

# 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*

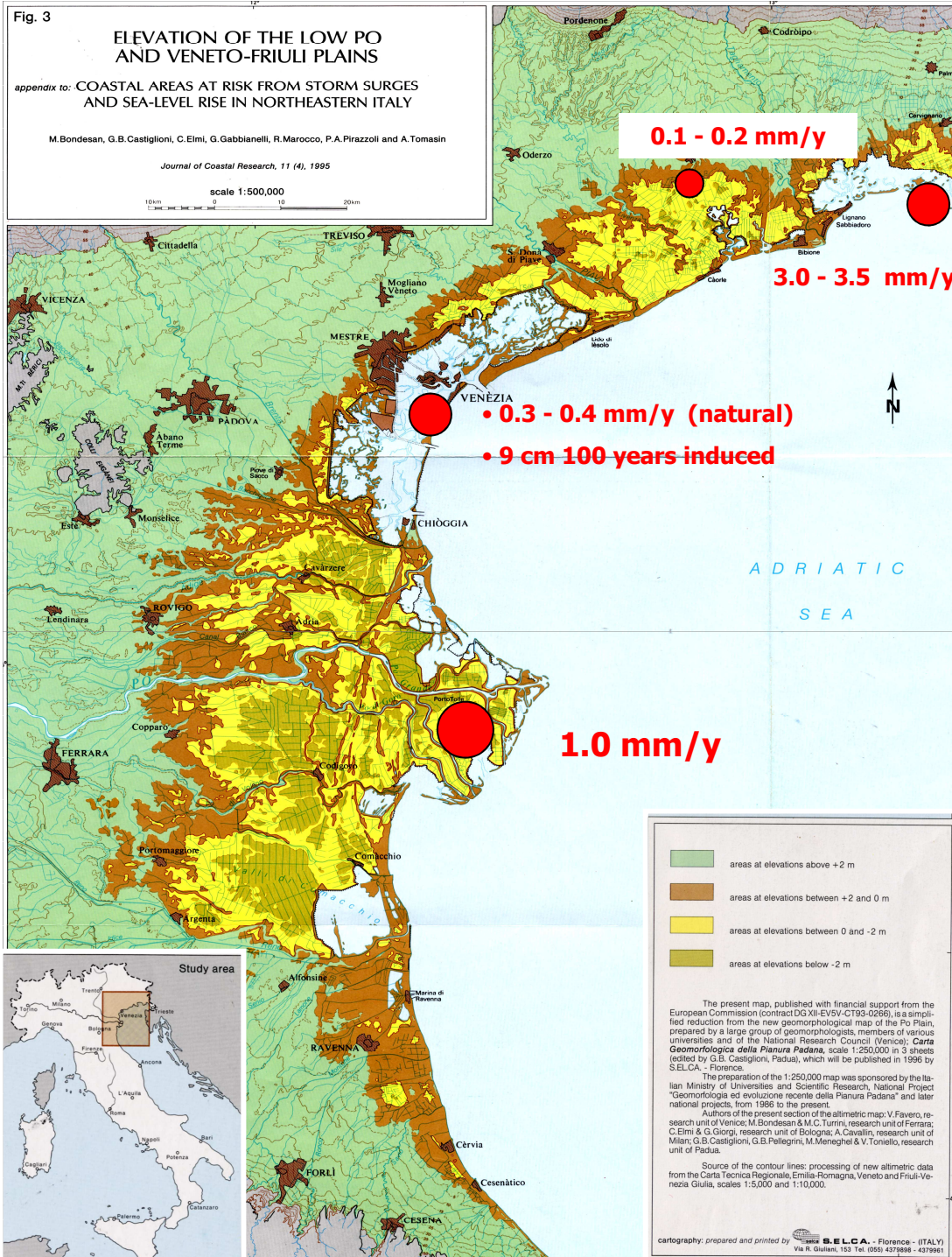
*\*\*\* IPROS Ingegneria Ambientale s.r.l., Corso del Popolo, 8 - 35131 Padova*



**ISPRA**

Istituto Superiore per la Protezione  
e la Ricerca Ambientale

**Cesenatico, 27-28 maggio 2010**

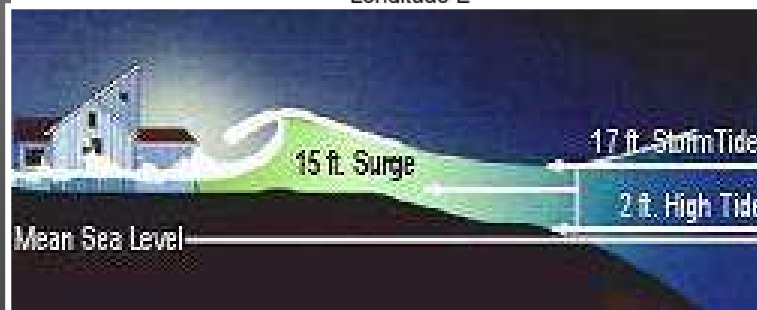
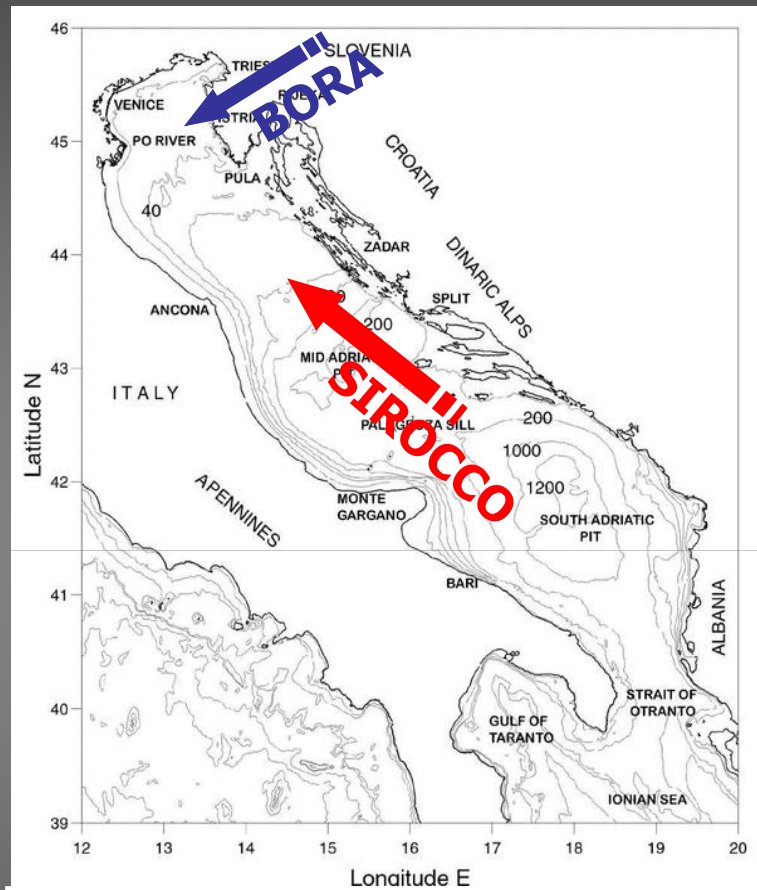


