



ISPRA

Istituto Superiore per la Protezione
e la Ricerca Ambientale



Corso ISPRA - Settembre 2011

- La previsione meteorologica numerica: cenni storici
- Sviluppo del modello BOLAM
- Alcuni elementi di teoria dei metodi numerici
- Schema della dinamica di BOLAM
- Discretizzazione delle equazioni
- Avvezione
- Parametrizzazioni
- Definizione delle condizioni iniziali e flusso di informazione
- Parallelismo
- Confronto con la versione QBOLAM



National Research Council of Italy

Concetti di base della modellistica meteorologica

- La **previsione meteorologica numerica** è una disciplina recente che si è sviluppata nel corso della seconda metà del 1900, beneficiando del costante progresso nel campo del calcolo.
- La storia della previsione numerica è stata contrassegnata da alcune tappe fondamentali, decisive per l'evoluzione di questa disciplina.



1904: **Vilhelm Bjerknes** riconosce che la previsione del tempo è fondamentalmente un *problema deterministico ai valori iniziali*.

Questo richiede:

- *la conoscenza con sufficiente precisione dello stato dell'atmosfera ad un certo istante;*
- *la conoscenza con sufficiente precisione delle leggi che governano l'evoluzione temporale degli stati dell'atmosfera.*

1916-22: il primo tentativo di previsione numerica: **L. Richardson**



- Tra il 1916 e il 1922 **Lewis Richardson** tentò di risolvere le equazioni della previsione del tempo utilizzando i metodi del calcolo numerico. Richardson realizzò una previsione a 6 ore, che si rivelò tuttavia clamorosamente sbagliata e irrealistica.



- Richardson cercò di spiegare le ragioni del fallimento. Stimò che 64000 uomini sarebbero stati necessari per calcolare l'evoluzione del tempo alla stessa velocità di quella reale su tutto il globo (la “*fabbrica del tempo*”).

Courant, Friedrichs e Lewy, 1928

Nel 1928 che i matematici **Courant, Friedrichs e Lewy** studiarono in modo sistematico la maniera di approssimare le equazioni differenziali con i metodi alle differenze finite, determinando i criteri che devono essere soddisfatti per ottenere soluzioni stabili delle equazioni.

Ciò portò alla formulazione noto criterio CFL per la stabilità delle soluzioni numeriche:

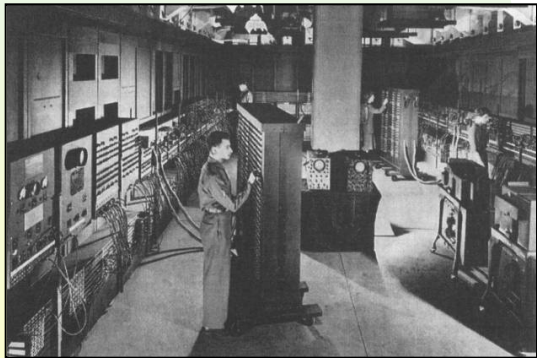
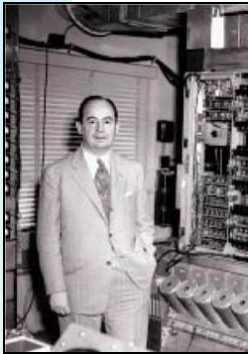
$$V \frac{\Delta T}{\Delta X} \leq 1 \quad \text{numero di Courant}$$



$$\Delta T \leq \Delta X / V$$

dove ΔT è il passo temporale, ΔX è il passo della griglia e V è il massimo tra la velocità del vento e la velocità di propagazione delle onde interne (sonore, di gravità).

Charney, Fjortoft e Von Neumann: la prima previsione numerica, 1950



Nel 1950 Charney, Fjortoft e Von Neumann realizzarono la prima previsione numerica del tempo, utilizzando il primo calcolatore elettronico ENIAC.

Fu utilizzato un modello *barotropico* (1 livello), integrando l'equazione della vorticità *quasi geostrofica* (al posto delle equazioni complete del moto), definita da Charney due anni prima (anche grazie ai lavori precedenti di Rossby e altri)

Questa equazione ha il vantaggio di essere più semplice e di non contenere, tra le possibili soluzioni, le onde sonore e quelle di gravità. Essa rappresenta una discreta approssimazione per i moti atmosferici a scala sinottica nella media troposfera.

Dal 1950 ad oggi ...

- Gli avanzamenti hanno beneficiato in misura comparabile dei progressi *tecnici* nel settore del calcolo e di quelli *scientifici* del settore della Meteorologia dinamica e numerica.
- La potenza di calcolo è cresciuta dal 1950 di un fattore di circa 10^{10} - 10^{11} . il rapporto tra il numero di operazioni effettuato negli attuali modelli globali e quello dei primi modelli è di circa 10^9 .
- Altrettanto importante è il miglioramento delle osservazioni su scala globale, soprattutto a partire dalla **rete di radiosondaggi** ad iniziare dagli anni '40.
- Dagli anni settanta sono divenute determinanti le osservazioni da **satelliti**, ma anche da aerei, da boe etc.
- Si è passati dai modelli *barotropici* ai modelli *baroclini* multi-livelli (operativi dal 1955), che permettono di descrivere il principale meccanismo alla base dell'insorgenza delle perturbazioni atmosferiche, ossia l'instabilità baroclinica.
- Negli anni sessanta Hinkelmann in Germania e Phillips negli USA introducono le *equazioni primitive* (molto simili a quelle utilizzate da Richardson), più accurate per descrivere i moti atmosferici di scale inferiori ai 1000 km, anche se più costose in termini di tempo di calcolo.

1973: viene stabilito il Centro Europeo per le Previsioni a medio termine (ECMWF) a Reading

1979: prima previsione a medio termine in tempo reale su CRAY1

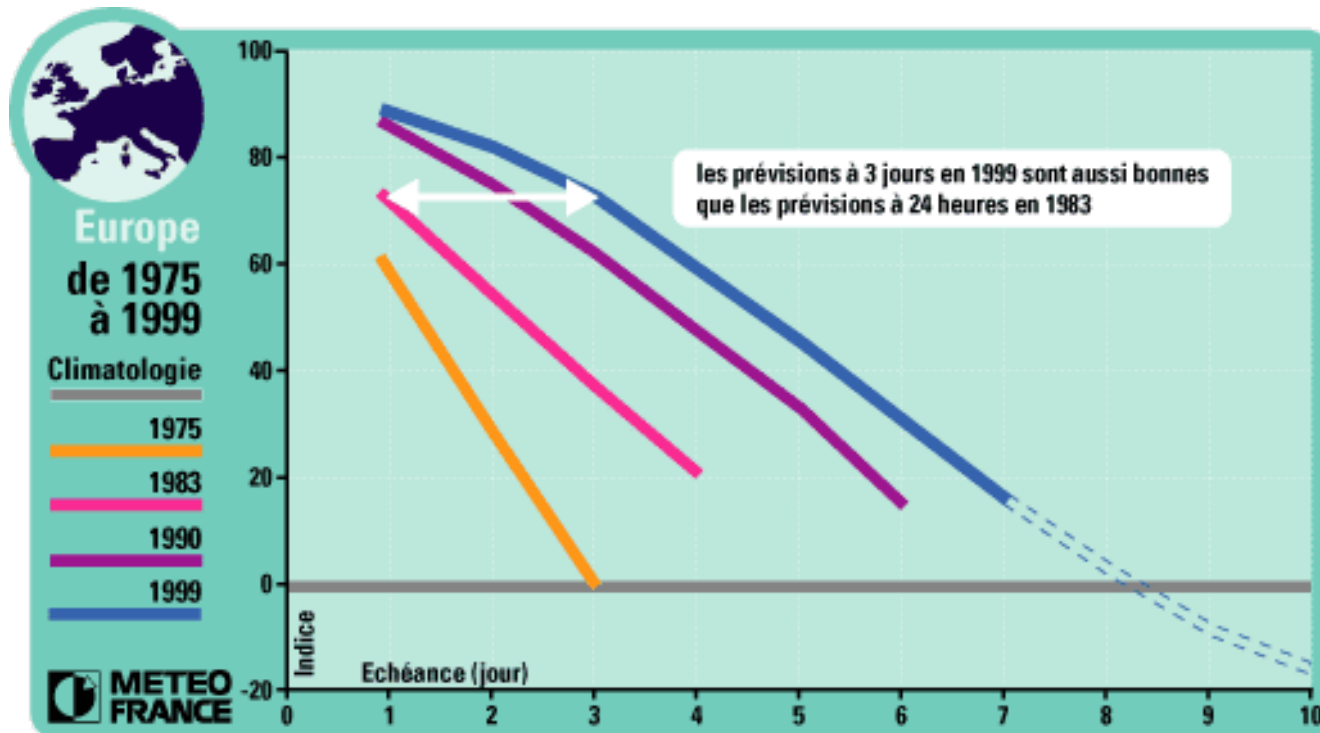
I Paesi Membri sono: Belgio, Danimarca, Germania, Spagna, Francia, Grecia, Irlanda, Italia, Olanda, Norvegia, Austria, Portogallo, Svizzera, Finlandia, Svezia, Turchia e Regno Unito.

