

ALLERTE E NON SOLO: COME RACCONTARE IL METEO A TUTTI

Evento formazione
Ordine dei giornalisti Liguria



LE PREVISIONI METEO

$$\partial_t(\mu_d u) + \nabla \cdot (V \mu_d) u + \mu_d \alpha \partial_x p + (\alpha / \alpha_d) \partial_n p \partial_x \phi = F_u$$

$$\partial_t(\mu_d v) + \nabla \cdot (V \mu_d) v + \mu_d \alpha \partial_y p + (\alpha / \alpha_d) \partial_n p \partial_y \phi = F_v$$

$$\partial_t(\mu_d w) + \nabla \cdot (V \mu_d) w - g [(\alpha / \alpha_d) \partial_n p - \mu_d] = F_w$$

$$\partial_t(\mu_d \theta) + \nabla \cdot (V \mu_d) \theta = F_\theta$$

$$\partial_t \mu_d + \nabla \cdot (V \mu_d) = 0$$

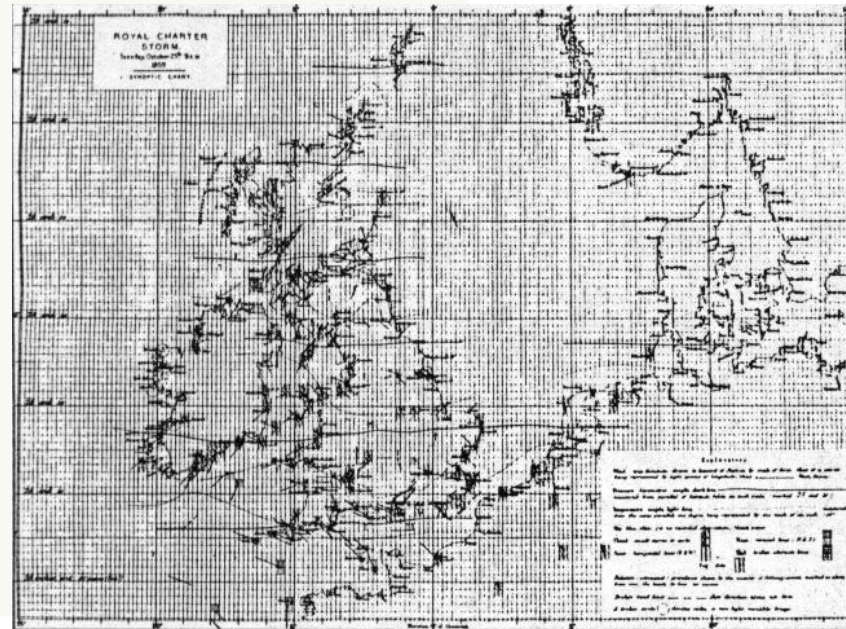
$$\partial_t \phi + \mu^{-1} [\nabla \cdot (V \mu_d) \phi - g \mu_d w] = 0$$

$$\partial_t(\mu_d q_m) + \nabla \cdot (V \mu_d) q_m = F_{q_m}$$

LE PRIME MAPPE SINOTTICHE

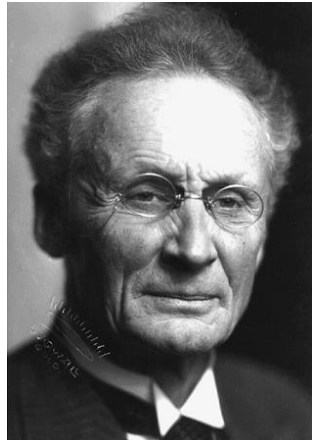
Mappe disegnate a mano a partire dalle osservazioni sparse sul territorio, sviluppo dei primi modelli concettuali (cicloni, fronti...)

In Europa uno dei pionieri delle mappe sinottiche fu l'ammiraglio Robert Fitzroy (1805-1865), il comandante del Beagle su cui viaggiò intorno al mondo Charles Darwin



Fitzroy promosse la pubblicazione delle prime previsioni del tempo sui giornali dell'epoca, per i cui fallimenti venne aspramente criticato tanto da essere indotto al suicidio

UN PROBLEMA DETERMINISTICO

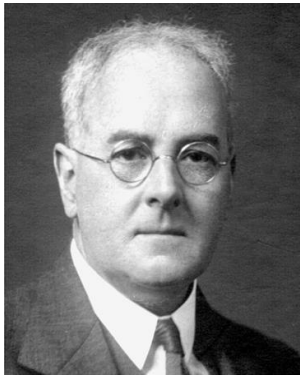


1904 Vilhelm Bjerknes (1862-1951) pone le basi matematiche della previsione numerica del tempo meteorologico

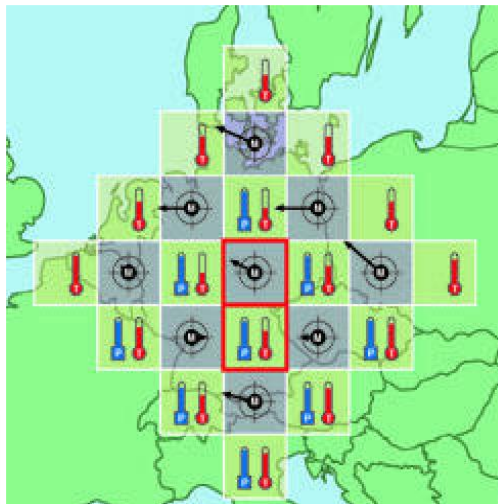
Bjerknes riconosce che la previsione del tempo è un problema deterministico ai valori iniziali. Questo richiede:

- La conoscenza con sufficiente precisione dello stato dell'atmosfera a un certo istante
- La conoscenza con sufficiente precisione delle leggi che governano l'evoluzione

IL TENTATIVO DI RICHARDSON



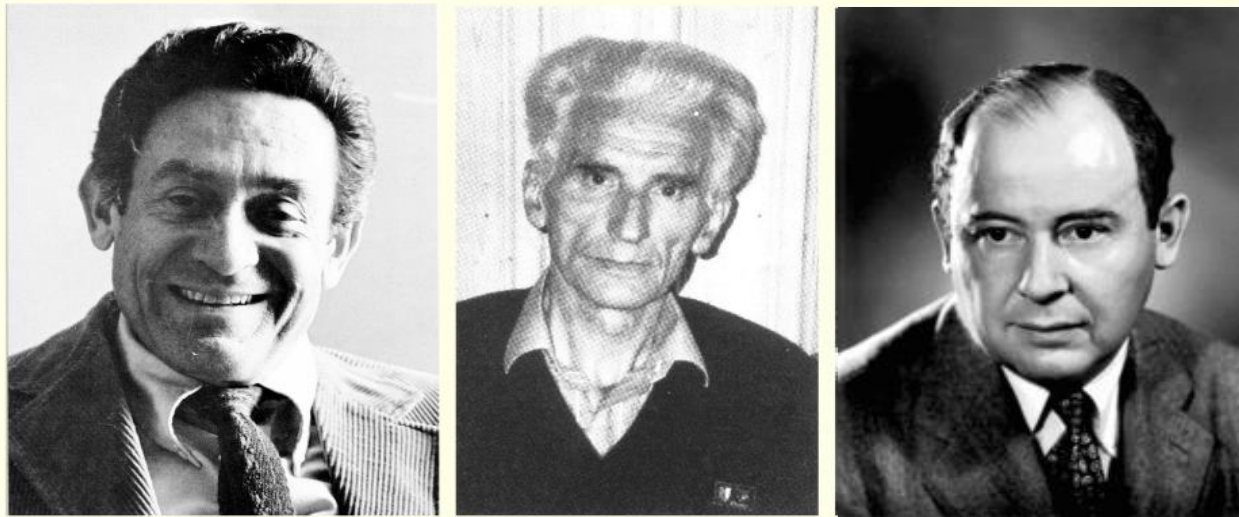
1916-1923 Lewis Fry Richardson (1862-1951) risolve numericamente (a mano!) le equazioni differenziali dell'atmosfera
Tentativo di previsione della pressione superficiale sull'Europa centrale a +6 ore: clamoroso fallimento per motivi di instabilità numerica



La «fabbrica del tempo»: 64000 matematici al lavoro per fornire previsioni in tempo utile

«Perhaps some day in the dim future it will be possible to advance the calculations faster than the weather advances. But that is a dream»

