

GRUPPO NAZIONALE DI OCEANOGRAFIA OPERATIVA
2° Convegno Nazionale di Oceanografia Operativa

L'impiego delle reti di monitoraggio in tempo reale nei sistemi di previsione dei fenomeni di *storm surge* lungo i litorali e nelle lagune nord adriatiche.

M. Ferla*, M. Cordella*, A. Defina, B. Matticchio*****

**Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (ISPRA), Dipartimento Tutela Acque Interne e Marine, Servizio Laguna di Venezia. Ruga dei Oresi, 50 – 30125 Venezia*

*** Università di Padova, Dipartimento IMAGE, via Loredan, 20 - 35131 Padova*

**** IPROS Ingegneria Ambientale s.r.l., Corso del Popolo, 8 - 35131 Padova*

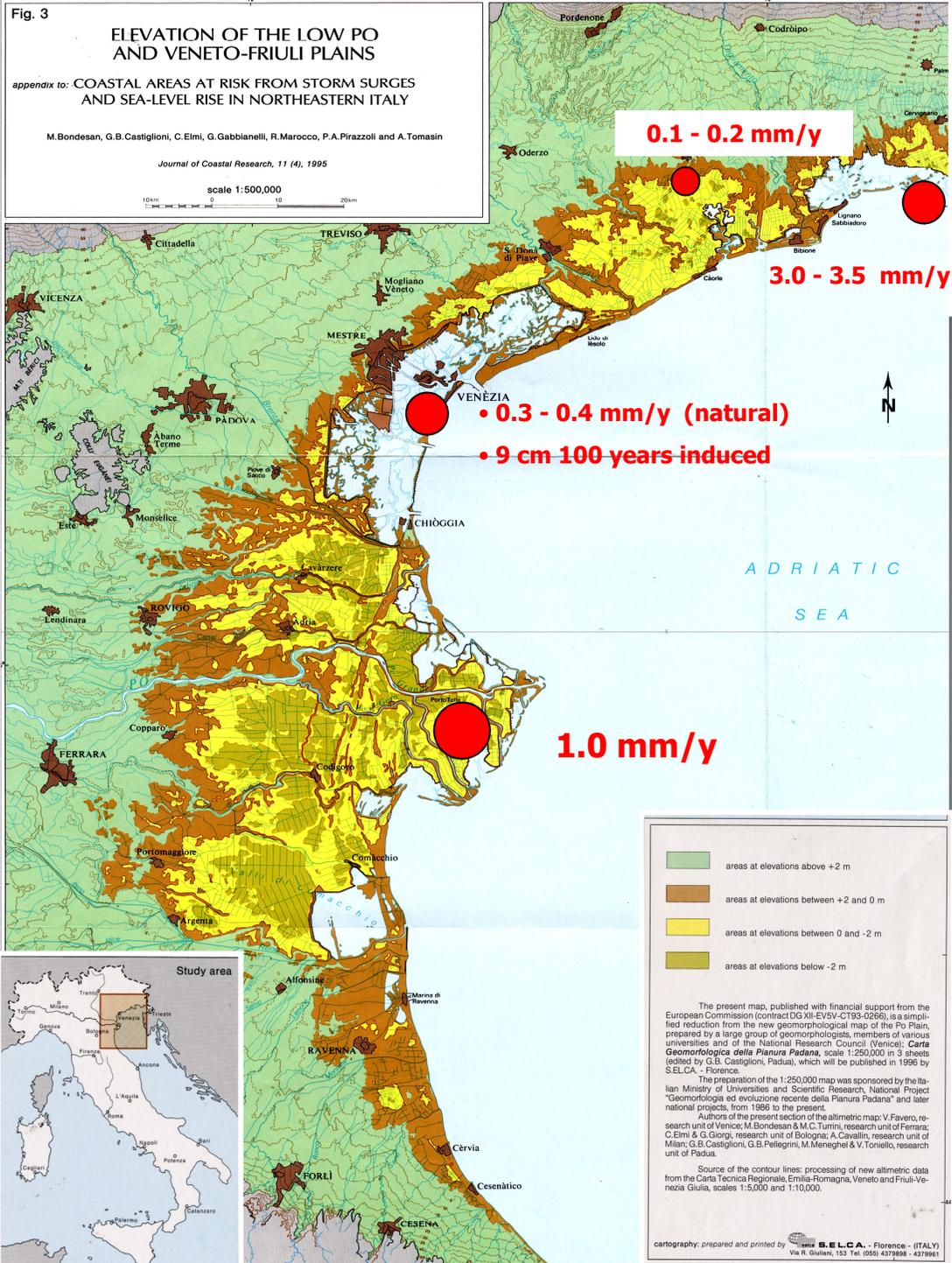


ISPRA

Istituto Superiore per la Protezione
e la Ricerca Ambientale

Cesenatico, 27-28 maggio 2010

Fig. 3
ELEVATION OF THE LOW PO AND VENETO-FRIULI PLAINS
 appendix to: COASTAL AREAS AT RISK FROM STORM SURGES AND SEA-LEVEL RISE IN NORTHEASTERN ITALY
 M. Bondesan, G.B. Castiglioni, C. Elmi, G. Gabbianelli, R. Marocco, P.A. Pirazzoli and A. Tomasin
 Journal of Coastal Research, 11 (4), 1995
 scale 1:500,000



Aree Costiere Nord-Orientali a rischio di inondazione (sea level rise, storm surge)

- presenza delle lagune e dei tronchi terminali dei grandi fiumi
- oltre 300 km di spiagge sedimentarie
- pendenza del fondo marino 2 - 11 m/km
- presenza di strutture di difesa costiera per oltre il 60%
- 2.375 km² al di sotto del l.m.m. soggette a deflusso meccanico

SUBSIDENCE
natural + induced

Legend:
 areas at elevations above +2 m
 areas at elevations between +2 and 0 m
 areas at elevations between 0 and -2 m
 areas at elevations below -2 m

The present map, published with financial support from the European Commission (contract DG XII-EVSV-CT93-0268), is a simplified reduction from the new geomorphological map of the Po Plain, prepared by a large group of geomorphologists, members of various universities and of the National Research Council (Venice); *Carta Geomorfologica della Pianura Padana*, scale 1:250,000 in 3 sheets (edited by G.B. Castiglioni, Padova), which will be published in 1996 by SELCA - Florence.

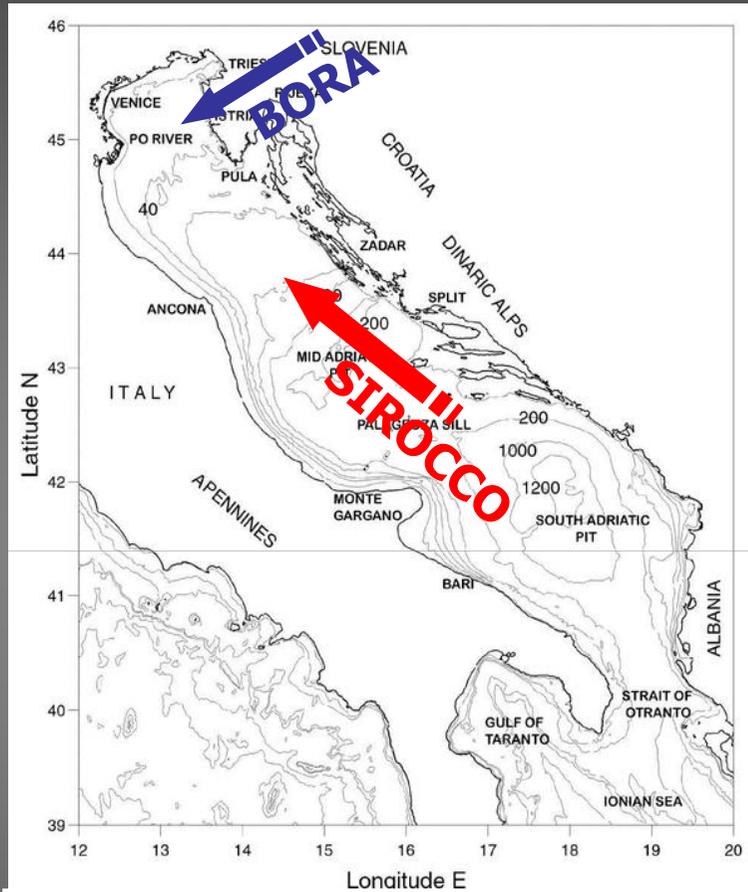
The preparation of the 1:250,000 map was sponsored by the Italian Ministry of Universities and Scientific Research, National Project "Geomorfologia ed evoluzione recente della Pianura Padana" and later national projects, from 1986 to the present.

Authors of the present section of the altimetric map: V. Favero, research unit of Venice; M. Bondesan & M.C. Turini, research unit of Ferrara; C. Elmi & G. Giorgi, research unit of Bologna; A. Cavallini, research unit of Milan; G.B. Castiglioni, G.B. Pellegrini, M. Meneghini & V. Tonello, research unit of Padova.

