

I modelli meteorologici: potenzialità, limiti e applicazione alla previsione di eventi intensi

Silvio Davolio

Ricercatore presso l'Istituto di Scienze dell'Atmosfera e del Clima
CNR - ISAC



La previsione numerica



Lewis Fry Richardson riprendendo l'idea di Vilhelm Bjerknes (1904) (determinato lo stato iniziale dell'atmosfera, è possibile prevederne il comportamento futuro utilizzando le leggi della fisica) fu il primo a tentare di applicare i metodi del calcolo numerico per risolvere le equazioni della previsione del tempo (1916-22).

Conoscenze

Jule G. Charney e Ragnar Fjørtoft e John Von Neumann (1950): modello barotropico, prima previsione del tempo.
Carl Gustav Arvid Rossby
Edward Norton Lorenz



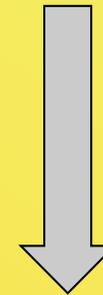
Metodi

Richard Courant, Kurt Friedrichs e Hans Lewy
→ metodi differenze finite e criteri di stabilità.



Tecnologia

Calcolatore a valvole
ENIAC (Electronical Numerical Integrator and Computer).

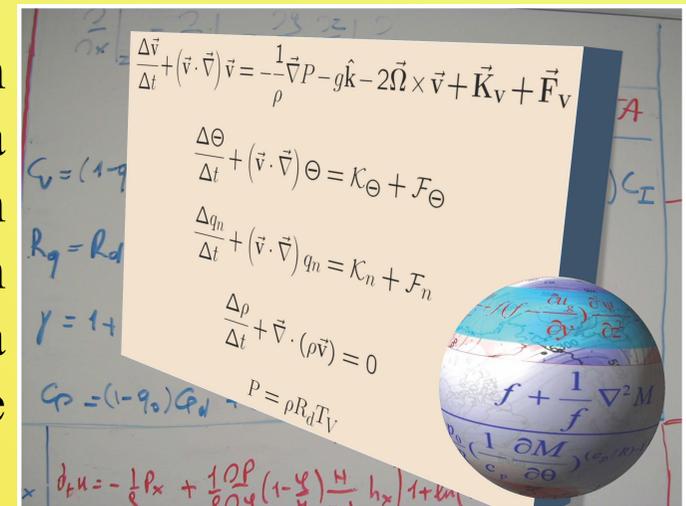


•Gli avanzamenti hanno beneficiato in misura comparabile dei progressi *tecnici* nel settore del calcolo e di quelli *scientifici* del settore della Meteorologia dinamica e numerica.

•La potenza di calcolo è cresciuta dal 1950 di un fattore di circa $10^{10} - 10^{11}$

I modelli numerici meteorologici (“*NWP models*”)

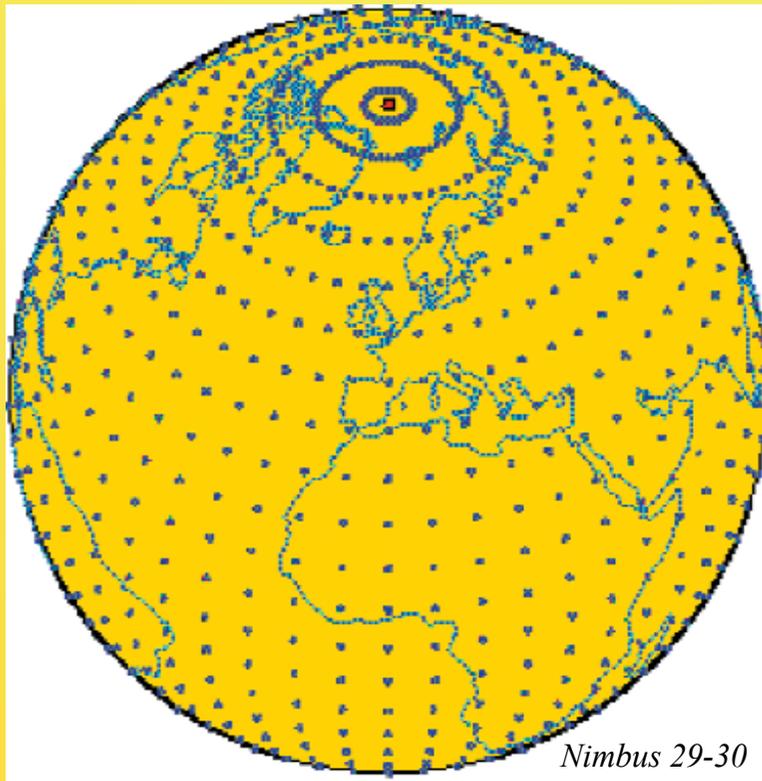
I modelli meteorologici sono programmi di calcolo in grado di risolvere numericamente le equazioni della fisica che governano l'evoluzione dell'atmosfera (e non solo, anche suolo e mare sono in parte coinvolti), in modo da prevederne lo stato futuro, a partire dalla conoscenza dello stato di partenza (detto condizione iniziale della previsione).



Sono una rappresentazione “schematica e semplificata” della realtà, descritta attraverso un insieme di equazioni che simulano il comportamento della natura e che rappresentano la nostra migliore conoscenza dei fenomeni fisici.

Sono dei sofisticati simulatori dei processi fisici e dei moti atmosferici.

I modelli di previsione sono **l'unico strumento** a disposizione **per effettuare previsioni** oltre le 1-3 ore (nowcasting).

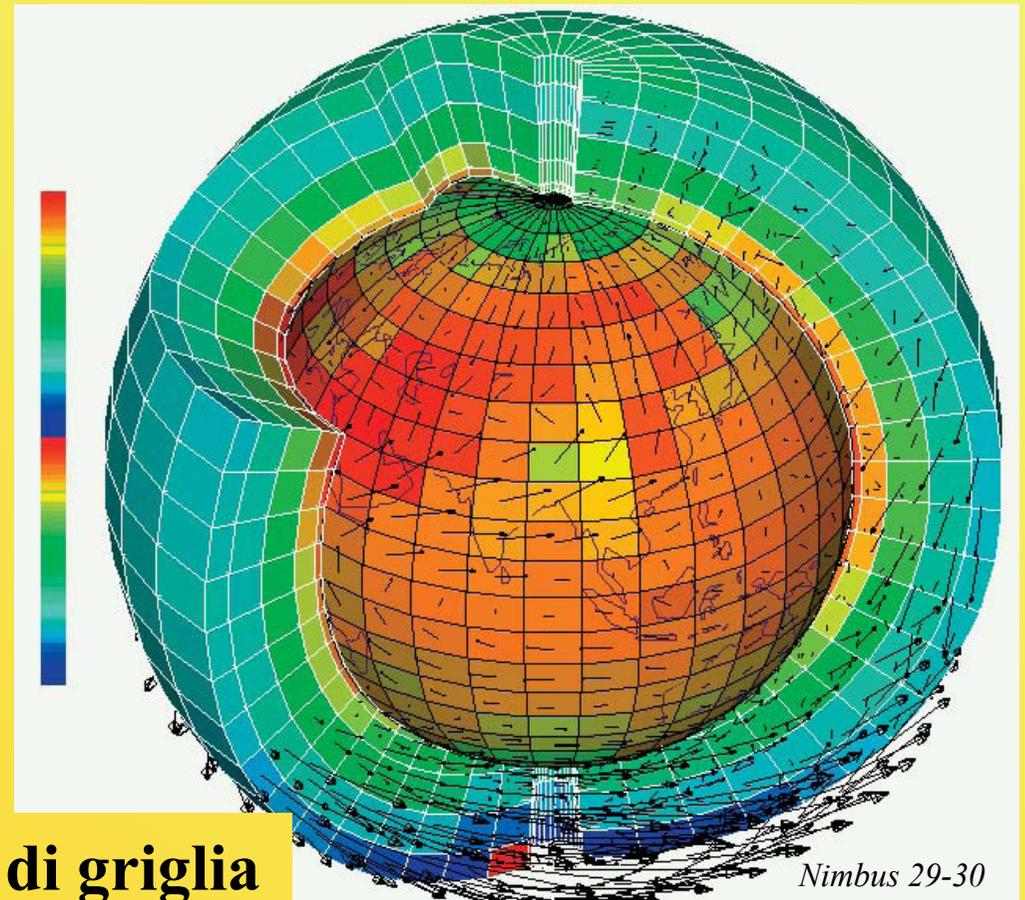


Discretizzazione

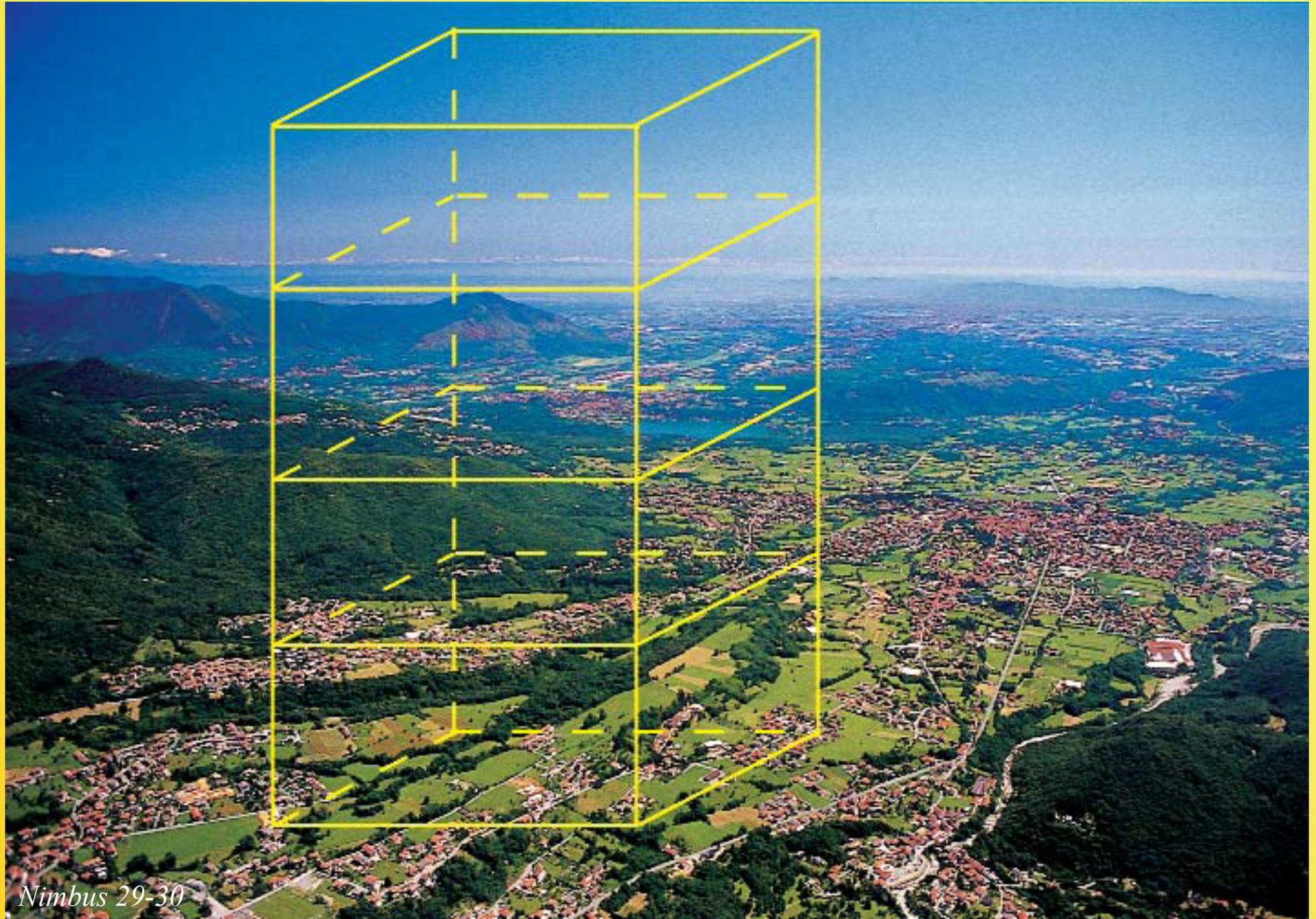
Non esiste una soluzione analitica delle equazioni, valida in continuo per tutti i punti della superficie terrestre.

I metodi numerici dividono l'atmosfera in punti fissi (punti di griglia).

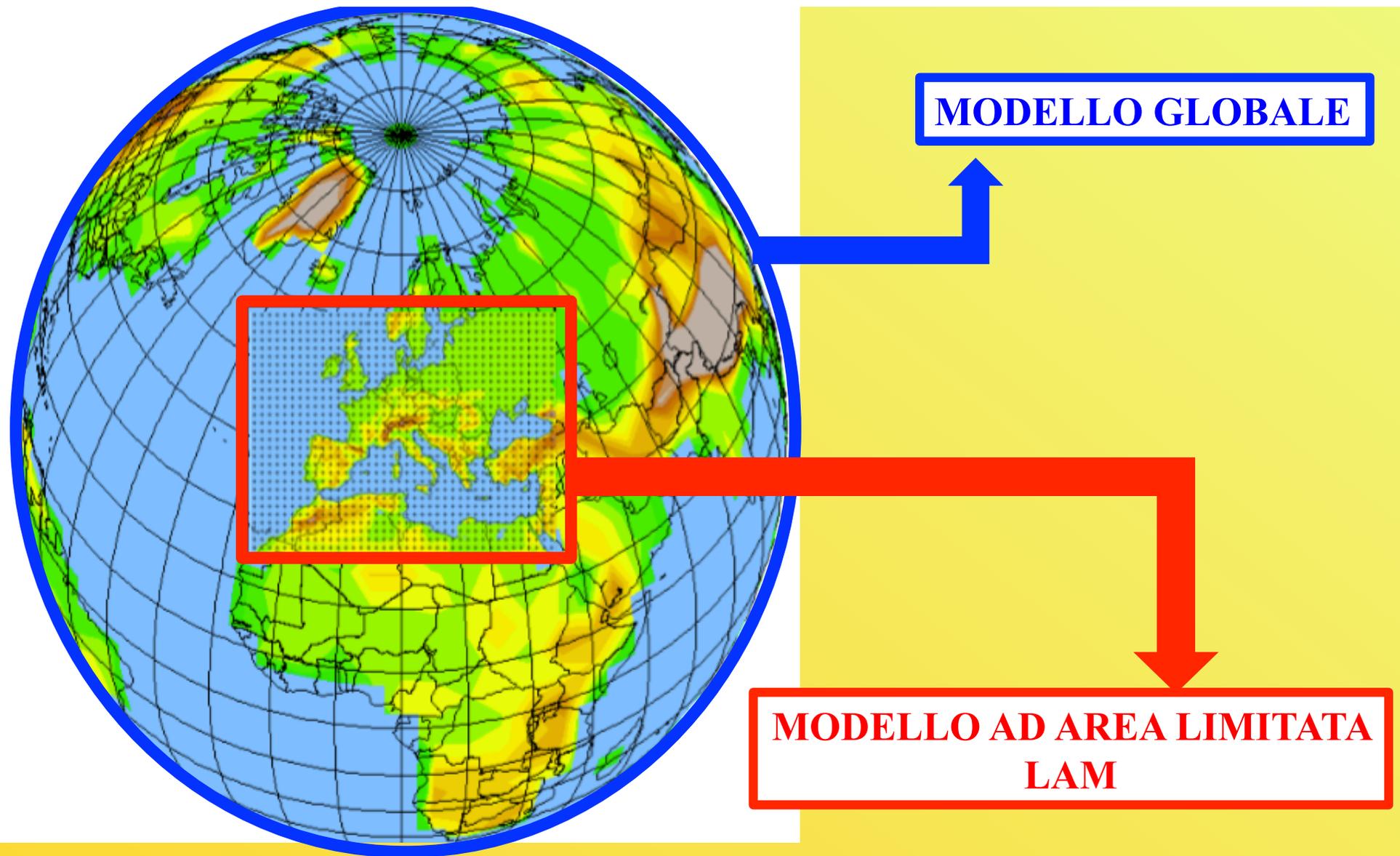
Le variabili meteorologiche (pressione, temperatura, vento, umidità, radiazione ecc.) sono rappresentate soltanto attraverso un insieme finito di numeri, che ne descrivono i valori limitatamente ad un reticolo spazio-temporale (**griglia**).



Risoluzione = distanza tra punti di griglia



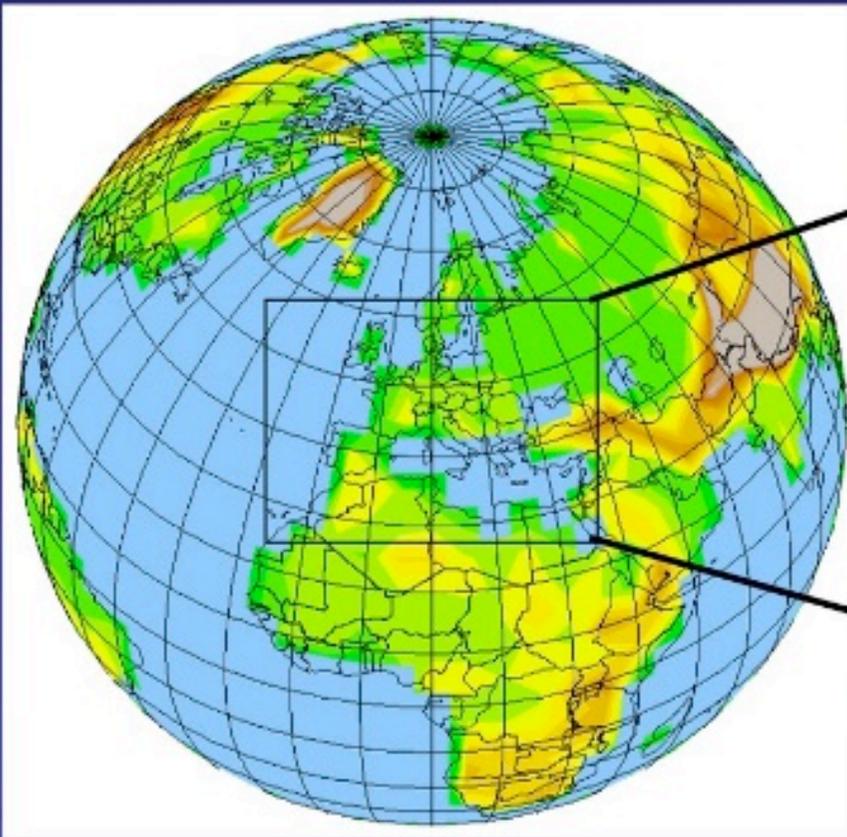
Nimbus 29-30



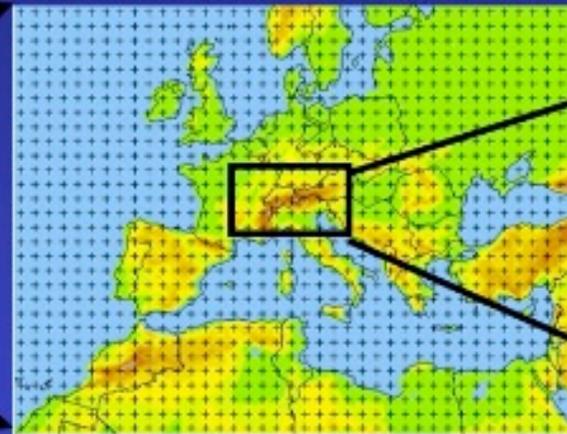
L'aumento di risoluzione è molto "costoso" → NESTING

I LAM consentono di ottenere elevate risoluzioni spaziali (fino a "*convection permitting*"), ma richiedono condizioni al contorno che derivano dai modelli globali.