# Aree Costiere Nord-Orientali a rischio di inondazione (sea level rise, storm surge)

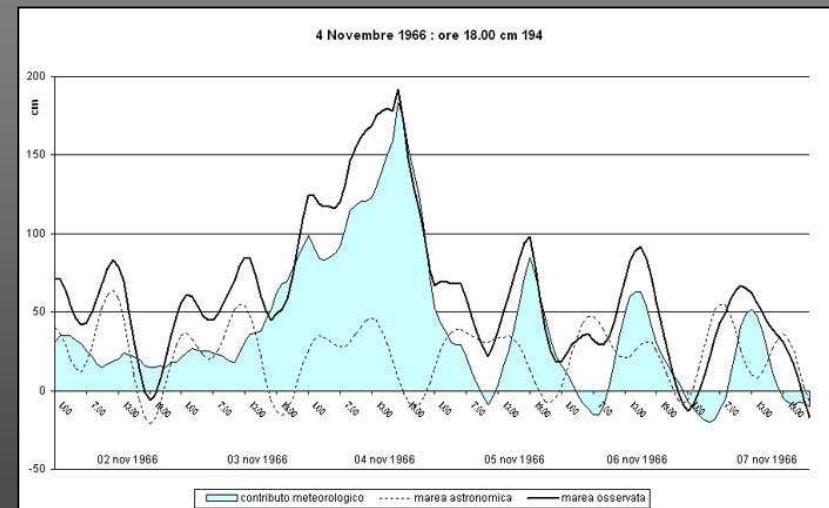
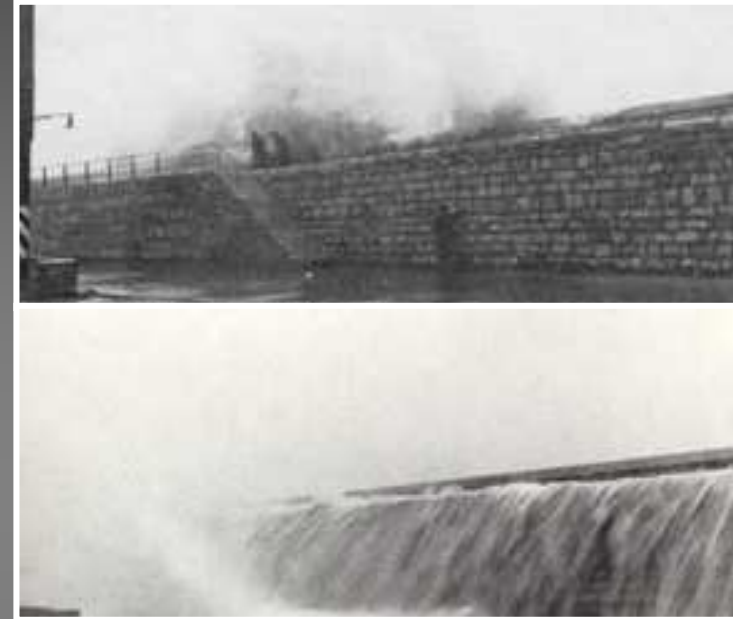
- presenza delle lagune e dei tronchi terminali dei grandi fiumi
- oltre 300 km di spiagge sedimentarie
- pendenza del fondo marino 2 - 11 m/km
- presenza di strutture di difesa costiera per oltre il 60%
- 2.375 km<sup>2</sup> al di sotto del l.m.m. soggette a deflusso meccanico

**SUBSIDENCE**  
**natural + induced**

# Storm Surge & Mareggiate



4<sup>th</sup> November 1966

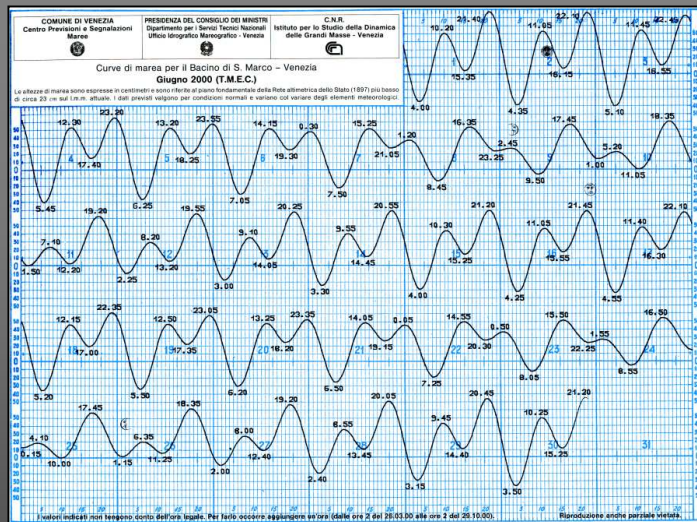




# LA PREVISIONE DEI FENOMENI DI *STORM SURGE* NEL NORD ADRIATICO

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,

$\tau$  indica l'anticipo con cui viene prevista l'altezza  $\Delta$ ,

$a_0(\tau)$

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)*

$c_i^k(\tau)$

$\Pi^k$

sono i predittori

$\Delta t$  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)

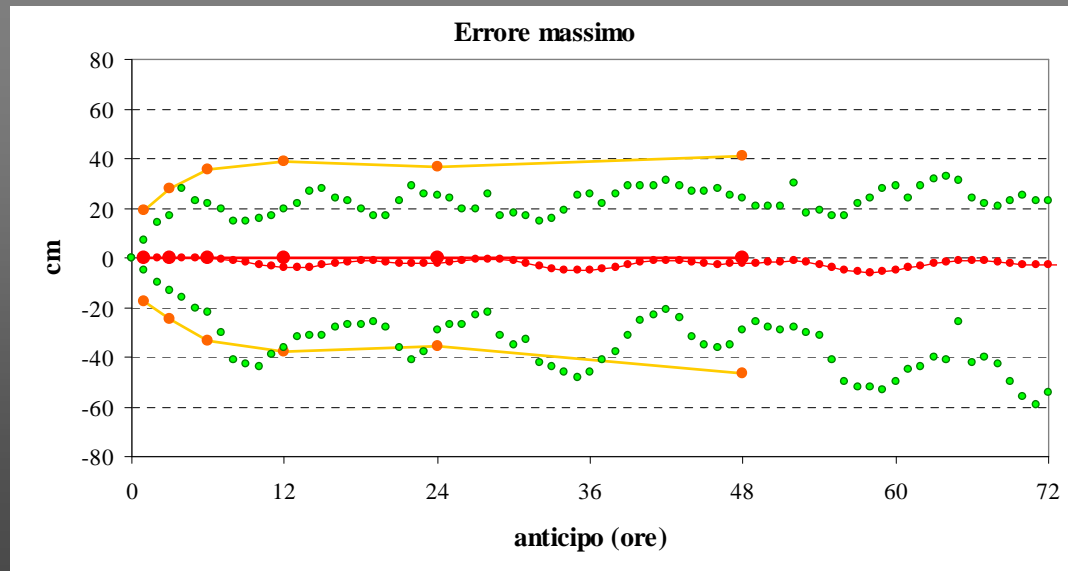
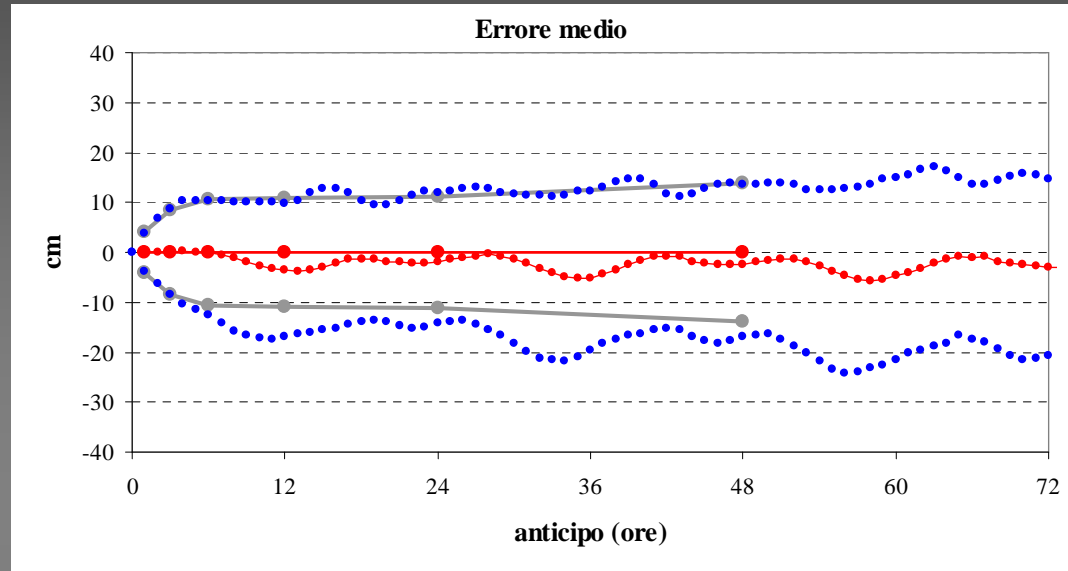
Valori tri-orari:

