



I Modelli di Previsione Meteo- Marina del Centro Nazionale di Meteorologia e Climatologia Aeronautica

Lucio Torrisi

*CUGRI
Università di Salerno, 13 Dicembre 2010*





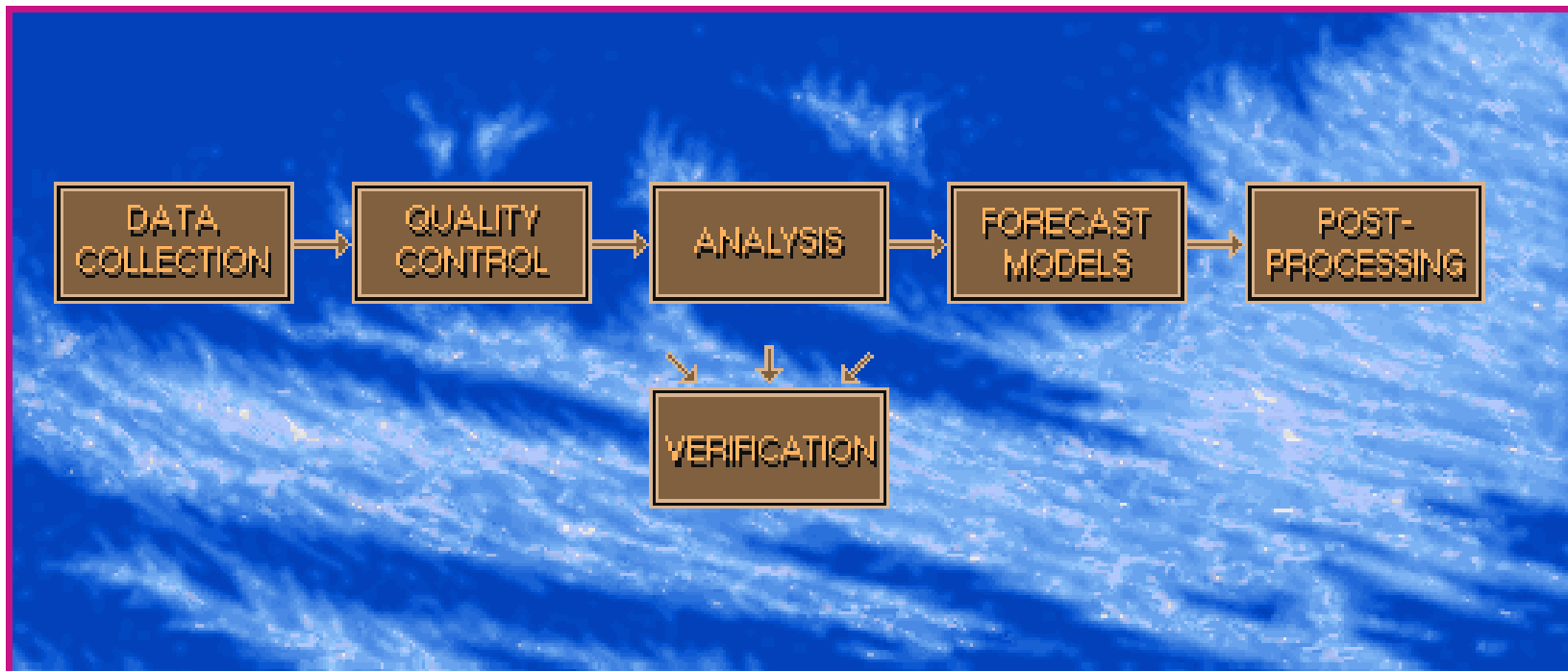
Overview:

- Il processo di previsione: il modello numerico e l'assimilazione dati
- Il sistema operativo di previsione numerica del CNMCA
 - Modelli atmosferici
 - Modelli delle onde
- Approccio probabilistico





Il Processo di Previsione Numerica





Cosa è un Modello Numerico?

L'atmosfera è un sistema dinamico con molti gradi di libertà. Lo stato dell'atmosfera è definito dalla distribuzione spaziale di vento, temperatura, pressione e altre variabili. La loro evoluzione temporale è descritta da un insieme di relazioni matematiche che rappresentano i processi fisico/dinamici agenti nell'atmosfera. Esse sono derivate applicando le leggi di conservazione della quantità di moto, del calore, della massa e dell'acqua. *Le equazioni non possono essere risolte analiticamente; si fa uso di metodi numerici.*

Modello numerico: rappresentazione matematica dei processi dinamici, fisici e chimici agenti nell'atmosfera.

- **Temperatura**

$$\frac{\partial T}{\partial t} = - \left\{ \frac{1}{a \cos \varphi} \left(u \frac{\partial T}{\partial \lambda} + v \cos \varphi \frac{\partial T}{\partial \varphi} \right) \right\} - \zeta \frac{\partial T}{\partial \zeta} - \frac{1}{\rho c_{vd}} p \nabla \cdot \vec{v} + Q_t$$

- **Vapore acqueo**

$$\frac{\partial q^v}{\partial t} = - \left\{ \frac{1}{a \cos \varphi} \left(u \frac{\partial q^v}{\partial \lambda} + v \cos \varphi \frac{\partial q^v}{\partial \varphi} \right) \right\} - \zeta \frac{\partial q^v}{\partial \zeta} - (S^l + S^f) + M_{q^v}$$

- **Acqua allo stato solido e liquido**

$$\frac{\partial q^{l,f}}{\partial t} = - \left\{ \frac{1}{a \cos \varphi} \left(u \frac{\partial q^{l,f}}{\partial \lambda} + v \cos \varphi \frac{\partial q^{l,f}}{\partial \varphi} \right) \right\} - \zeta \frac{\partial q^{l,f}}{\partial \zeta} - \frac{g}{\sqrt{\lambda}} \frac{\rho_0}{\rho} \frac{\partial P_{l,f}}{\partial \zeta} + S^{l,f} + M_{q^{l,f}}$$

- **Densità totale dell'aria**

$$\rho = p \left\{ R_d \left(1 + \left(\frac{R_v}{R_d} - 1 \right) q^v - q^l - q^f \right) T^{-1} \right\}$$

$$\text{ove } \sqrt{\gamma} \equiv \frac{\partial p_0}{\partial \zeta}, \quad E_h = \frac{1}{2}(u^2 + v^2) \text{ e } V_a = \frac{1}{a \cos \varphi} \left\{ \frac{\partial v}{\partial \lambda} - \frac{\partial}{\partial \varphi} (u \cos \varphi) \right\} + f.$$

- **Velocità orizzontale del vento**

$$\frac{\partial u}{\partial t} = - \left\{ \frac{1}{a \cos \varphi} \frac{\partial E_h}{\partial \lambda} - v V_a \right\} - \zeta \frac{\partial u}{\partial \zeta} - \frac{1}{\rho a \cos \varphi} \left(\frac{\partial p'}{\partial \lambda} - \frac{1}{\sqrt{\gamma}} \frac{\partial p_0}{\partial \lambda} \frac{\partial p'}{\partial \zeta} \right) + M_u$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} = - \left\{ \frac{1}{a} \frac{\partial E_h}{\partial \varphi} - V_a \right\} - \zeta \frac{\partial v}{\partial \zeta} - \frac{1}{\rho a} \left(\frac{\partial p'}{\partial \varphi} - \frac{1}{\sqrt{\gamma}} \frac{\partial p_0}{\partial \varphi} \frac{\partial p'}{\partial \zeta} \right) + M_v$$

- **Velocità verticale**

$$\frac{\partial w}{\partial t} = - \left\{ \frac{1}{a \cos \varphi} \left(u \frac{\partial w}{\partial \lambda} + v \cos \varphi \frac{\partial w}{\partial \varphi} \right) \right\} - \zeta \frac{\partial w}{\partial \zeta} + \frac{g}{\sqrt{\gamma}} \frac{\rho_0}{\rho} \frac{\partial p'}{\partial \zeta} + \frac{g}{\sqrt{\gamma}} \frac{\rho_0}{\rho} \left\{ \frac{(T - T_0)}{T} - \frac{T_0 p'}{T R_B} + \left(\frac{R_v}{R_d} - 1 \right) q^v - q^l - q^f \right\}$$

- **Perturbazione della pressione**

$$\frac{\partial p'}{\partial t} = - \left\{ \frac{1}{a \cos \varphi} \left(u \frac{\partial p'}{\partial \lambda} + v \cos \varphi \frac{\partial p'}{\partial \varphi} \right) \right\} - \zeta \frac{\partial p'}{\partial \zeta} + g \rho_0 w - \left(\frac{c_{pd}}{c_d} \right) p \nabla \cdot \vec{v}$$





ECMWF

The European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF, the Centre) is an intergovernmental organisation supported by 33 States, based in Reading, west of London, in the United Kingdom.



Atmospheric global model: 15km, 91 liv.vert., 240 h





Il Consorzio COSMO (1998)



The general goal of COSMO (Germany, Switzerland, Italy, Greece, Poland, Romania) is to develop, improve and maintain a non-hydrostatic limited area modelling system to be used both for operational and for research applications by the members of COSMO. COSMO is initially based on the “Lokal-Modell” (LM) of DWD.



Il Servizio Meteorologico Russo
è un nuovo membro

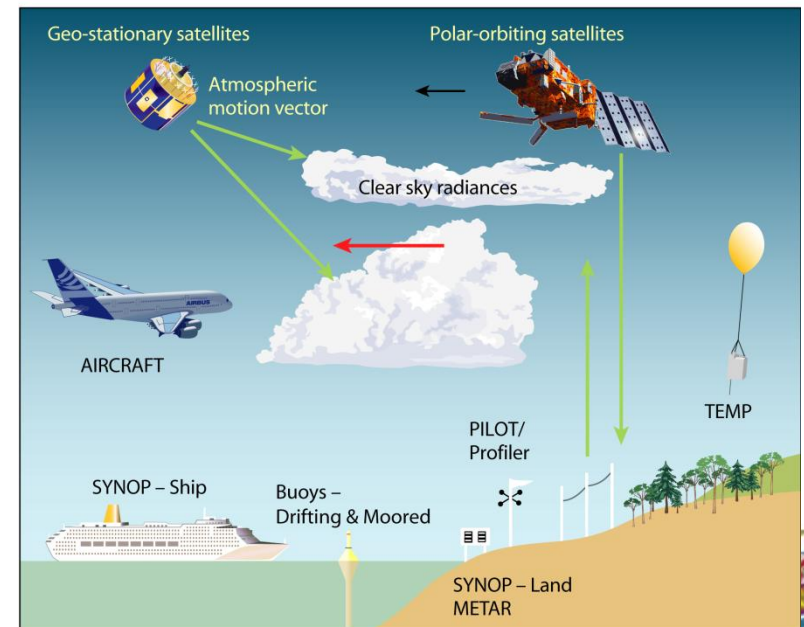
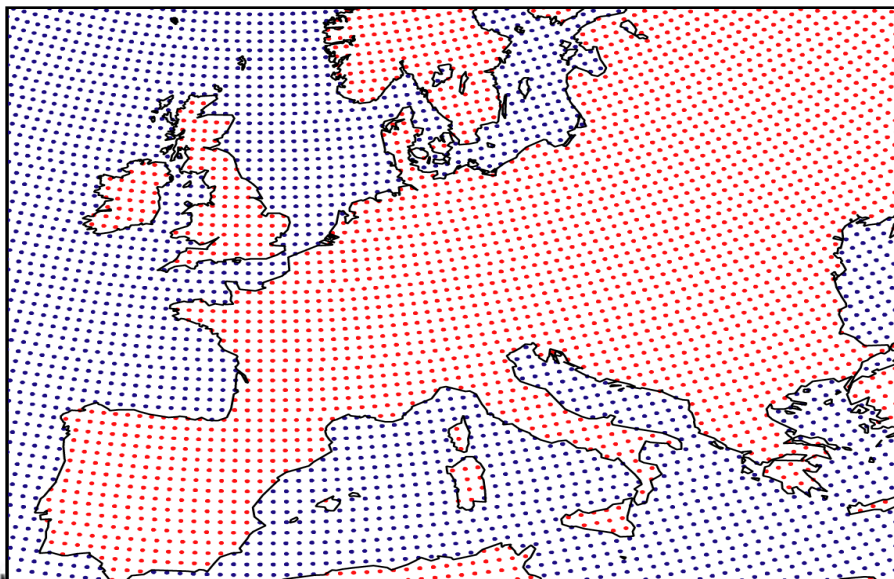


L' assimilazione dati

Tipicamente l'atmosfera è rappresentata tramite un grigliato tridimensionale, dove vengono integrate le equazioni.