Globale



Continentale



Regionale



Locale

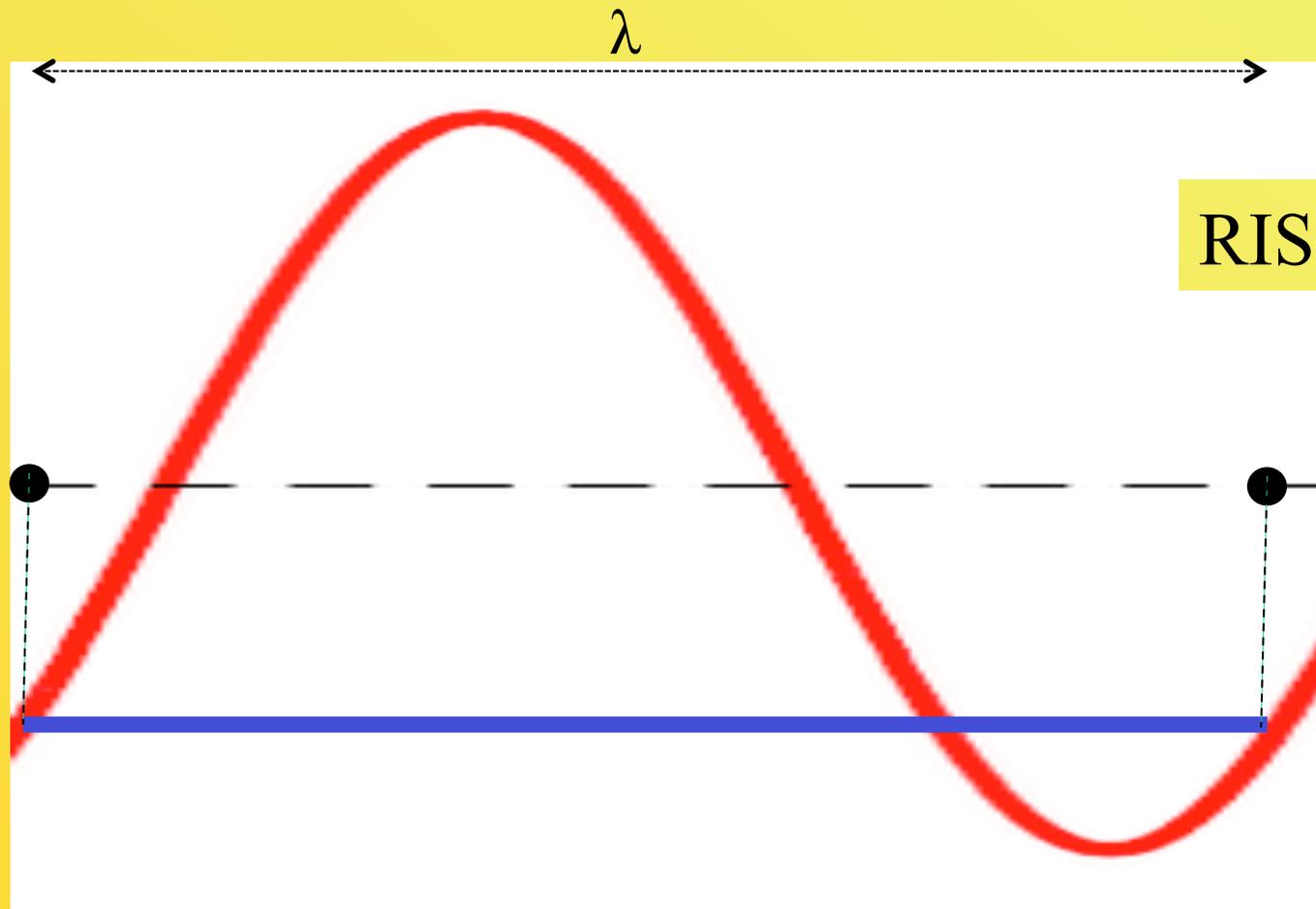


Courtesy: Prof. Claudio Cassardo

Alcune regole per il nesting:

dimensione del dominio, salto di risoluzione, frequenza delle condizioni al contorno

Risoluzione orizzontale del modello

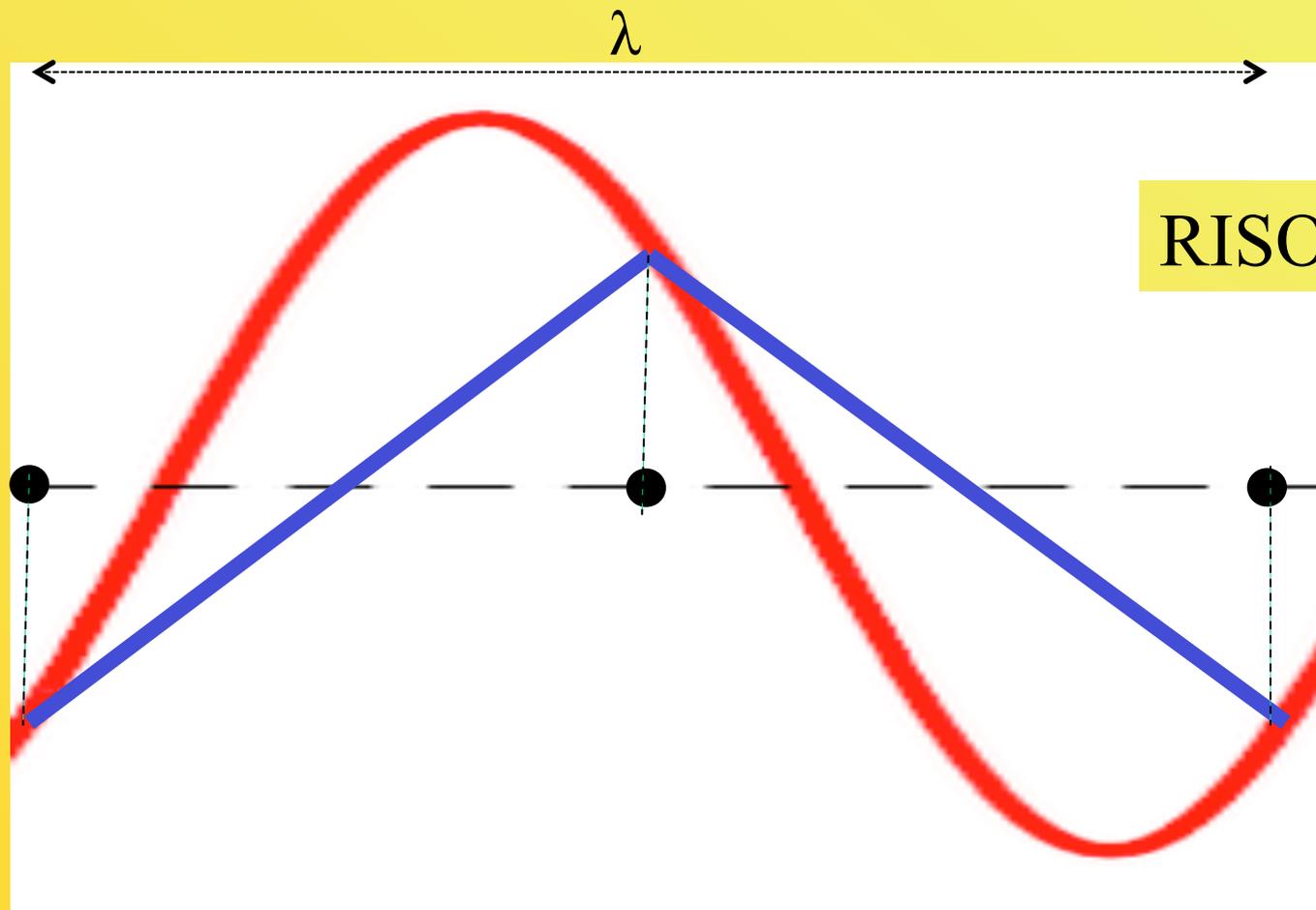


RISOLUZIONE = λ

— REALTA'

— MODELLO

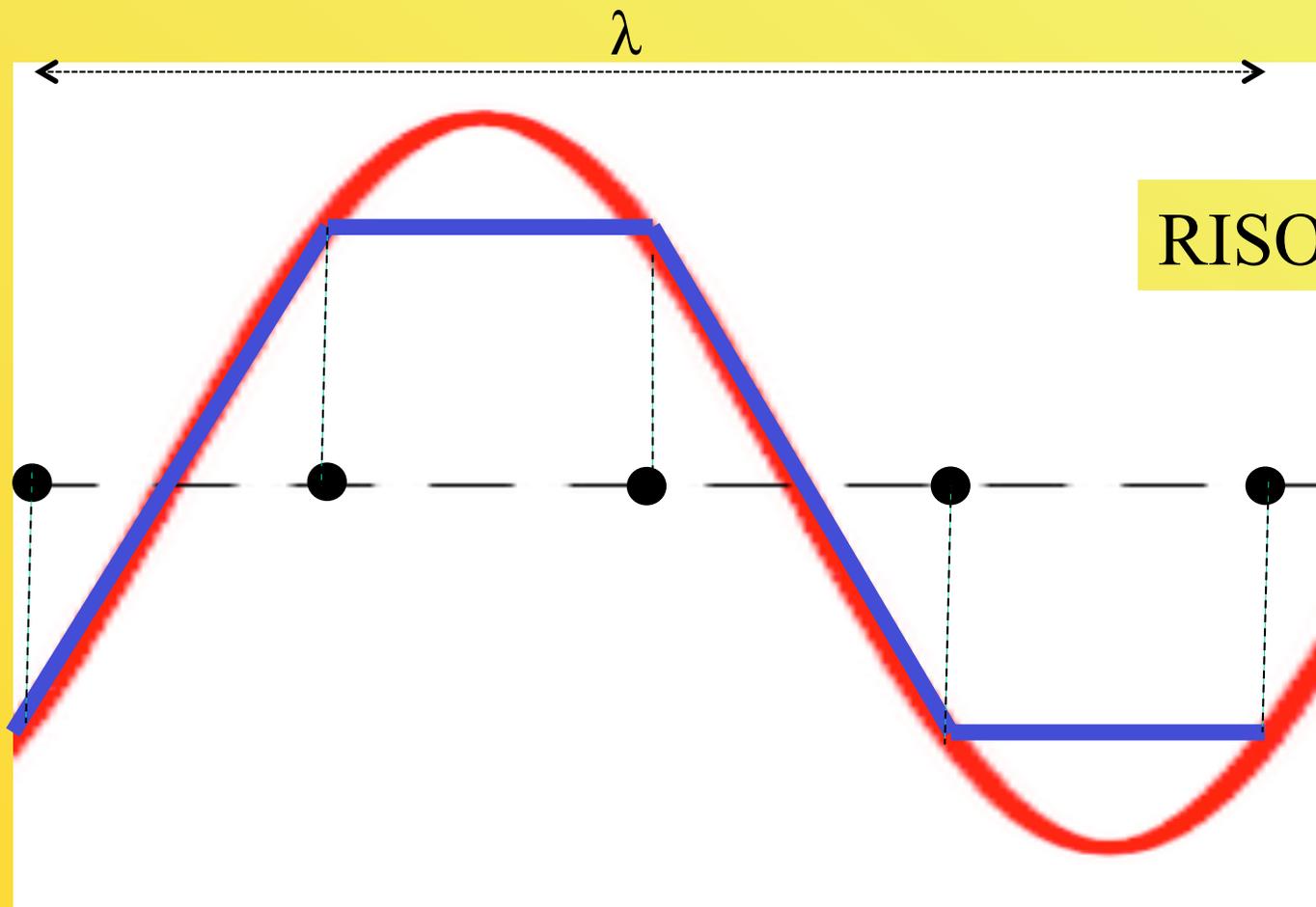
Risoluzione orizzontale del modello



— REALTA'

— MODELLO

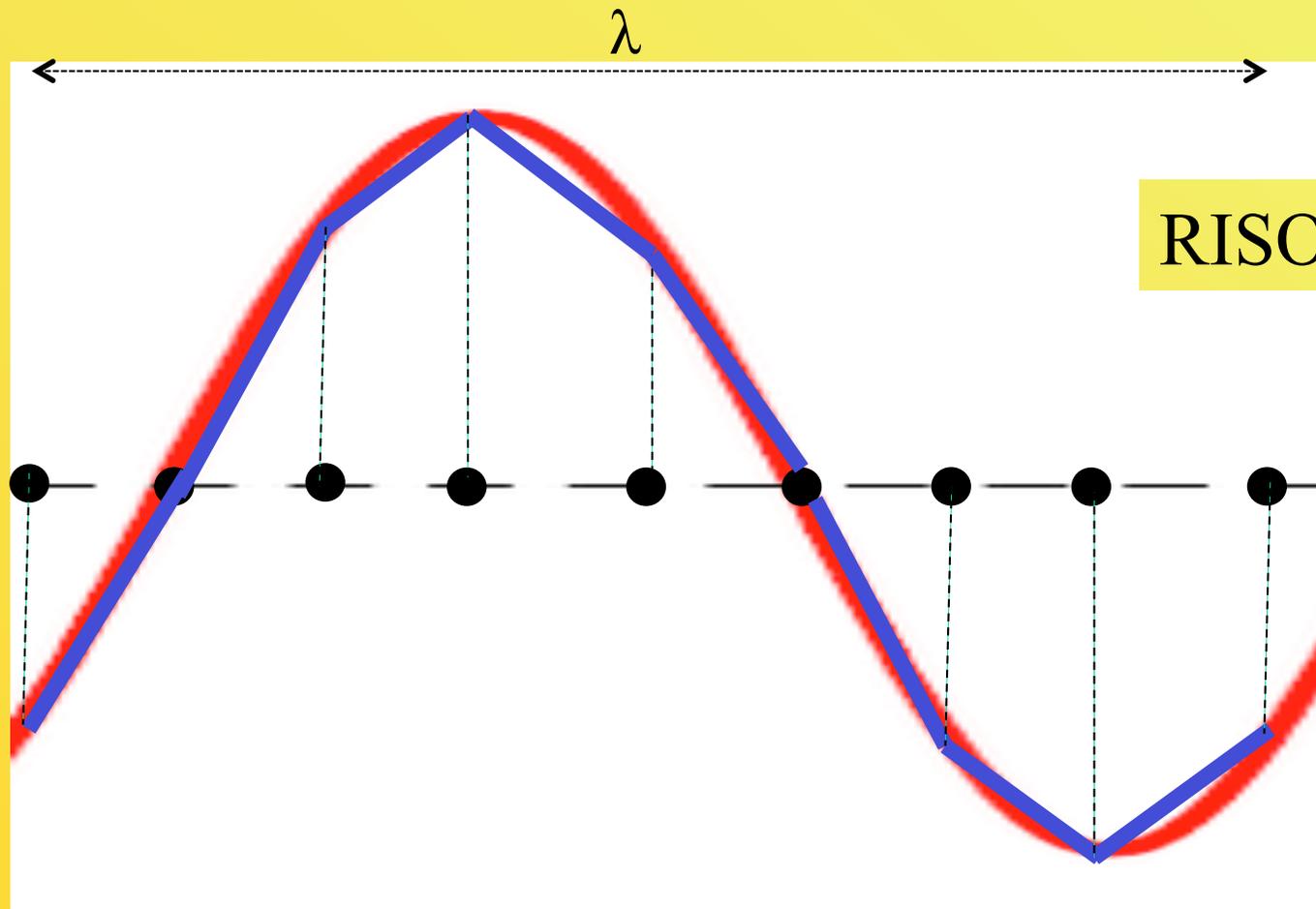
Risoluzione orizzontale del modello



— REALTA'

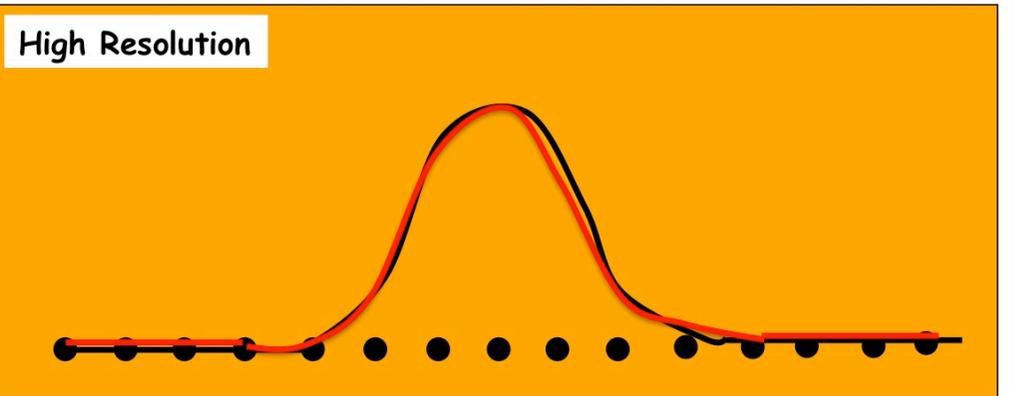
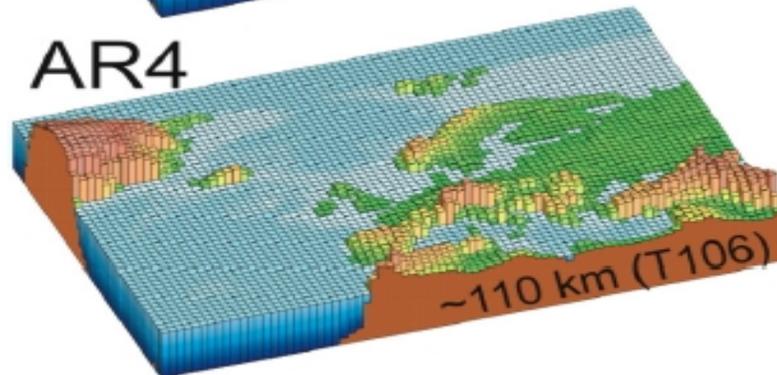
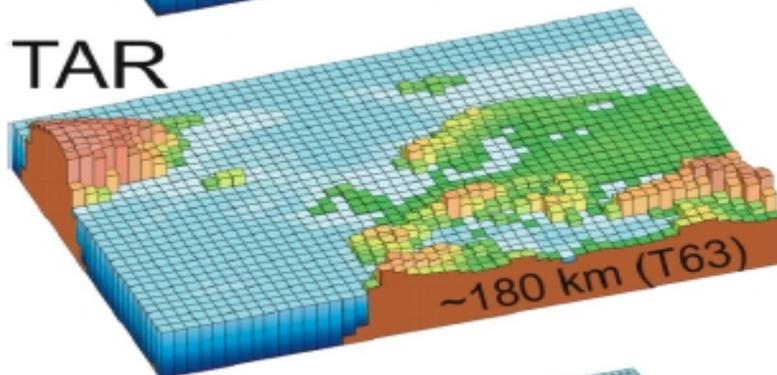
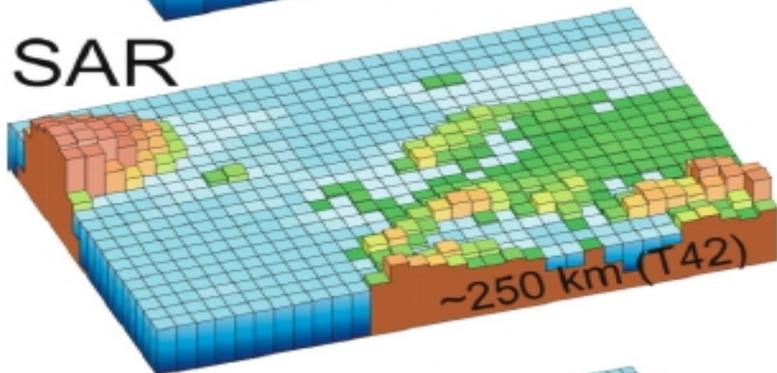
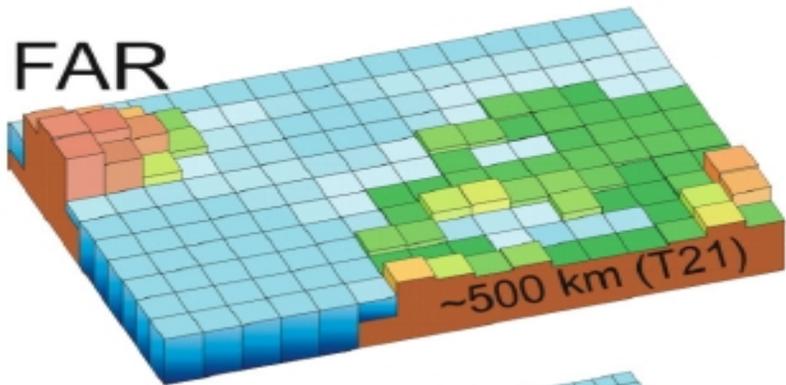
— MODELLO