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



## Stazione di Venezia Punta della Salute

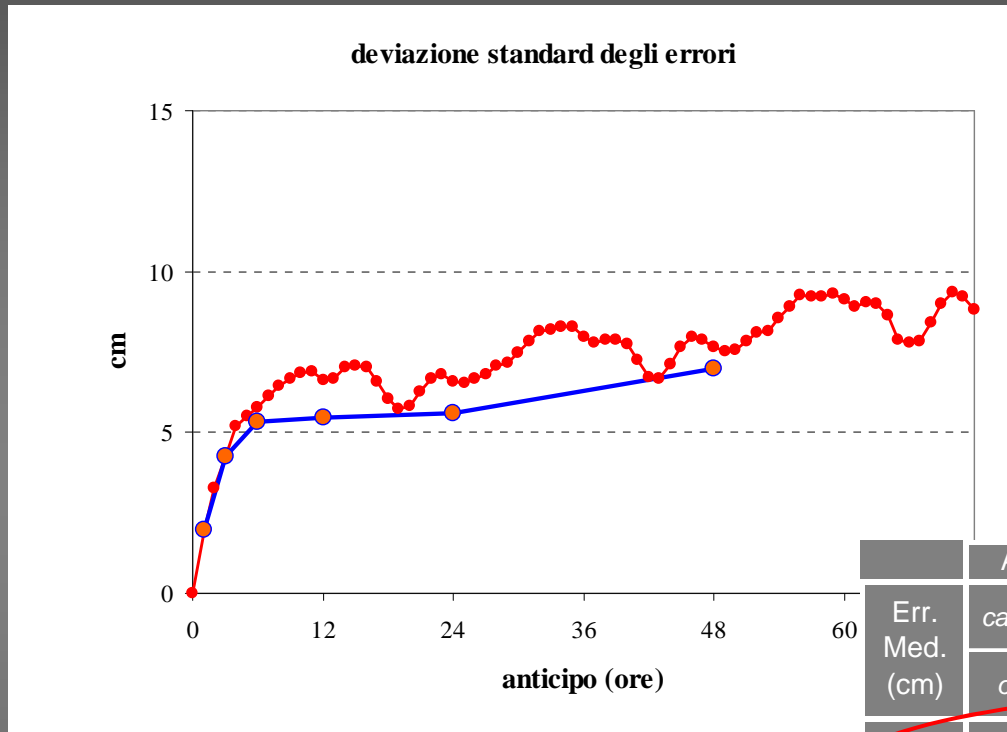
Confronto tra i risultati della calibrazione (2002-2006) e della fase operativa (5/3/2009 – 4/3/2010)





## Stazione di Venezia Punta della Salute

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

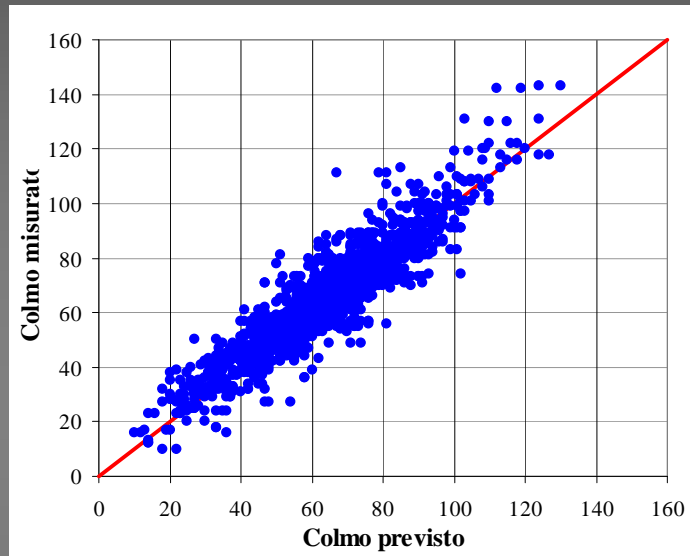


	Anticipo	1	3	6	12	24	48
Err. Med. (cm)	calibrazione	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	operativo	-0.1	0.1	-1.9	-2.4	-2.6	-2.8
Dev. Stand. (cm)	calibrazione	2.0	4.3	5.3	5.4	5.6	7.0
	operativo	1.9	4.2	6.1	6.8	7.1	8.0
Err. Max (cm)	calibrazione	19.2	28.1	35.4	38.7	36.9	41.3
	operativo	7.0	19.7	19.0	21.9	21.1	24.7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

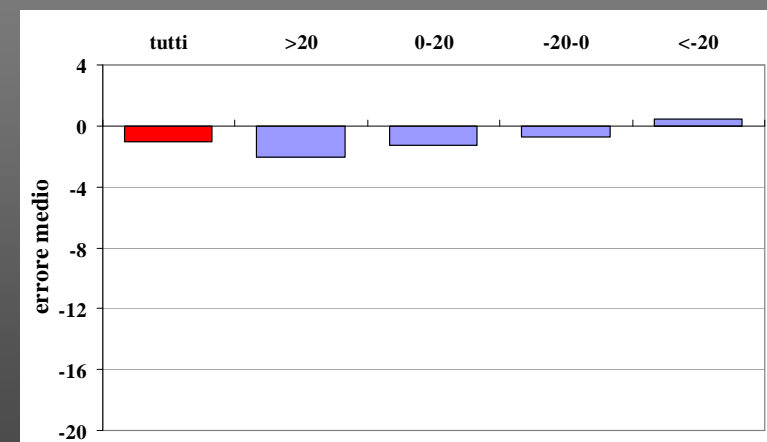
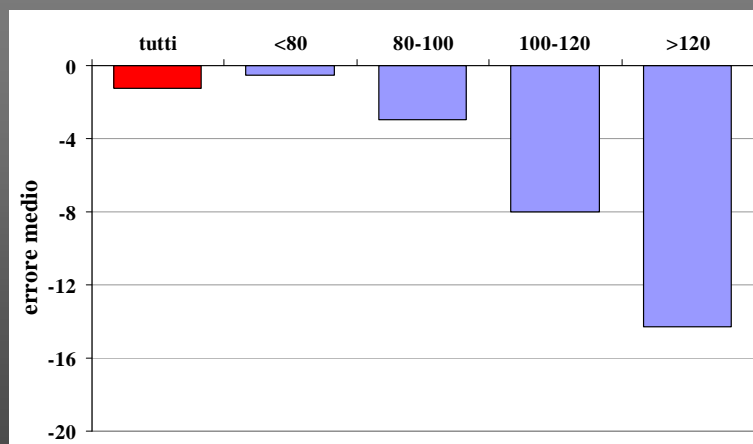
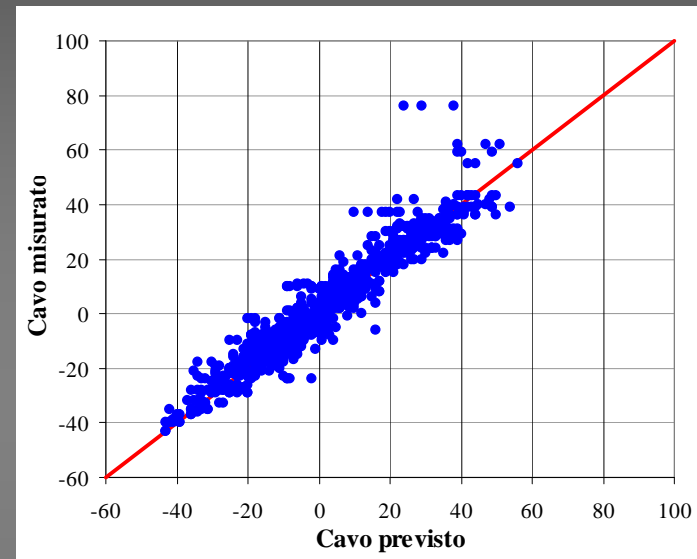
## Stazione di Venezia Punta della Salute