La soluzione del sistema di equazioni richiede la conoscenza delle condizioni iniziali.

I valori iniziali delle variabili atmosferiche da specificare su ogni punto del grigliato sono ottenute tramite complesse procedure che fanno uso delle osservazioni.



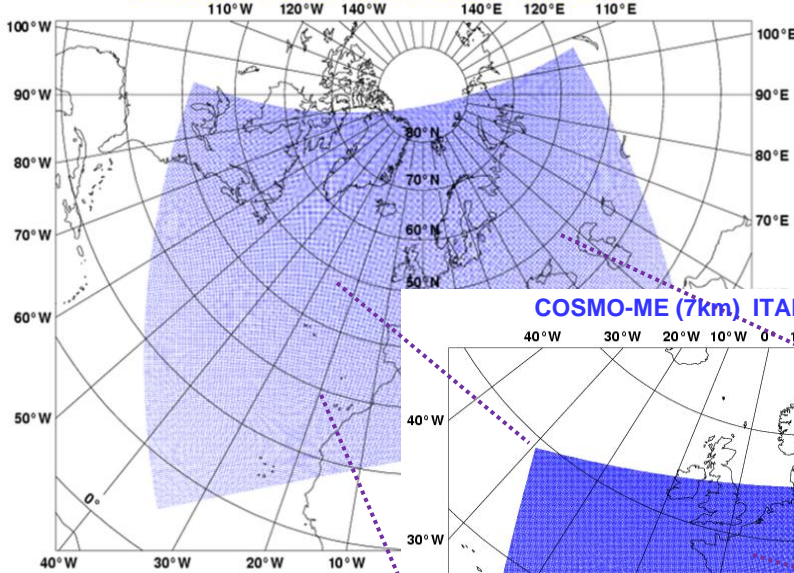


Sistema di Previsione Numerica CNMCA

Data Assimilation:

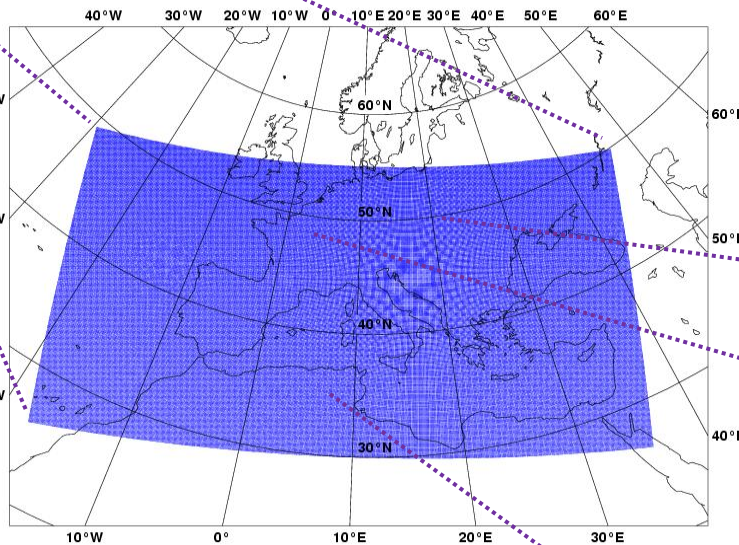
3DVAR PSAS FGAT (T,u,v,qv,ps) every 3h using
 TEMP, PILOT, SYNOP, SHIP, BUOY, Wind Profiler,
 AMSUA rad., AMDAR-ACAR-AIREP, MSG/MODIS
 AMV, METOP/QUIKSCAT/ERS2 scatt. winds
 + Land SAF snow mask,
 IFS SST analysis once a day

EURO-HRM (14Km) ITALIAN MET SERVICE



14 km
40 v.l.
 - hydrostatic equati
 - parameterized cor

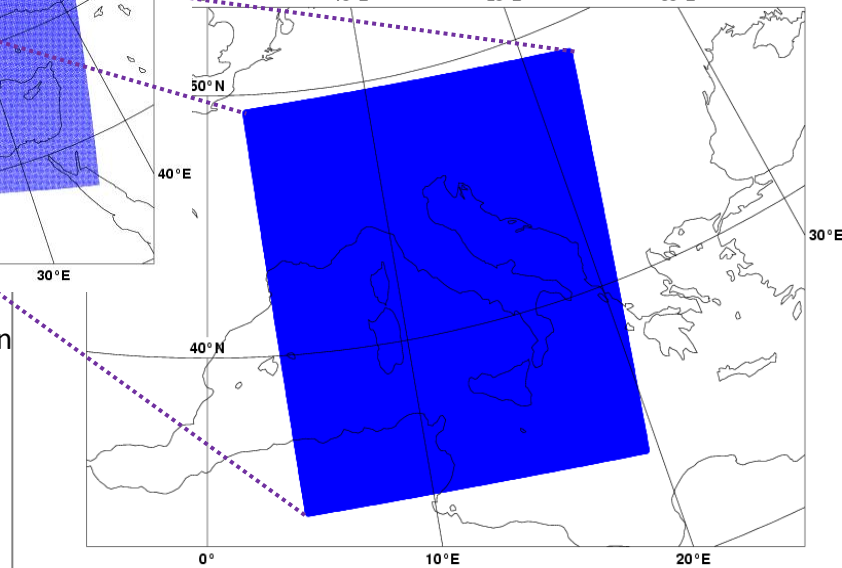
COSMO-ME (7km) ITALIAN MET SERVICE



7 km
40 v.l.
 - compressible equations
 - parameterized convection

2.8 km
50 v.l.
 - compressible equations
 - explicit convection

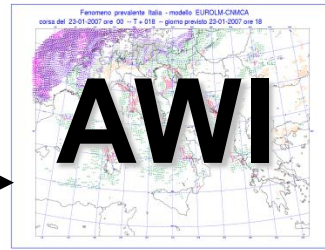
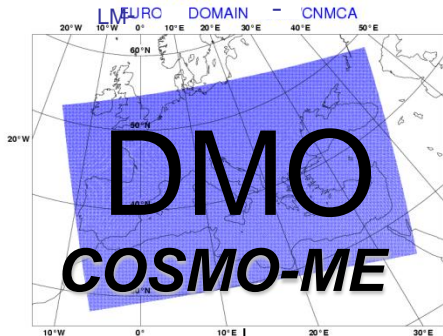
COSMO-IT (2.8Km) ITALIAN MET SERVICE



Local Area Modelling: COSMO



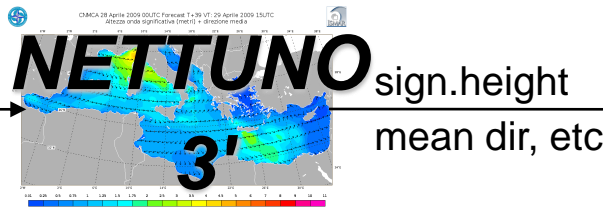
Post-Processing



temperature, humidity, cloudiness,
wind, pressure, precipitation, etc

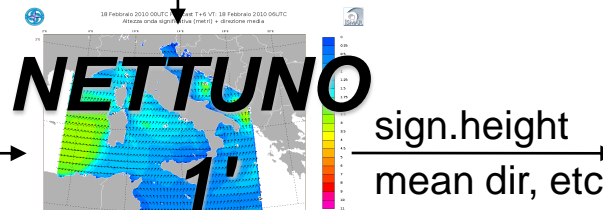
WW
cloud type

wind



sign.height
mean dir, etc

BC fields



sign.height
mean dir, etc

wind

prec., etc

Field dissemination
Graphics

MFS (Oceanic Model)

Field dissemination
(rotation / interp.)

Grid point
correction (det./statis.)

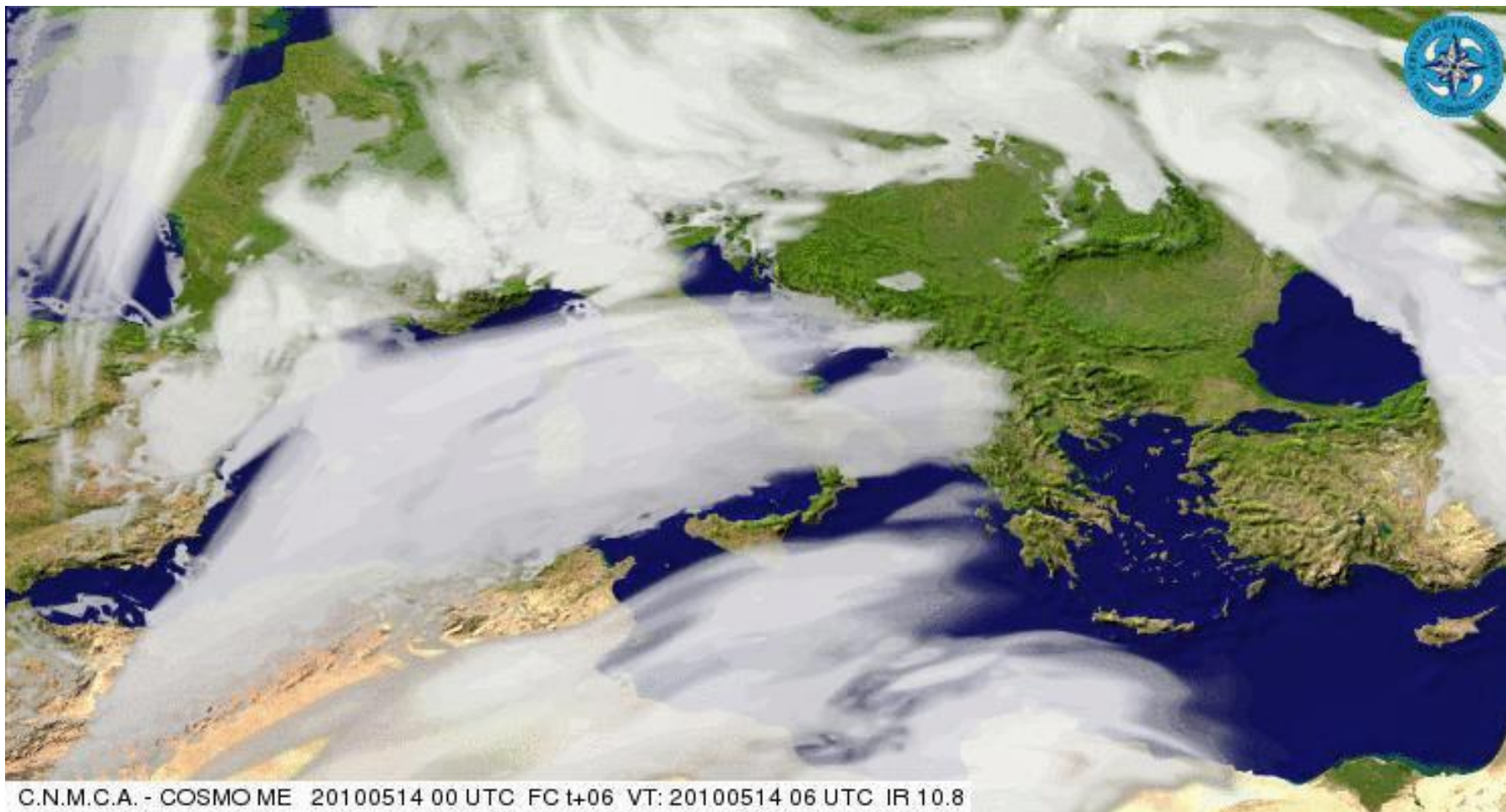
Text / Graphics

- FFAA / NATO/ NURC
- Civilian Protection Department
- RAI3 Regional Forecast (TV)
- EUMETSAT-HSAF
- SRNWP-PEPS
- COSMO verification WG
- RAI Teletext
- Intranet - prometeo.meteoam.it
- Internet - www.meteoam.it
- Other users





