

# Caos e atmosfera

## Il problema della predicibilità nella fisica dell'atmosfera

*11 giugno 2010*

*CRMA - Centro Regionale di Modellistica Ambientale*

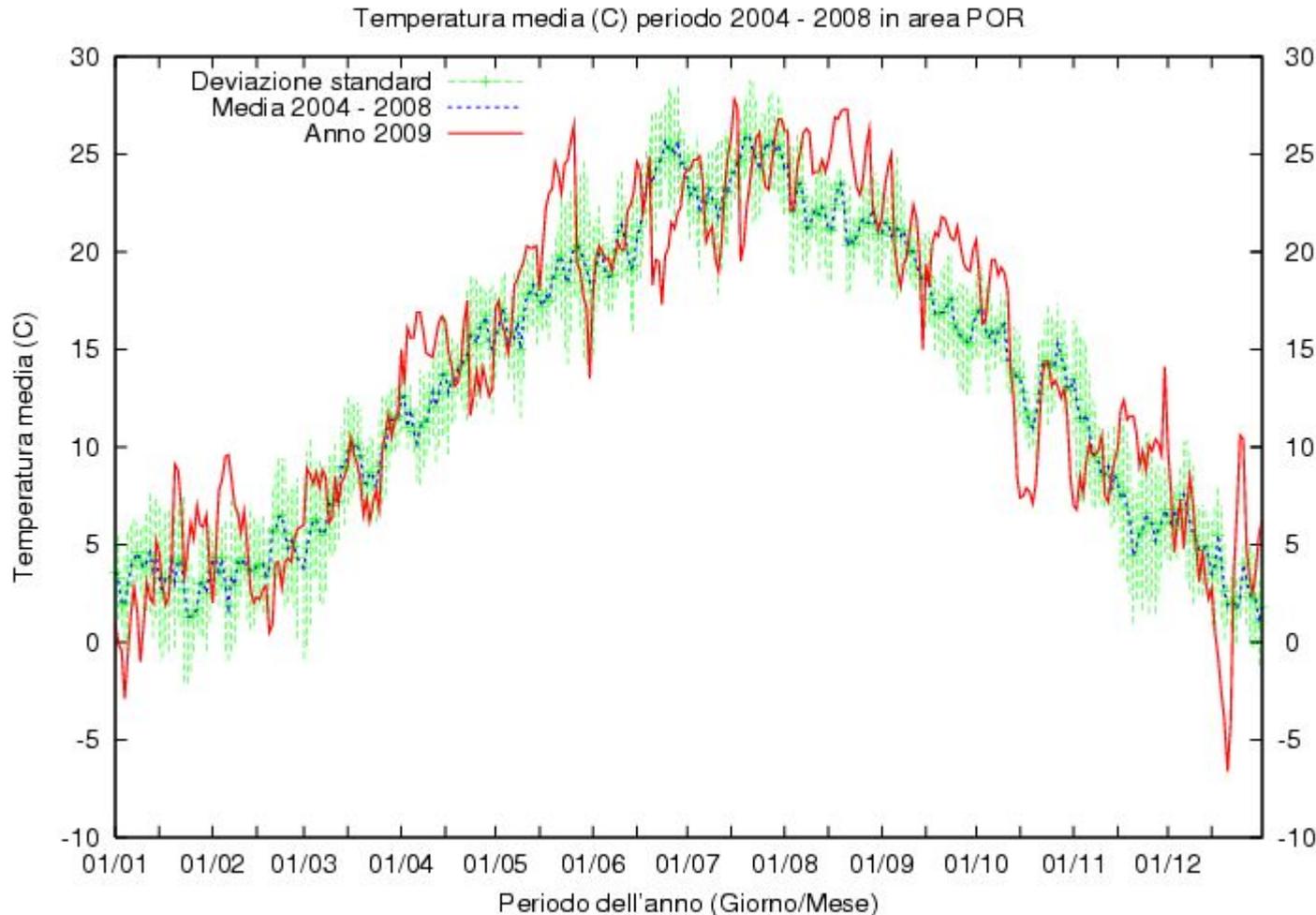
*ARPA FVG*

*Palmanova - Italy*

*Dario B. Gaiotti e Fulvio Stel*

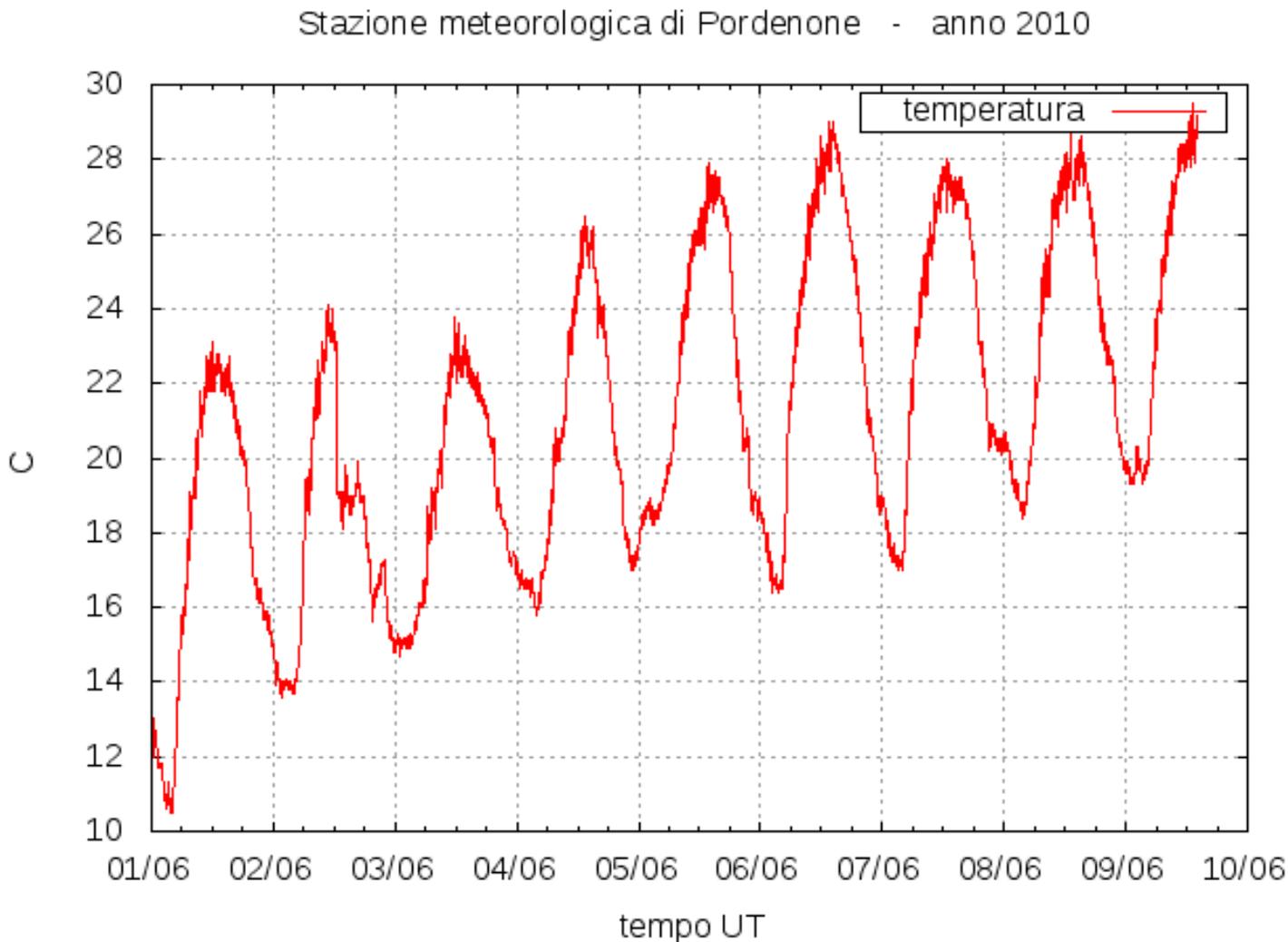
- Comportamento periodico e caotico in atmosfera
- Condizioni iniziali e memoria del sistema fisico
- Le previsioni del tempo tramite modelli numerici
- Qualità delle previsioni numeriche
- I sistemi più avanzati per migliorare la predicibilità
- Considerazioni finali e sviluppi futuri

## Esempio: la temperatura media giornaliera



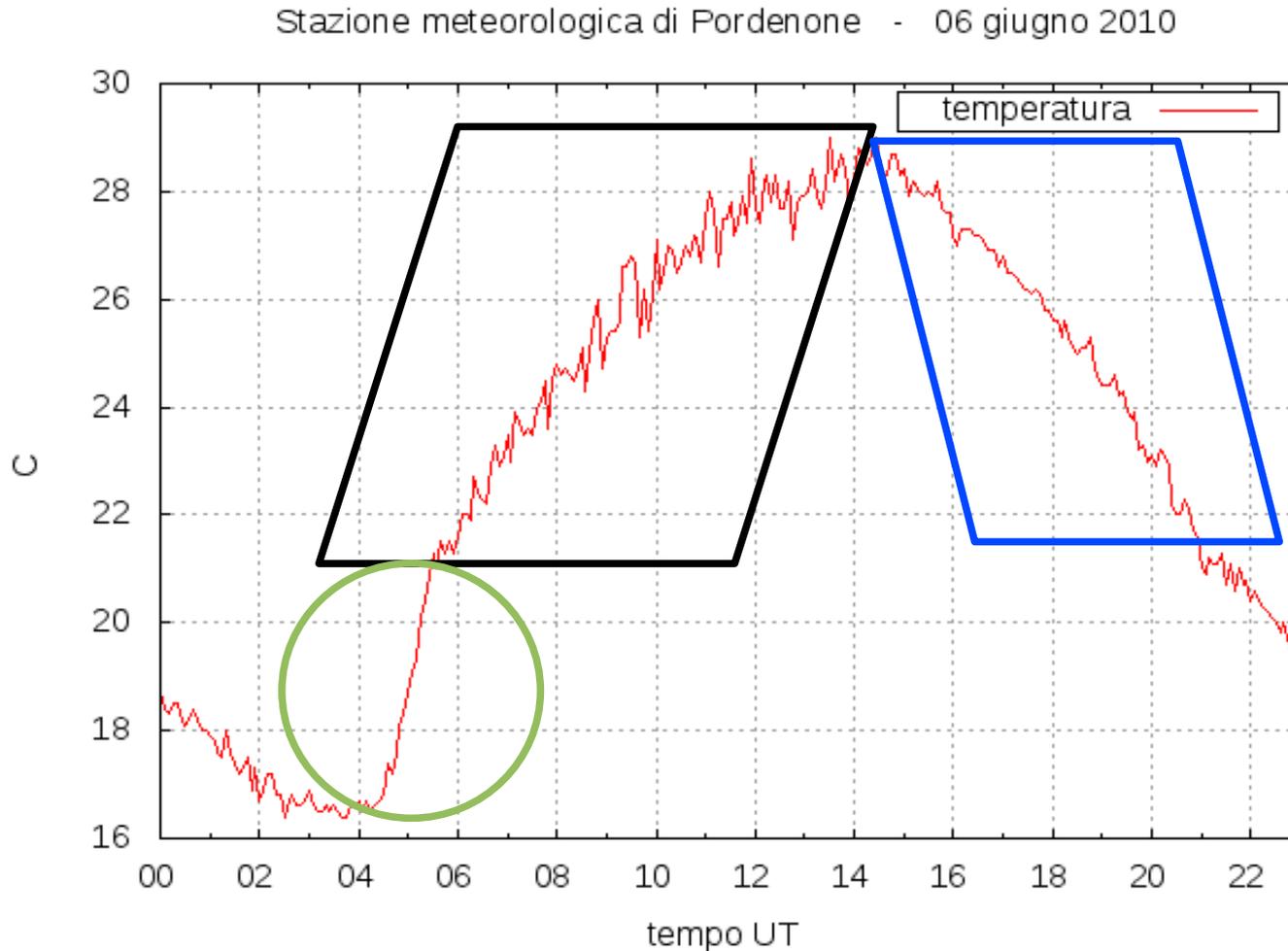
Periodicità  
annuale  
+  
componente  
non periodica