Risoluzione orizzontale del modello

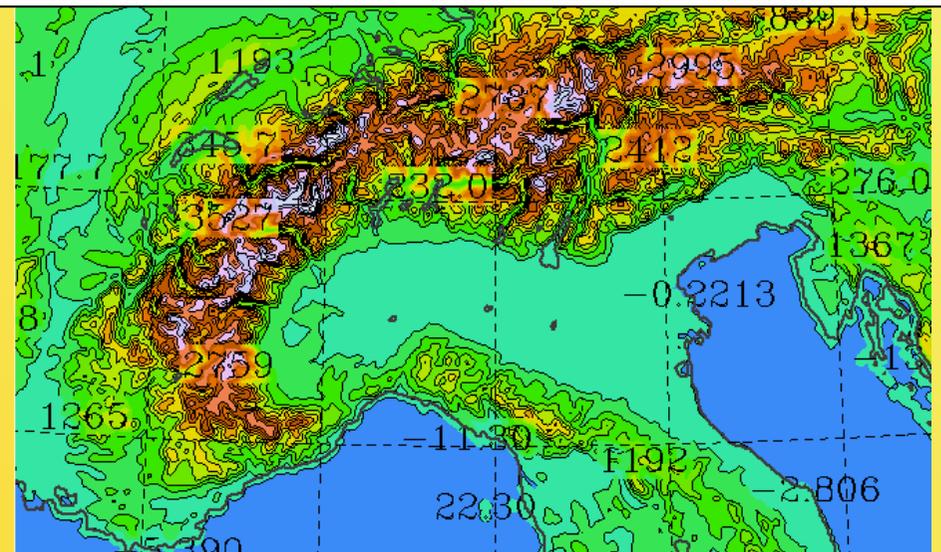
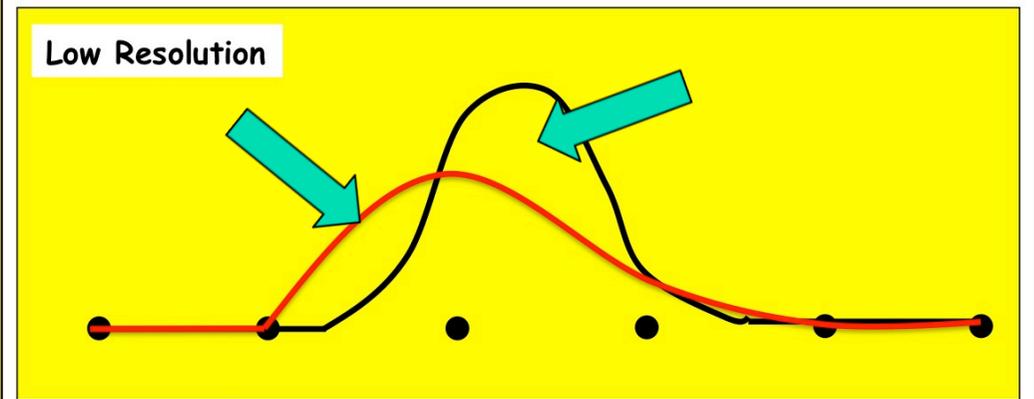


— REALTA'

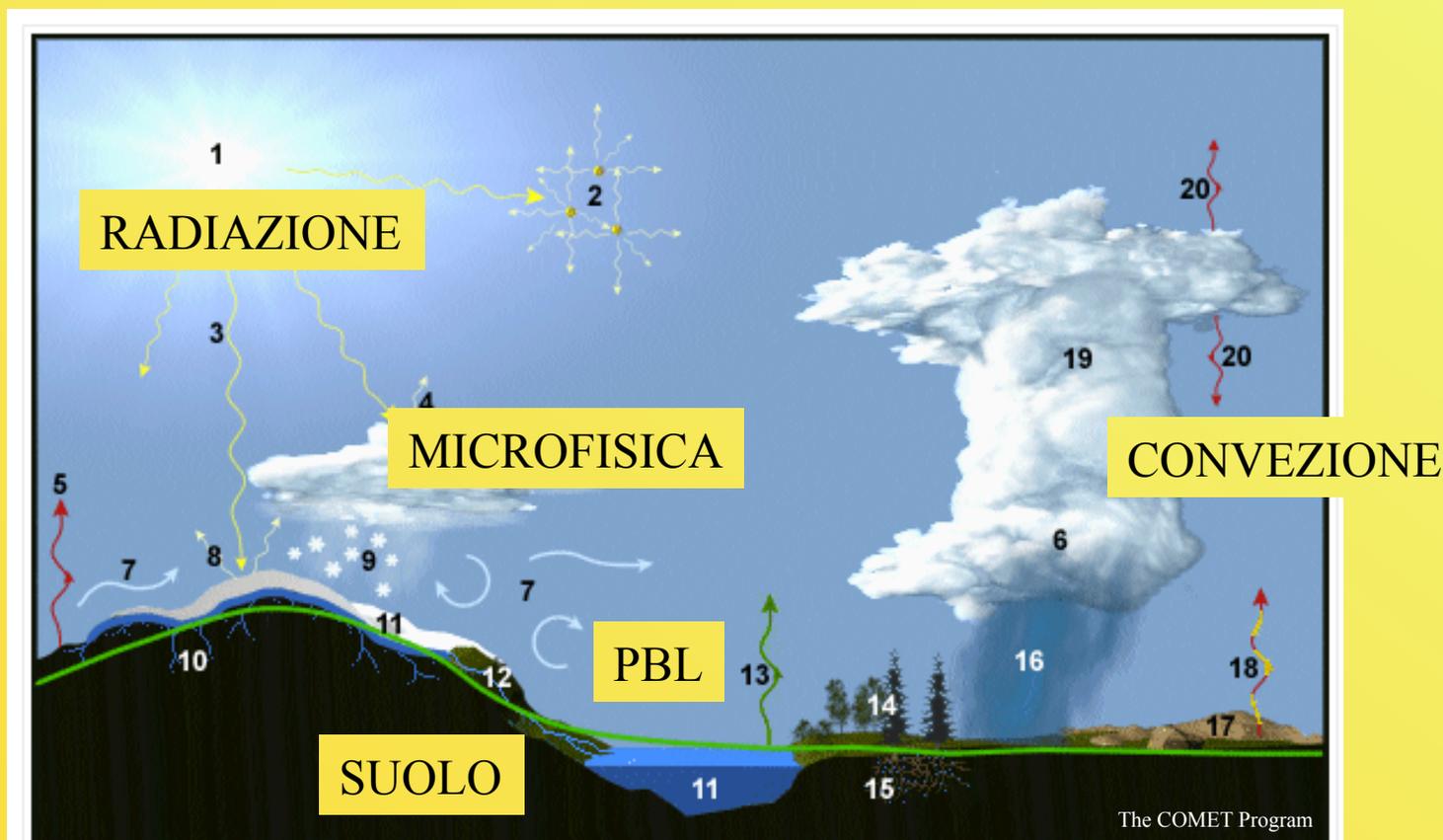
— MODELLO



— True orography — Model orography ● Grid points



Cosa c'è dentro un modello? Fisica e parametrizzazione

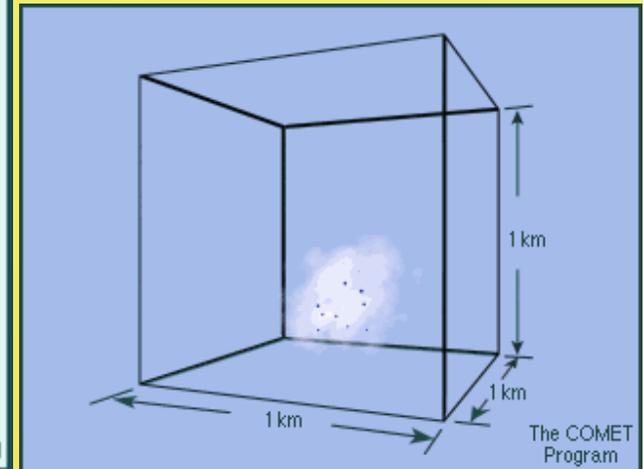
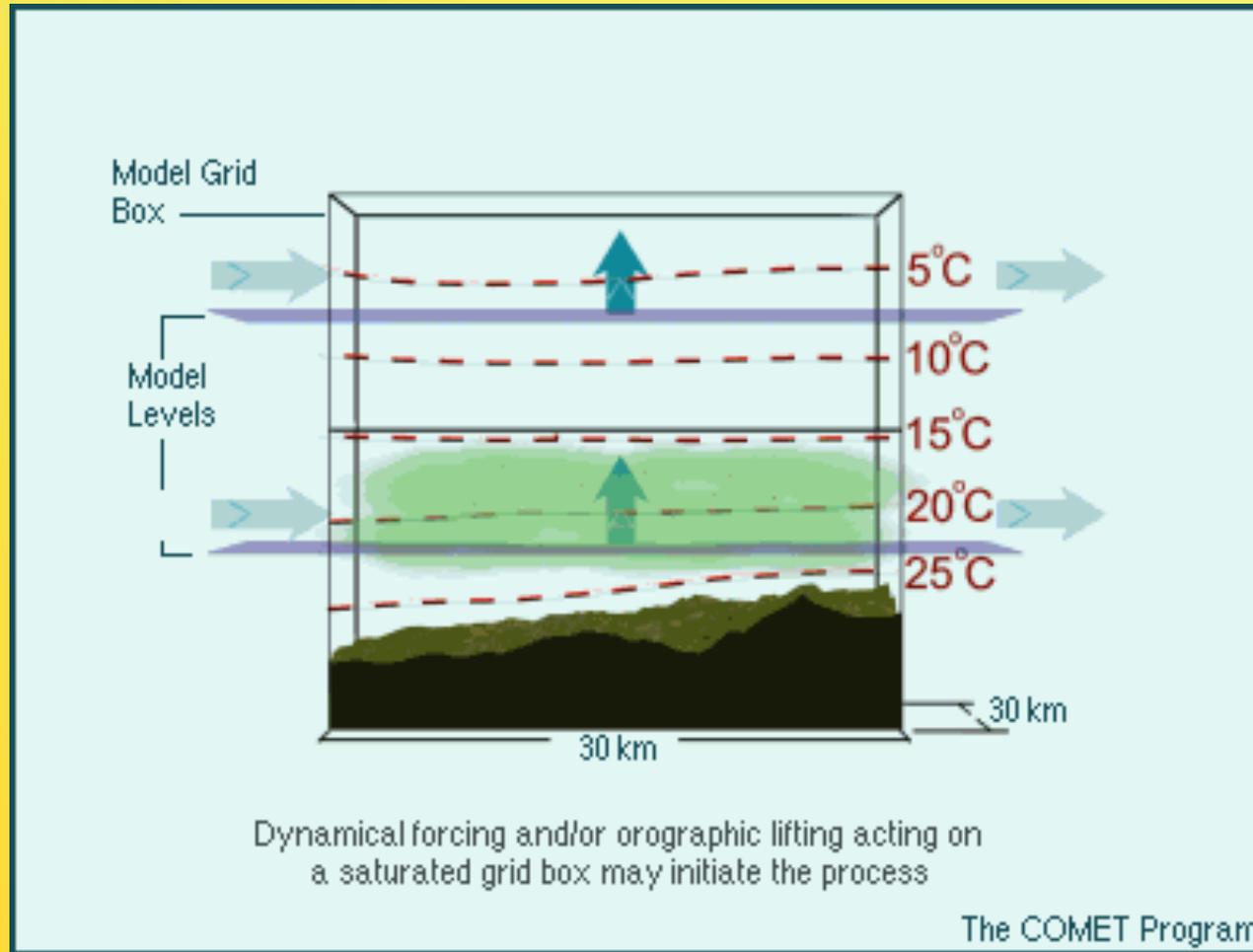


All'interno del modello meteorologico ci sono dei "modelli" che descrivono importanti processi fisici i quali

- 1) operano a scala più piccola del passo di griglia, quindi il modello non vede
- 2) sono molto complessi e vanno trattati in modo semplificato o di cui abbiamo conoscenze limitate

PARAMETRIZZAZIONE: procedura che determina (in modo approssimato) la modifica da apportare alle variabili del modello a seguito di questi processi fisici.

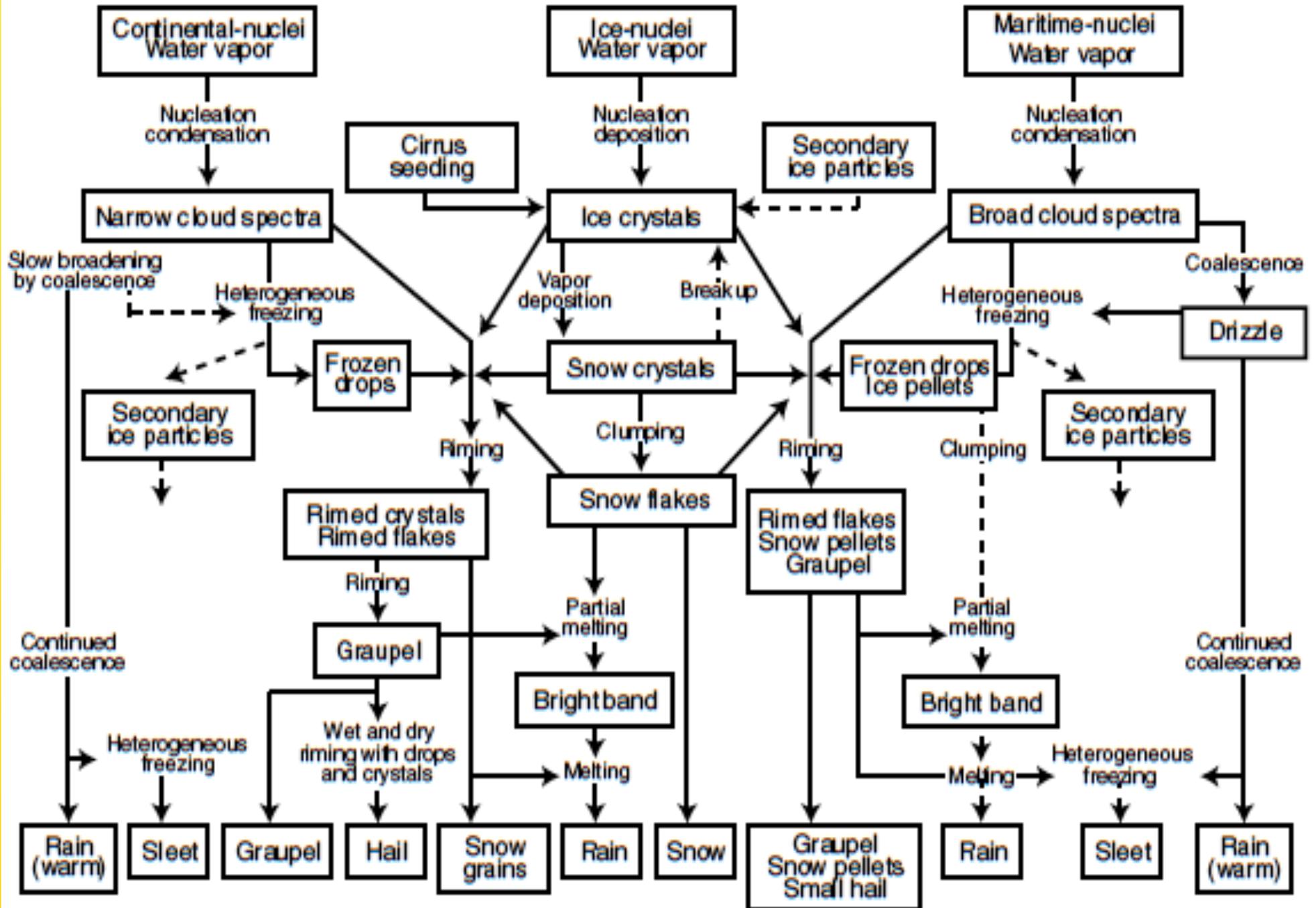
MICROFISICA



La dinamica risolta dal modello produce il forcing che porta alla formazione di nubi e pioggia. I processi legati a nubi e precipitazione (e le loro conseguenze, quali rilascio di calore latente) non possono essere descritte esplicitamente dal modello, ma deve esserci una parametrizzazione dei processi microfisici.

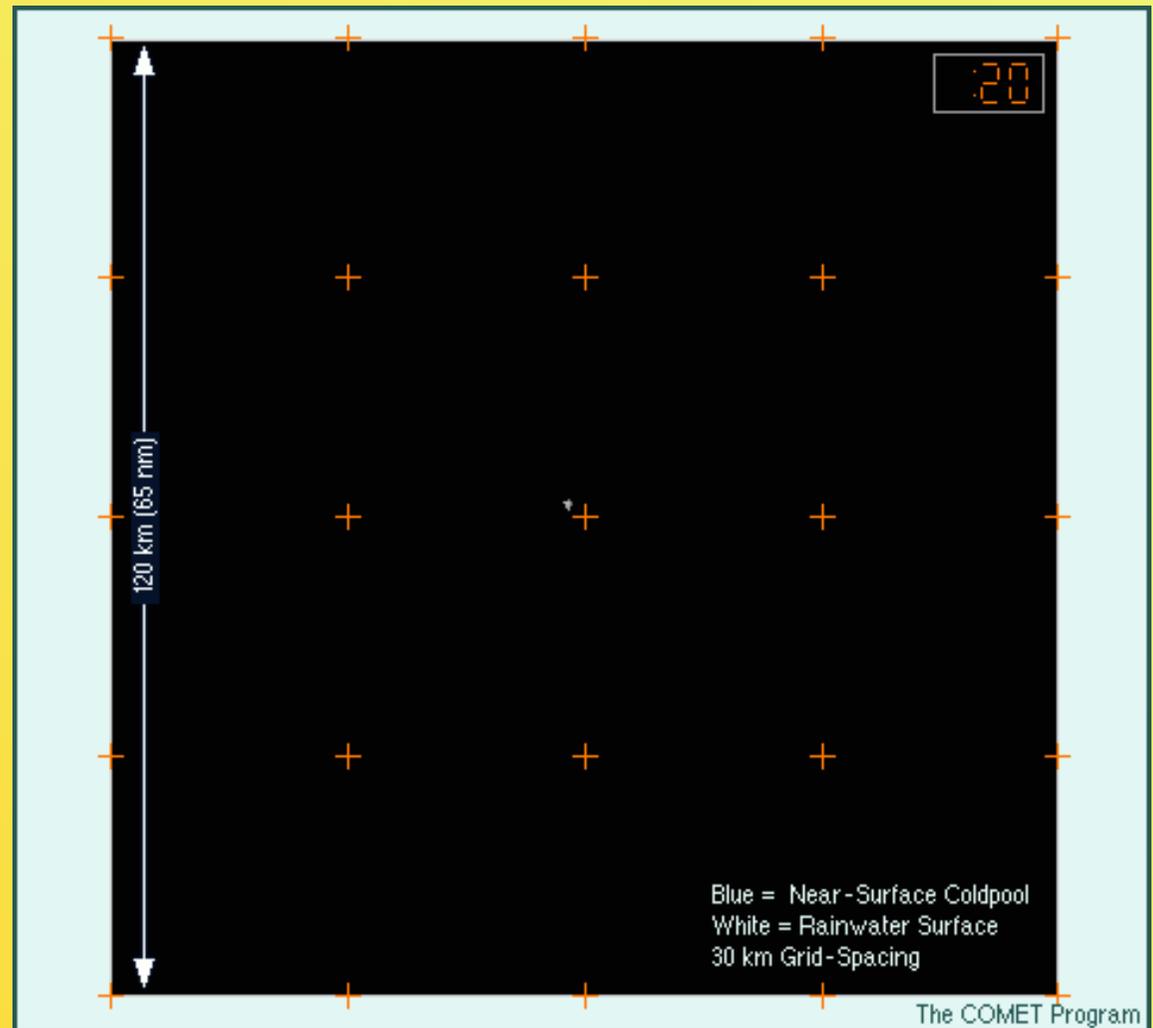
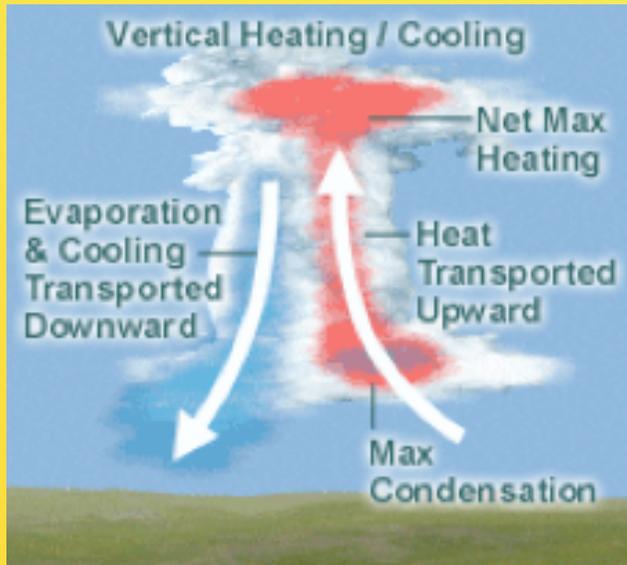
Quali sono i processi microfisici da descrivere?