Immagini simulate da satellite



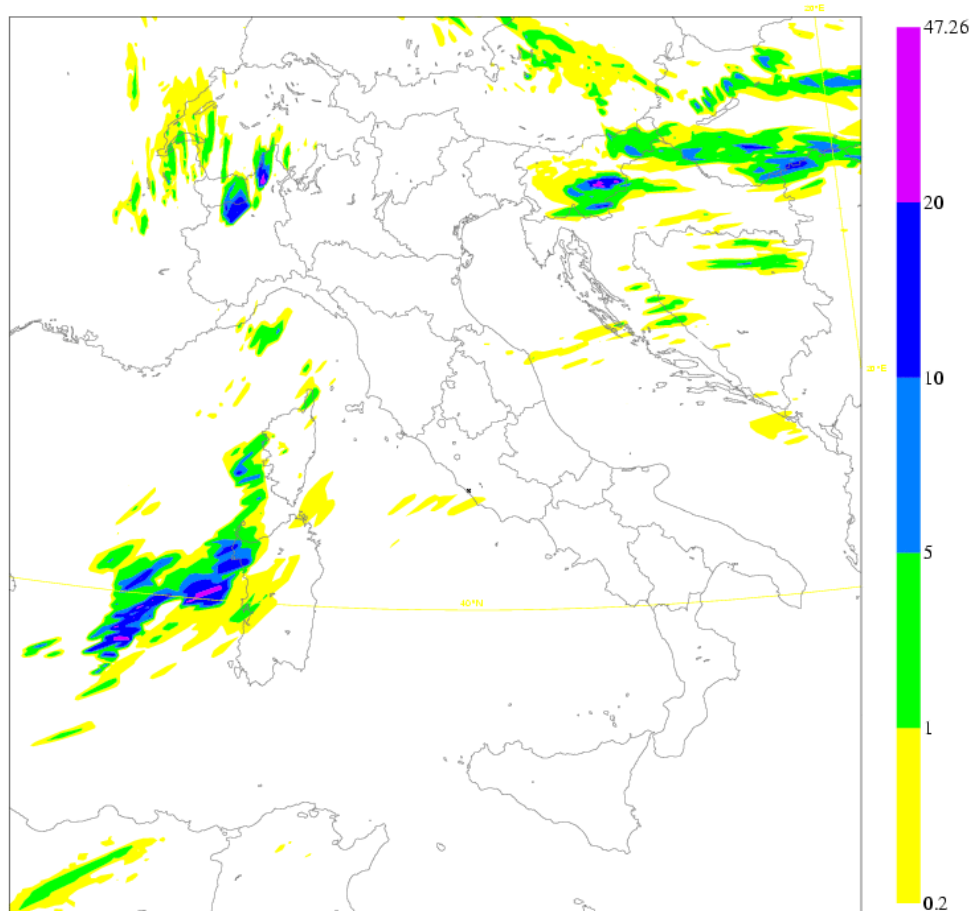
C.N.M.C.A. - COSMO ME 20100514 00 UTC FC t+06 VT: 20100514 06 UTC IR 10.8





Es. precipitazione prevista

Friday 12 September 2008 00UTC ROME Forecast t+24 VT: Saturday 13 September 2008 00UTC Surface: total precipitation in a 01 hours interval

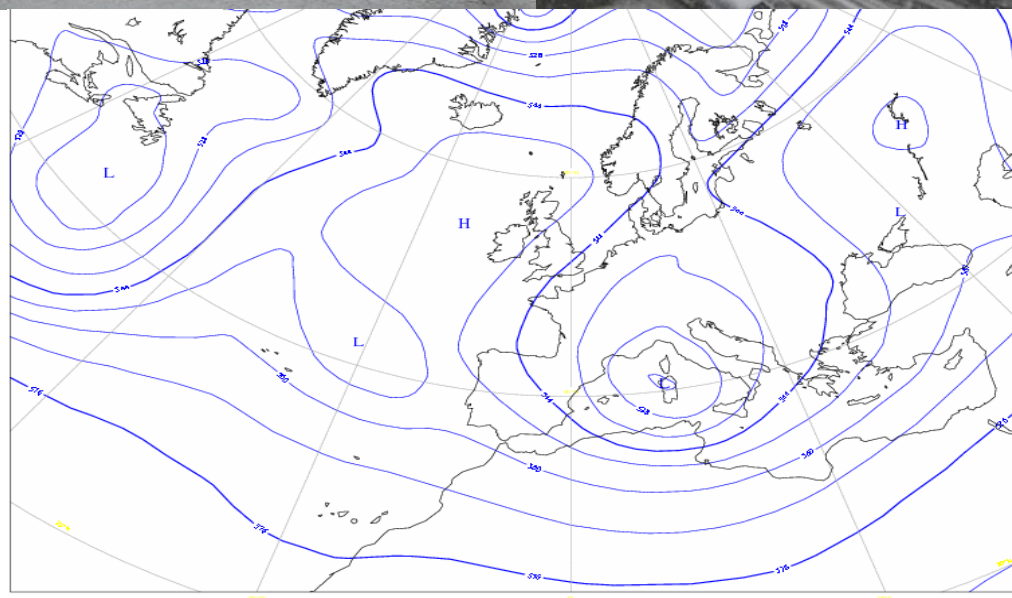


COSMO-IT





Nevicata su Roma 12 Febbraio

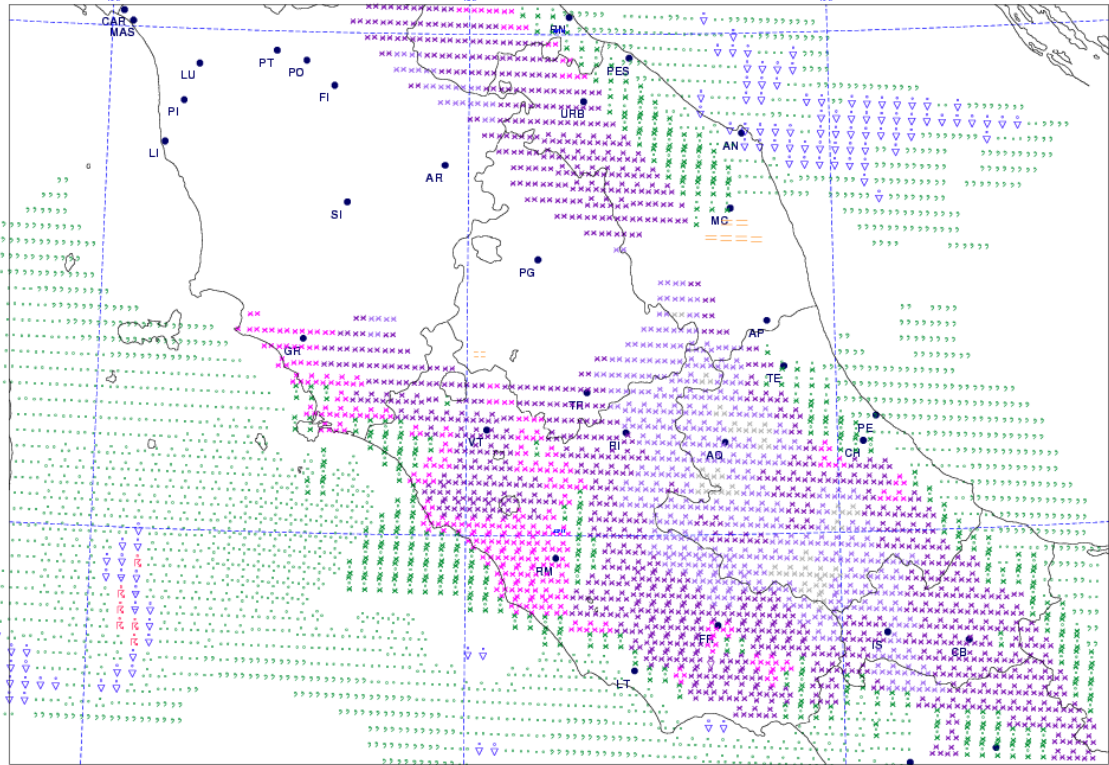




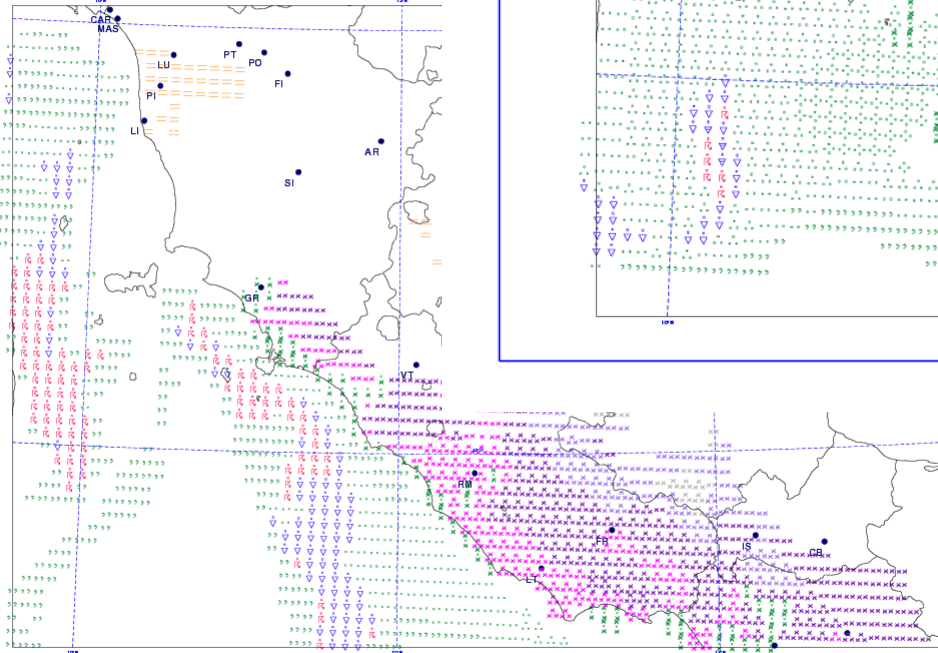
Automatic Weather Interpretation

Nevicata su Roma
12 feb 2010

Fenomeno prevalente CENTRO - modello COSMO-ME_CNMCA
corsa del 11-02-2010 ore 00 -- T + 030 -- giorno previsto 12-02-2010 ore 06