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

Colmi di marea

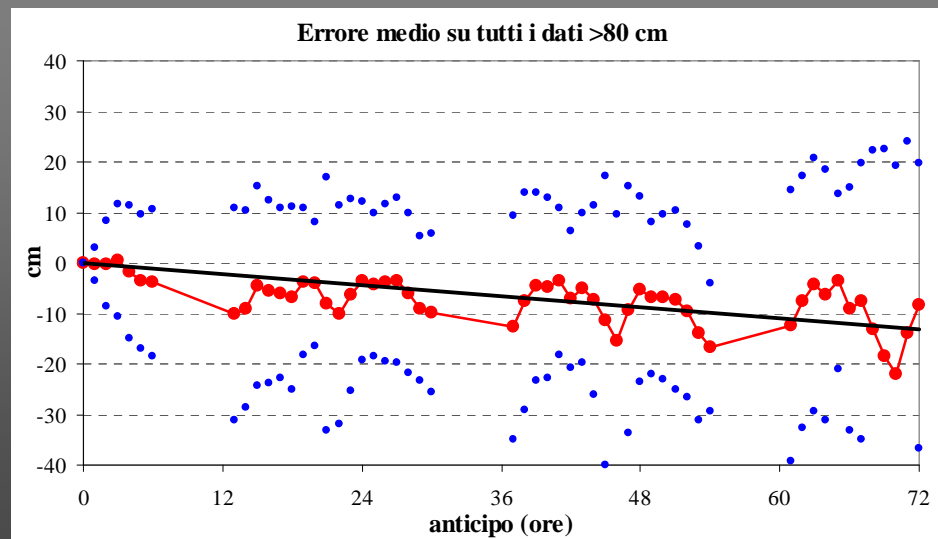
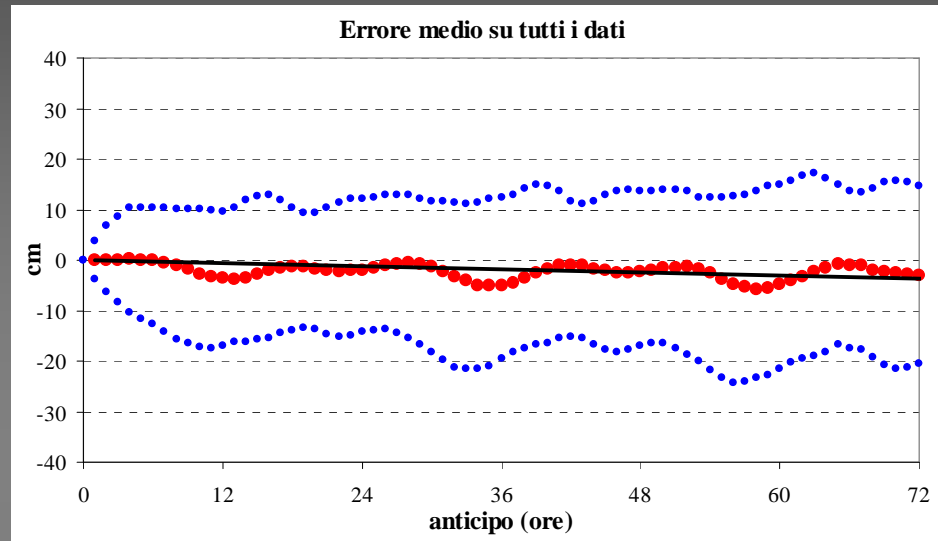


Cavi di marea



## Stazione di Venezia Punta della Salute

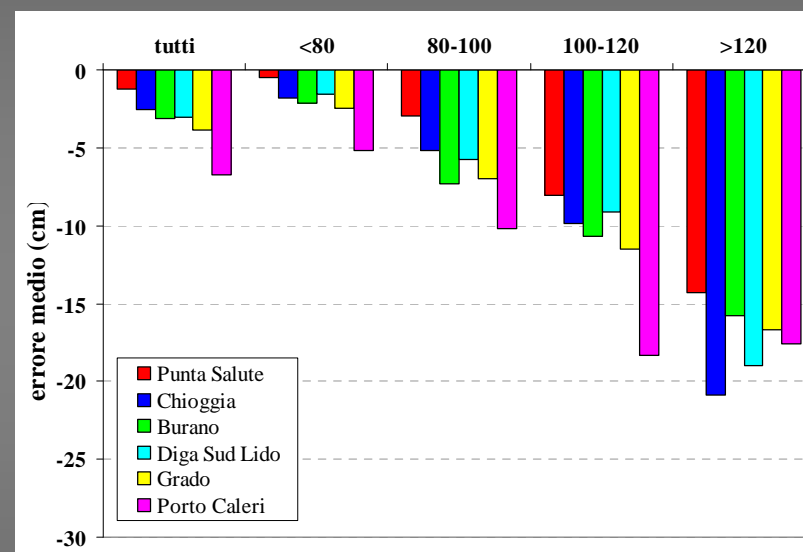
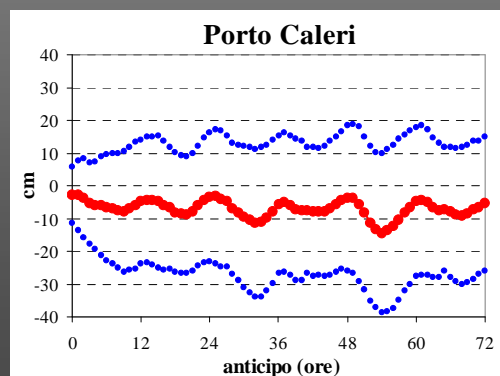
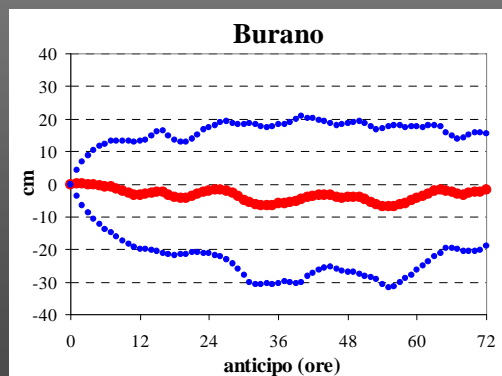
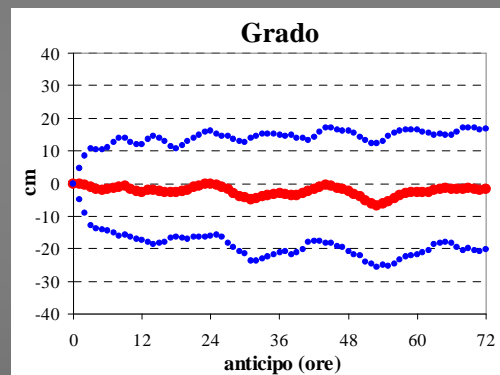
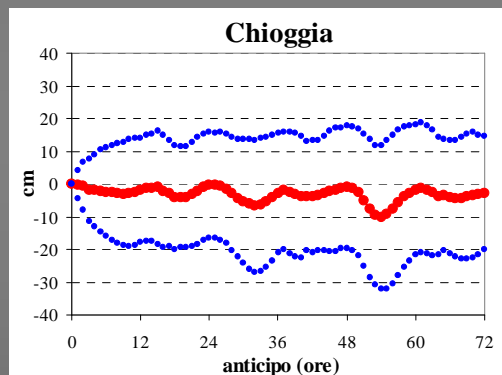
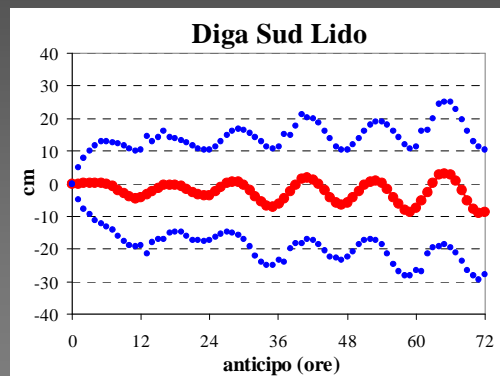
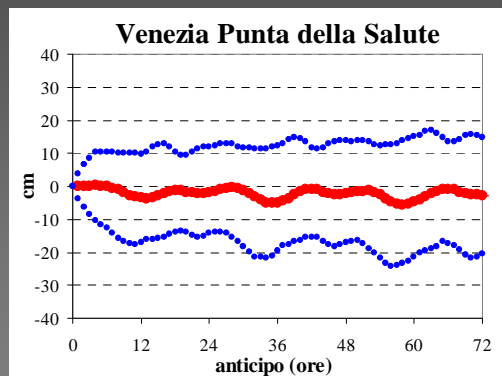
*Fase operativa (5/3/2009 – 4/3/2010) Risultati della previsione sui dati >80 cm*