## Esempio: la temperatura oraria



Periodicità giornaliera  
+  
componente non periodica

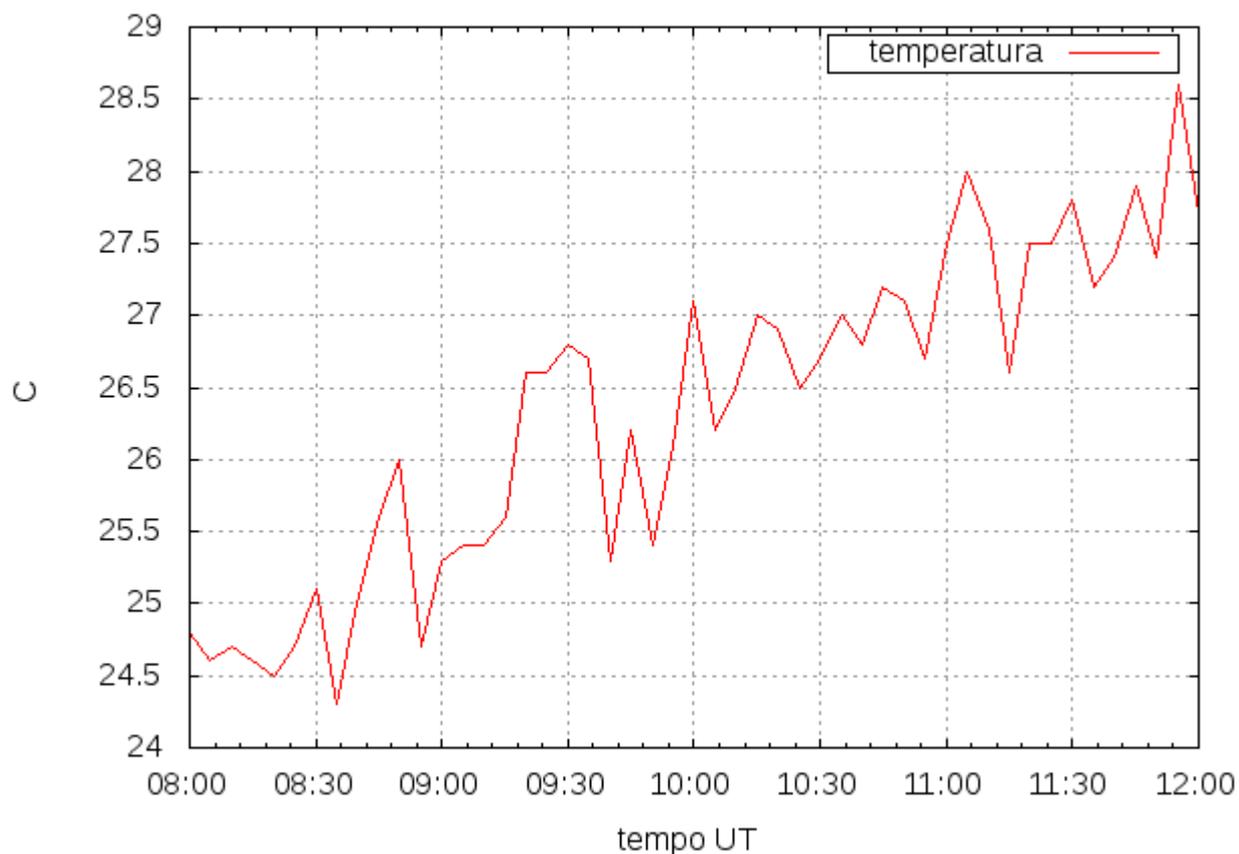
## Esempio: le fluttuazioni sub orarie della temperatura



Diverse  
ampiezze  
e  
Diverse  
derivate  
temporali

## Cause delle fluttuazioni sub orarie della temperatura

Stazione meteorologica di Pordenone - 06 giugno 2010



Variazioni nelle forzanti esterne:

- irraggiamento

Variazioni nelle condizioni al contorno:

- terreno

Variazioni nella composizione del fluido:

- umidità
- inquinanti

Moto del fluido:

- avvezione
- turbolenza

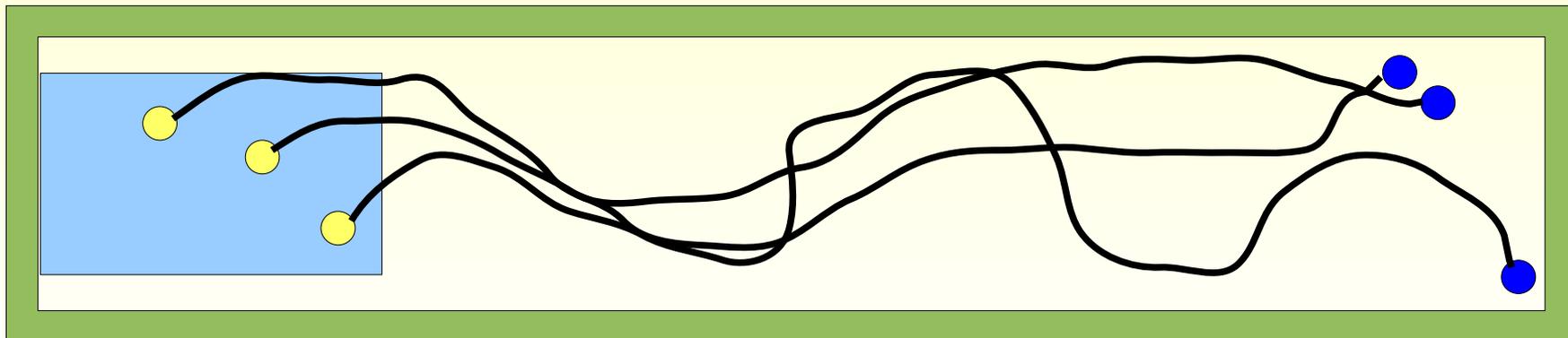
## Condizioni iniziali e memoria del sistema fisico

## Evoluzione del sistema fisico

Condizioni  
inizialiCondizioni  
al contorno

Legge evolutiva

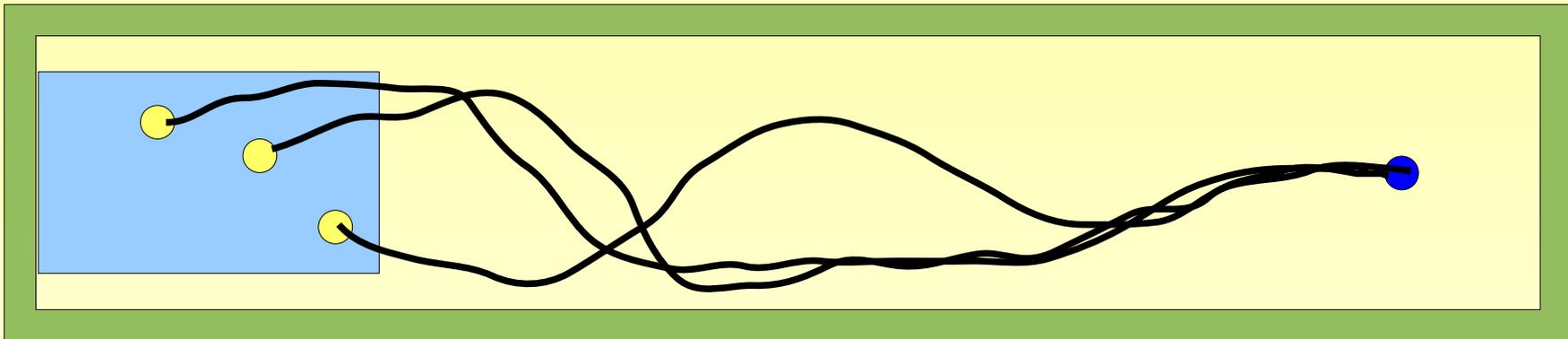
$$\frac{d\mathbf{v}}{dt} = -2\boldsymbol{\Omega} \times \mathbf{v} - \frac{1}{\rho} \nabla p + \mathbf{g} + \nu \Delta \mathbf{v}$$



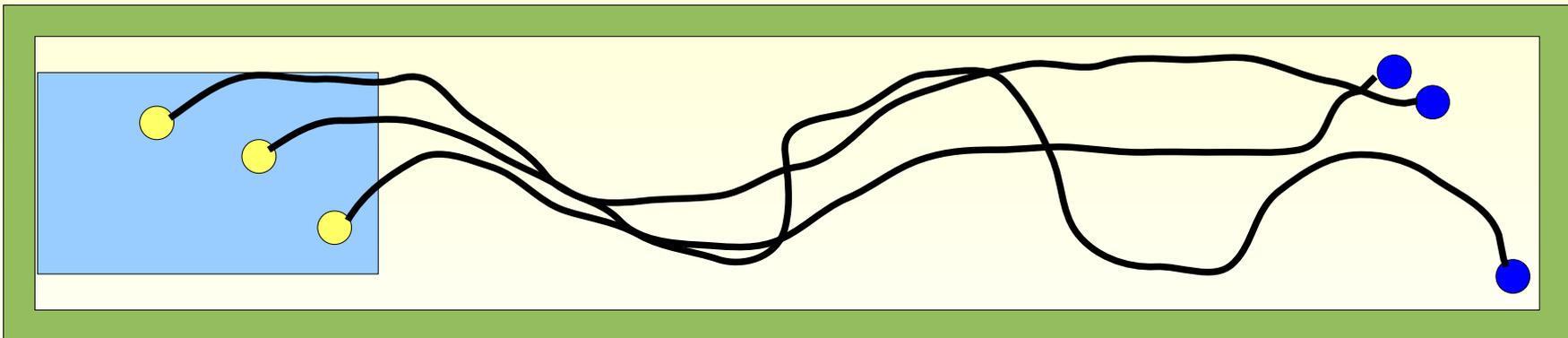
## Condizioni iniziali e memoria del sistema fisico

L'effetto di piccole variazioni nelle condizioni iniziali può:

- esaurirsi dopo un tempo caratteristico, ma finito;

