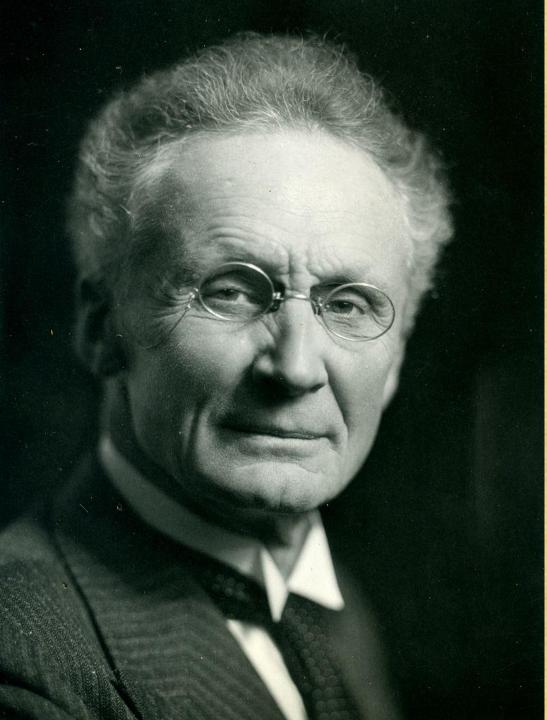


## Un po' di storia ...



Spinta iniziale: esigenze belliche, prevenire catastrofi naturali che potessero distruggere le flotte (tempesta di Balaklava, Guerra di Crimea 1854), viaggi di esplorazione.

- 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, che sono brevemente ricordate nel seguito:



Vilhelm Bjerknes, fisico e meteorologo norvegese, nel 1904 intuì che, una volta determinato lo stato iniziale dell'atmosfera, sarebbe stato possibile prevederne il comportamento futuro utilizzando le leggi della fluidodinamica e della termodinamica ("Weather forecasting as a problem in mechanics and physics" in Meteorologische Zeitschrift).

Riconosce quindi che la previsione del tempo è un problema deterministico ai valori iniziali che richiede:

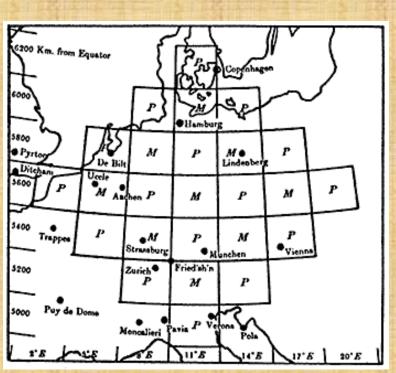
- la conoscenza con sufficiente precisione dello stato dell'atmosfera ad un certo istante;
- la conoscenza con sufficiente precisione delle leggi che governano l'evoluzione temporale degli stati dell'atmosfera.

## 1916-22: il primo tentativo di previsione numerica

Lewis Fry Richardson fu il primo a tentare di applicare i metodi del calcolo numerico per risolvere le equazioni della previsione del tempo, occupandosi di un caso studio su una porzione limitata d'Europa, in cui era stata organizzata una fitta (per l'epoca) rete di osservazioni (approccio matematico alla previsione meteo). L'esperimentò fallì, perché in assenza di calcolatori elettronici non era possibile risolvere in tempo utile l'enorme quantità di calcoli richiesta per la previsione (problema che verrà risolto 30 anni più tardi) e perché i metodi numerici nascondevano un errore che generava instabilità numerica. La previsione a 6 ore (realizzata dopo 6 settimane di calcoli!) che venne prodotta si rivelò clamorosamente sbagliata e irrealistica.



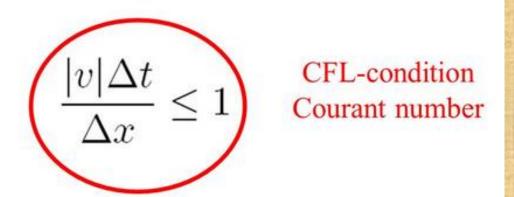




I matematici **Courant, Friedrichs e Lewy** studiarono nel 1928 in modo sistematico la maniera di approssimare le equazioni differenziali con i metodi alle differenze finite, determinando i criteri che devono essere soddisfatti per ottenere soluzioni stabili delle equazioni.

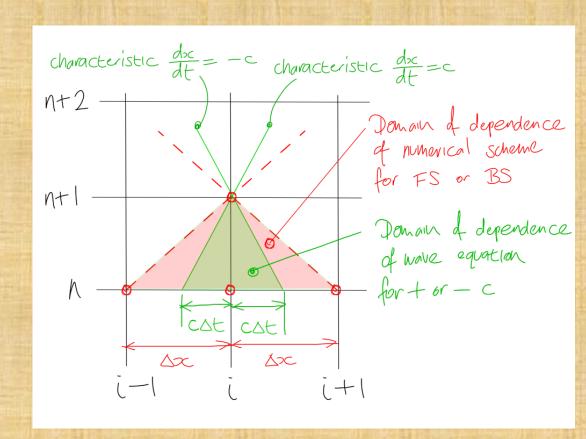
Ciò portò alla formulazione noto criterio CFL per la stabilità delle soluzioni numeriche

Courant Friedrichs Levy condition (1928)



Famous stability condition in numerical mathematics Valid for many physical applications, also in inhomogenous nonlinear cases like:

- Hydrodynamics (with v as sound speed)
- MHD (with v as Alfven velocity)



Jule Gregory Charney assieme a Ragnar Fjörtoft e John von Neumann, realizzarono con successo nel 1950 la prima previsione del tempo (altezza geopotenziale a 500 hPa) su 270 punti di griglia a 700 km di risoluzione. I calcoli necessari vennero effettuati sul calcolatore a valvole ENIAC (Electronical Numerical Integrator and Computer), di proprietà dell'esercito e installato ad Aberdeen (Maryland, USA), lo stesso che venne impiegato per lo sviluppo del progetto Manhattan sulla bomba atomica. 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 possibile soluzioni, le onde sonore e quelle di gravità. Essa rappresenta una discreta approssimazione per i moti atmosferici a scala sinottica nella media troposfera. Da allora lo sviluppo nelle previsioni è andato di pari passo con lo sviluppo dell'informatica.



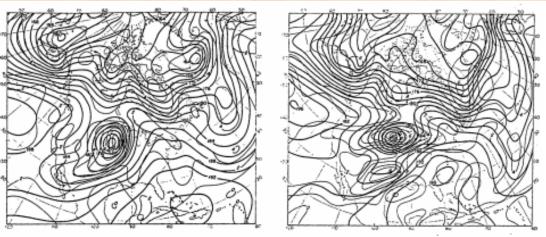
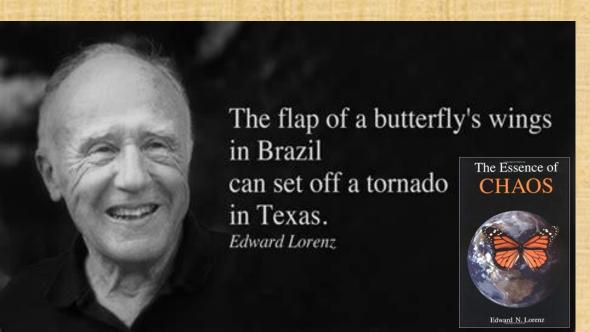


Figure 2.2 The ENIAC forecast starting at 0300 UTC, January 5, 1949. Left panel: analysis of 500 hPa height (thick lines) and absolute vorticity (thin lines). Right panel: forecast height and vorticity (from Charney, et al., 1950). Height units are hundreds of feet, contour interval is 200 ft. Vorticity units and contour interval are 10<sup>-5</sup>s<sup>-1</sup>.



Carl Gustav Arvid Rossby, scienziato svedese negli anni '40 negli USA elaborò le teorie sulle onde lunghe atmosferiche, per le quali in primo luogo è ricordato, dette «Onde di Rossby». Il suo ruolo fu determinante anche nello sviluppo delle equazioni per la previsione numerica del tempo, e la sua influenza fu importante nella formazione scientifica di Charney.



Edward Norton Lorenz il cui nome è indissolubilmente legato all'elaborazione della teoria del caos.