	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 &gt;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 &gt;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 &gt;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 &gt;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

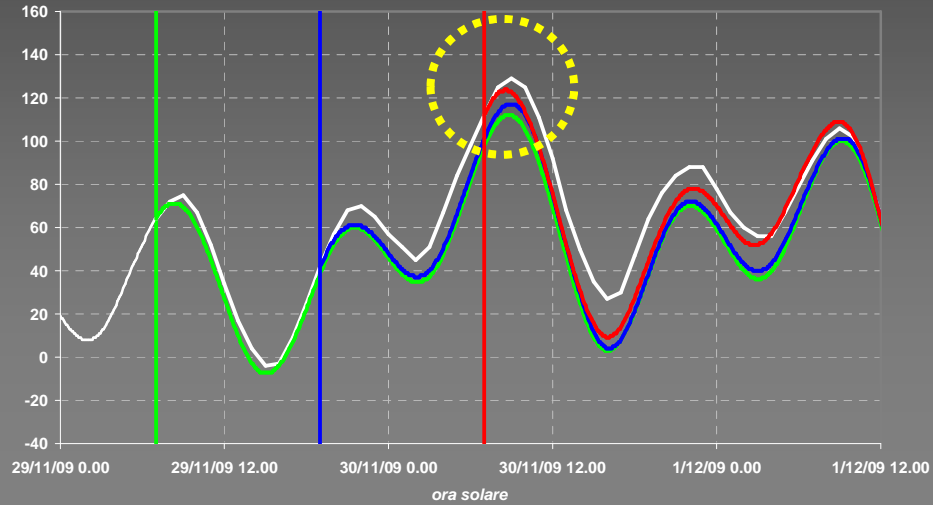
*Fase operativa (5/3/2009 – 4/3/2010)*



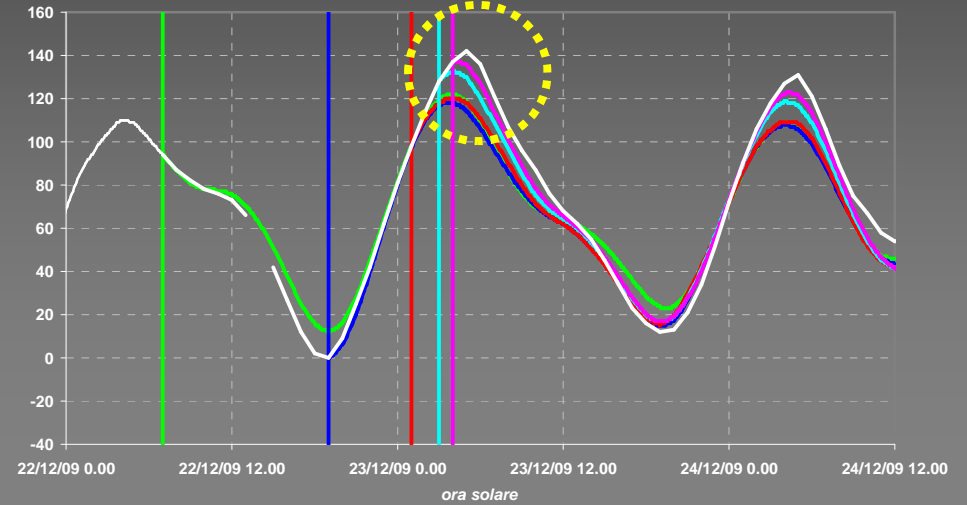


# PROGRESSIONE DELLA PREVISIONE

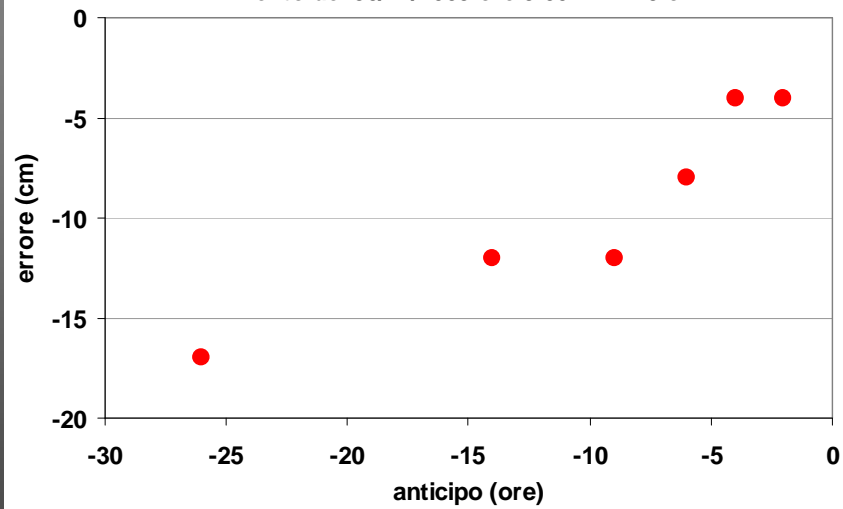
Previsione a Venezia Punta Salute  
Evento del 30/11/2009 ore 9 -  $h=129$  cm



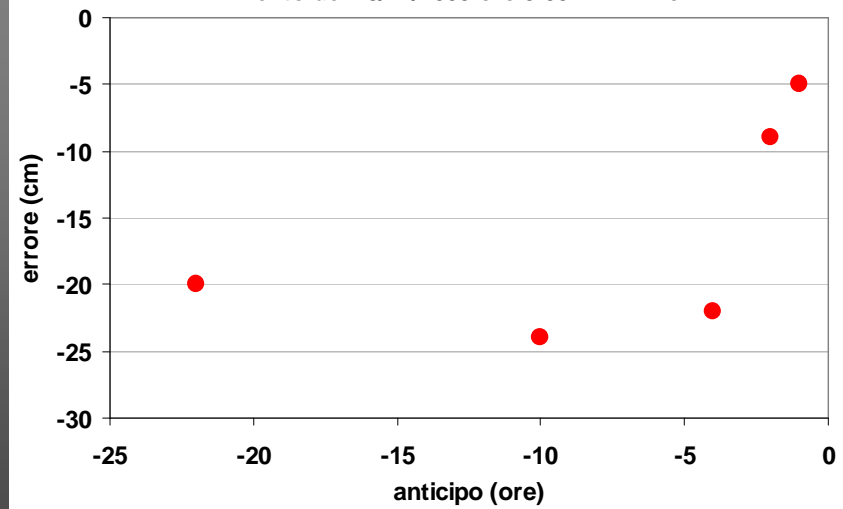
Previsione a Venezia Punta Salute  
Evento del 23/12/2009 ore 5 -  $h=142$  cm