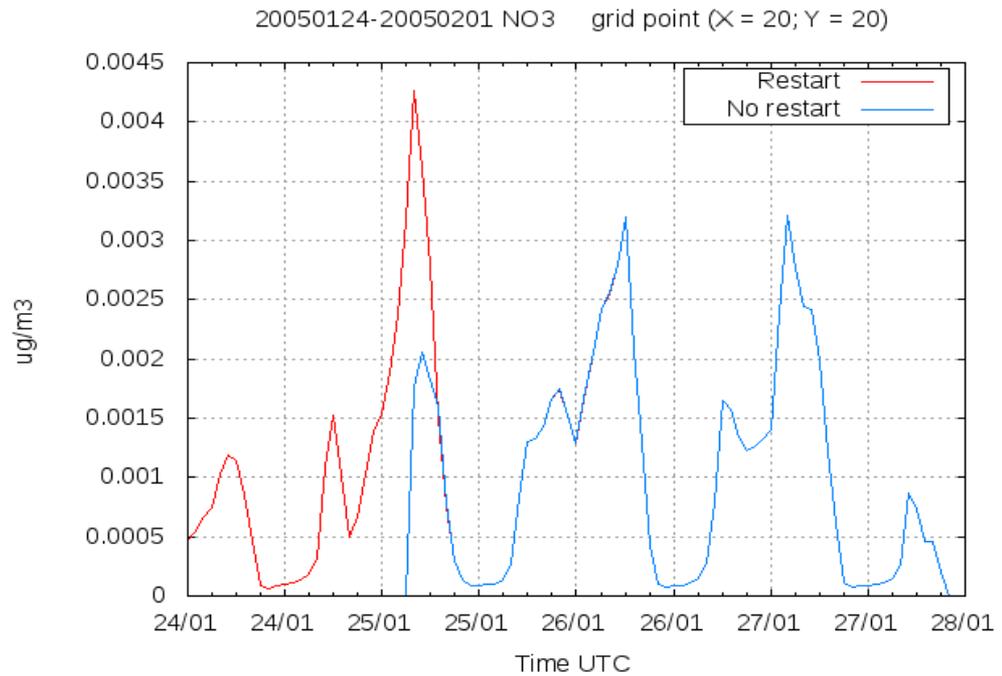
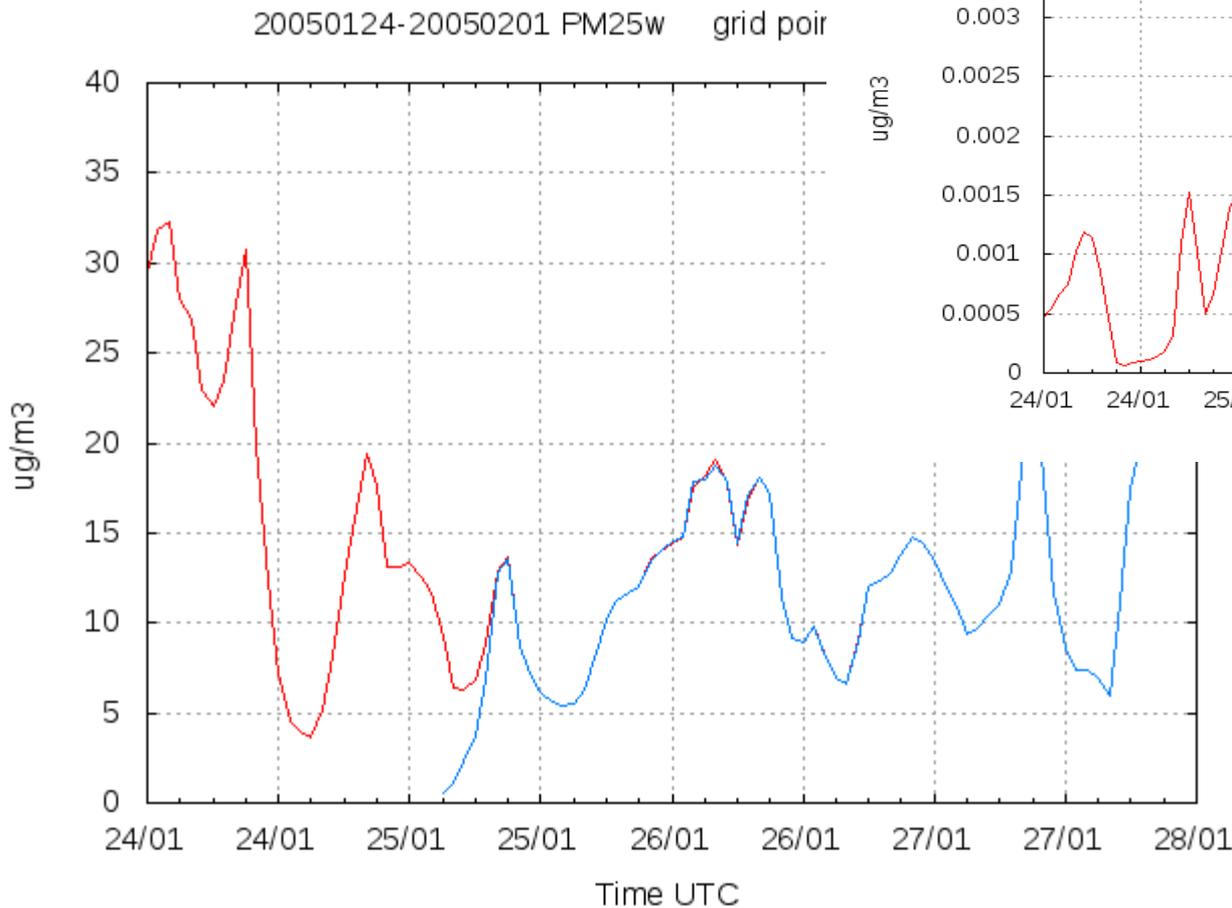


- caratterizzare completamente l'evoluzione del sistema



# Esempio: concentrazione degli inquinanti nell'aria

- **diverse condizioni iniziali,**
- **stesse condizioni al contorno**
- **stessa legge evolutiva**



Oggi le previsioni del tempo sono essenzialmente basate su **modelli numerici**.

Esiste una componente soggettiva (**previsore meteorologico**) che ha lo scopo di:

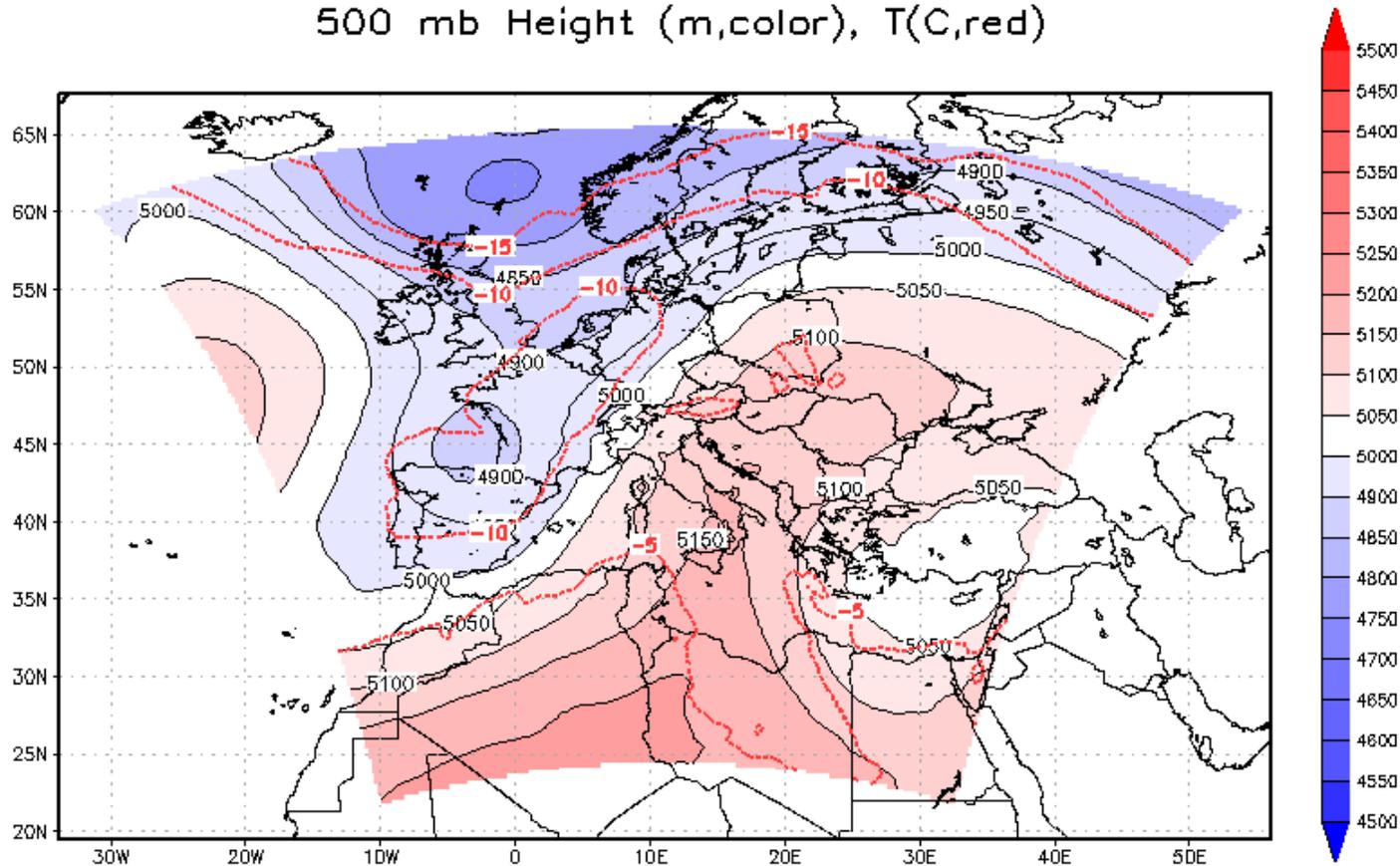
- tradurre in linguaggio verbale gli output dei modelli;
- affinare la previsione numerica sulla base dell'esperienza acquisita nel collegare gli output dei modelli con il tempo meteorologico in particolari zone geografiche

Ne consegue che da alcuni decenni a questa parte il miglioramento delle previsioni meteorologiche è sostanzialmente dovuto all'affinamento dei modelli numerici

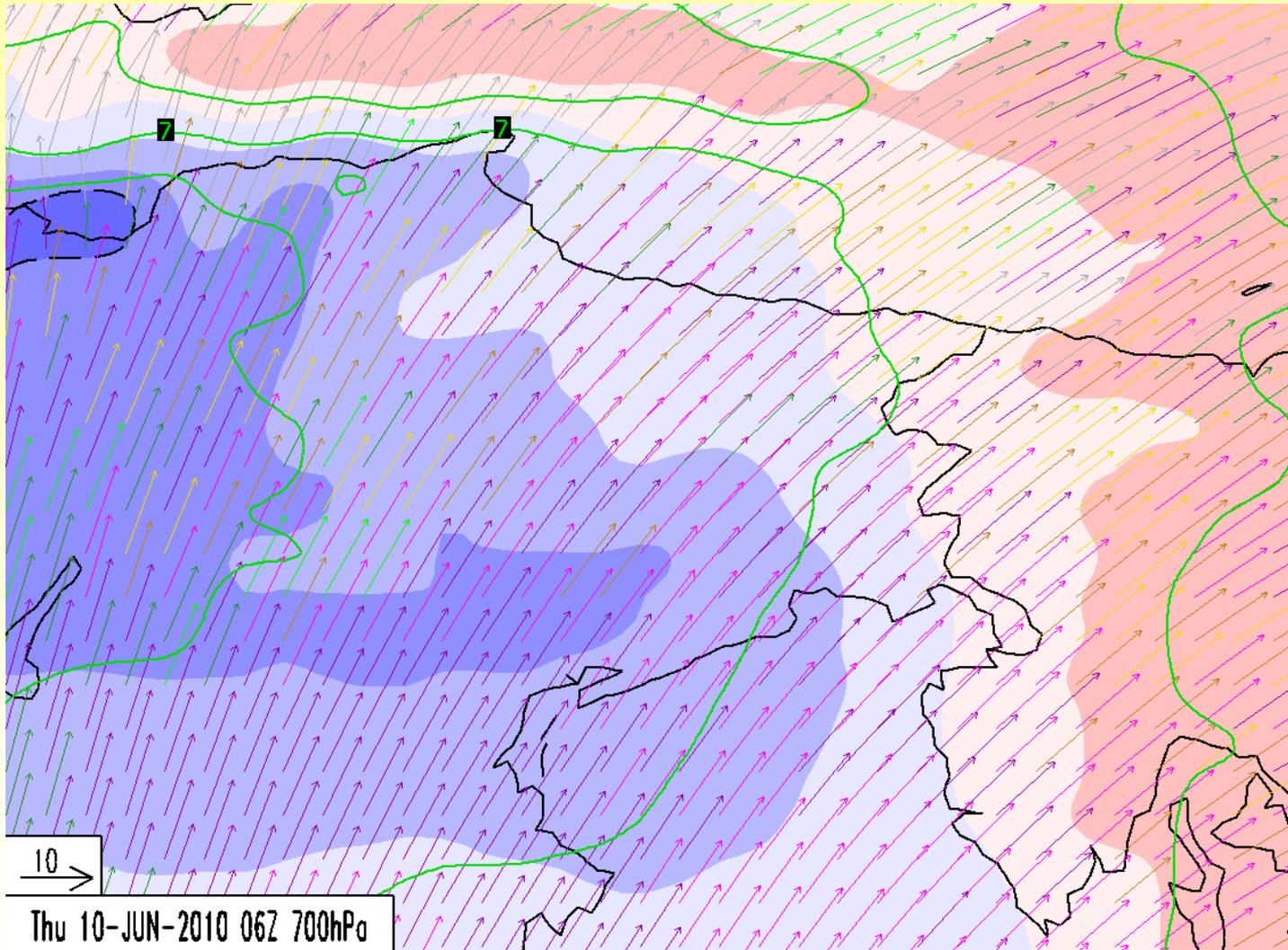
# Esempio di previsione meteorologica: le simulazioni a scala continentale