Lorenz (2006) - caos deterministico: quando il presente determina il futuro ma il presente approssimato non determina il futuro nemmeno approssimativamente.

## DAL 1950 ad oggi...

- •I progressi hanno beneficiato in misura enorme degli sviluppi tecnici nel settore del calcolo e di quelli scientifici del settore della Meteorologia dinamica e numerica.
- Il rapporto tra il numero di operazioni effettuato negli attuali modelli globali e quello del primi modelli è di circa 109.
- La potenza di calcolo è cresciuta dal 1950 ad oggi, di un fattore di circa 10<sup>11</sup>.
- Altrettanto importante è il miglioramento delle osservazioni su scala globale, soprattutto a partire dalla rete di radiosondaggi ad in iniziare dagli anni '40.
- Di recente sono divenute determinanti le osservazione 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 baroclina.
- 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 a scale inferiori ai 1000 km, anche se più costose in termini di tempo di calcolo.
- I modelli diventano globali e si introducono nuove tecniche di soluzione delle equazioni.

## Che cos'è e come funziona un modello meteorologico

Ma.... sono sufficienti questi dati per inizializzare un modello?

NO

Input Modello Output

Output

### Variabili prognostiche

- pressione al suolo,
- la velocità del vento nelle sue componenti orizzontali,
- la temperatura
- umidità dell'aria in tutto lo spessore dell'atmosfera (in pratica fino a circa 20÷50 km di altezza).

### Equazioni primitive

- · Equazioni di Navier-Stokes
- Equazione della termodinamica
- Equazione di evoluzione del vapore acqueo
- Equazione di continuità
- Equazione di stato dei gas
- Equazione idrostatica

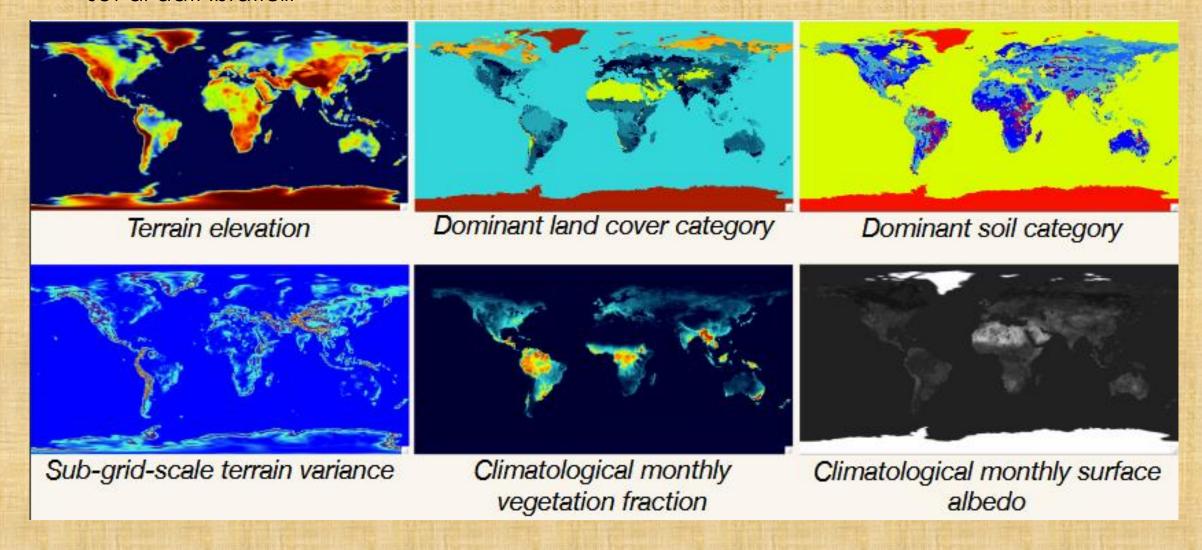
### Variabili diagnostiche

Restituisce le variabili di velocità del vento, temperatura, pressione, umidità a varie altezze dal suolo. Da queste si possono poi ricavare tutte le altre grandezze dipendenti come precipitazioni, nuvolosità, ecc...

-rappresentazione schematica e semplificata della realtà, descritta attraverso un insieme di equazioni che simulano il comportamento della natura;

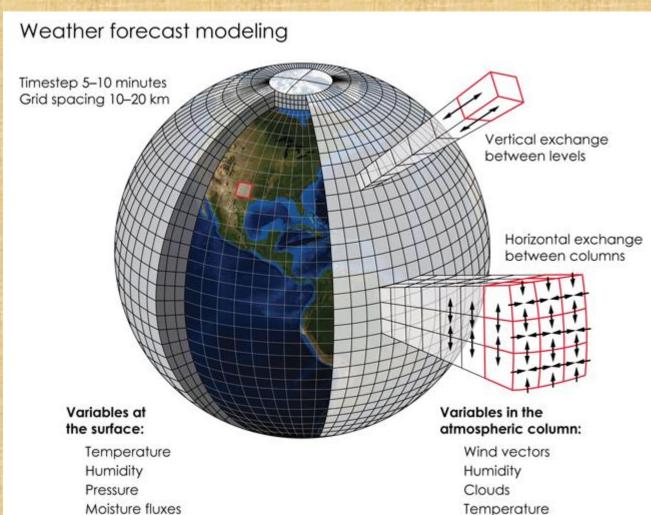
- -sofisticato simulatore dei processi fisici e dei moti atmosferici;
- -strumento di calcolo numerico.

Per inizializzare e far funzionare correttamente un modello è necessario disporre di un set di dati «statici»



Questi campi vengono interpolati una sola volta e sono riutilizzati per ogni corsa del modello

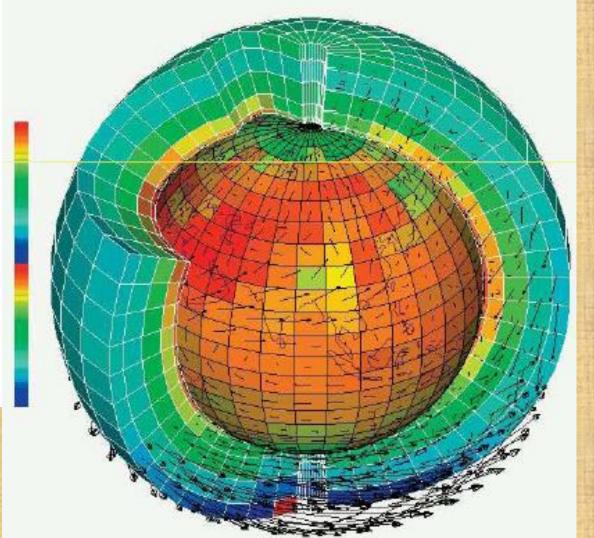
### DISCRETIZZAZIONE: PUNTI DI GRIGLIA



Height

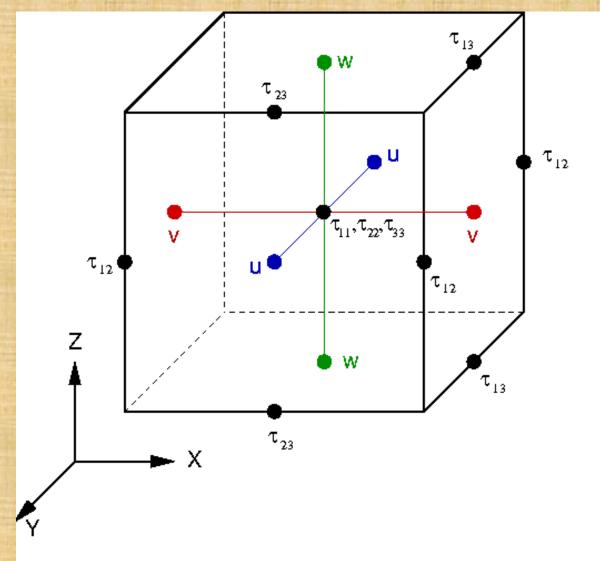
Heat fluxes

Una soluzione analitica e semplice delle equazioni, valida in continuo per tutti i punti della superficie terrestre, non esiste.