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

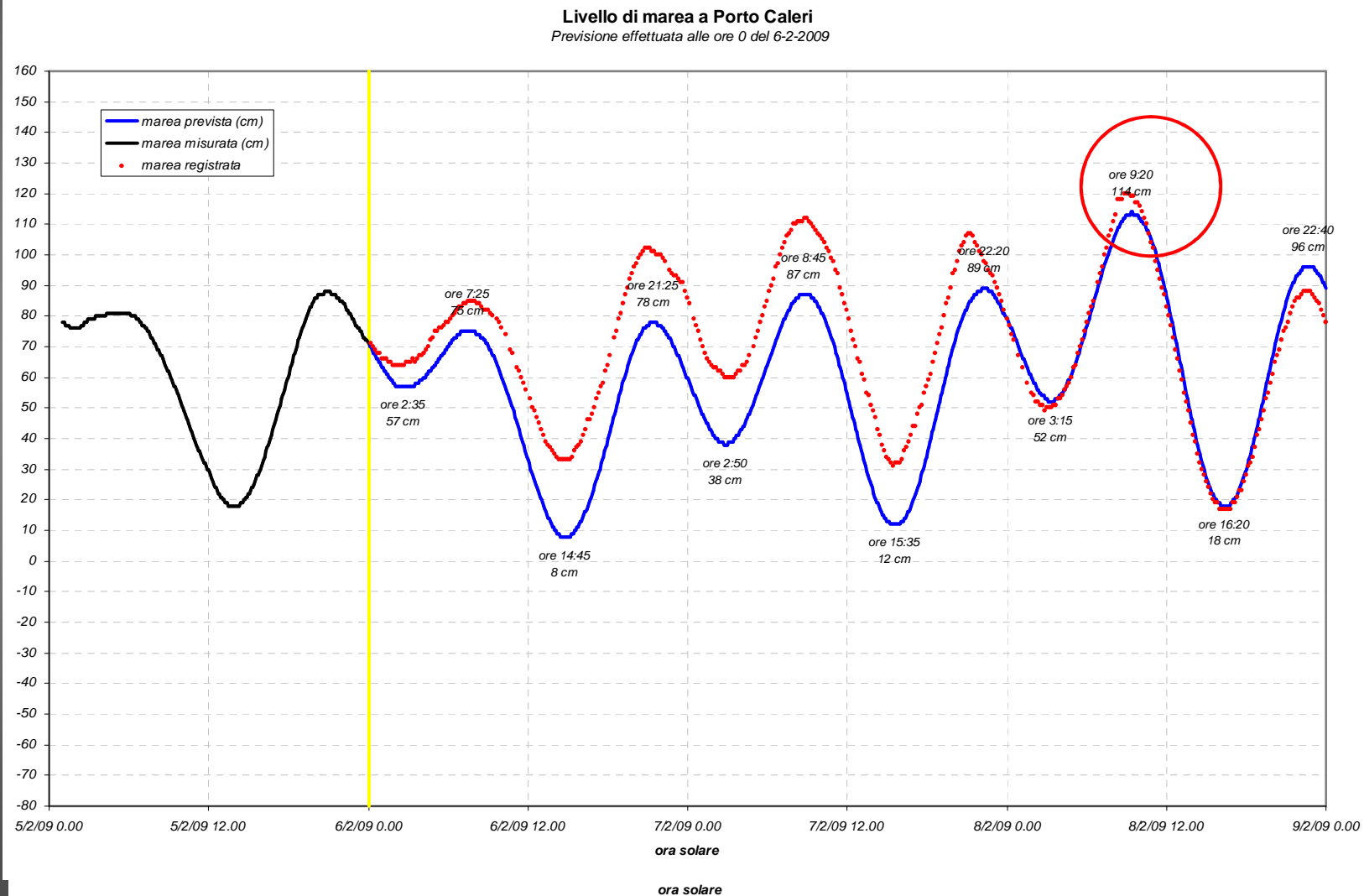


Evento del 23/12/2009 ore 5.00 -  $h=142$  cm

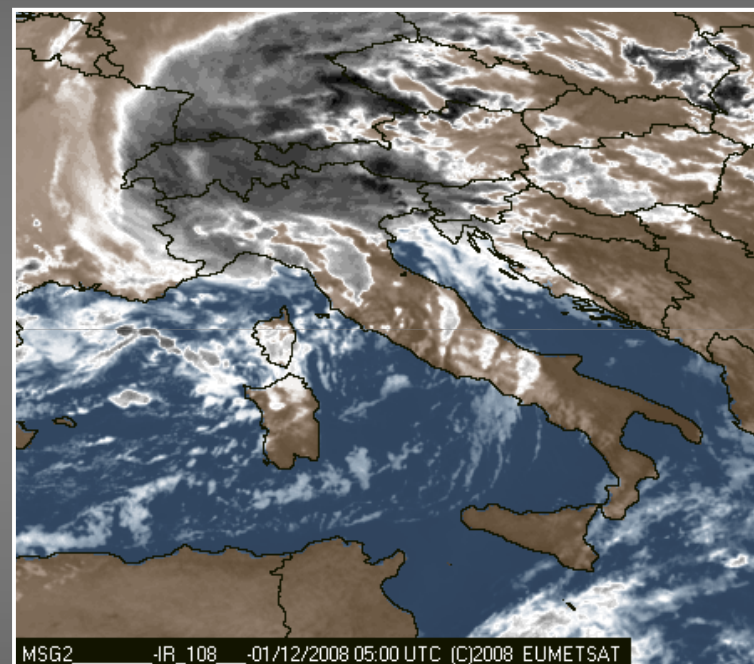
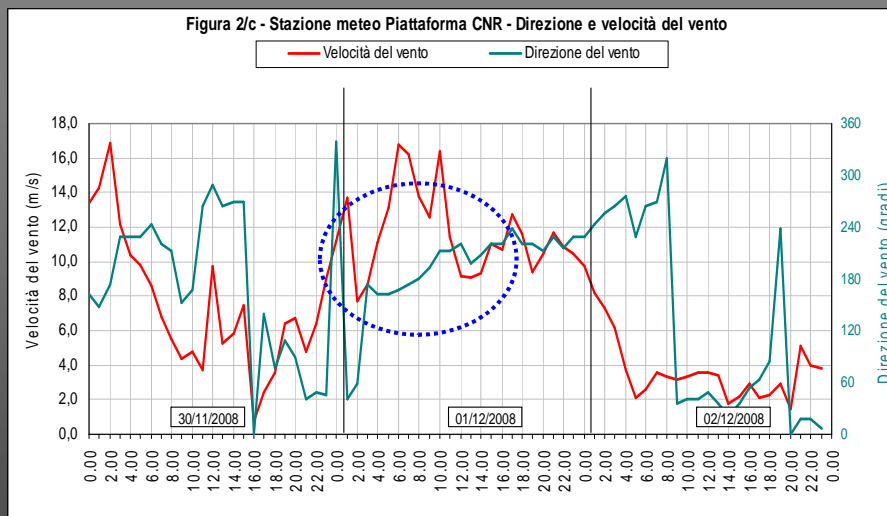
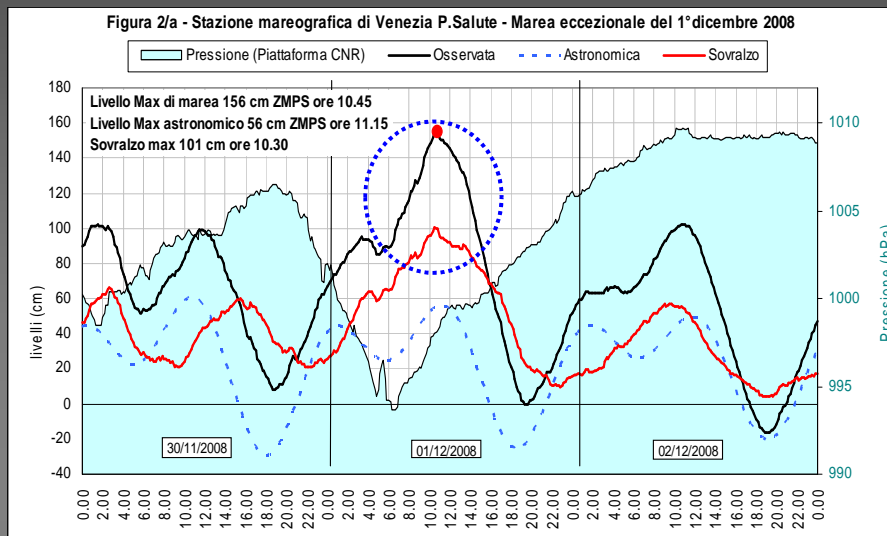


