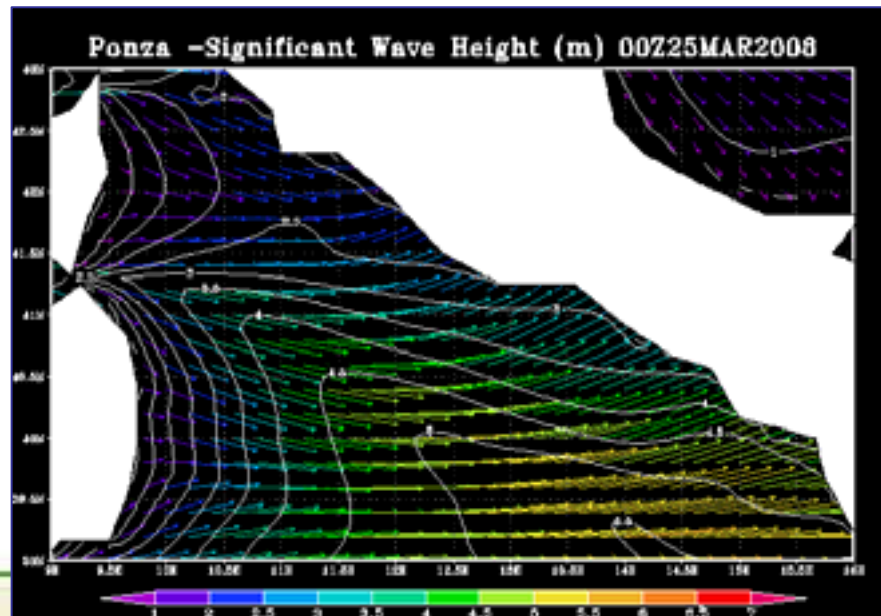
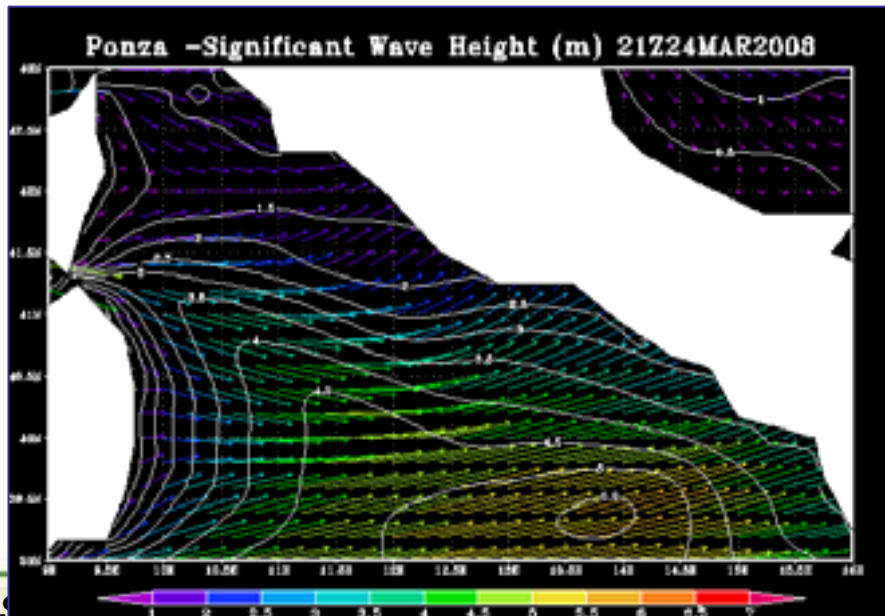
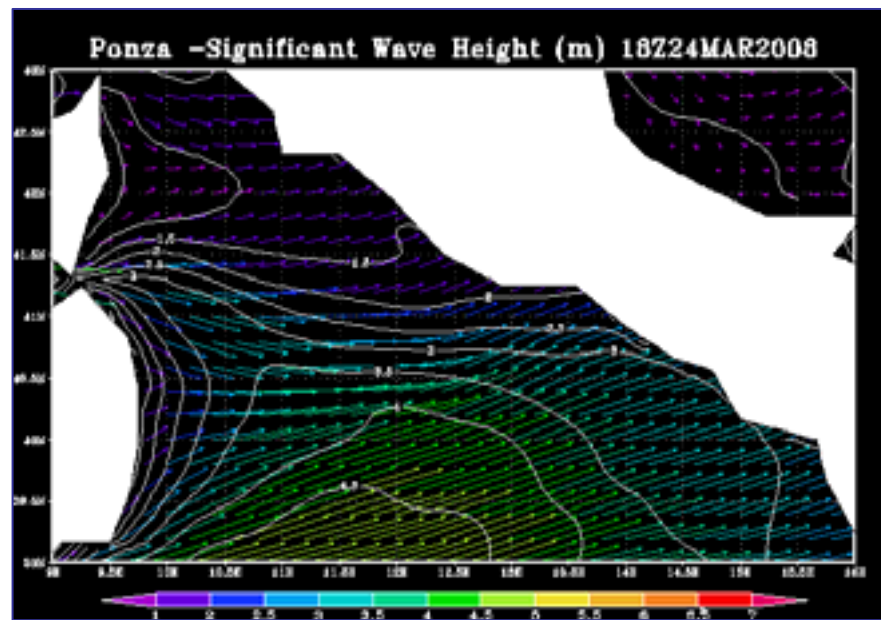
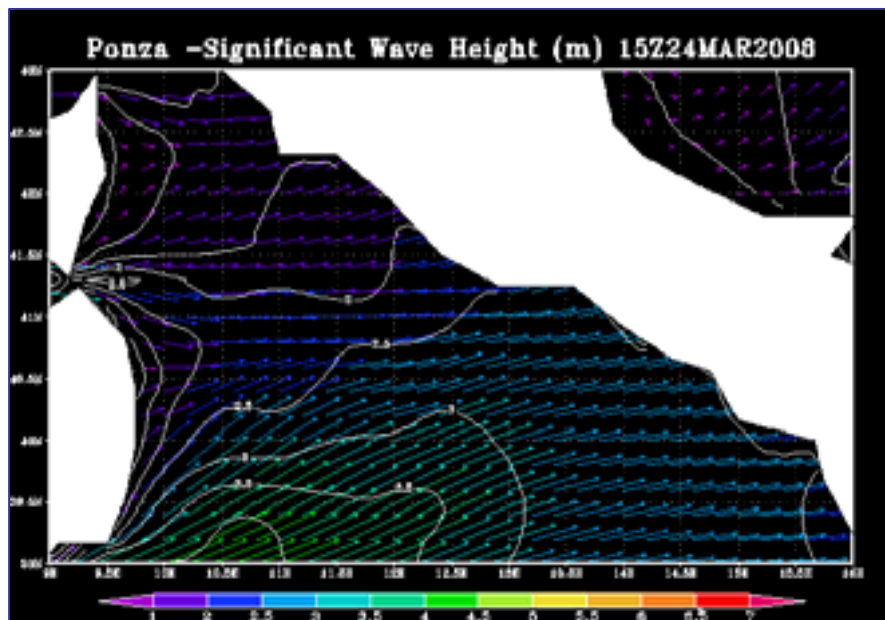