Fenomeno prevalente CEI
corsa del 09-02-2010 ore 00 -- T + 078 --

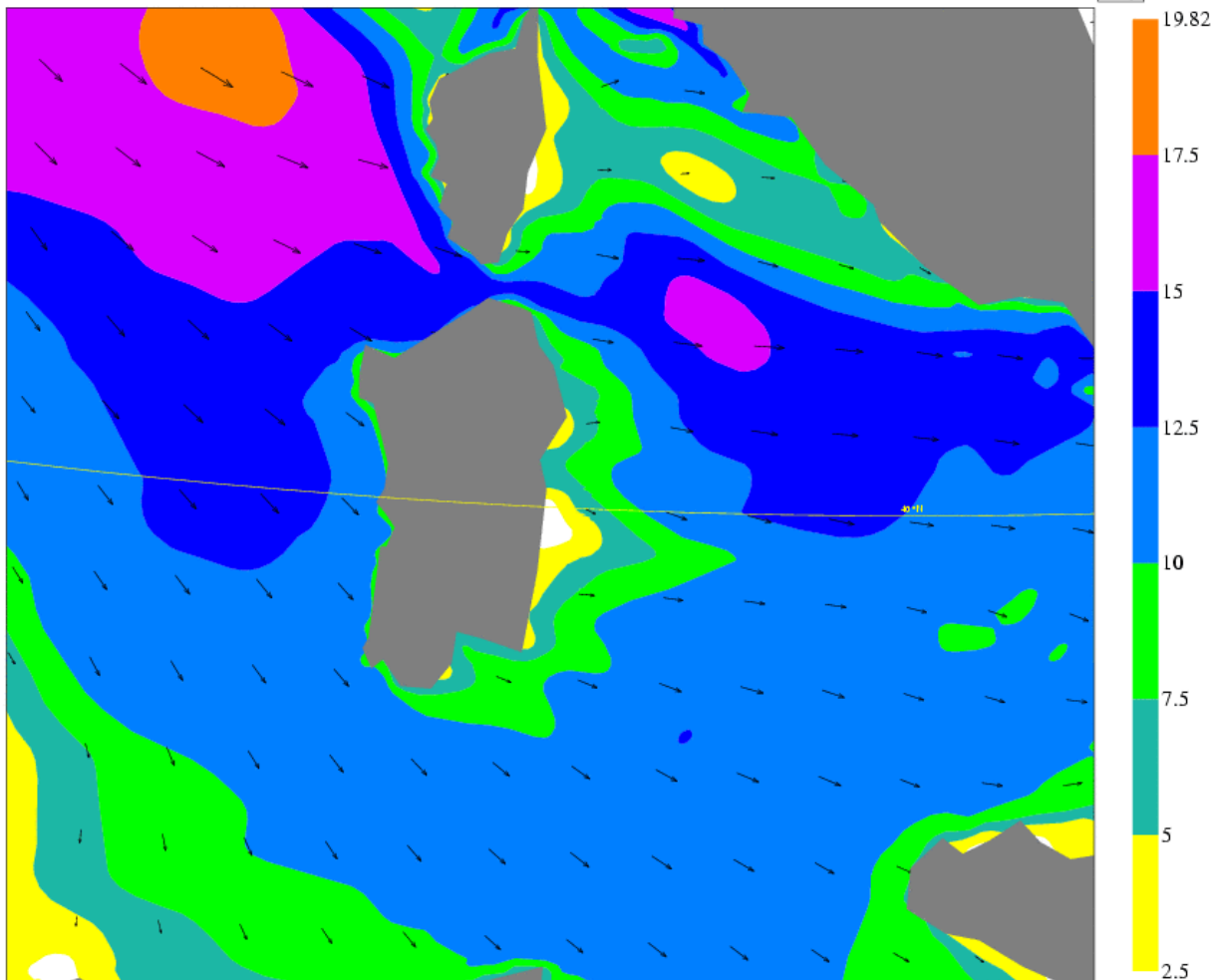




Es. vento previsto

COSMO-ME

Monday 5 April 2010 00UTC ROME Forecast +2 VT: Monday 5 April 2010 02UTC 10m u-component of wind/v-component of wind





Verifica del vento previsto

Superficie (mare)

Confronto con osservazione da satellite QSCAT.

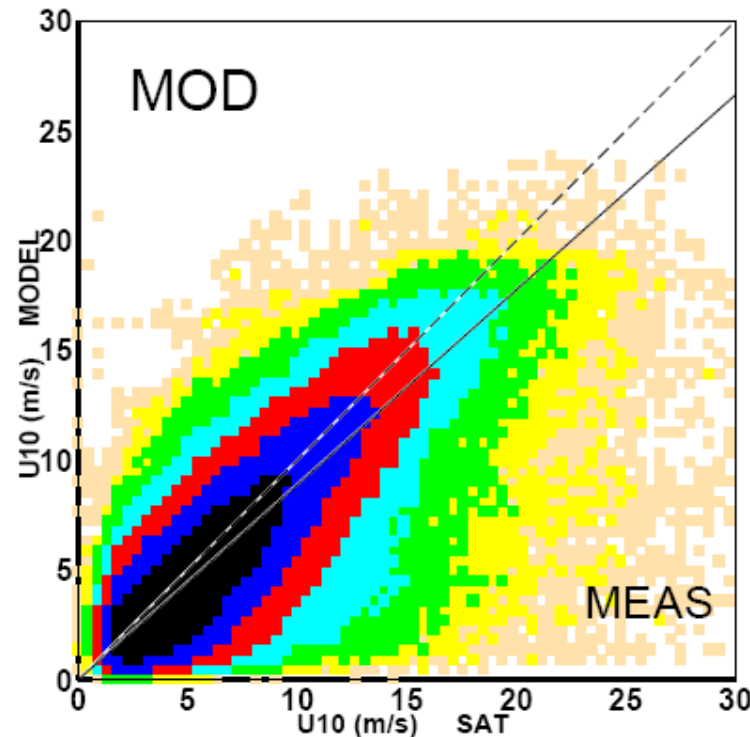
COSMO-ME sottostima debolmente l'intensità del vento sul mare (come gran parte dei modelli atmosferici operativi!)

WIND COSMOME_16 MODEL AND QSCAT DATA
IN THE MEDITERRANEAN SEA
period: DECEMBER 2006



ENTRIES:

- 1 - 4
- 4 - 12
- 12 - 38
- 38 - 125
- 125 - 417
- 417 - 1392
- 1392 - 4650



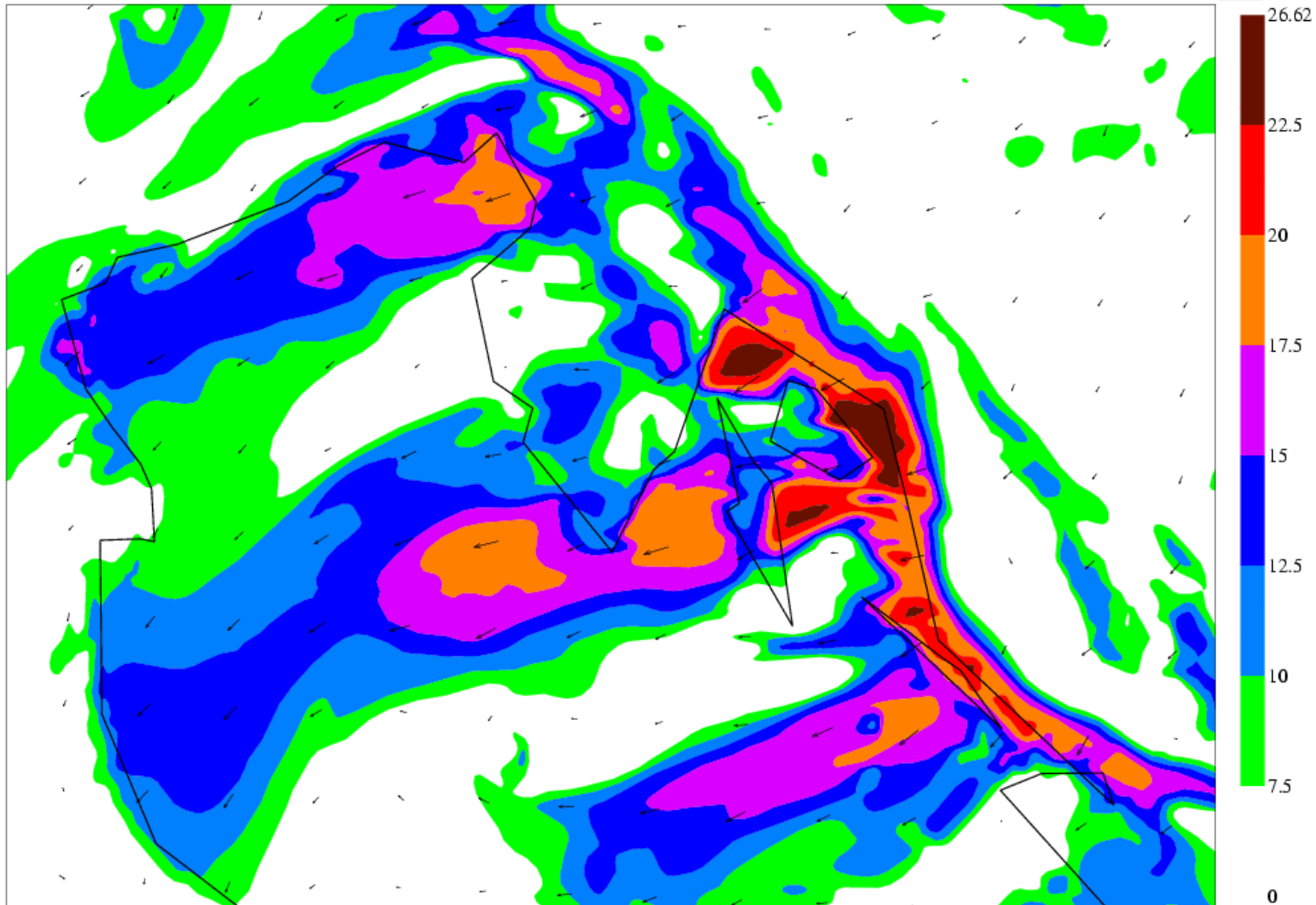
NUM	=	*****
YM	=	5.91
STDY	=	3.36
XM	=	6.78
STDX	=	3.54
SSLO	=	0.89
RMSE	=	2.51
BIAS	=	-0.87
CORR	=	0.77
SI	=	0.35



Es. vento previsto

COSMO-IT

Tuesday 9 March 2010 00UTC ROME Forecast t+5 VT: Tuesday 9 March 2010 05UTC 10m u-component of wind/v-component of wind





WAM Model

$$\frac{\partial}{\partial t}N + (\cos \phi)^{-1} \frac{\partial}{\partial \phi}(\dot{\phi} \cos \phi N) + \frac{\partial}{\partial \lambda}(\dot{\lambda}N) + \frac{\partial}{\partial \omega}(\dot{\omega}N) + \frac{\partial}{\partial \theta}(\dot{\theta}N) = S \quad (2.24)$$

where

$$\dot{\phi} = (c_g \cos \theta - U|_{\text{north}})R^{-1} \quad (2.25a)$$

$$\dot{\lambda} = (c_g \sin \theta - U|_{\text{east}})(R \cos \phi)^{-1} \quad (2.25b)$$

$$\dot{\theta} = c_g \sin \theta \tan \phi R^{-1} + \dot{\theta}_D \quad (2.25c)$$

$$\dot{\omega} = \partial \Omega / \partial t \quad (2.25d)$$

and

$$\dot{\theta}_D = \left(\sin \theta \frac{\partial}{\partial \phi} \Omega - \frac{\cos \theta}{\cos \phi} \frac{\partial}{\partial \lambda} \Omega \right) (kR)^{-1} \quad (2.26)$$

and Ω is the dispersion relation given in (2.4). Before discussing possible numerical schemes to approximate the left-hand side of (2.24) we shall first discuss the parametrization of the source term S , where S is given by

$$S = S_{\text{in}} + S_{\text{nl}} + S_{\text{ds}} + S_{\text{bot}} \quad (2.27)$$

These terms represent the physics of wind input, wave-wave interactions, dissipation due to whitecapping, and bottom friction.