## Previsioni operative quotidiane CRMA – Modello WRF

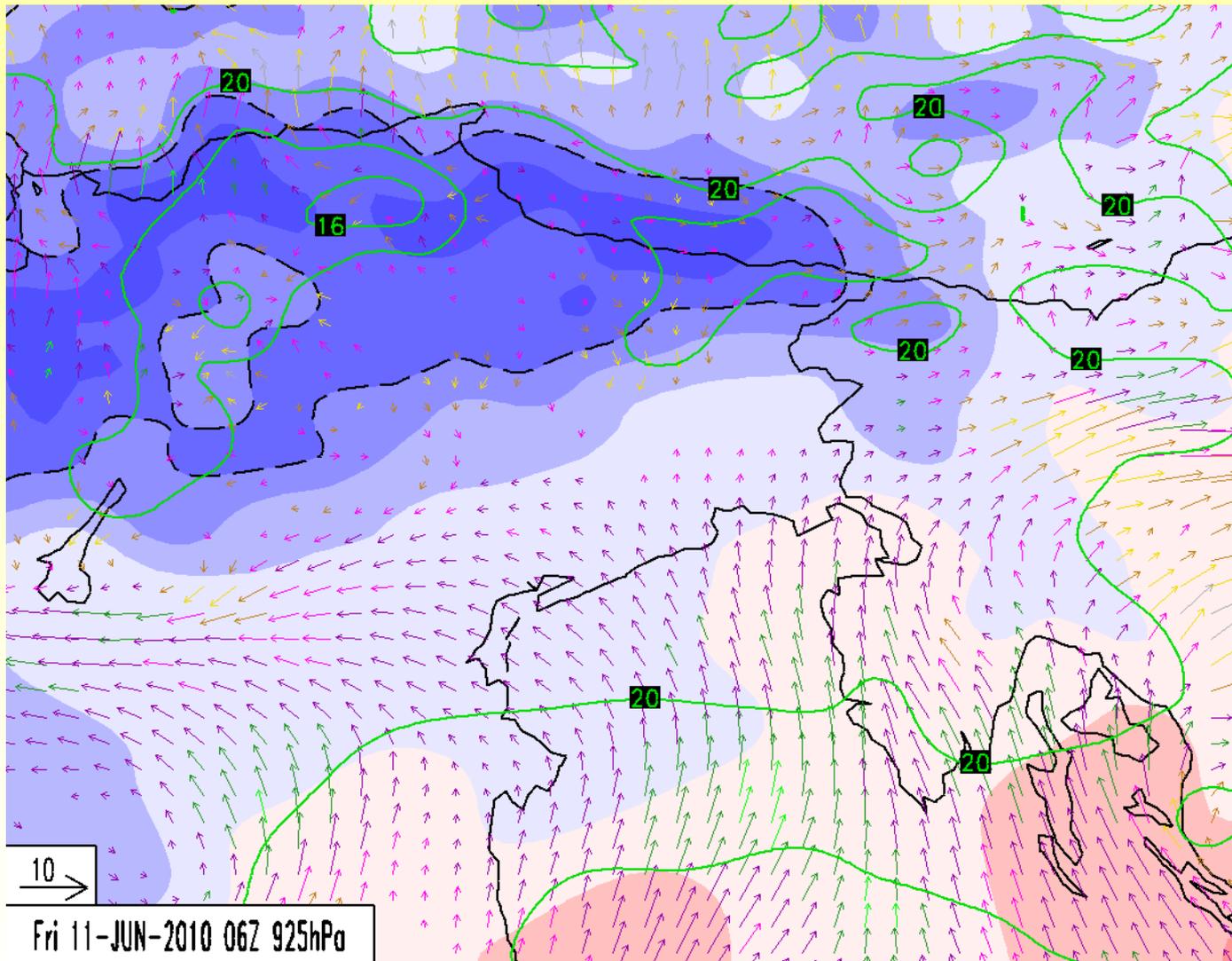
500 mb Height (m,color), T(C,red)



## Esempio di previsione meteorologica: le simulazioni a scala regionale

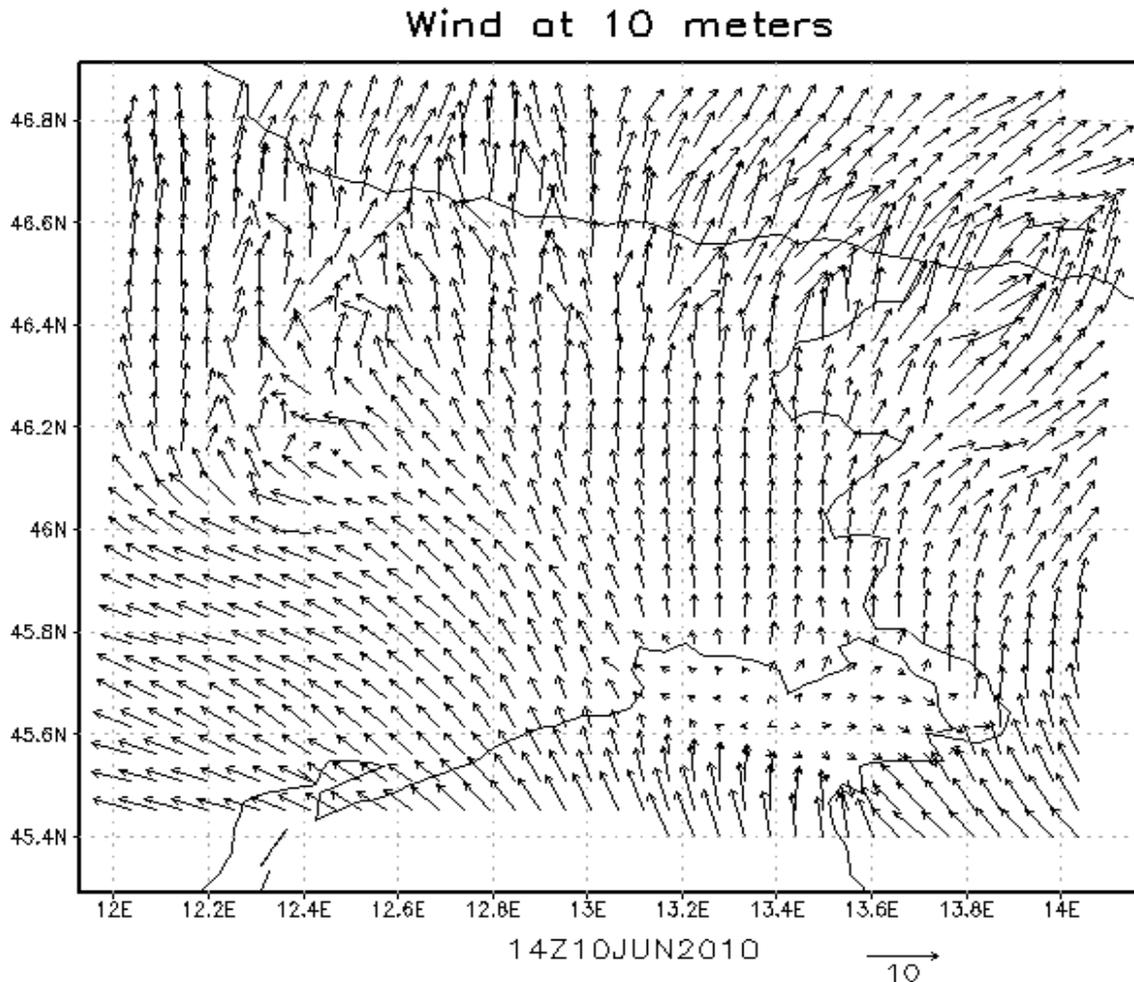


## Esempio di previsione meteorologica: le simulazioni a scala regionale



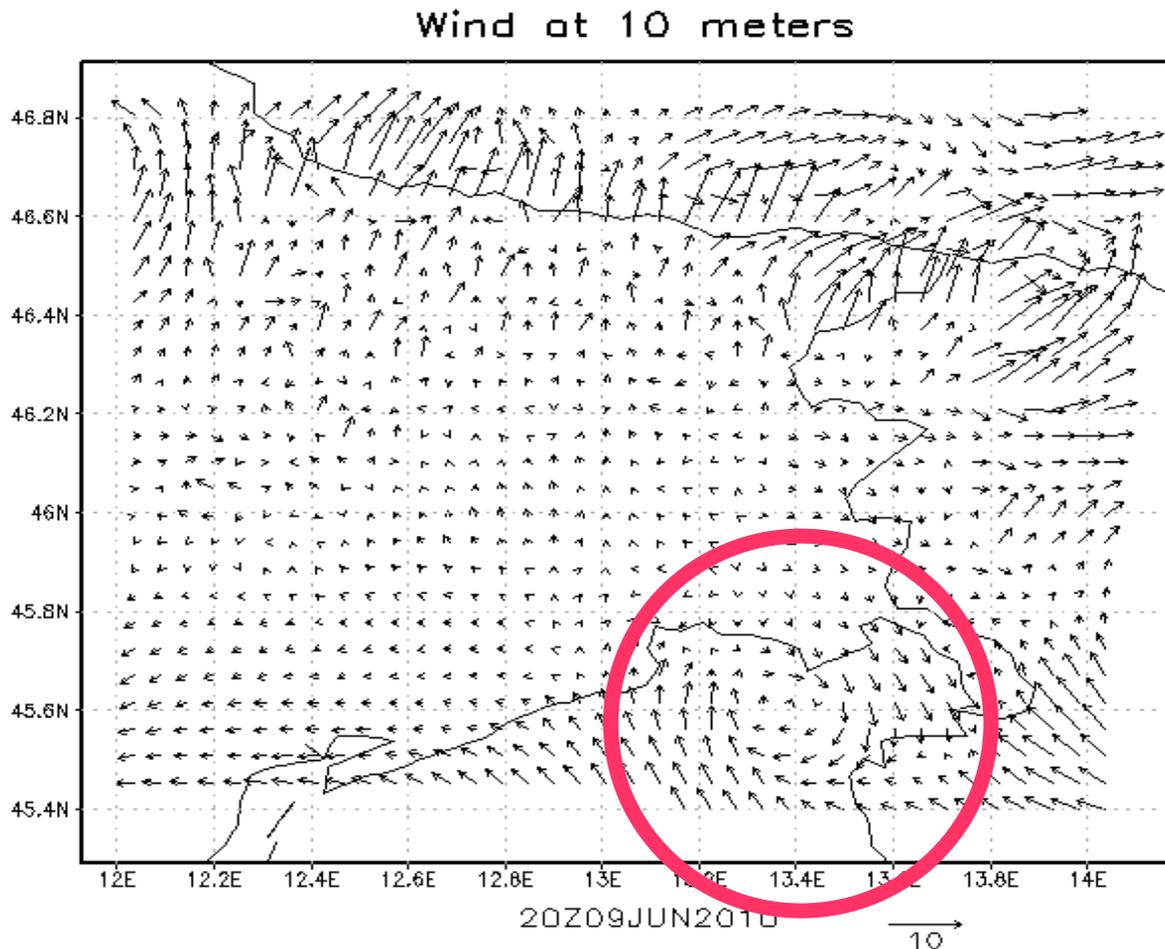
# Esempio di previsione meteorologica: le simulazioni a scala regionale

