

Inondazione costiera: modelli di previsione di storm surge

Debora Bellafiore

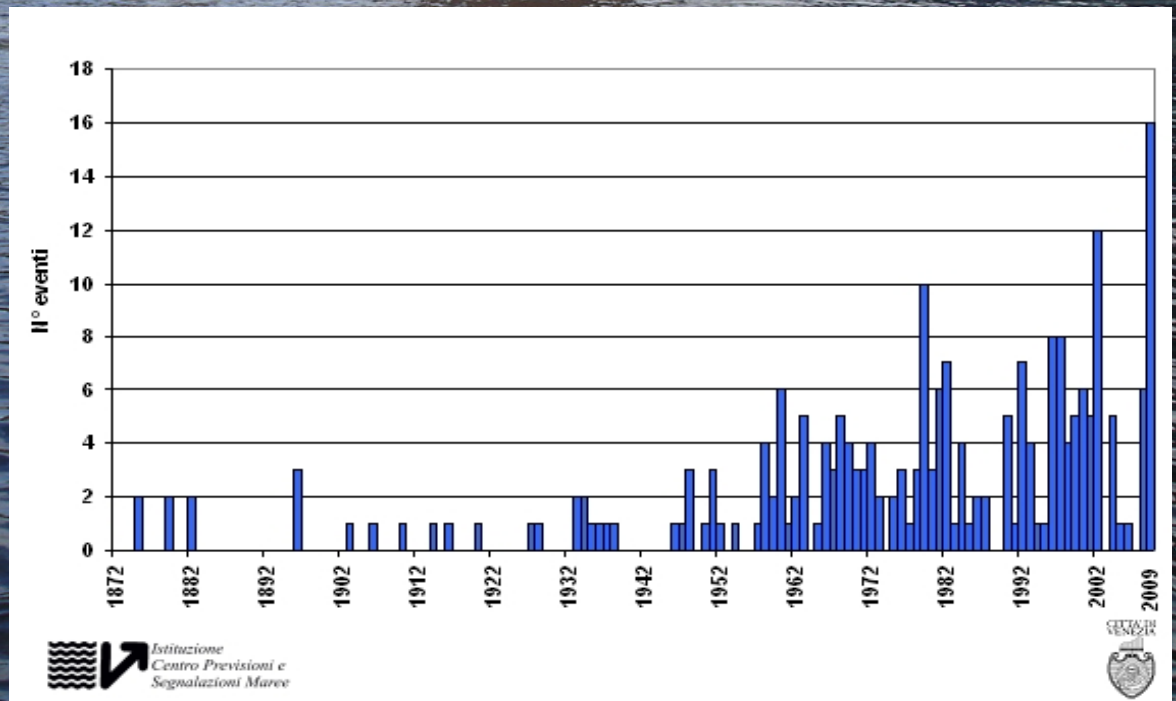
Istituto di Scienze Marine, ISMAR-CNR, Venezia

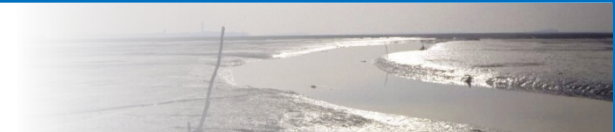




Frequenza annuale di eventi di alluvione nella città di Venezia

casi con livelli misurati
>1.10 m rispetto a medio
mare dal 1872 al 2009)





Acqua Alta a Venezia

Livello	superficie della città allagata
190 cm	100%
140 cm	90%
130 cm	69%
120 cm	35%
110 cm	12%
100 cm	4%

(livelli del mare e della città sono riferiti per convenzione al dato di Punta della Salute 1897)

La città non è sopraelevata rispetto al livello medio del mare

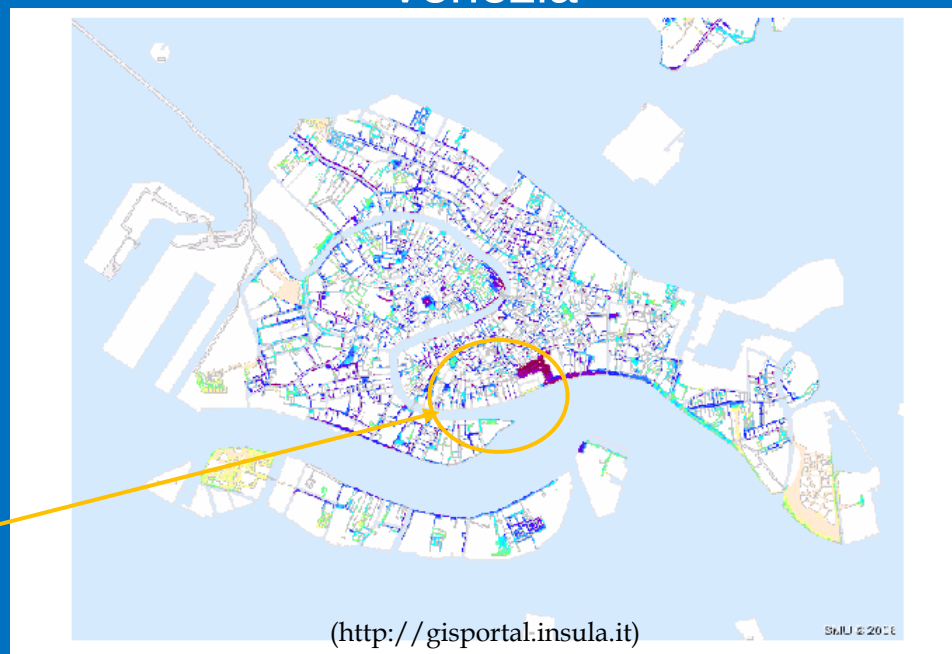


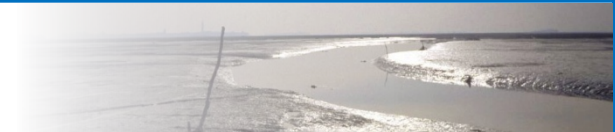
Anche moderati eventi di surge possono produrre l'allagamento della città → Acqua Alta