MICROFISICA



CONVEZIONE

Nei modelli più recenti ad alta risoluzione ($< 4\text{km}$) la convezione non è più paramerizzata ma **risolta esplicitamente** attraverso le equazioni. Questo permette una descrizione più realistica dei sistemi convettivi, della loro dinamica e delle precipitazioni associate.



SUOLO/SUPERFICIE

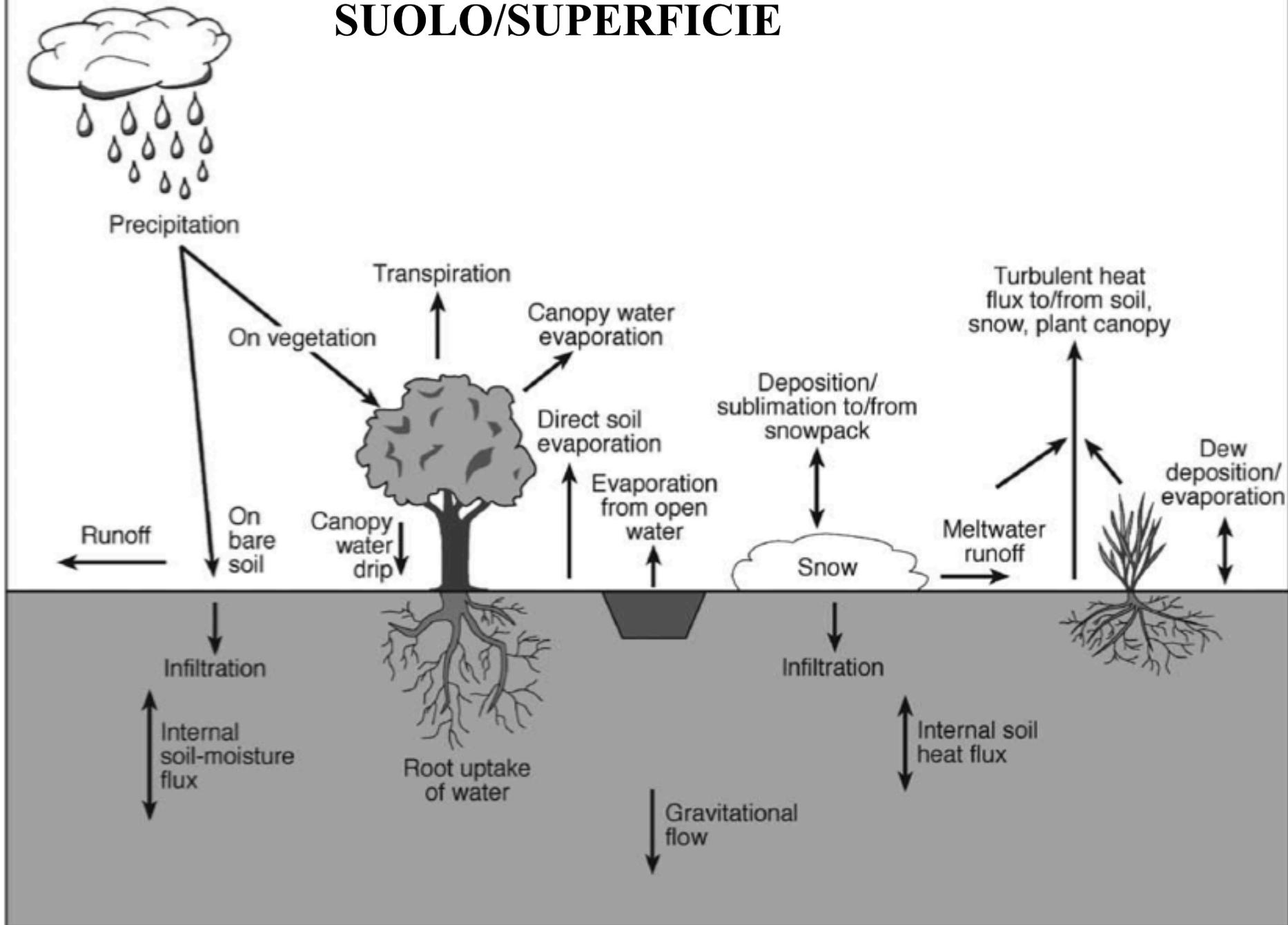
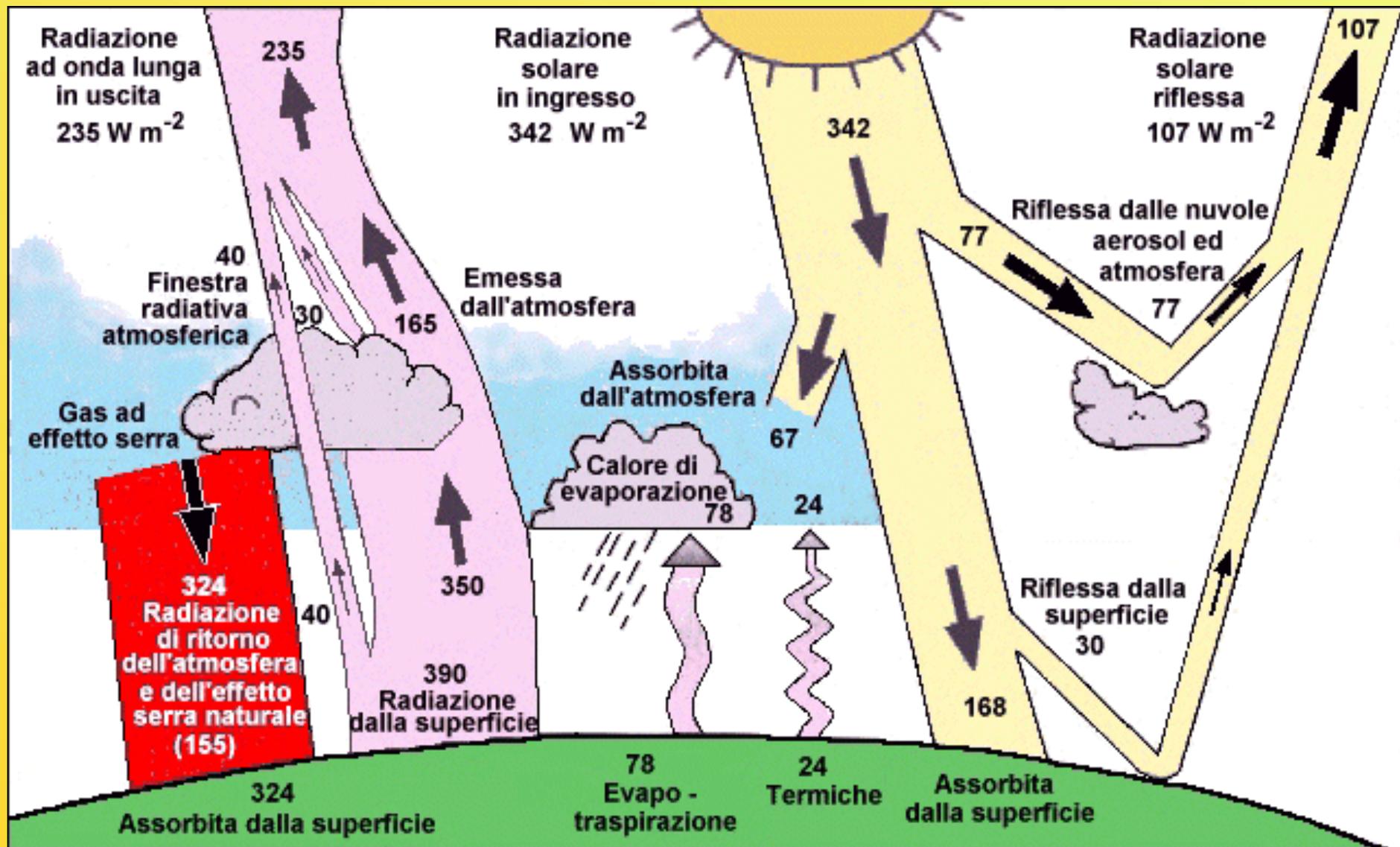


Fig. 5.1

Schematic showing physical processes that are associated with the movement of heat and water within the substrate and at the surface. Adapted from Chen and Dudhia (2001).

RADIAZIONE



... e tutte le interazioni tra i vari processi fisici parametrizzati!!!
18

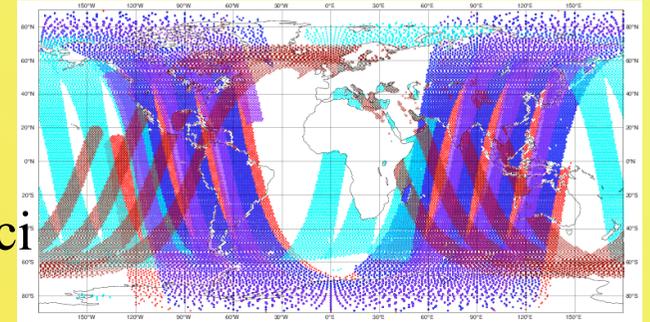
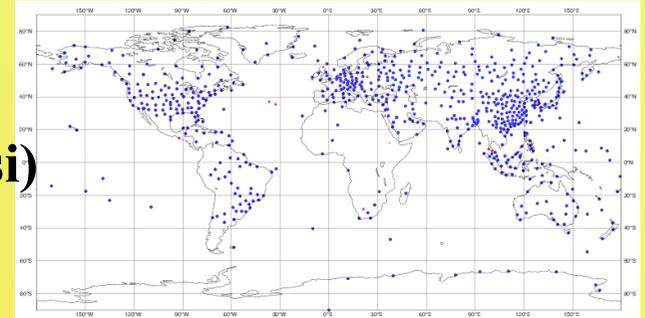
Errori nella previsione numerica

-Errori nella conoscenza della condizione iniziale (analisi)

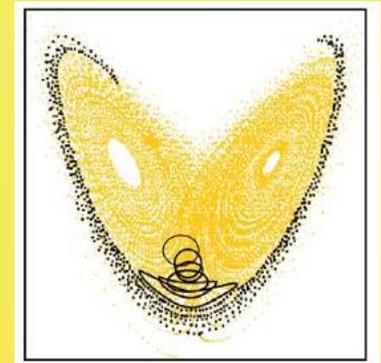
- errori/lacune nelle osservazioni
- assimilazione dati
- analisi a risoluzione adeguata

- Errori nel modello

- risoluzione
- descrizione/conoscenza approssimata dei processi fisici
- metodi numerici
- condizioni al contorno nei LAM



La previsione è un problema ai valori iniziali
L'atmosfera è un sistema dinamico a comportamento "caotico"



Gli errori si amplificano e ci sono limiti di predicibilità non superabili

La conoscenza approssimata della condizione iniziale non produce una previsione approssimata dopo un tempo finito, ma una previsione SBAGLIATA

... e per previsioni di “severe weather”?

Gli errori crescono dove ci sono instabilità:

- larga scala → cicloni (instabilità baroclina)
- piccola scala → convezione

quindi **proprio dove ci interessa** fare una previsione accurata!



Per la convezione (che caratterizza quasi sempre i fenomeni di *severe weather*) questo implica un limite di predicibilità al massimo di poche ore.



Andare a risoluzioni più alte risolve tutti i problemi?

NO!

PRO: riduce l'errore (migliore analisi, migliore descrizione dei fenomeni), simulazioni più realistiche

CONTRO: descriviamo scale più piccole, gli errori crescono più rapidamente!

E' impensabile una previsione precisa in termini di quantità di pioggia e localizzazione in caso di sistemi convettivi già dopo poche ore.



Nessuna speranza di previsioni quantitative utili???

Negli ultimi decenni si è assistito ad un deciso miglioramento della qualità delle previsioni a grande scala che è dominante.

PRO: margini di miglioramento più ampi e ricadute positive

CONTRO: la corretta previsione della larga scala è condizione necessaria (ma non sufficiente) per la corretta previsione dei fenomeni a scala piccola.



Maggiore predicibilità quando c'è una forzante a scala più grande (es: fronte, orografia)

I sistemi convettivi sono spesso organizzati in/da strutture a mesoscala più predicibili della pura convezione, consentendo, in alcuni casi, previsioni della precipitazione relativamente utili fino a 24-36 ore. Es: formazione di linee di convergenza che costituiscono un precursore relativamente predicibile che tende a localizzare lo sviluppo della convezione.

Miglioramento dei modelli

Ensemble forecasting → previsione probabilistica



CORRETTA INTERPRETAZIONE DELLE PREVISIONI

Le singole previsioni "deterministiche" a piccola scala, in presenza di instabilità convettiva, hanno un valore di "**scenario possibile**" (sono ancora determinanti l'esperienza e le conoscenze dei **previsori!**).

Considerare il fenomeno previsto e la sua struttura come un evento che può accadere in un intorno (spaziale) del punto previsto e in un arco di tempo di alcune ore attorno all'istante di previsione (previsioni automatiche sul cellulare ?!?!?!)

Ensemble forecasting:

- Tante condizioni iniziali
 - Tanti modelli ad alta risoluzione
- previsione probabilistica