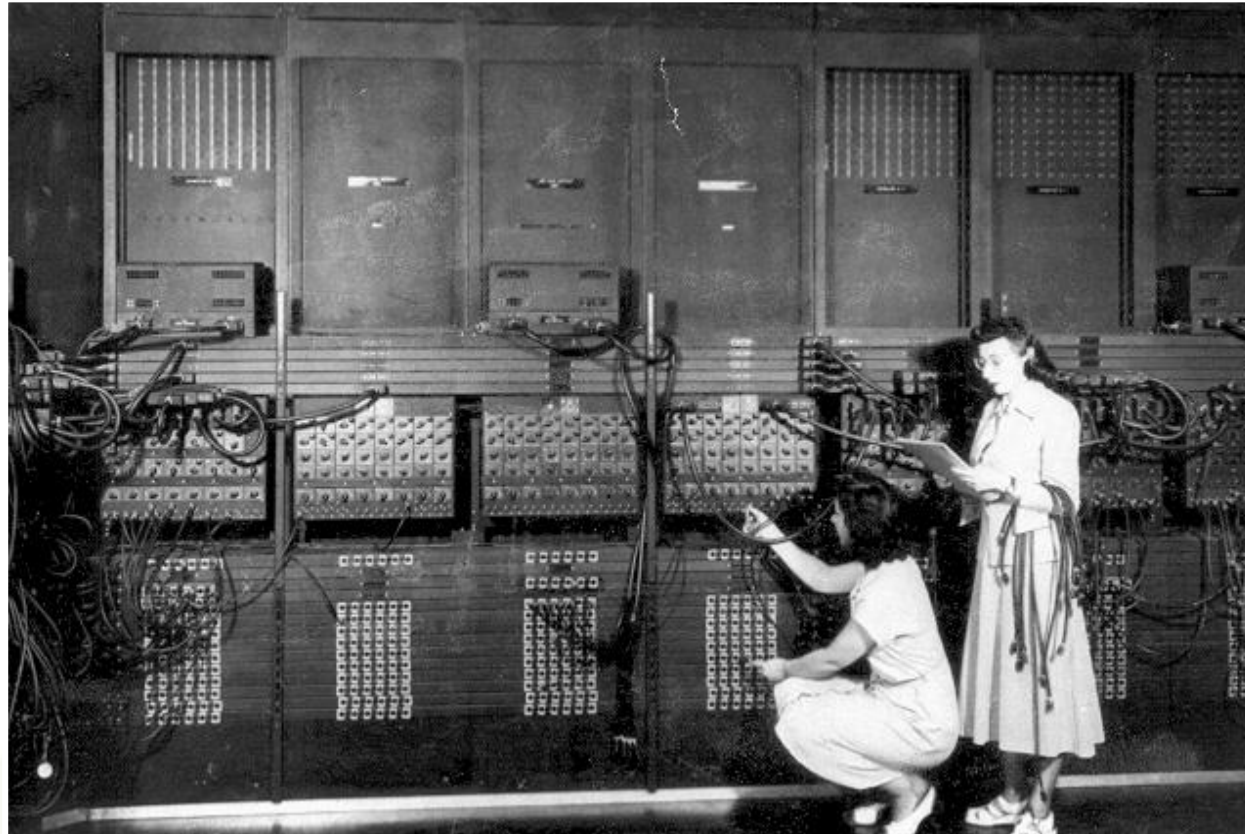
LA PRIMA PREVISIONE NUMERICA



Charney, J.G., R. Fjørtoft and J. von Neumann, 1950:
Numerical integration of the barotropic vorticity equation.
Tellus, 2, 237–254.

La prima previsione corretta con un modello semplificato su un solo livello utilizzando il calcolatore ENIAC (1950)

ELECTRONIC NUMERICAL INTEGRATOR AND COMPUTER (ENIAC)



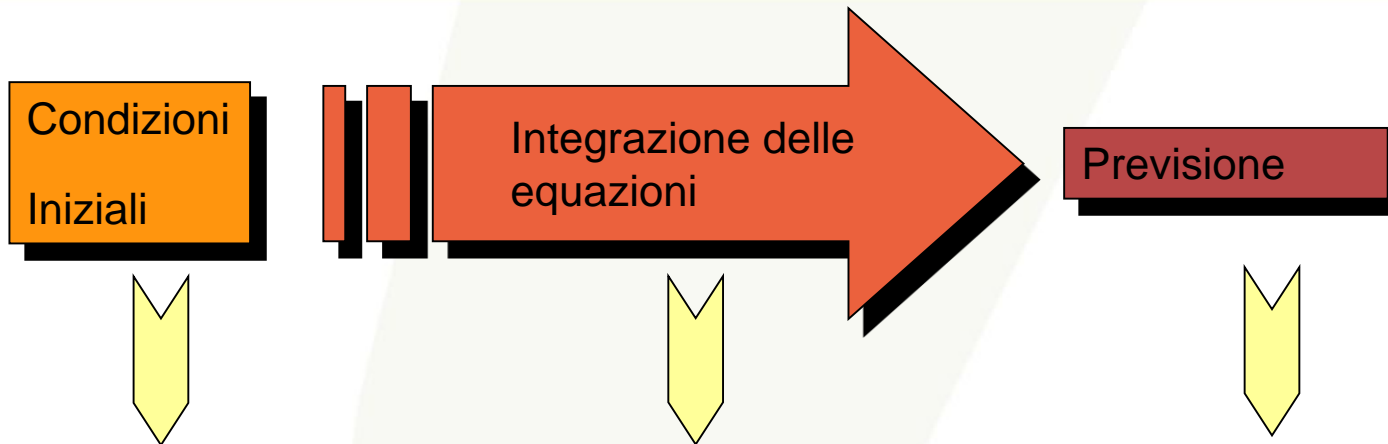
1 kiloflops: 1000 operazioni al secondo

NUMERICAL WEATHER PREDICTION

Che cos'è un modello numerico di previsione?

In generale un modello è una rappresentazione schematica e semplificata della realtà fisica, descritta attraverso un insieme di equazioni che simulano il comportamento della natura

Schematizzando esiste un INPUT (ossia la condizione iniziale), un MODELLO (ossia l'integrazione delle equazioni) e un OUTPUT (ossia la previsione).



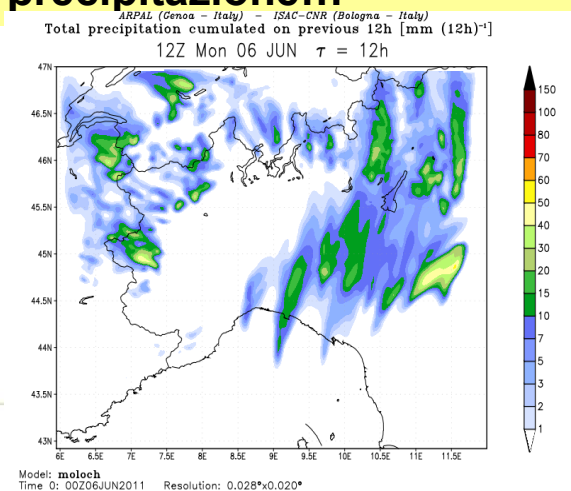
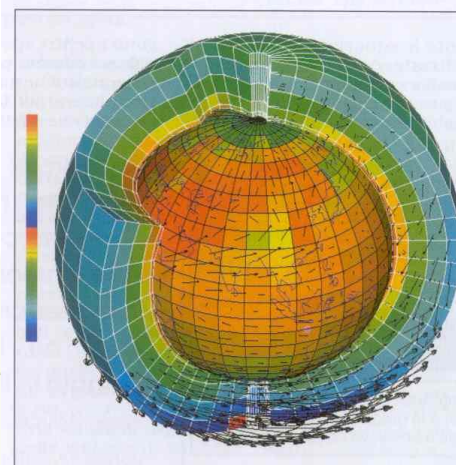
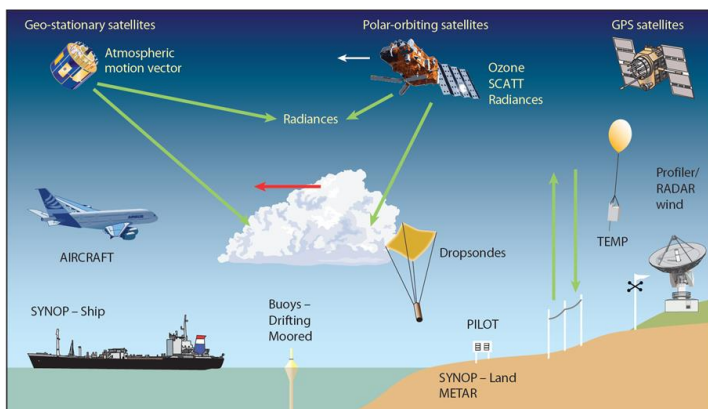
Misura e ricostruzione dello stato iniziale

Assimilazione dati

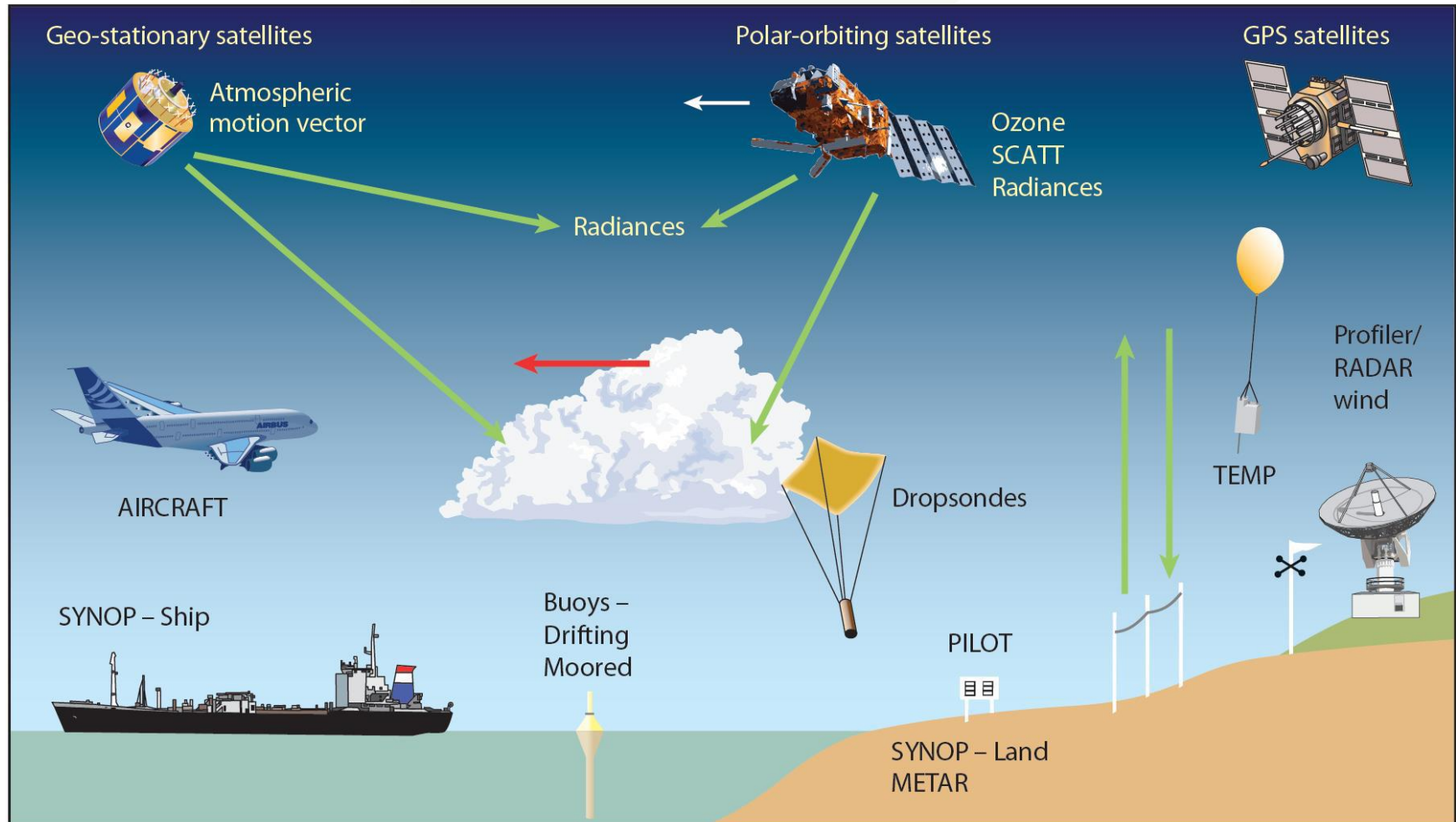
Un modello che riproduce il sistema atmosfera e i suoi processi