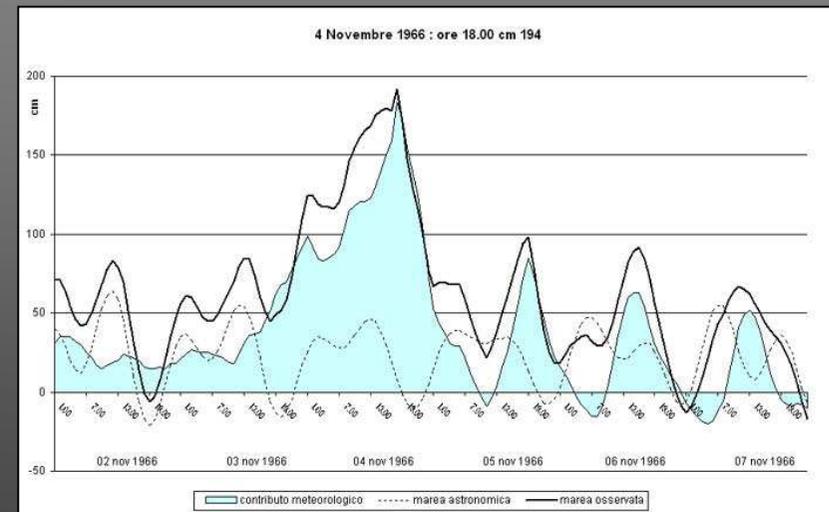
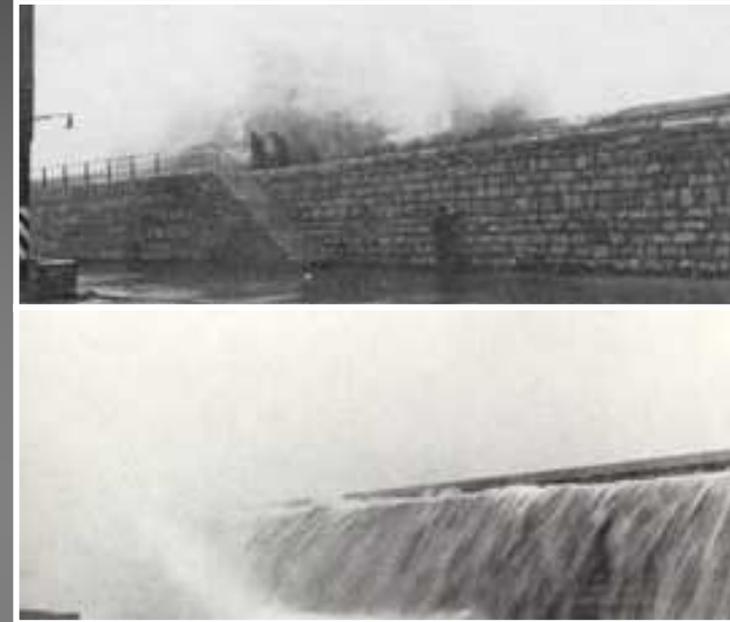
Source of the contour lines: processing of new altimetric data from the Carta Tecnica Regionale, Emilia-Romagna, Veneto and Friuli-Venezia Giulia, scales 1:5,000 and 1:10,000.

cartography: prepared and printed by SELCA - Florence - (ITALY)
 Via R. Giuliani, 163 Tel. (055) 437898 - 437961

Storm Surge & Mareggiate



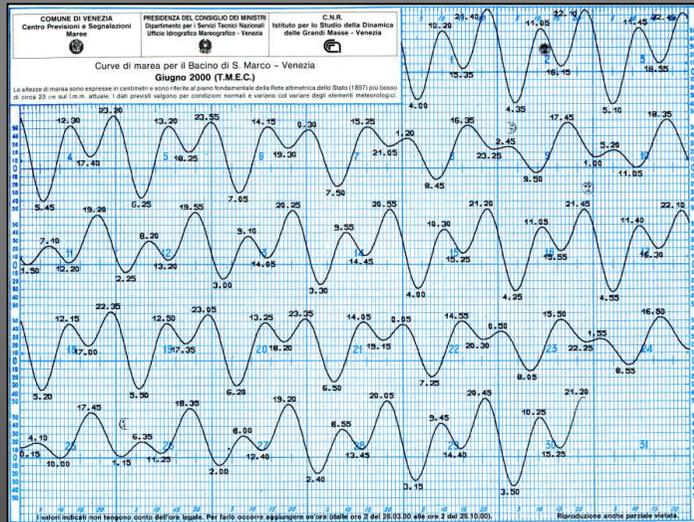
4th November 1966



LA PREVISIONE DEI FENOMENI DI *STORM SURGE* NEL NORD ADRIATICO

Livello della marea = Marea astronomica + Sovralzo (*surge*)

Tavole di marea



Orizzonte temporale: anni

Contributo meteorologico (+ sessa)



Orizzonte temporale: 1- 3 -7 giorni

CALCOLO DEL SOVRALZO DI MAREA

Approccio Statistico: non si considera il processo fisico che genera il fenomeno ma si va a ricercare uno schema, per esempio lineare autoregressivo, che attraverso una serie di coefficienti caratteristici mette in relazione il sovrалzo previsto con i valori relativi ai vari fattori predittivi.

Approccio Deterministico ricerca delle soluzioni numeriche delle equazioni dell'idrodinamica che descrivono le oscillazioni del mare innescate dal processo di scambio di energia tra l'atmosfera e la superficie del mare.

RICERCA DEI FATTORI PREDITTIVI

PARAMETRI PUNTUALI OSSERVATI
(RMLV, RMN):

- Livello della marea (sovrалzo),
- Pressione atmosferica,
- Vento (direzione e velocità)

PARAMETRI PREVISTI:

Campi di Pressione atmosferica e direzione/velocità del vento

- Modello a scala globale - (ECMRWF);
- Modelli ad area limitata - (NEWBOLAM)

L'APPROCCIO STATISTICO: IL MODELLO ISPRA *MSM_2008*

$$\Delta(t + \tau) = a_0(\tau) + \sum_{k=1}^N \sum_{i=0}^{n(k)} b_i^k(\tau) \cdot \Pi^k(t - i \Delta t) + \sum_{k=2}^M \sum_{i=0}^{\tau/\Delta t - 1} c_i^k(\tau) \cdot \Pi^k(t + \tau - i \Delta t)$$

t l'istante della previsione,

τ indica l'anticipo con cui viene prevista l'altezza Δ ,

$a_0(\tau)$

sono i coefficienti della regressione, diversi per ogni stazione e per ogni anticipo t

$b_i^k(\tau)$

Calibrazione su un set di 5 anni di dati validati (2002-2006)

$c_i^k(\tau)$

Π^k sono i predittori

Δt rappresenta il passo temporale con cui sono scanditi i valori dei predittori (nel caso specifico $\Delta t = 1$ ora).

L'APPROCCIO STATISTICO: IL MODELLO ISPRA *MSM_2008*

I PREDITTORI

Parametri orari osservati nelle 24 ore:

- livello della marea stazione di riferimento (RMLV)
- velocità vento settori sud orientali PT_CNR (RMLV)
- pressione atm Genova, P. Torres, Bari e Venezia (RMN)



Parametri previsti 72 ore (ECMRWF)

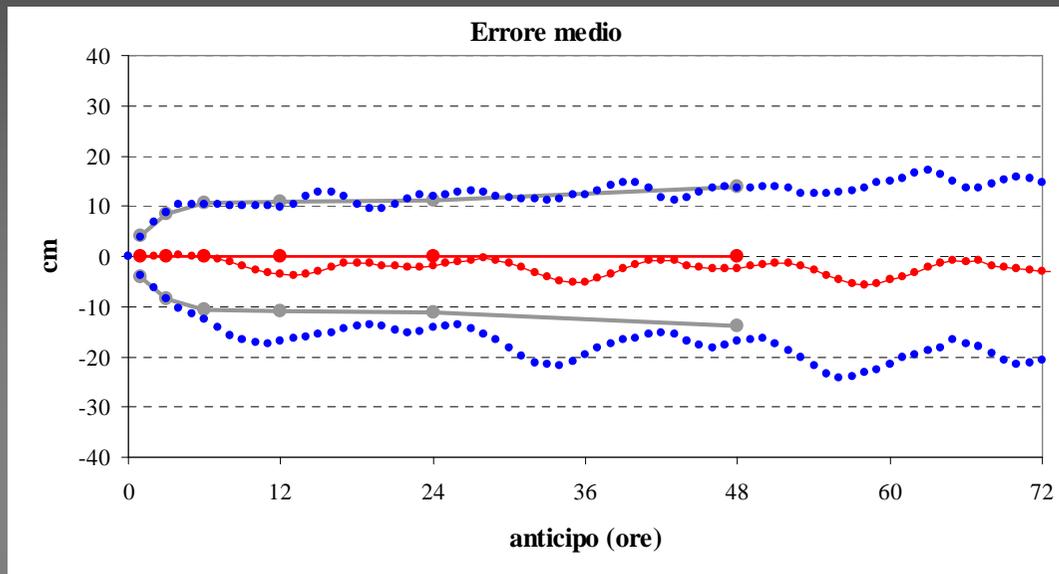
Valori tri-orari:

- Pressione atm (GE, P.Torres, BA e VE)
- Vento a PT_CNR (sud-est)