## EVOLUZIONE DELLA MAREGGIATA







# PROPAGAZIONE A COSTA DEL MOTO ONDO SO

## MODELLO DELFT 3D - SWAN

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

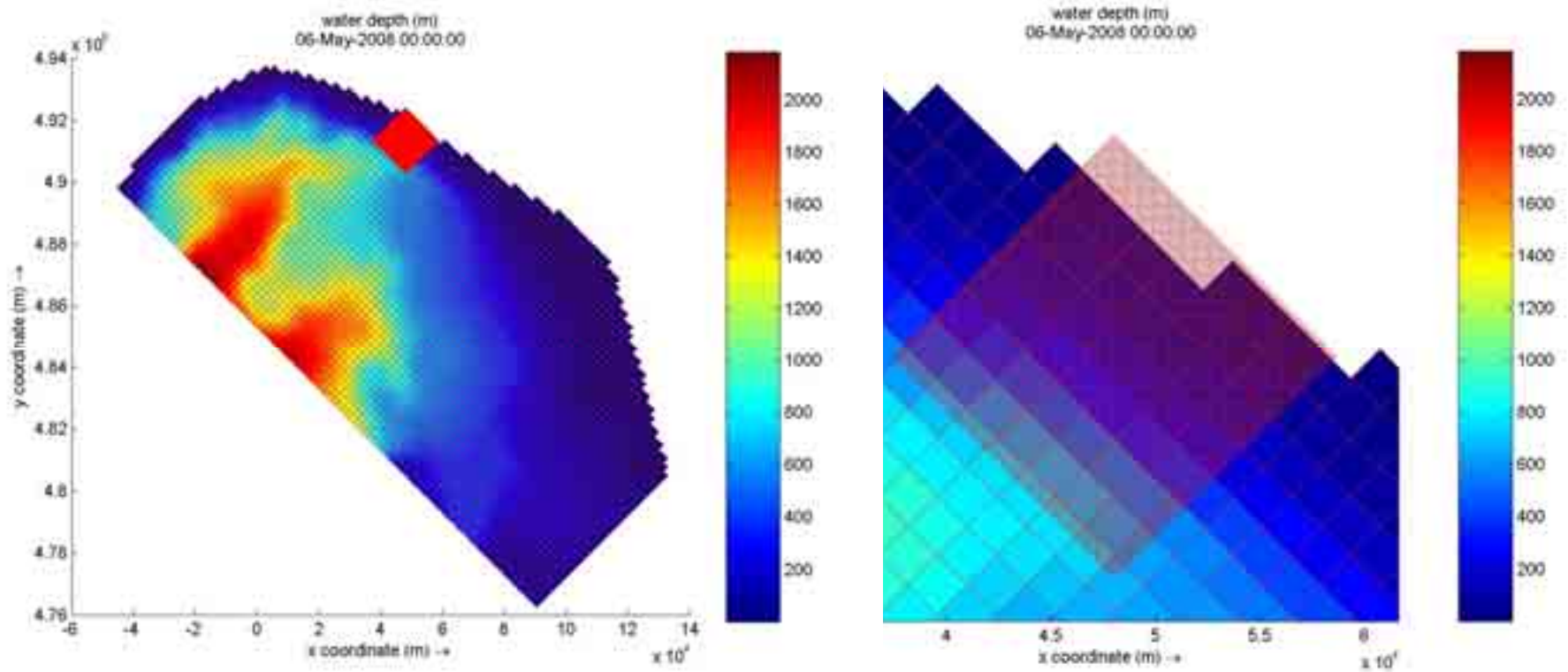
# PROPAGAZIONE A COSTA DEL MOTO ONDOSONO

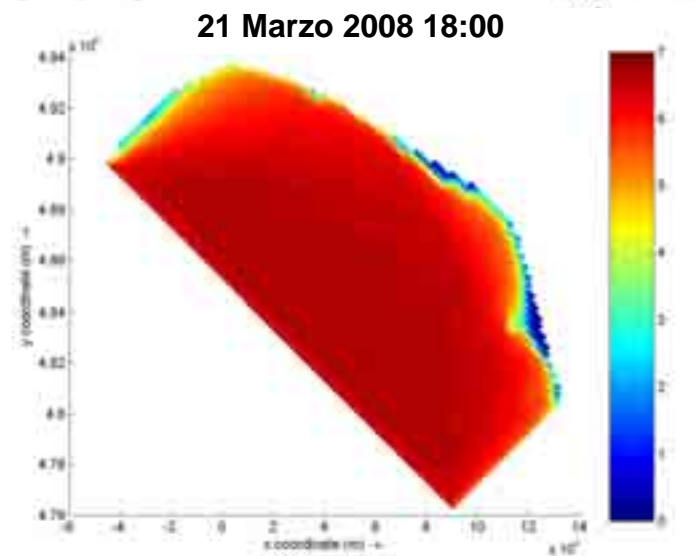
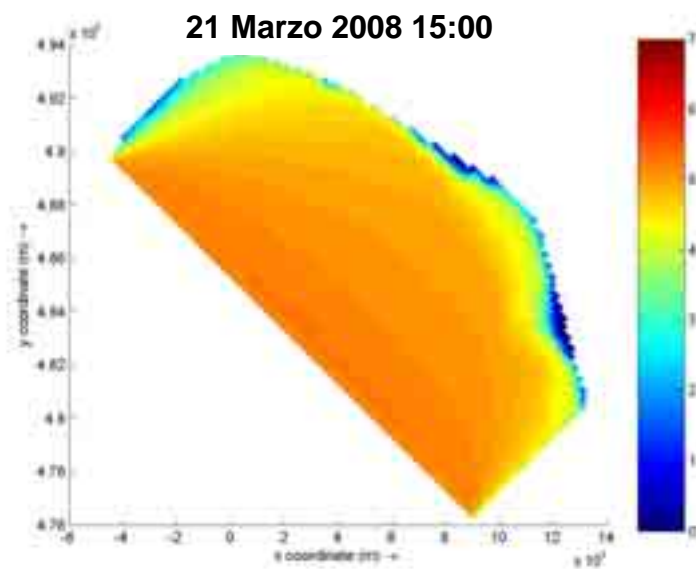
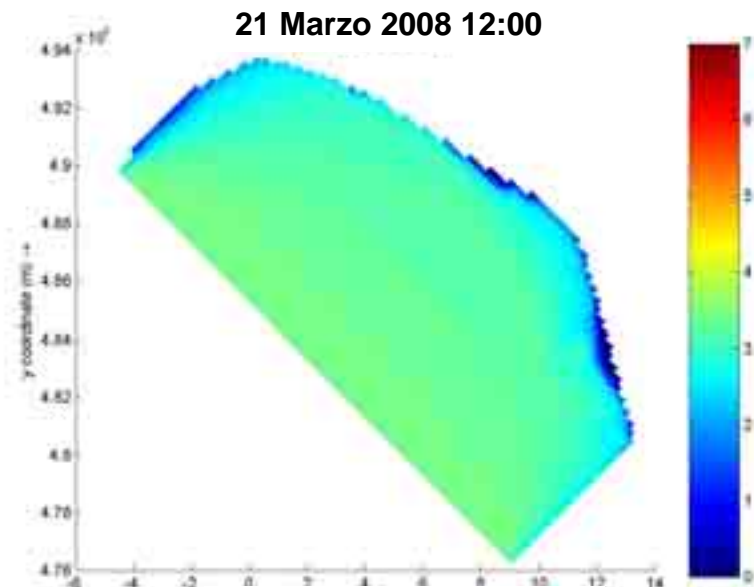
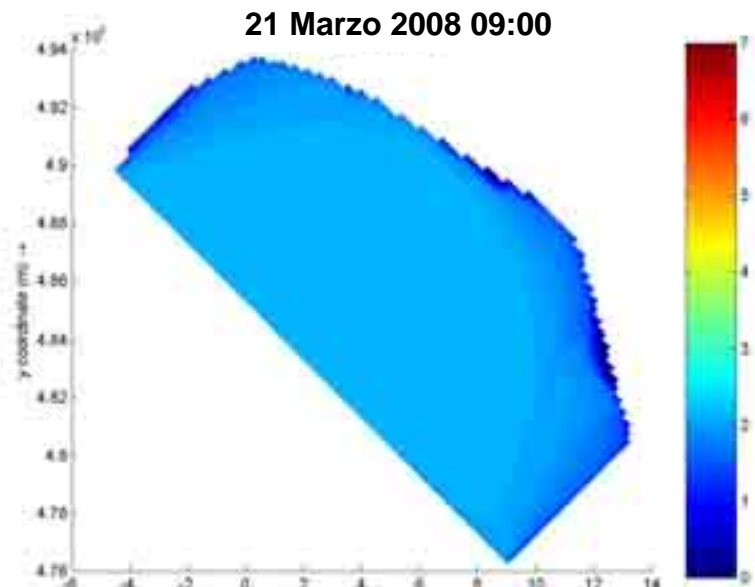
## MODELLO DELFT 3D - SWAN