NETTUNO



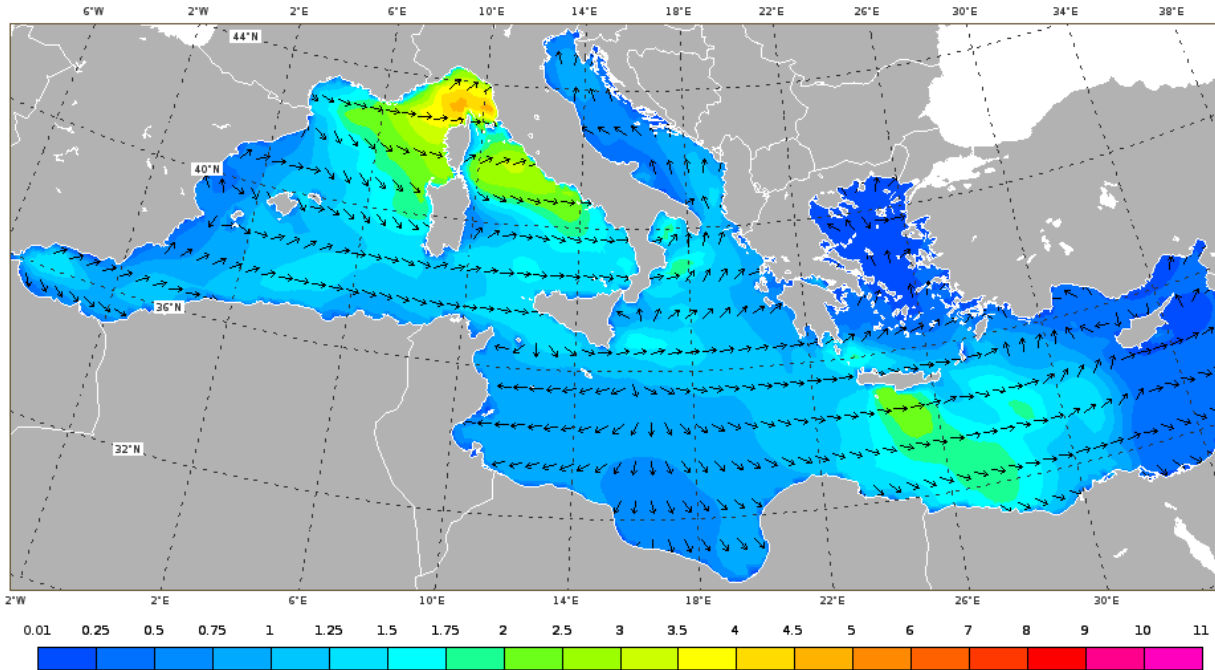
- ❑ Le previsioni per lo stato del mare sono ottenute dal sistema **NETTUNO** implementato al CNMCA nell'ambito di una collaborazione con **l'ISMAR- Venezia**
- ❑ **NETTUNO** è basato sul modello delle onde **WAM** (WAve Model) e sui modelli atmosferici non-idrostatici **COSMO-ME** e **COSMO-IT**.
- ❑ Il modello **WAM** determina la distribuzione spaziale e temporale (30 frequenze e 36 direzioni) dell'energia del moto ondoso utilizzando come unico termine forzante il vento superficiale.
- ❑ Il forzante è ottenuto dalle previsioni del vento superficiale ad alta risoluzione (7km) dei modelli atmosferici del CNMCA: **COSMO-ME** (7km) per la versione a 3' e **COSMO-IT** per la versione a 1'.



NETTUNO (3')

Based on WAM CY35R1

CNMCA 28 Aprile 2009 00UTC Forecast T+39 VT: 29 Aprile 2009 15UTC
Altezza onda significativa (metri) + direzione media



Magics++ 2.6.3 (64 bit) - grigna - smsmen - Tue Apr 28 06:01:14 2009

Domain size	846 x 321
Grid spacing	0.05
Time step	120 s
N frequ./direct.	30 / 36
Forecast range	72 hrs
Initial time	00/12 UTC
Atm. model wind	COSMO-ME (7km)
Wind update freq.	1 hr
Initial state	Previous run
Status	Operational
Hardware	IBM (ECMWF)
N of processors	256

Nettuno (3')

Comportamento di alcuni sistemi di previsione dello stato del mare per la mareggiata del 24-25 Gennaio 2009

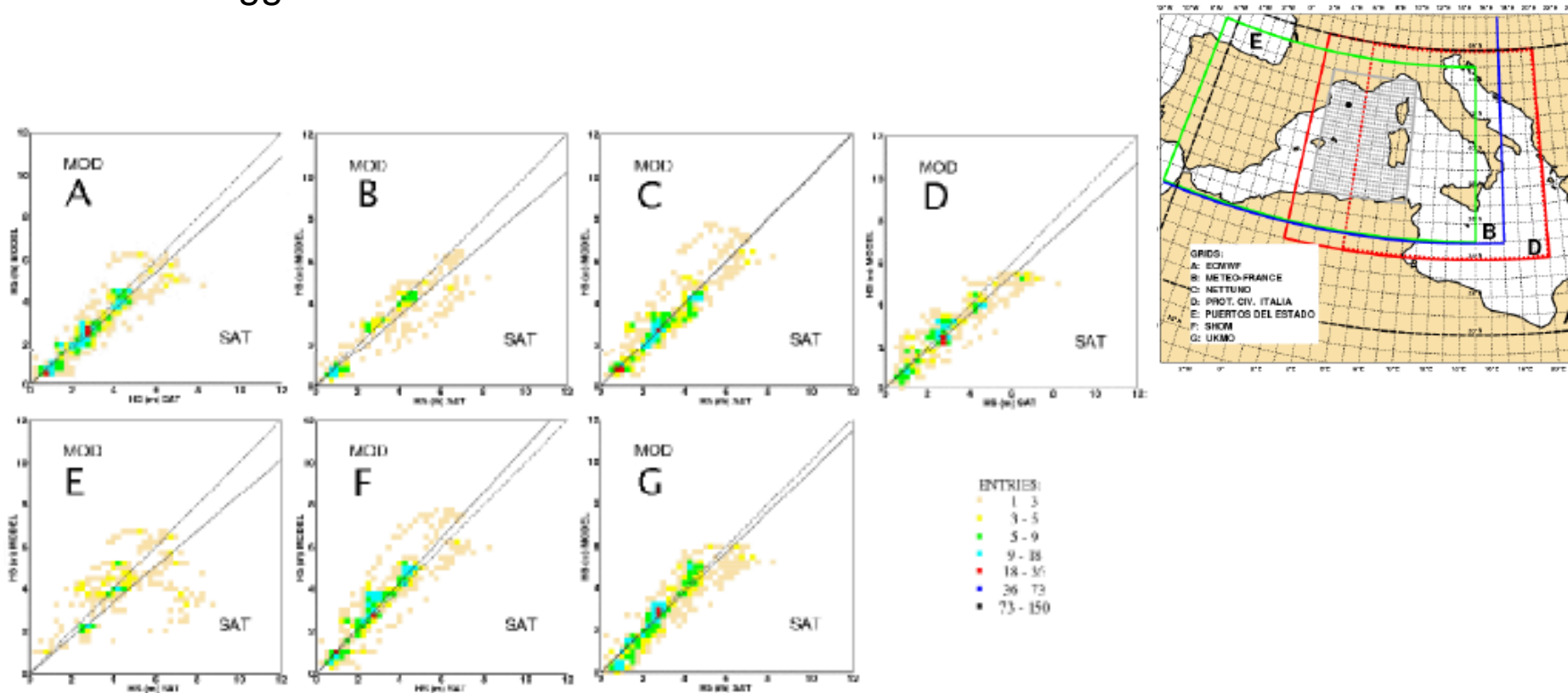


Figure 12 - Scatter diagrams for the fits between the seven considered model significant wave heights versus the Jason measured values. All the Jason passes over the Mediterranean during 24 and 25 January 2009 are considered. The colours (see scale on the right) indicate the number of cases in each pixel.

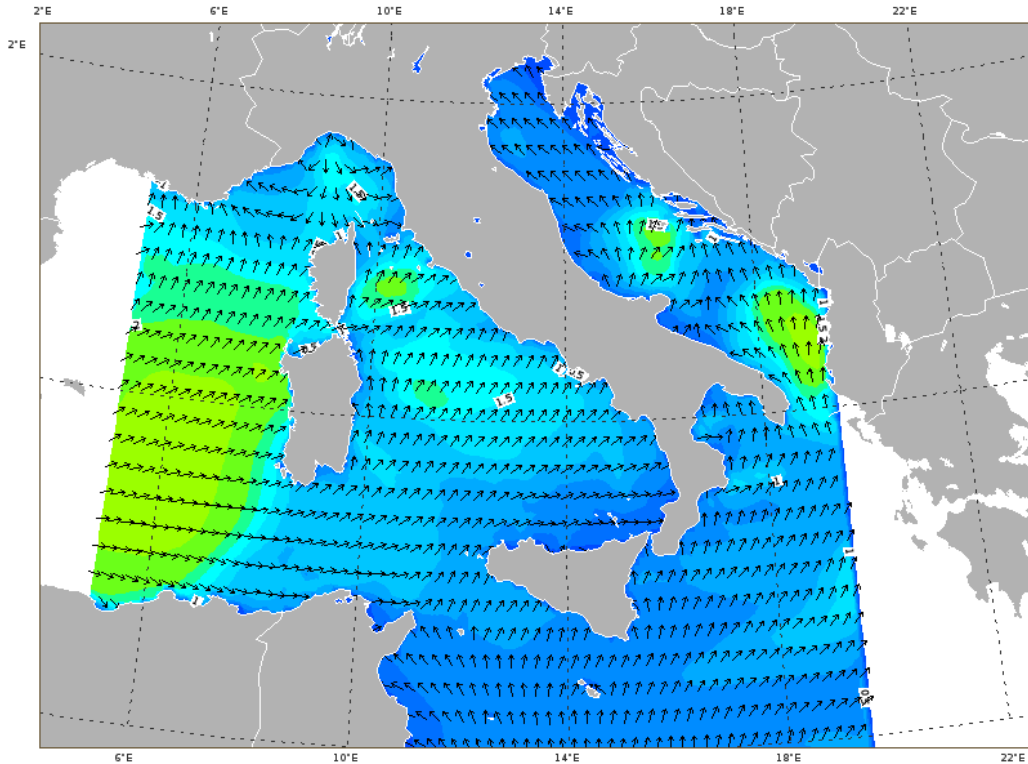
Cortesia di Gigi Cavaleri et al.