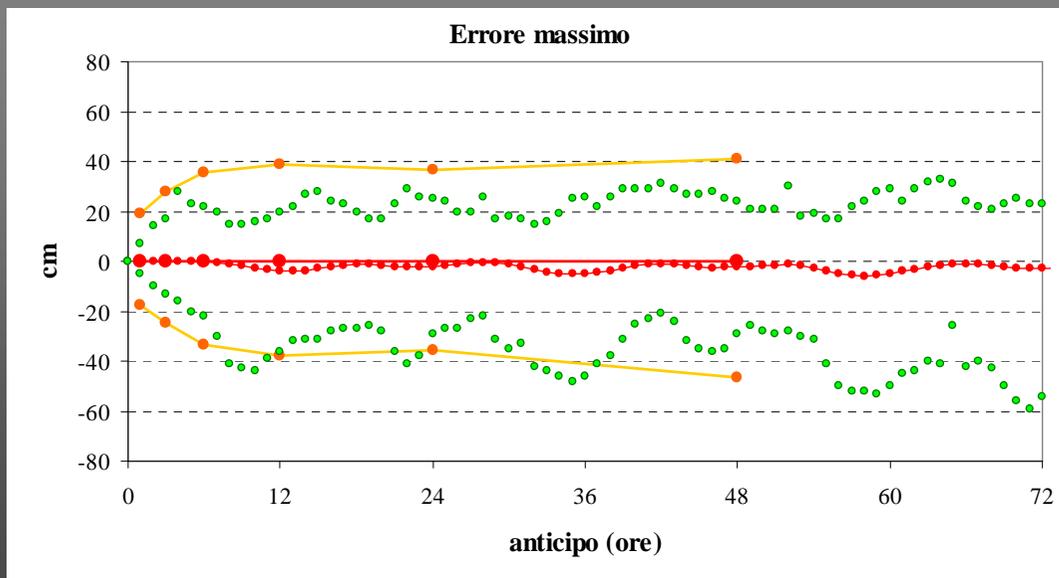


Stazione di Venezia Punta della Salute

Confronto tra i risultati della calibrazione (2002-2006) e della fase operativa (5/3/2009 – 4/3/2010)



$\bar{\epsilon} \pm 2\sigma$



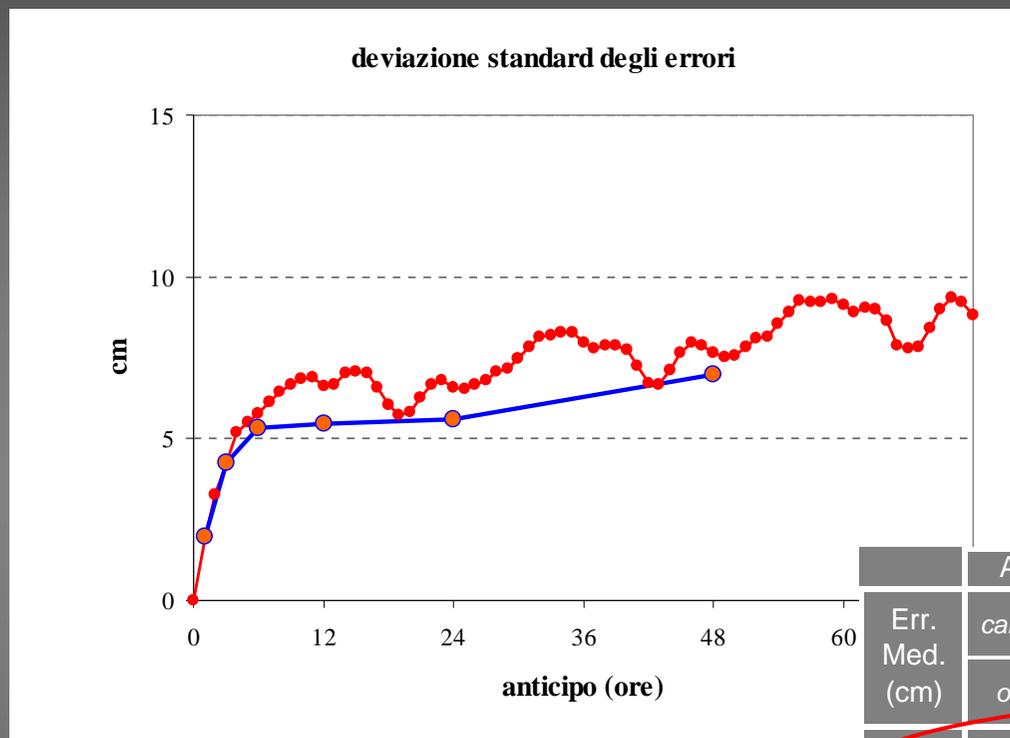
ϵ_{MAX}

$\bar{\epsilon}$

ϵ_{MIN}

Stazione di Venezia Punta della Salute

Confronto tra i risultati della calibrazione (2002-2006) e della fase operativa (5/3/2009 – 4/3/2010)

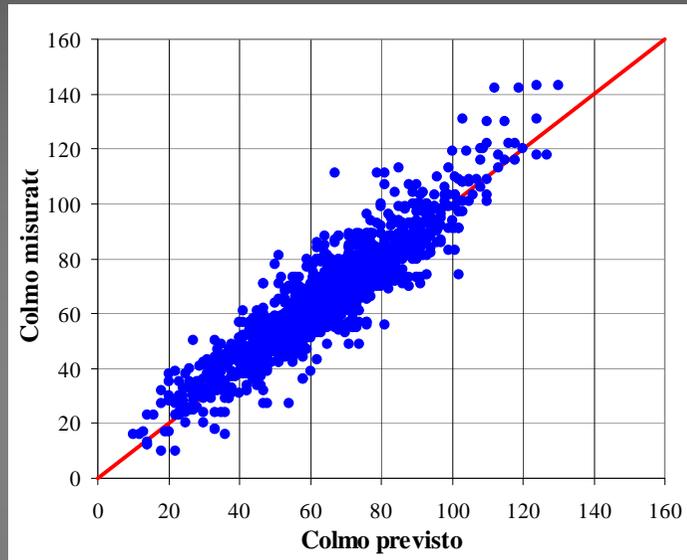


	Anticipo	1	3	6	12	24	48
Err. Med. (cm)	<i>calibrazione</i>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	<i>operativo</i>	-0.1	0.1	-1.9	-2.4	-2.6	-2.8
Dev. Stand. (cm)	<i>calibrazione</i>	2.0	4.3	5.3	5.4	5.6	7.0
	<i>operativo</i>	1.9	4.2	6.1	6.8	7.1	8.0
Err. Max (cm)	<i>calibrazione</i>	19.2	28.1	35.4	38.7	36.9	41.3
	<i>operativo</i>	7.0	19.7	19.0	21.9	21.1	24.7
Err. Min. (cm)	<i>calibrazione</i>	-17.3	-24.8	-33.7	-37.8	-35.4	-46.6
	<i>operativo</i>	-5.0	-13.0	-31.2	-32.8	-34.6	-35.0

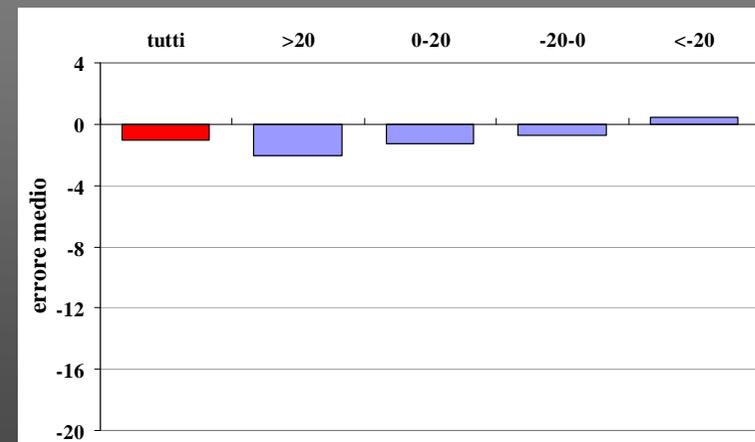
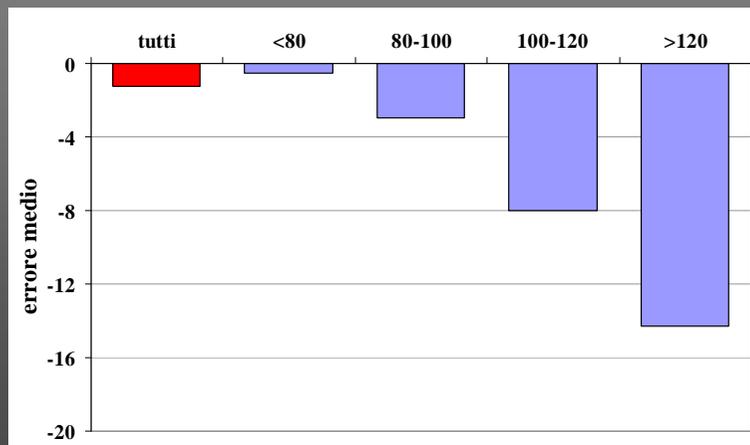
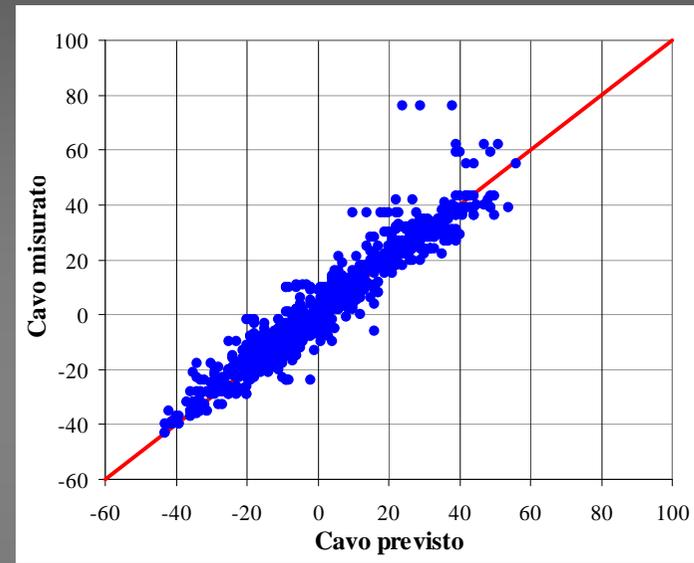
Stazione di Venezia Punta della Salute