## Previsioni operative quotidiane CRMA – Modello WRF



# Esempio di previsione meteorologica: le simulazioni a scala regionale

Previsioni operative quotidiane CRMA – Modello WRF



## Incertezze dei modelli e conseguenze sulla previsione

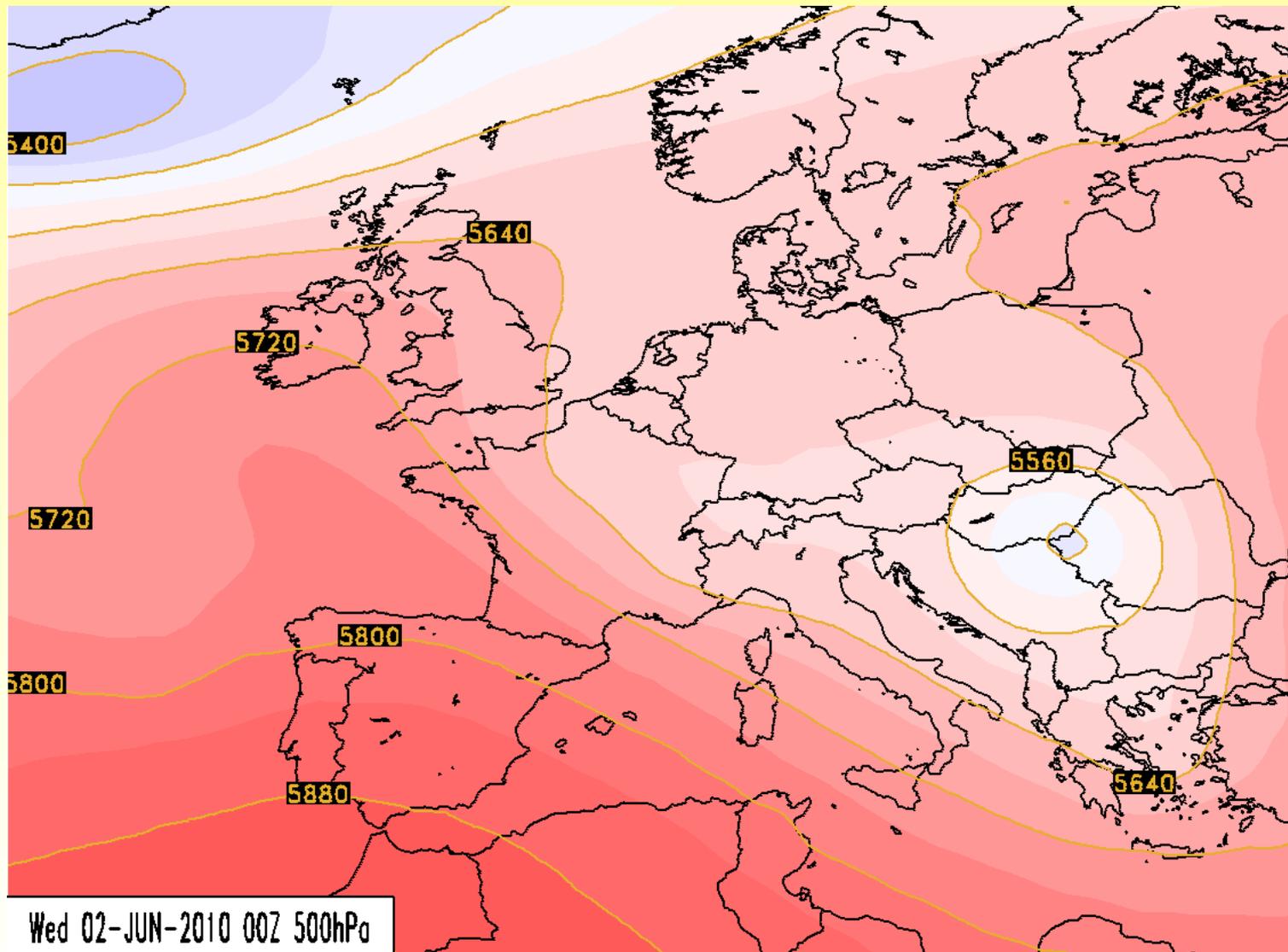
Incertezze nella previsione di alcuni campi meteorologici da parte dei modelli alla scala regionale sono attualmente inevitabili.

- Dipendenza dalle condizioni iniziali
- Dipendenza dalle condizioni al contorno
- Incapacità del modello nel descrivere tutti i processi fisici presenti nel sistema che si desidera simulare

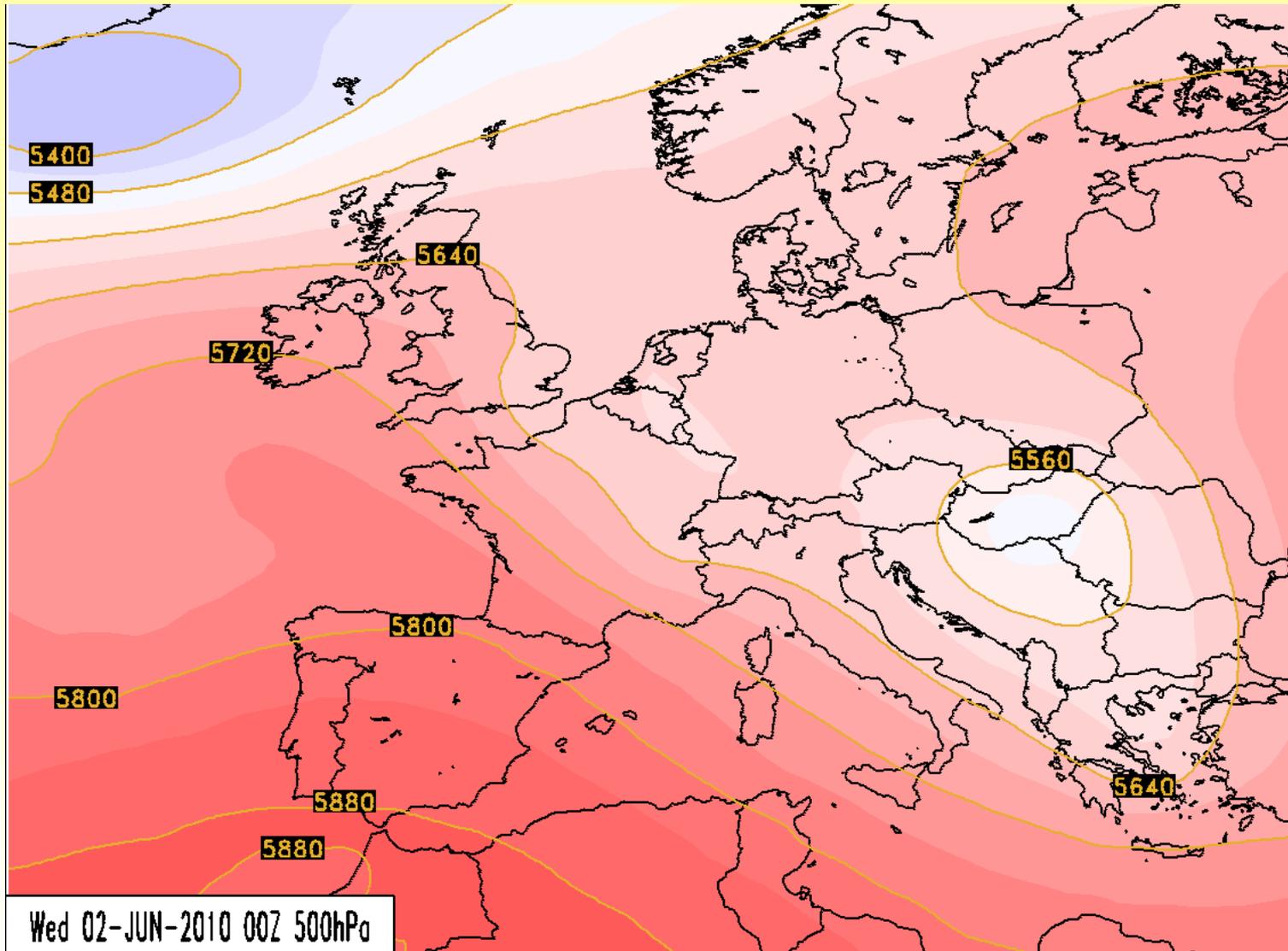
Errori nei campi simulati alla scala di 2 km – 10 km possono influenzare significativamente la previsione meteorologica:

- Precipitazioni
- Copertura nuvolosa
- Passaggi di fase dell'acqua
- ecc.