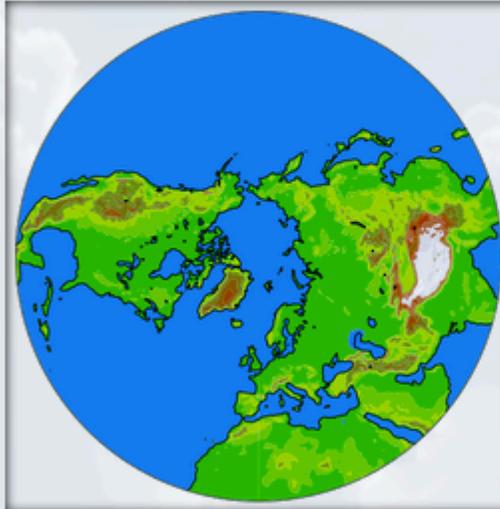
ESEMPI DI PREVISIONE DI *SEVERE WEATHER*



Previsioni meteorologiche CNR-ISAC GLOBO - BOLAM - MOLOCH forecasts

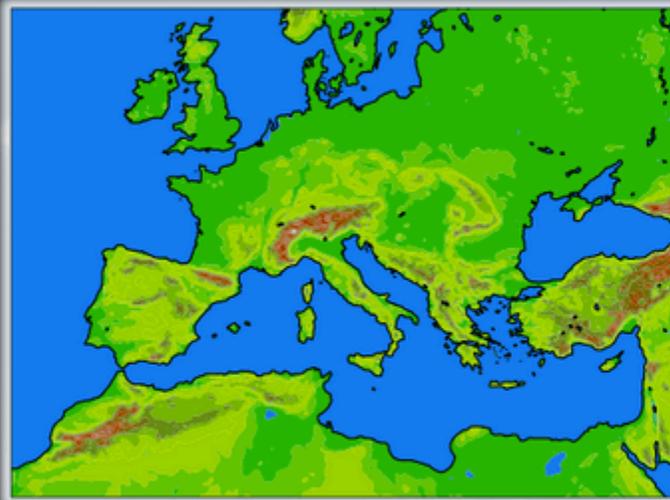


CNR-ISAC, Bologna



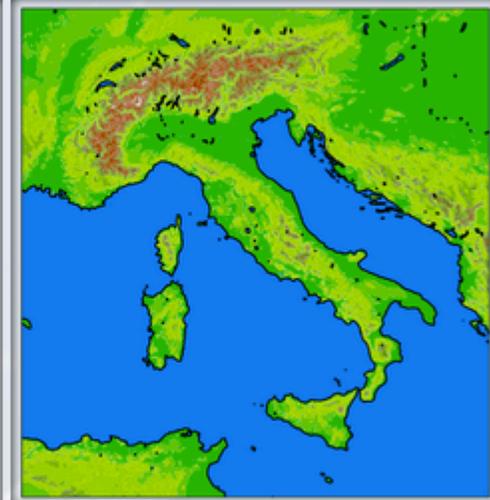
GLOBO, 19 km
7 days

Globo monthly forecasts



BOLAM, 8.3 km
3 days

Blended precipitation



MOLOCH, 1.25 km
2 days

Bolam cross-sections

Bolam meteograms

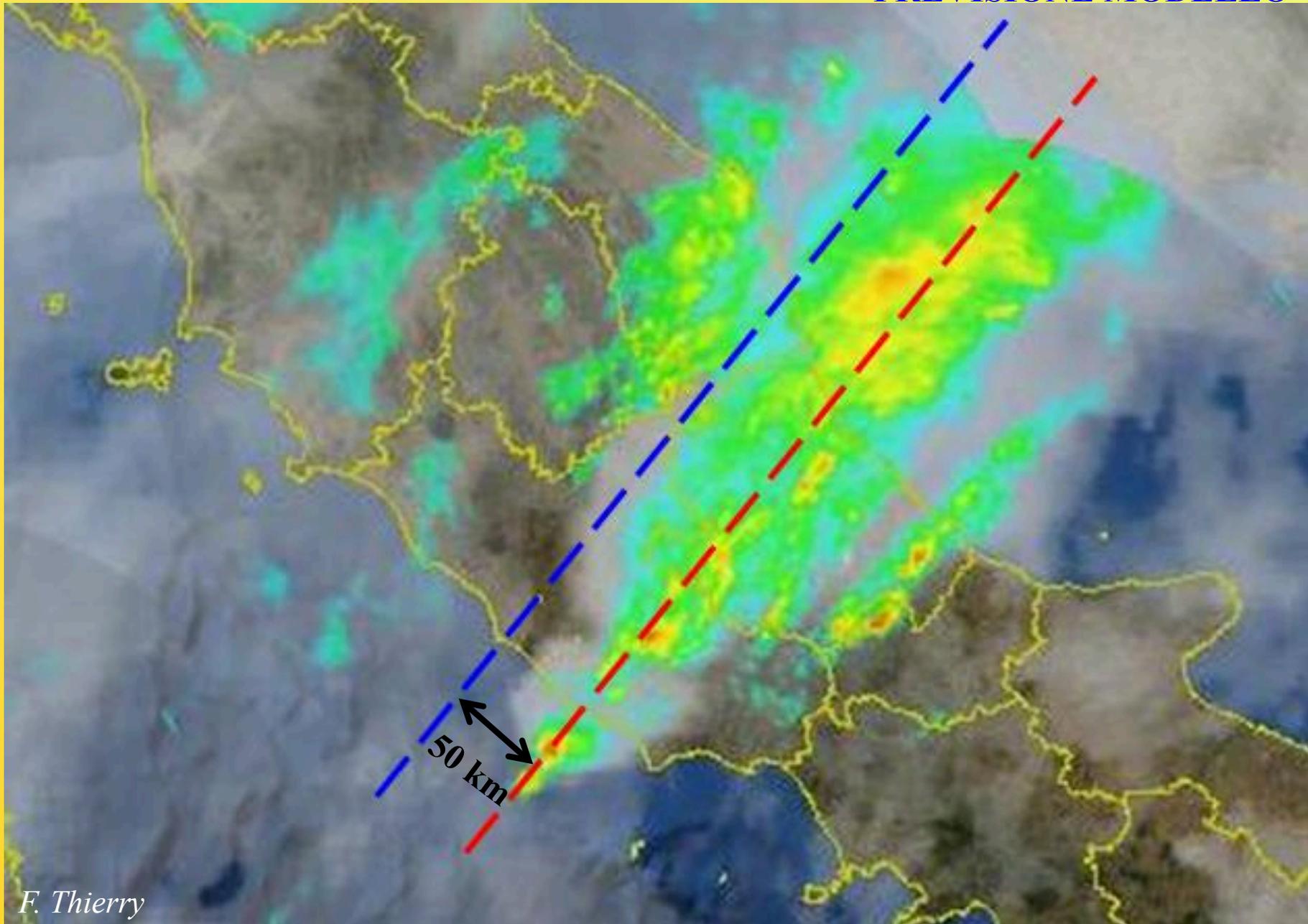
Moloch high res. wind

Moloch cross-sections

Moloch meteograms

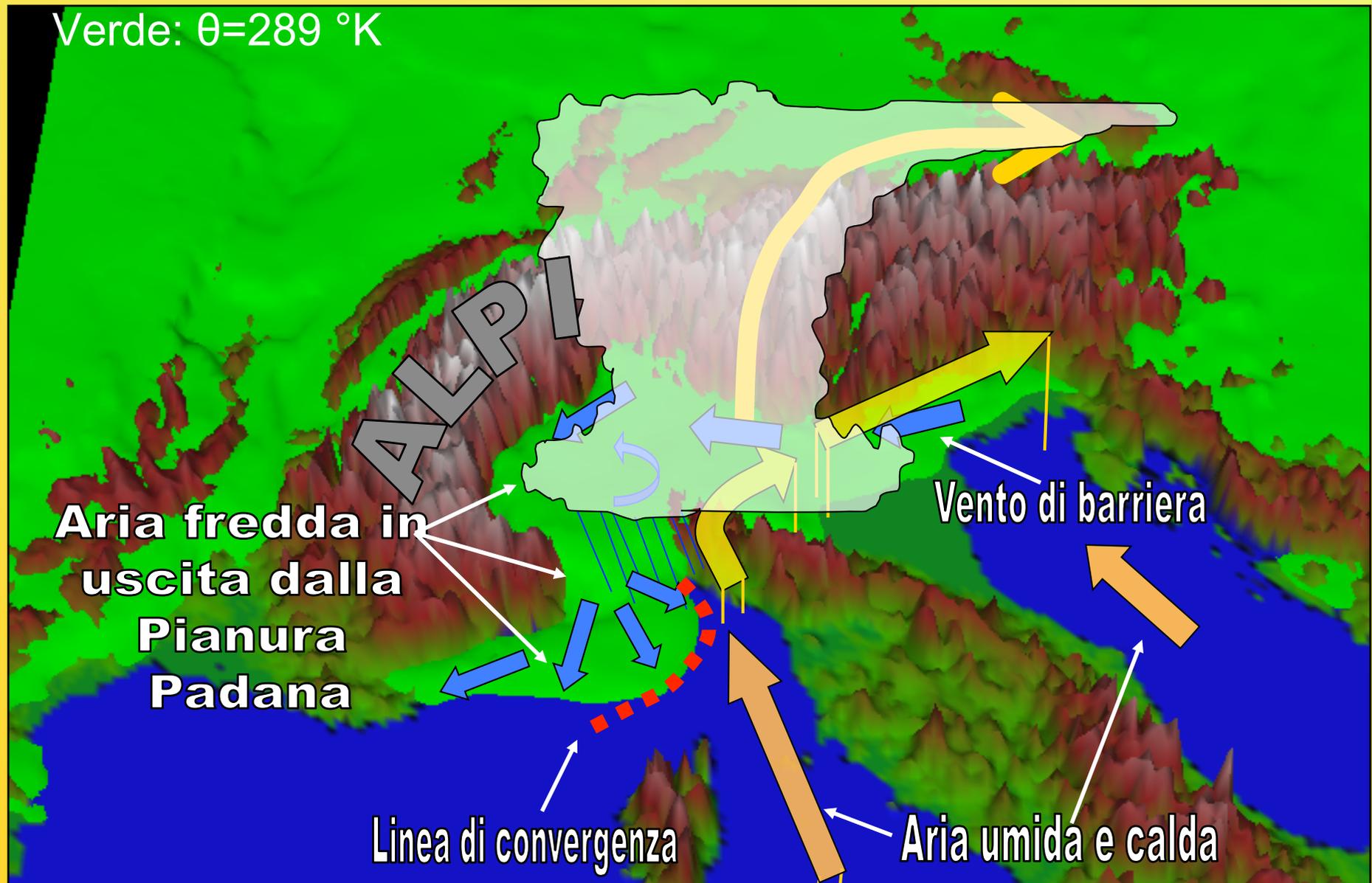
Errori a grande scala → Errori a piccola scala

PREVISIONE MODELLO

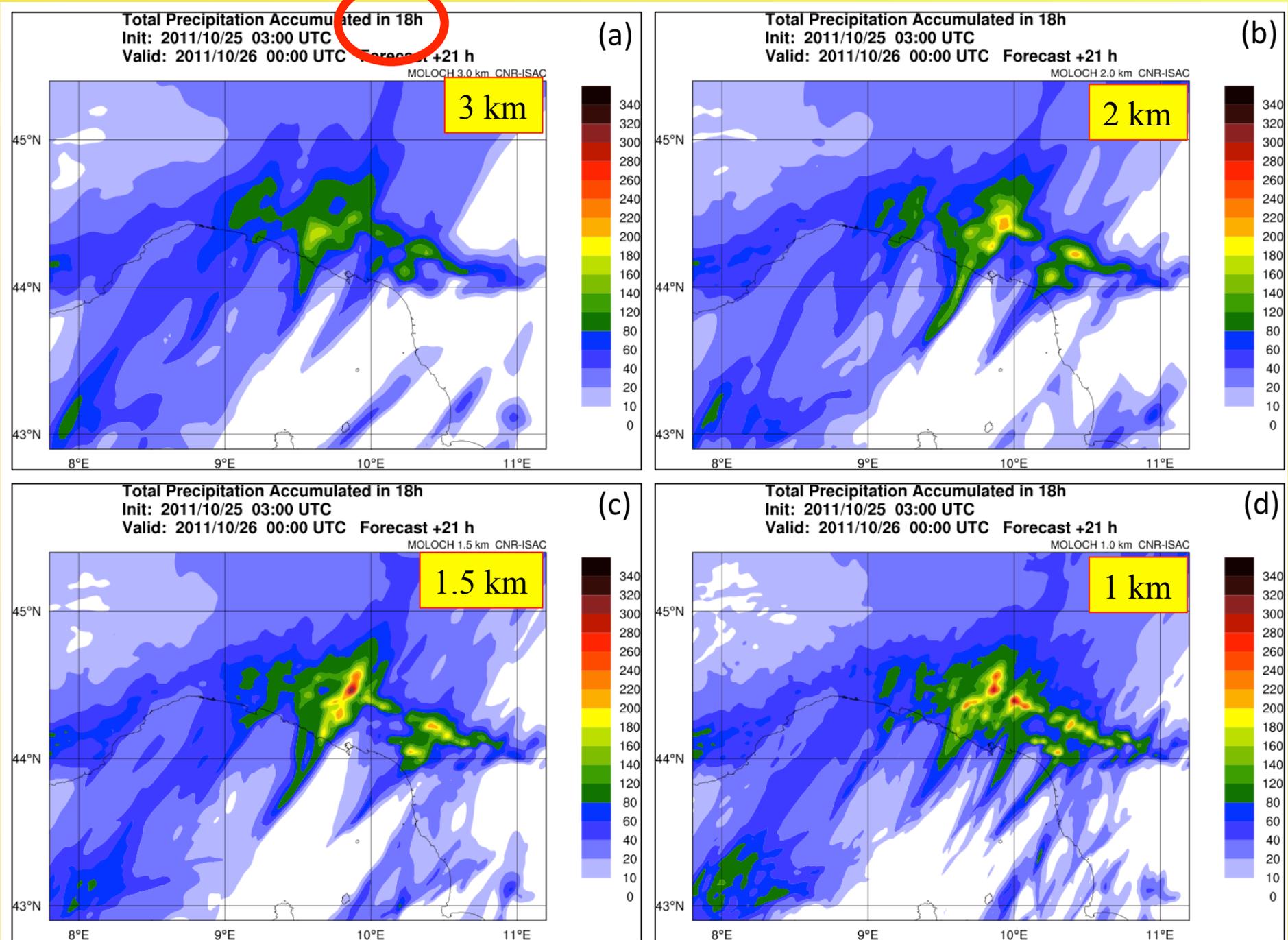


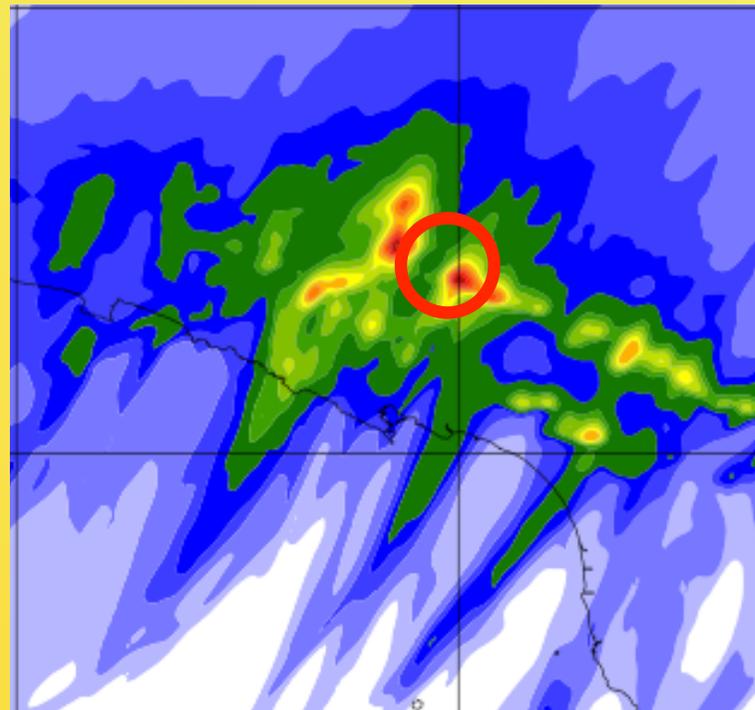
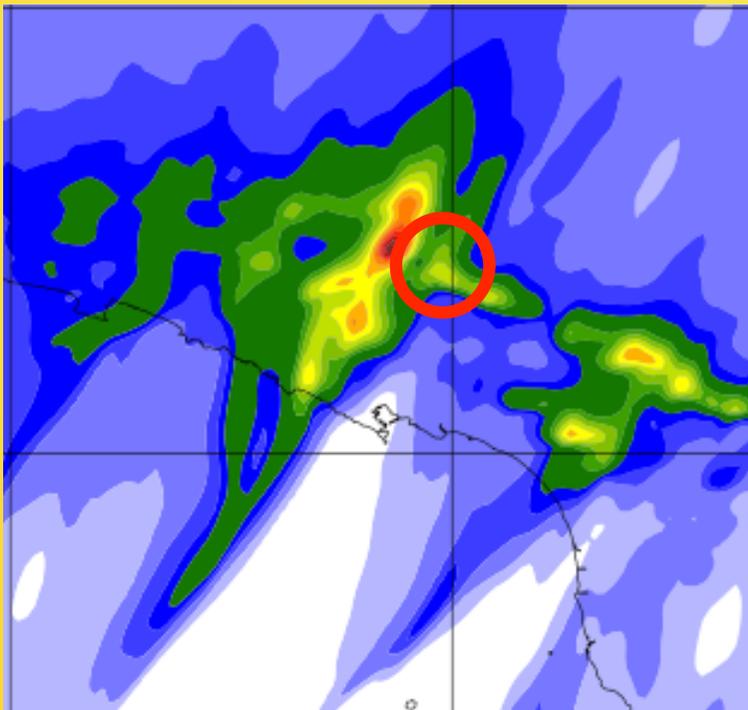
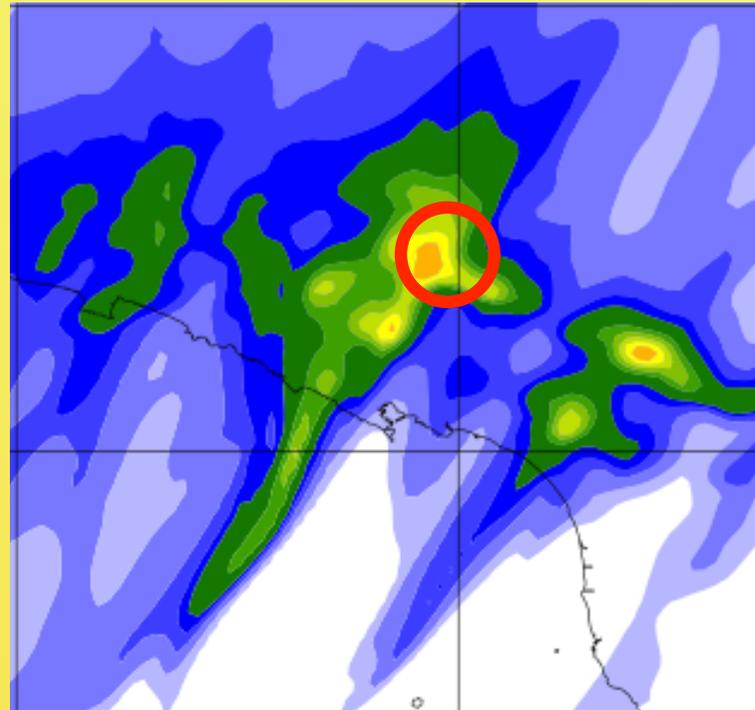
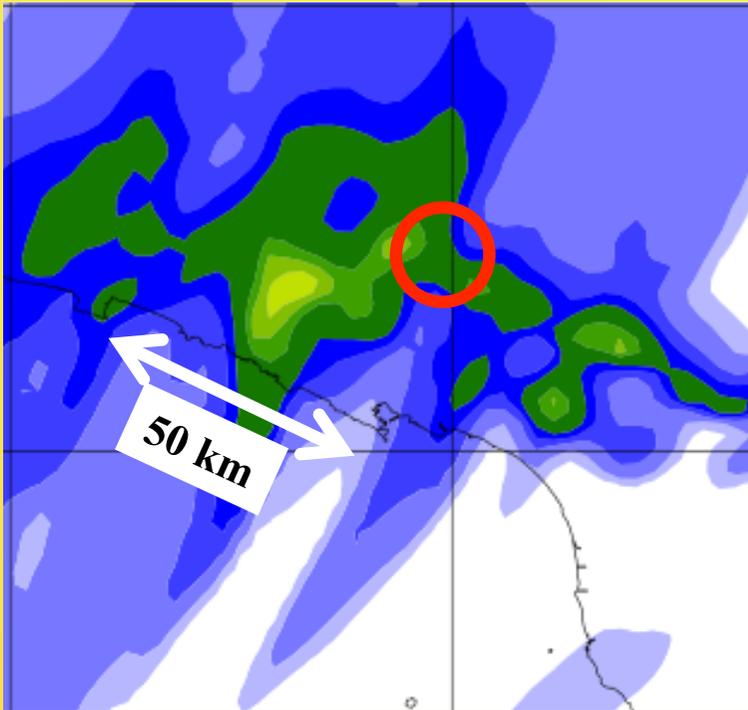
F. Thierry

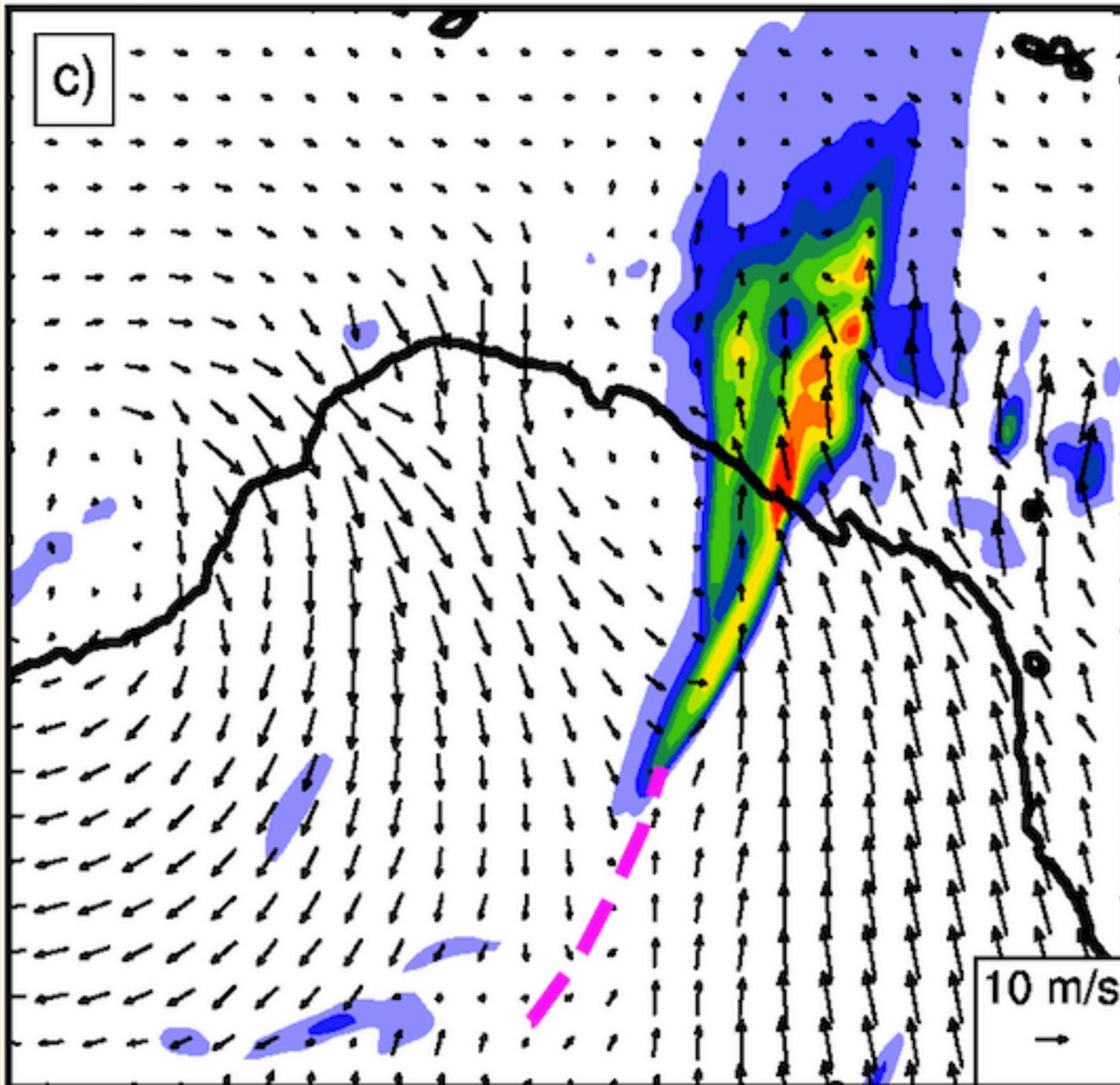
Eventi alluvionali in Liguria (2011, 2014)