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

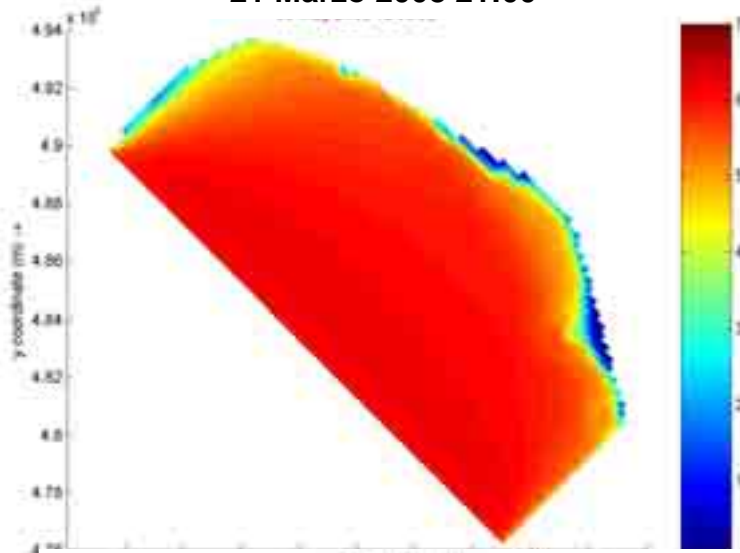
# PROPAGAZIONE A COSTA DEL MOTO ONDOSO

## MODELLO DELFT 3D – SWAN NESTING

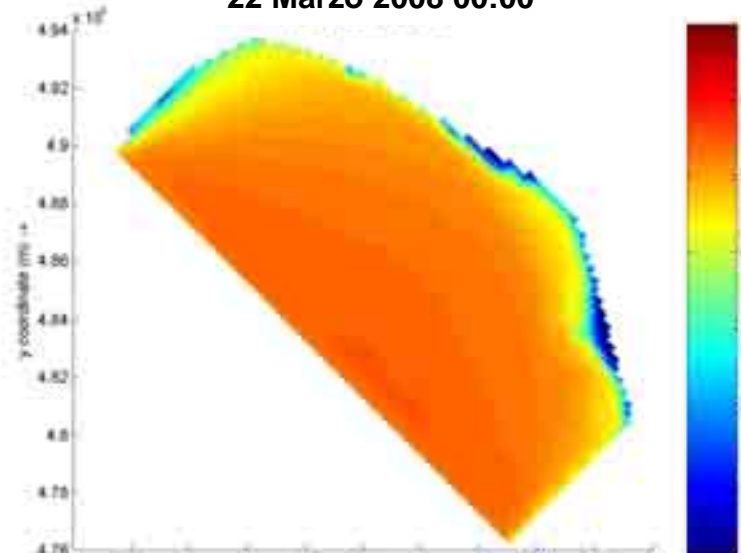




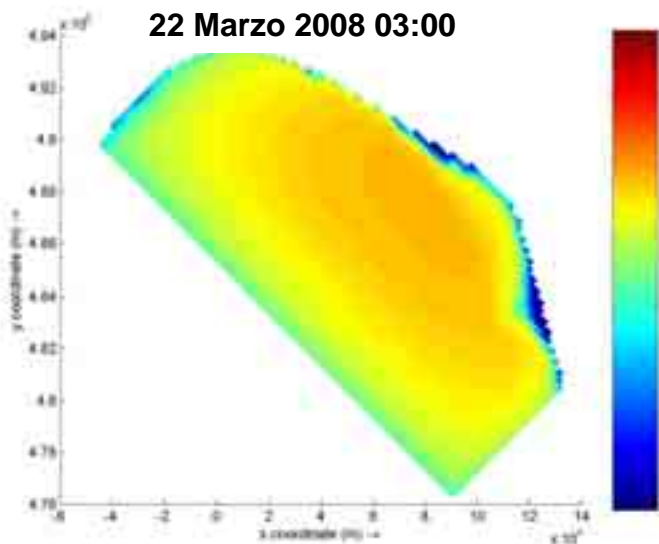
21 Marzo 2008 21:00



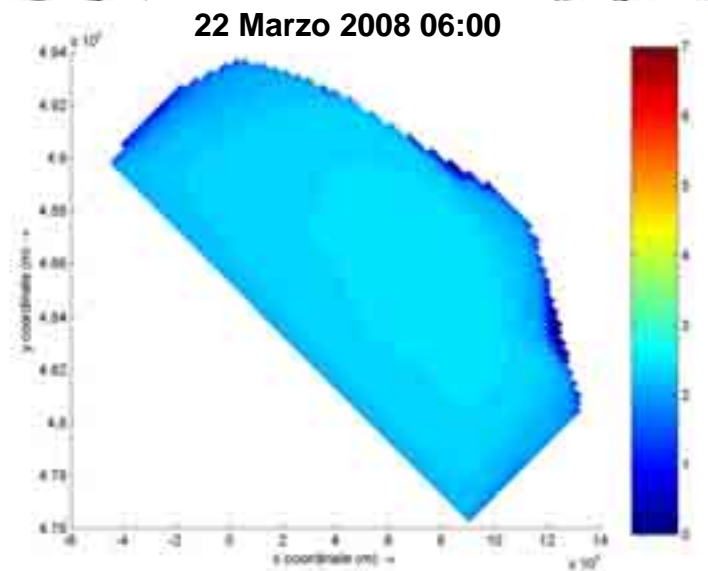
22 Marzo 2008 00:00



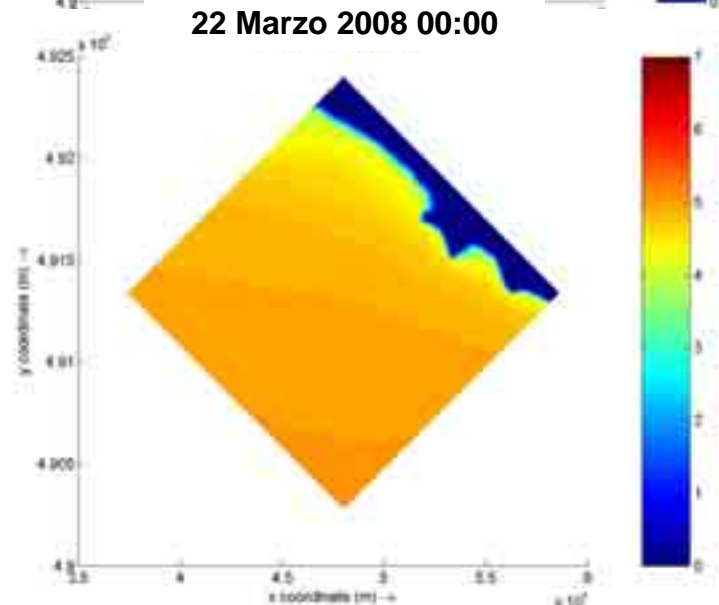
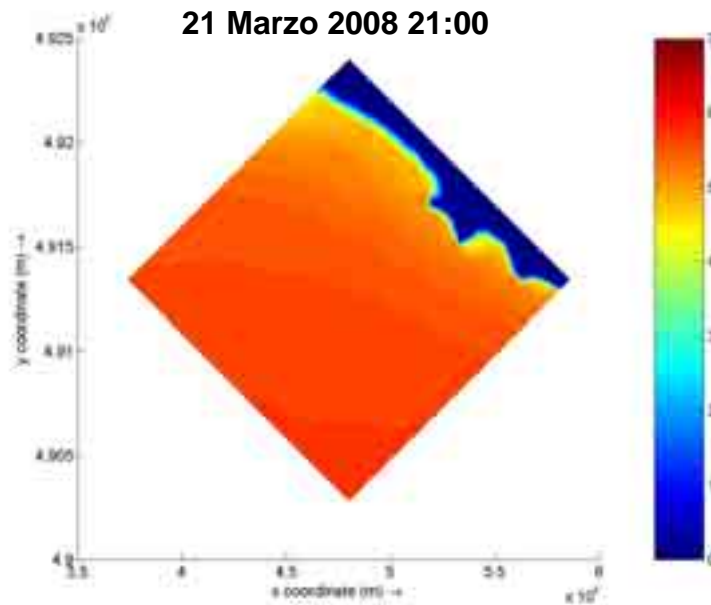
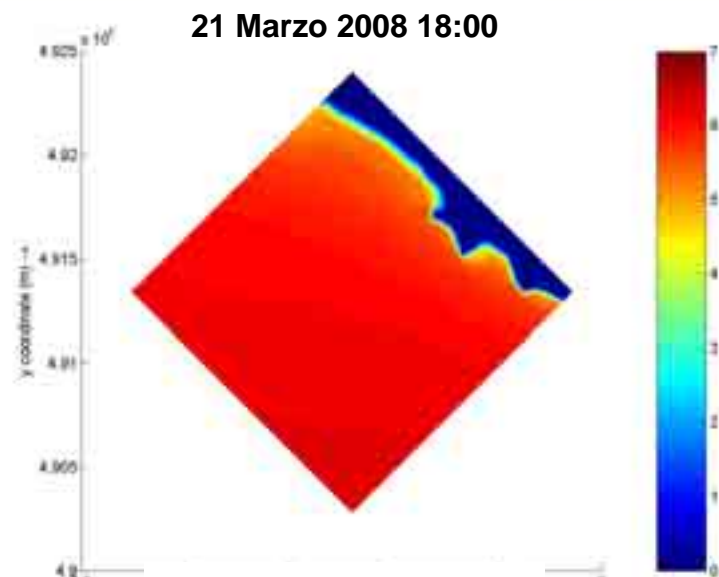
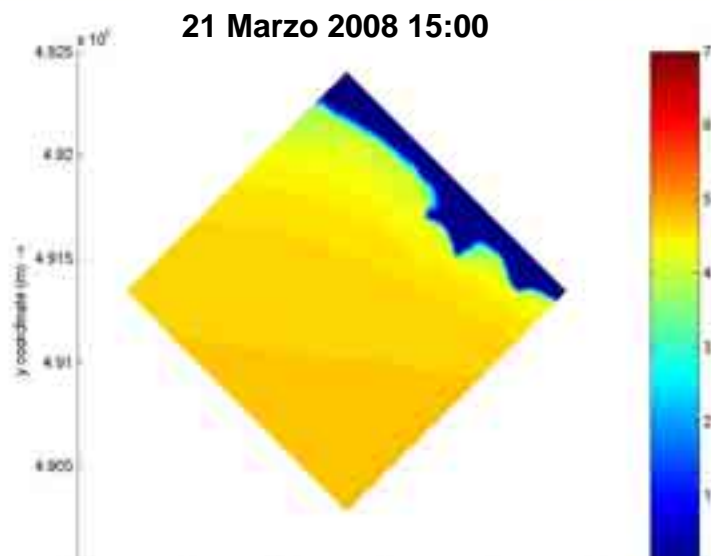
22 Marzo 2008 03:00