# L'APPROCCIO STATISTICO: IL MODELLO ISPRA *MSM\_2008*

## L'EVENTO 090208 – PUNTA SALUTE 123 cm ZMPS 9.50



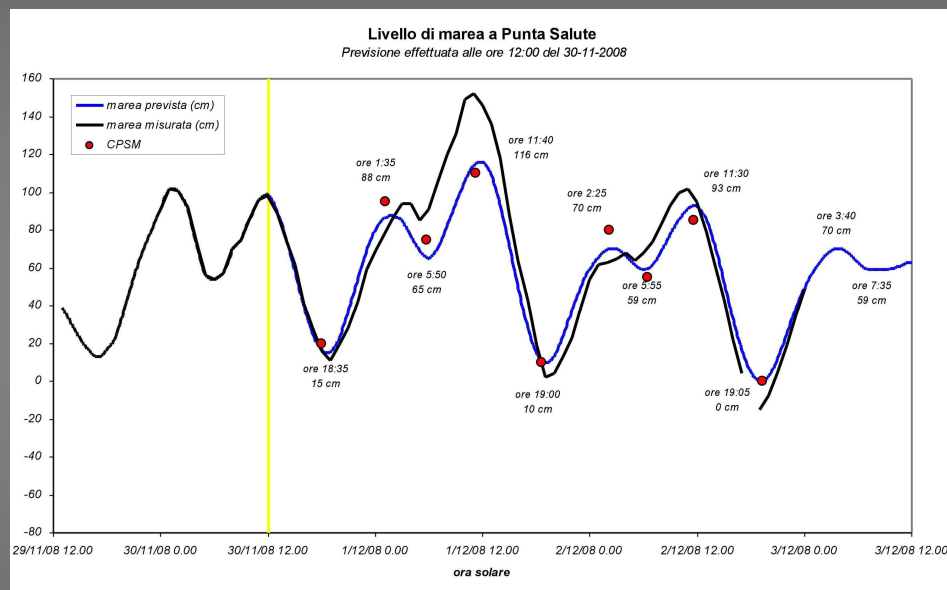
# L'EVENTO 081201 – 156 cm ZMPS 4° CASO STORICO



# L'APPROCCIO STATISTICO: IL MODELLO ISPRA *MSM\_2008*

## L'EVENTO 081201 – PUNTA SALUTE 156 cm ZMPS

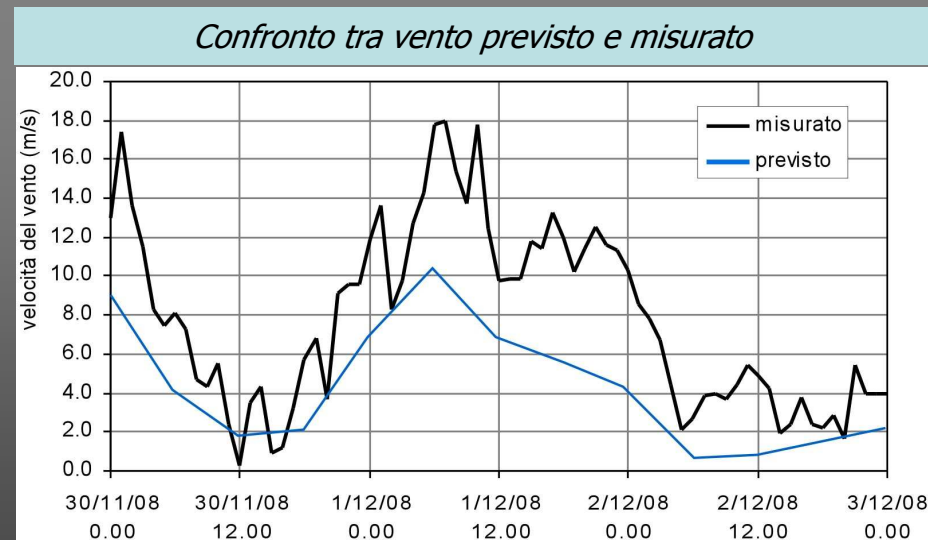
Ricostruzione dell'evento in configurazione operativa (FORACAST) dati esaorari di 4P e S (ECMRWF)



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

**Prev. 1200301108**

**$\epsilon = -40$  cm**

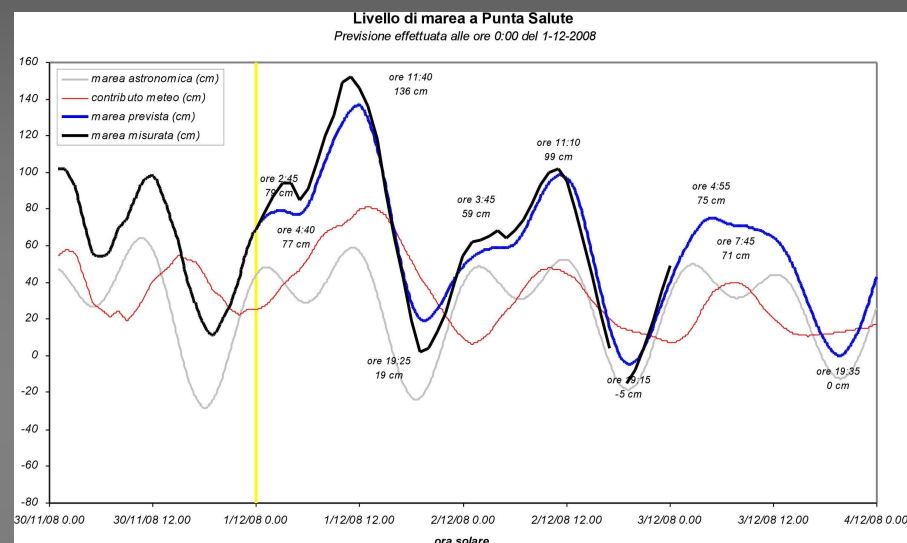
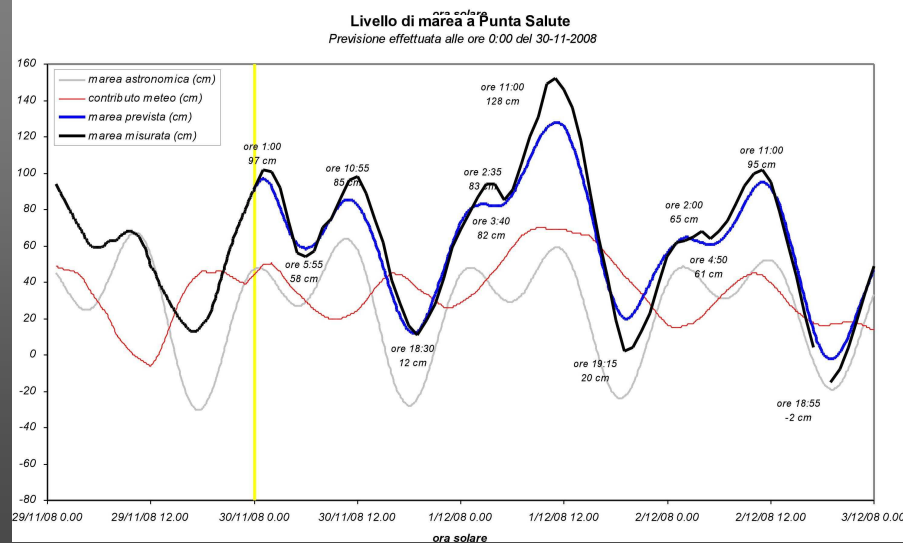
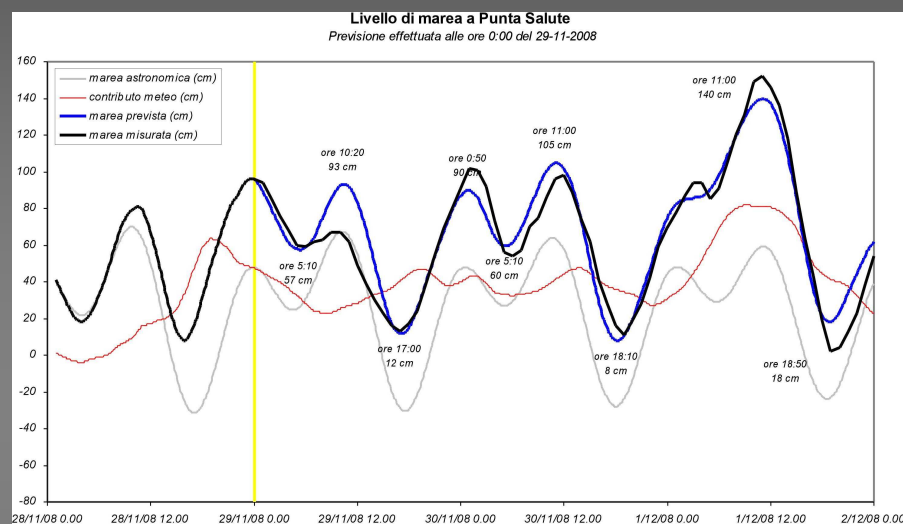