## Previsione a +24 ore

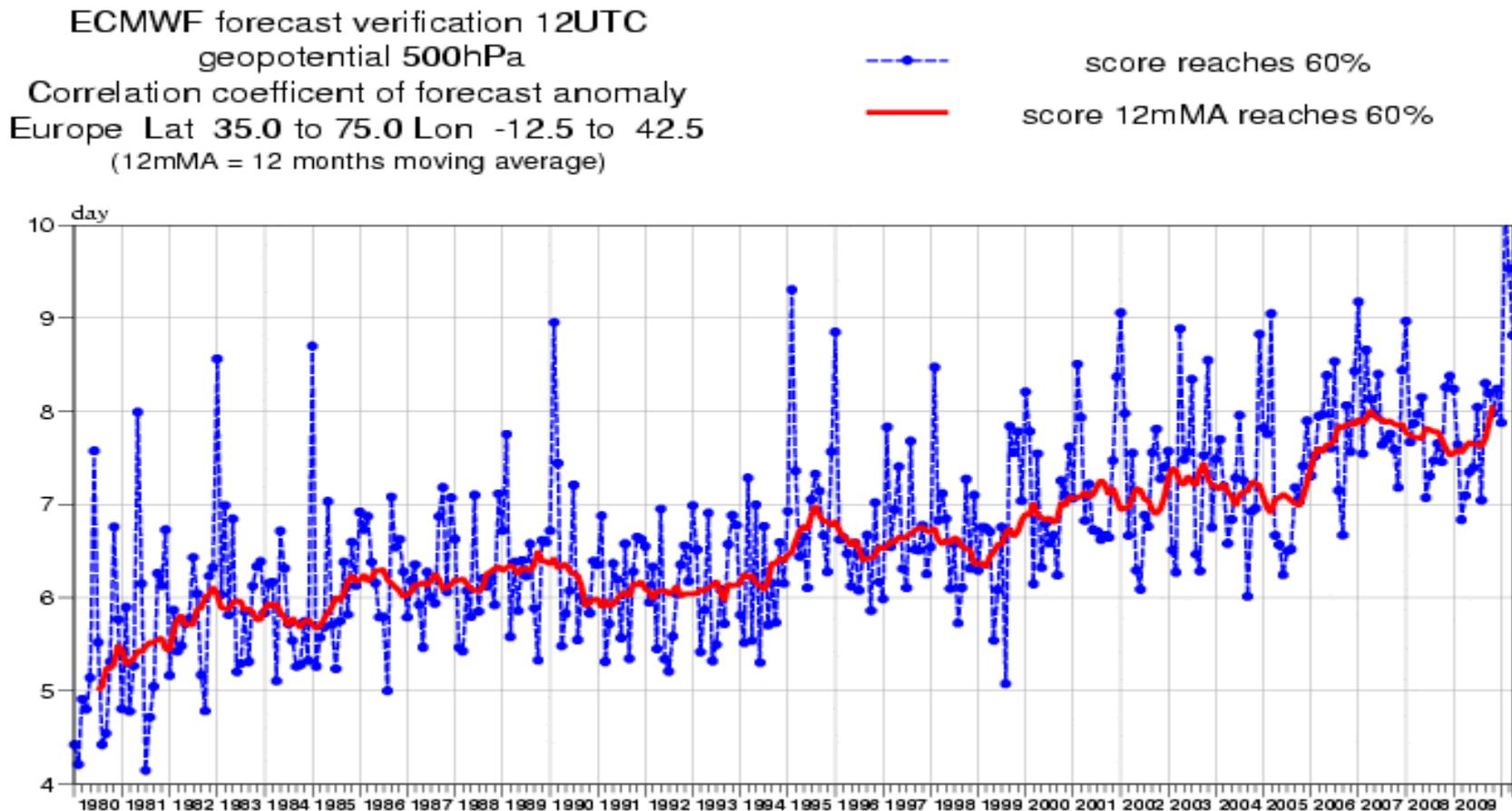


## Previsione a +48 ore

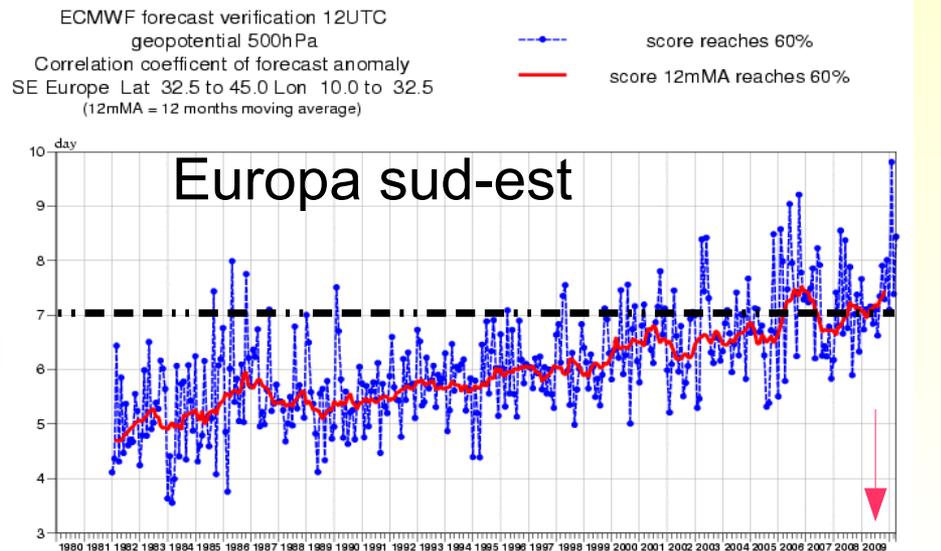
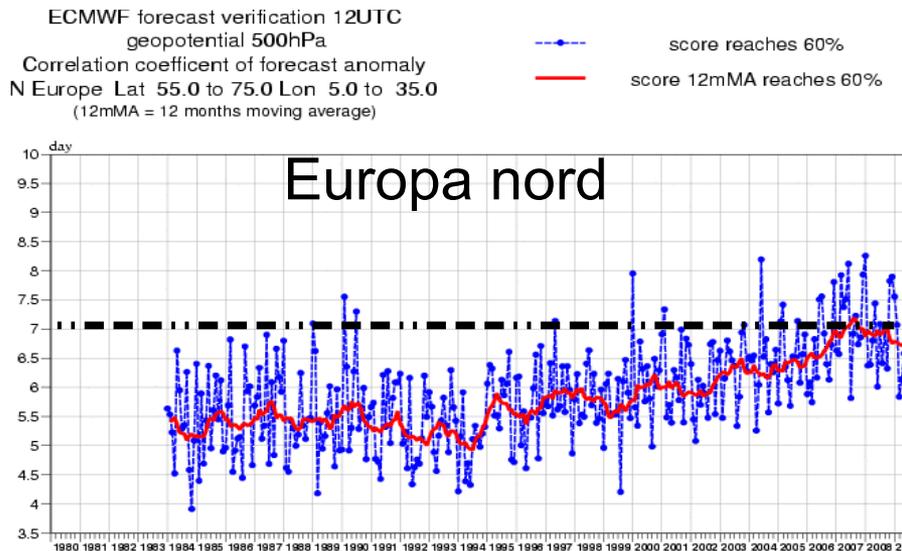
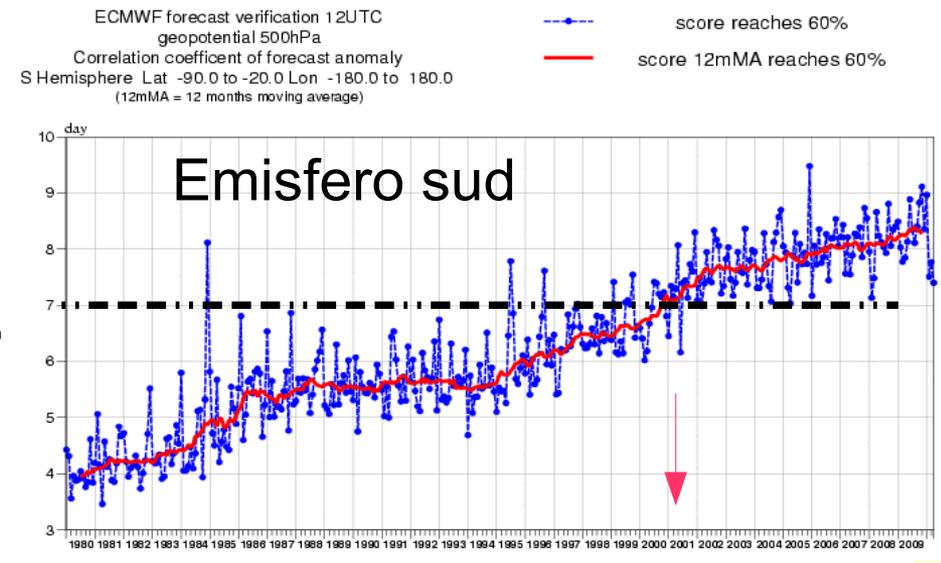
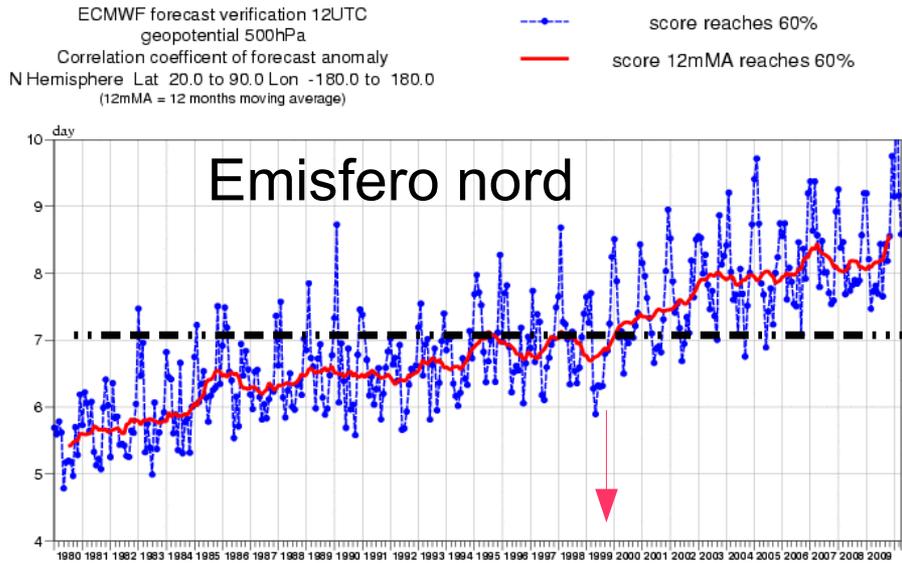


# La qualità delle previsioni numeriche

L'aderenza delle previsioni numeriche alla realtà si valuta quantitativamente tramite indici oggettivi calcolati confrontando i campi simulati con le misure eseguite in atmosfera



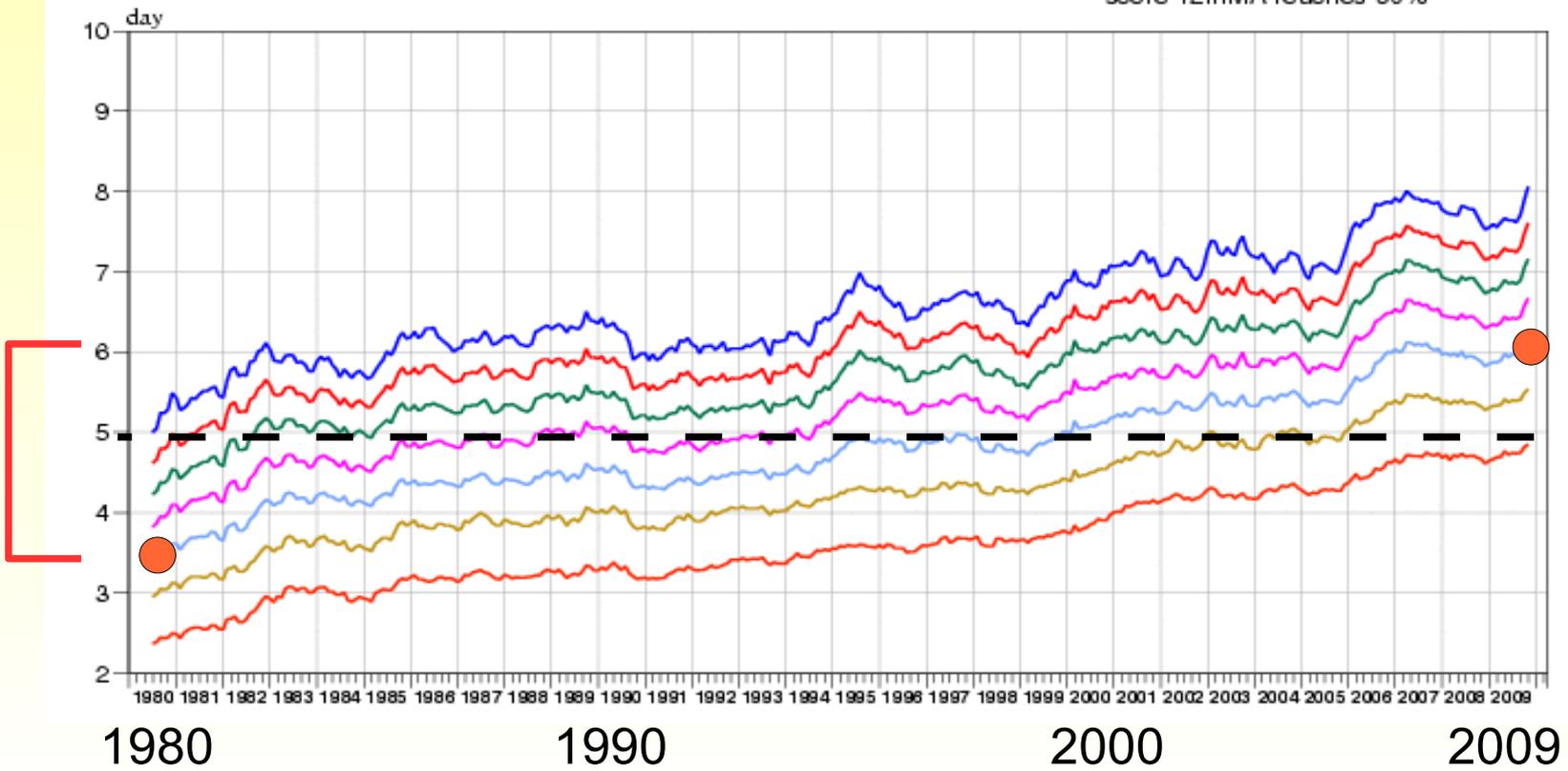
# La qualità dei modelli numerici non è la stessa su tutti i punti del dominio di calcolo e dipende dall'estensione dell'area considerata



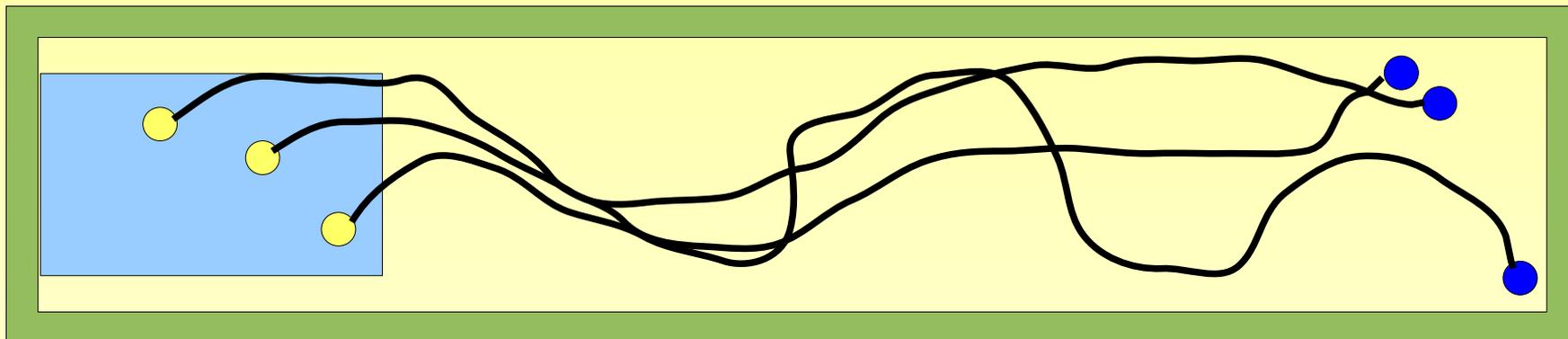
# Il miglioramento degli ultimi decenni

ECMWF forecast verification 12UTC  
 geopotential 500hPa  
 Correlation coefficient of forecast anomaly  
 Europe Lat 35.0 to 75.0 Lon -12.5 to 42.5  
 (12mMA = 12 months moving average)