22 Marzo 2008 06:00



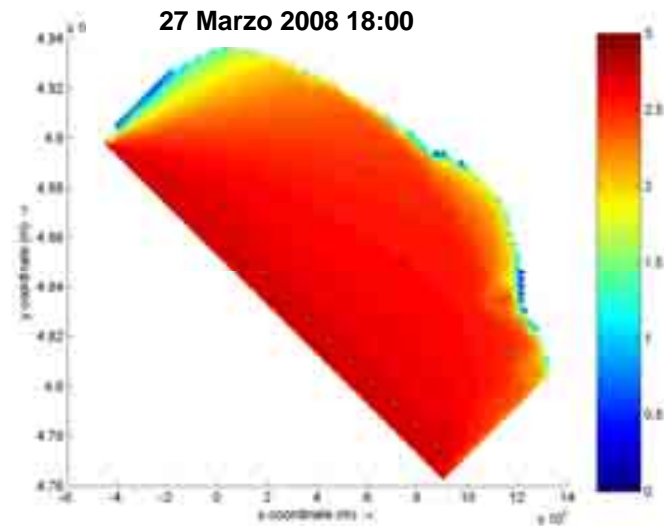
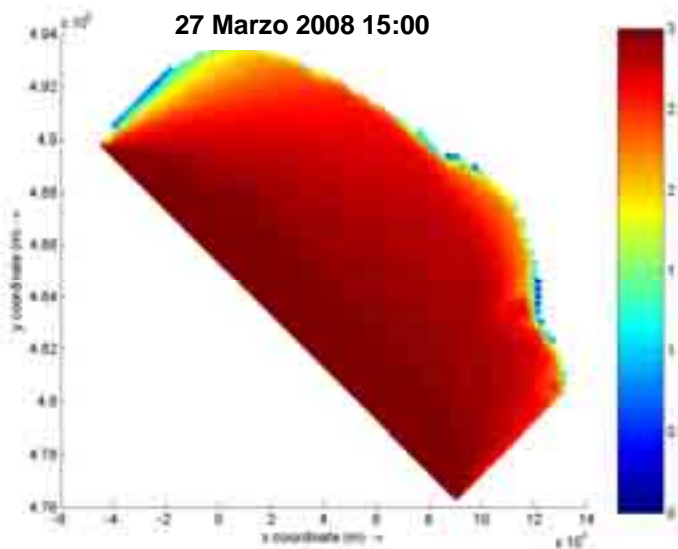
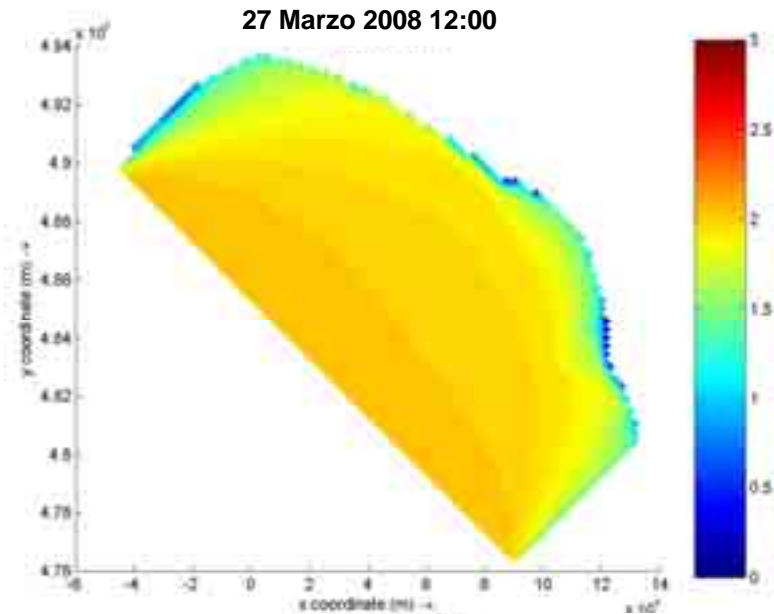
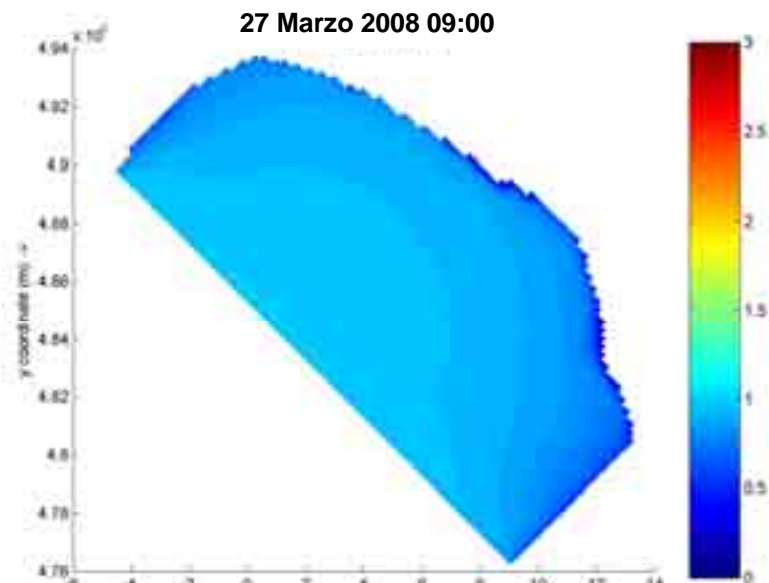


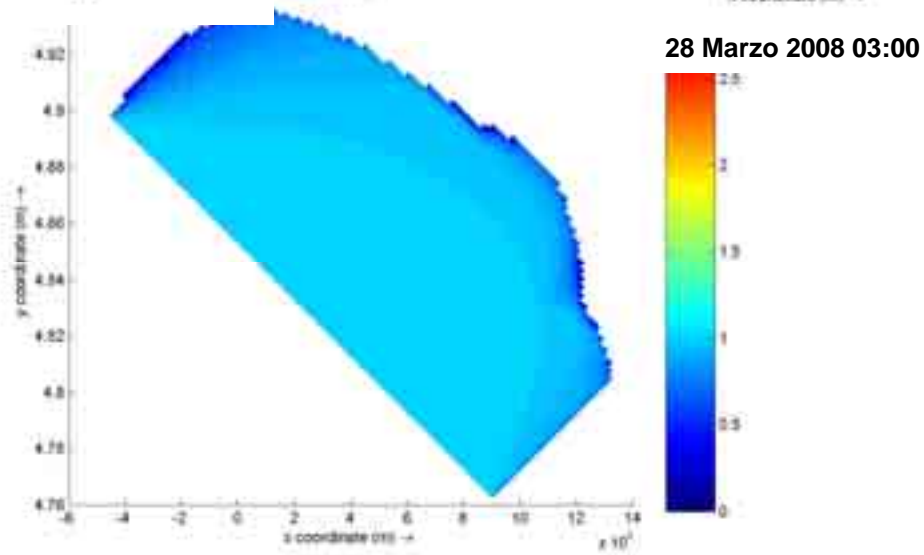
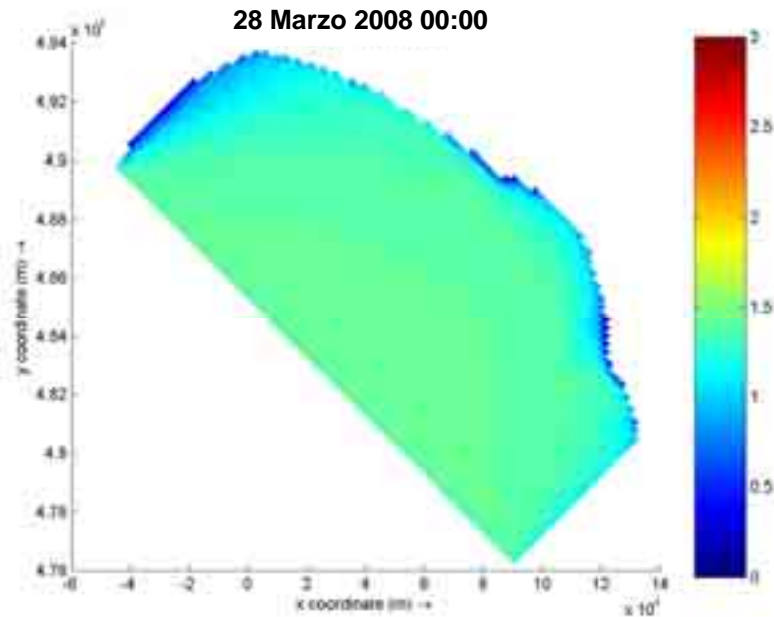
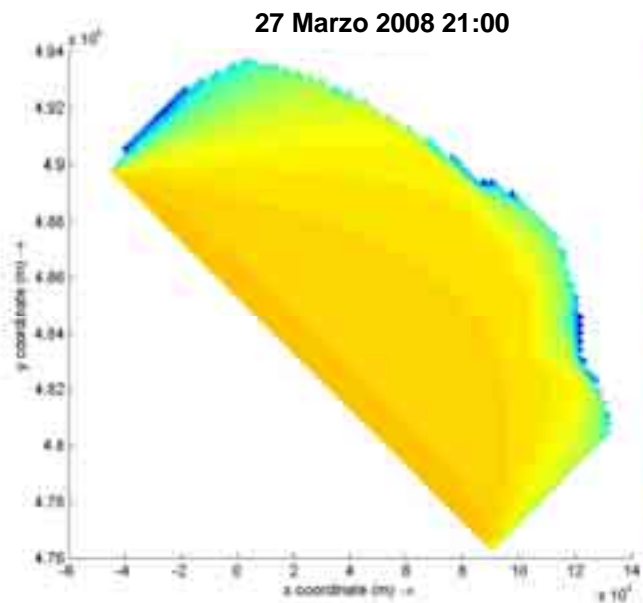


# PROPAGAZIONE A COSTA DEL MOTO ONDOSO

## MODELLO DELFT 3D - SWAN

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





## PERCHE'

**I fenomeni di interazione tra terra e mare, nella fascia costiera, hanno forte impatto sulla perdita di biodiversità, di patrimonio paesaggistico e ambientale (dune, retrovegetazione dunale, spiagge ecc.)**



- ONDE (distribuzione direzionale, mareggiate)

- MAREE E VARIAZIONI DEL LIVELLO DEL MARE (breve e lungo periodo)