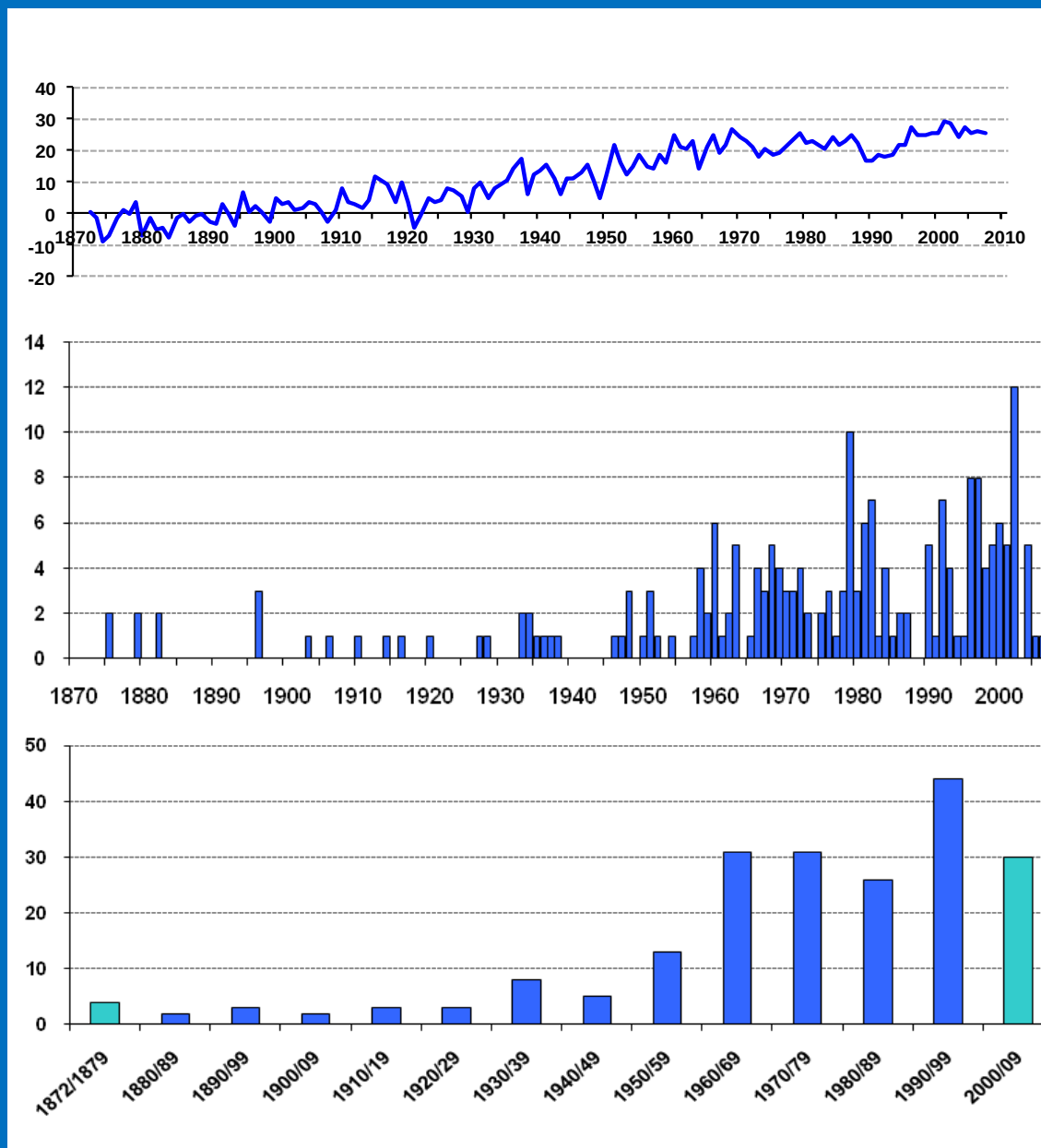
Area con elevazione sotto 90 cm

Venezia





Acqua Alta a Venezia



Medio mare a Venezia

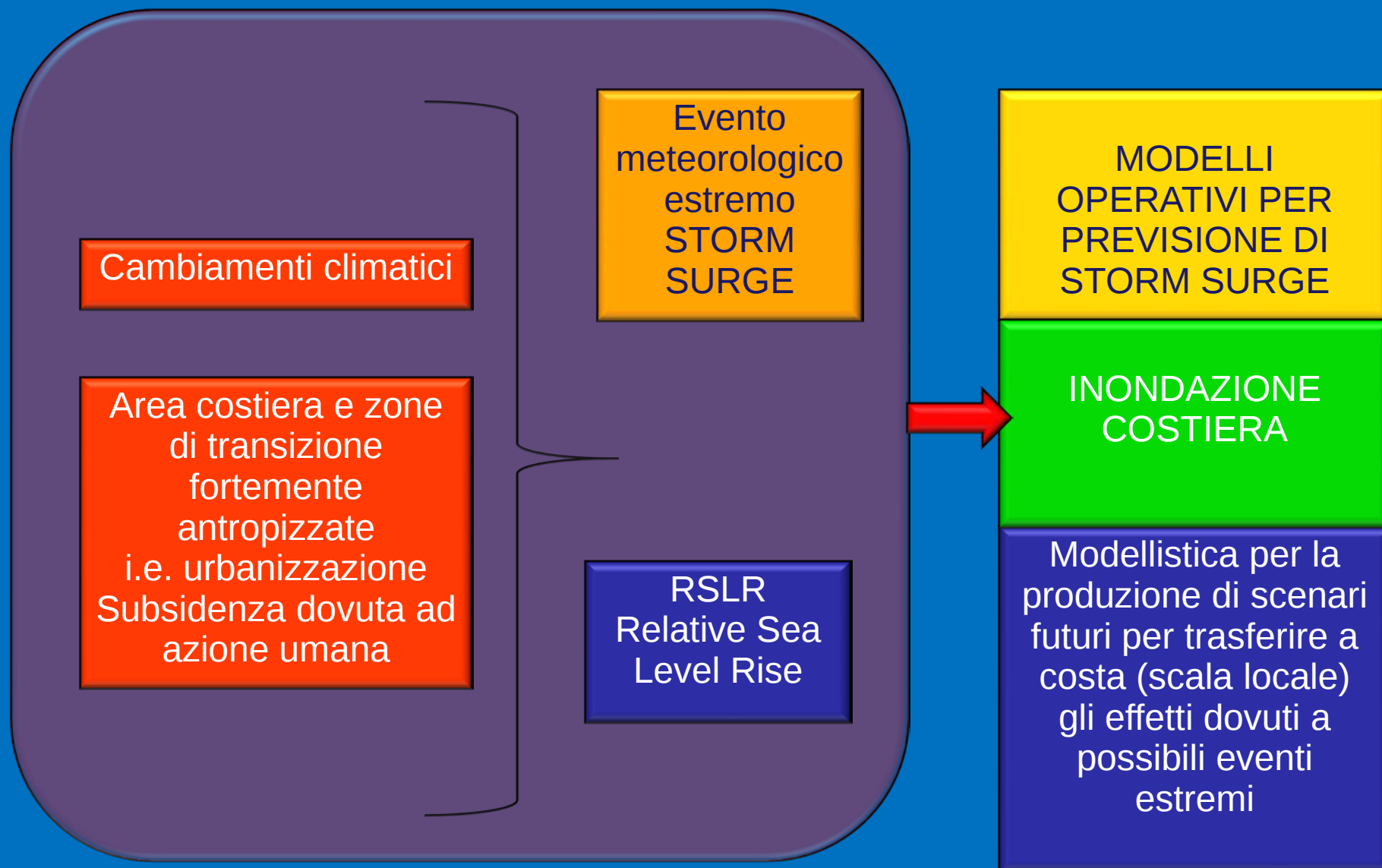
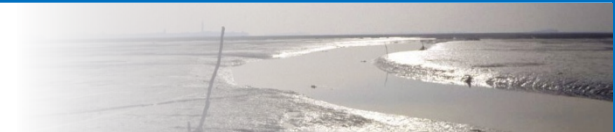
Numero di eventi di acqua
alta, per anno (≥ 110 cm)
1872-2007

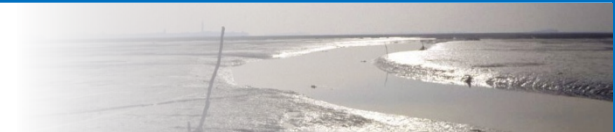
Numero di eventi per decade di
acqua alta (≥ 110 cm)
1872-2007

Dati da
ICPSM- Comune di Venezia

Istituzione
Centro Previsioni e
Segnalazioni Maree







L'attività di modellistica agli elementi finiti di storm surge è condivisa e si è sviluppata grazie a un team proveniente da diverse istituzioni scientifiche

- ✓ ISMAR-CNR, Istituto di Scienze Marine, Venezia.¹
- ✓ IAMC-CNR, Istituto per l'Ambiente Marino Costiero, Oristano²
- ✓ Darmstadt University of Technology, Dep. of Hydraulic Engineering Germany ³
- ✓ ISAC-CNR, Istituto di Scienze dell'Atmosfera e del Clima Bologna⁴
- ✓ GEOECOMAR, National Research and Development Institute for Marine Geology and Geoecology, Bucharest, Romania ⁵



Grazie a Marco Bajo¹, Christian Ferrarin^{1,2}, Georg Umgiesser¹, Andrea Cucco², Aaron Roland³, S. Davolio⁴, A. Buzzi⁴, O. Drofa⁴, Adrian Stanica⁵



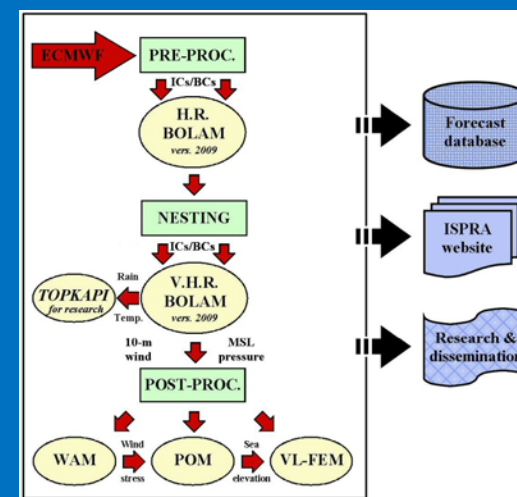
ISPRA - Istituto Superiore per la Ricerca e la Protezione Ambientale



ICPSM - Istituzione Centro Previsioni e Segnalazioni Maree, Venezia

- Comune di Venezia (ICPSM). Molti progetti legati a previsione dello storm surge nella Laguna di Venezia. Assimilazione dati con reti neurali in post processing;
- ISPRA Venezia. Sistema previsione Storm surge con assimilazione dati (dual 4D-Var method) utilizzando 9 mareografi lungo la costa italiana dell'Adriatico;

ISPRA Roma, Sistema previsioni livelli per Laguna di Venezia. Catena di modelli operativi



Esurge Venice project. Studio sulla calibrazione dei campi di vento da scatterometro e su assimilazione dati da altimetro per migliorare la previsione dello storm surge



MODELLI DI PREVISIONE DEI LIVELLI A VENEZIA

Modelli Statistici

Si basano su calibrazioni con serie storiche lunghe

Buoni per previsioni sul breve periodo ma perdono accuratezza dopo circa 24 ore

- modelli di regressione lineare
- Reti neurali

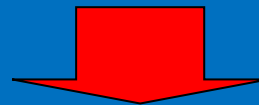
Modelli Numerici

Risolvono le equazioni fondamentali dell'idrodinamica. Deterministici.

Non buoni come i modelli statistici per la previsione sul breve periodo.