Fase operativa (5/3/2009 – 4/3/2010) Risultati della previsione sugli estremali

Colmi di marea

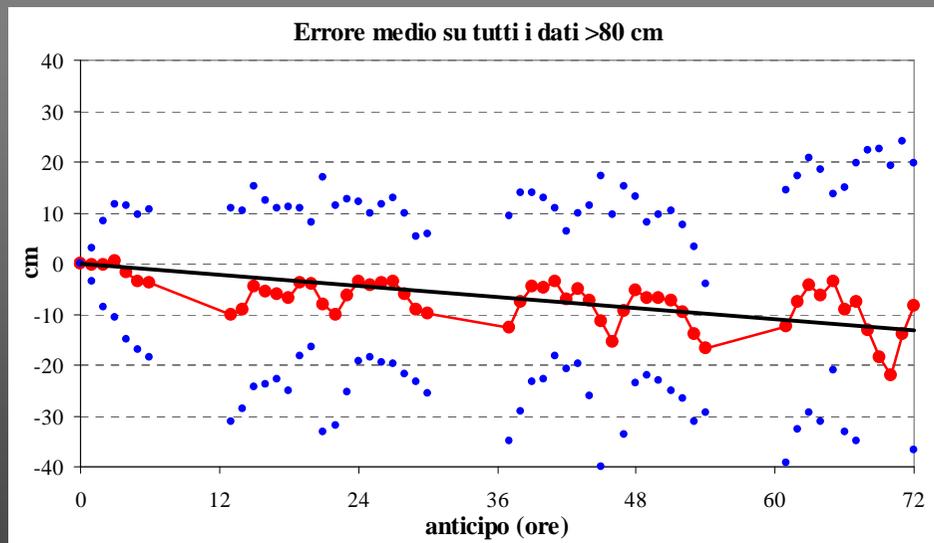
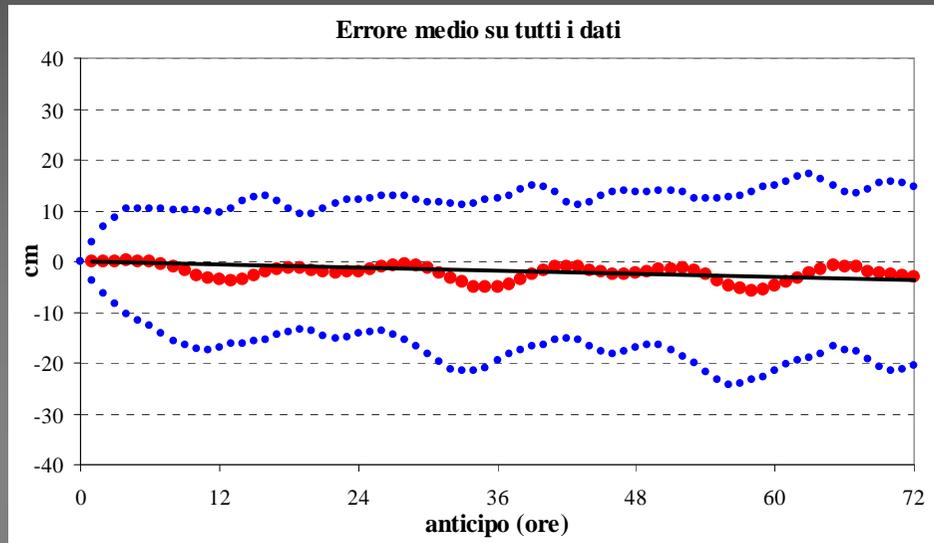


Cavi di marea



Stazione di Venezia Punta della Salute

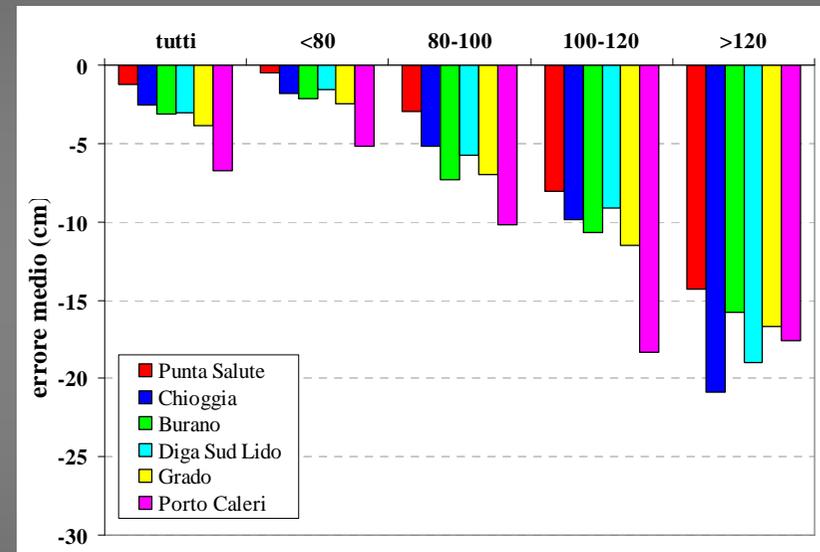
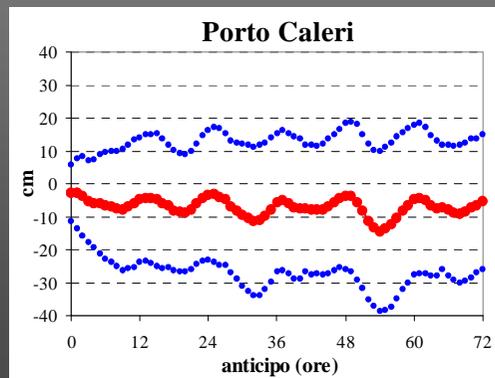
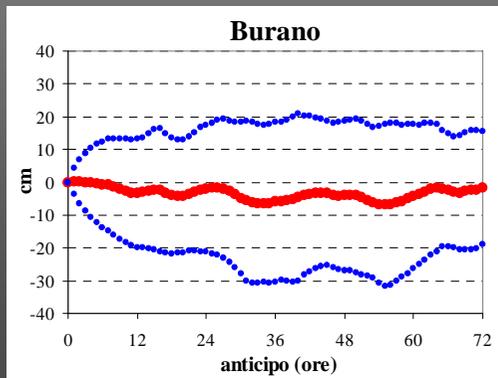
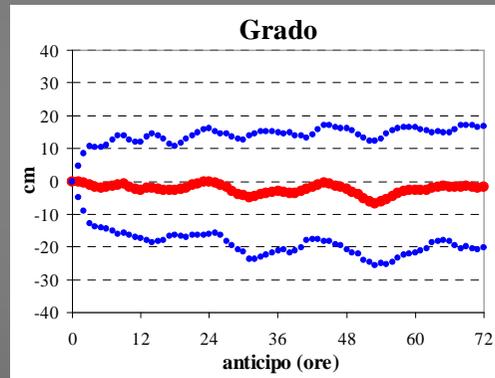
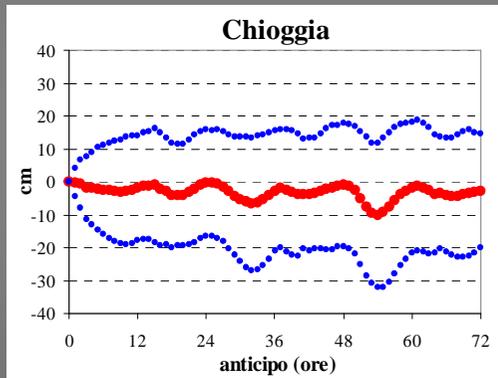
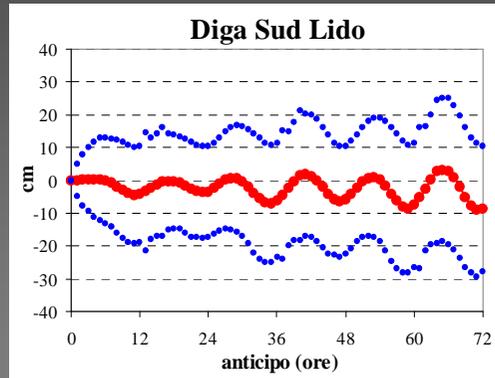
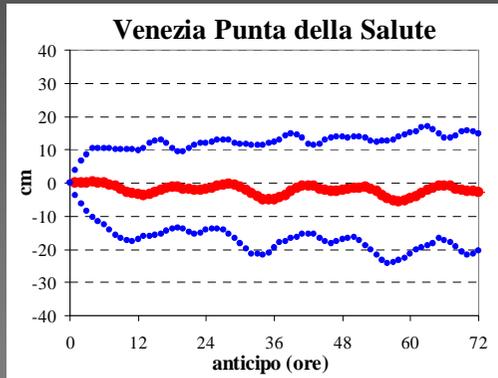
Fase operativa (5/3/2009 – 4/3/2010) Risultati della previsione sui dati >80 cm