Alluvione Cinque Terre, 25 Ottobre 2011 – Risoluzione orizzontale di MOLOCH

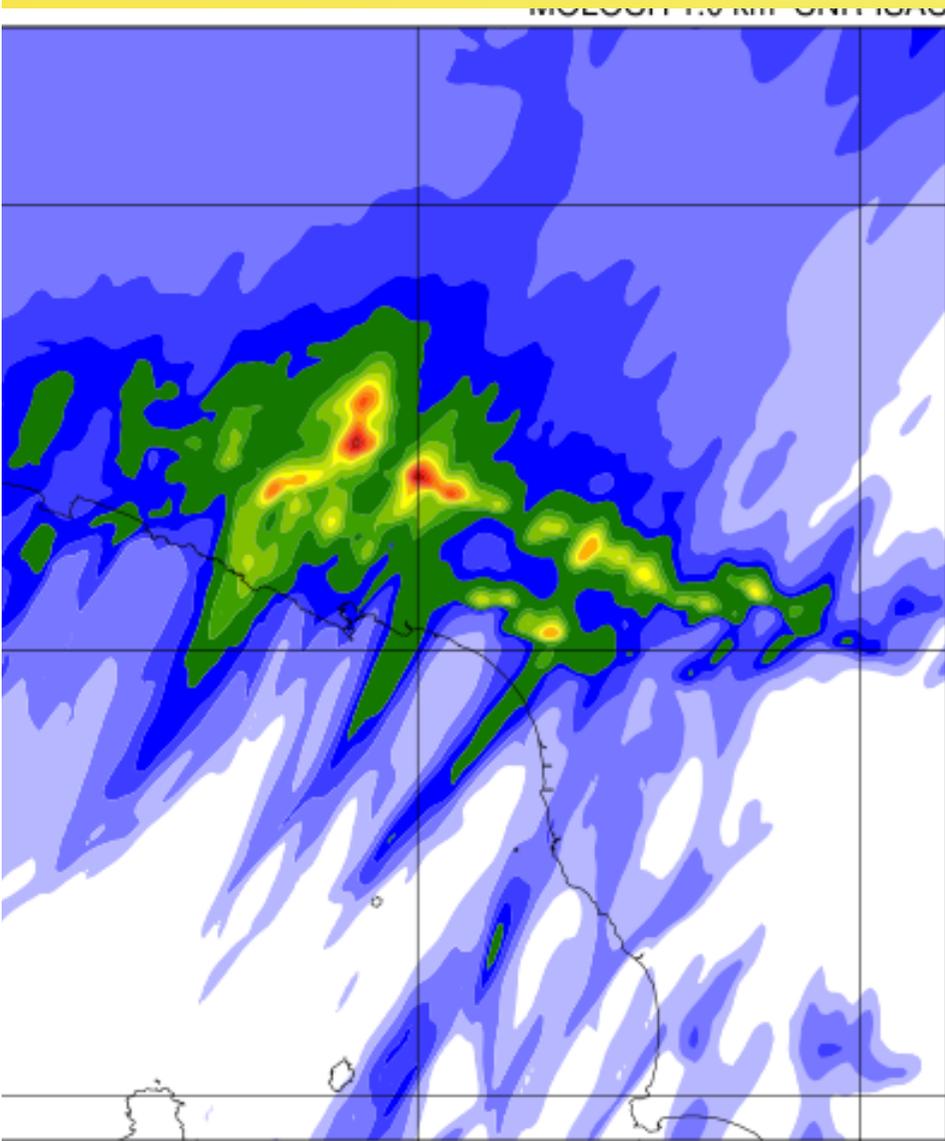




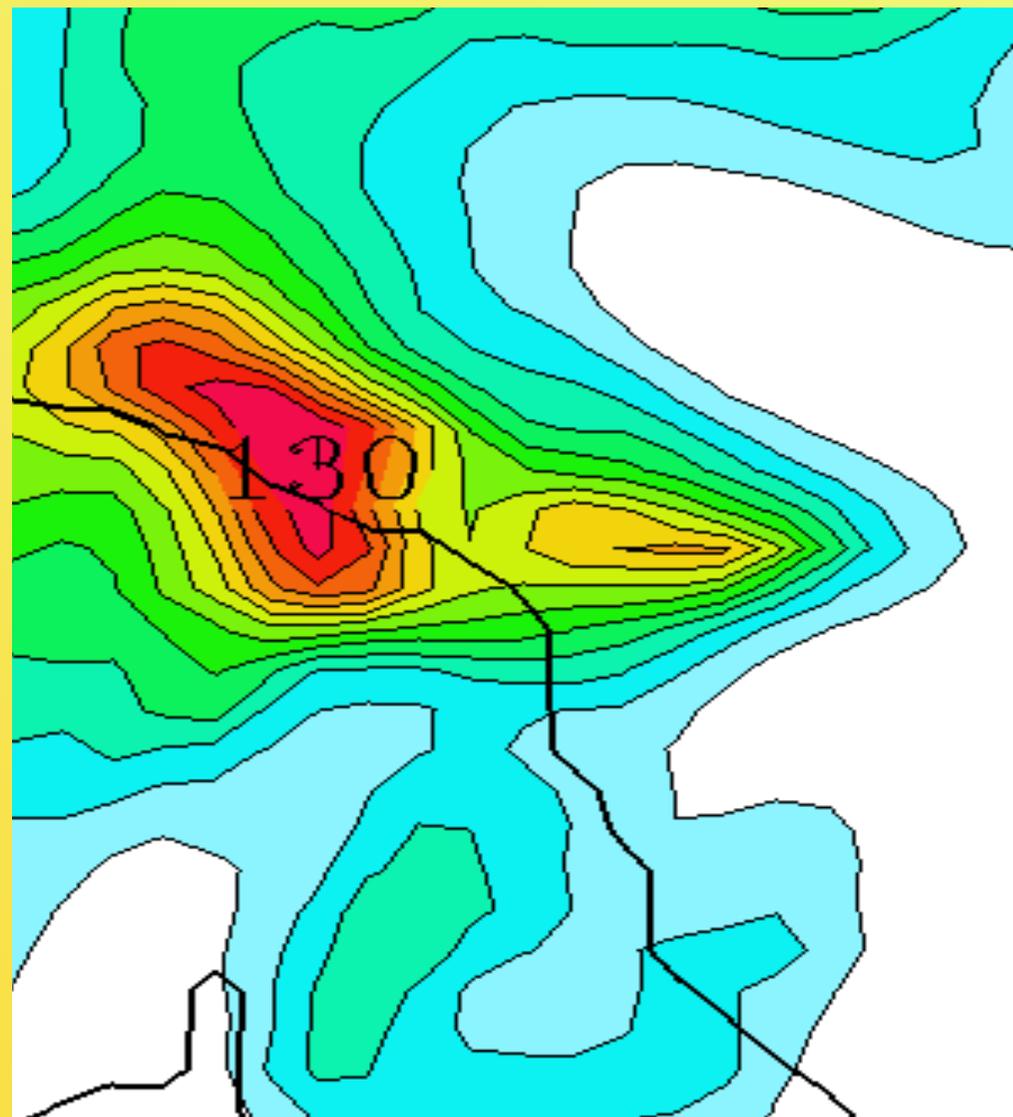


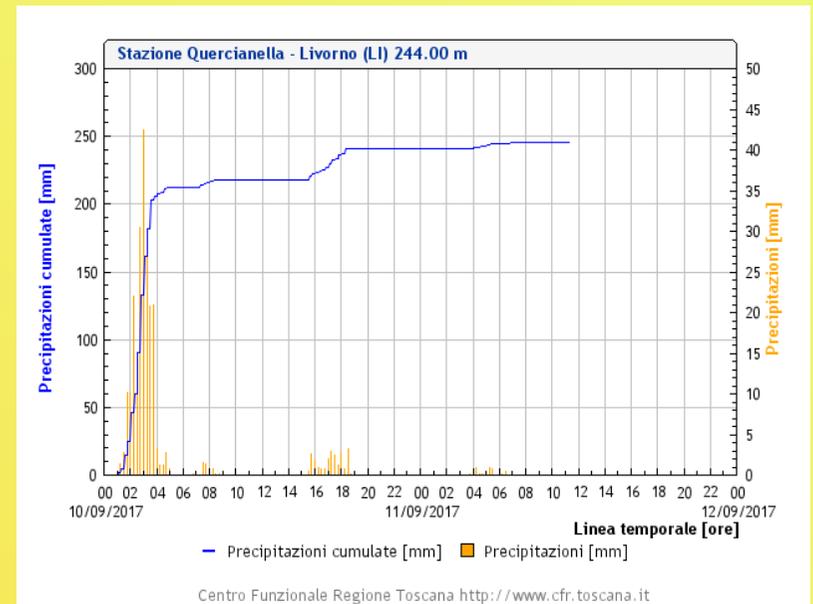
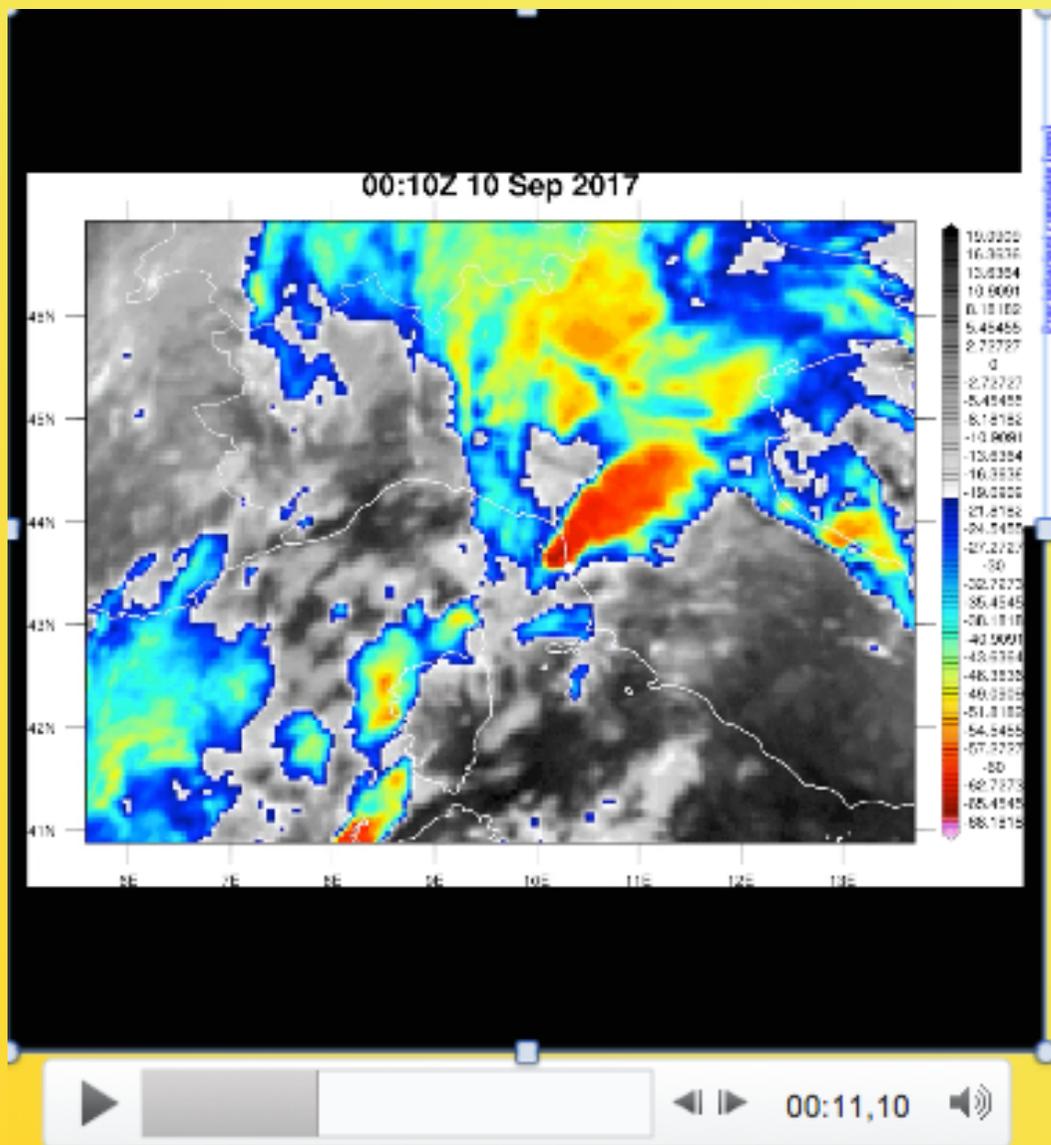
CONVEZIONE esplicita vs CONVEZIONE parameterizzata

MOLOCH 1 km

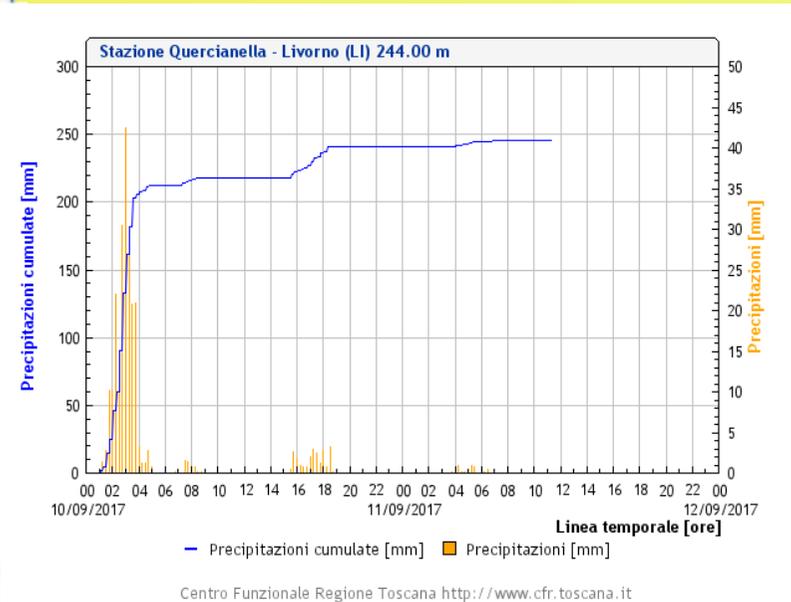
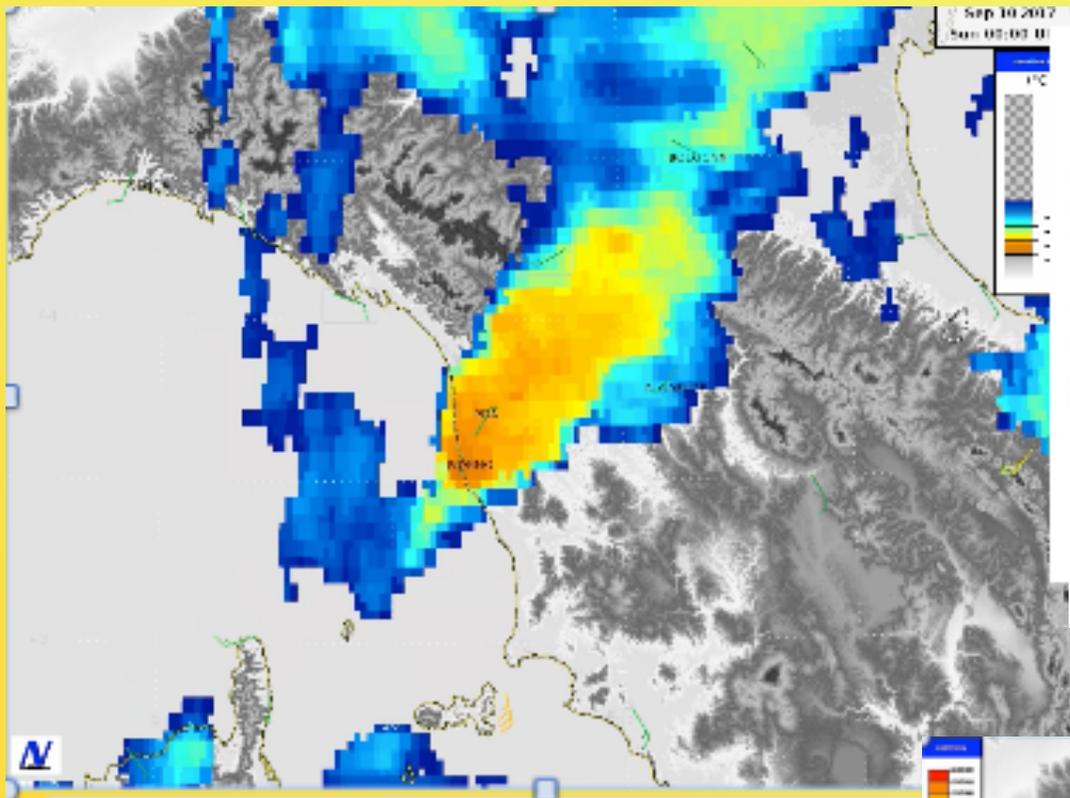