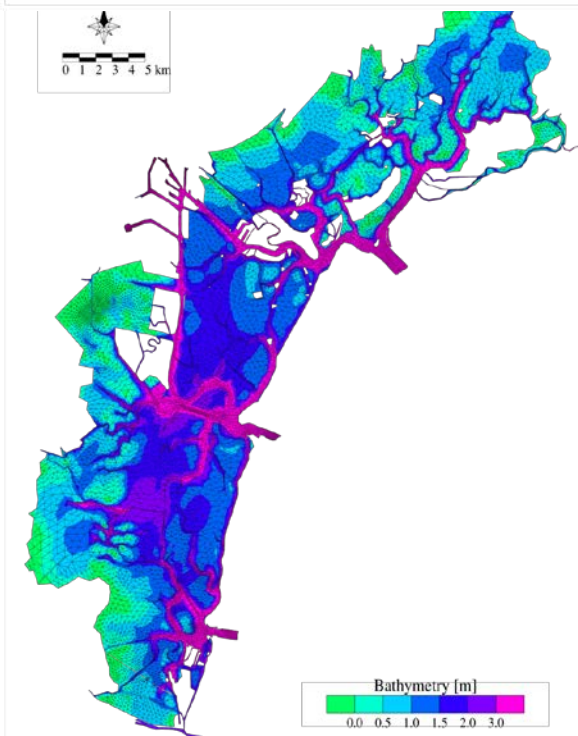
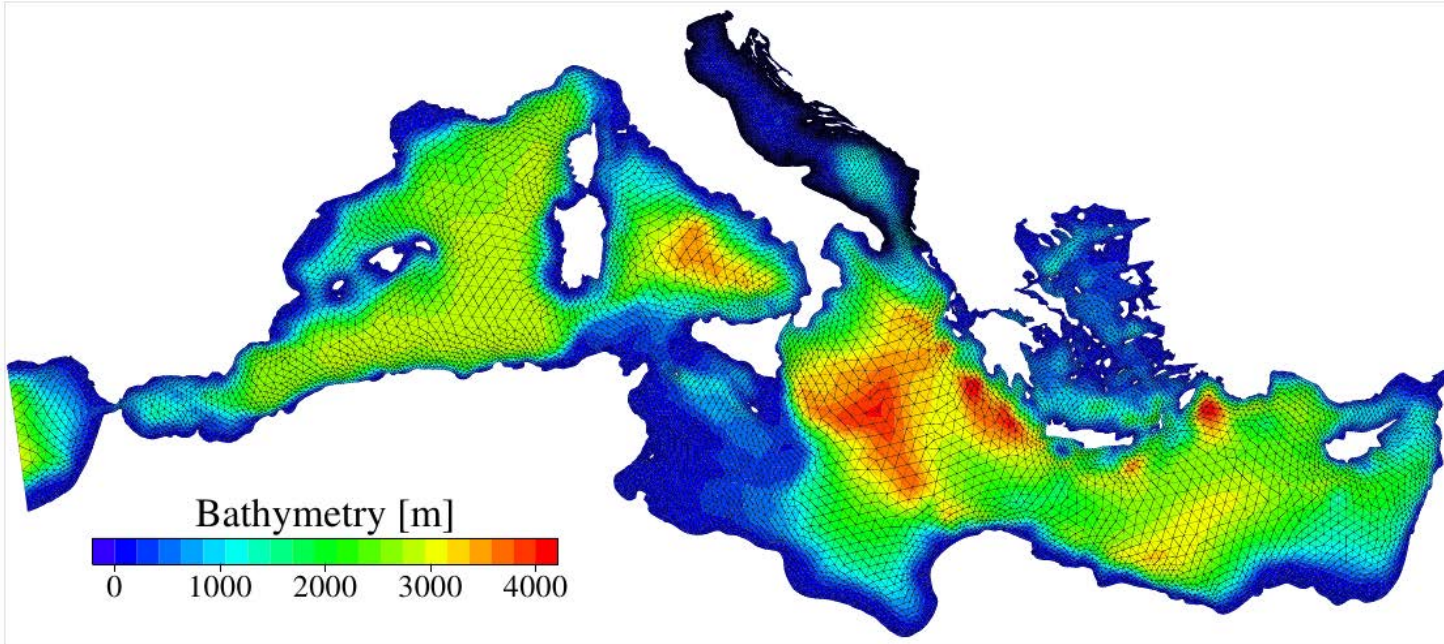
Migliori per previsioni di lungo periodo.

- Differenze Finite
- Elementi Finiti
- ...



Post-processamento

Utilizzo dell'output da modello numerico come input per il modello statistico. Il modello finale è un modello ibrido che migliora la previsione di breve e di lungo periodo.



Forecast con modello SHYFEM 2D, applicazione barotropica in Laguna di Venezia;

Forzata con campi di vento e pressione atmosferica;

2 Simulazioni distinte, una sul Mediterraneo, una, a cascata, sulla Laguna di Venezia

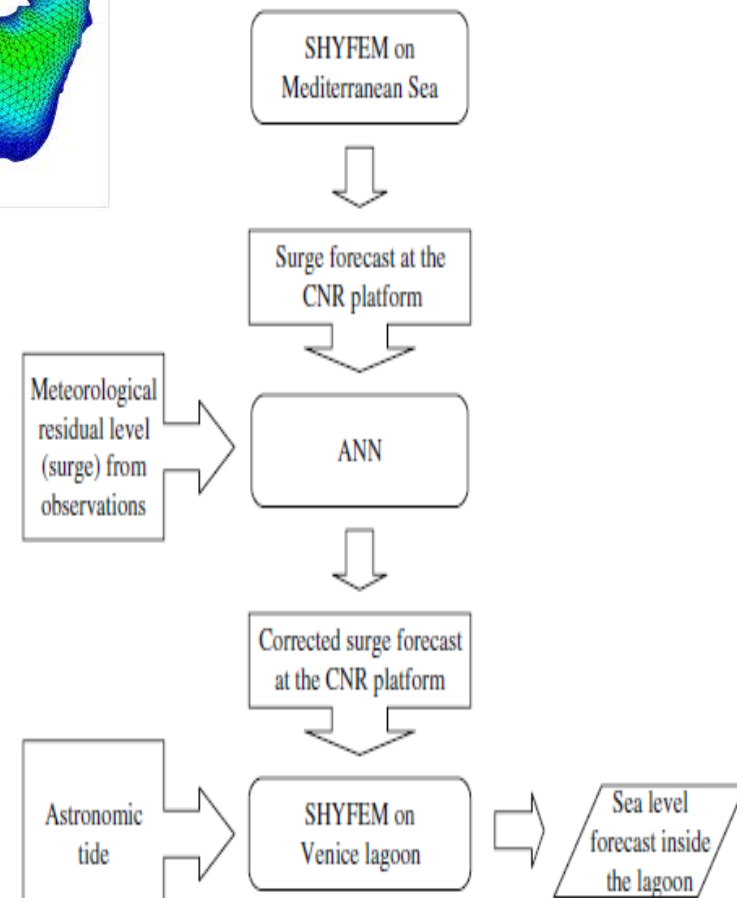


Immagine da Bajo et al, 2010. OM

KASSANDRA

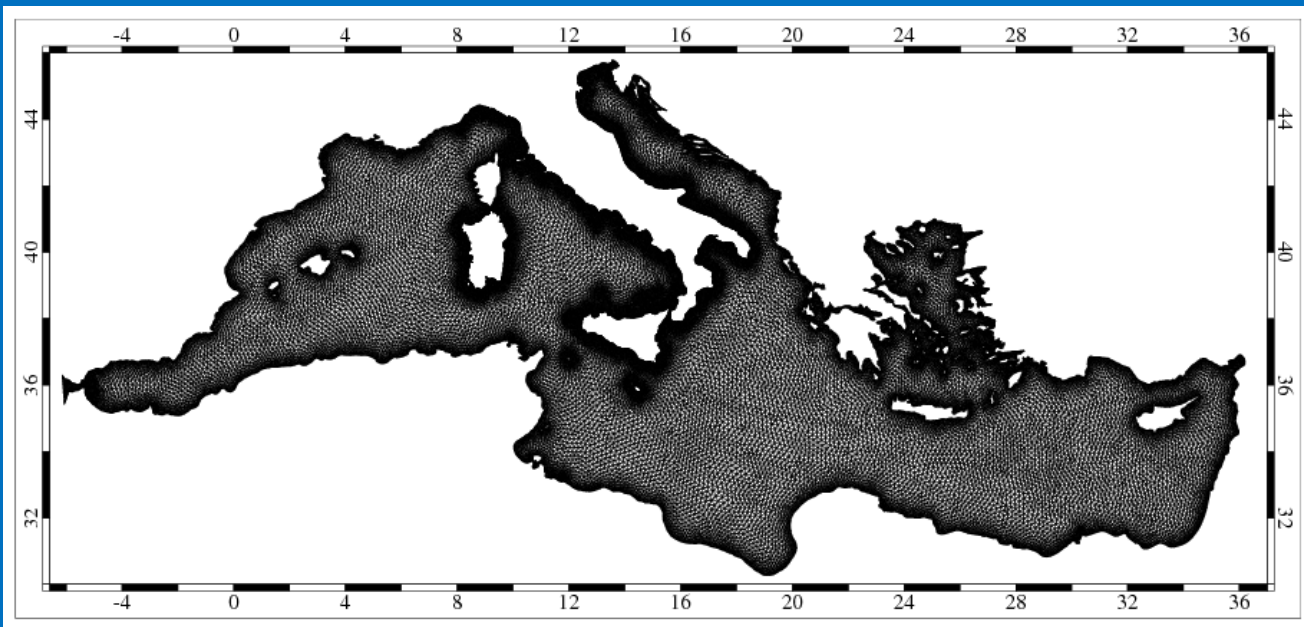
Sistema di previsione marea-surge-onde

Il sistema di simulazione dello storm surge mediterraneo KASSANDRA si basa su un modello idrodinamico agli elementi finiti (**SHYFEM**), che include un modello mareale, un modello spettrale d'onde agli elementi finiti (**WWMII**), completamente accoppiato al modello idrodinamico. I dati di input superficiale (vento e pressione) sono ottenuti dalla catena previsionale di modelli atmosferici implementata a **ISAC-CNR**.