## RMN

**26 stazioni misurano:**

### Parametri marini

- livello del mare
- temperatura del mare

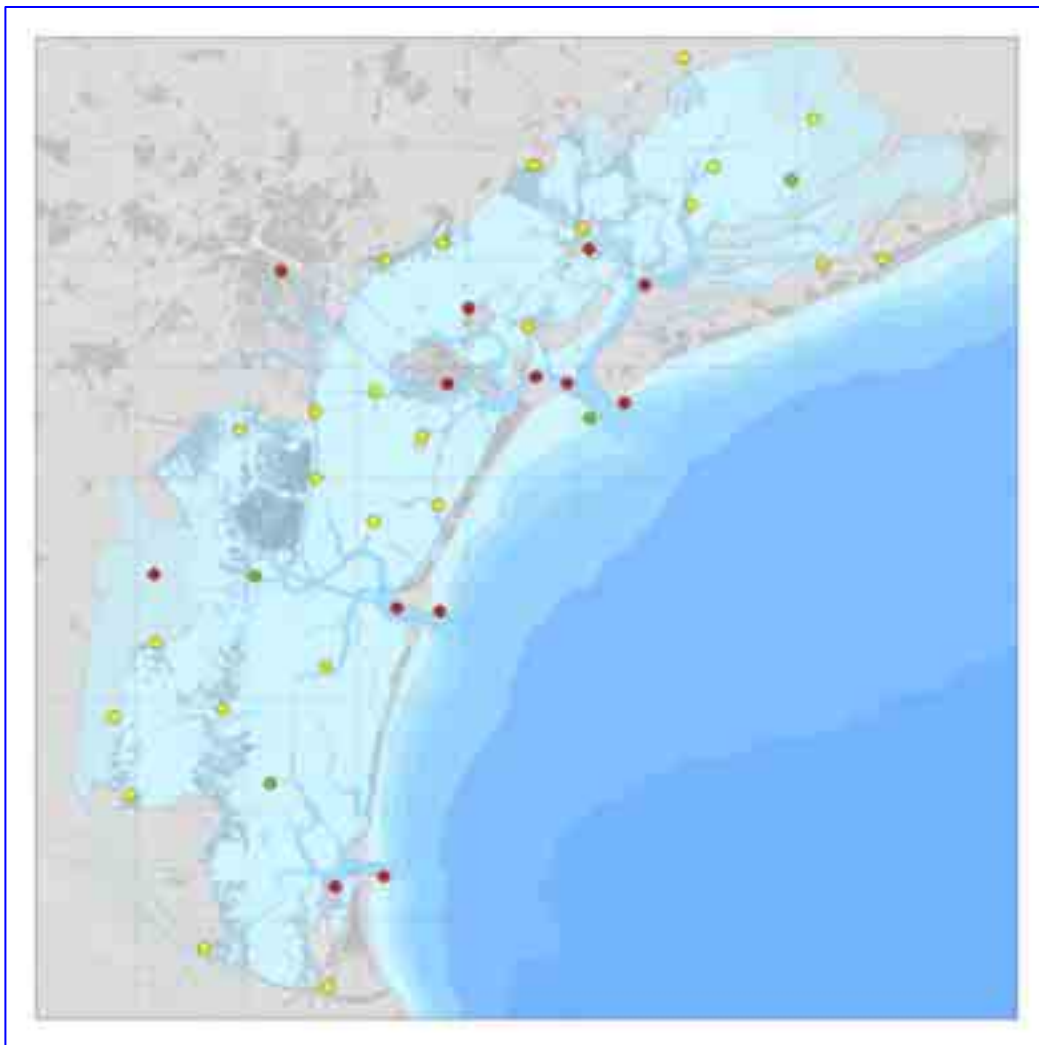
### Parametri meteorologici

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



## LE MISURE

### 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

## I DATI DI MAREA

### Dati osservati:

Livello medio del mare + effetti di breve periodo + effetti di lungo periodo

#### EFFETTI DI BREVE PERIODO

- marea astronomica
- effetti meteorologici (vento e pressione atmosferica, wave set up)

#### EFFETTI DI LUNGO PERIODO

- cambiamento di volume degli oceani (scioglimento o espansione dei ghiacciai ecc.)
- variazione della capacità di contenimento dei bacini oceanici (per sollevamento o subsidenza della costa ecc.)

Il livello del mare è in ogni punto, una complicata funzione del tempo, caratterizzata dalla presenza di una componente periodica (astronomica) e di una componente “random” (meteorologica)



## 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  $\phi_j$  devono essere scelti**

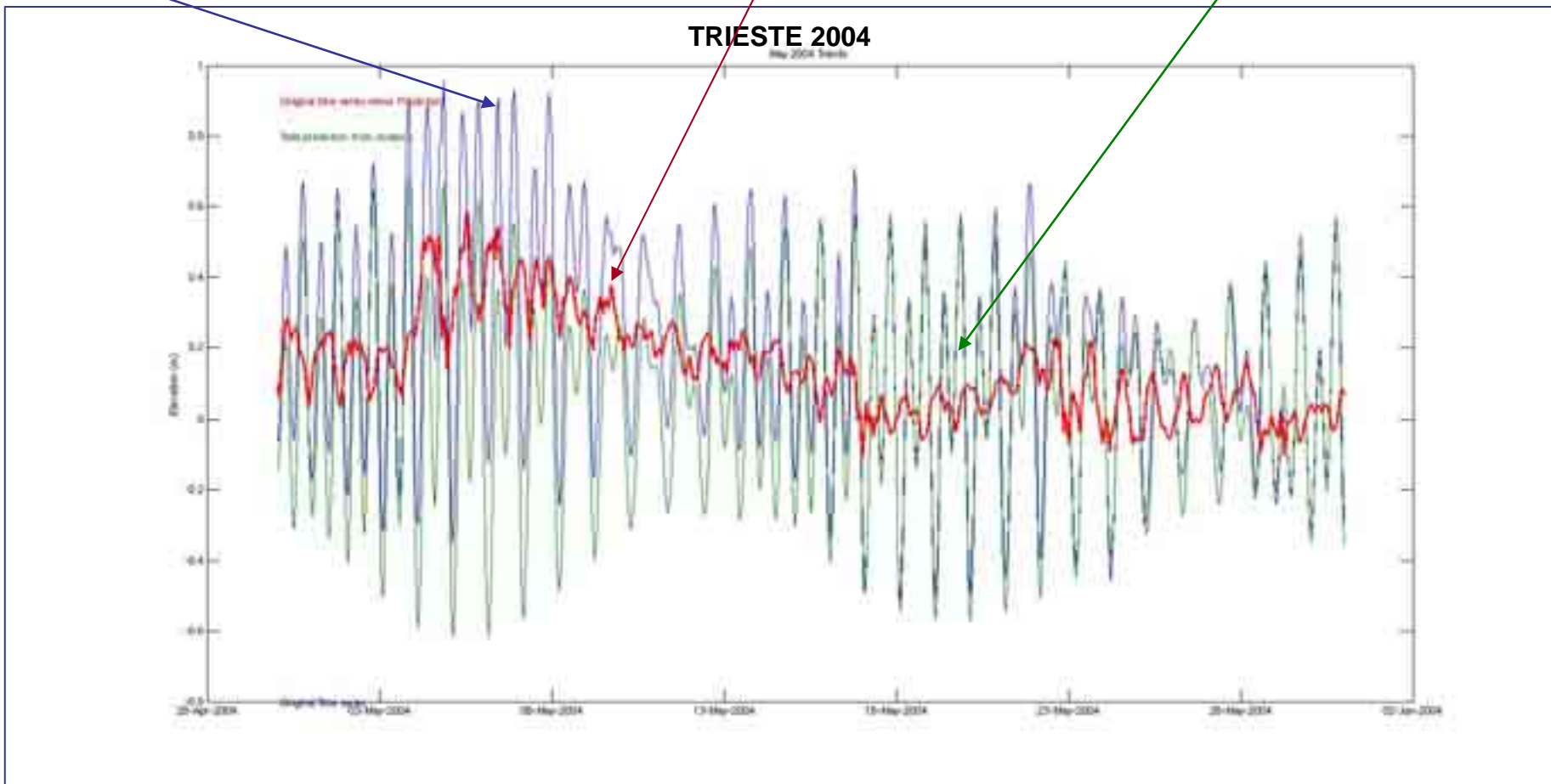
così che il valore,  $y(t_i)$ , della funzione fit all'istante  $t_i$ , aderisca il più possibile al valore osservato  $y_i$