NETTUNO (1')

WAM+**COSMO-IT**

Based on WAM CY35R1

18 Febbraio 2010 00UTC Forecast T+6 VT: 18 Febbraio 2010 06UTC
Altezza onda significativa (metri) + direzione media



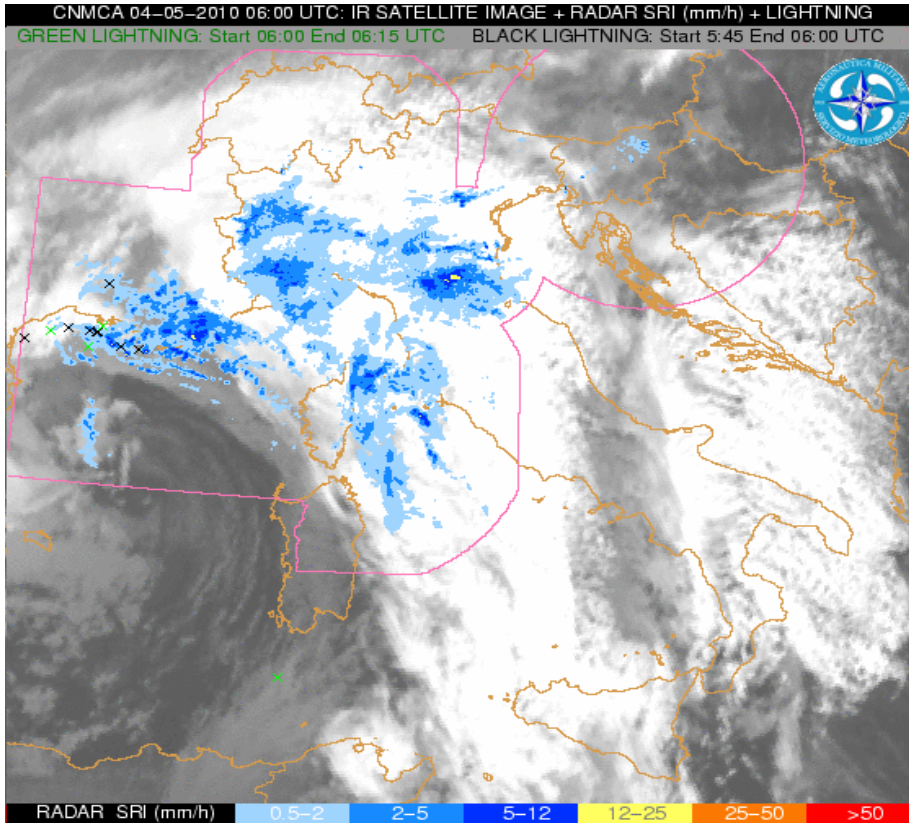
BC from NETTUNO (3')

Domain size	871 x 688
Grid spacing	0.0167
Time step	60 s
N frequ./direct.	30 / 36
Forecast range	24 hrs
Initial time	00/12 UTC
Atm. model wind	COSMO-IT (2.8km)
Wind update freq.	1 hr
Initial state	Previous run
Status	Operational
Hardware	IBM (ECMWF)
N of processors	256

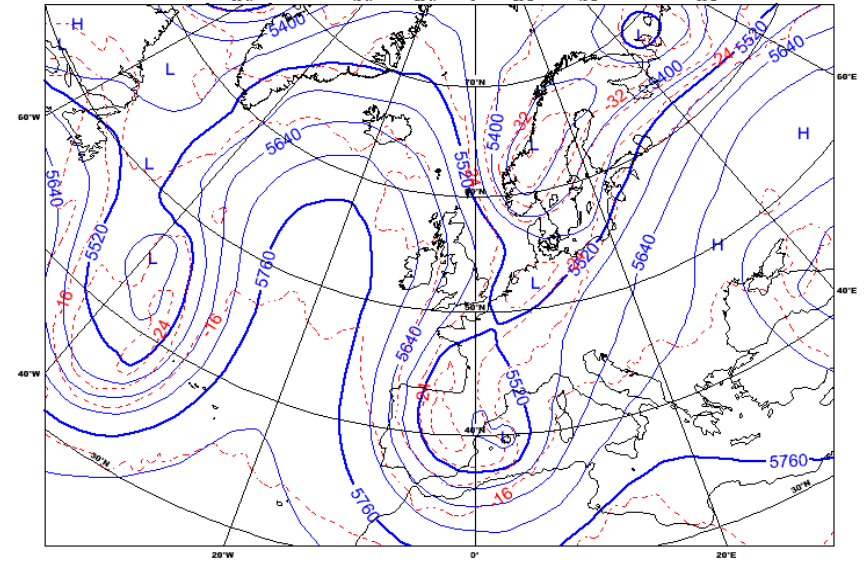


Caso 3-4 Maggio 2010

Ciclone Ext. su Mediterraneo Occidentale



ECMWF Analysis VT: Martedì 4 Maggio 2010 00UTC
ECMWF 00 - Geopotenziale 500 hPa + Temperatura 500 hPa



MAGICS 6.2 Viewport.com 04/05/2010 17:38:12

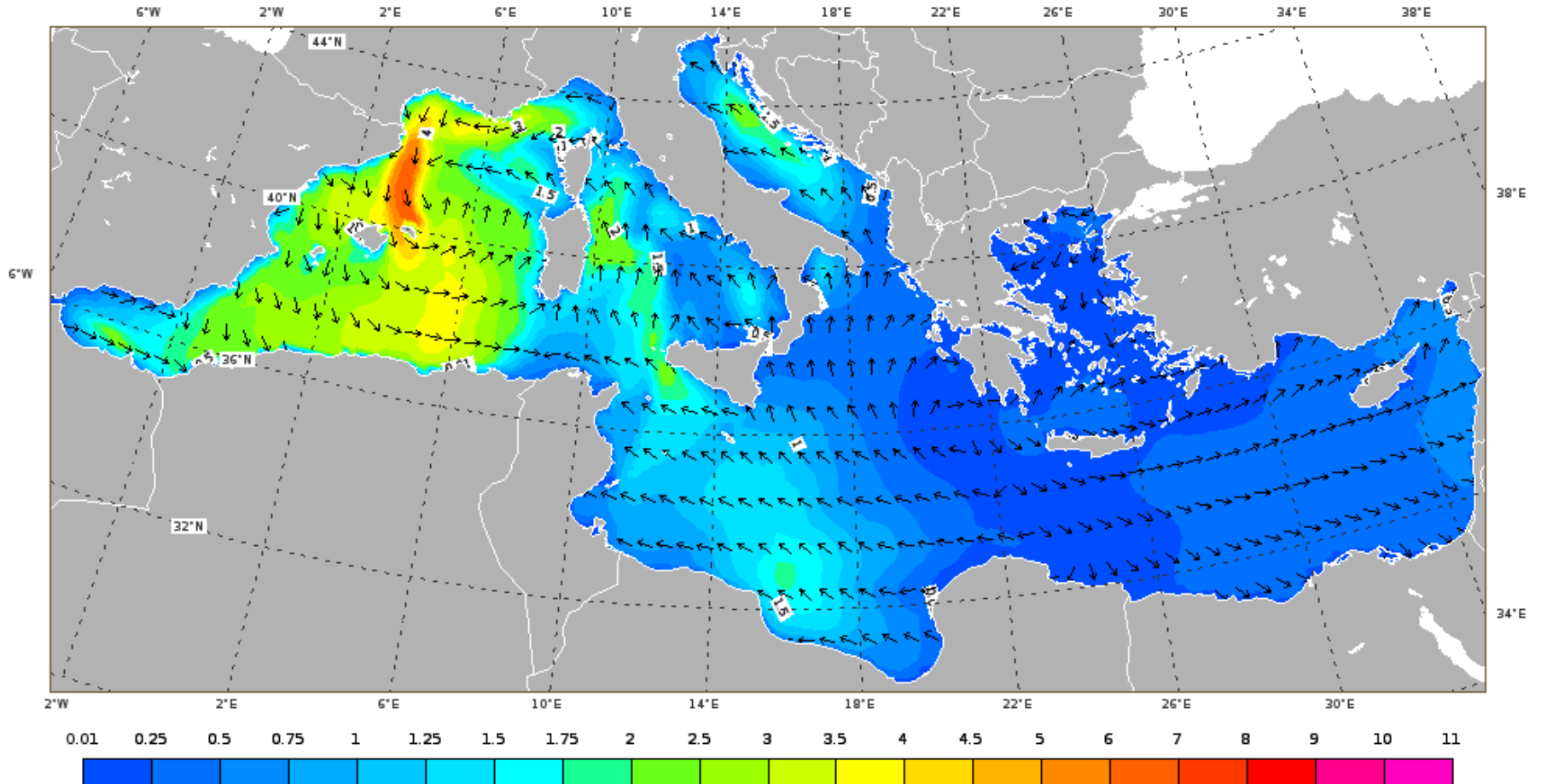


4 Maggio: Mareggiata su Costa Azzurra

Es. mareggiata 4 maggio

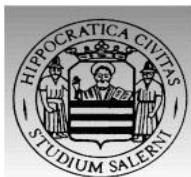


04 Maggio 2010 00UTC Forecast T+3 VT: 04 Maggio 2010 03UTC
 Altezza onda significativa (metri) + direzione media





Supporto alle Operazioni Navali

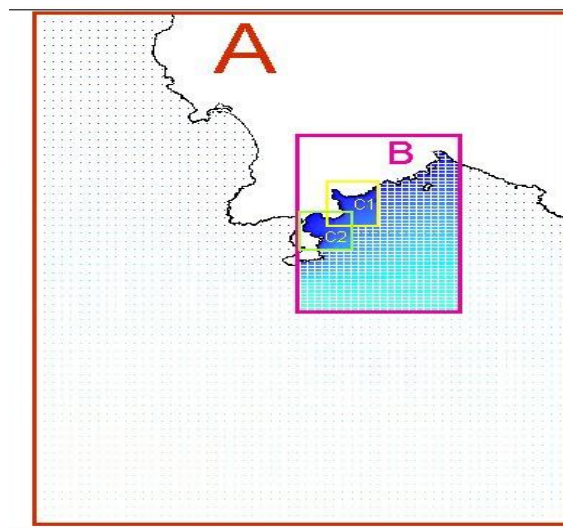


C.U.G.R.I.

Consorzio inter-Universitario
per la Previsione e Prevenzione dei **Grandi Rischi**
Università di Salerno - Università di Napoli "Federico II"