## 

## Cosa rappresentano i dati su ogni singola cella?



# Modello numerico meteorologico NWP: Numerical Weather Prediction

- -Scopo: previsione meteorologica
- -Simulano l'evoluzione dei parametri fisici caratterizzanti l'atmosfera
- -Risolvono le equazioni della fisica dell'atmosfera attraverso metodi numerici
- -Partono da una condizione iniziale, eseguono l'integrazione e forniscono un output che generalmente viene mostrato in forma grafica ("standard")

I modelli meteorologici per poter fare previsioni devono considerare tutti i processi fisici dell'atmosfera (piccoli modelli all'interno del modello):

- scambi turbolenti
- effetti del suolo
- processi legati al ciclo dell'acqua e microfisica
- scambi radiativi

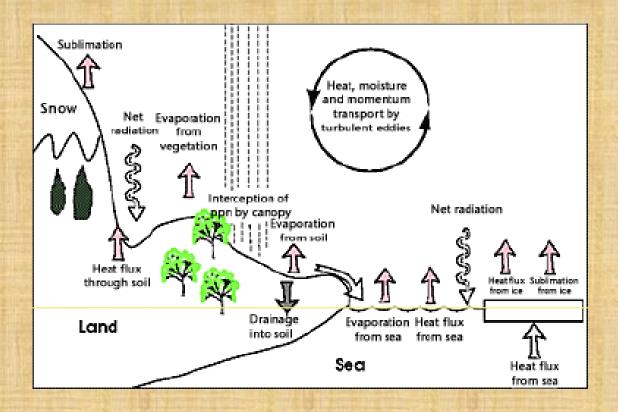
### **PARAMETRIZZAZIONE:**

rappresentazione mediante relazioni semplificate degli effetti di questi processi che avvengono a scale più piccole del passo di griglia e che quindi non possono essere descritti esplicitamente.

## "Fisica" e parametrizzazioni nei modelli



Calcolo dei flussi radiativi in atmosfera, tenendo conto delle nubi e della superficie

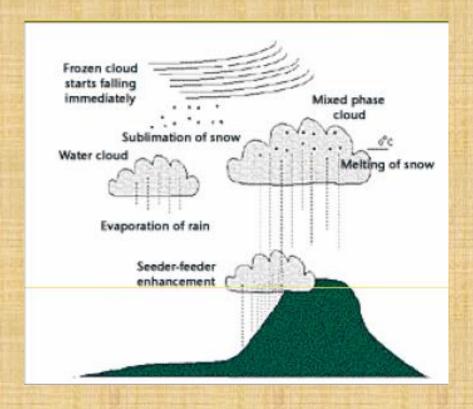


Calcolo del bilancio idrico e termico dei primi strati di suolo vegetato (fino a qualche metro di profondità) e calcolo degli scambi di calore e vapore tra atmosfera e oceano

Radiation

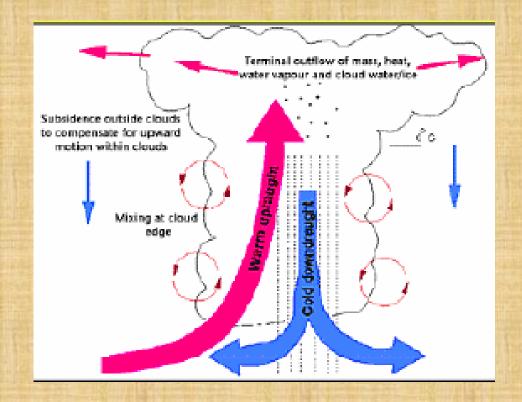
**PBL** 

## "Fisica" e parametrizzazioni nei modelli



Parametrizzazione della "microfisica" e del ciclo dell'acqua associati alle precipitazioni stratiformi

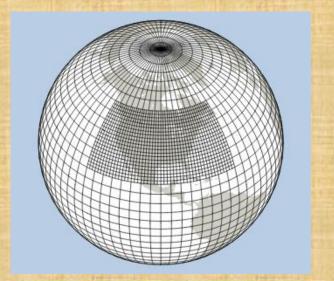
Microphysics

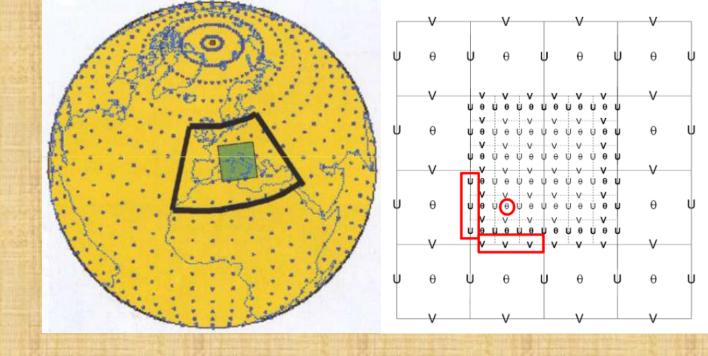


Parametrizzazione della convezione atmosferica - solo nei modelli idrostatici o che non hanno risoluzione sufficientemente elevata (corrispondente a un passo di griglia < ~ 4 km)



## **CATEGORIE DI MODELLI:**





## **Global Model**

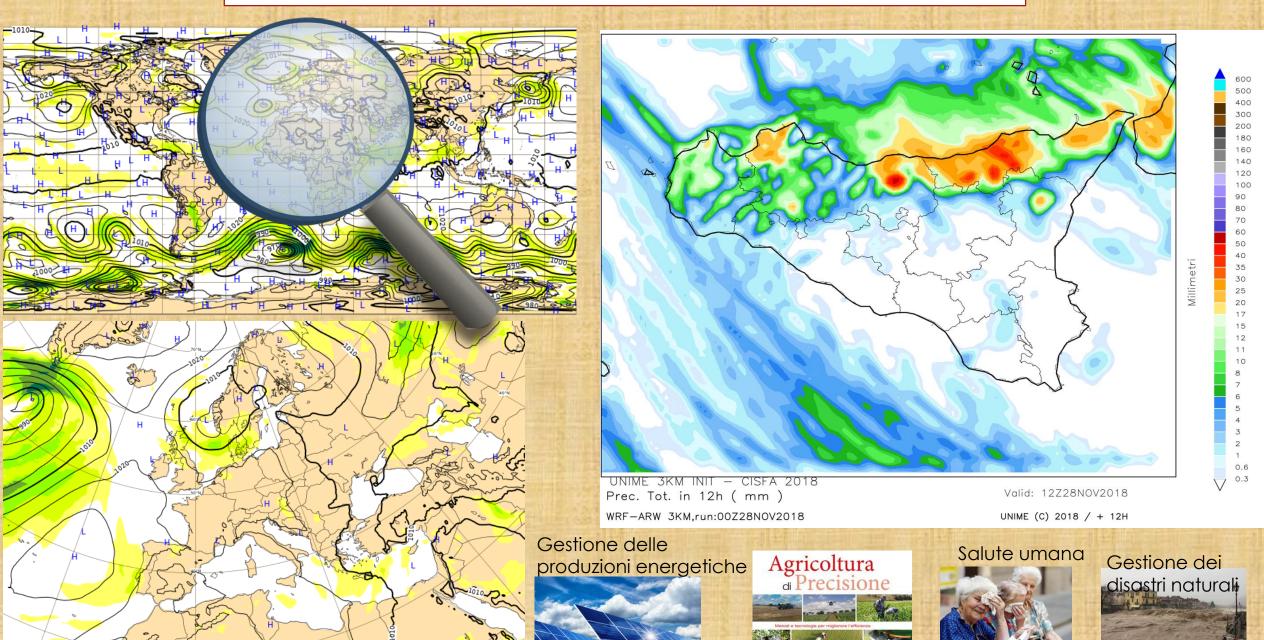
Intero globo terrestre, risoluzione 9÷25 km, richiedono solo le condizioni iniziali

A partire dal Global model, mediante un processo definito «Nesting» possiamo ottenere i

## **Limited Area Model (LAM)**

Porzioni di superficie, alta risoluzione 3 ÷ 9 km, previsioni fino a 120 - 144 h. Migliore descrizione dell'orografia locale, dei fenomeni microfisici, richiedono condizioni iniziali e al contorno.