KASSANDRA FRAMEWORK



<http://www.ismar.cnr.it/kassandra>



Mar Mediterraneo

143,286 elementi
16 livelli verticali

Risoluzione:

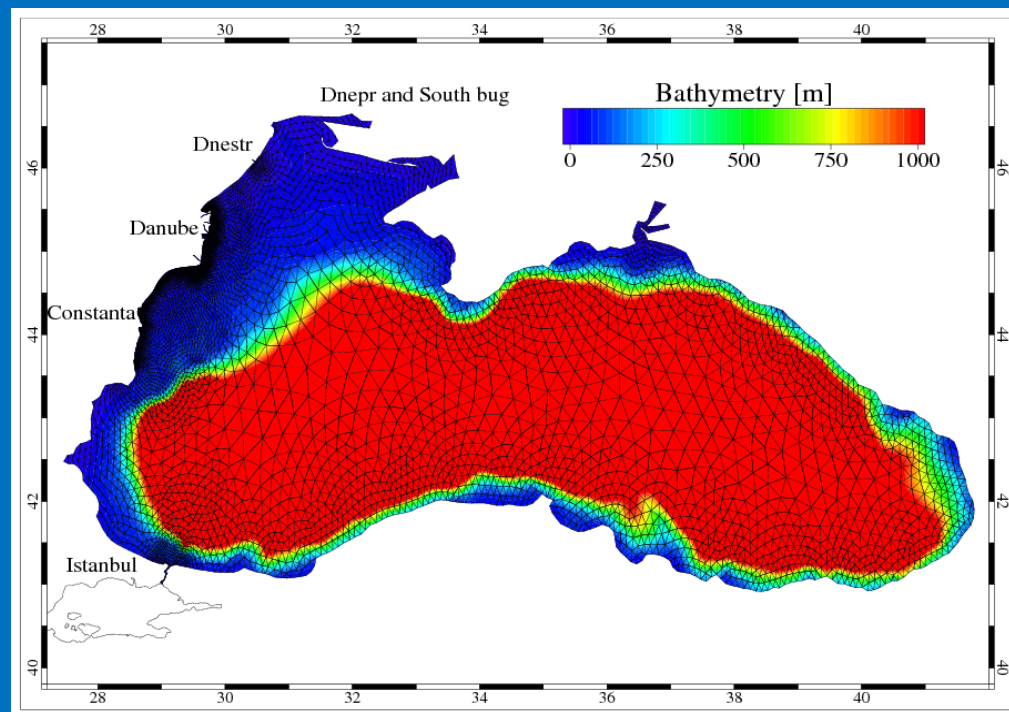
- Mare aperto 15-20 km
- Costa 5 km
- Costa italiana 1 km

Mar Nero

21,000 elementi
27 livelli verticali

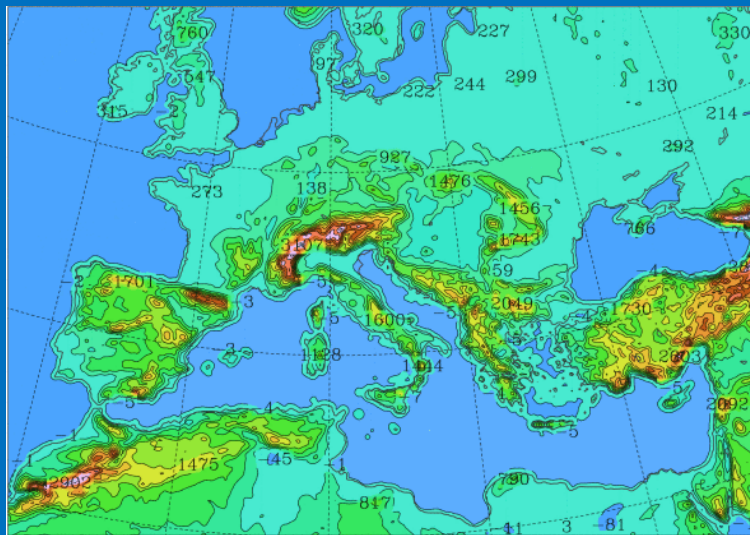
Risoluzione:

- Mare aperto 40 km
- Costa 5 km
- Costa rumena 0.5 km

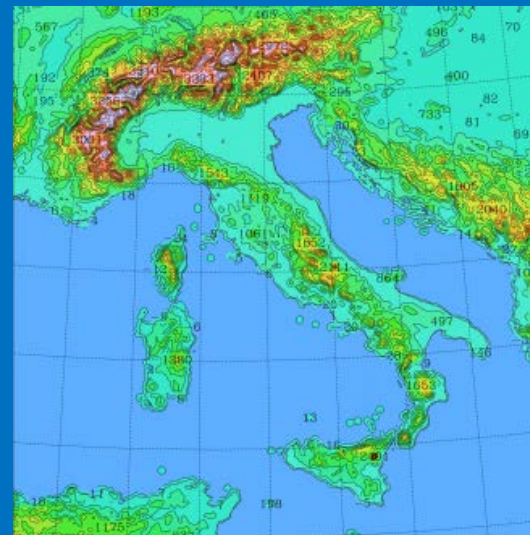


Catena di modelli atmosferici

Presso ISAC-CNR una catena previsionale di modelli atmosferici è stata implementata, in collaborazione con il Dipartimento di Protezione Civile italiano. Forecasts alla mesoscala ad alta risoluzione sono forniti fino a 48 ore sull'area italiana. La catena modellistica comprende il modello idrostatico BOLAM e il modello non idrostatico MOLOCH, innestato in BOLAM. Le condizioni iniziali e al boundary sono ottenute da analisi (00 UTC) e forecasts del modello globale GFS - NCEP (USA).



BOLAM, idrostatico,
Passo spaziale di 0.10 deg in coordinate
rotate (circa 11 km), con 40 livelli e
parametrizzazione della moist convection.



MOLOCH, non idrostatico, passo spaziale
di 0.021 deg, corrispondente a 2.3 km, con
50 livelli.

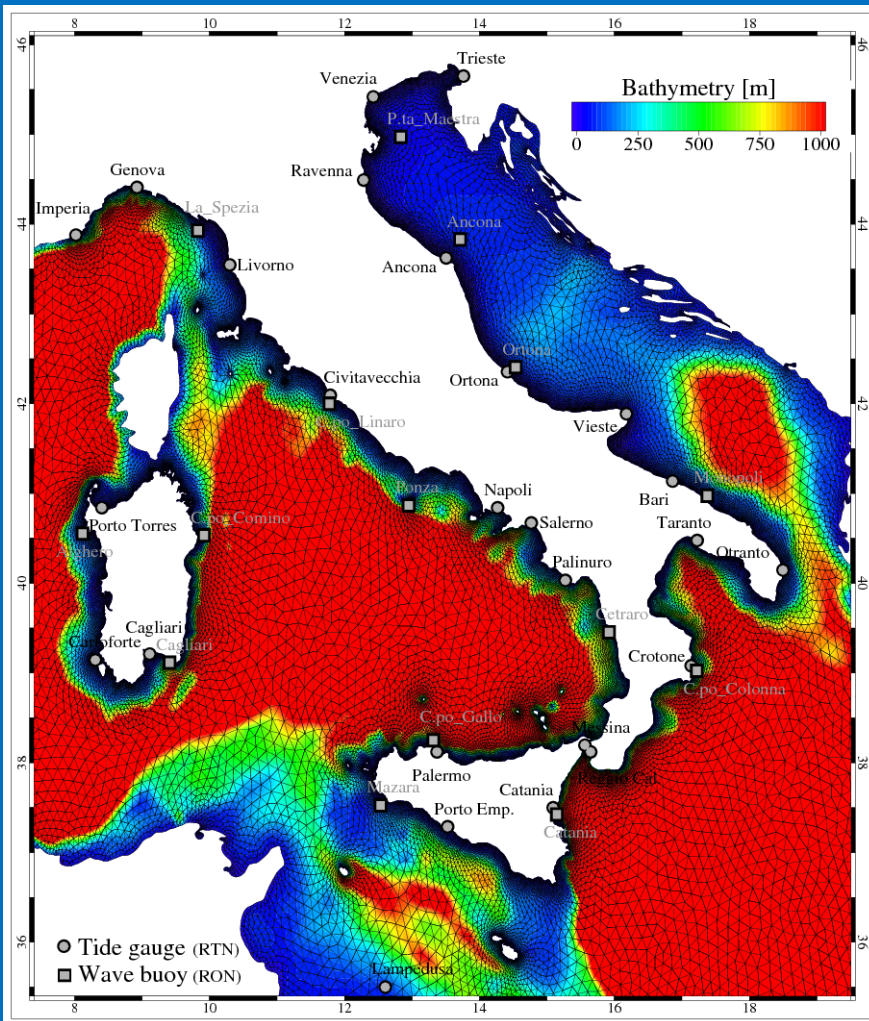


Modello SHYFEM

www.ismar.cnr.it/shyfem

3D Hydrodynamic Finite Element Model

Gli elementi finiti permettono di riprodurre la complessità morfologica delle aree costiere e degli ambienti di transizione, nonché la batimetria (canali, barene etc.) con risoluzione variabile (<10m nella Laguna di Venezia)