	Anticipo	1	3	6	12	24	48
Err. Med. (cm)	<i>tutti i dati</i>	-0.1	0.1	-1.9	-2.4	-2.6	-2.8
	<i>dati >80 cm</i>	-0.3	-0.4	-6.3	-6.0	-7.3	-10.5
Dev. Stand. (cm)	<i>tutti i dati</i>	1.9	4.2	6.1	6.8	7.1	8.0
	<i>dati >80 cm</i>	1.7	5.5	8.8	9.0	9.2	12.5
Err. Max (cm)	<i>tutti i dati</i>	7.0	19.7	19.0	21.9	21.1	24.7
	<i>dati >80 cm</i>	4.0	12.3	7.6	8.6	8.5	8.4
Err. Min. (cm)	<i>tutti i dati</i>	-5.0	-13.0	-31.2	-32.8	-34.6	-35.0
	<i>dati >80 cm</i>	-3.0	-13.0	-24.4	-26.1	-26.6	-39.2

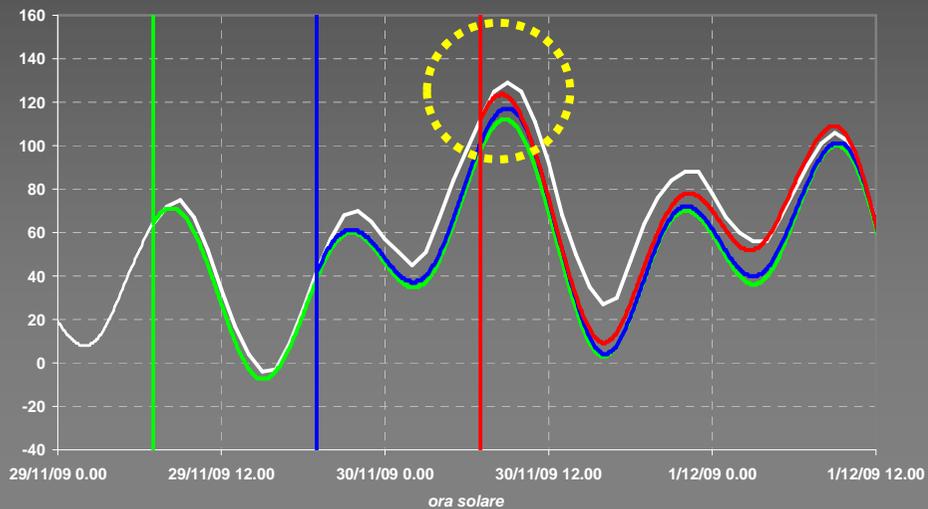
6 stazioni nella Laguna di Venezia e nell'Alto Adriatico

Fase operativa (5/3/2009 – 4/3/2010)

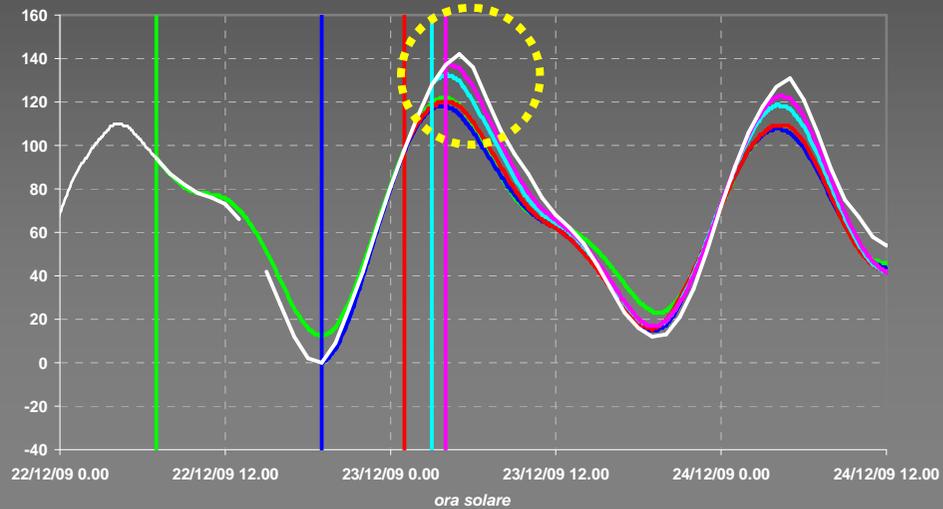


PROGRESSIONE DELLA PREVISIONE

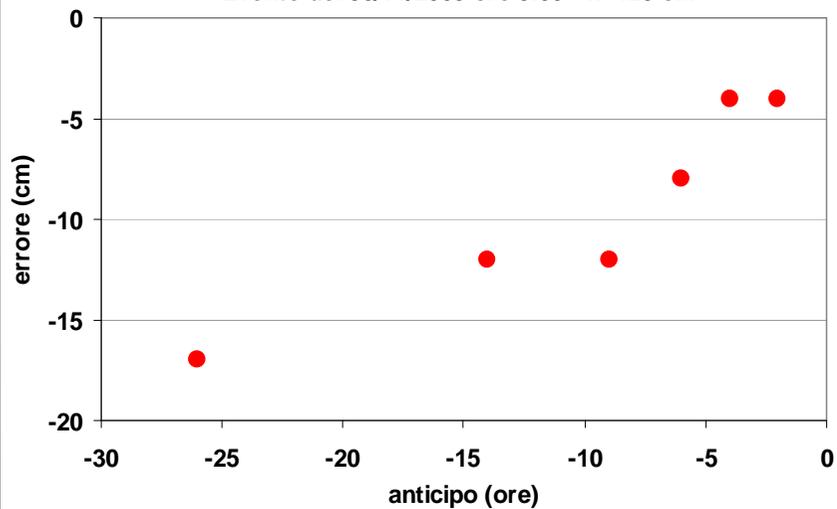
Previsione a Venezia Punta Salute
Evento del 30/11/2009 ore 9 - h=129 cm



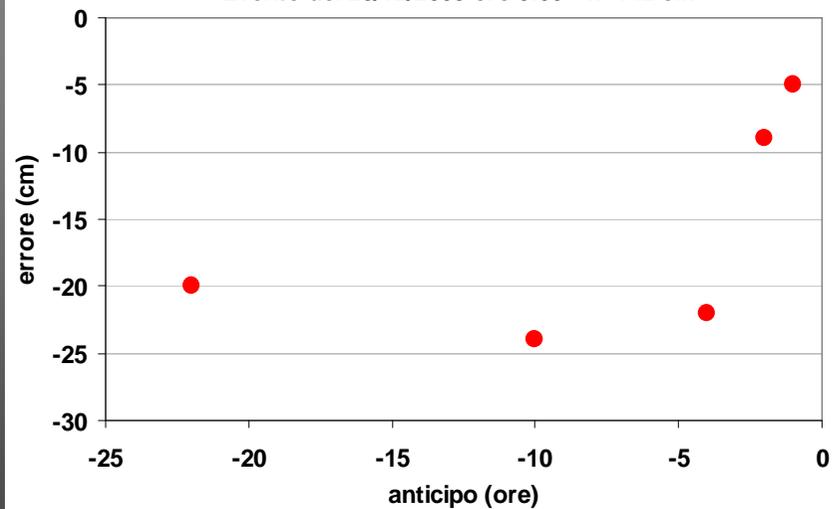
Previsione a Venezia Punta Salute
Evento del 23/12/2009 ore 5 - h=142 cm