Sistemi di calcolo adeguati

Post-processamento e visualizzazione degli output: mappe di pressione, temperatura, precipitazione...



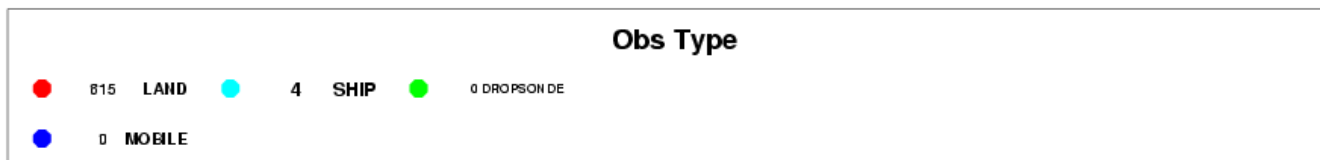
LE OSSERVAZIONI IN ATMOSFERA



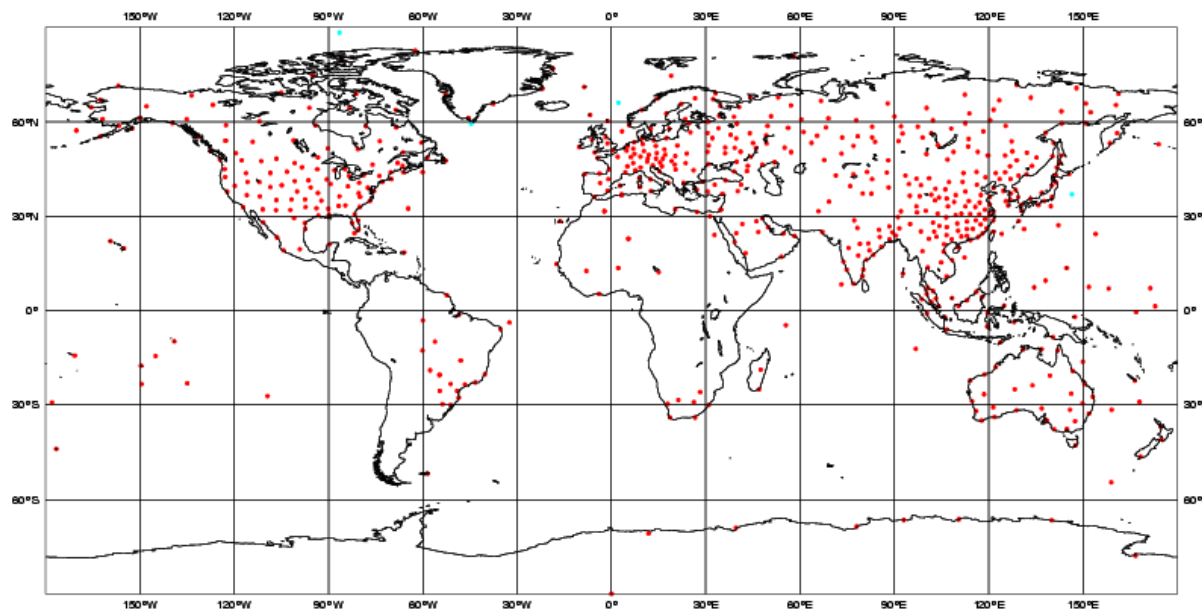
RADIOSONDAGG I



LA COPERTURA SPAZIALE DEI DATI

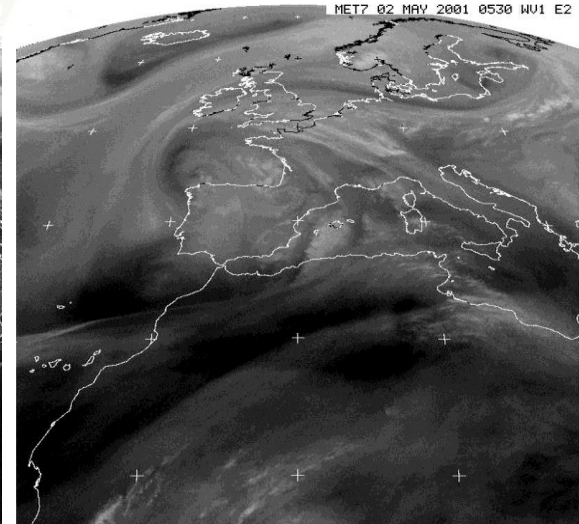
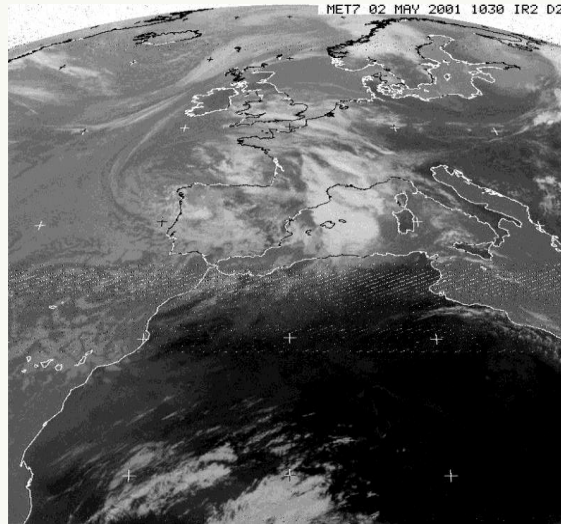
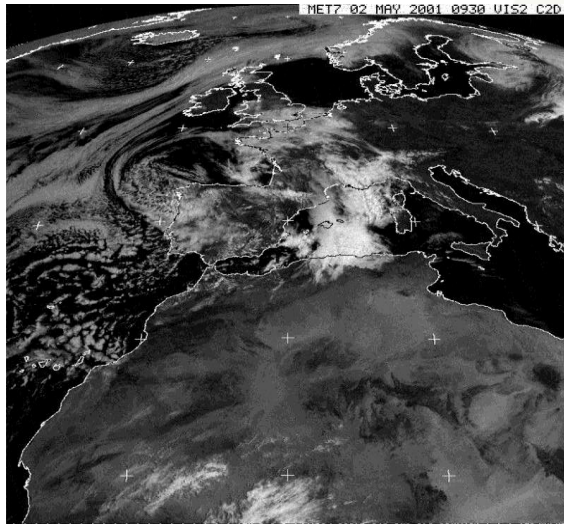


ECMWF Data Coverage (All obs DA) - TEMP
12/MAY/2009; 00 UTC
Total number of obs = 619