# ANALISI DEI DATI DI MAREA

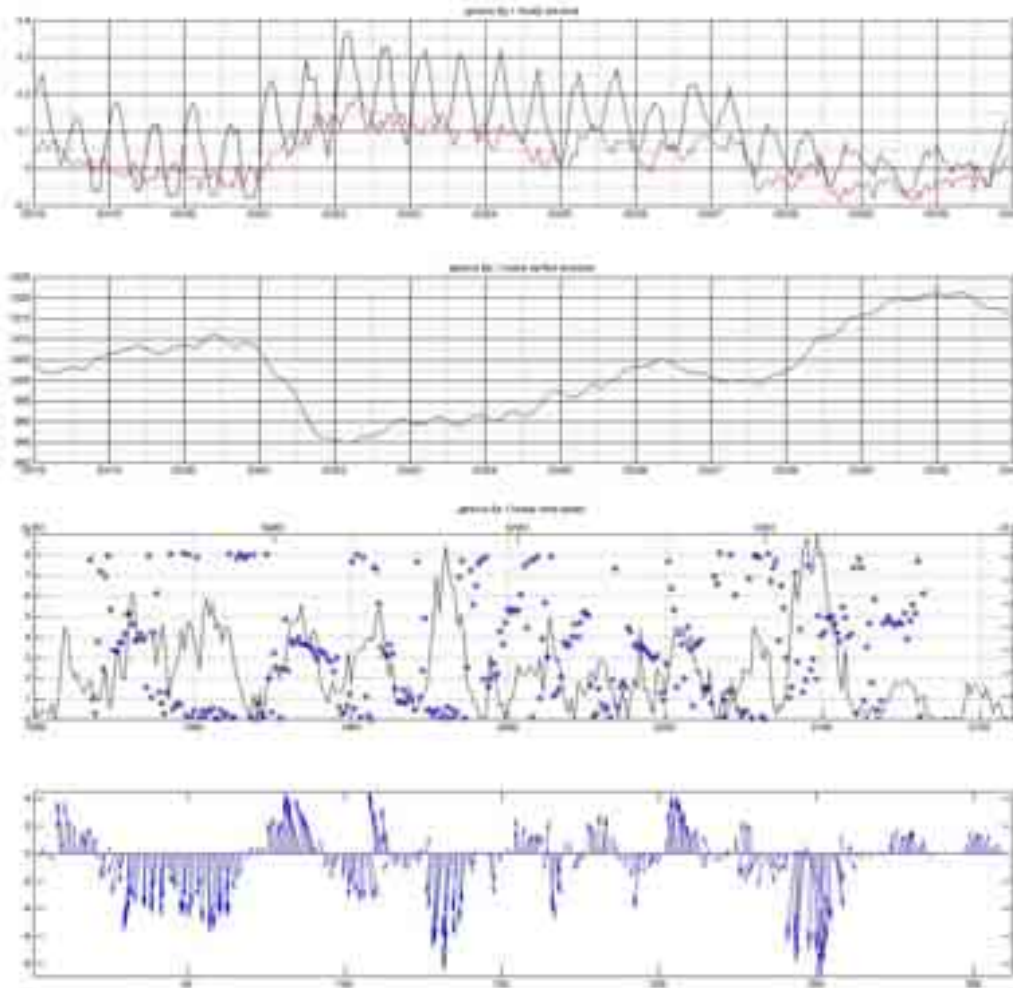
Dati osservati

Residui

Predizione marea astronomica

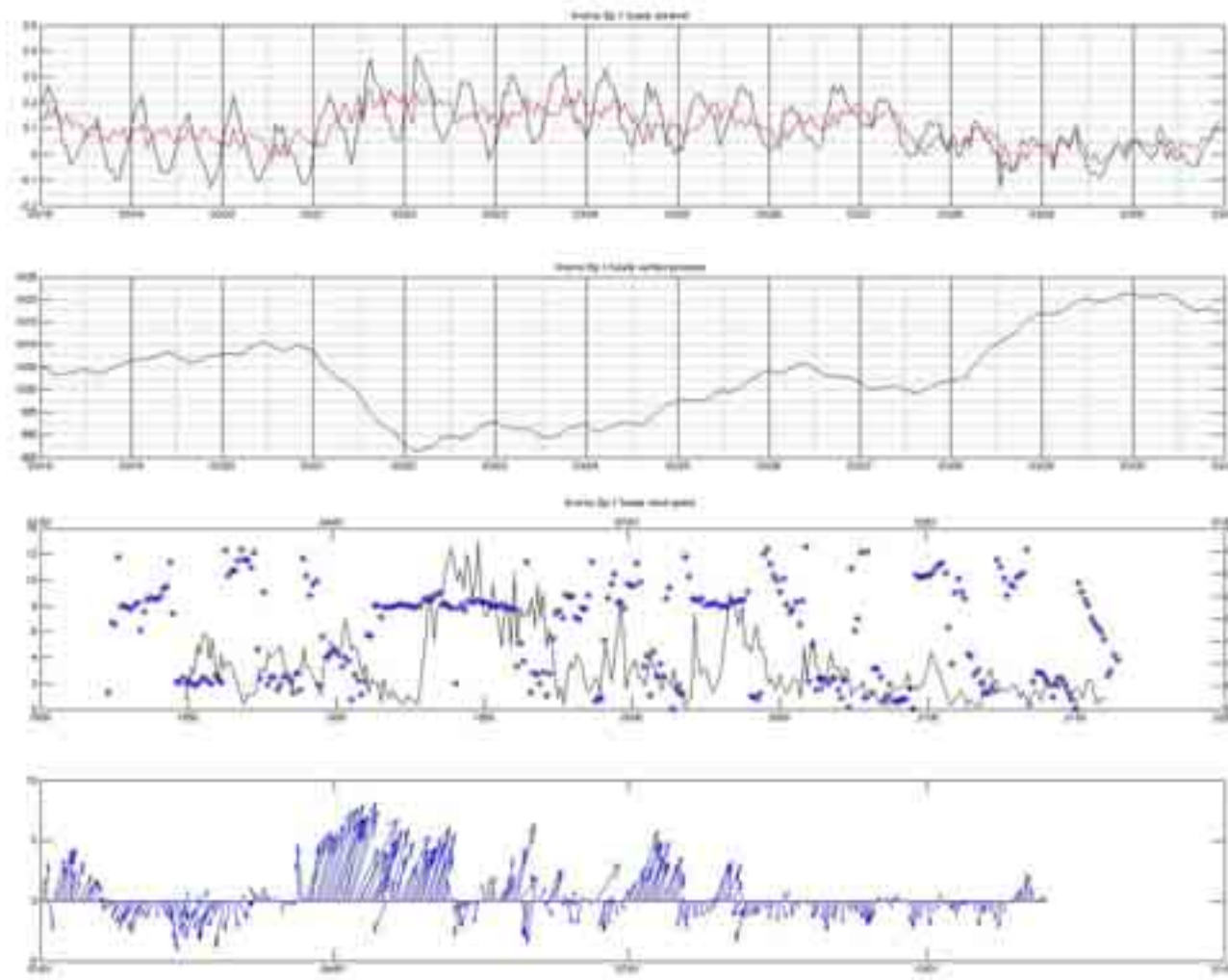


## EVOLUZIONE DELLA MAREGGIATA



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

## EVOLUZIONE DELLA MAREGGIATA

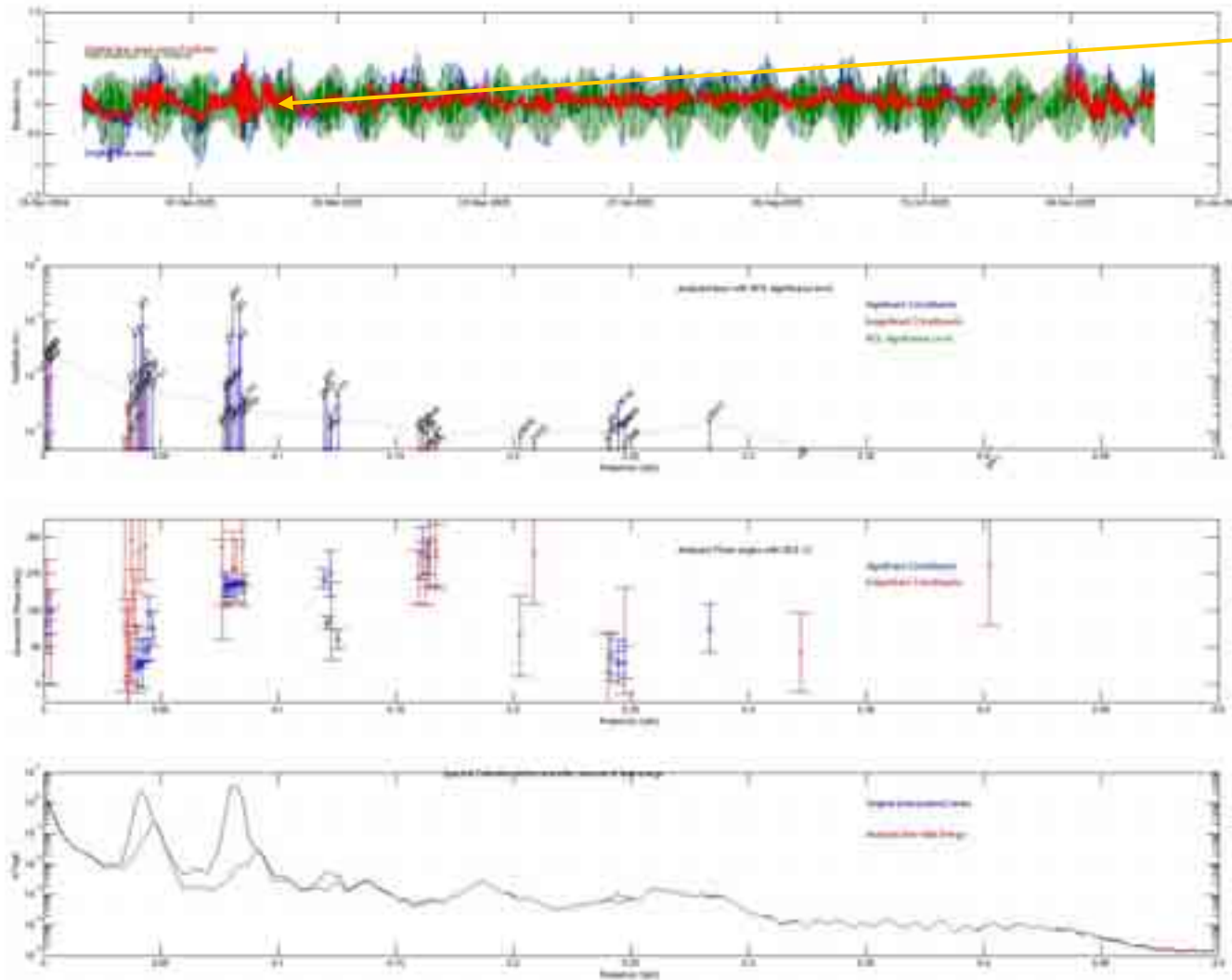


**Analisi del livello e dei residui per la stazione di Livorno**

# HINDCASTING: sessa

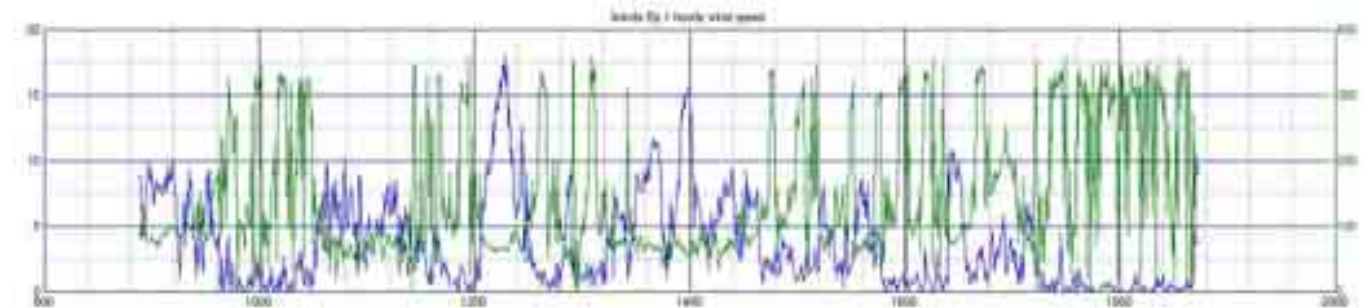