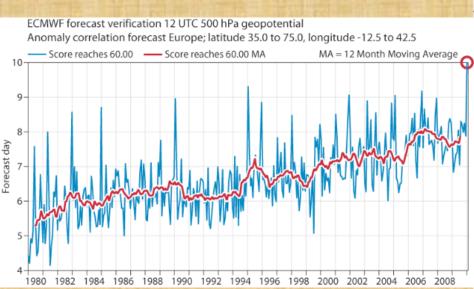
### GM LAM

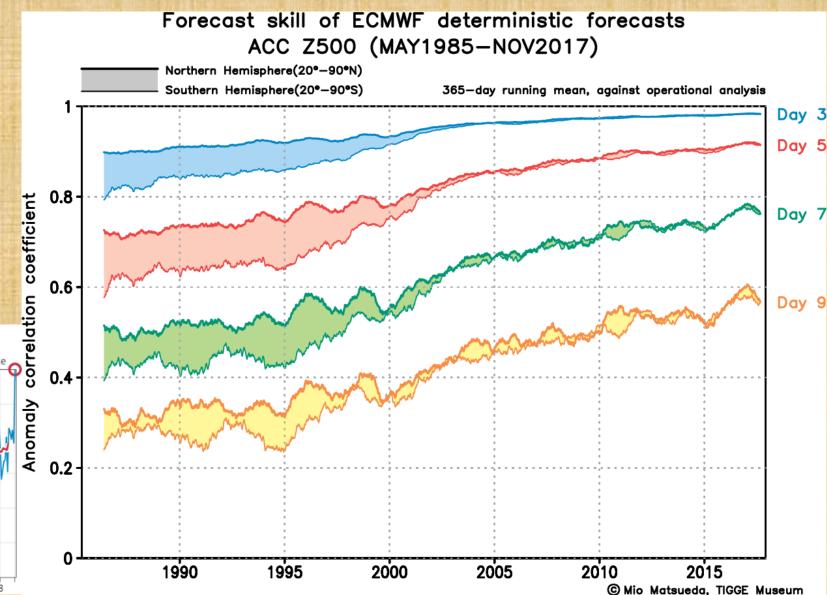


## QUALITÀ DELLA PREVISIONE NEI MODELLI NUMERICI

### Dipende da:

- -Range di previsione
- -Variabile considerata
- -Varia a seconda della situazione



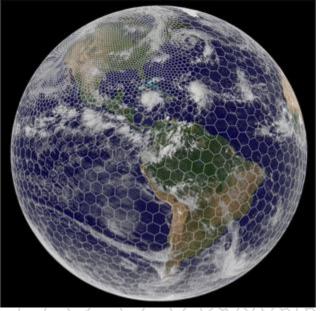


## ORIGINE DEGLI ERRORI NELLA PREVISIONE

- Le osservazioni sono imperfette
- I modelli numerici sono imperfetti
  - approssimata rappresentazione della realtà
  - approssimazioni dei metodi numerici
- Le condizioni iniziali sono imperfette

Previsione — problema alle condizioni iniziali Atmosfera — sistema dinamico caotico

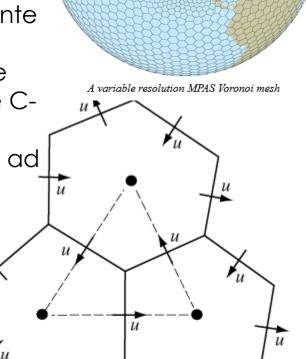
Gli errori crescono in ampiezza La scala spaziale degli errori cresce

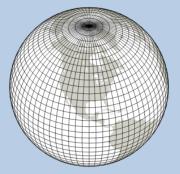


# MPAS Model for Prediction Across Scales

## PROGRESSI RECENTI NELLA MODELLISTICA METEOROLOGICA: IL MODELLO MPAS

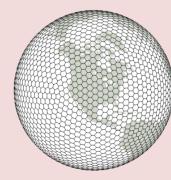
Le caratteristiche più importanti del modello MPAS sono la griglia non strutturata «Voronoi» e la discretizzazione C-grid utilizzata come base per molte componenti del modello. La griglia non strutturata Voronoi, formalmente definita «tassellazione Sferica Centroidale di Voronoi (SCVT) consente sia la discretizzazione quasi uniforme della sfera che locali raffinamenti. La discretizzazione C-grid, con la componente normale della velocità sui bordi della cella, si presta molto bene per simulazioni ad alte risoluzioni.





#### WRF Lat-Lon global grid

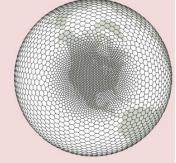
- Anisotropic grid cells
- Polar filtering required
- Polar filtering required
   Poor scaling on massively parallel computers



### MPAS Unstructured Voronoi (hexagonal) grid

- Good scaling on massively
- parallel computersNo pole problems





#### MPAS Smooth grid refinement on a conformal mesh

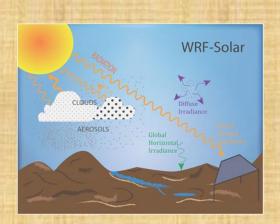
- Increased accuracy and flexibility for variable resolution applications
- No abrupt mesh transitions

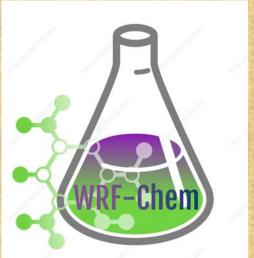
C-grid staggered variables on the horizontal Voronoi mesh.

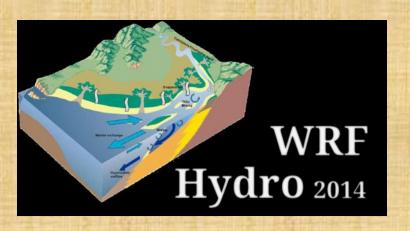
Normal velocities are defined on the cell faces and all other scalar variables are defined at the cell centers. Vertical vorticity is defined at the cell vertices.