BOLAM 10 km

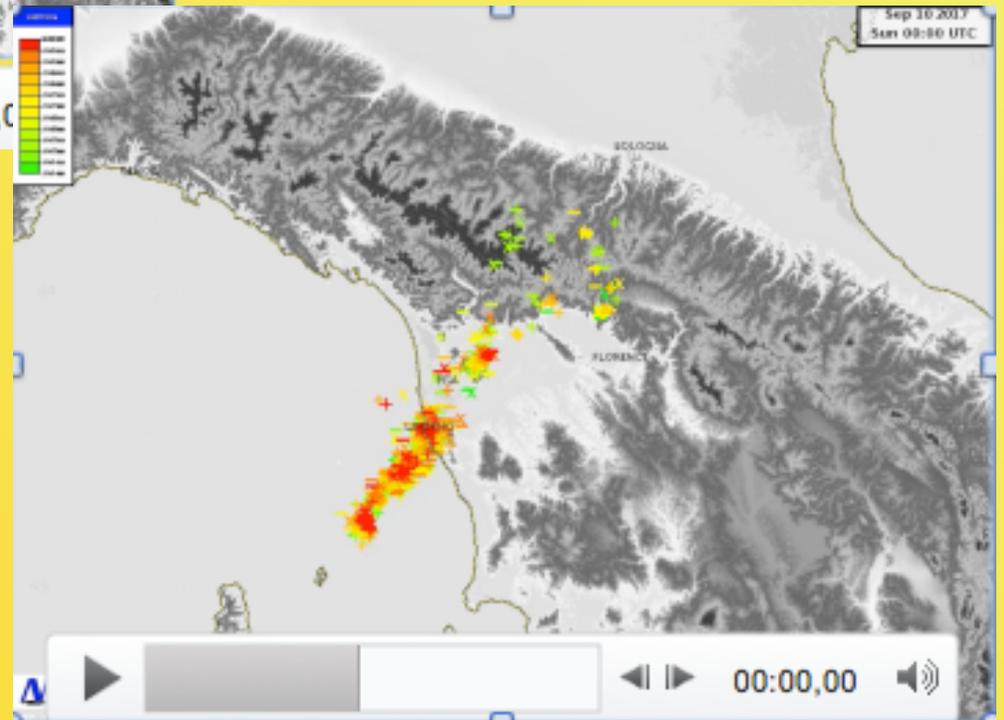




Courtesy: Guido Cioni

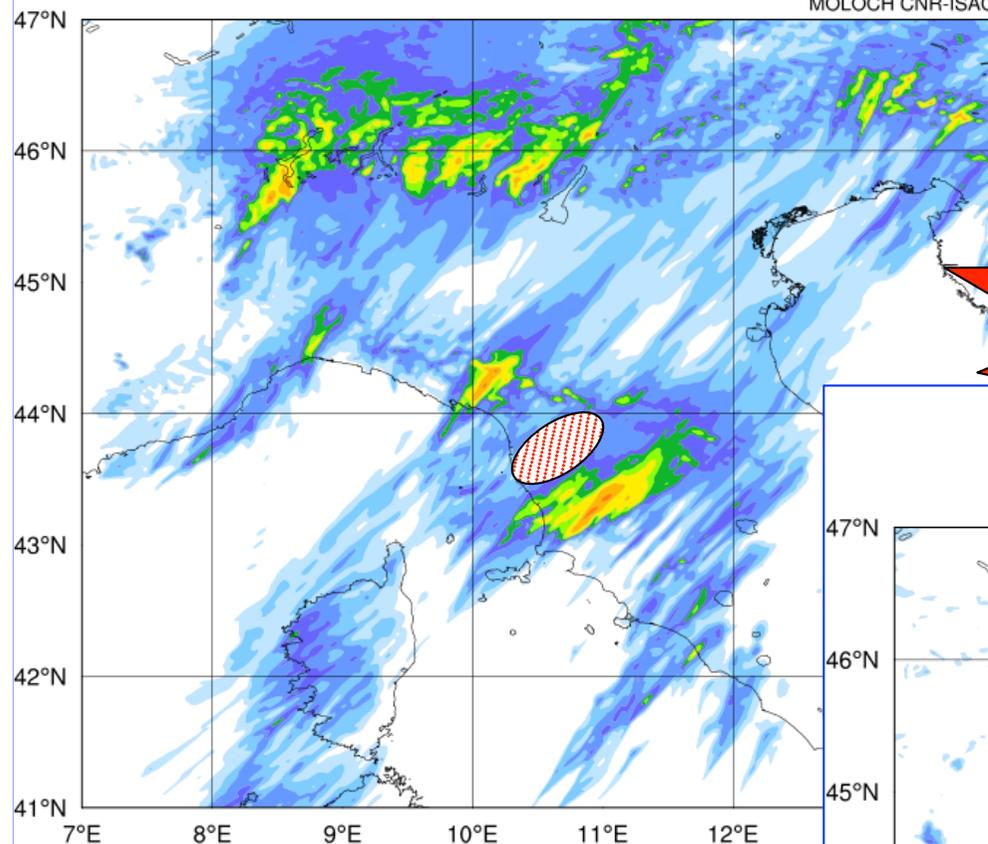


Courtesy: Guido Cioni



Total Precipitation Accumulated in 9h
Init: 2017/09/09 03:00 UTC
Valid: 2017/09/10 06:00 UTC Forecast +27 h

MOLOCH CNR-ISAC

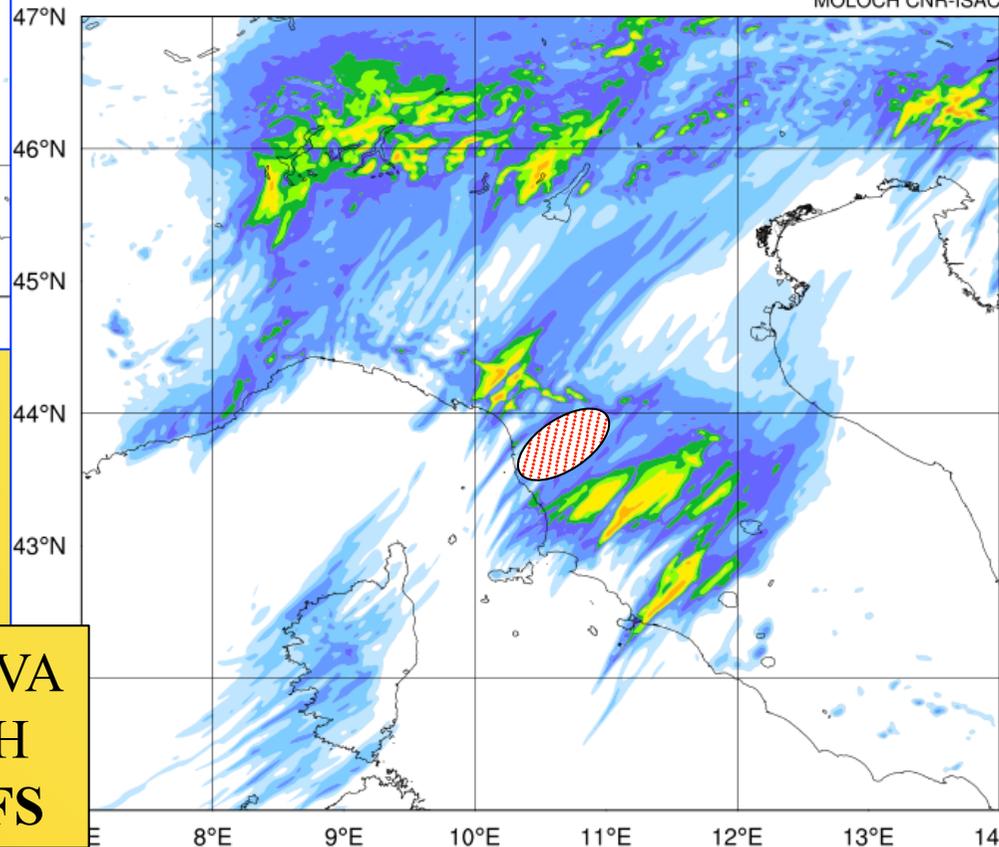


CATENA OPERATIVA
BOLAM-MOLOCH
Inizializzazione IFS

**DIVERSO
MODELLO
GLOBALE**

Total Precipitation Accumulated in 9h
Init: 2017/09/09 03:00 UTC
Valid: 2017/09/10 06:00 UTC Forecast +27 h

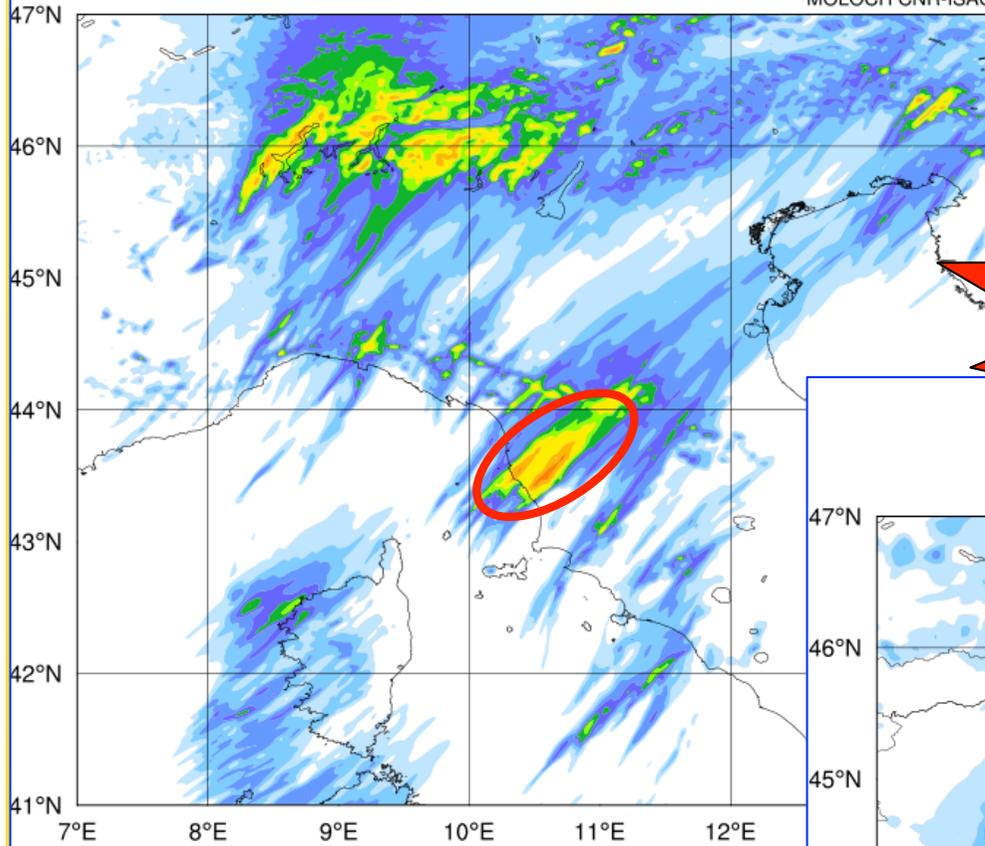
MOLOCH CNR-ISAC



CATENA OPERATIVA
BOLAM-MOLOCH
Inizializzazione GFS

Total Precipitation Accumulated in 9h
Init: 2017/09/09 00:00 UTC
Valid: 2017/09/10 06:00 UTC Forecast +30 h

MOLOCH CNR-ISAC

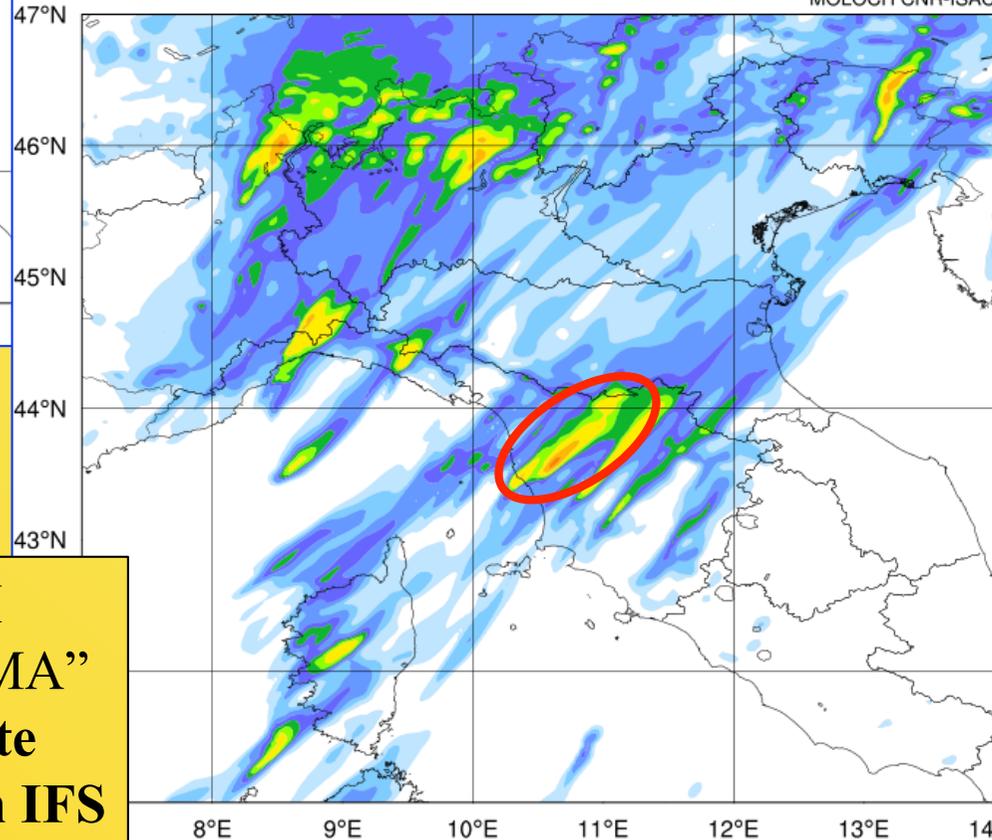


MOLOCH OPERATIVO
Direttamente
Inizializzato in IFS

DIVERSO
SET UP
(risoluzione)

Total Precipitation Accumulated in 9h
Init: 2017/09/09 00:00 UTC
Valid: 2017/09/10 06:00 UTC Forecast +30 h

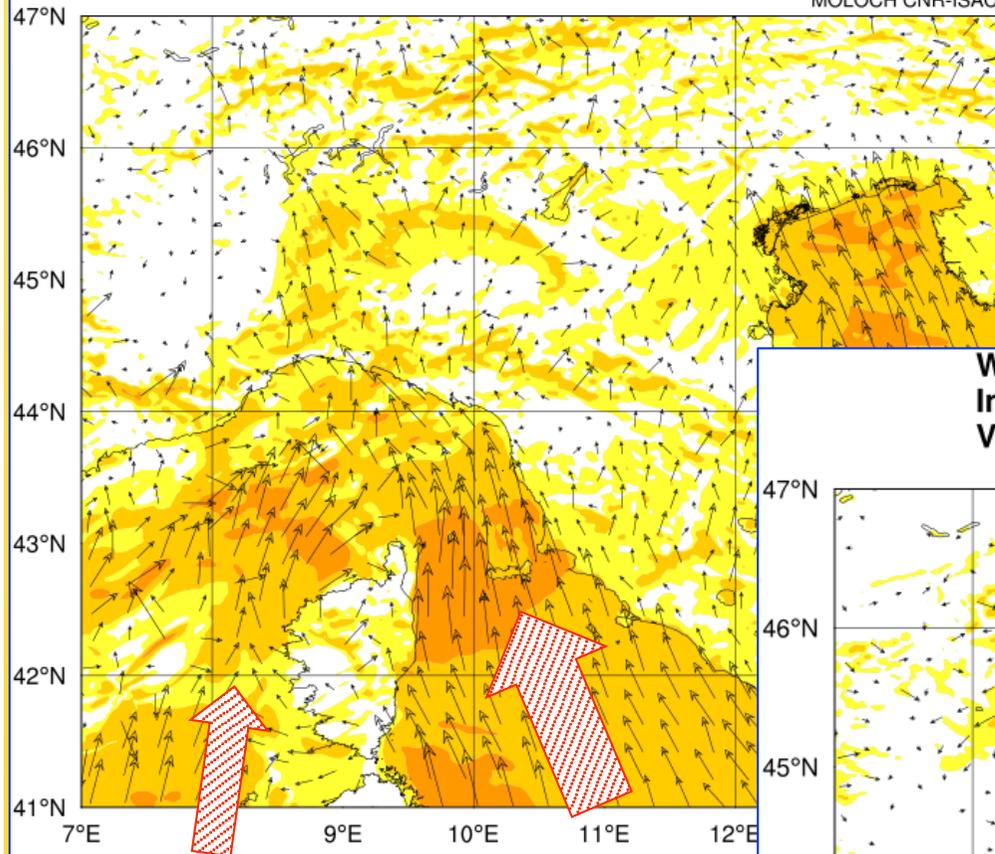
MOLOCH CNR-ISAC



MOLOCH
Set up "LAMMA"
Direttamente
Inizializzato in IFS

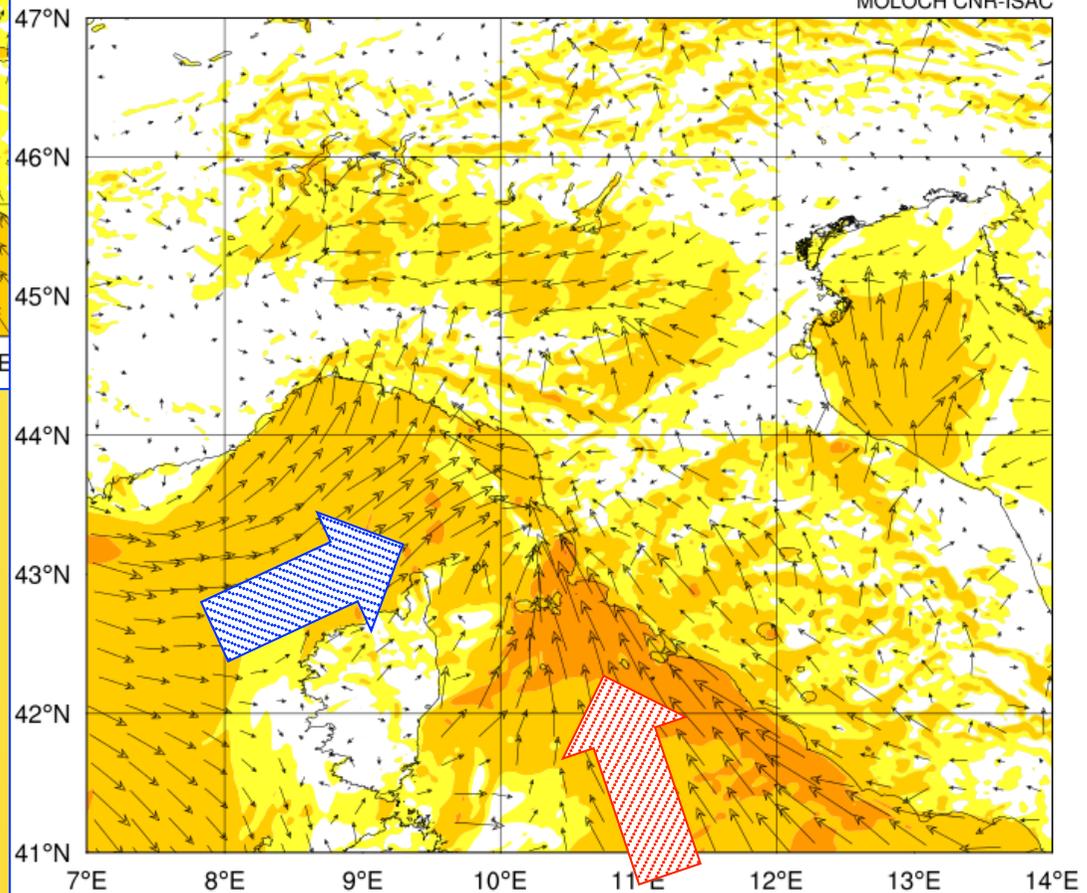
Wind at 10 m (m/s)
Init: 2017/09/09 00:00 UTC
Valid: 2017/09/09 18:00 UTC Forecast +18 h