Evento del 30/11/2009 ore 9.00 - h=129 cm

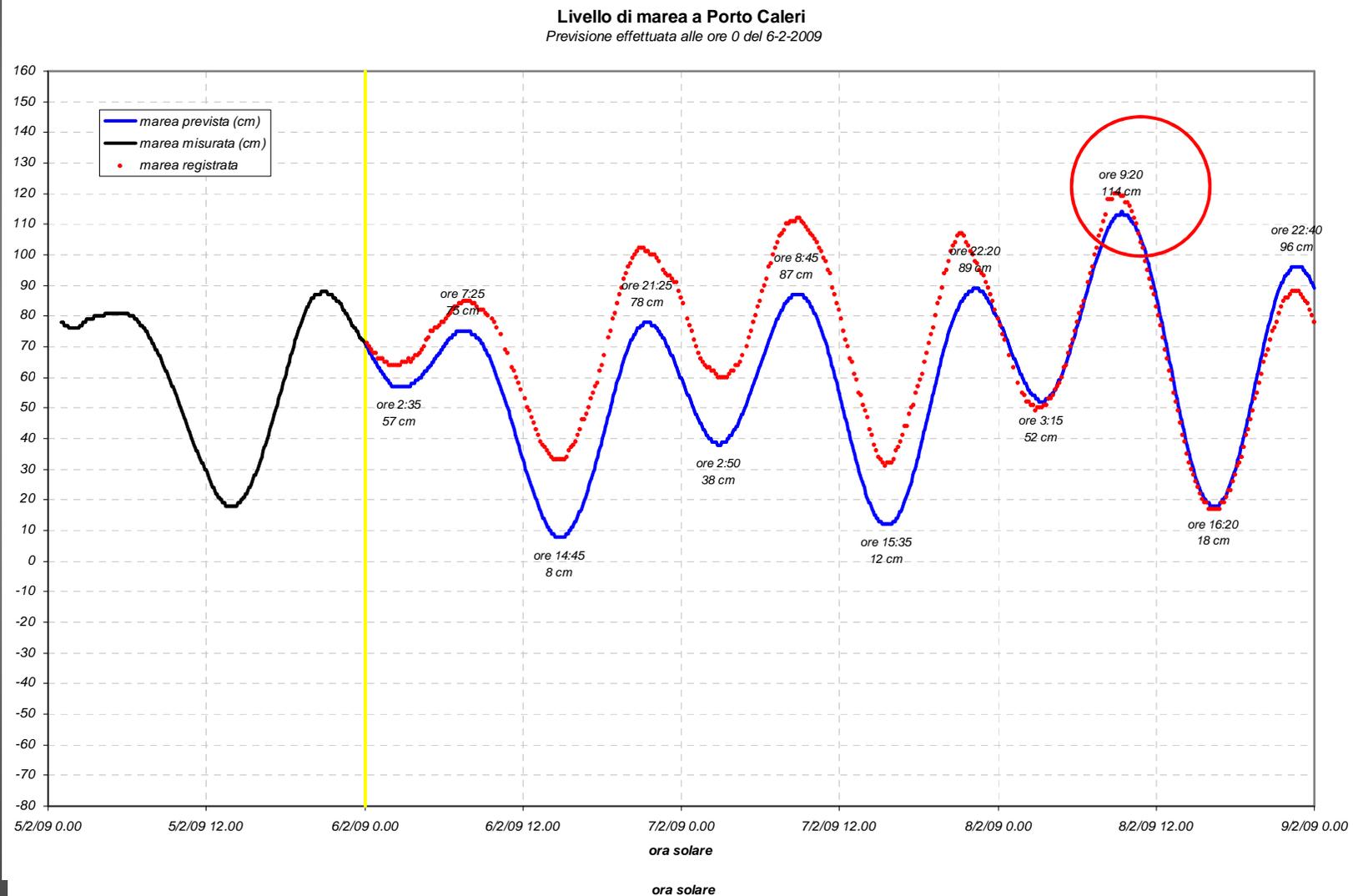


Evento del 23/12/2009 ore 5.00 - h=142 cm

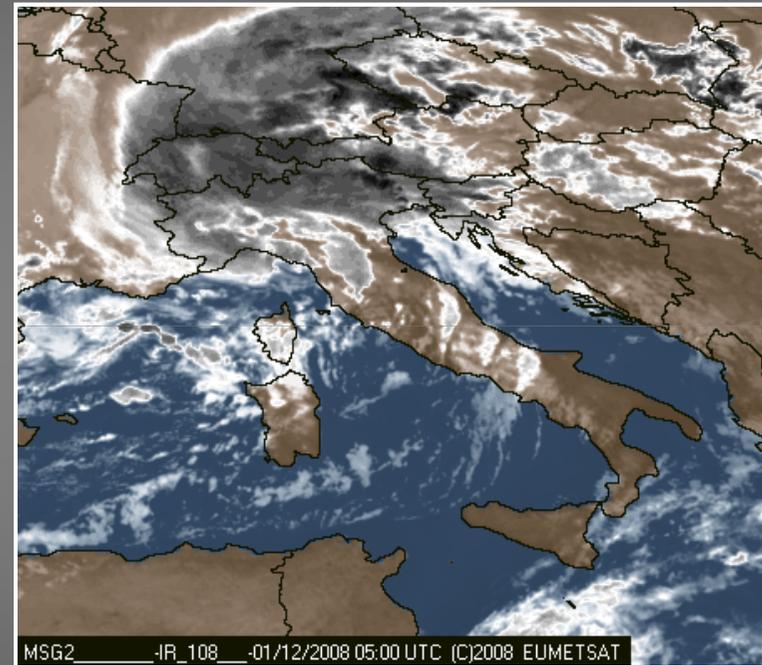
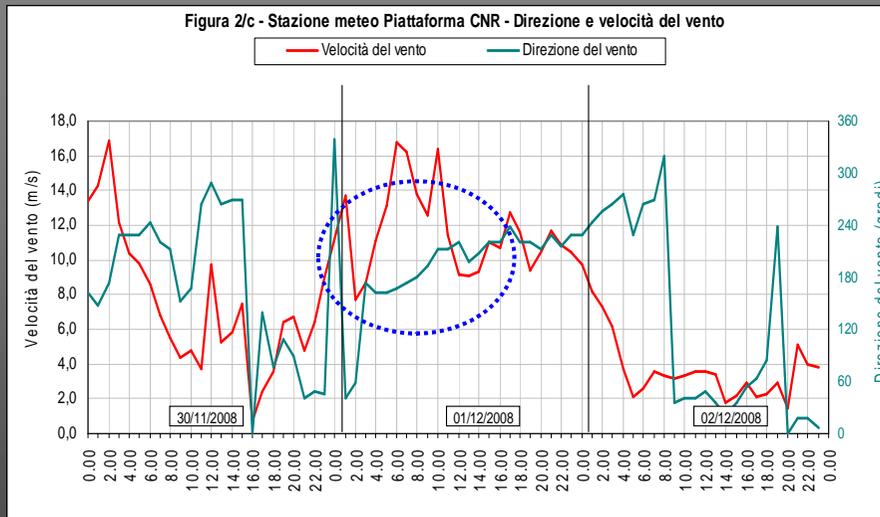
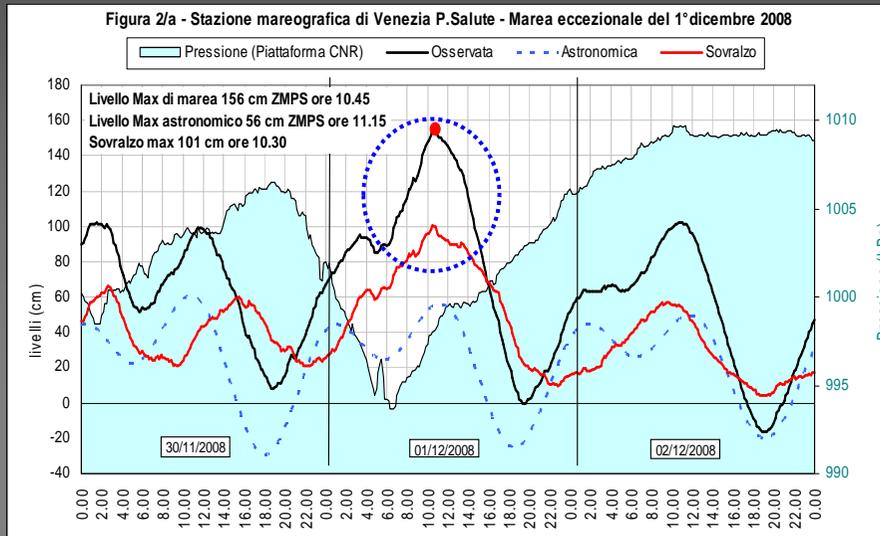