- score 12mMA reaches 80%
- score 12mMA reaches 85%
- score 12mMA reaches 70%
- score 12mMA reaches 75%
- score 12mMA reaches 80%
- score 12mMA reaches 85%
- score 12mMA reaches 90%



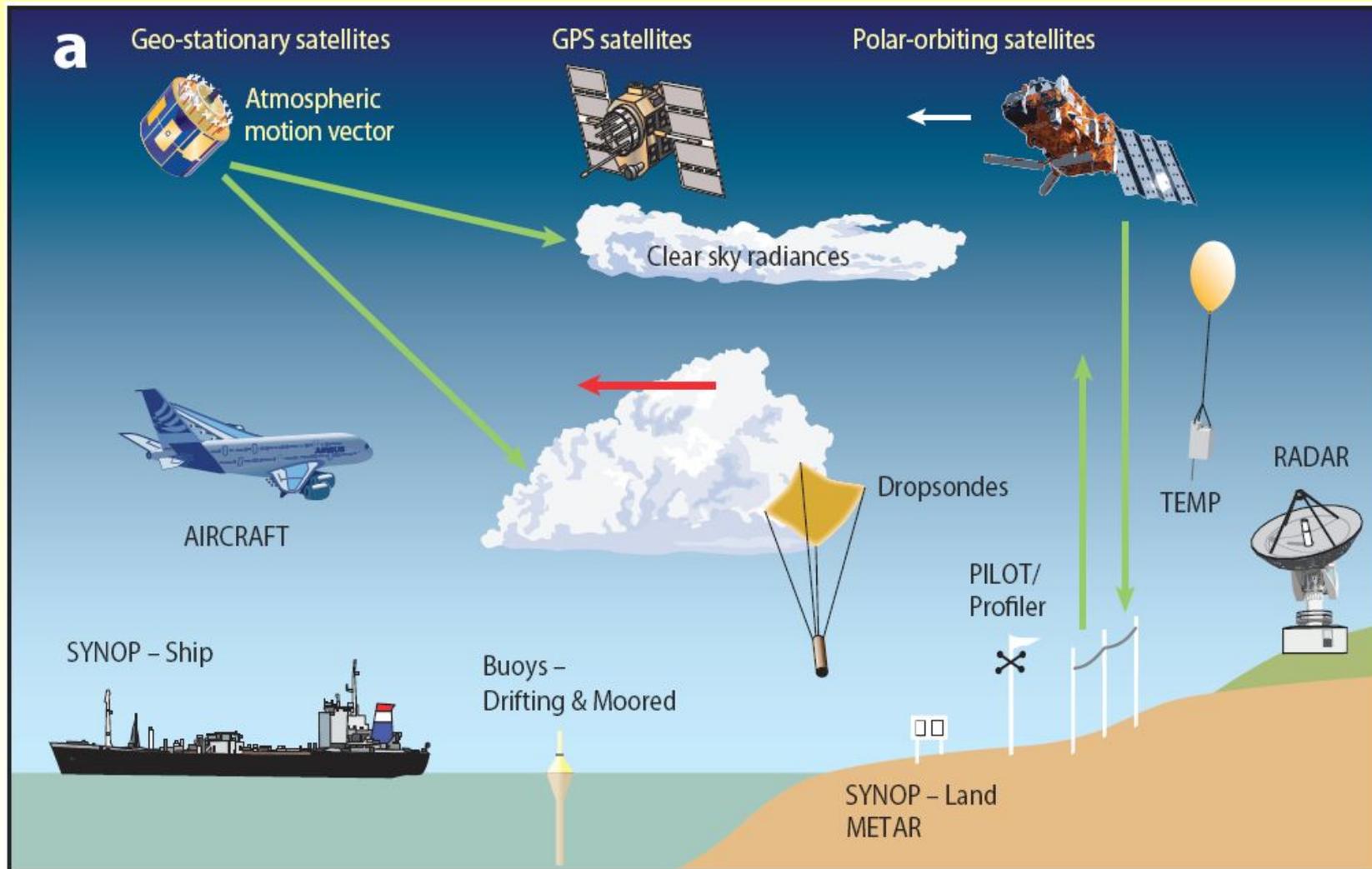
## La predicibilità dipende molto dalle condizioni iniziali



Perciò si debbono migliorare quanto più possibile le condizioni iniziali dalle quali evolvono i modelli numerici

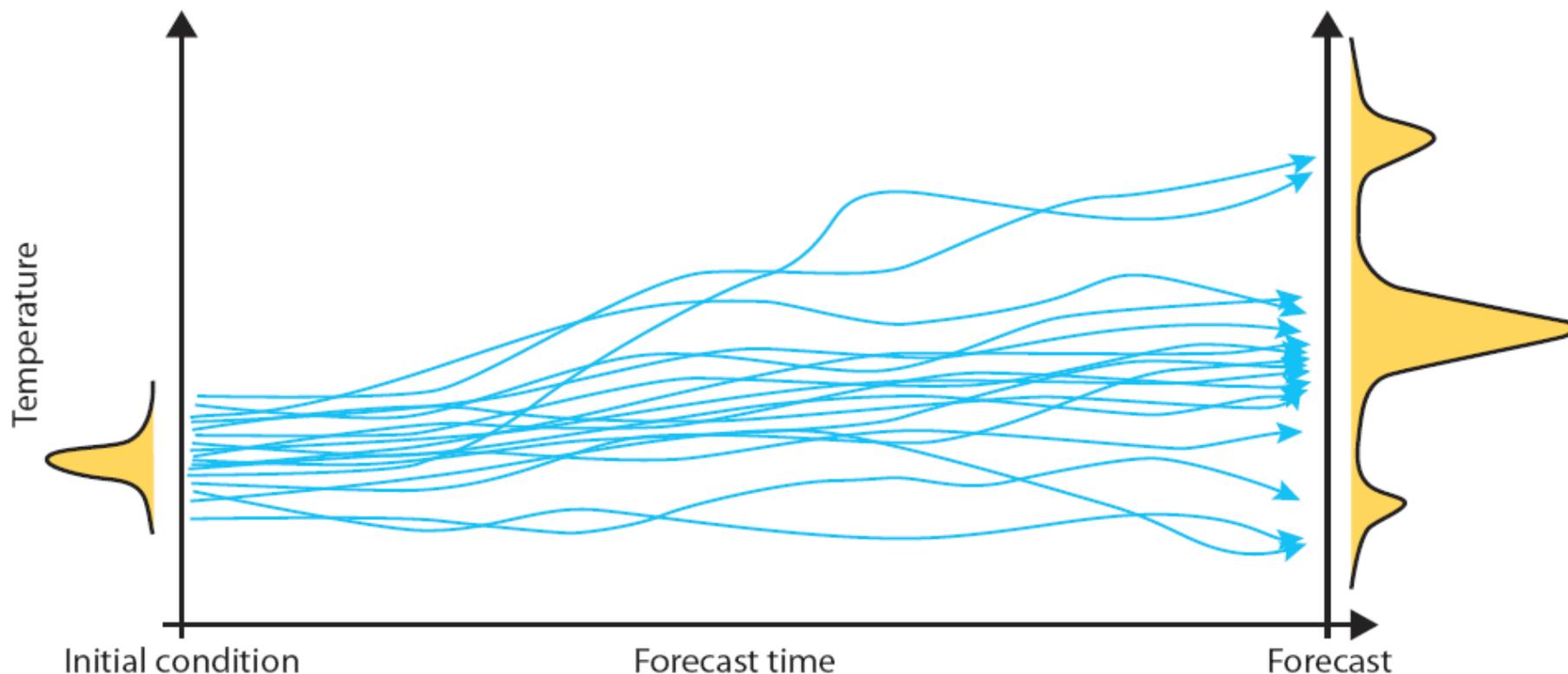
- Ridurre gli errori di misura
- Coprire al meglio di misure il dominio di calcolo (globo)

# Le condizioni iniziali sono ottenute con un complesso sistema di monitoraggio continuo dell'atmosfera



Le condizioni iniziali saranno sempre affette da incertezza.

Tale incertezza si propaga nell'evoluzione del modello spesso in modo caotico



## Come quantificare l'incertezza dei moti caotici atmosferici?

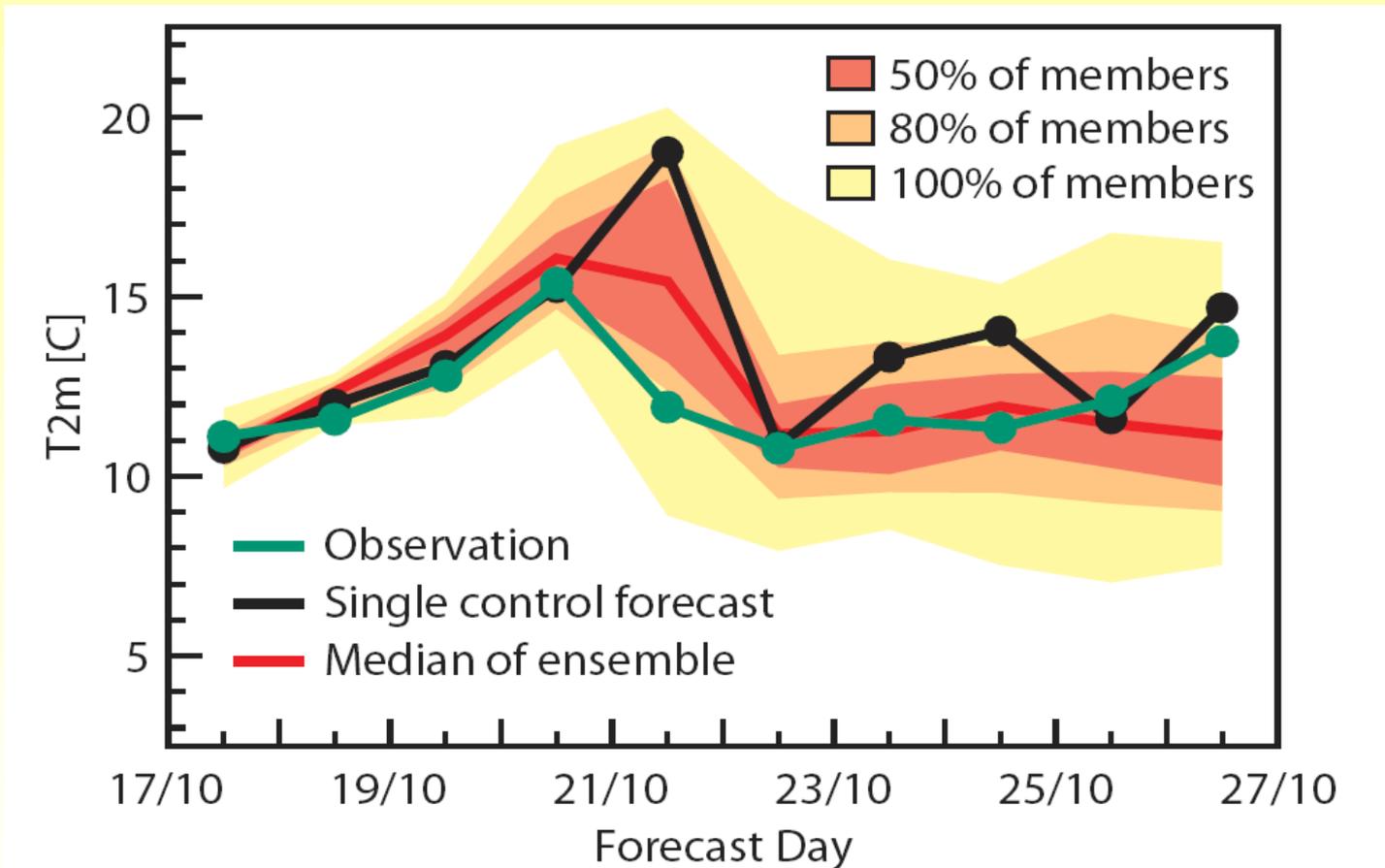
La grande potenza di calcolo oggi a disposizione permette di eseguire un gran numero di simulazioni (attualmente 50) con condizioni iniziali leggermente variate rispetto a quella che si considera la migliore condizione iniziale.