Modello SHYFEM

3D Hydrodynamic Finite Element Model

$$\frac{\partial U}{\partial t} + u \frac{\partial U}{\partial x} + v \frac{\partial U}{\partial y} - fV = -gH \frac{\partial \zeta}{\partial x} - \frac{H}{\rho} \frac{\partial p_a}{\partial x} - \frac{1}{\rho} \tau_x^b + \frac{1}{\rho} \tau_x^s + A_h \left(\frac{\partial^2 U}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 U}{\partial y^2} \right) + \frac{F_x}{\rho H} + gH\alpha \frac{\partial \eta}{\partial x} - gH\beta \frac{\partial \zeta}{\partial x}$$

$$\frac{\partial V}{\partial t} + u \frac{\partial V}{\partial x} + v \frac{\partial V}{\partial y} + fU = -gH \frac{\partial \zeta}{\partial y} - \frac{H}{\rho} \frac{\partial p_a}{\partial y} - \frac{1}{\rho} \tau_y^b + \frac{1}{\rho} \tau_y^s + A_h \left(\frac{\partial^2 V}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 V}{\partial y^2} \right) + \frac{F_y}{\rho H} + gH\alpha \frac{\partial \eta}{\partial y} - gH\beta \frac{\partial \zeta}{\partial y}$$

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} + \frac{\partial U}{\partial x} + \frac{\partial V}{\partial y} = 0$$

Pressure
gradient

Bottom
stress

Wind
stress

Wave
Radiation
stress

Potential
tide

Loading
tide

$$\tau^b = \rho c_b |u| \frac{\sqrt{u^2 + v^2}}{H}$$

$$c_b = \frac{g}{C^2} \quad C = k_s H^{1/6}$$

$$\tau^s = \rho_a C_d |u_w|^2$$

$$C_d = (0.63 + 0.066 u_w) 10^{-3} \rightarrow \text{Smith \& Banke}$$

$$\tau^s \Rightarrow z_0 = \frac{u_*^2}{g} \rightarrow \text{Charnock}$$

ζ = water level
 H = water depth
 g = gravity
 f = Coriolis parameter
 U, V = velocities
 A_h = hor. diff. coeff.
 p_a = atm. pressure
 η = equilibrium tide
 α = Love number
 β = loading factor