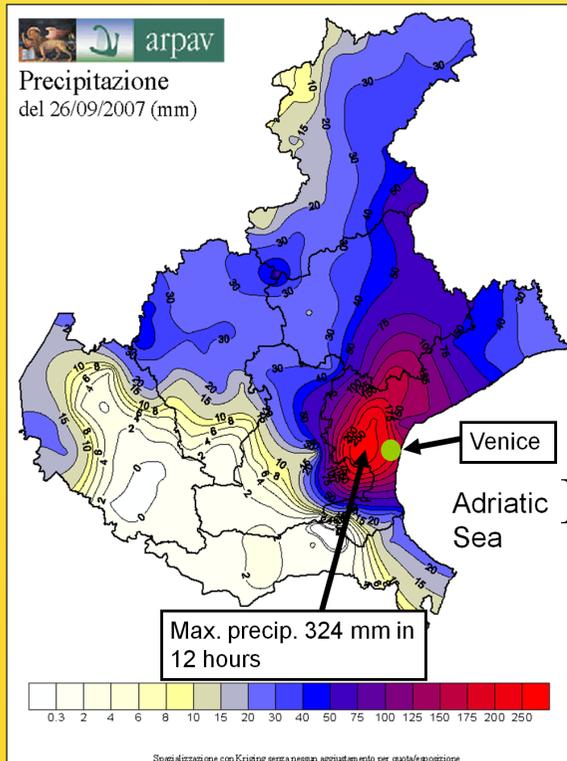
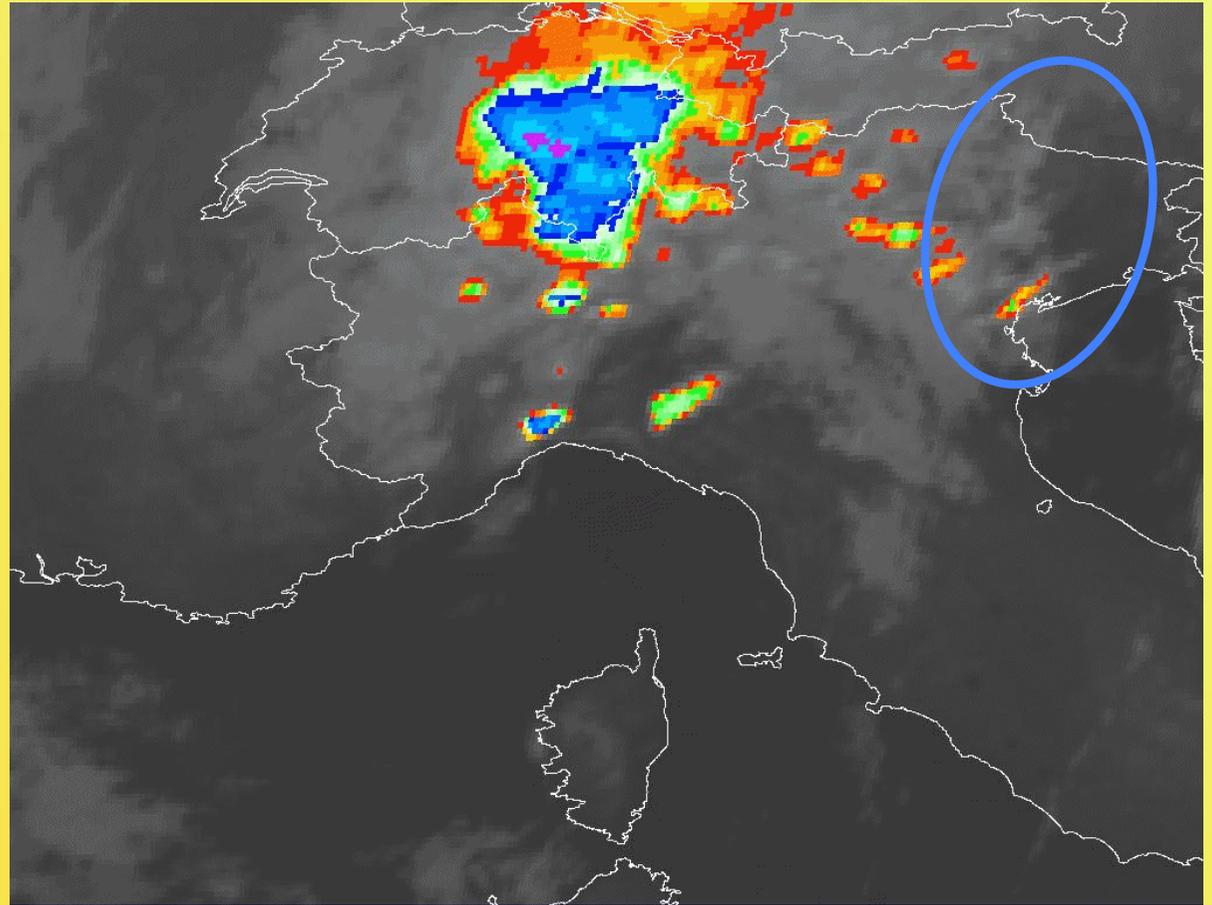
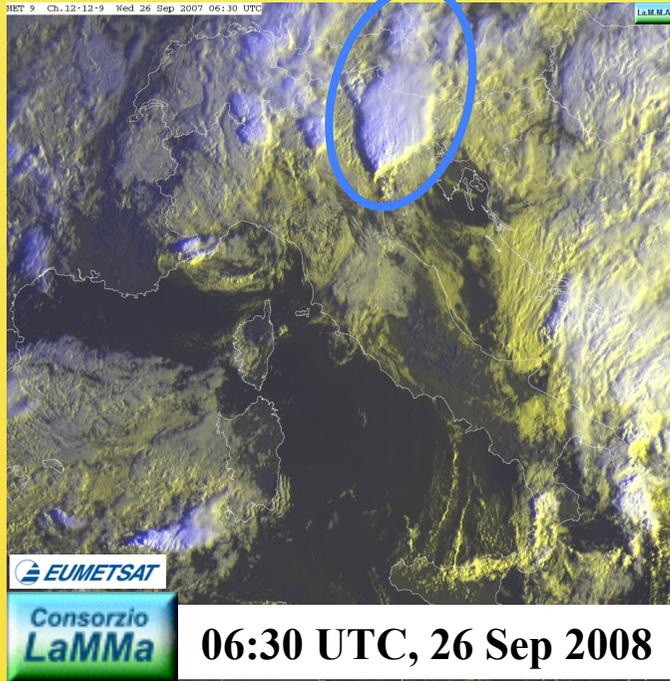
MOLOCH CNR-ISAC



Wind at 10 m (m/s)
Init: 2017/09/09 00:00 UTC
Valid: 2017/09/10 03:00 UTC Forecast +27 h

MOLOCH CNR-ISAC

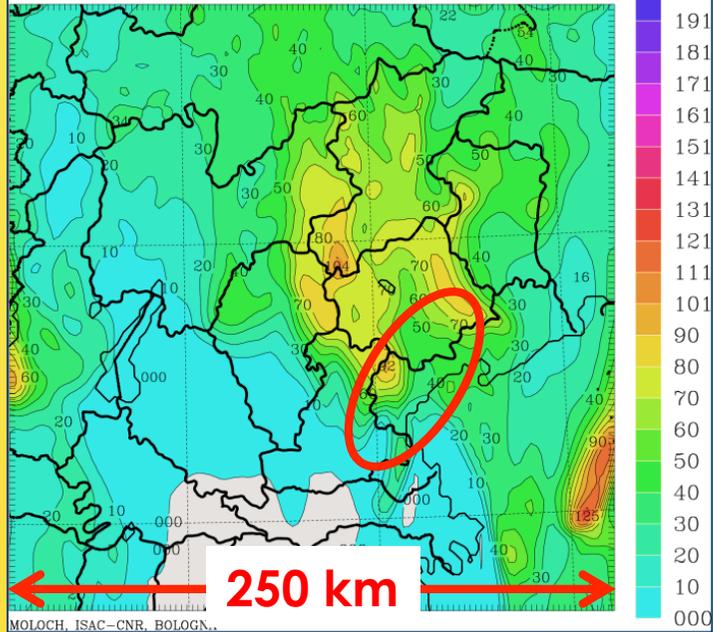




26 Settembre 2007 Flash flood Marghera/Mestre



init: ECMWF - 00UTC, 25 Sep

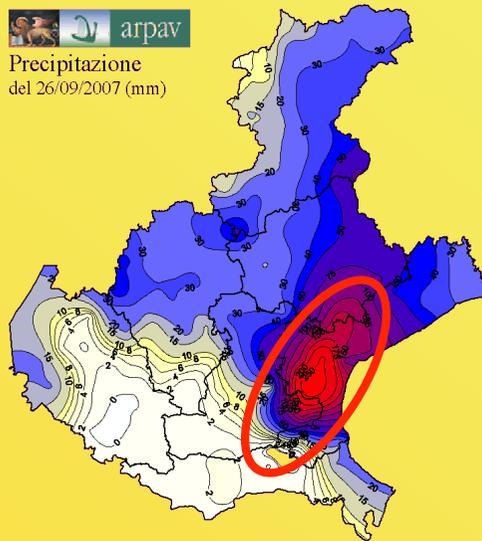


PREVISIONI OPERATIVE MOLOCH

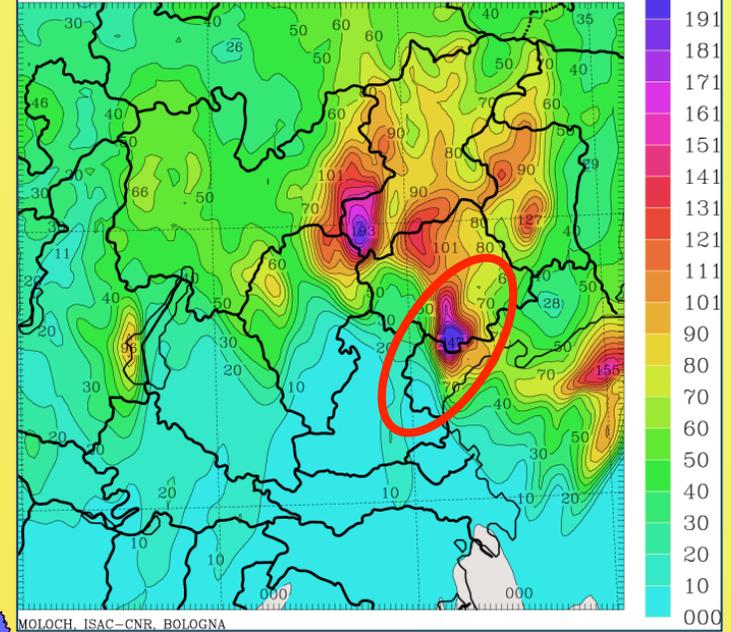
Precipitazione in 24h



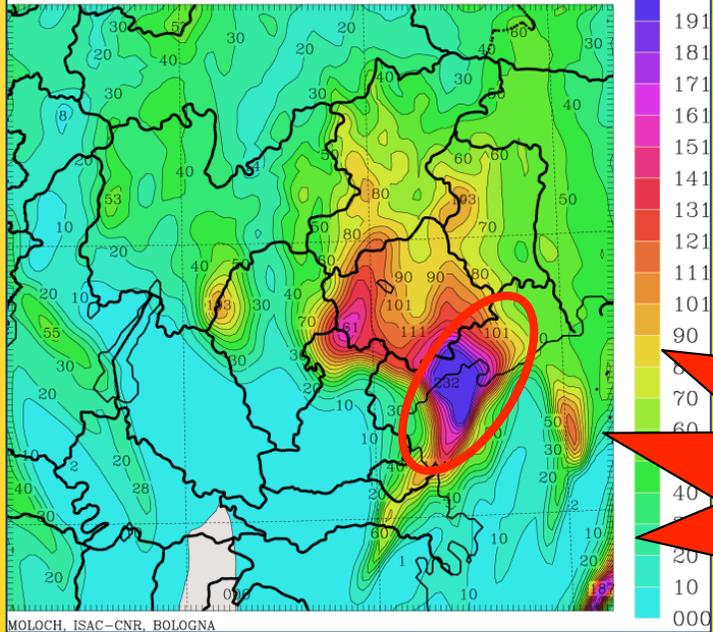
Precipitazione del 26/09/2007 (mm)



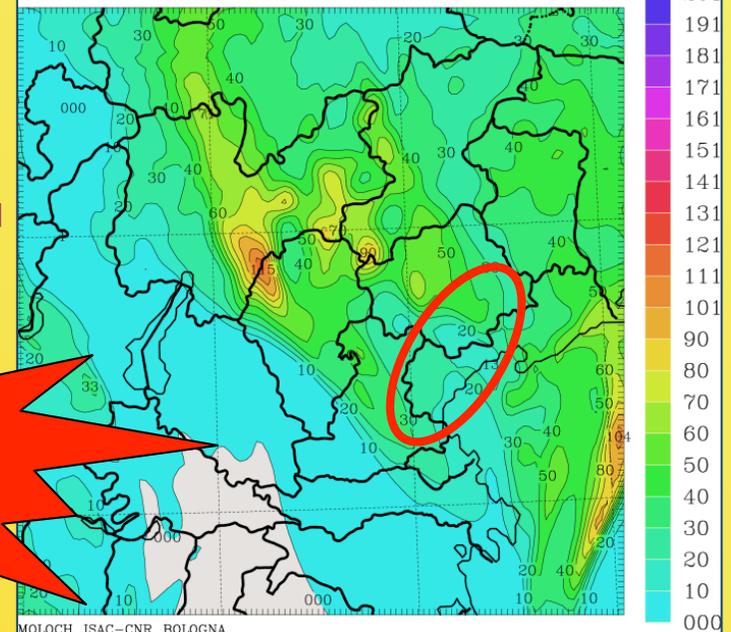
init: GFS - 00UTC, 25 Sep



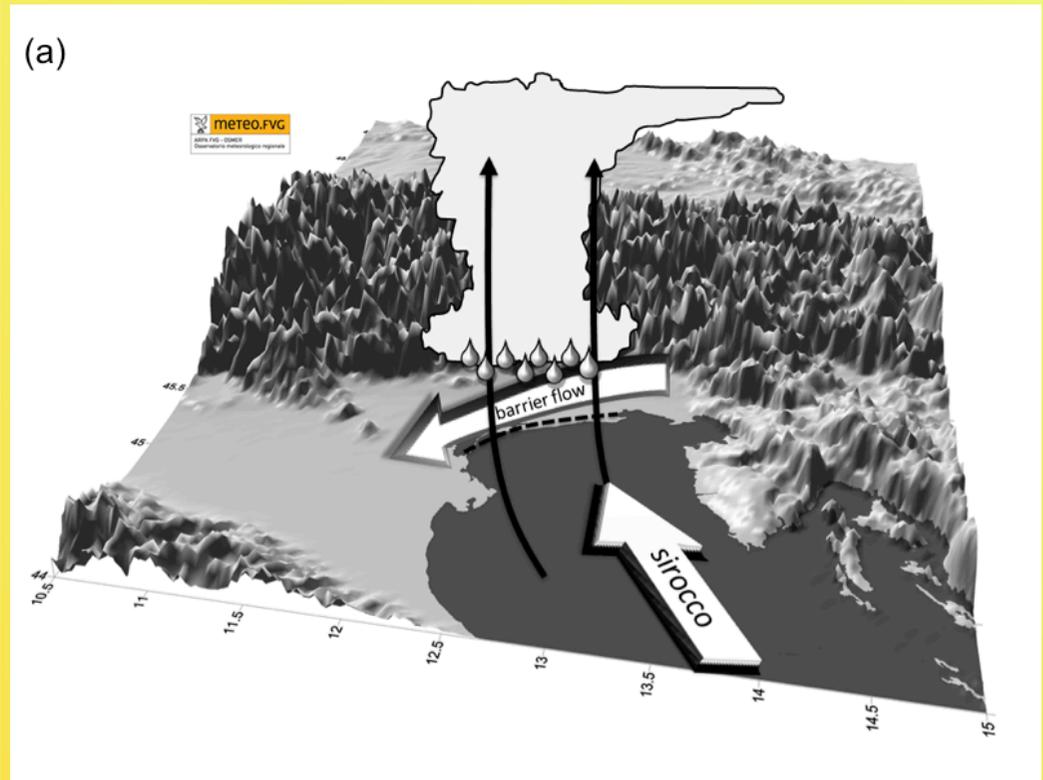
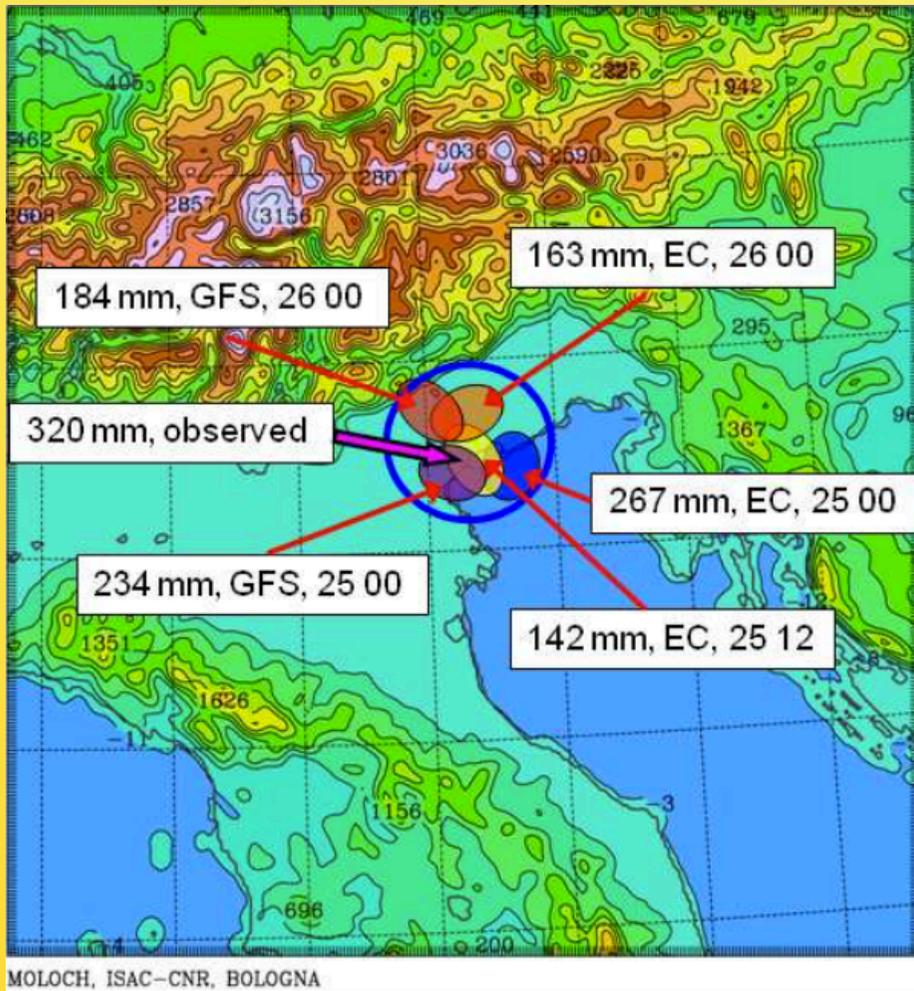
init: ECMWF - 00UTC, 26 Sep



init: GFS - 00UTC, 26 Sep



DIVERSA CONDIZIONE INIZIALE



La presenza di un'organizzazione delle correnti a mesoscala che produce la linea di convergenza su cui si sviluppa il MCS può in alcuni casi spiegare una predicibilità maggiore di quanto mediamente ci si attenda per fenomeni convettivi intensi.

Conclusioni

Le previsioni ad alta risoluzione sono molto più realistiche, ciò non significa che siano “reali”. Descrivono il fenomeno, non sempre il *severe weather event*.

Il miglioramento delle previsioni a grande scala, e la facilità di accesso alle previsioni meteorologiche, ha ingenerato un'eccessiva aspettativa riguardo l'affidabilità di previsioni su scala locale, specie di fenomeni di forte impatto.

Ci sono margini di miglioramento, ma non possiamo attenderci miglioramenti nella previsione meteorologica a mesoscala analoghi a quelli cui si è assistito negli ultimi anni per la grande scala.

Le previsioni di fenomeni convettivi (temporali) permettono di individuare, con anticipo di 12-24 ore, in linea di massima le aree (alla scala di interesse regioni o gruppi di province) all'interno delle quali sarà probabile il verificarsi di tali eventi, il tipo di fenomenologia temporalesca (più o meno organizzata o diffusa) e tendenzialmente anche la fascia oraria più a rischio, ma sapere esattamente su quali località, a che ora, e con quale intensità essi si verificheranno è possibile solo in tempo reale, cioè in corso d'evento (nowcasting).

Ensemble forecasting

Non basta interpolare sulle singole località!



GRAZIE !!!