Gli obiettivi del Centro sono:

- preparazione e diffusione ai servizi meteorologici dei paesi membri delle previsioni a medio termine
- sviluppo di metodi numerici per le previsioni a medio termine
- ricerca scientifica volta al miglioramento delle previsioni
- raccolta di dati meteorologici



Miglioramento della qualità delle previsioni numeriche



ECMWF forecast verification 12UTC
geopotential 500hPa

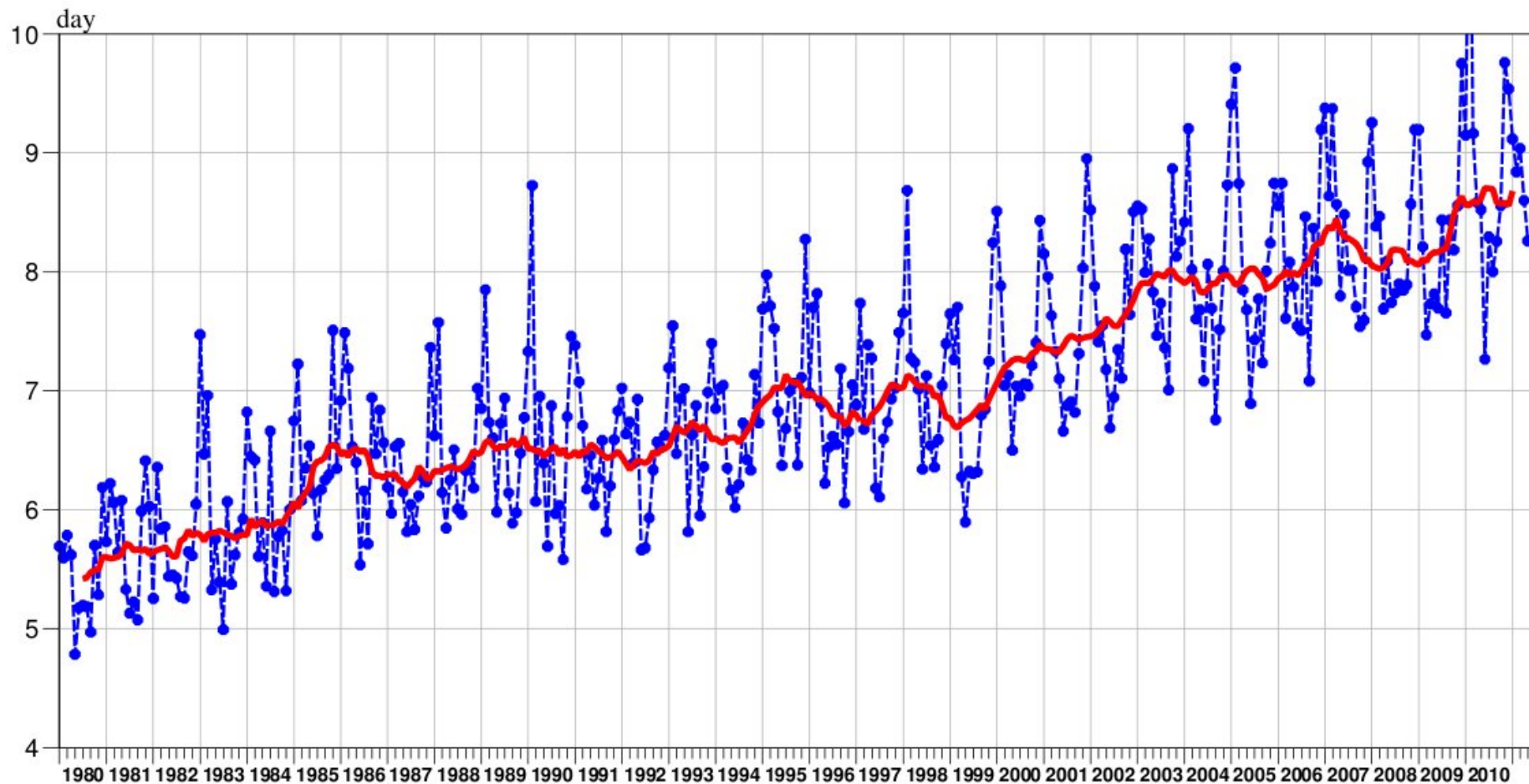
score reaches 60%

Correlation coefficient of forecast anomaly

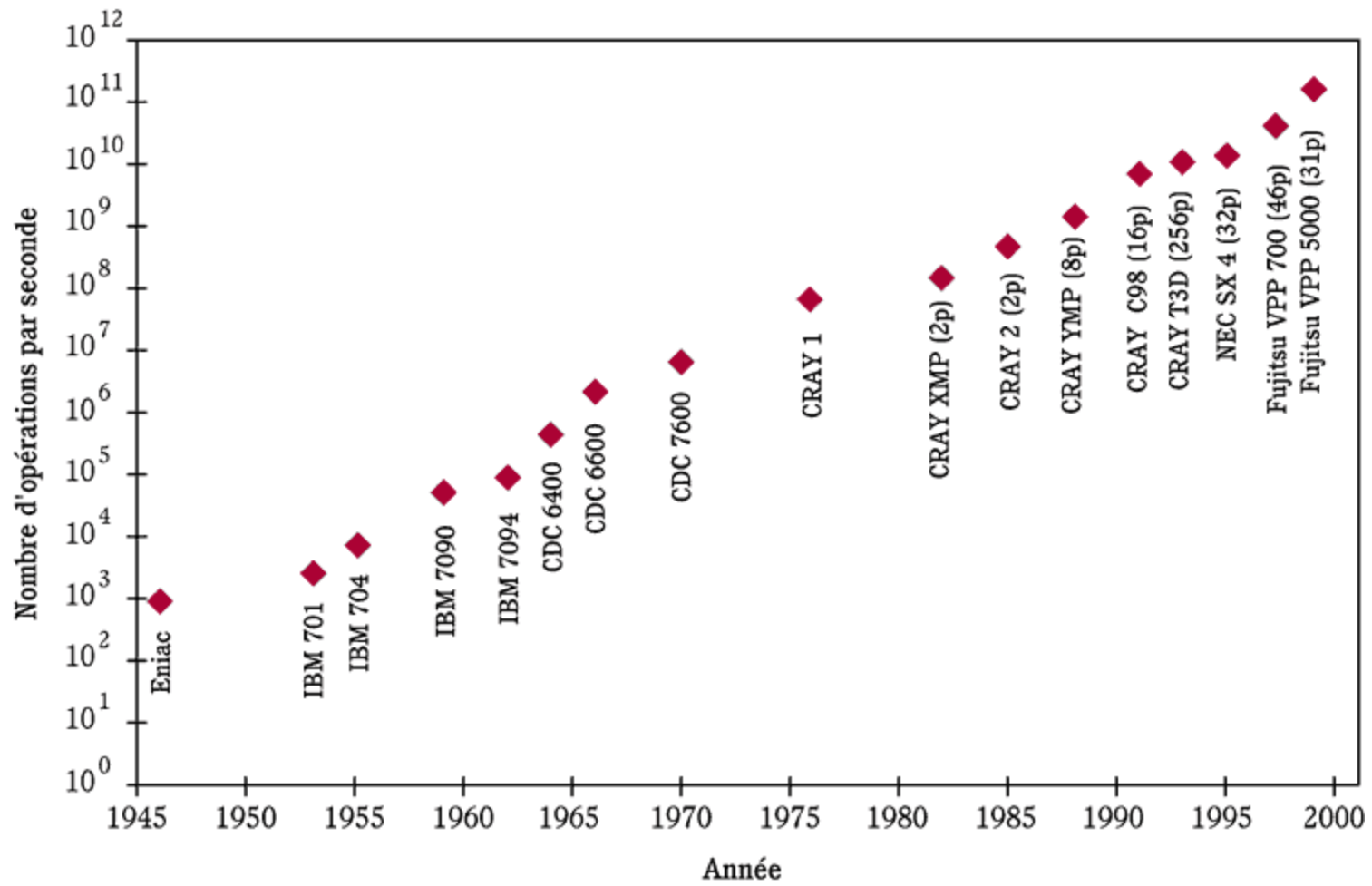


score 12mMA reaches 60%

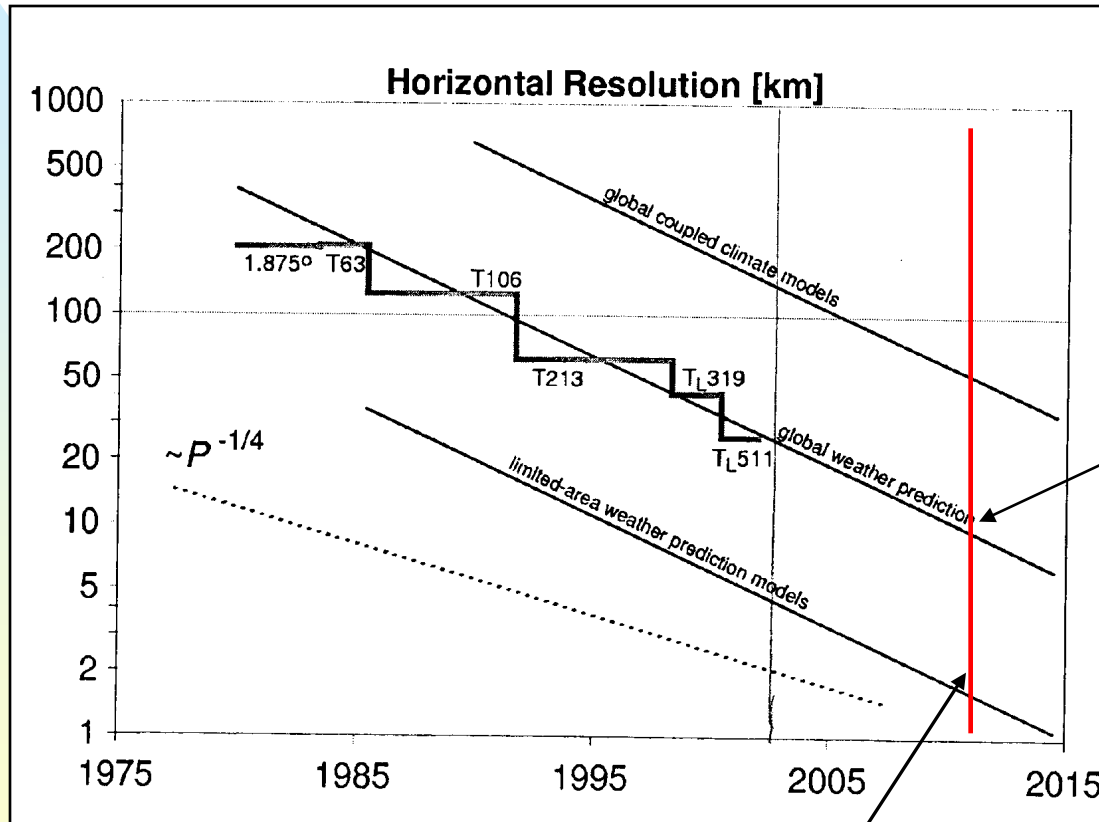
NH Extratropics Lat 20.0 to 90.0 Lon -180.0 to 180.0
(12mMA = 12 months moving average)



1980 1981 1982 1983 1984 1985 1986 1987 1988 1989 1990 1991 1992 1993 1994 1995 1996 1997 1998 1999 2000 2001 2002 2003 2004 2005 2006 2007 2008 2009 2010



Aumento nel tempo della risoluzione orizzontale dei modelli meteorologici

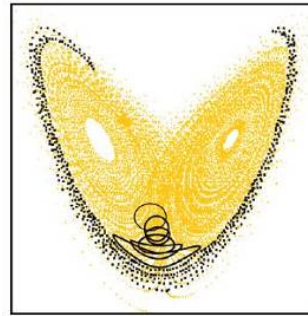


Modello ECMWF:
attuale ~ 17 km.