CECMWF

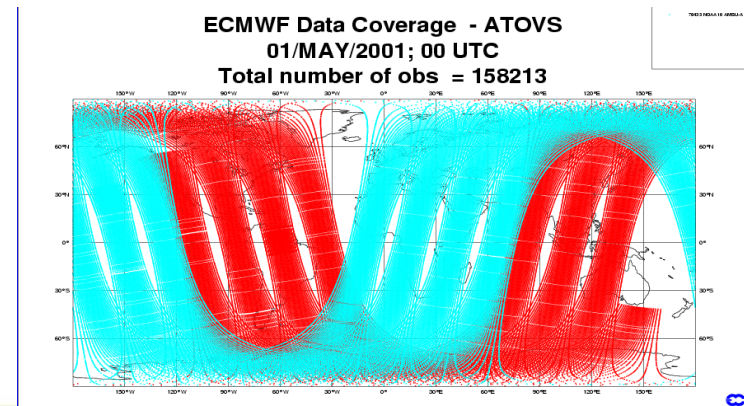
SATELLITI METEOROLOGICI



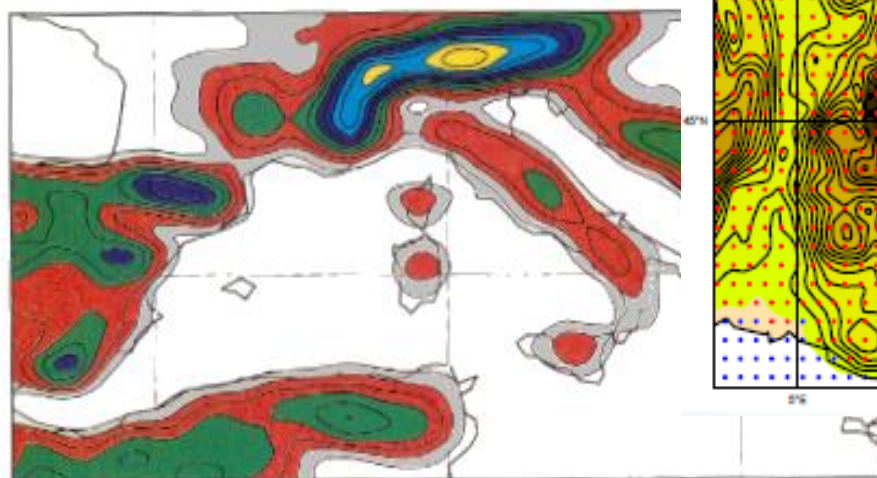
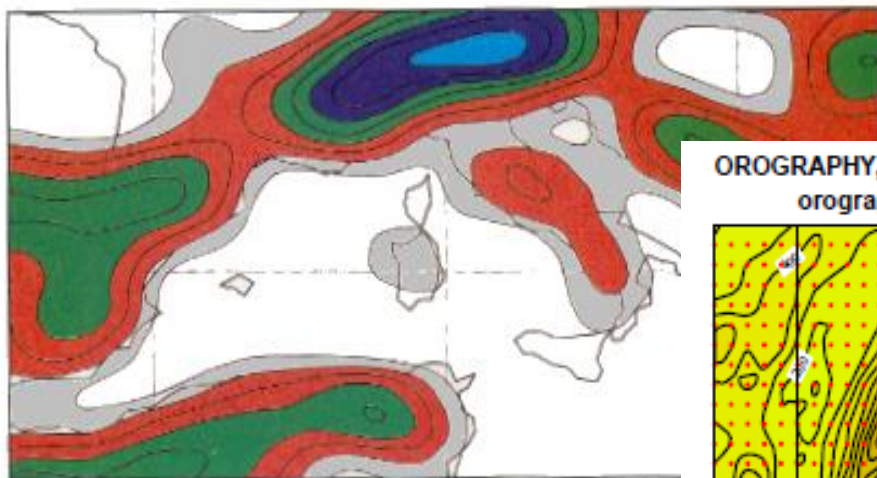
Possiedono **radiometri** (NB: un radiometro “vede” T) spettrali a varie bande: visibile (400-700 nm), infrarosso ($>3 \mu\text{m}$), vapore acqueo ($6.2-7.3 \mu\text{m}$)

Geostazionari o geosincroni (a 36000 Km il periodo orbitale è pari al giorno siderale)

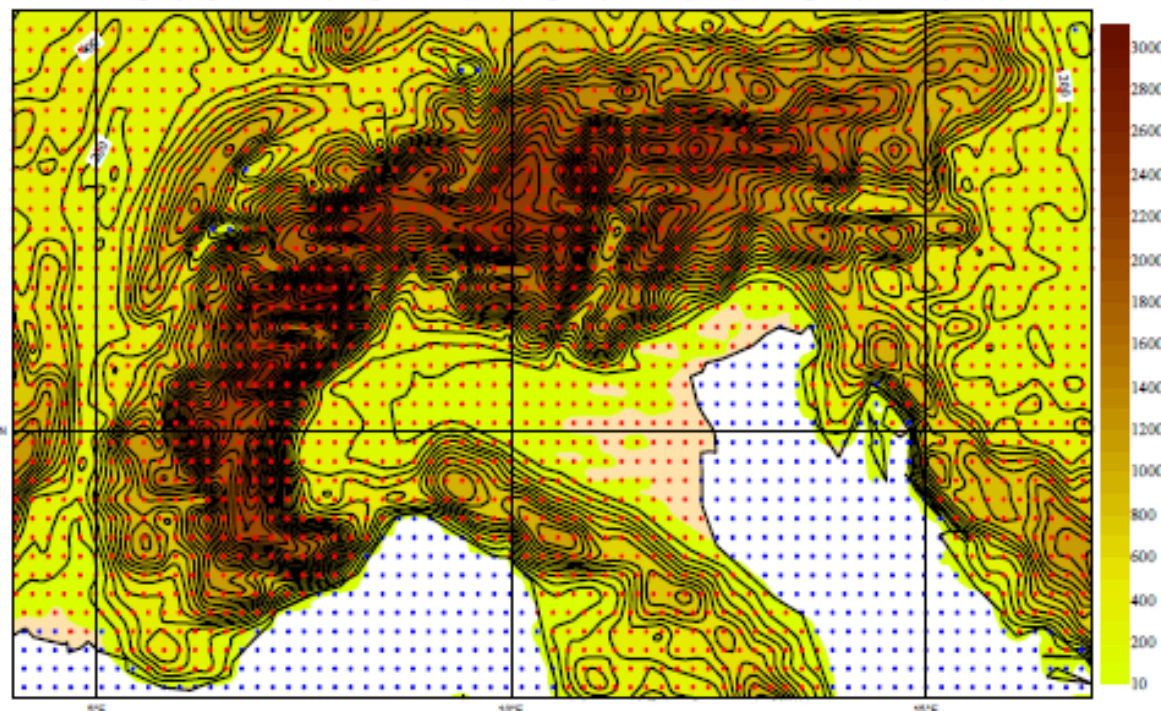
Polari o eliosincroni (a 860 Km) rilevano fasce terrestri da Polo a Polo



LA RISOLUZIONE SPAZIALE



OROGRAPHY, GRID POINTS AND LAND SEA MASK IN TL 1279 (OP 2010) ECMWF MODEL
orography shaded (height in m), land grid points (red), sea grid points (blue)



2016: risoluzione 9 km!

DA ENIAC AI SUPERCALCOLATORI ATTUALI



Cray XC40 presso ECMWF: due cluster di 3610 nodi con 2 processori Intel Xeon E5-2695v4 a 18 core e 128 GB di RAM, per un totale di 129960 core, 462 TB RAM, 8499 Tflops: **8.5 milioni di miliardi di operazioni al secondo!**

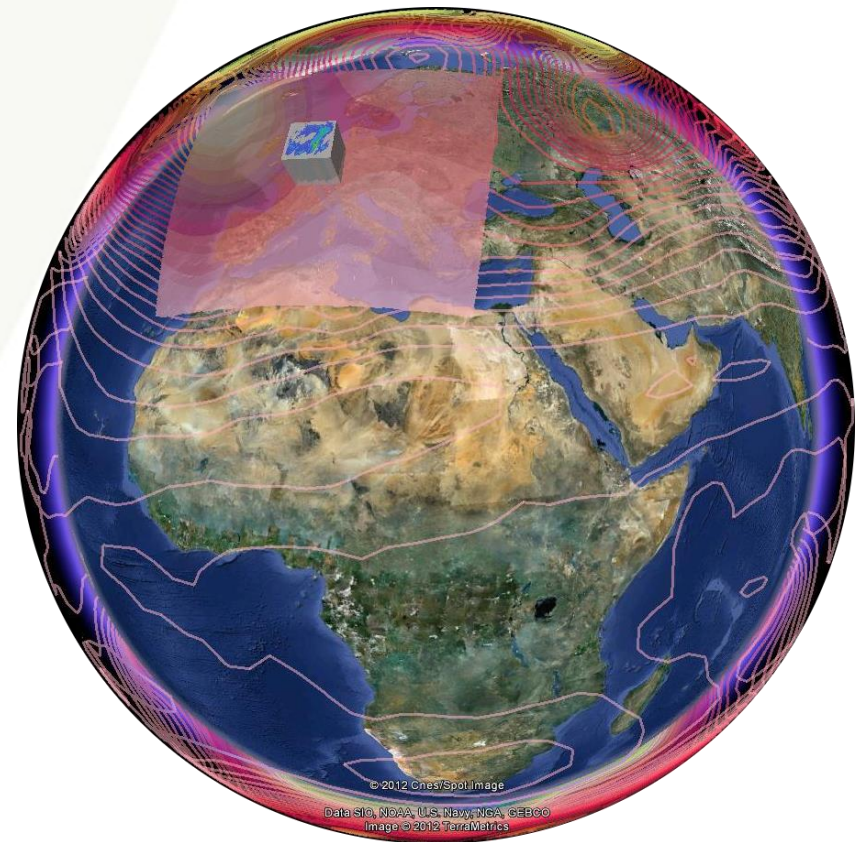
MODELLI GLOBALI E AD AREA LIMITATA

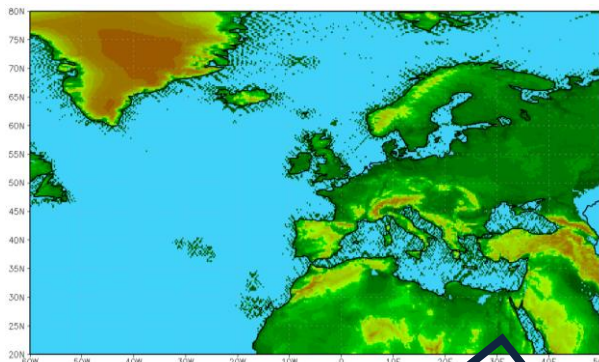
General Circulation Models:

simulano l'evoluzione dello stato dell'atmosfera su tutto il globo terrestre

Limited Area Models (LAM):

simulano l'evoluzione dello stato dell'atmosfera su un dominio limitato: necessitano di CONDIZIONI AL CONTORNO!