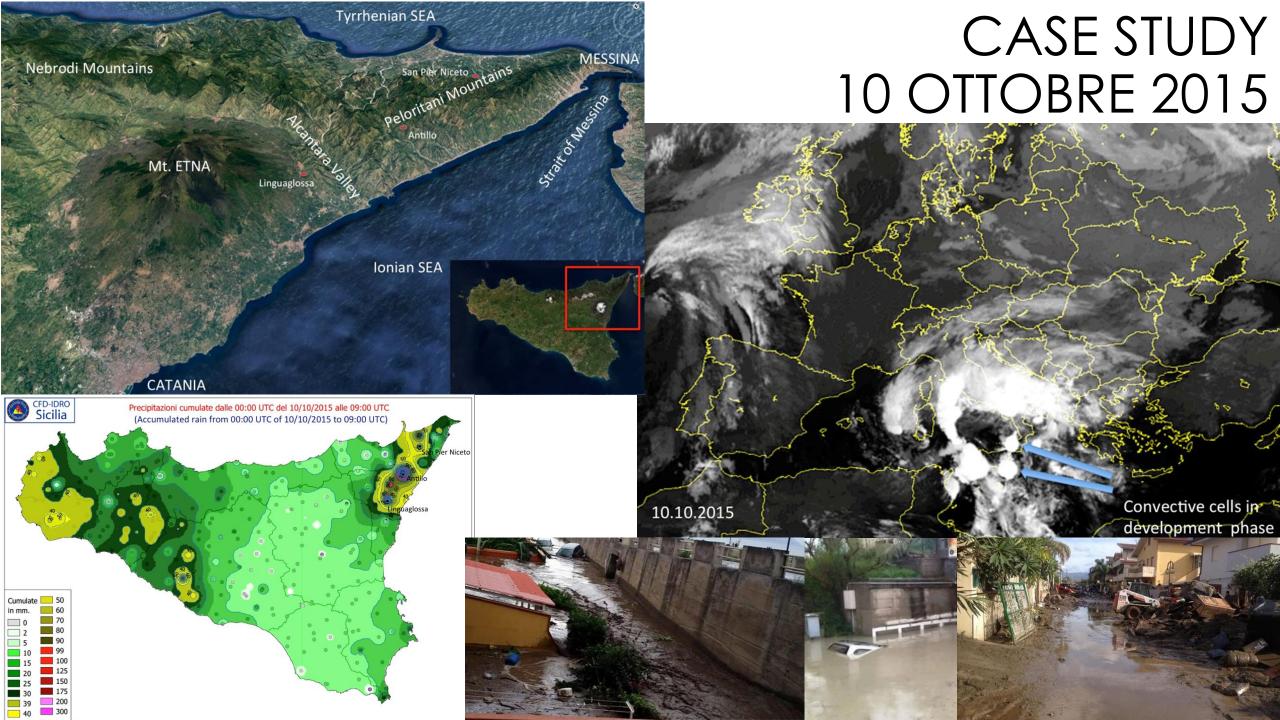
## IL WRF SICILIA

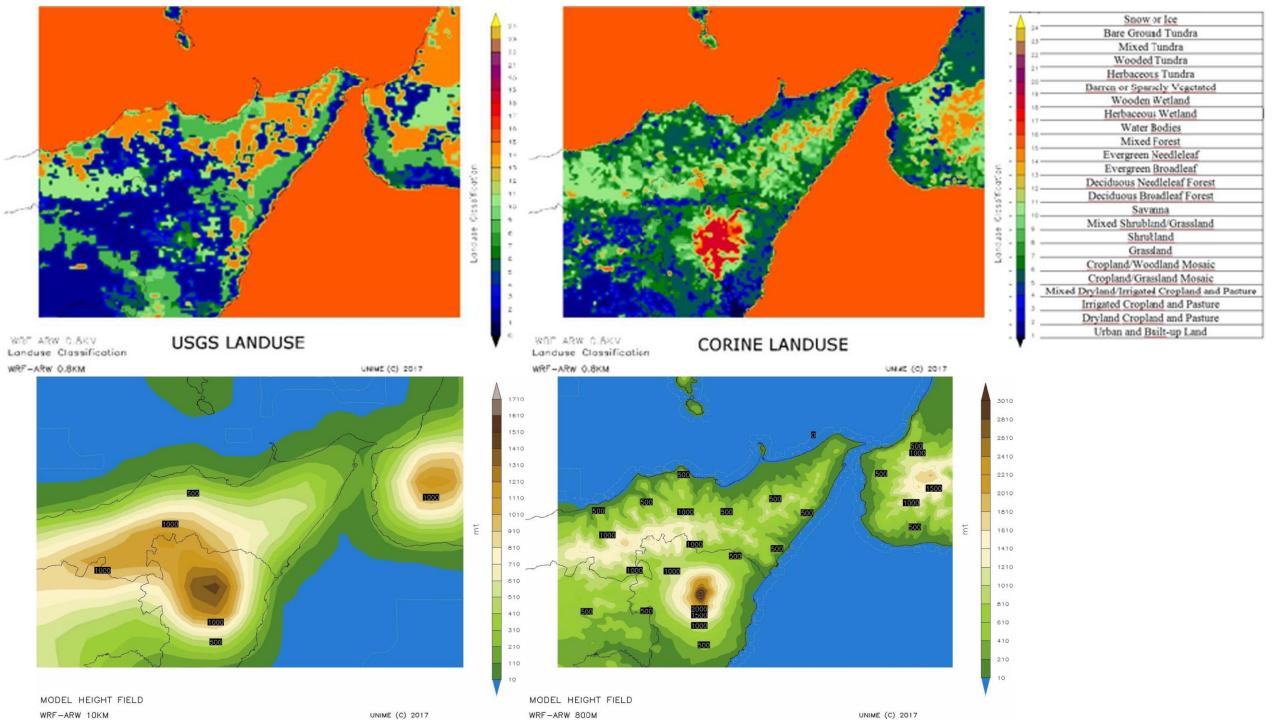
- Acronimo di Weather Research and Forecast model
- Completamente Open-Source
- In funzione presso il Dipartimento di Fisica dell'Università di Messina.
- Tutte le fasi di Pre-Processing, elaborazione e post-produzione grafica sono già state completate. A breve il servizio passerà su nuove macchine più performanti prima dell'avvio operativo vero e proprio della fase sperimentale.
- Ottimo equilibro tra performances e risorse di calcolo necessarie
- Progetti AEROMAT e Protezione Civile

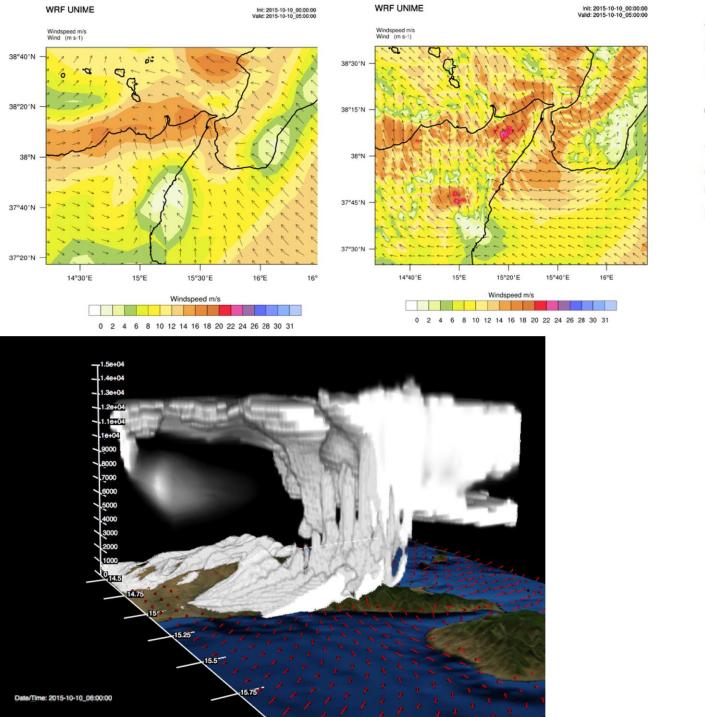












Atmospheric Research 198 (2017) 22-33



Contents lists available at ScienceDirect

### Atmospheric Research





Weather forecast performances for complex orographic areas: Impact of different grid resolutions and of geographic data on heavy rainfall event simulations in Sicily

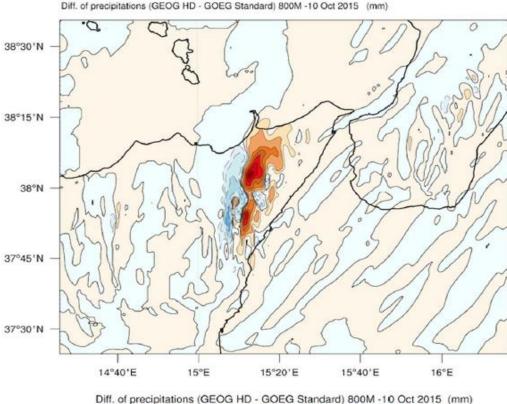


M.T. Caccamoa, G. Castorina, F. Colomboac, V. Insinga, E. Maiorana, S. Magazùa,

WRF UNIME - Diff. GeogHD - Geog Std

Init: 2015-10-10\_00:00:00

Valid: 2015-10-10\_09:00:00



-60 -50 -40 -30 -20 -10 -5 0 5 10 20 30 40 50 60



## ATTIVITA' UNIME-DRPC



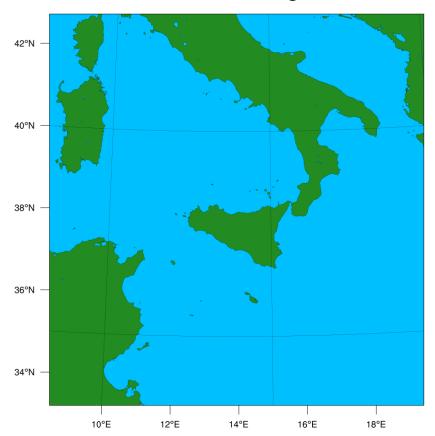
- Frutto di un rapporto di collaborazione iniziato nel 2015 e concretizzatosi con una convenzione tra le due istituzioni che prevede la realizzazione di modello meteorologico ad area limitata per la Sicilia
- Acquisizione dei nuovi calcolatori e trasferimento del modello operativo
- Definizione e configurazione del nuovo dominio geografico regionale
- Predisposizione di un nuovo sito internet per la distribuzione dei prodotti
- Sviluppo di un' APP per dispositivi mobili
- Formazione del personale per l'avvio delle attività di Nowcasting e Veglia Meteorologica Regionale
- Costituzione del Centro Regionale di Competenza Meteorologica e avvio dei servizi H24/7