Modello MOLOCH (ISAC): 2.3 km



Atmosfera e caos: limiti di predicibilità, previsioni probabilistiche...



- **Edward Lorenz** (MIT) alla fine anni '50 "scopre" il caos in sistemi dinamici semplificati che tuttavia modellano il comportamento dell'atmosfera (Chaos theory).
- Lorenz (1963): l'impredicibilità dipende dalla (infinita) *sensibilità alle condizioni iniziali*: due stati iniziali, per quanto vicini tra loro, possono condurre in breve a stati molto diversi.
- Lorenz (1972): '*paradosso della farfalla*': comunicazione dal titolo "*Predicibilità: possono i battiti delle ali di una farfalla in Brasile scatenare un tornado nel Texas?*".
- Crescita degli errori nella condizione iniziale (raddoppio ogni 2 giorni sulla scala sinottica, meno di 2 ore sulla scala convettiva) e limite di predicibilità dell'atmosfera (circa 15 giorni per la predicibilità deterministica globale - *predicibilità del primo tipo*).
- Lorenz (2006) - *caos deterministico*: *quando il presente determina il futuro ma il presente approssimato non determina il futuro nemmeno approssimativamente.*

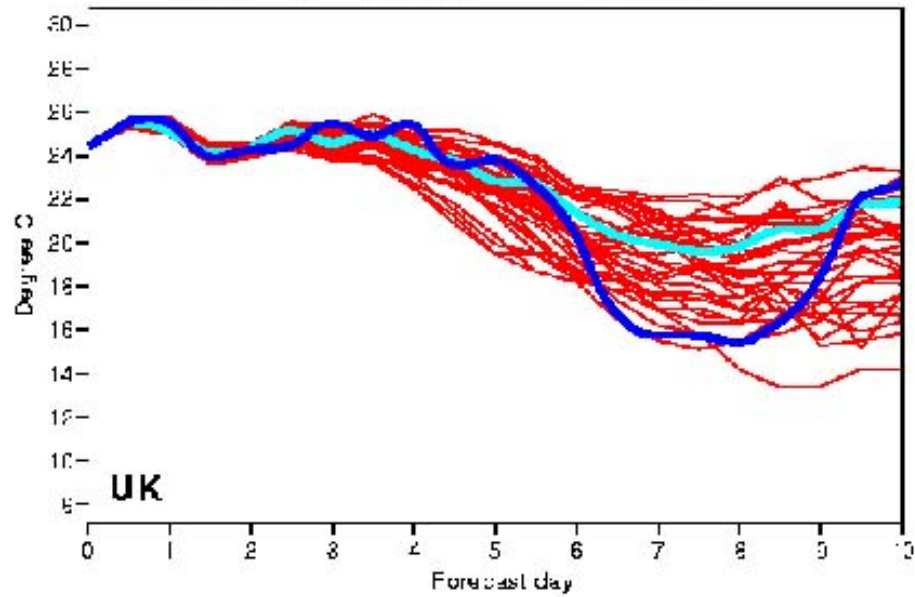
Previsione probabilistica e deterministica

- 1 - errori nelle approssimazioni usate nella discretizzazione numerica delle equazioni del moto
- 2 - errori nelle condizioni iniziali a partire dalle quali il modello è integrato nel tempo

ECMWF ensemble forecast - Air temperature

Date: 26/08/2007 London Lat.: 51.5 Long.: 0

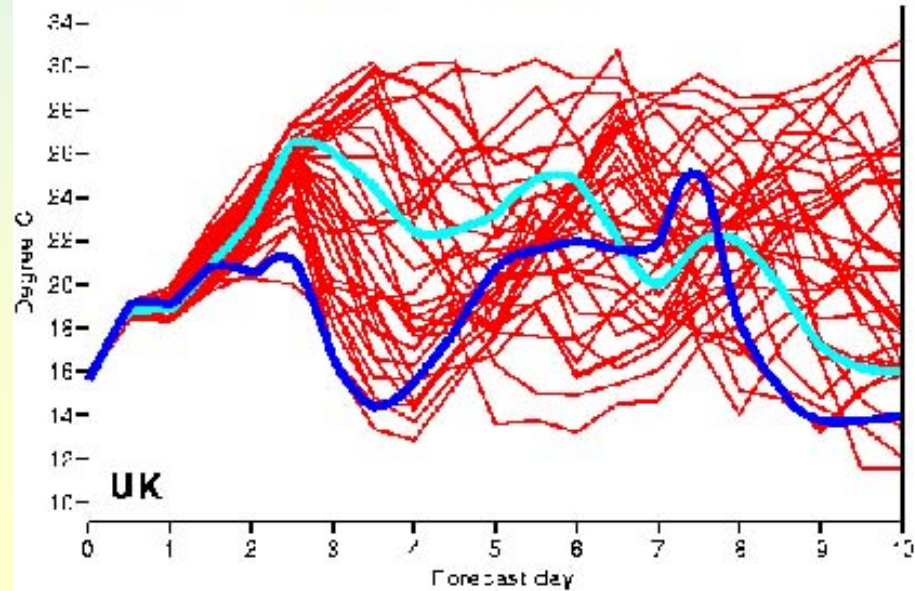
Centre Analysis Ensemble



ECMWF ensemble forecast - Air temperature

Date: 26/08/2007 London Lat.: 51.5 Long.: 0

Centre Analysis Ensemble



BOLAM (Bologna Limited Area Model)

Caratteristiche iniziali:

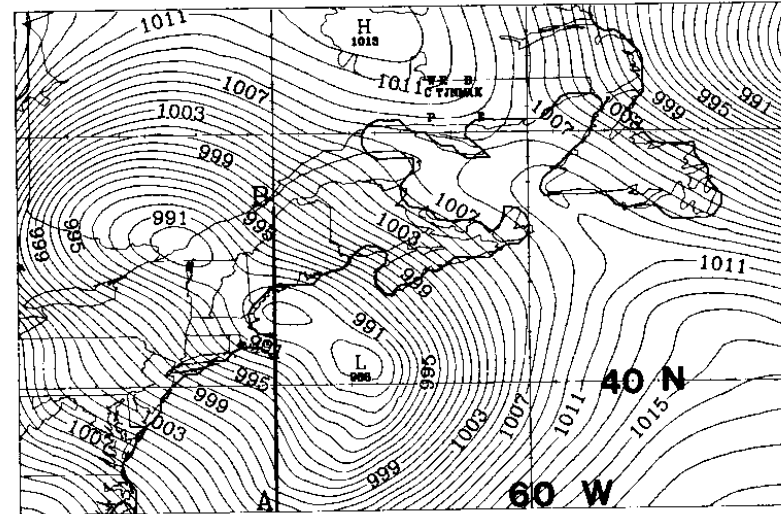
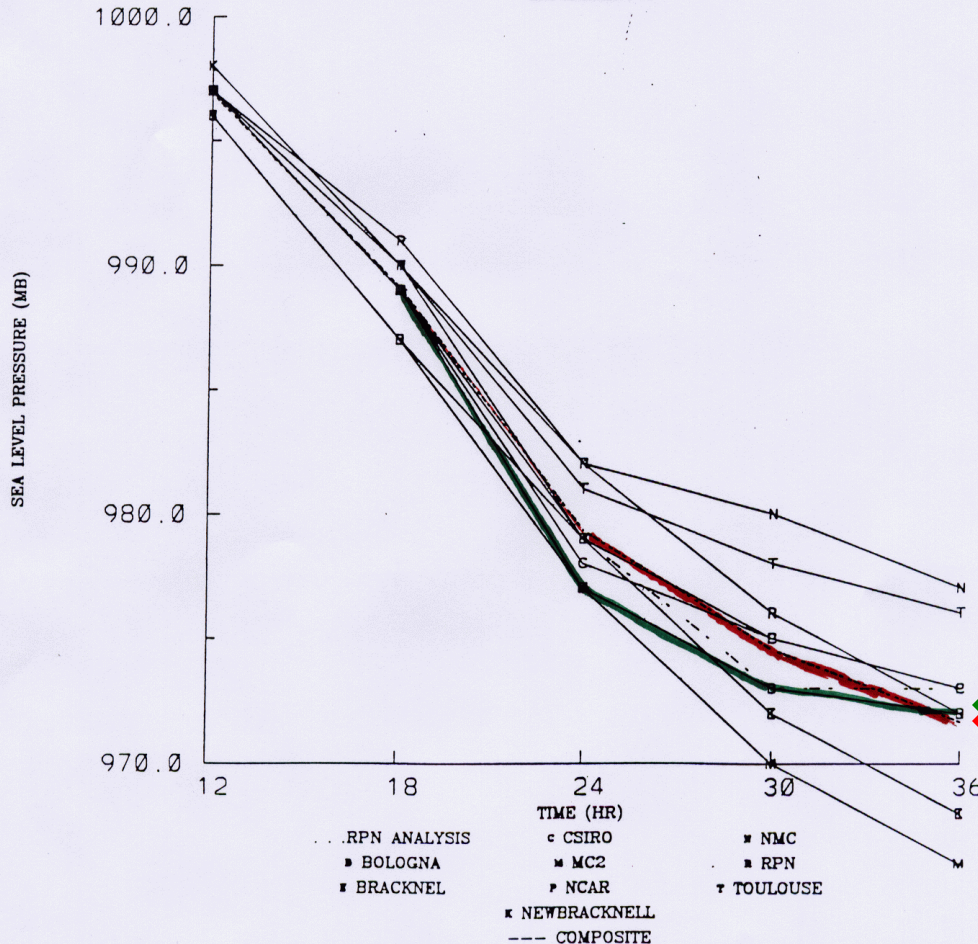
- Sviluppato dalla fine anni 80 presso il CNR (FISBAT) e l'Università di Bologna per scopi di ricerca e previsione operativa
- Schema temporale: leapfrog (avvezione) e semi-implicito (gravity)
- Coordinate sigma - radiazione Geleyn – Convezione di K.Emanuel / Kain-Fritsch
- 'Bulk Large scale rain', poi sostituita da parametrizzazione derivata da Shultz
- Schema di suolo uniforme e non vegetato
- Chiusura turbolenta di ordine 'uno', basata su parametrizzazione di J.F.Louis
- Validato nel contesto del progetto COMPARE, patrocinato dal WMO