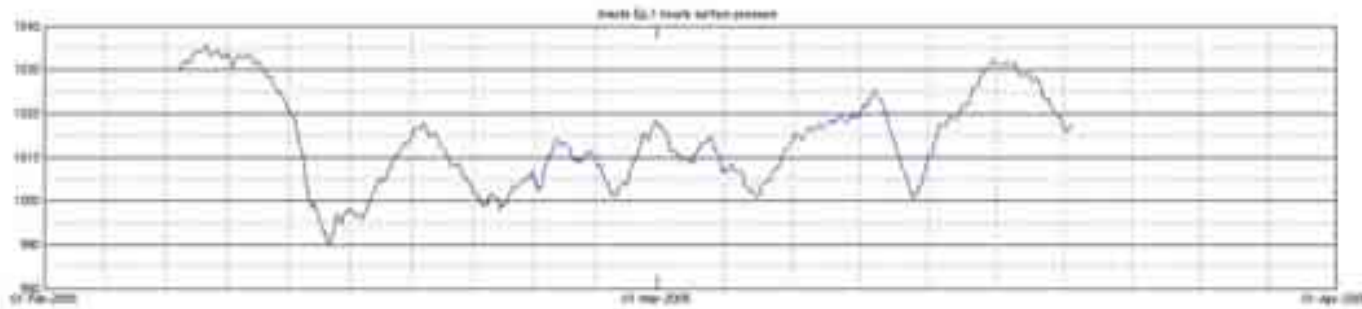
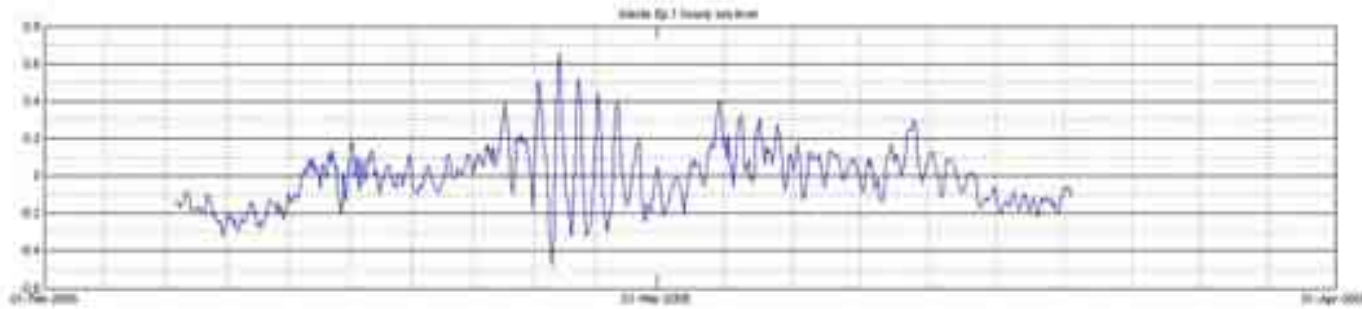
TRIESTE 2005

Sessa



# HINDCASTING: sessa

TRIESTE 2005



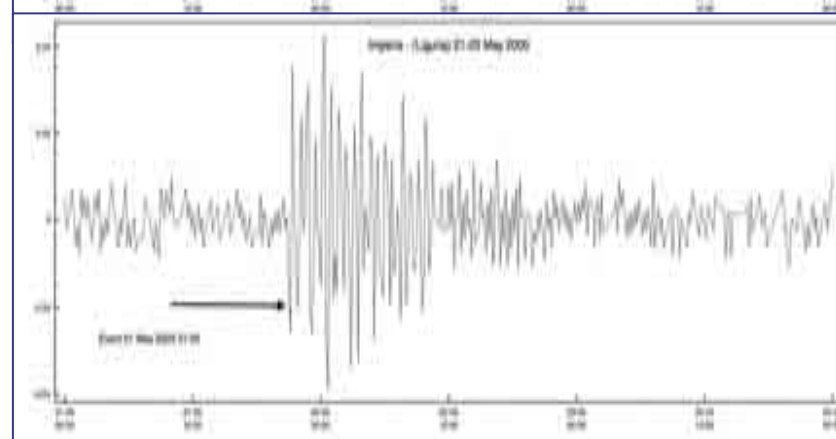
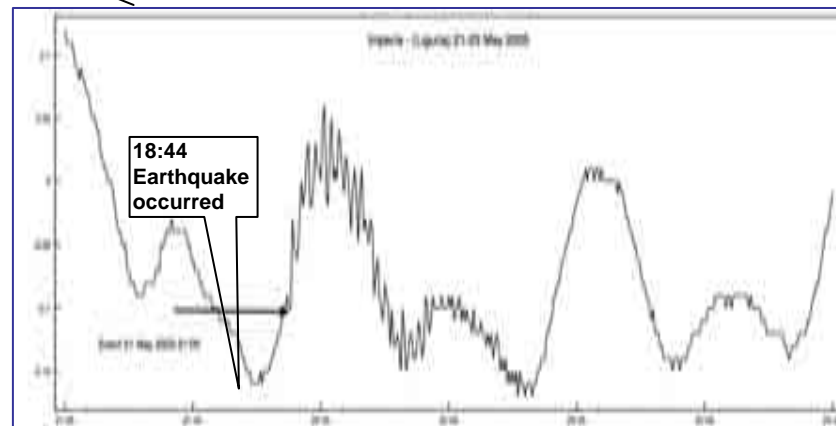
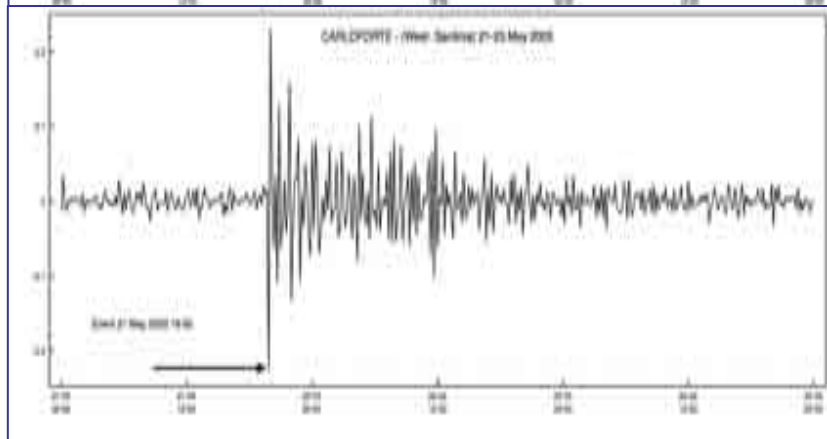
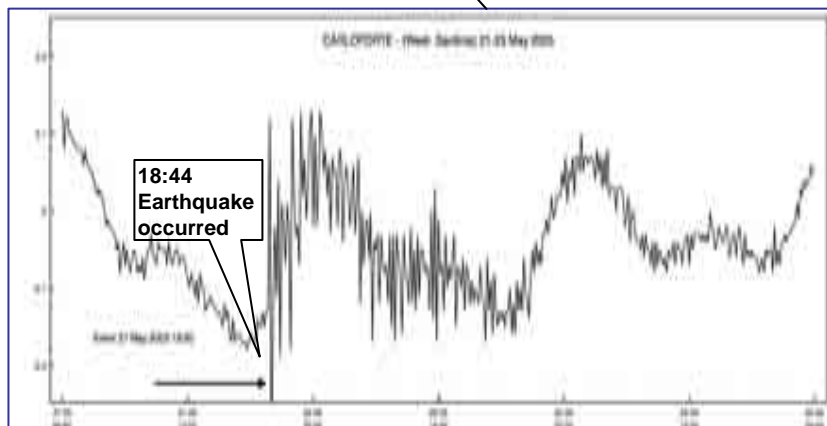
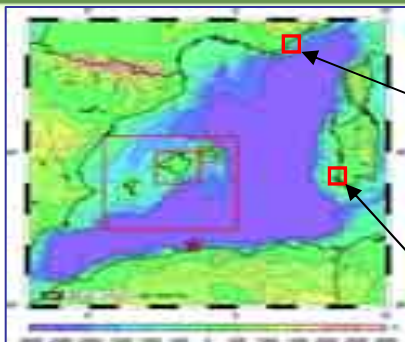
Sea Lev.

Pres.