ISTITUTO IDROGRAFICO DELLA MARINA





M.F.S. ad Alta Risoluzione

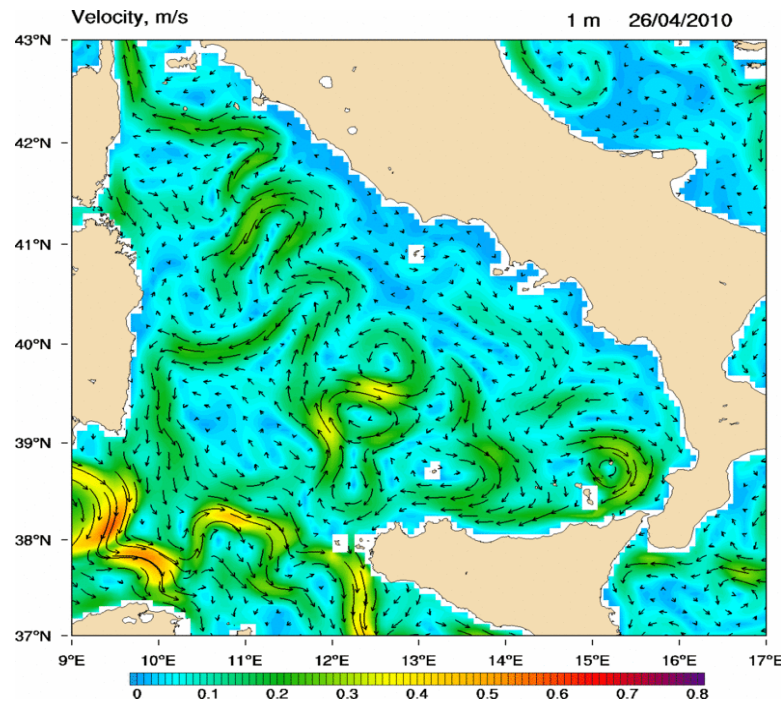


ISTITUTO NAZIONALE DI GEOFISICA E VULCANOLOGIA 

GNOO
GRUPPO NAZIONALE di
OCEANOGRAFIA OPERATIVA


Ministero dell'Ambiente e della Terra del Territorio e del Mare

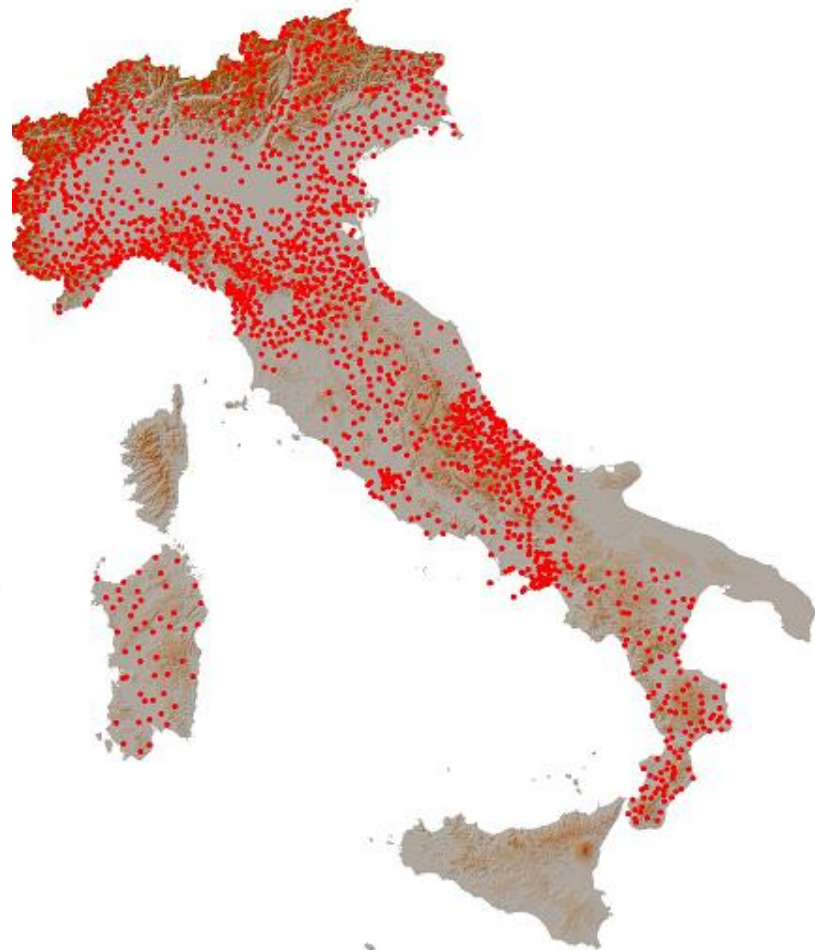




VERIFICHE DEI MODELLI

	FORECASTED		
		NO	YES
OBSERVED	NO	A	B
	YES	C	D

MEANING	INDEX	RANGE	IDEAL VALUE
Overestimation/ underestimation	$BIAS = \frac{B+D}{C+D}$	$[0, \infty]$	1
Eq. Threat Scores	<i>ETS</i>	$[-1/3, 1]$	1



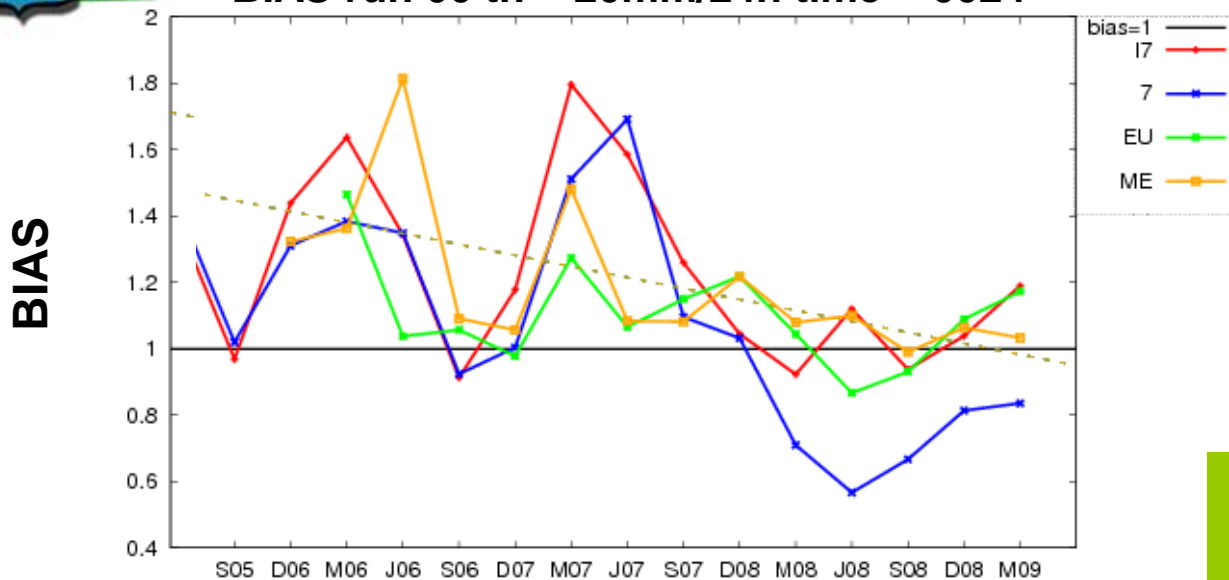
Cortesia di
Elena Oberto
ARPA-PIEMONTE





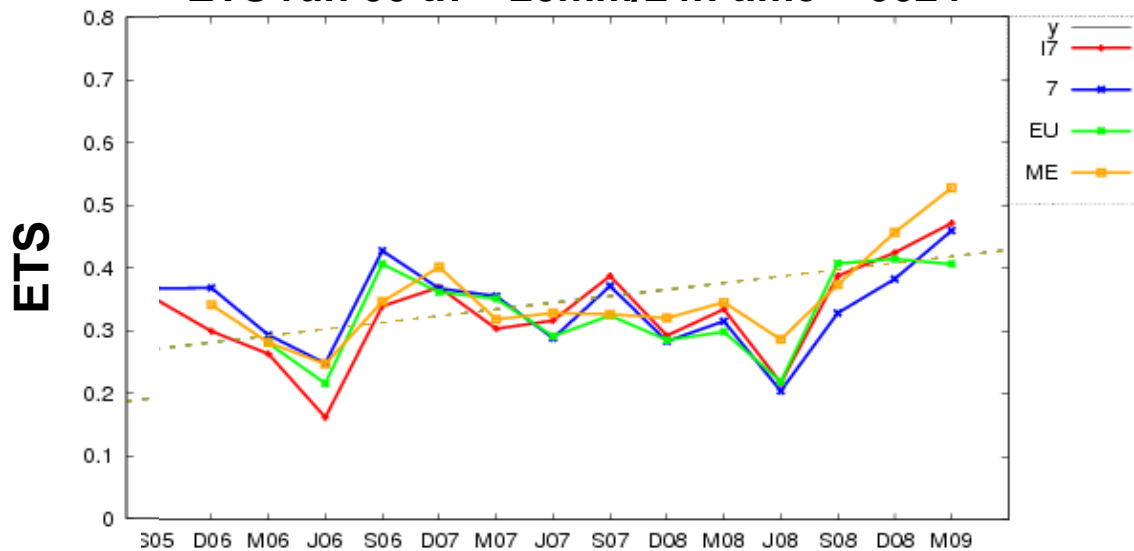
VERIFICHE DEI MODELLI

BIAS run 00 th = 20mm/24h time = 0024



Cortesia di
Elena Oberto
ARPA-PIEMONTE

ETS run 00 th = 20mm/24h time = 0024





Previsione di ensemble

L'atmosfera è un sistema caotico.

Piccoli errori nelle condizioni iniziali (dovuti al limitato numero e alla non omogenea distribuzione delle osservazioni) possono crescere rapidamente durante la previsione.

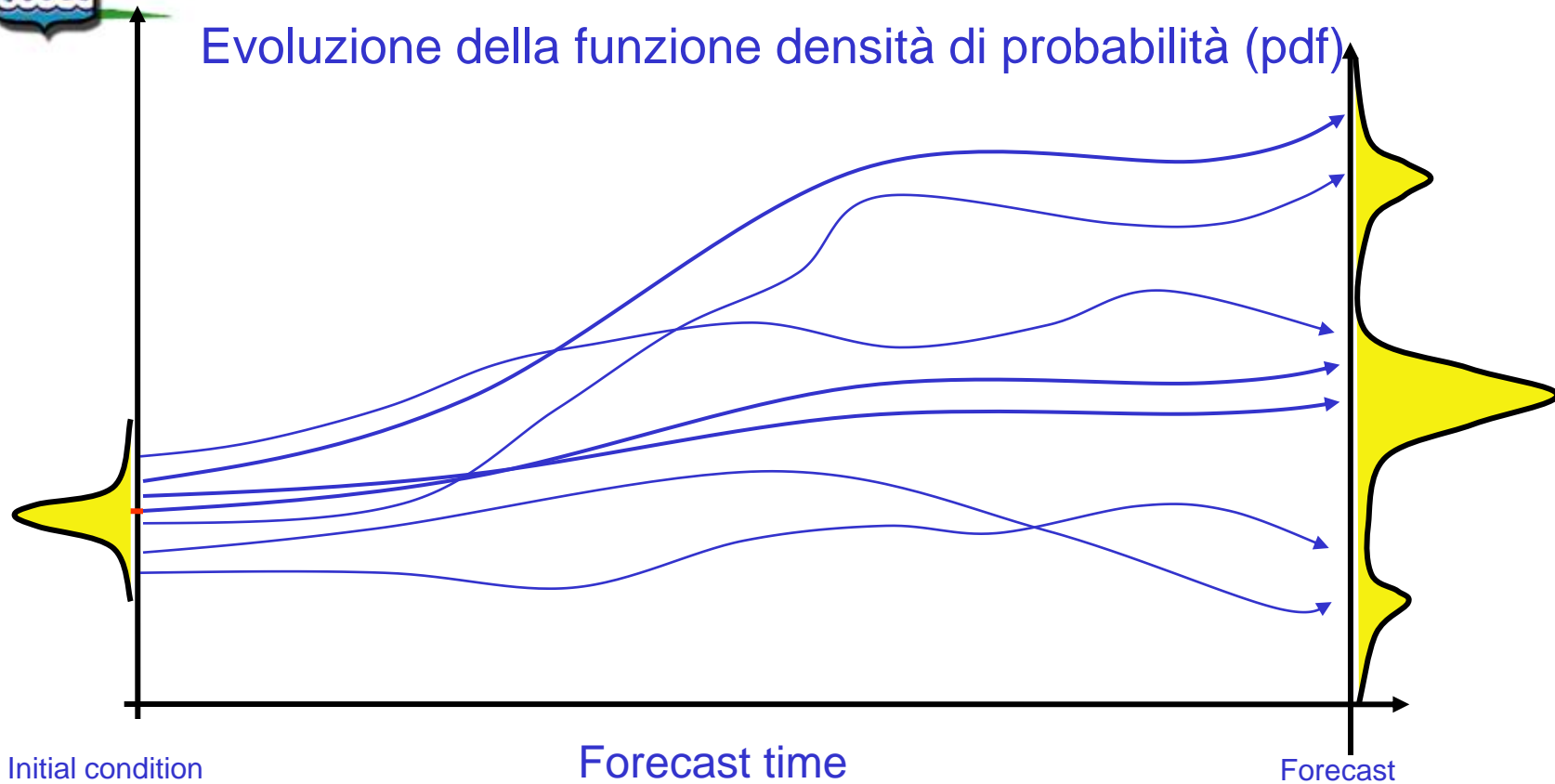
La predicibilità è limitata anche dagli errori dei modelli numerici (processi fisici descritti con un certo grado di accuratezza e rappresentati con una certa risoluzione spaziale e temporale, anche per limiti nelle risorse di calcolo).