L'APPROCCIO STATISTICO: IL MODELLO ISPRA *MSM_2008*

L'EVENTO 090208 – PUNTA SALUTE 123 cm ZMPS 9.50



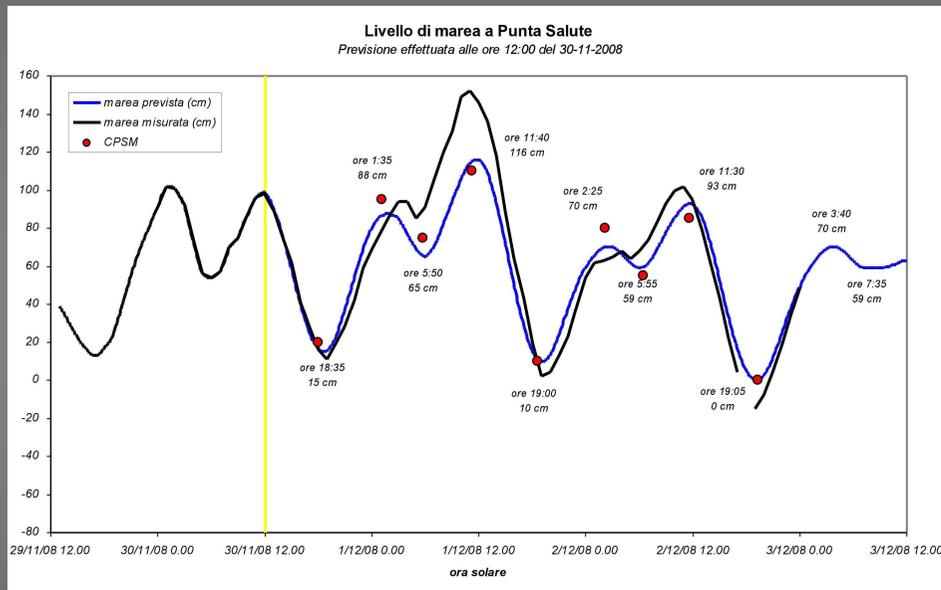
L'EVENTO 081201 – 156 cm ZMPS 4° CASO STORICO



L'APPROCCIO STATISTICO: IL MODELLO ISPRA *MSM_2008*

L'EVENTO 081201 – PUNTA SALUTE 156 cm ZMPS

Ricostruzione dell'evento in configurazione operativa (FORACAST) dati esaorari di 4P e S (ECMRWF)

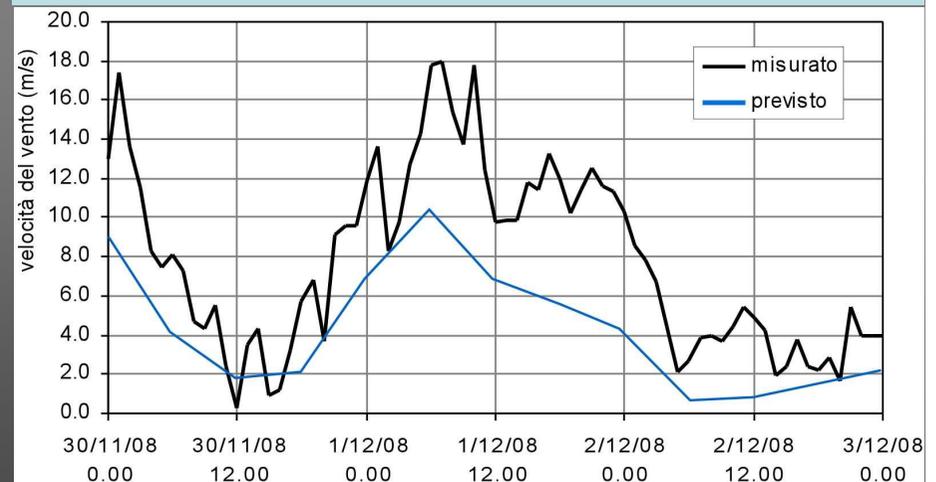


Insoddisfacente approssimazione sulla punta max.
delle ore 11 del 1/12/08

Prev. 1200301108

$\epsilon = -40$ cm

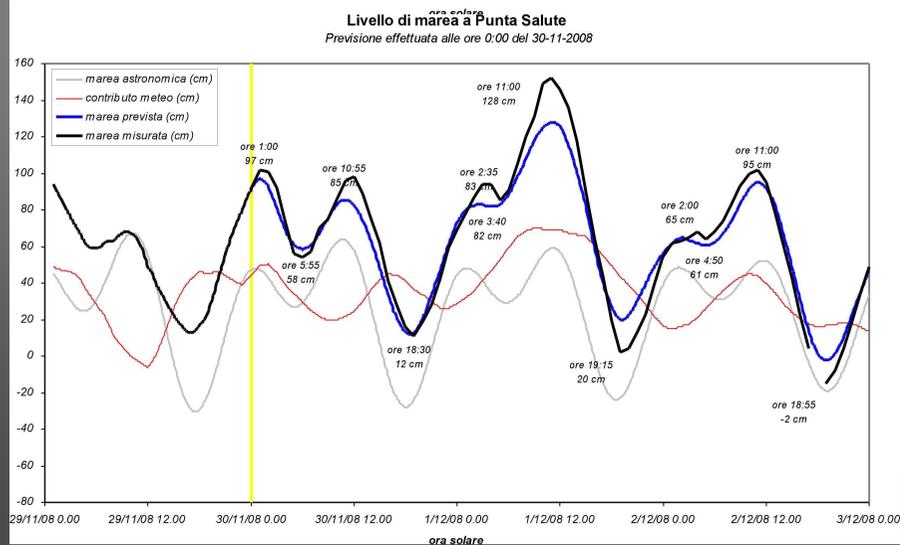
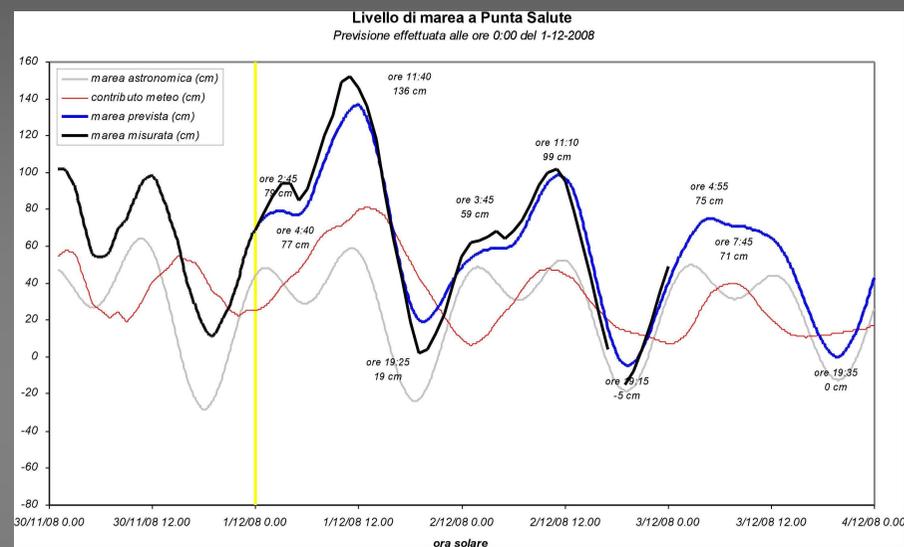
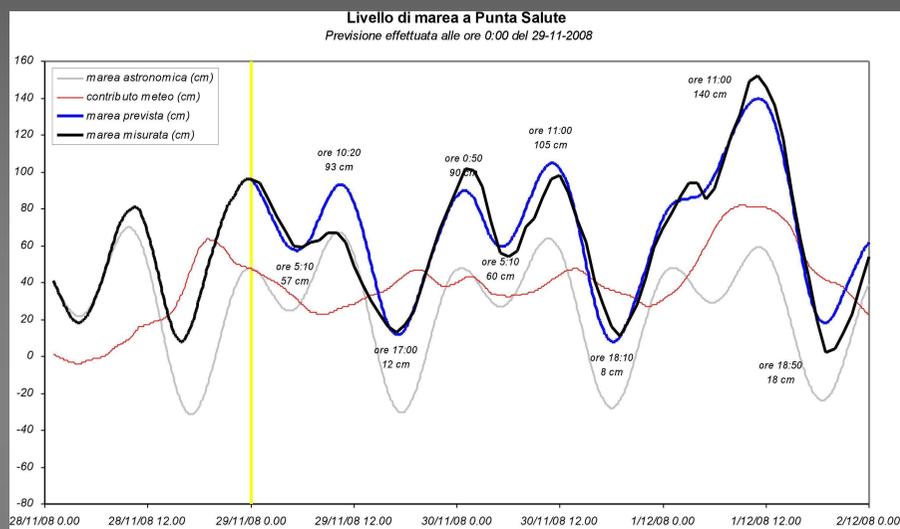
Confronto tra vento previsto e misurato



L'APPROCCIO STATISTICO: IL MODELLO ISPRA *MSM_2008*

L'EVENTO 081201 – PUNTA SALUTE 156 cm ZMPS

Ricostruzione dell'evento. Sostituzione valori previsione (4PS + 4PS) valori orari registrati



Errore medio nei 3 gg. 10 cm.
Maggiore in corrispondenza di Max e min.