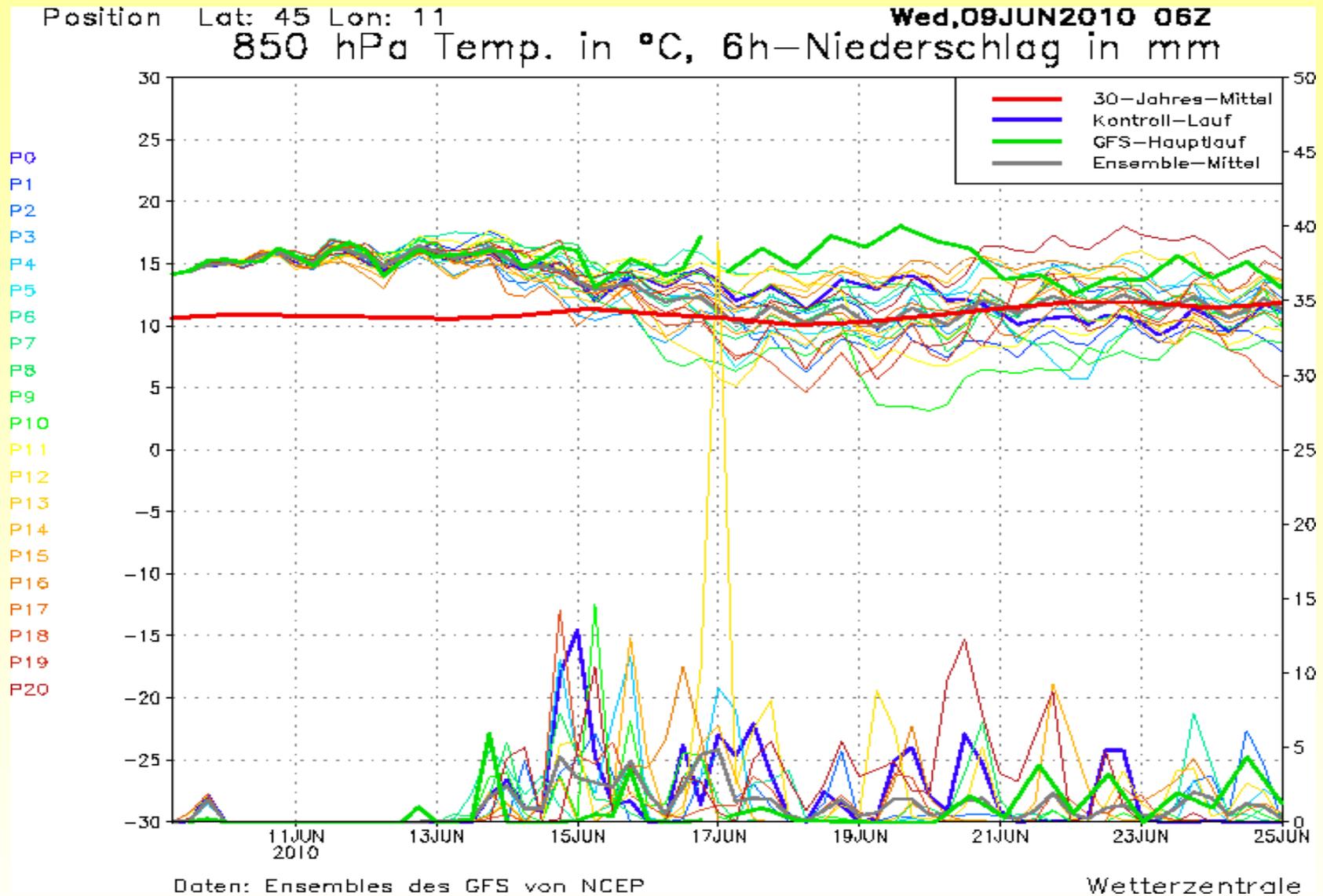
Si ottengono un gran numero di previsioni

Si sintetizzano i risultati valutando la dispersione delle simulazioni

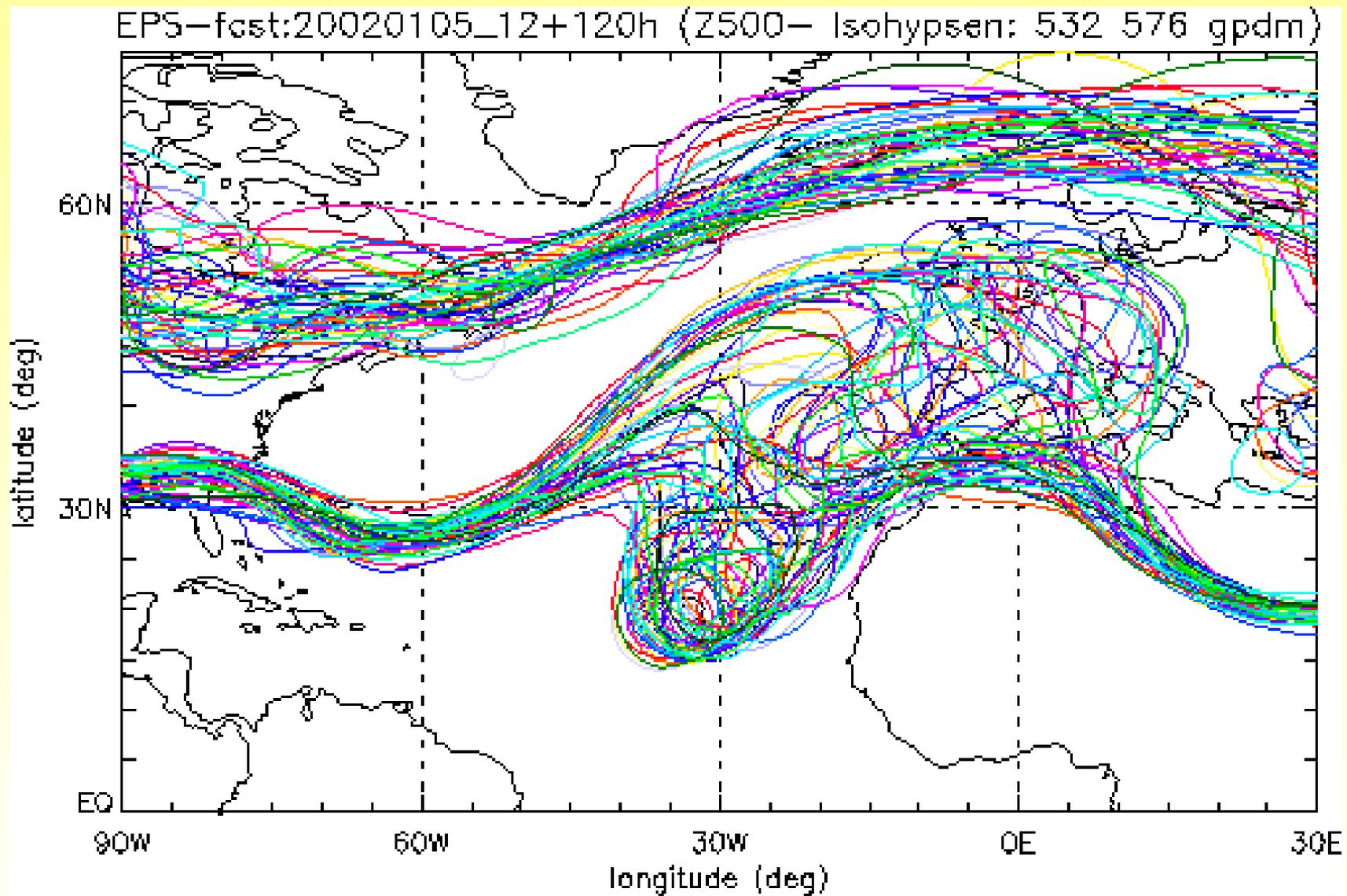
Il sistema si chiama: **Ensemble Prediction System (EPS)**

La tecnica EPS dà un quantificazione dell'intervallo entro il quale è probabile si troverà la simulazione più prossima alla realtà



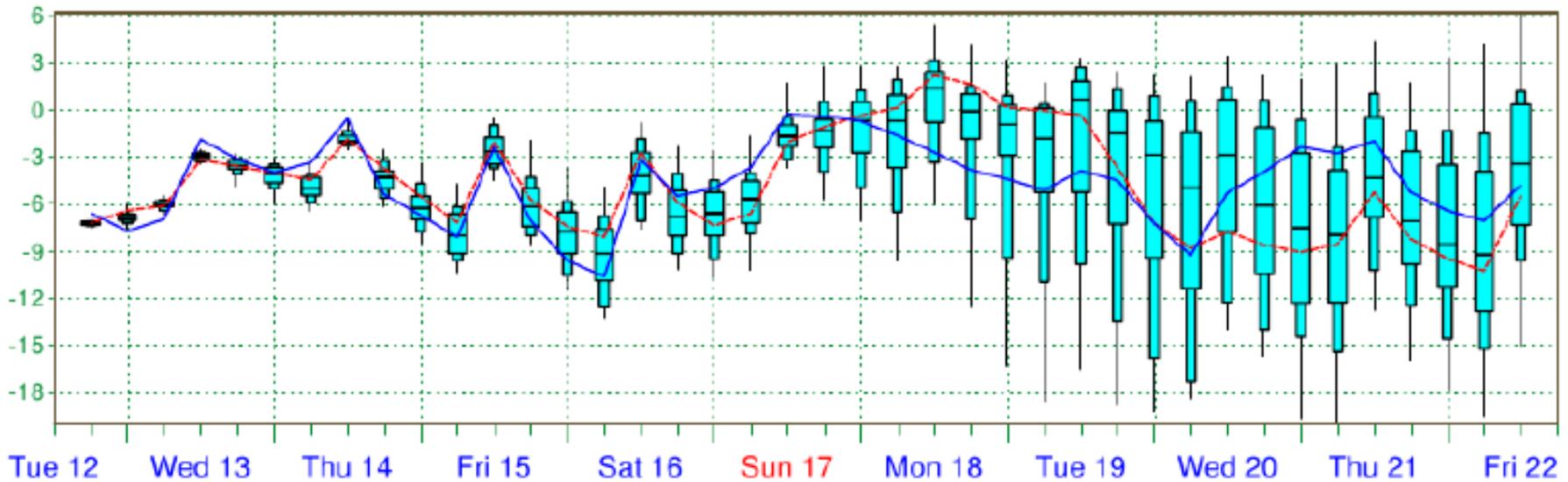


# Esempio di previsione EPS – spaghetti di isoipse a 500 hPa



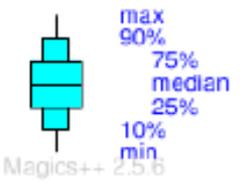
# Sintesi statistica di 50 previsioni EPS

2m Temperature reduced to station height (°C) 285m (T799) 280m (T399)



January 2010

EPS Control(50 km) High Resolution Deterministic(25 km)



## Considerazioni finali e sviluppi futuri

- **L'atmosfera è un sistema dinamico caotico**
- **La predicibilità del sistema dipende da:**
  - Condizioni iniziali
  - Condizioni al contorno
  - Modello dinamico usato per simulare la realtà
- **La modellistica numerica costituisce la frontiera della predicibilità del sistema.**
- **Miglioramenti nella predicibilità sono attesi da:**
  - Miglioramenti della definizione delle condizioni iniziali (misure)
  - Miglioramenti nei modelli dinamici usati (aumento della capacità di calcolo)
- **Dalla teoria dei sistemi dinamici caotici sappiamo che esistono dei limi intrinseci alla predicibilità dell'evoluzione del sistema atmosfera**
  - Miglioramenti dalla teoria sono attesi



Testo in Arial non inferiore a 24