## LE PRIME USCITE DEL WRF SICILIA

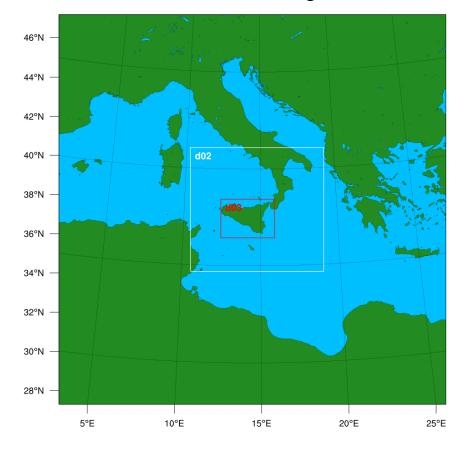


### WPS Domain Configuration



9 km grid spacing 39 vertical level RUN 00 available at 15.00 loc Time 72h

WPS Domain Configuration



9 km grid spacing + nest 3km + nest 1km 61 vertical level RUN 00 -12 available at 07.00 and 19.00 Time 120h + 96h + 48h



WRF-Sicilia-MOBILE Didattica Documenti Area Download News Vecchio sito Contatti



WRF-Sicilia

► Meteogrammi

Didattica

Documenti

Download

News

▶ Vecchio Sito