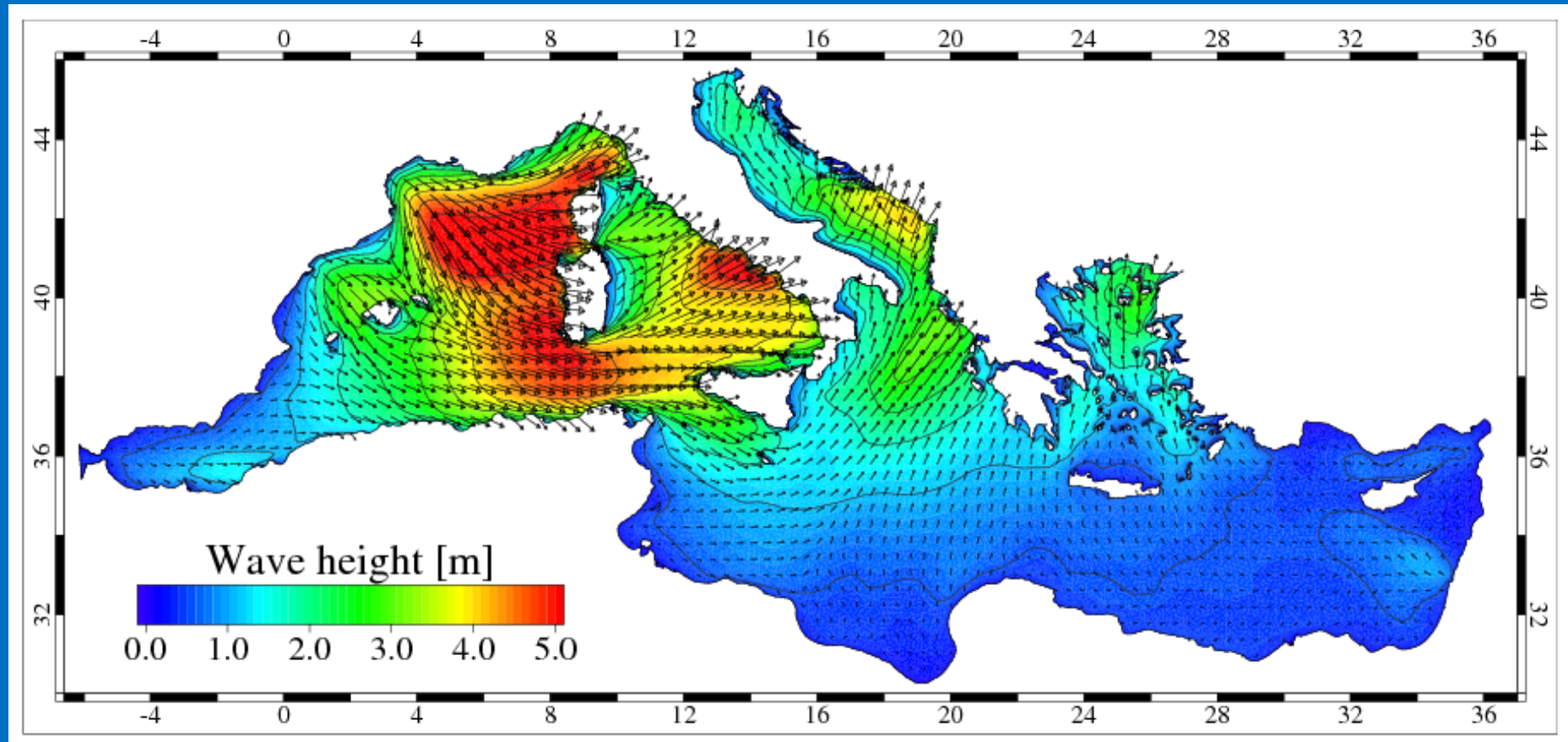


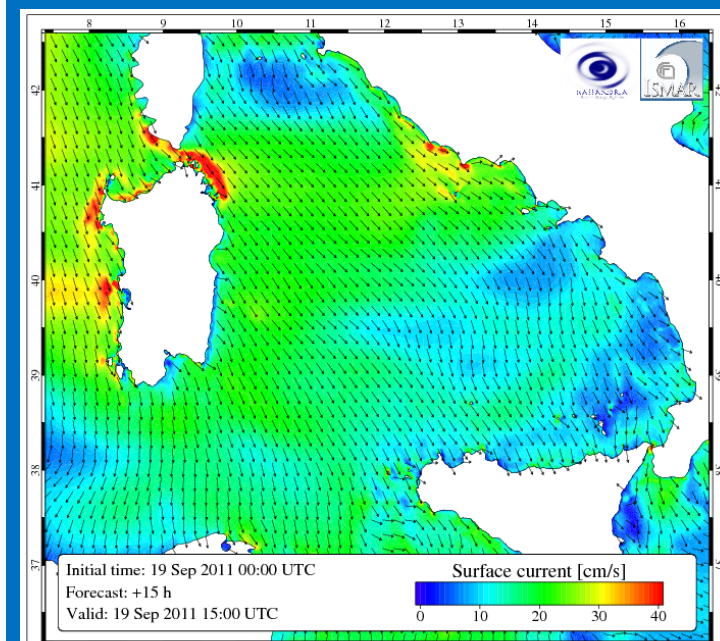
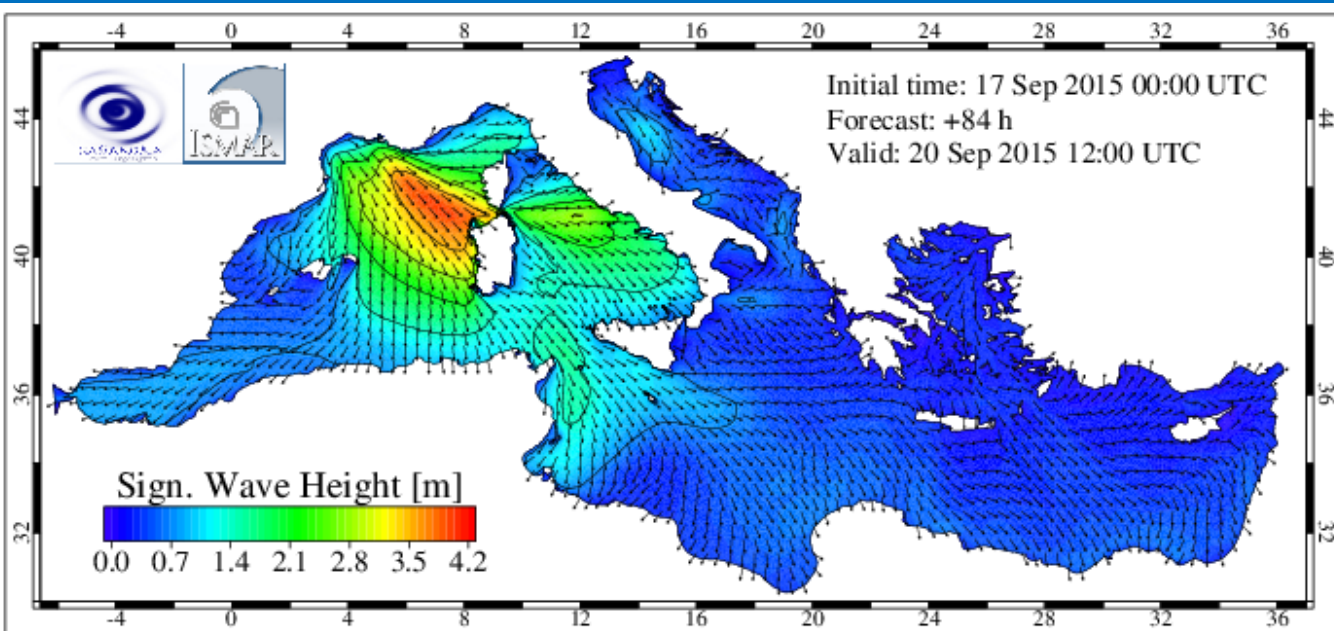
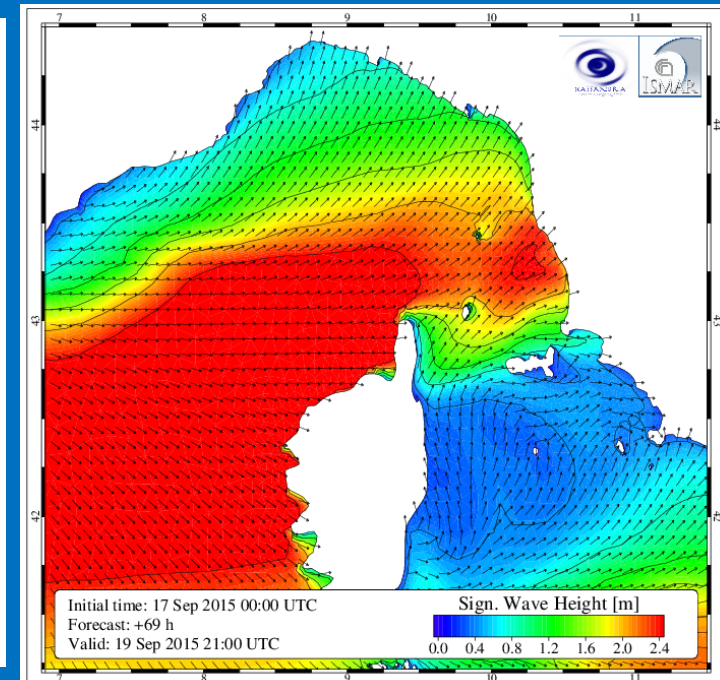
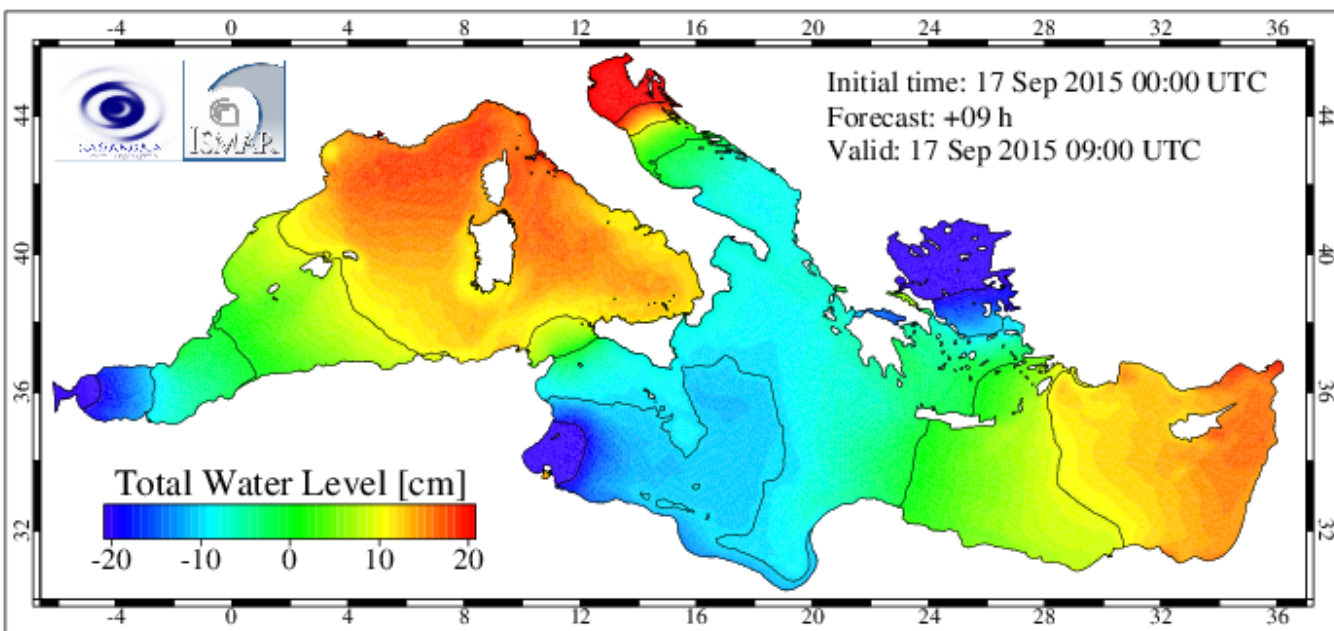
Modello Spettrale d'Onde agli Elementi Finiti WWMII

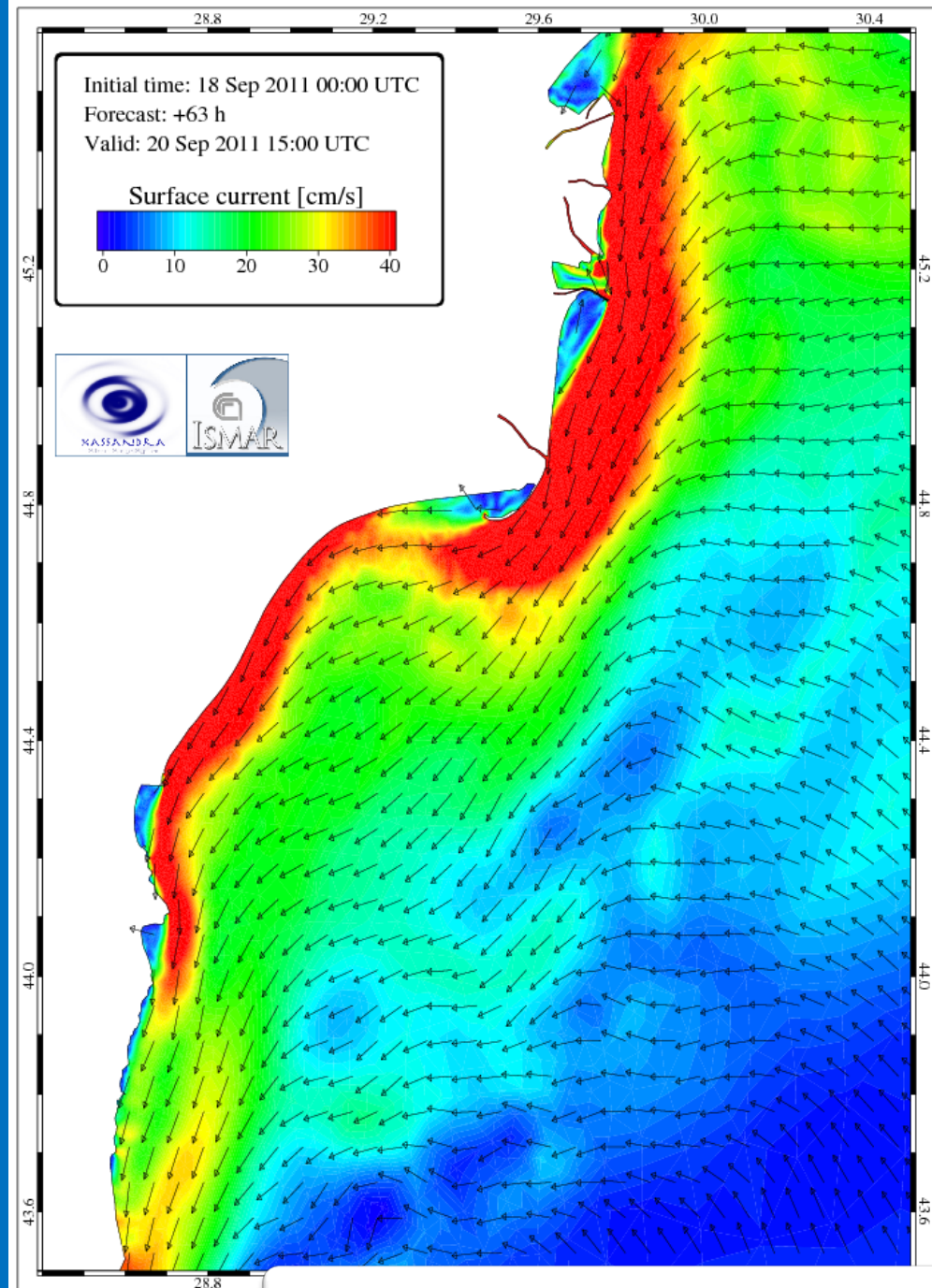
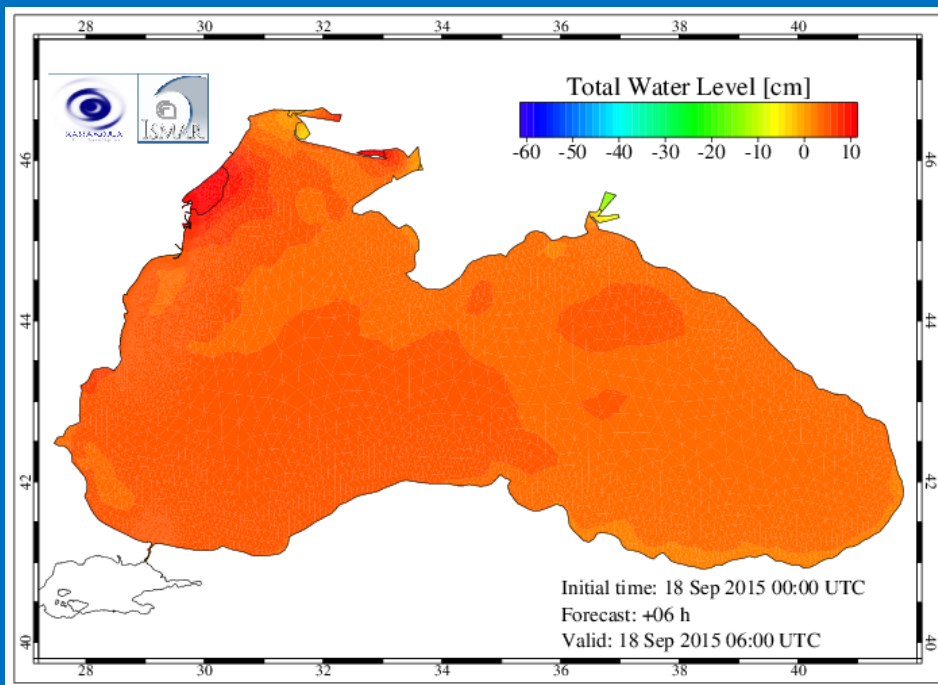
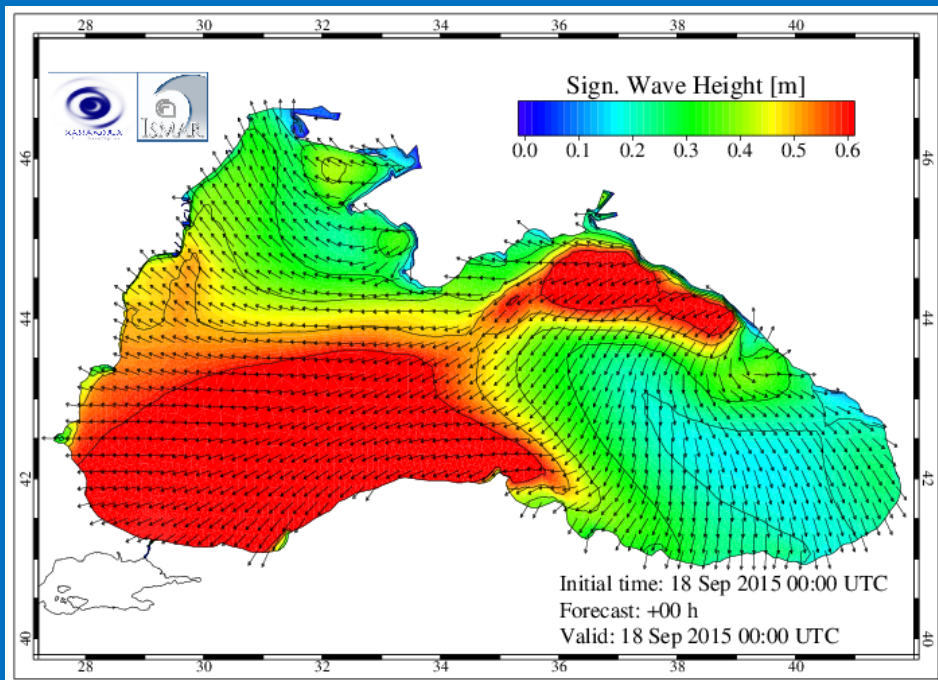
Modello d'onde agli elementi finiti che si basa su spectral action balance equation (Hsu et al. 2005):