Errore rispetto alla punta max delle ore 11 del 1/12/2008

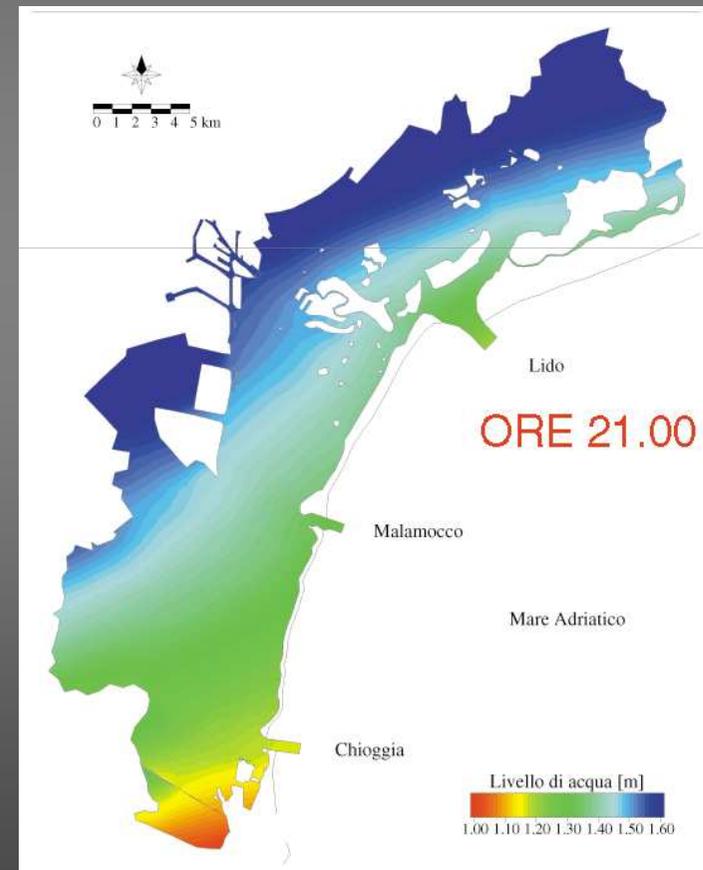
Prev. 0000291108	-14 cm
Prev. 0000301108	-28 cm
Prev. 0000011208	-20 cm

Effetti in laguna : il vento locale

8/12/1992



6/11/2000



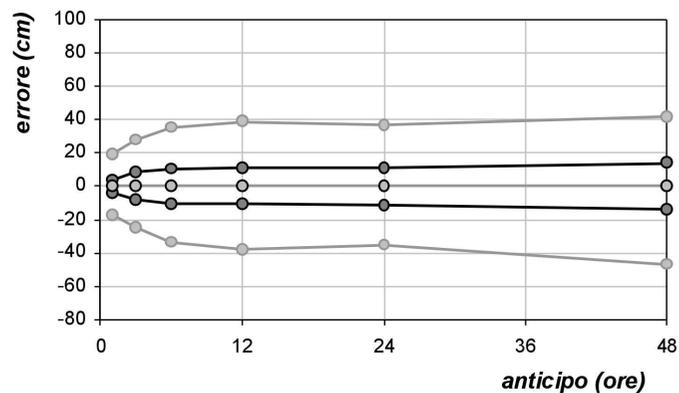
L'APPROCCIO STATISTICO: IL MODELLO ISPRA *MSM_2008*

ANALISI DI SENSITIVITA' – PUNTA DELLA SALUTE

$$\text{Errore } \varepsilon = \Delta_{mis} - \Delta_{prev}$$

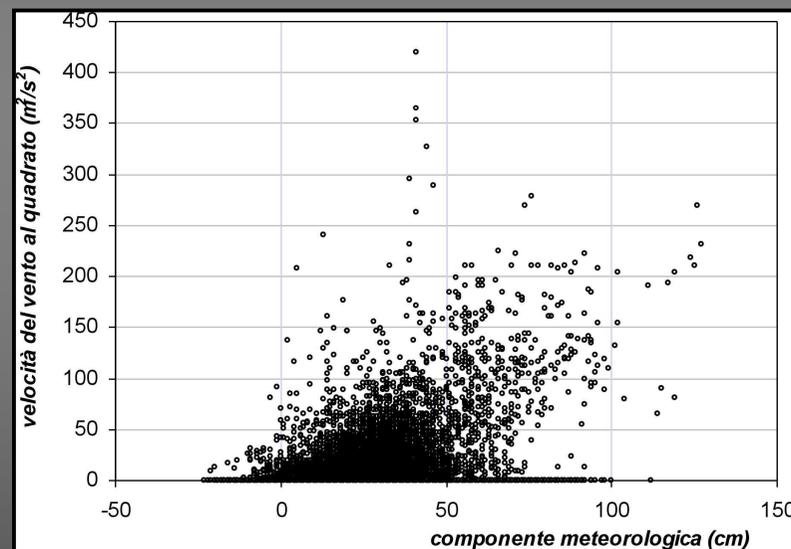
$$\text{Indice di accuratezza } IA = \varepsilon_{med} \pm 2\sigma$$

<i>Punta della Salute 2002-2006</i>						
anticipo	1 ora	3 ore	6 ore	12 ore	24 ore	48 ore
indice di accuratezza	0 ± 4.0	0 ± 8.5	0 ± 10.7	0 ± 10.9	0 ± 11.2	0 ± 14.0
errore massimo	19.2	28.1	35.4	38.7	36.9	41.3
errore minimo	-17.3	-24.8	-33.7	-37.8	-35.4	-46.6



Stima dell'indice di accuratezza e degli errori massimi e minimi per la previsione della differenza $\Delta(\tau)$ a Punta della Salute basata sulla combinazione 4PS&4PS

Correlazione tra marea meteorologica e intensità dello Scirocco espresso come quadrato della velocità del vento



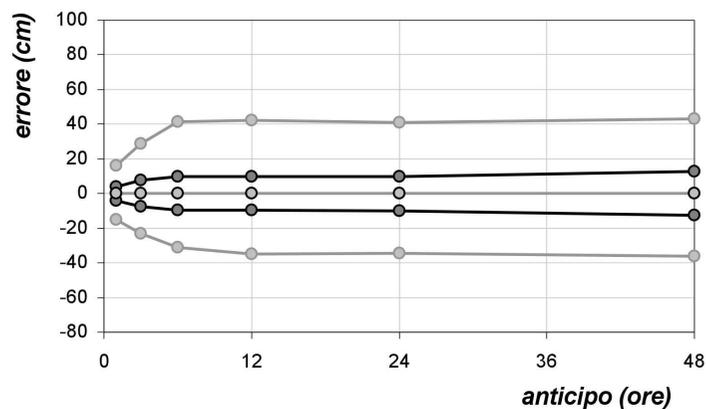
L'APPROCCIO STATISTICO: IL MODELLO ISPRA *MSM_2008*

ANALISI DI SENSITIVITA' – CHIOGGIA

Errore $\varepsilon = \Delta_{mis} - \Delta_{prev}$

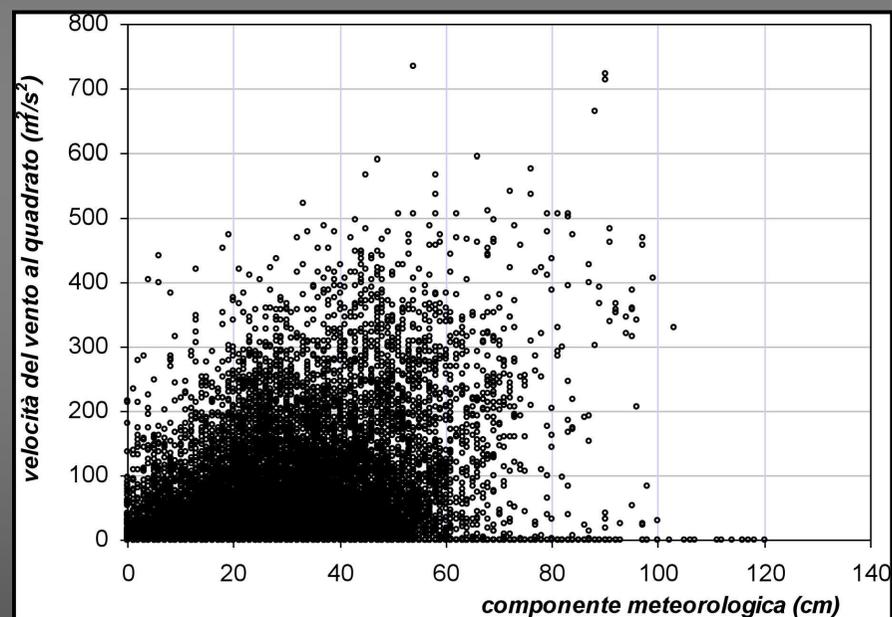
Indice di accuratezza $IA = \varepsilon_{med} \pm 2\sigma$

Chioggia 2002-2006						
anticipo	1 ora	3 ore	6 ore	12 ore	24 ore	48 ore
indice di accuratezza	0 ± 4.0	0 ± 7.7	0 ± 9.6	0 ± 9.8	0 ± 10.0	0 ± 12.5
errore massimo	16.0	28.7	41.5	42.4	40.9	43.0
errore minimo	-15.0	-23.3	-31.0	-34.9	-34.4	-36.2



Stima dell'indice di accuratezza e degli errori massimi e minimi per la previsione della differenza $\Delta(\tau)$ a Chioggia basata sulla combinazione H4PBS&4PBS

Correlazione tra marea meteorologica e intensità della Bora espresso come quadrato della velocità del vento



MIGLIORAMENTO DELL'AFFIDABILITA'

- Ricerca dei coefficienti mirata agli eventi estremi;
- Affinamento dell'influenza del vento - differenziazione settori di provenienza;
- Risoluzione temporale dati di previsione da 6 ore (ECMRWF) ad almeno 3 ore (LAM)
- Minimizzazione errori fattori predittivi con tecniche di *data assimilation* (Kalman filter