Click for detail Total 3211

■ Italy 2904 ■ Untd States 229

Poland 8

III Ireland 8 China 7

Portugal 7

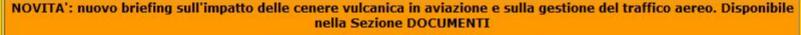
Germany 6 Spain 5

Switzerland 4 Untd Kingdom 4

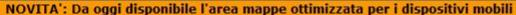
Other country 29

OnLine 1

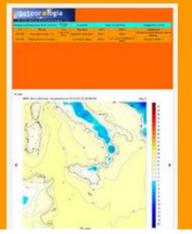
contatore presenze sito



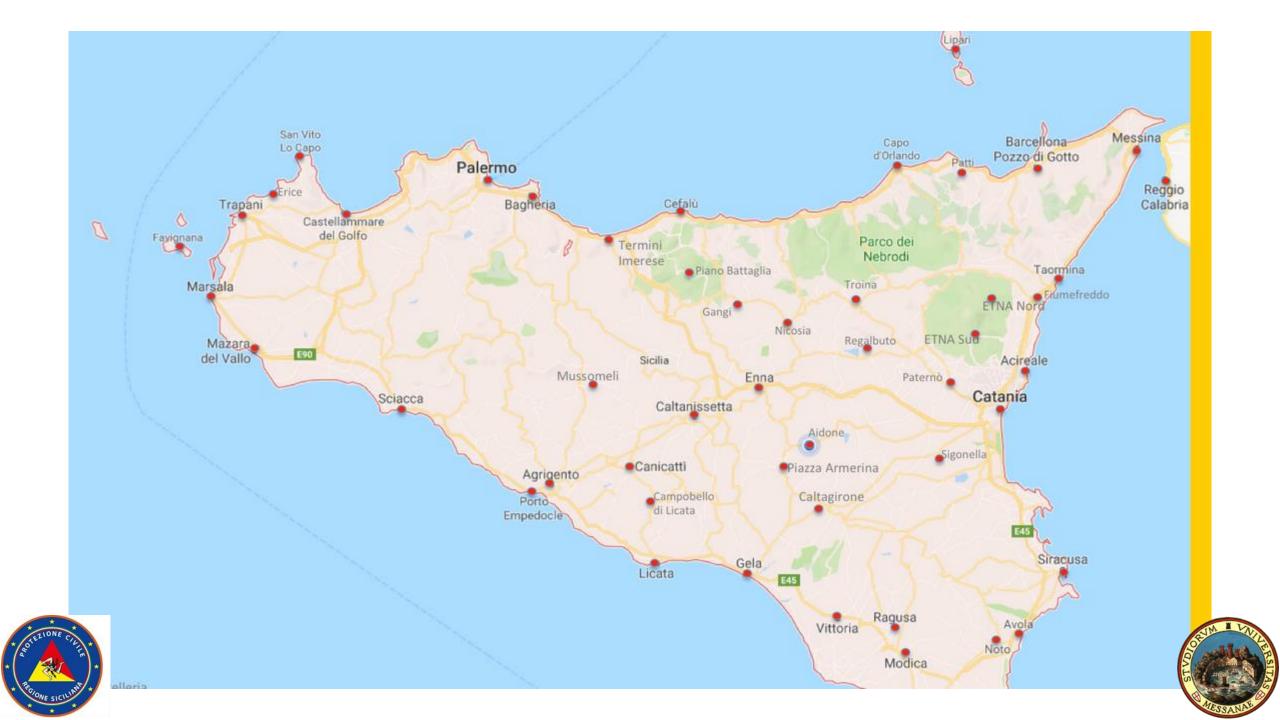


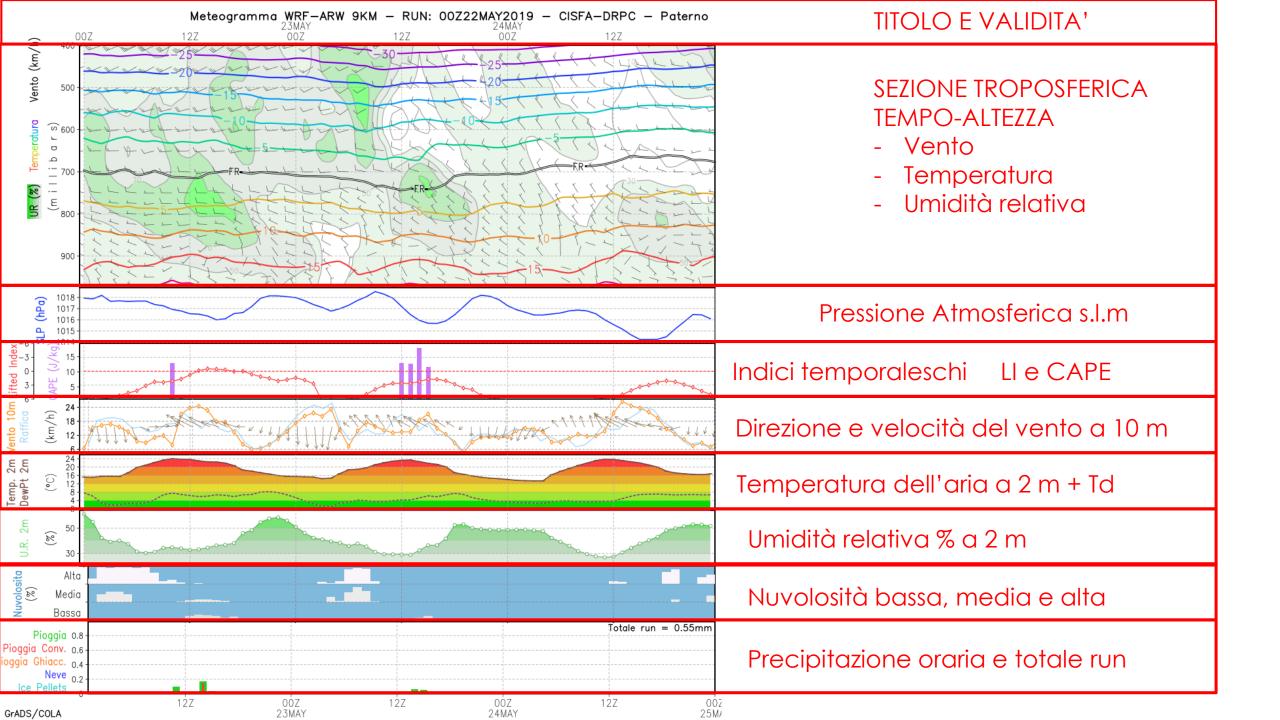


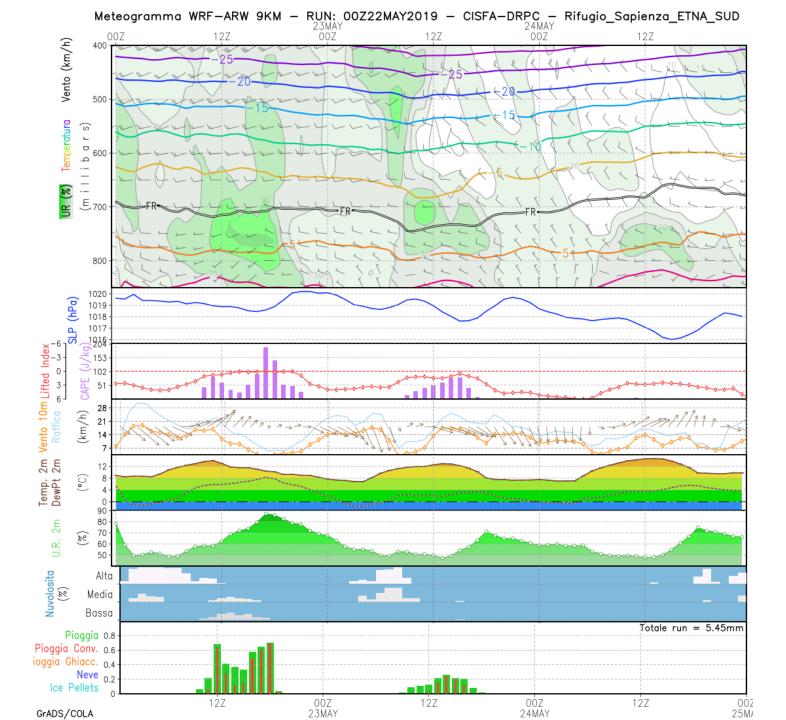






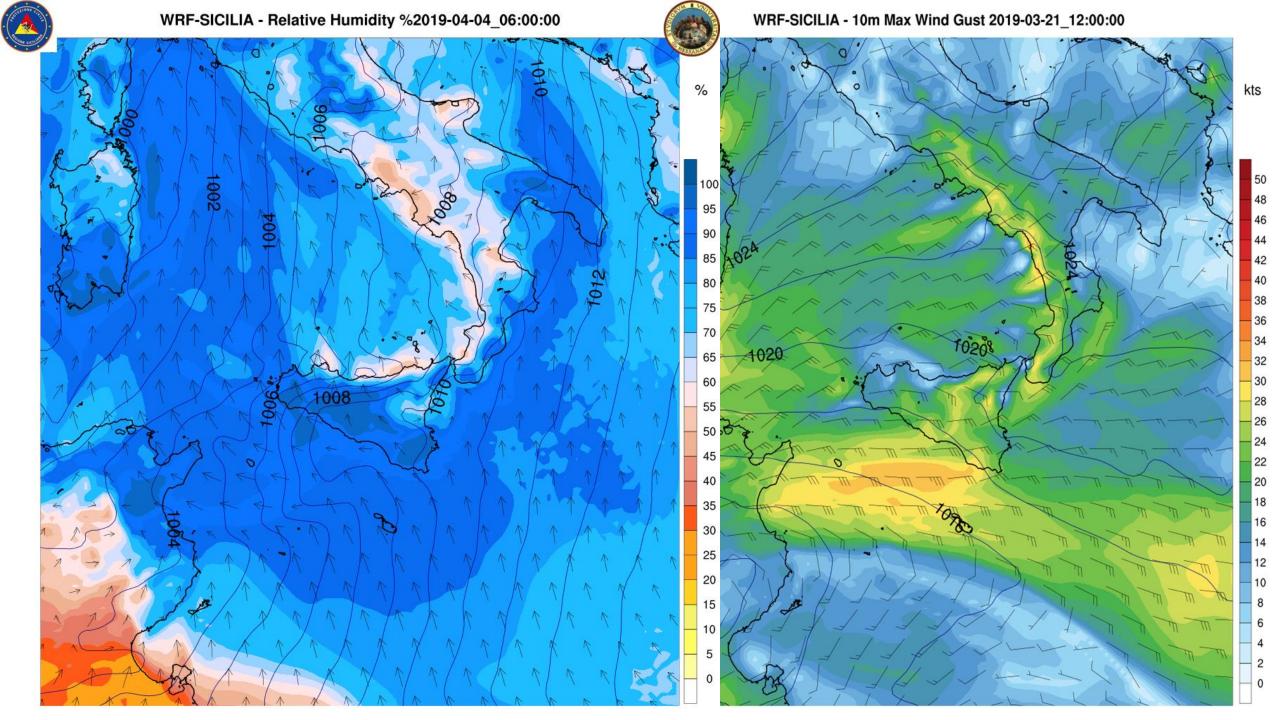