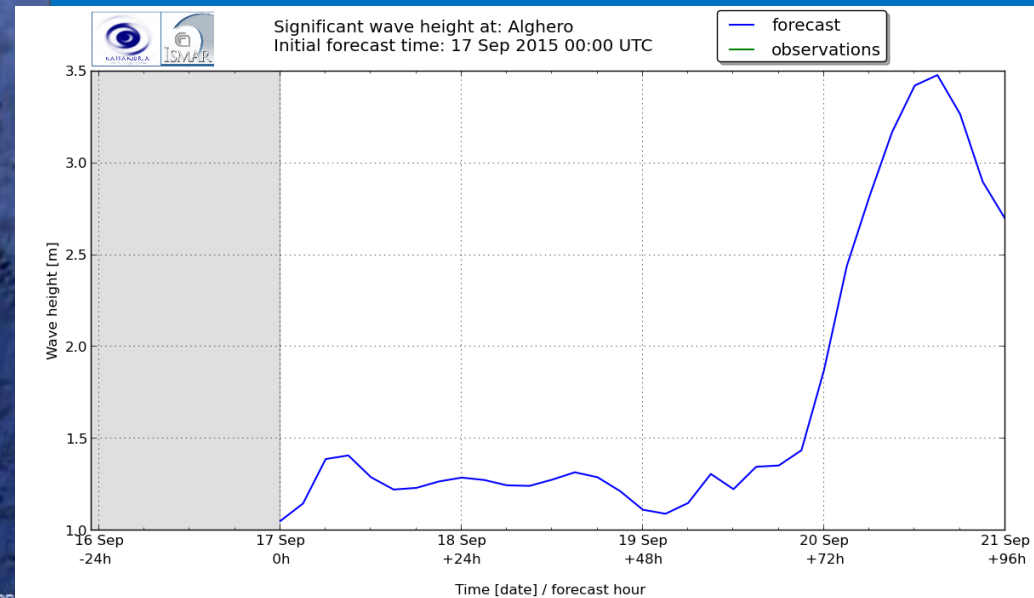
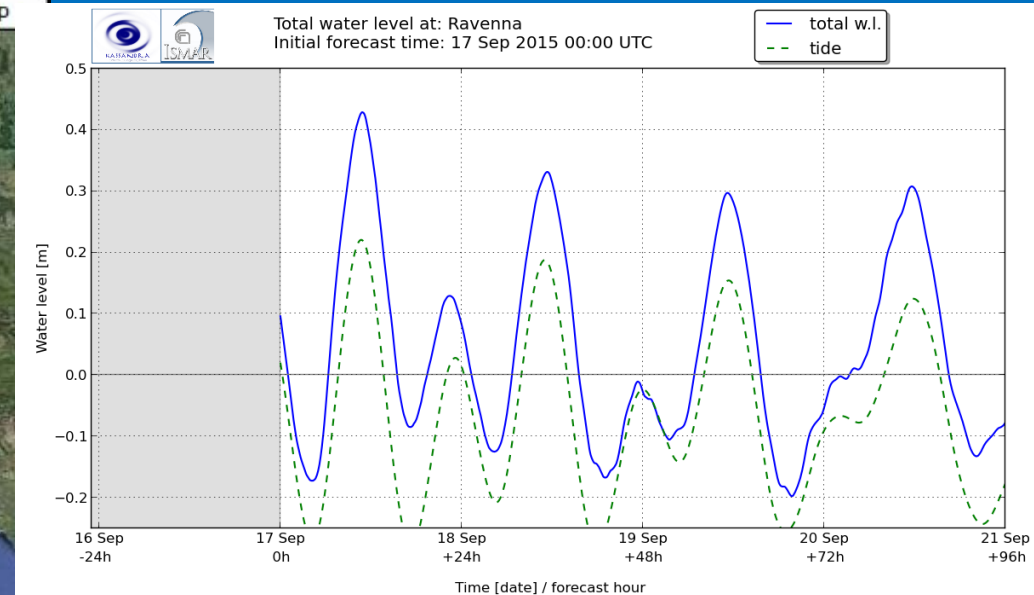
$$\frac{\partial N}{\partial t} + \frac{\partial(C_x N)}{\partial x} + \frac{\partial(C_y N)}{\partial y} + \frac{\partial(C_\sigma N)}{\partial \sigma} + \frac{\partial(C_\theta N)}{\partial \theta} = S_{total}$$

N = wave action density
 S = source term



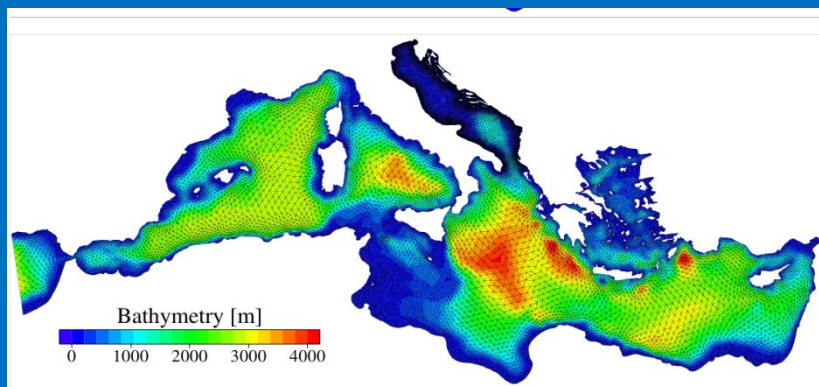
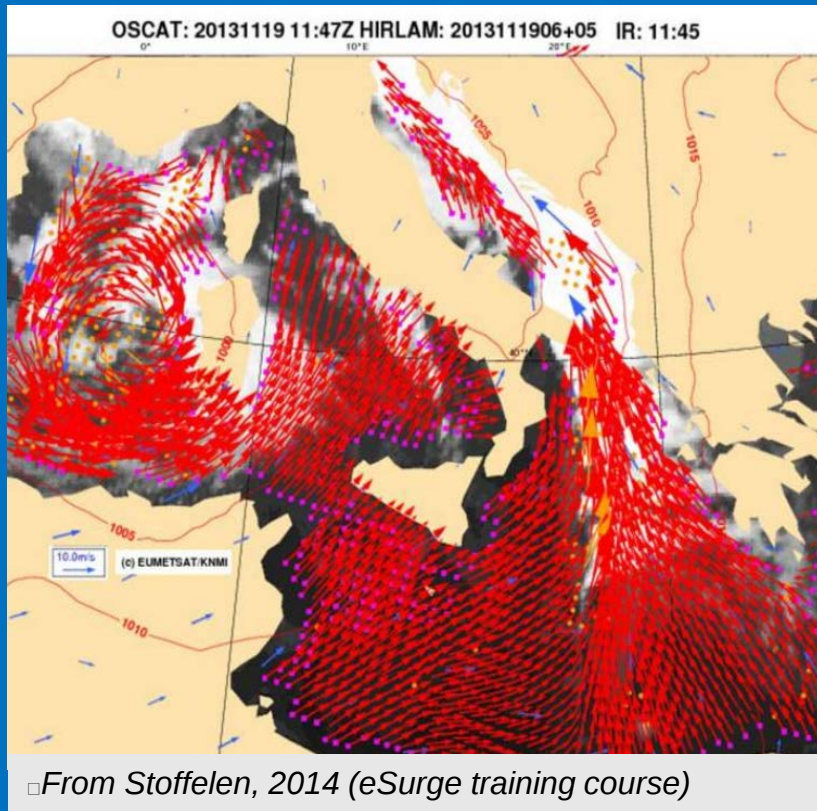