Queste due sorgenti di incertezza limitano la qualità di una singola previsione deterministica.





Previsione di ensemble



Le condizioni iniziali non saranno mai conosciute esattamente. Anche se il modello fosse perfetto, due stati iniziali, che differiscono leggermente, possono determinare due previsioni che divergono rapidamente col tempo. Con l'approccio ensemble si cerca di stimare la pdf degli stati previsti usando un numero finito di prev. determ.

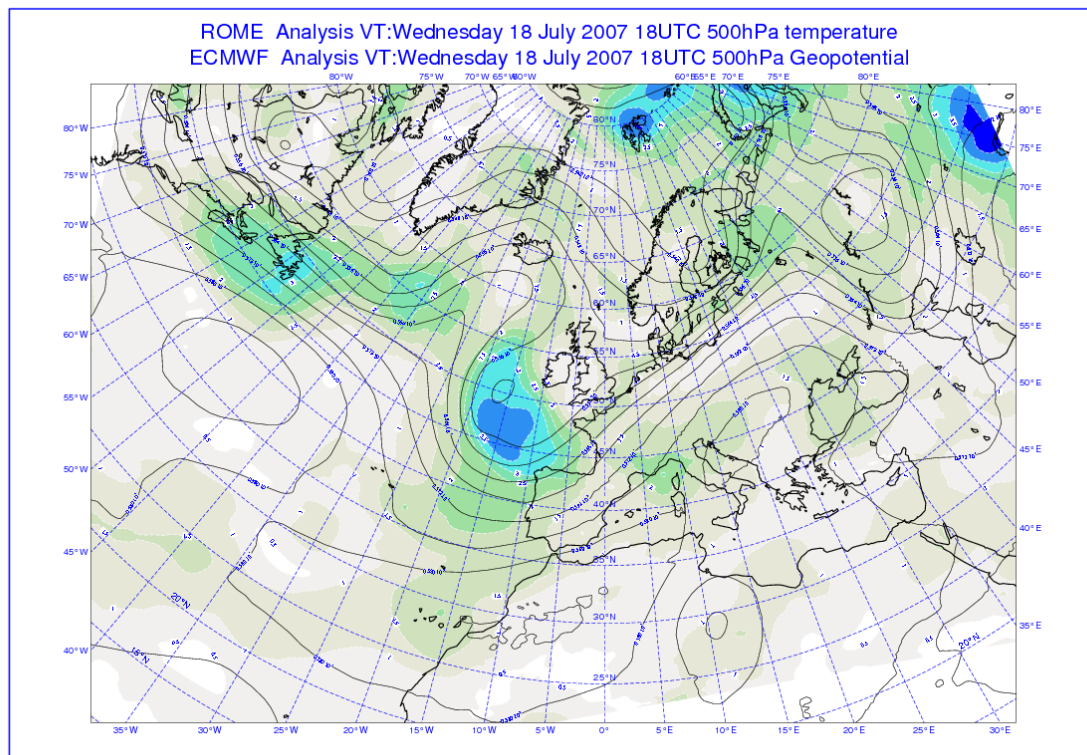




Previsione di ensemble

Un sistema di Assimilazione Dati basato sulla tecnica **LETKF** (Filtro di Kalman Stocastico) è in fase **pre-operativa** al CNMCA.

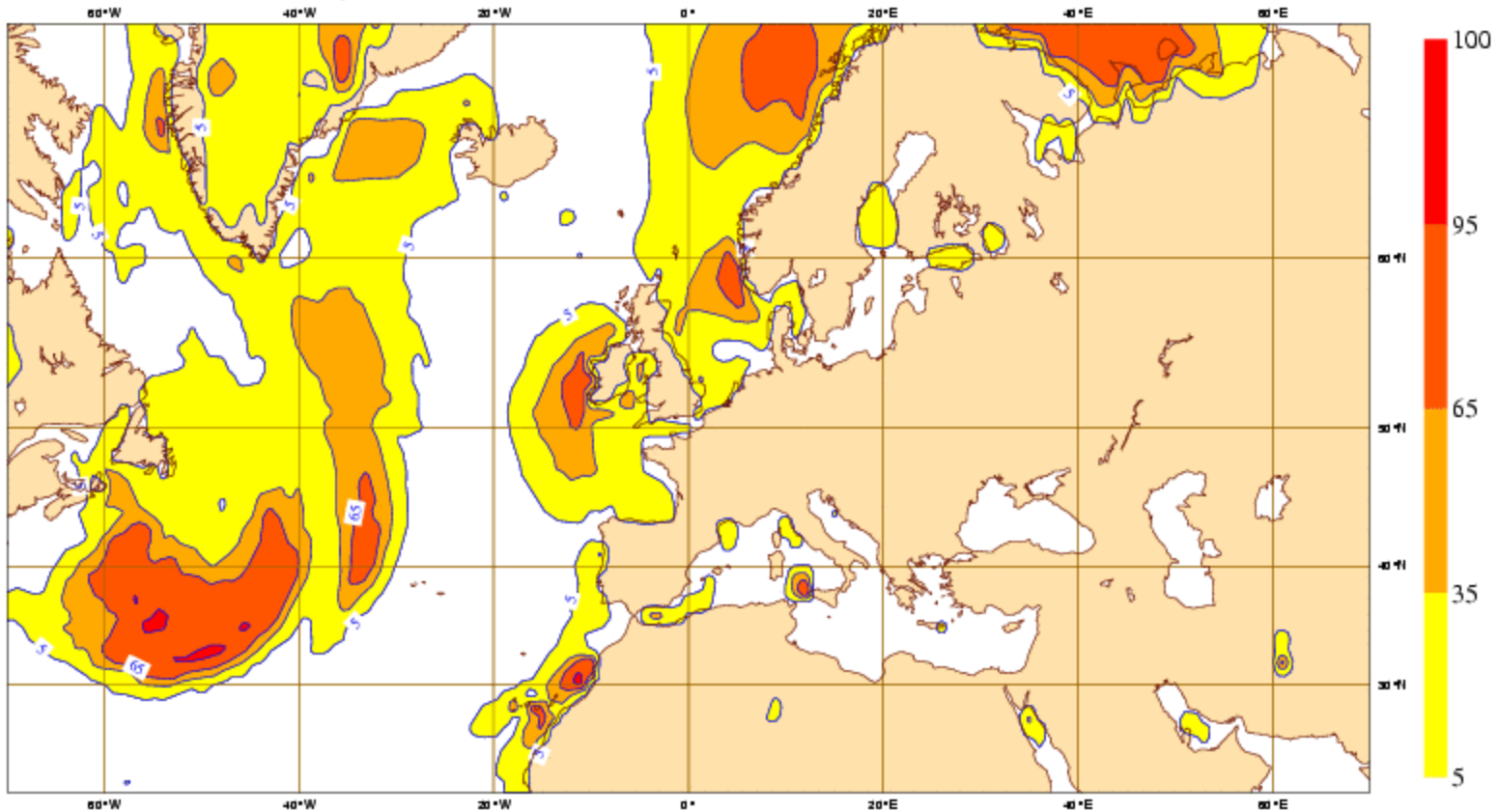
Un sistema di previsione probabilistico per la breve scadenza è in fase di implementazione





Previsione probabilistica

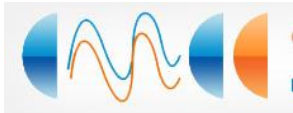
Wednesday 28 April 2010 00UTC ©ECMWF Forecast probability t+096 VT: Sunday 2 May 2010 00UTC
Surface: 10 metre Wind speed of at least 10 m/s





NWP: ATTIVITA' E COLLABORAZIONI

❖ Data Assimilation



❖ Local Area Modeling



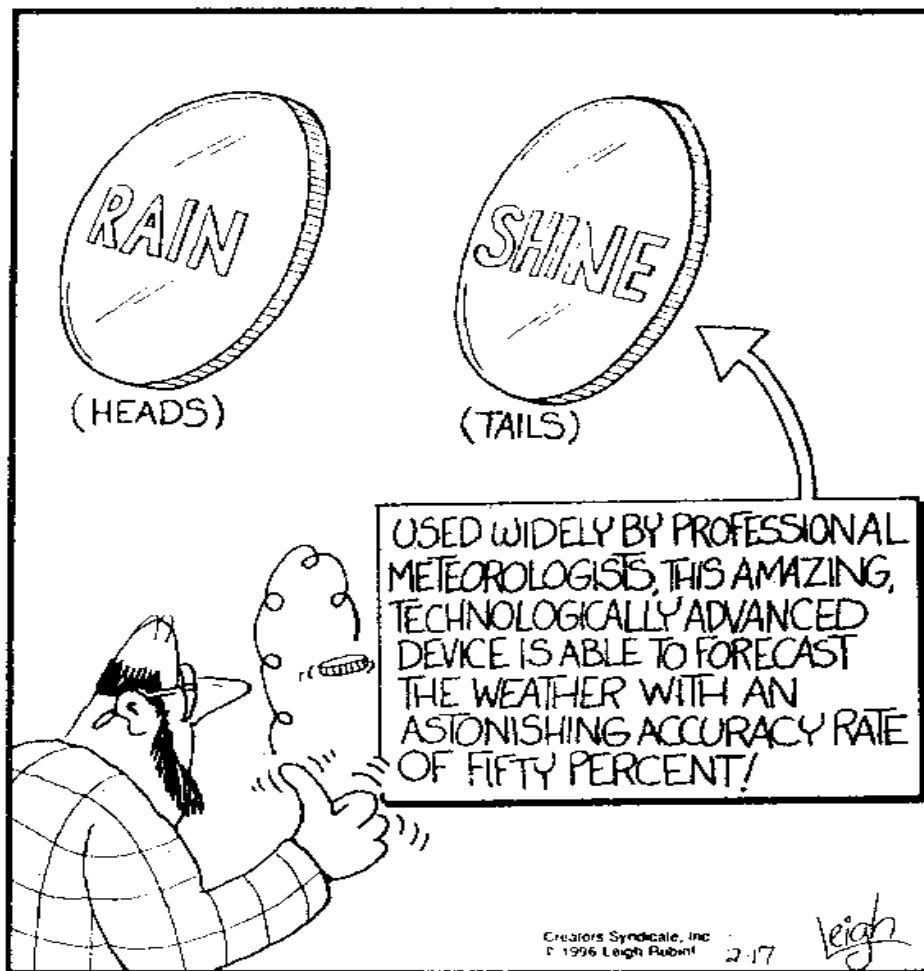
❖ Post Processing





Grazie per l'attenzione!

RUBES by LEIGH RUBIN





Il processo di previsione

Dati (raccolgere tutti i dati disponibili)

Analisi (capire cosa sta accadendo)

Previsione con modelli: numerici o soggettivi
(qual'è l'evoluzione futura)

Verifica (previsione corretta?, come migliorare?)