COMPARE (The comparison of mesoscale prediction and research experiments)

- COMPARE I: The Canadian Atlantic Storms Project (1986)
- COMPARE II: The PYReanan EXperiment (PYREX, 1990)
- COMPARE III: The TYPOON-90 field experiment (TCM-90)
- COMPARE IV: MAP

COMPARE 1: extra-tropical cyclone (Canada)

PREDICTED VS OBSERVED SEA LEVEL PRESSURE
SECONDARY LOW
EXPERIMENT 4



Green: BOLAM

Red: analysis

**Predicted vs. observed MSLP,
secondary low, experiment 4
(50 km res., nested, 35 lev.)**

COMPARE 2: flow over the Pyrenees and formation of a low-level lee vortex

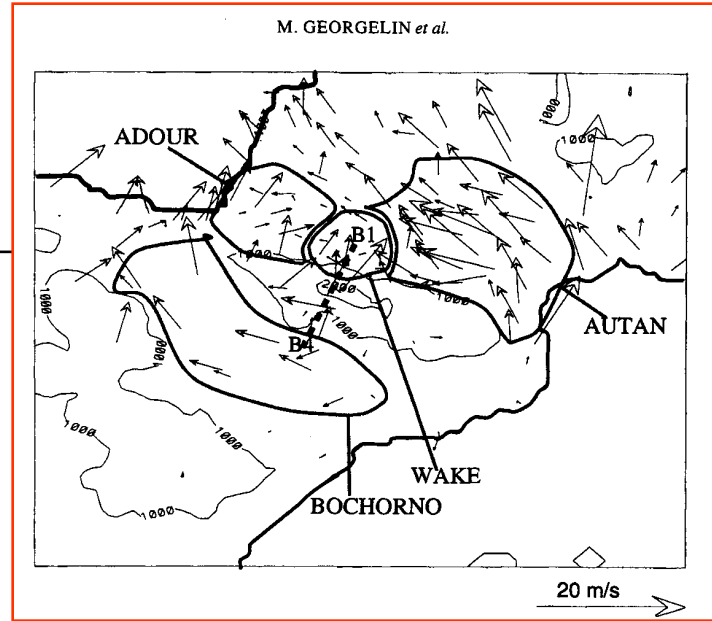
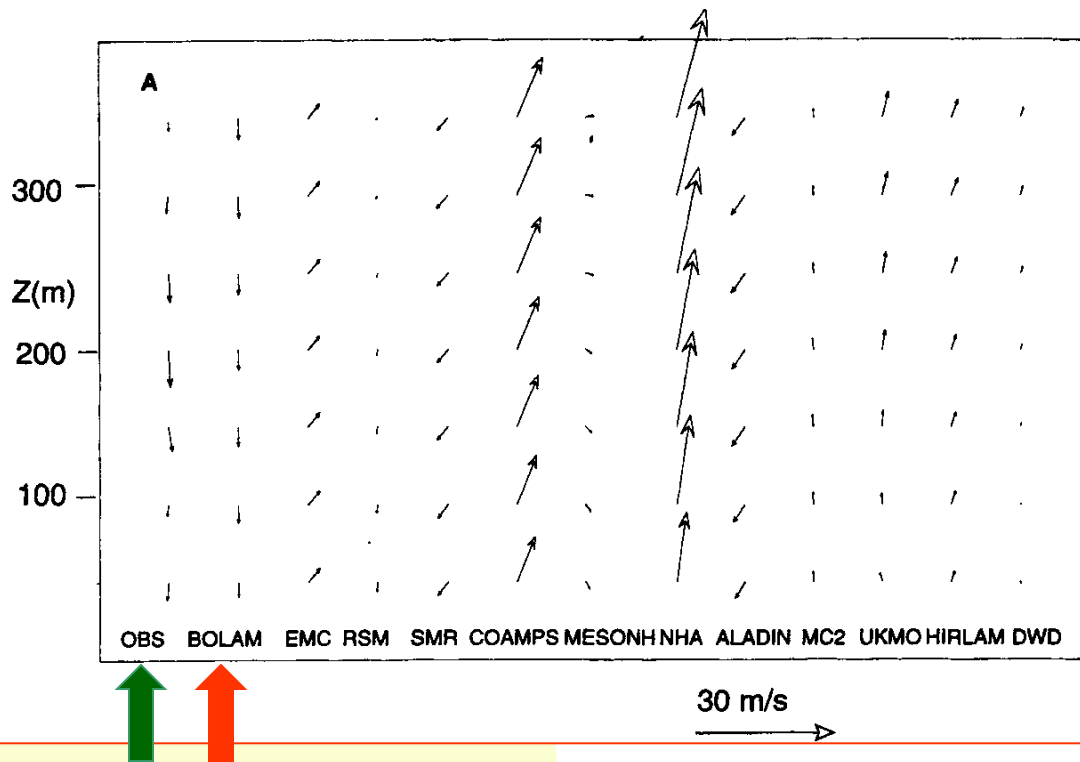


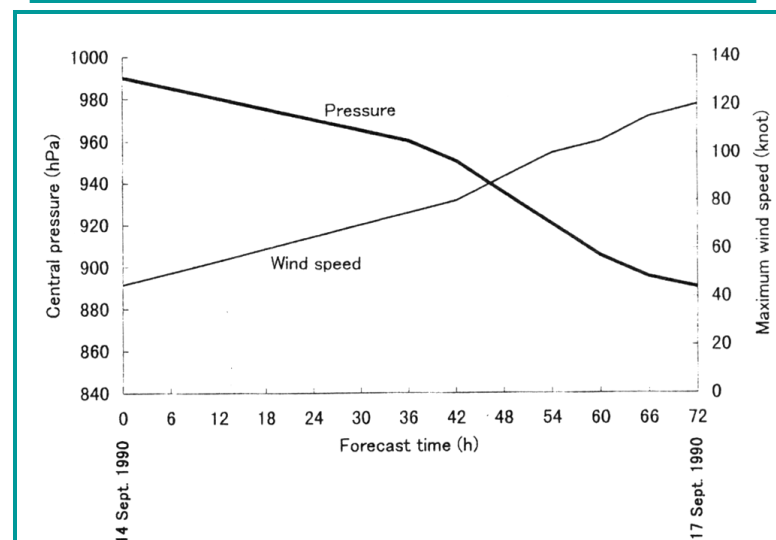
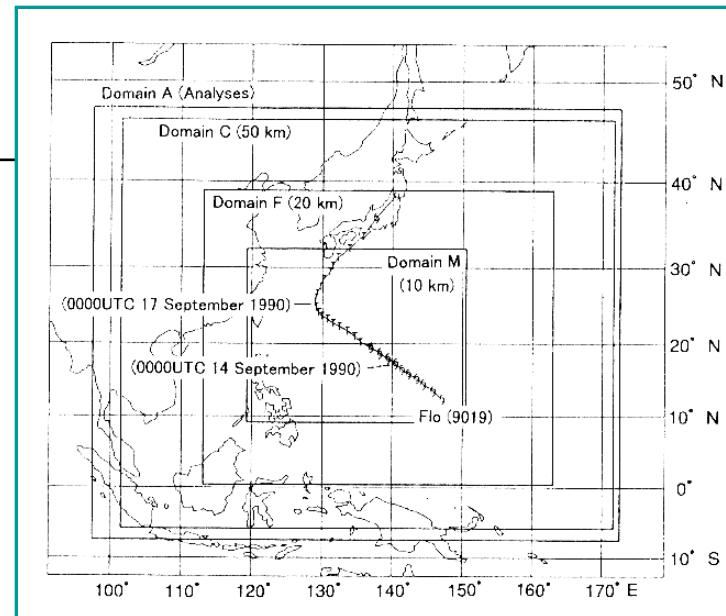
TABLE 1. LIST OF THE PARTICIPATING MODELS IN EACH EXPERIMENT

Institute	Model name	Non-hydrostatic	Experiments
JMA	JSM		3 5
FISBAT	BOLAM		3 4 5
CSIRO	DARLAM		3 5
CNRM	ALADIN		3 4
RPN	MC2	X	3 4 5
DWD	DM		3 4
UKMO	UKMO		3 4 5
NCEP	EMC		3 4 5
RPN	EFR		3 5
JMA	NHA	X	3 4
RER-SMR	LAMBO		3 4 5
INM	HIRLAM		3 4 5
CNRM and LA	MESONH	X	4
USNAVY	COAMPS	X	3 4 5
NCEP	RSM		3 4 5

COMPARE 3: super-typhoon over the Pacific

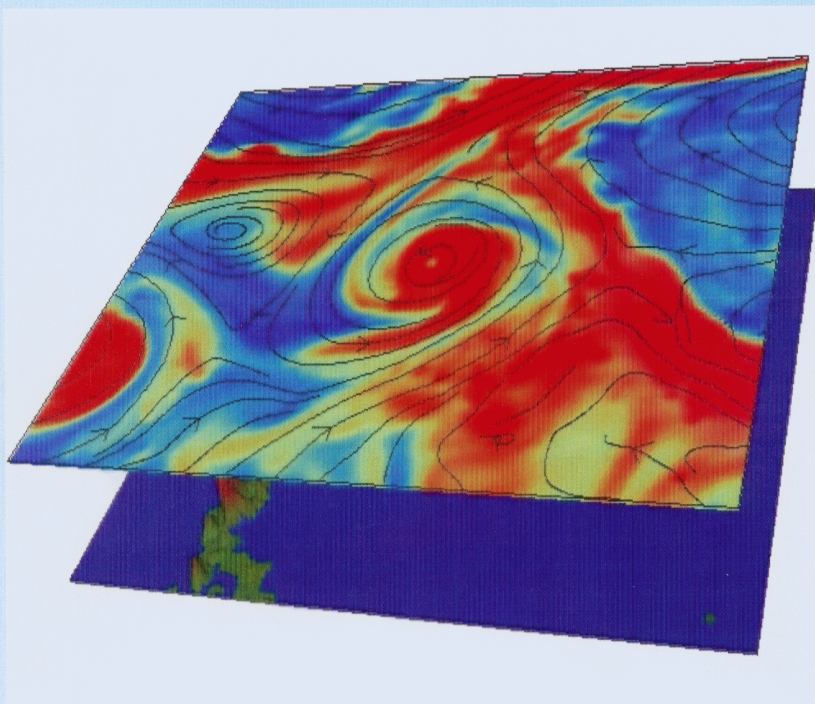
Table A1. Specifications of numerical models participating in Case III of COMPARE.