Previsioni a medio termine
(15 giorni)

ECMWF
10 km

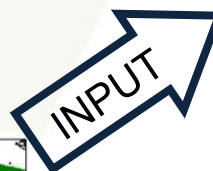


Modellistica
IDROLOGICA

Modellistica
MARINA

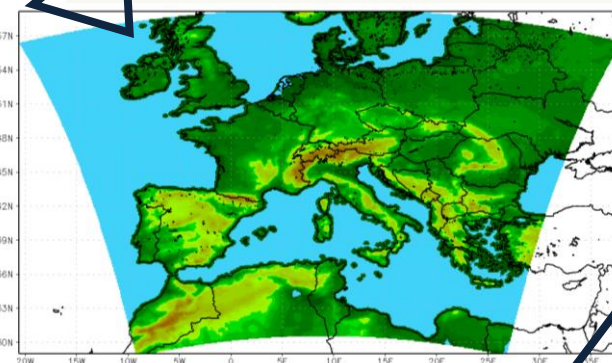
Modellistica di
QUALITÀ DELL'ARIA

4 run al giorno ogni 6 ore



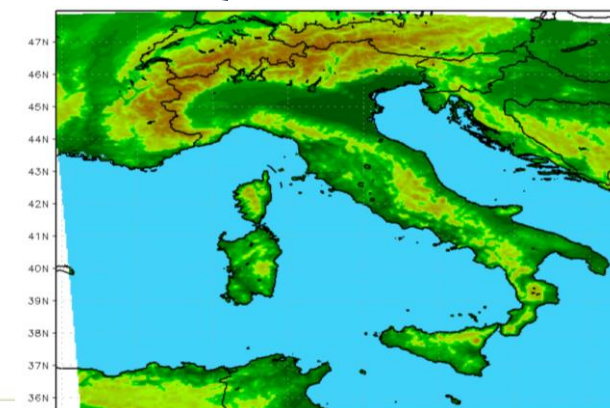
Previsioni a breve termine
(3 giorni)

BOLAM
8 km



Previsioni a breve termine
(2 giorni)

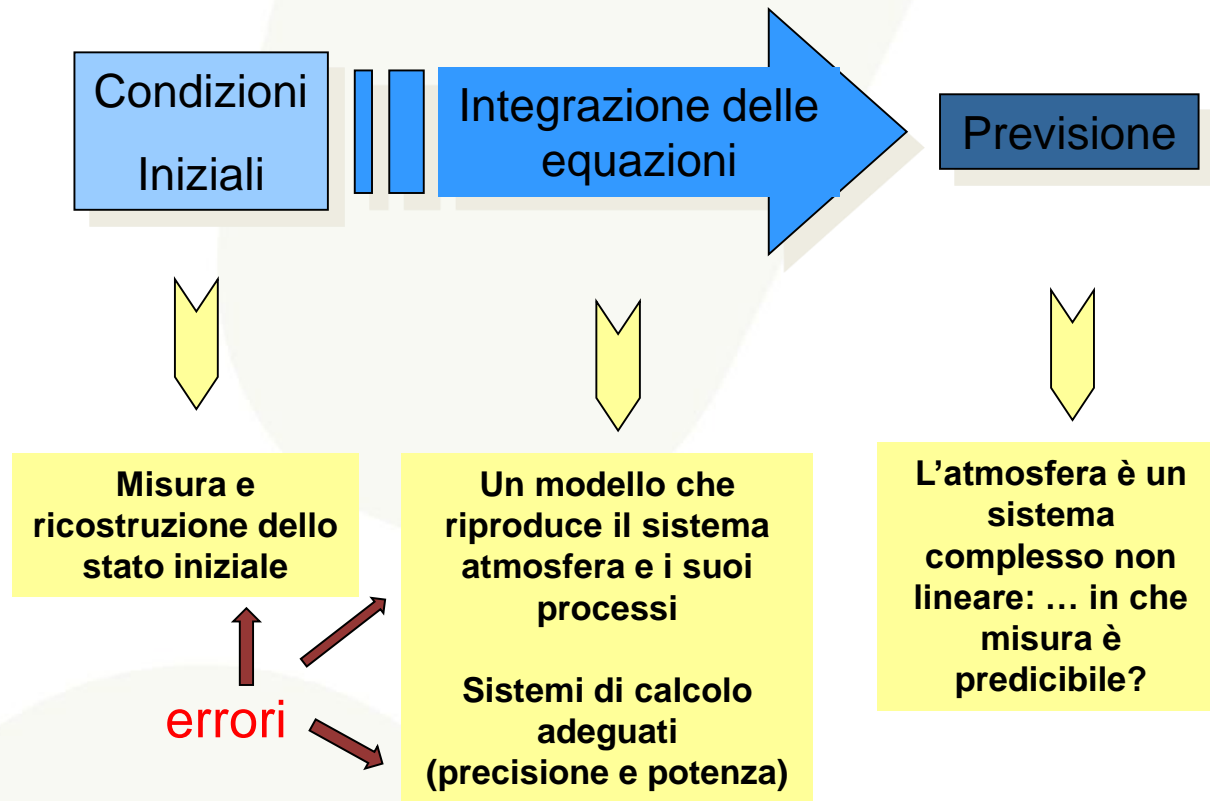
MOLOCH
1.5 km



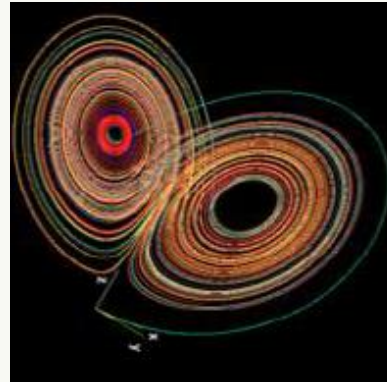
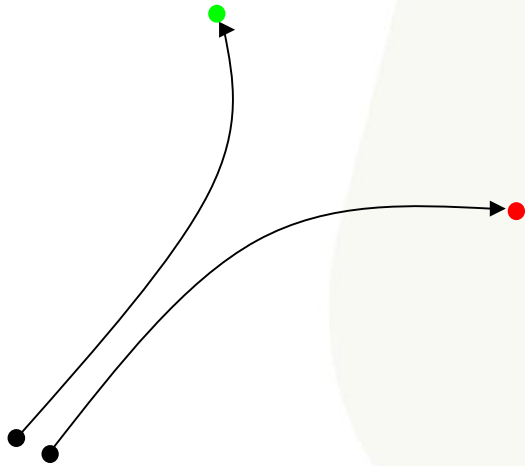
**La catena modellistica
operativa in ARPAL**



ACCURATEZZA DELLA PREVISIONE



L'ATMOSFERA E' UN SISTEMA CAOTICO!



DIPENDENZA SENSIBILE DALLE CONDIZIONI INIZIALI (“effetto farfalla”)

Caos deterministico:

il presente determina il futuro ma una conoscenza approssimata del presente non determina approssimativamente il futuro!

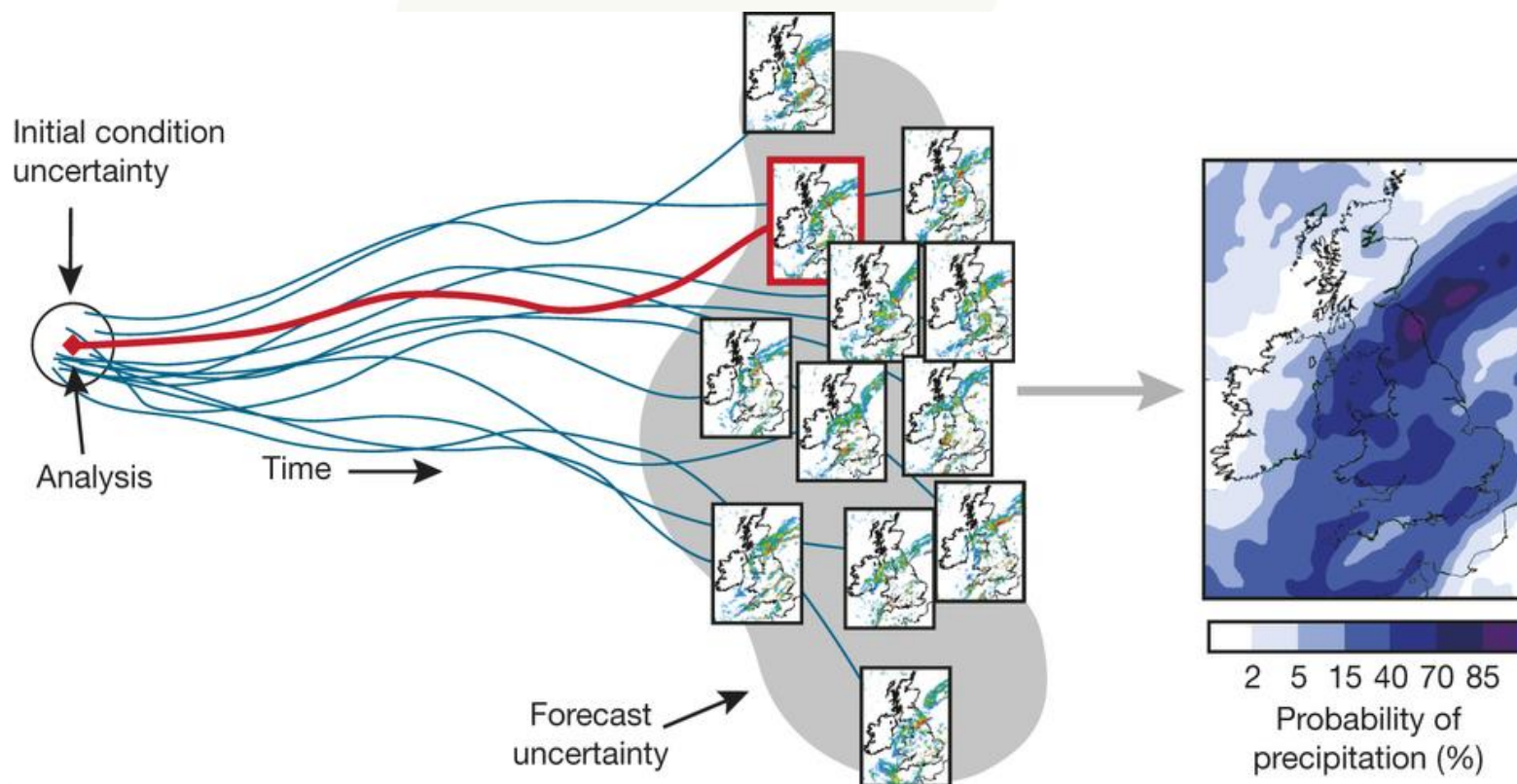
Edward Lorenz (1917-2008)