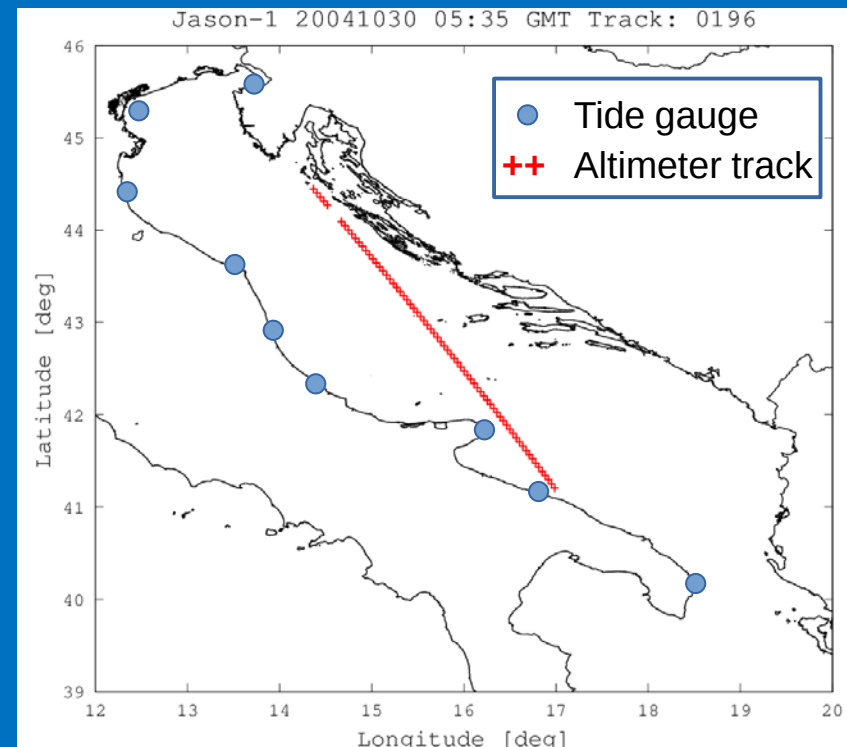




Previsione di Storm surge a Venezia

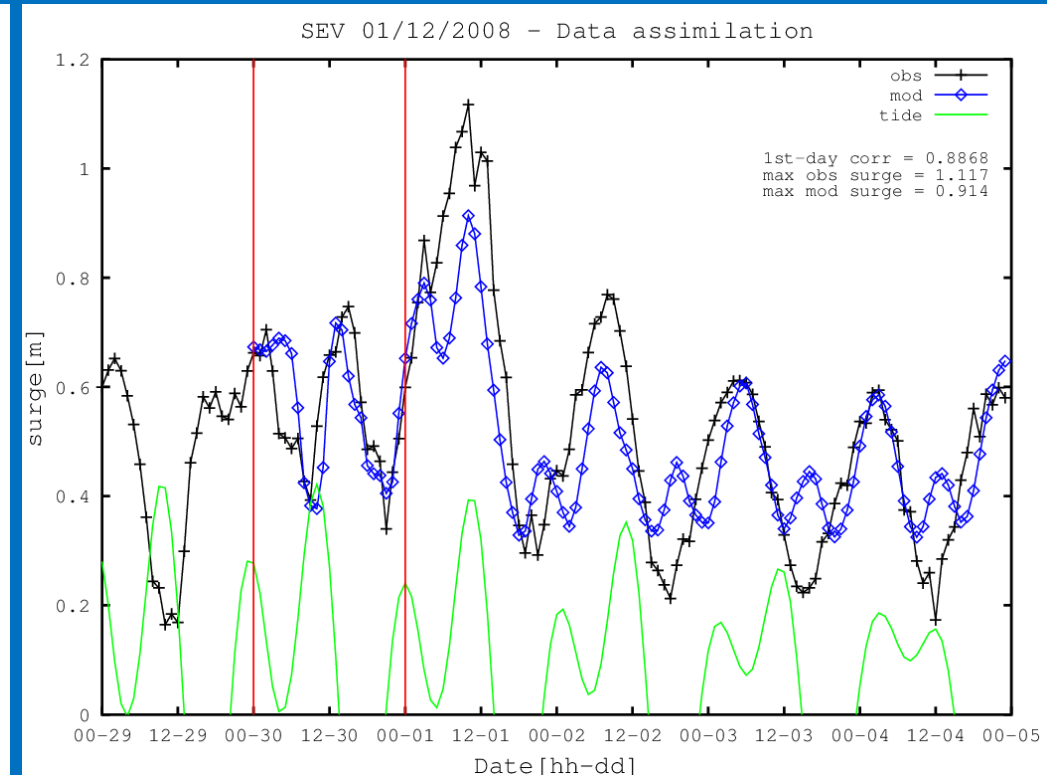
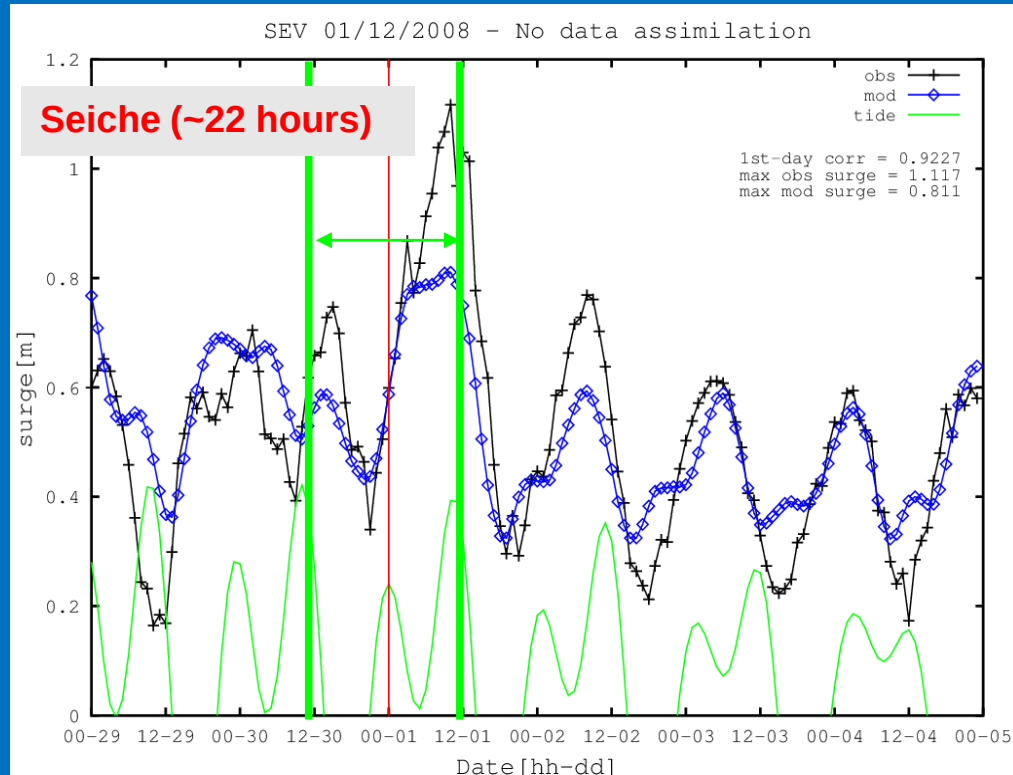


- ❑ Modello operativo con assimilazione di dati da mareografo con dual 4D-Var (ISPRA-VE forecasting system);
- ❑ Esperimenti con calibrazione di dati di vento da **scatterometro** (Progetto eSurge Venice – ESA);
- ❑ Esperimenti con assimilazione di dati da **altimetro** (Progetto eSurge Venice – ESA).





Risultati assimilazione da altimetro



L' RMS error sulla stima del picco massimo di surge si riduce del **44%** usando sia i dati da **scatterometro** che da **altimetro** per l'assimilazione

Configurazioni	RMS error [cm]
REF	16.3
SCATT	10.2
ALT	14.2
SCATT+ALT	9.0



Grazie per l'attenzione