ID #	Institution	Model	Dynamics					Time integration
			Domain Map proj.	Equation	Grid	Resolution Horizontal	Vertical (in PBL) lowest at	
1	JMA (Japan)	TYM (RSM)	regional Mercator	hydrostatic	145x121 257x217	50 km 20 km	27 (9) 996.25 hPa	semi-implicit
2	UKMO (UK)	Unified Model	regional lat-lon	hydrostatic	160x110 280x220	.4425 deg .18 deg	27 (11) 996.25 hPa	forward/backward
3	FISBAT (Italy)	BOLAM	regional rot. lat-lon	hydrostatic	132x90 210x170	.48 deg .2 deg	27 (9) / 996 27 (7) / 997 996.0 hPa	forward-backward
4	NCEP (USA)	RSM	regional Mercator	hydrostatic	145x122 257x218	50 km 20 km	27 (9) 995.0 hPa	semi-implicit
5	DWD (Germany)	EM10M	regional lat-lon	hydrostatic	145x109 201x151	.5 deg .25 deg	27 (9) 996.25 hPa	semi-implicit
6	RPN/EC (Canada)	MC2	regional Mercator	non-hydrostatic	144x120 256x216	50 km 20 km	29 (11) 36.6m/17.8m	semi-implicit
7	RPN/EC (Canada)	GEM	global stretched rot. lat-lon	hydrostatic	178x198 392x480	.5 deg .182 deg variable	29 (11) 997.5 hPa	semi-implicit
8	INM (Spain)	HIRLAM	regional rot. lat-lon	hydrostatic	146x110 252x194	47 km 22 km	27 996.25 hPa	semi-implicit
9	NCEP (USA)	Eta	regional rot. spheric	hydrostatic	145x175 151x305	50 km 20 km	27 (10) 10m	forward-backward
A	CSIRO (Australia)	DARLAM	regional Mercator	hydrostatic	145x121 257x217	50 km 20 km	27 (9) 996.25 hPa	semi-implicit
B	CSIRO (Australia)	CSIRO-S	global stretched conformal cubic	hydrostatic	154x154 385x385	50 km 20 km	27 (9) 996.25 hPa	semi-implicit
C	MRI/JMA (Japan)	JSM	regional Mercator	hydrostatic	145x121 257x217	50 km 20 km	27 (9) 996.25 hPa	semi-implicit
D	NRL (USA)	COAMPS	regional Mercator	non-hydrostatic	91x91 100x100	50 km 20 km	30 (10) 10m	h: spl.-expl. v: spl.-impl.
E	NCMRWF (India)	RSM	regional Mercator	hydrostatic	97x84	50 km	18 (4) 995 hPa	semi-implicit



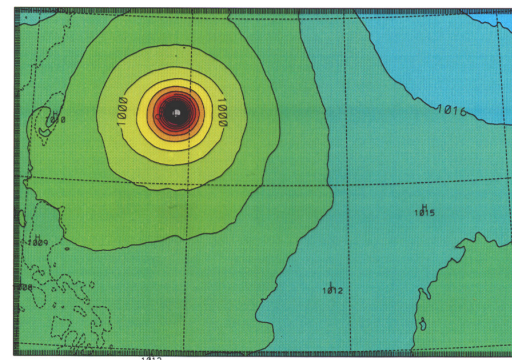
COMPARE 3: super-typhoon over the Pacific

Western Pacific Typhoon "Flo"

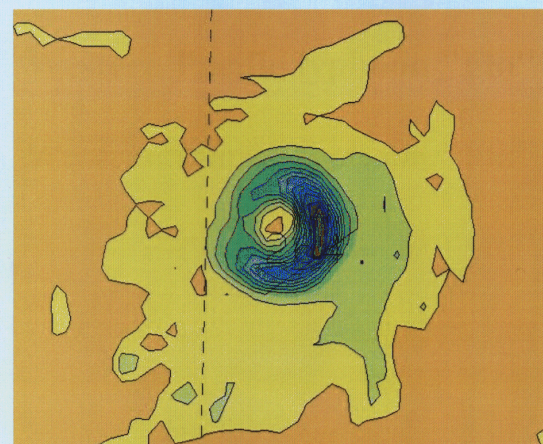


500mb RH and streamlines at the maximum intensity of the storm, on 1990 Sept. 17 00 UTC.

M.S.L. PRESSURE



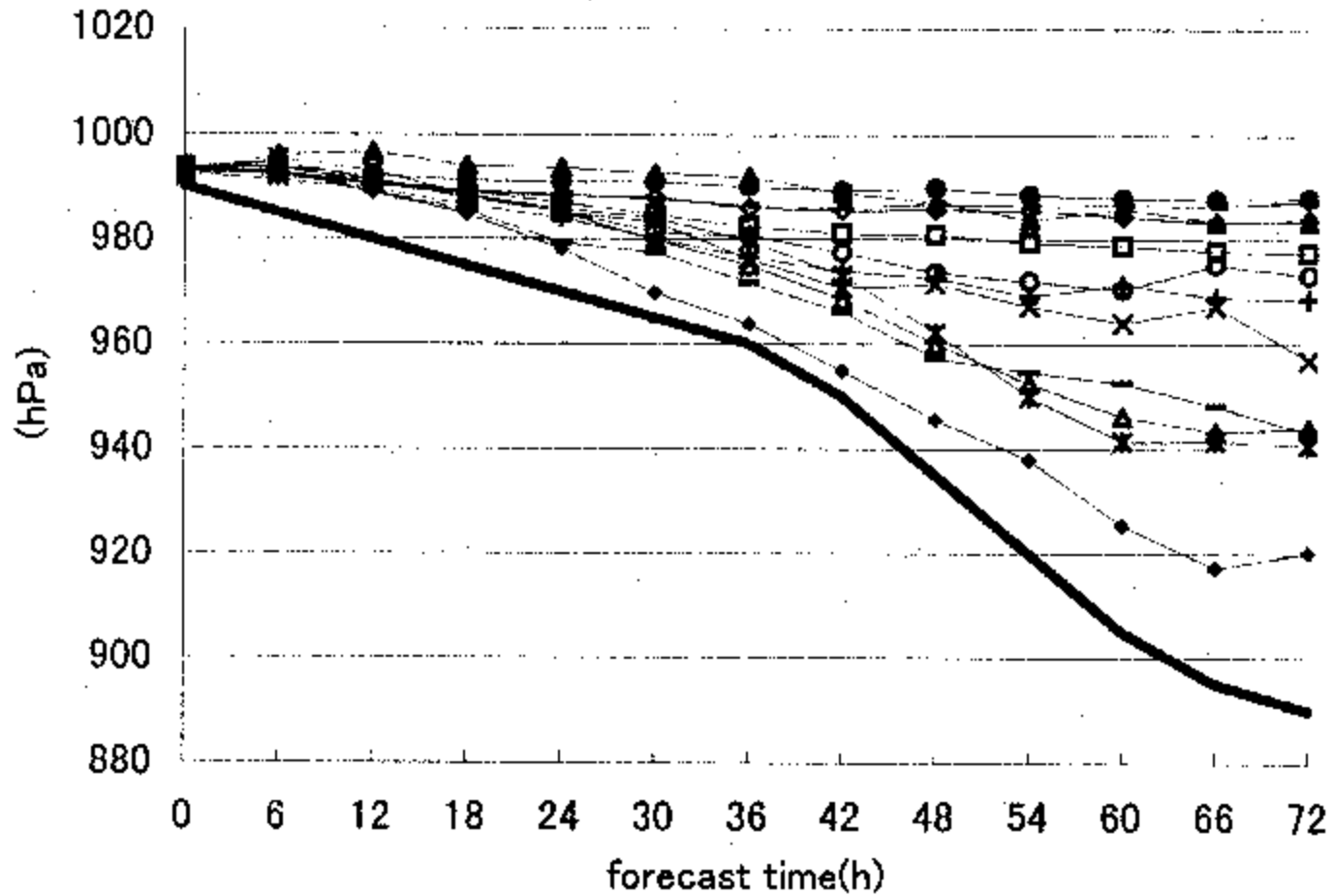
C.I. = 4.00



12-hours accumulated rain (mm.) at the maximum intensity of the cyclone.