CAOS DETERMINISTICO

- ❖ Limiti intrinseci di predicibilità per la natura caotica dell'atmosfera
- ❖ La predicibilità decresce in funzione del tempo (non si può prevedere in modo affidabile lo stato del cielo su un dato luogo 15 giorni prima...)
- ❖ La predicibilità dipende dalla scala spazio-temporale dei fenomeni (in generale fenomeni su scale piccole sono meno predicibili)

PREVISIONE PROBABILISTICA: SISTEMI DI ENSEMBLE

Partendo da condizioni iniziali leggermente diverse, otteniamo “storie diverse” per il futuro

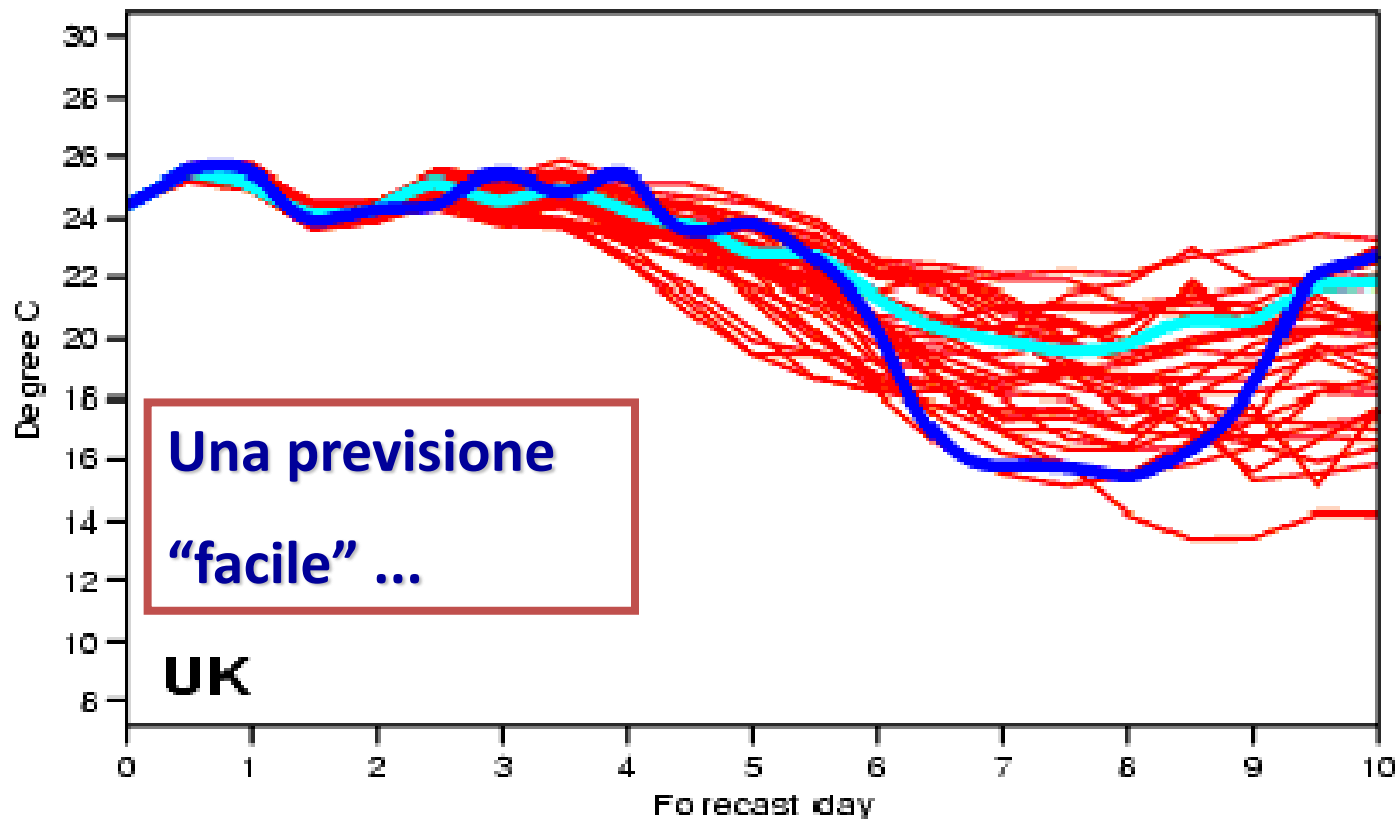


IL CAOS IN ATMOSFERA

ECMWF ensemble forecast - Air temperature

Date: 26/06/1 995 London Lat: 51.5 Long: 0

Control Analysis Ensemble

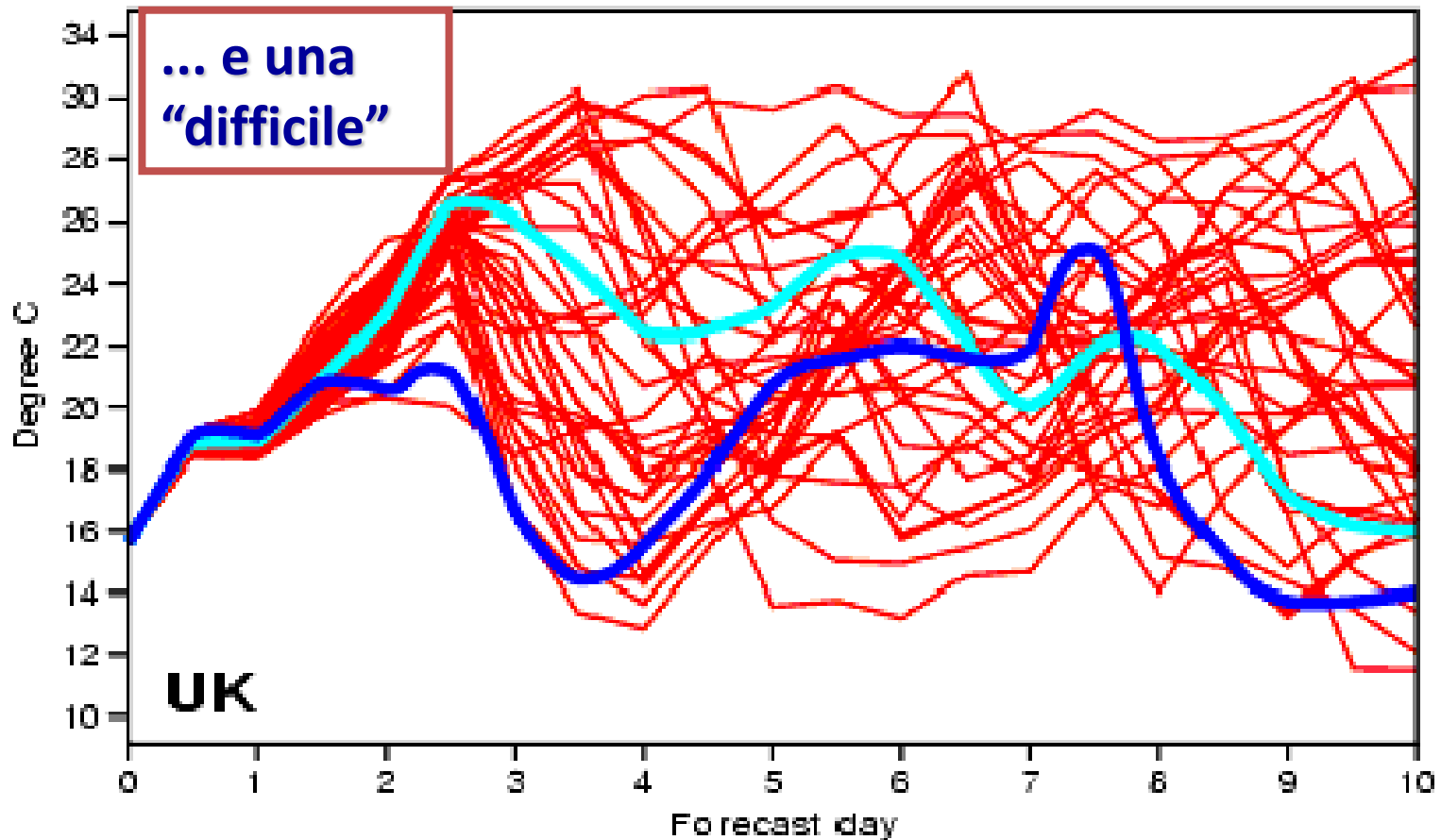


IL CAOS IN ATMOSFERA

ECMWF ensemble forecast - Air temperature