Wind

## 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

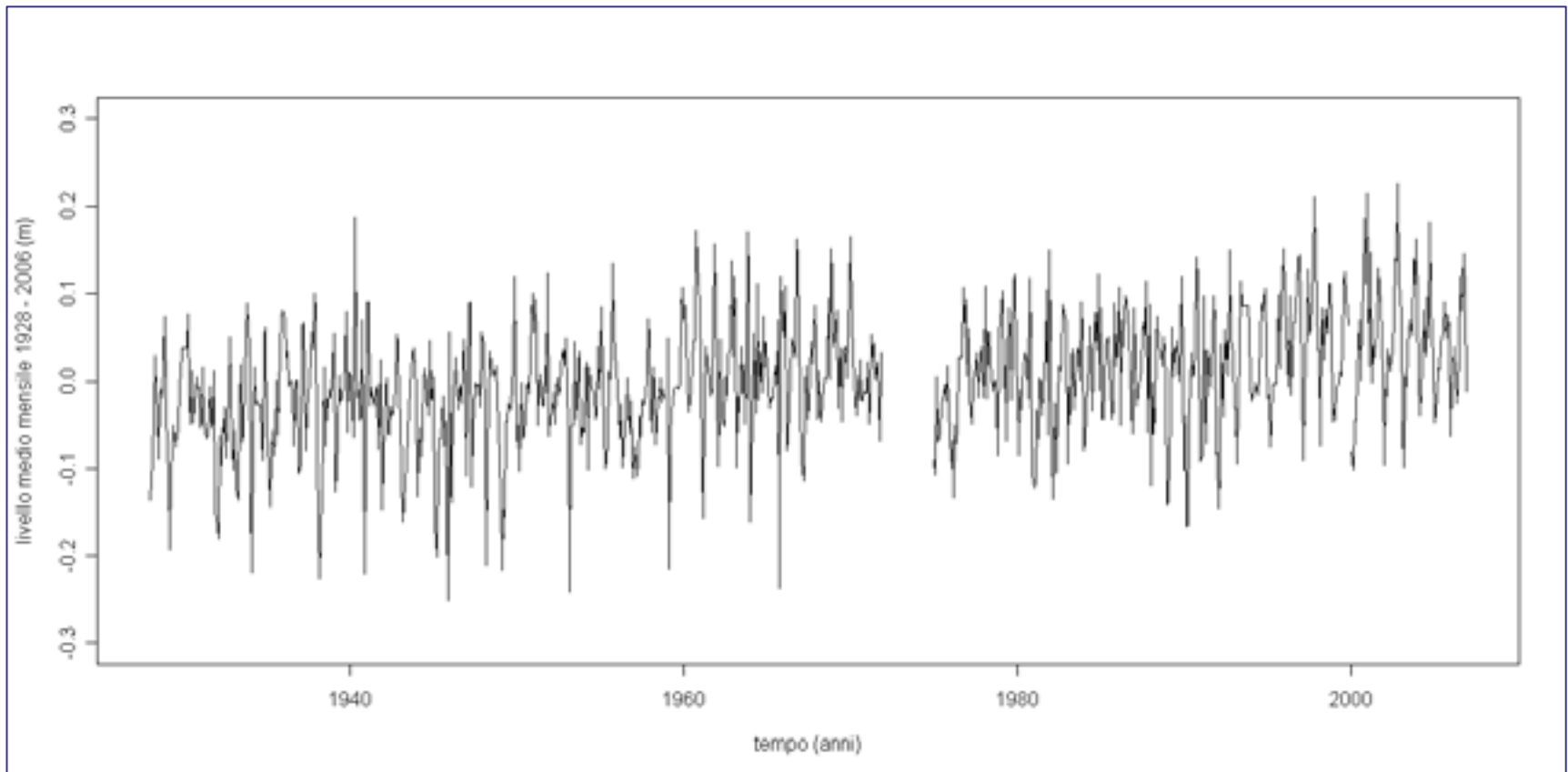
Arrival times for the 21th of may2003 event



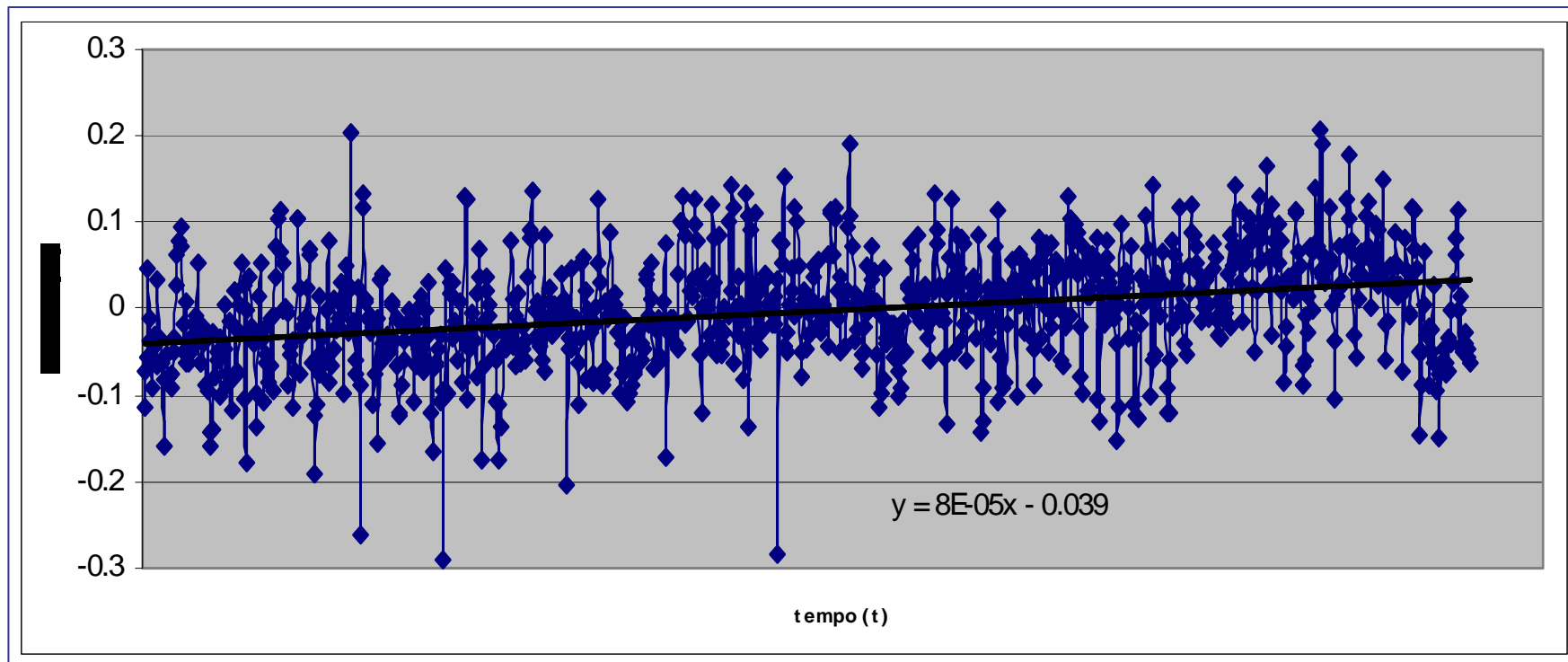


## ANALISI DEI DATI DI MAREA: trend evolutivo

Genova, 1928 – 2006 medie mensili



## ANALISI DEI DATI DI MAREA: trend evolutivo

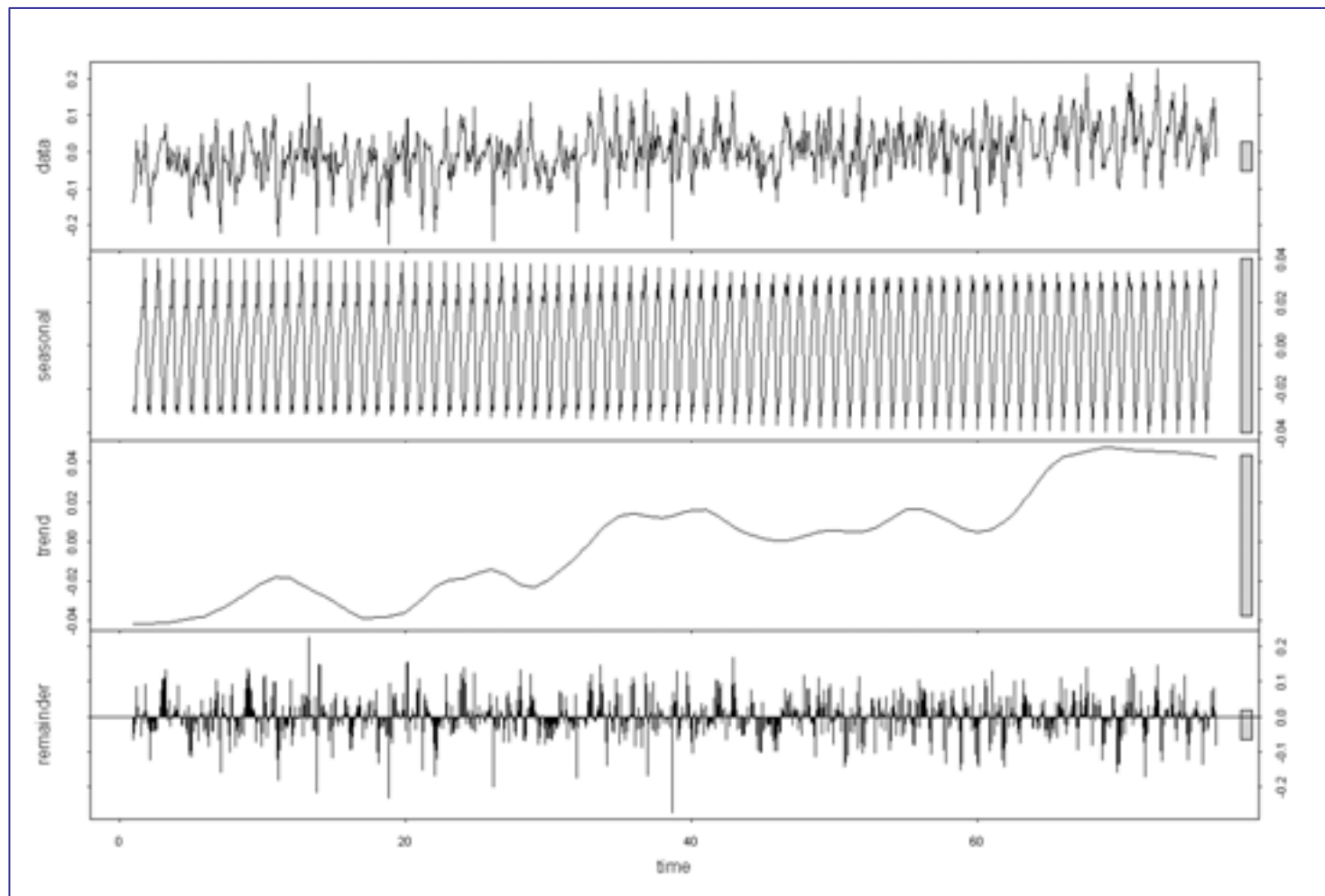


$$y = 7.69502E-5x - 0.03896 \text{ (m)}$$

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

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

## ANALISI DEI DATI DI MAREA: trend evolutivo



IL MODELLO  
STL  
(dati mensili)