Risoluzione: 20km

1a2



The Mesoscale Alpine Programme (MAP)



Special Observing Period MAP-SOP
(7 Sept. - 15 Nov. 1999)

Among the MAP SOP
scientific projects:

- Orographic precipitation
- Hydrological measurements and models

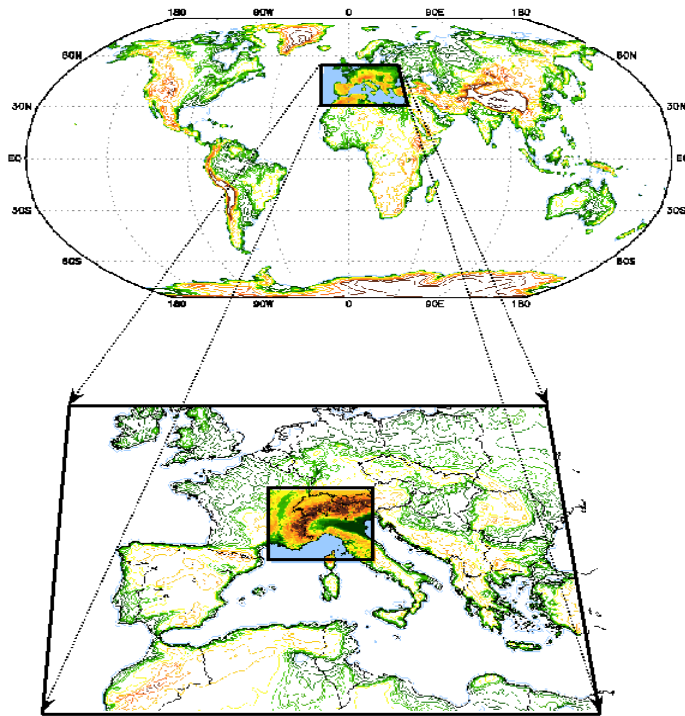


Operational model chain

Set up for BOLAM at CMIRL-DIFI Genoa since the MAP-SOP (Sept. 1999)



ECMWF - BOLAM chain



ECMWF

~50 km resolution



BOLAM

21.5 km resolution



BOLAM

6.5 km resolution



Attività operativa e di ricerca nel campo della previsione meteorologica numerica in Italia col modello BOLAM

- Ufficio Centrale Ecologia Agraria (UCEA - Finsiel-Almaviva) Modello DALAM
- CMIRL Liguria (LILAM)
- SAR Sardegna - in collaborazione con CNR-ISAC di Bologna
- CRS4 Cagliari
- Dipartimento Servizi Tecnici Nazionali (DSTN) - in collaborazione con ENEA (progetto QBOLAM su computer QUADRICS)
- ISPRA (ora, qui)
- Regione Sicilia (SILAM)
- Protezione Civile (Progetto PROSA)

Attività operativa di previsione meteorologica numerica col modello BOLAM in campo internazionale

- National Observatory of Athens
- Vietnam – University of Hanoi
- Università di Addis Abeba (Etiopia)

OPERATIONAL USE OF THE METEOROLOGICAL MODEL BOLAM AT THE NATIONAL OBSERVATORY OF ATHENS

K. Lagouvardos, V. Kotroni, A. Koussis and C. Feidas

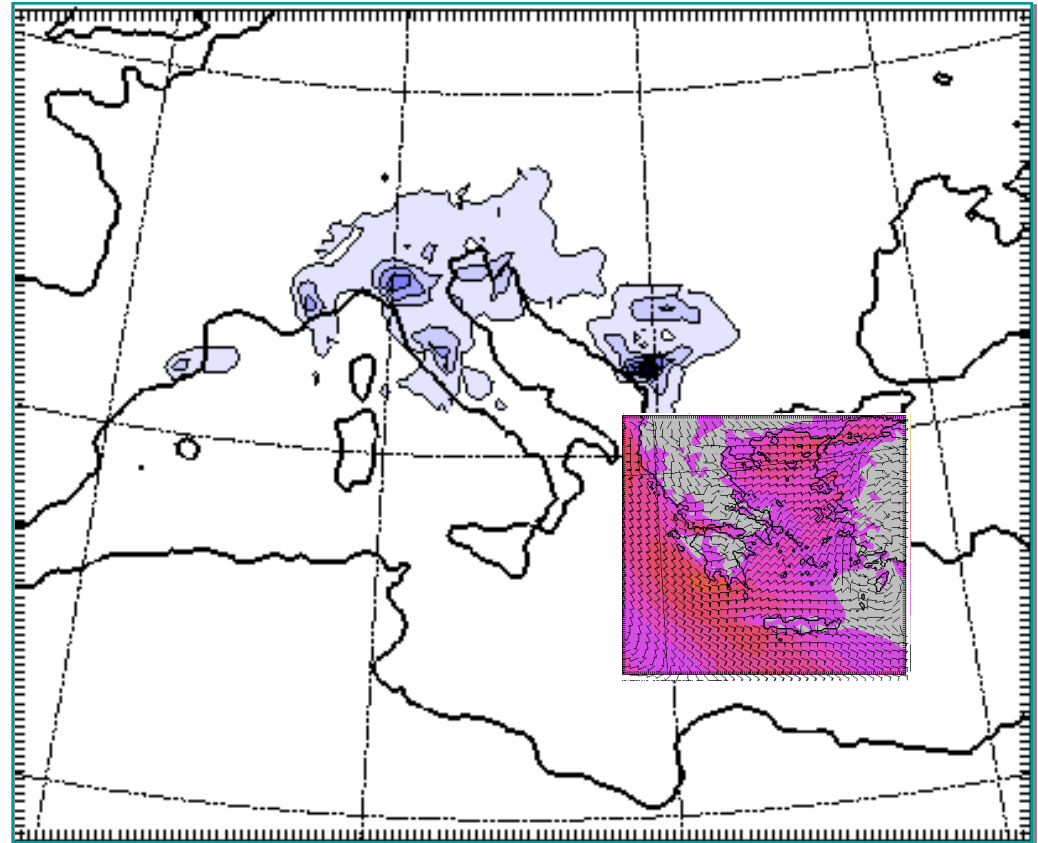
National Observatory of Athens

A. Buzzi, P. Malguzzi

Institute of Atmospheric Sciences and Climate-CNR, Bologna

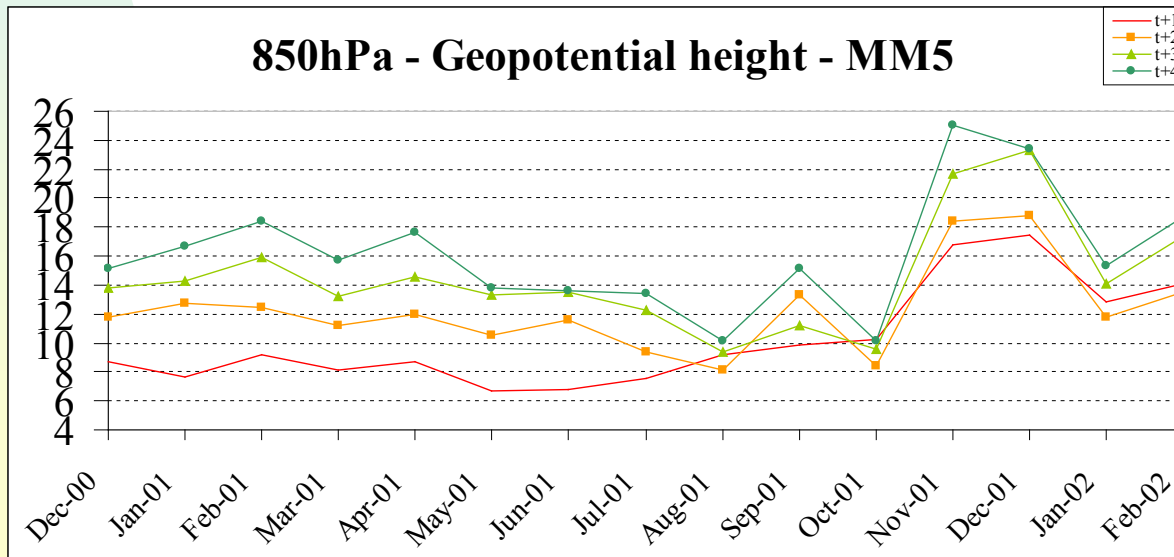
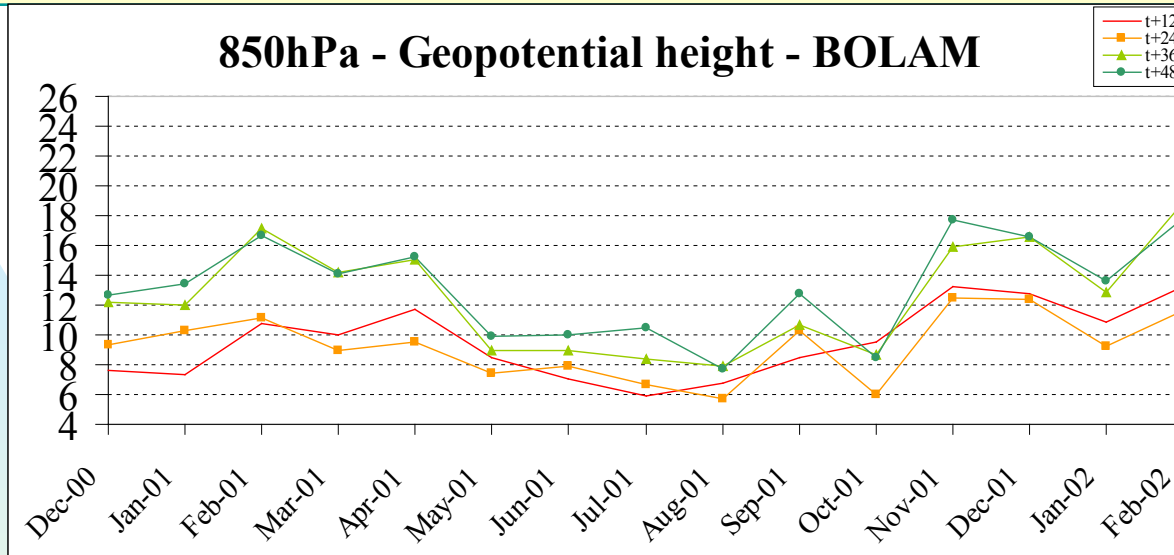
NESTED SIMULATIONS (2 years of operation)

- Coarse grid:
0.21 deg resolution, 30 levels
- Inner grid:
0.06 deg resolution, 40 levels



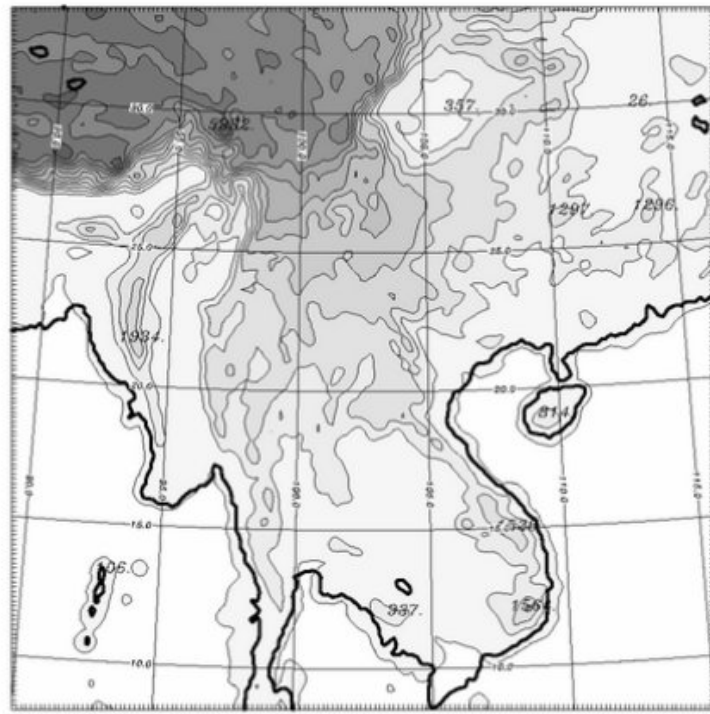
<http://www.noa.gr/~telefleu>

Verification against AVN-NCEP analyses



MODEL OROGRAPHY

INTERVAL 500.