Date: 26/06/1994 London Lat: 51.5 Long: 0

Control Analysis Ensemble



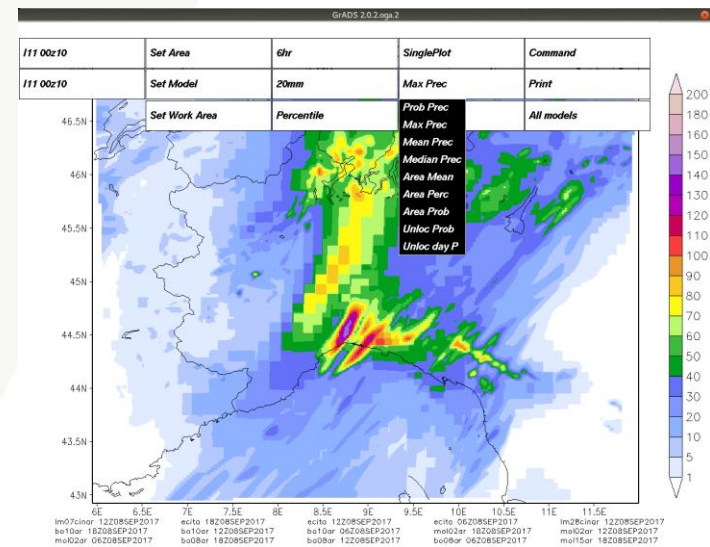
POOR MAN'S ENSEMBLE

Sviluppato in Arpal per dotare i previsori di uno strumento probabilistico sfruttando tutti i modelli a disposizione

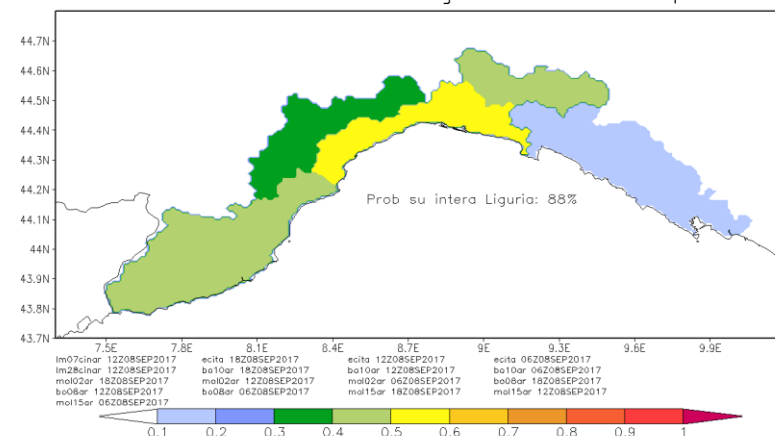
Variabili statistiche calcolate interattivamente (prec media e massima, probabilità di superamento soglie puntuali e areali, percentili, ...)

Possibilità di selezionare gruppi di modelli

Sviluppato per la precipitazione ma include anche temperatura e vento

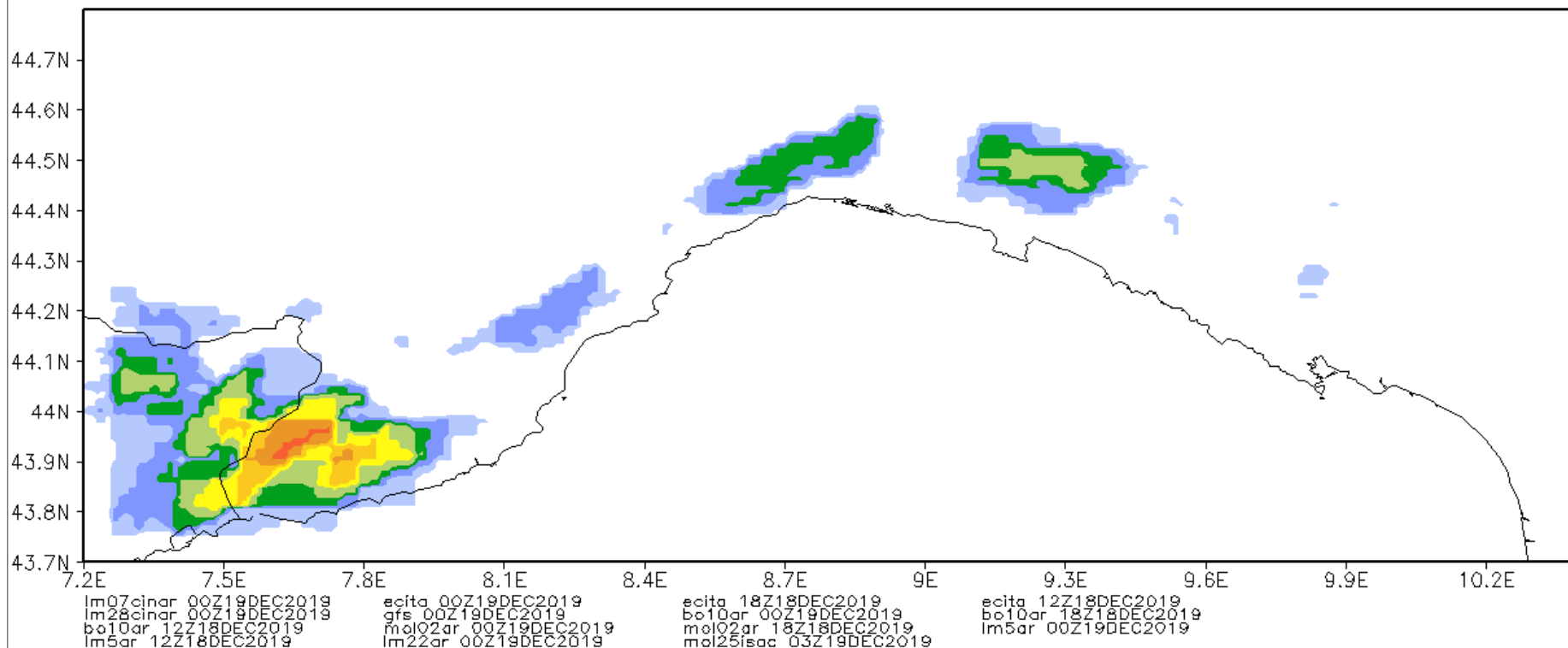


Probability of 12h Area Precipitation larger than 50 mm for available models over alerting areas. Time:00z10sep2017



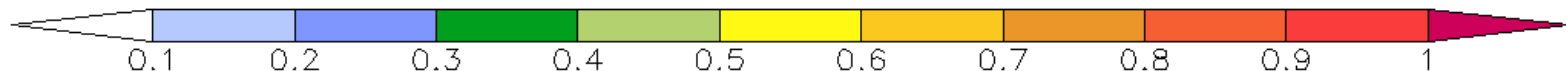
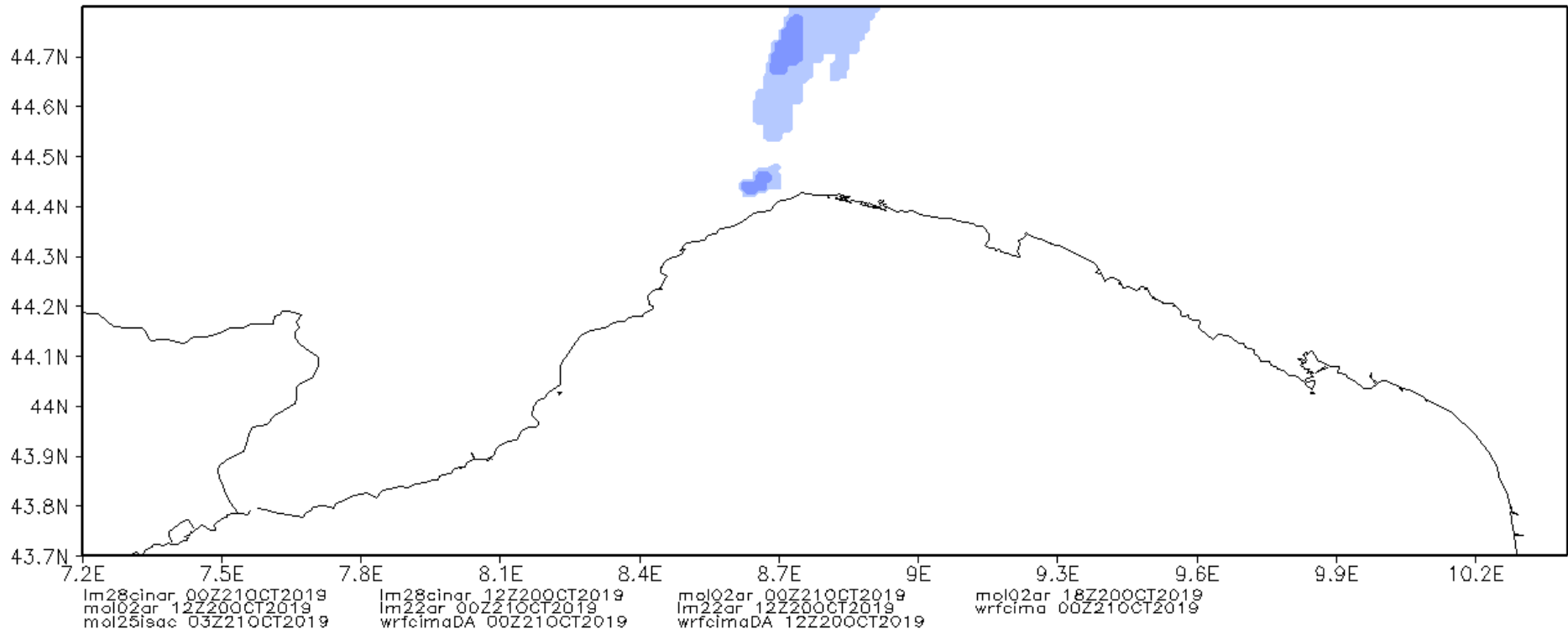
PASSAGGIO FRONTALE: MIGLIORE PREDICIBILITÀ