# L'APPROCCIO STATISTICO: IL MODELLO ISPRA *MSM\_2008*

## 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



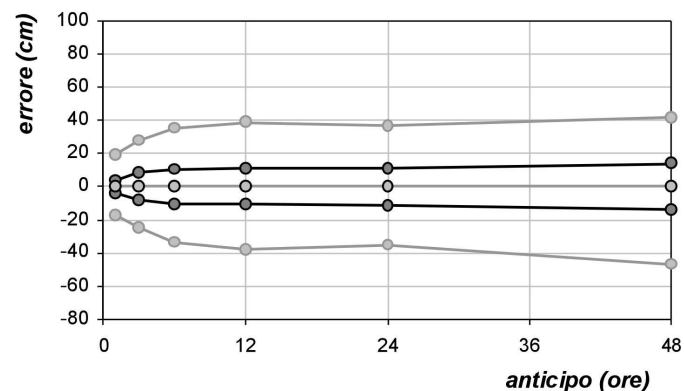
# L'APPROCCIO STATISTICO: IL MODELLO ISPRA *MSM\_2008*

## ANALISI DI SENSITIVITA' – PUNTA DELLA SALUTE

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

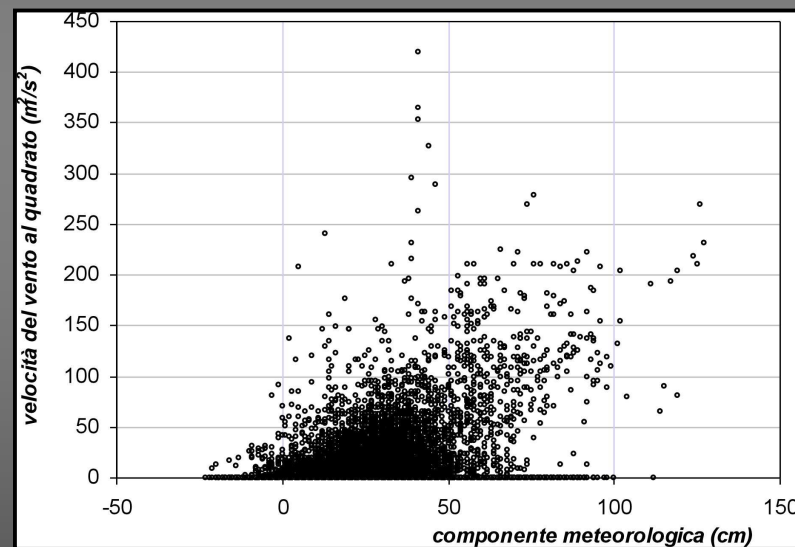
Indice di accuratezza  $IA = \varepsilon_{med} \pm 2\sigma$

<i>Punta della Salute 2002-2006</i>						
anticipo	1 ora	3 ore	6 ore	12 ore	24 ore	48 ore
indice di accuratezza	$0 \pm 4.0$	$0 \pm 8.5$	$0 \pm 10.7$	$0 \pm 10.9$	$0 \pm 11.2$	$0 \pm 14.0$
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*



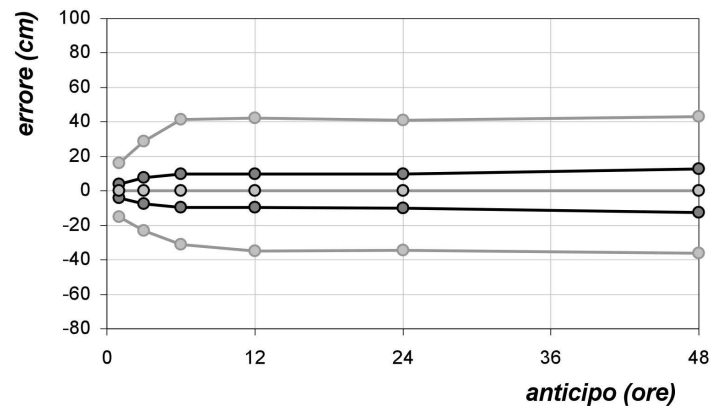
# L'APPROCCIO STATISTICO: IL MODELLO ISPRA *MSM\_2008*

## ANALISI DI SENSITIVITA' – CHIOGGIA

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

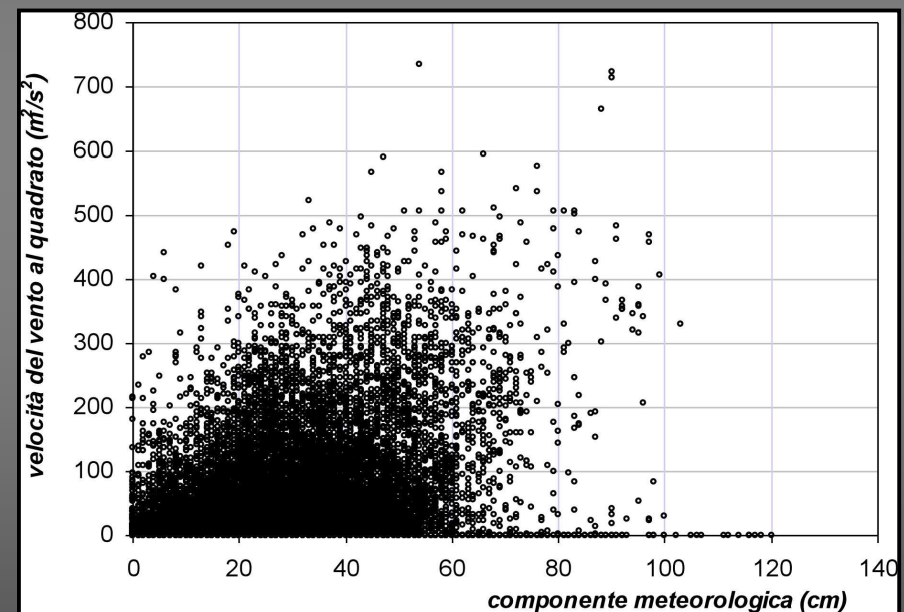
$$\text{Indice di accuratezza } IA = \varepsilon_{med} \pm 2\sigma$$

Chioggia 2002-2006						
anticipo	1 ora	3 ore	6 ore	12 ore	24 ore	48 ore
indice di accuratezza	$0 \pm 4.0$	$0 \pm 7.7$	$0 \pm 9.6$	$0 \pm 9.8$	$0 \pm 10.0$	$0 \pm 12.5$
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