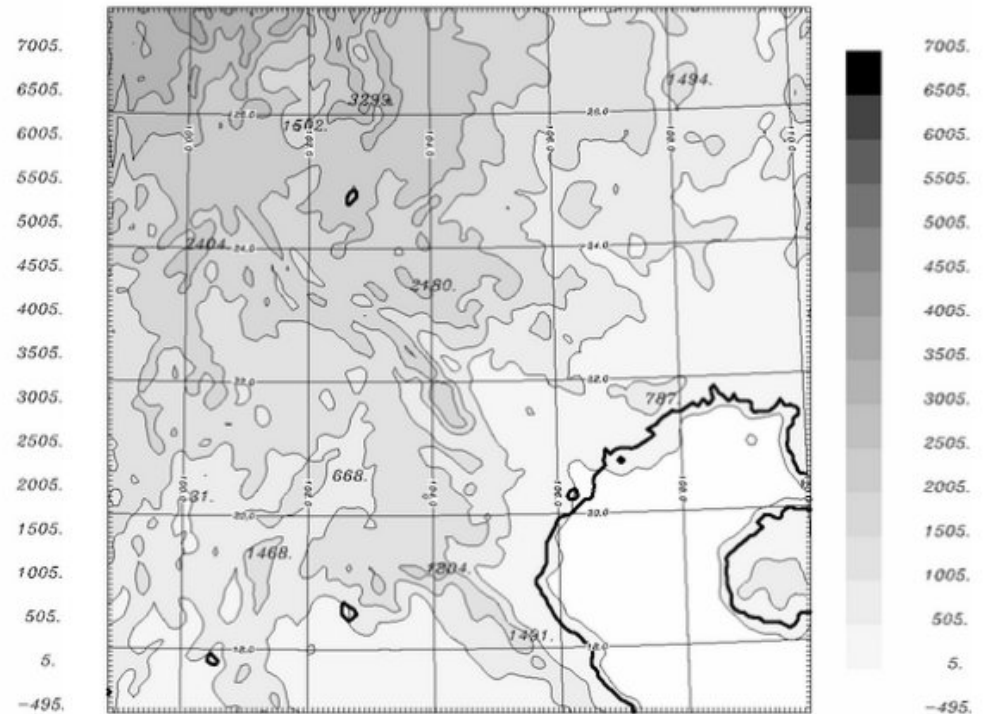


BOLAM MODEL, ISAC-CNR, BOLOGNA

Figure 2. a) Domain of BOLAM Father

MODEL OROGRAPHY

INTERVAL 500.



BOLAM MODEL, ISAC-CNR, BOLOGNA

b) Domain of BOLAM Son

'GLOBO'

GLOBAL version of the BOlam model

Risoluzione: .401x.288 gradi

60 livelli

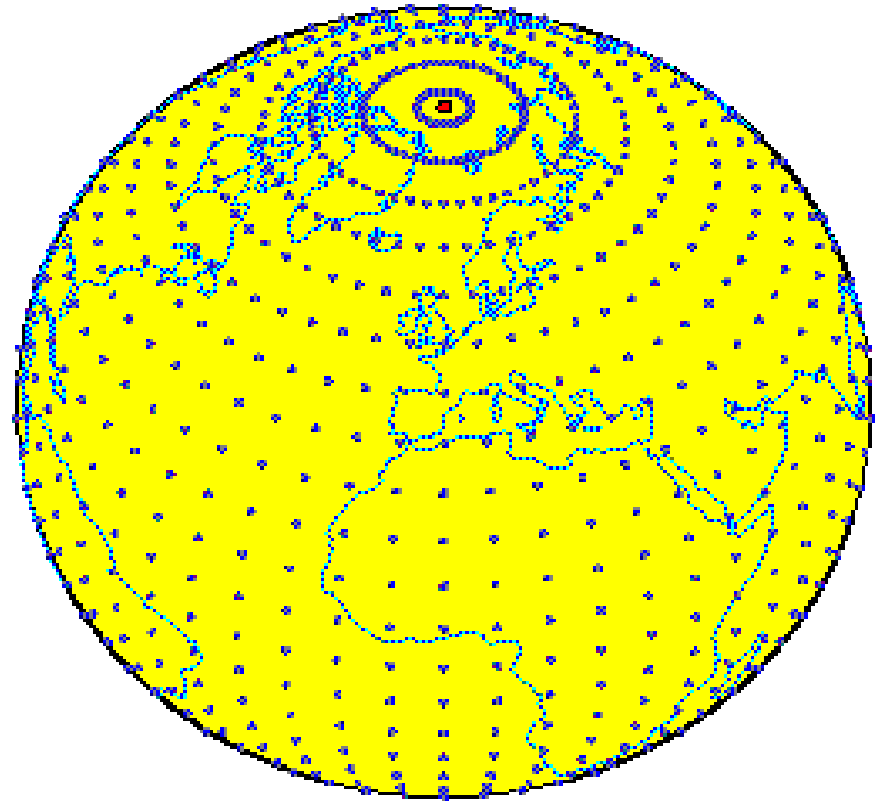
Forecast lead: 6 gg

CI: NCEP-GFS

Malguzzi et al, 2011:

The meteorological<global model
GLOBO at the ISAC-CNR of Italy:
Assessment of 1.5 years of
experimental use for medium range
weather forecast.