Probability of 12hr prec larger than 100mm. T=18z20dec2019



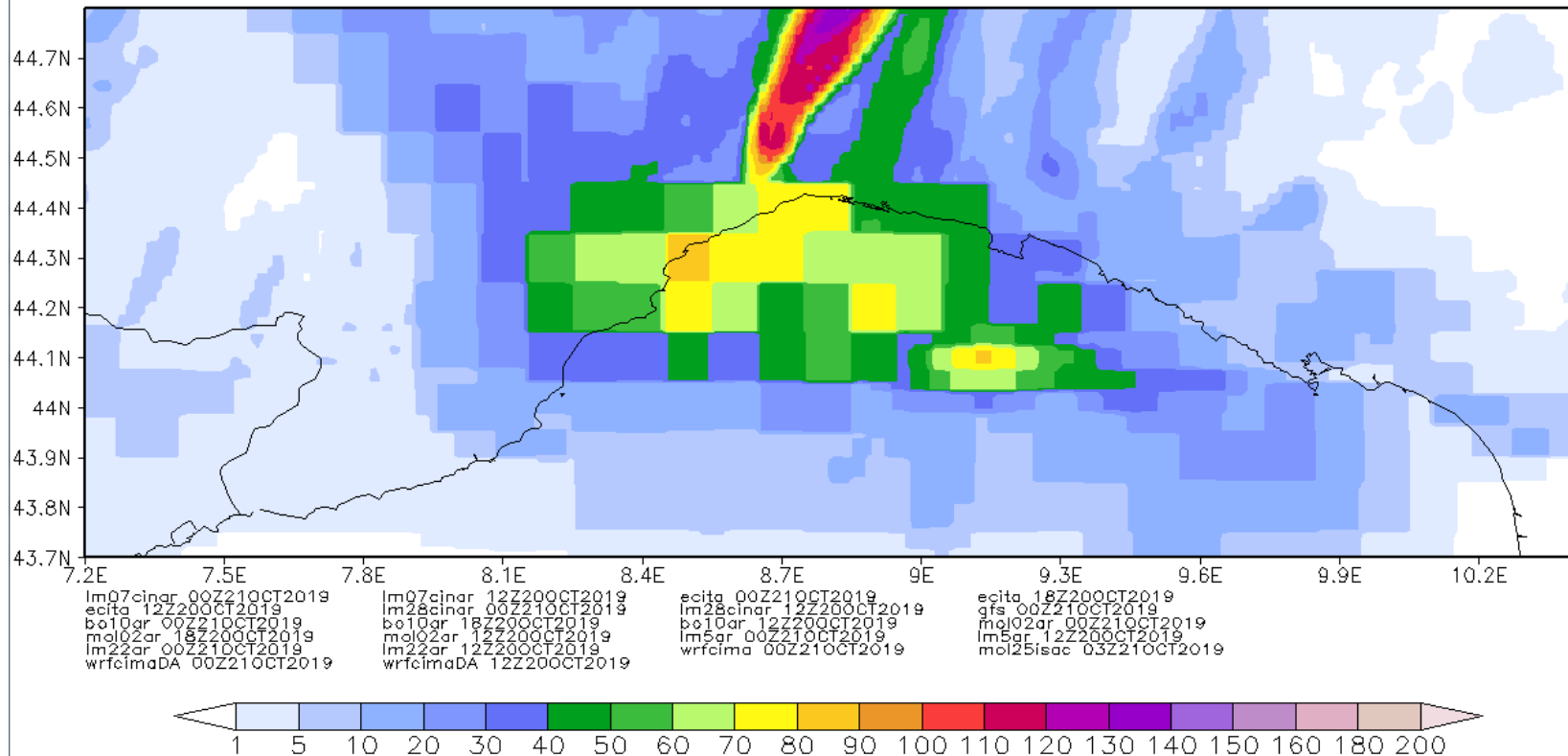
TEMPORALI LOCALIZZATI: SCARSA PREDICIBILITÀ

Probability of 6hr prec larger than 50mm. T=21z21oct2019

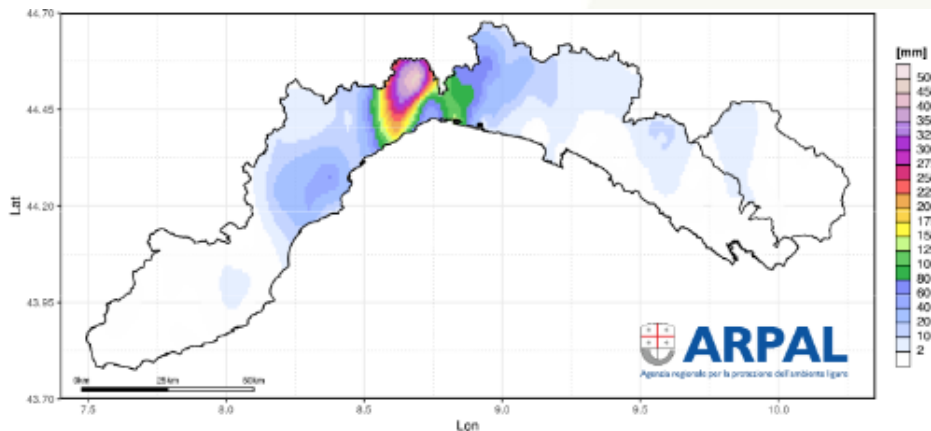


LO SCENARIO PEGGIORE

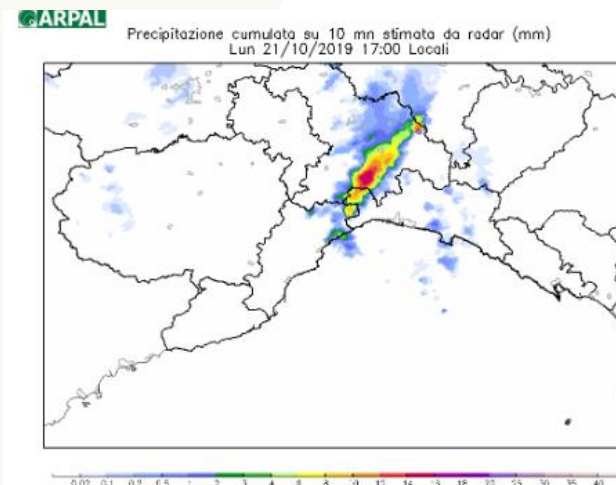
Maximum 6hr cumulated precipitation T=21z21oct2019



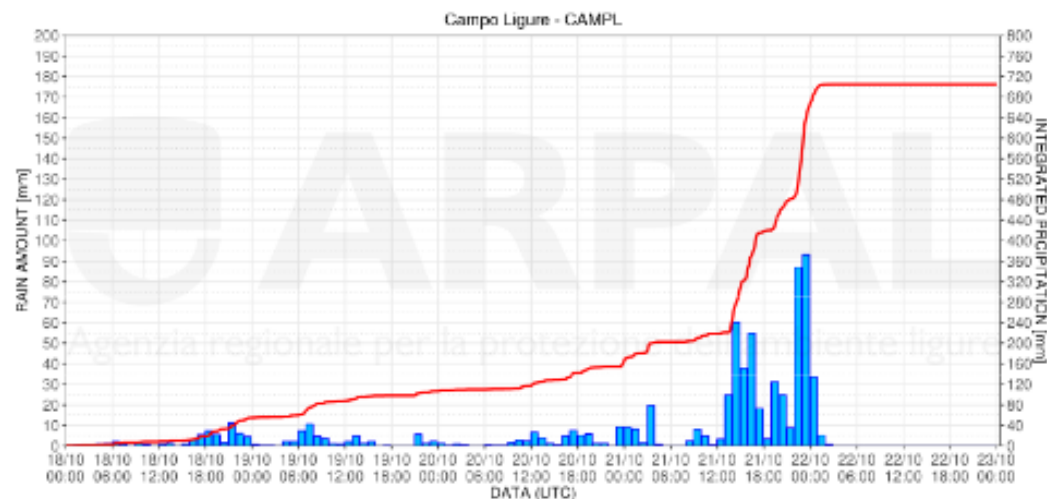
21-22 Ottobre 2019 (Campo Ligure)



Pioggia cumulata in 18 ore



Campo Ligure:
130 mm/1h,
280 mm/6h,
483 mm/12h



CONCLUSIONI

Enormi progressi della meteorologia negli ultimi decenni grazie a una miglior descrizione dei processi fisici, all'aumento delle osservazioni disponibili e a calcolatori sempre più potenti

La sfida dei prossimi anni è estendere la frontiera della predicibilità tramite sistemi di assimilazione dati sempre più efficienti, aumento della risoluzione (pochi km per i modelli globali) e uso di «modelli del sistema Terra» (accoppiamento con oceano, aerosol e chimica, ecc...)

L'atmosfera è un sistema caotico con limiti intrinseci di predicibilità: non si può prevedere se ci sarà un temporale su via Fieschi alle ore 15 di domani!

Ruolo fondamentale del previsore nell'interpretare le uscite dei modelli anche grazie alla conoscenza del territorio e dare valore aggiunto specie per situazioni difficili (ad es. processo di allertamento)