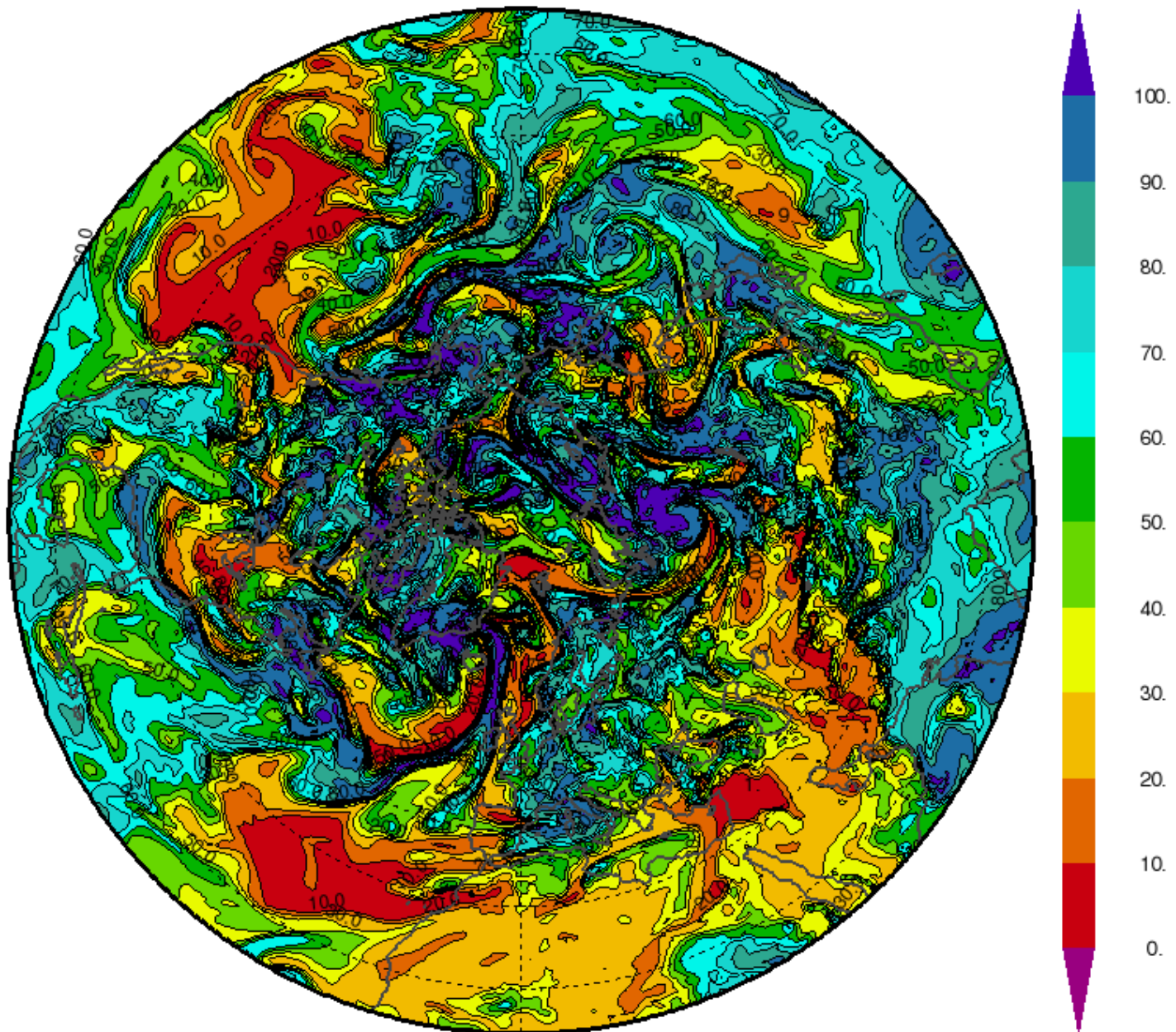
Weather and Forecasting



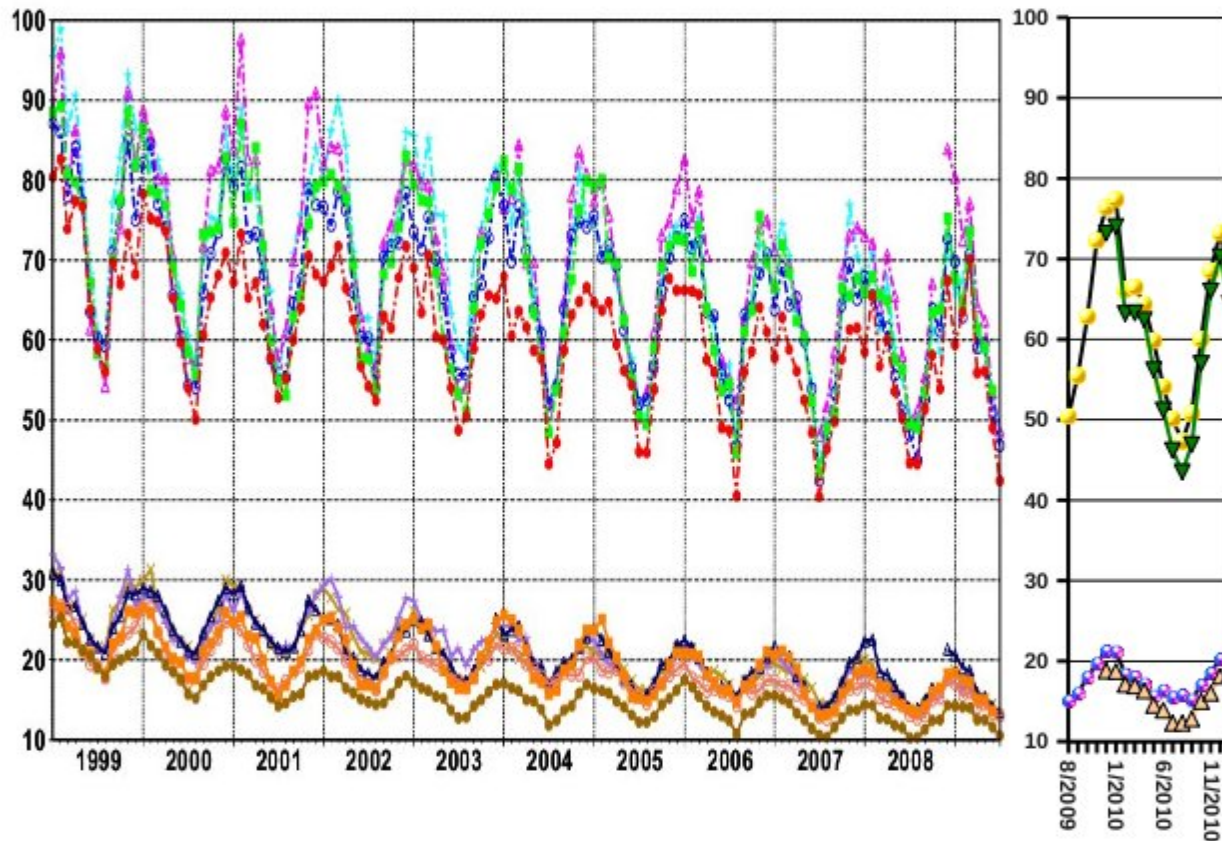
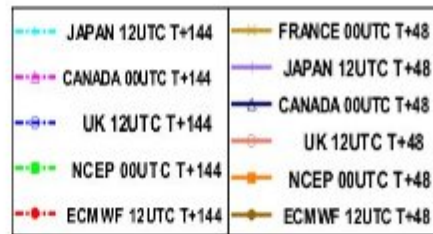
Relative Humidity (%) at 700 hPa

Initial time Tue, 26/07/2011 00:00 UTC

Forecast + 36 h (001 d 12 h) valid Wed, 27/07/2011 12:00 UTC



VERIFICATION TO W.M.O. STANDARDS
 NORTHERN HEMISPHERE
 VERIFICATION AGAINST ANALYSIS
 500 hPa GEOPOTENTIAL HEIGHT RMSE (m)



Monthly mean GLOBO rmse (right panel) of 500 hPa Northern extratropics geopotential height for 2 and 6 day forecasts.

Dots: total error; triangles: sistematic error removed.

Verification is made according to W.M.O. Standards on a 2.5 lat-lon grid.

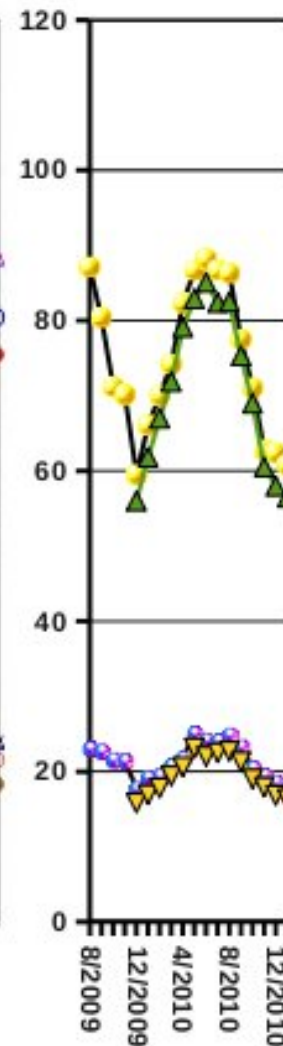
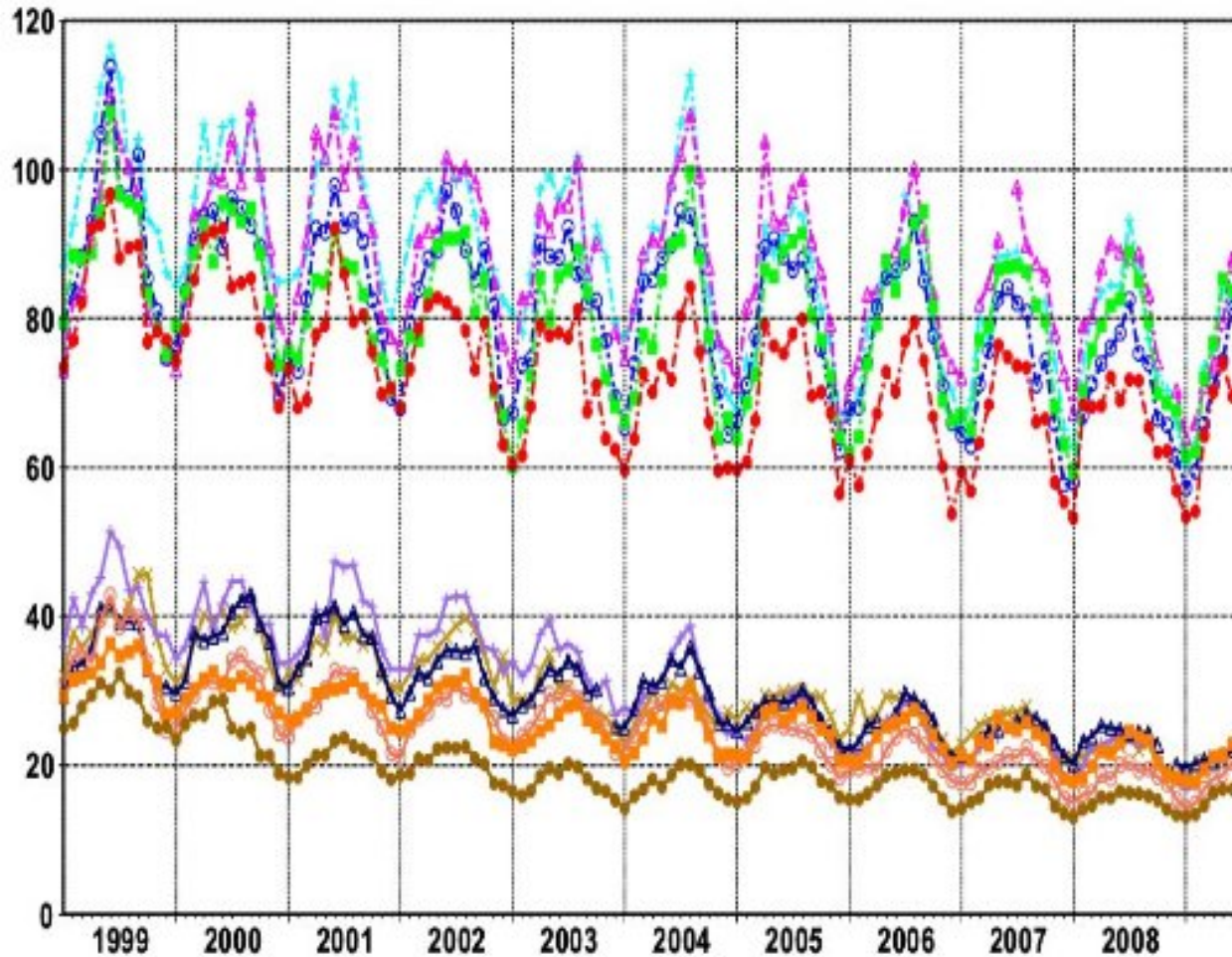
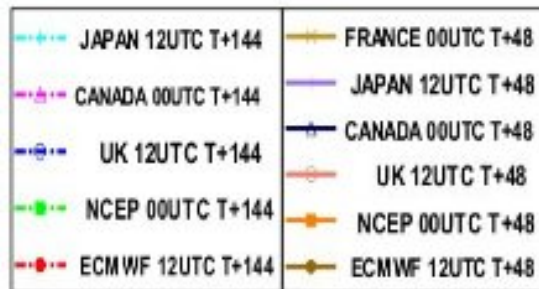
For comparison, the left panel shows the historical record of the same quantities computed from the global forecast models of the main meteorological Centers.

VERIFICATION TO W.M.O. STANDARDS

SOUTHERN HEMISPHERE

VERIFICATION AGAINST ANALYSIS

500 hPa GEOPOTENTIAL HEIGHT RMSE (m)



Link utili

<http://www.isac.cnr.it/dinamica/projects/forecasts/>

http://www.isprambiente.gov.it/pre_meteo/

<http://kassandra.ve.ismar.cnr.it:8080/kassandra/homepage/>