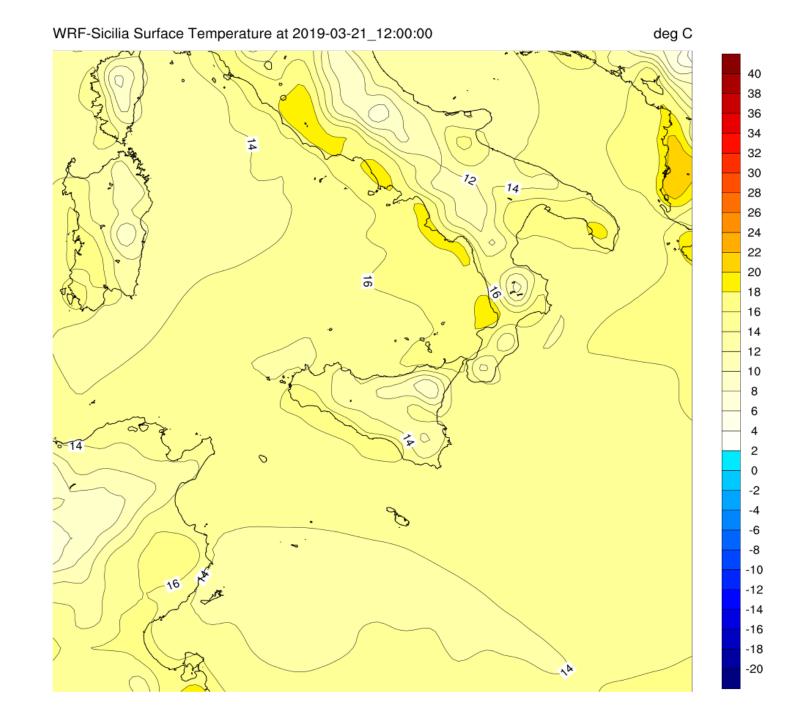








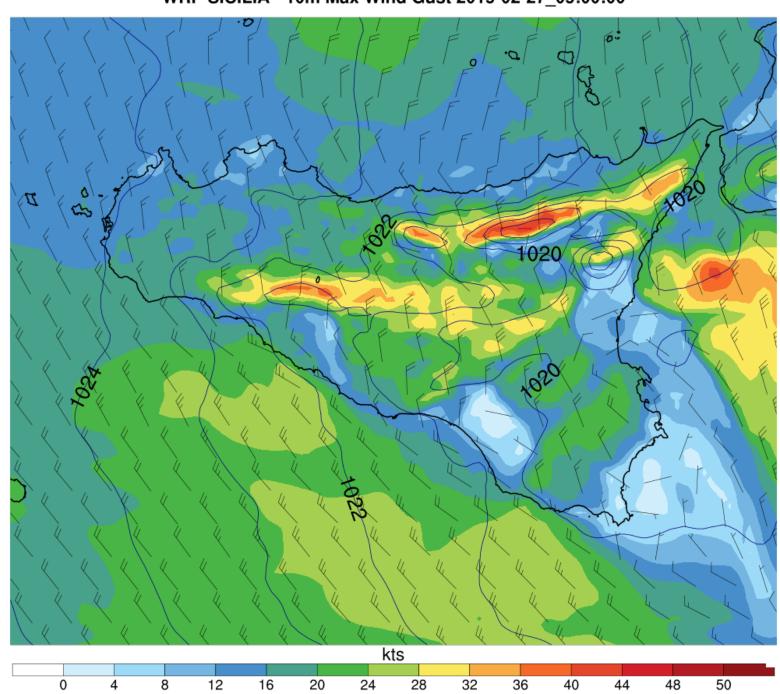






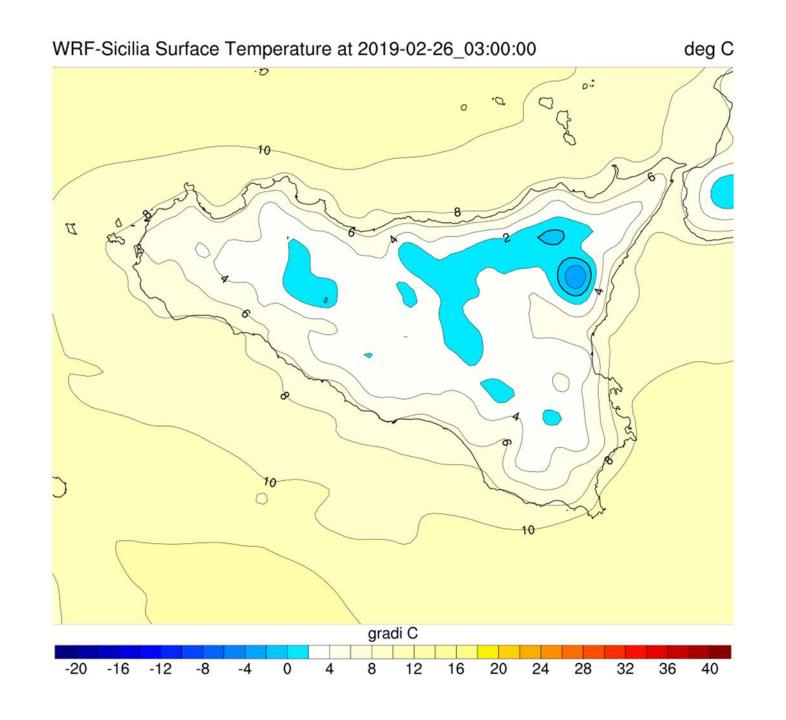


WRF-SICILIA - 10m Max Wind Gust 2019-02-27\_09:00:00





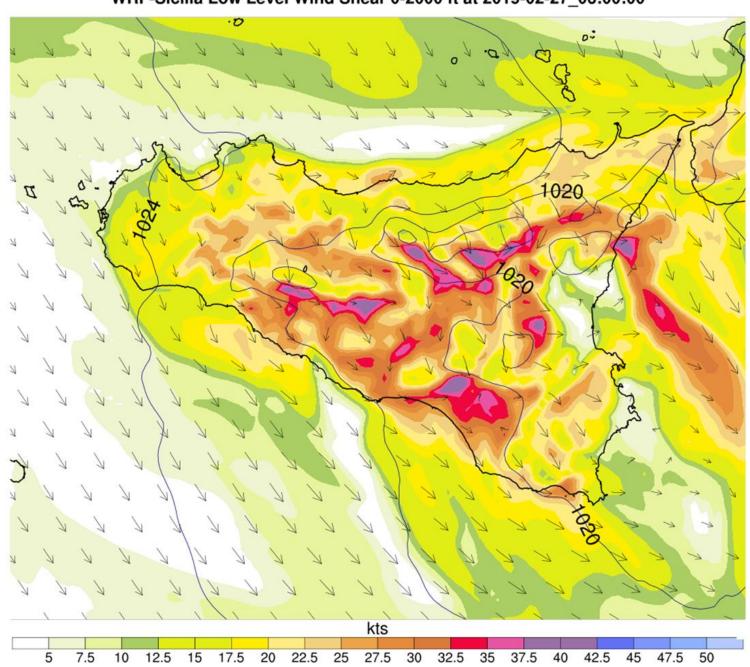






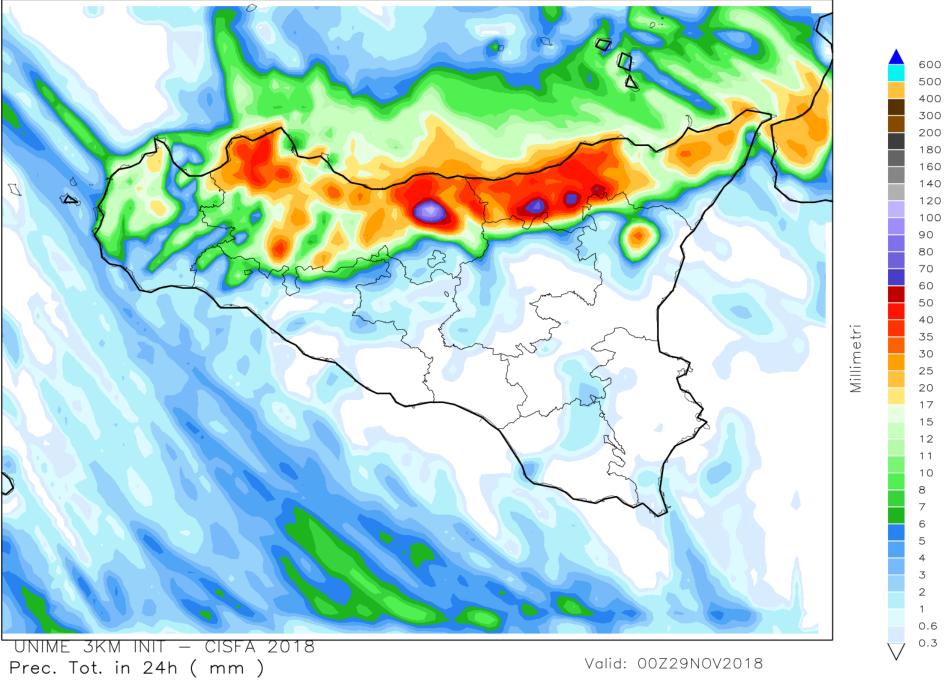


WRF-Sicilia Low Level Wind Shear 0-2000 ft at 2019-02-27\_06:00:00









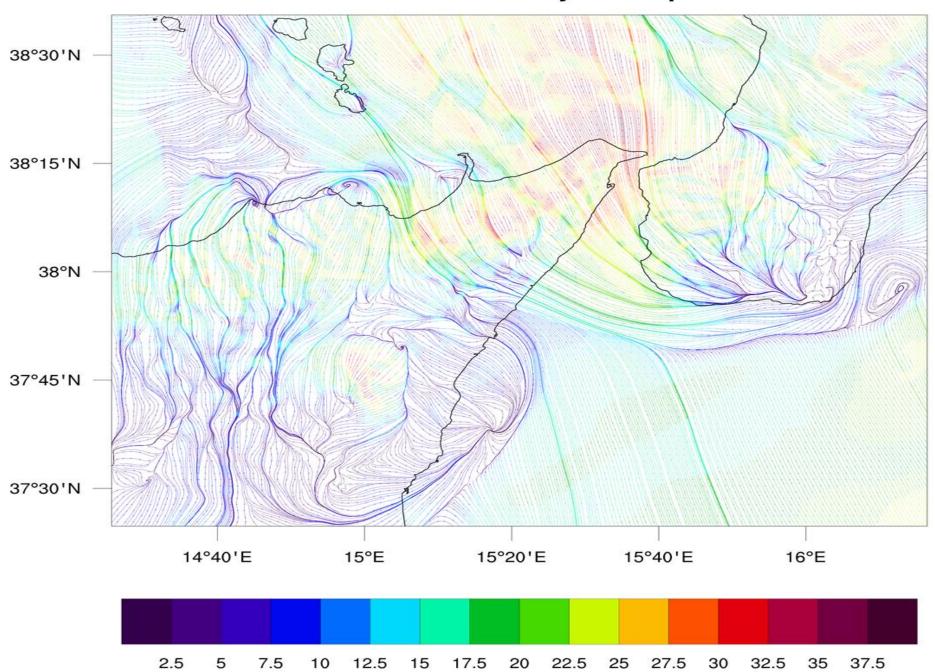


WRF-ARW 3KM,run:00Z28NOV2018

UNIME (C) 2018 / + 24H



### 10 m. streamlines colored by wind speed in knots

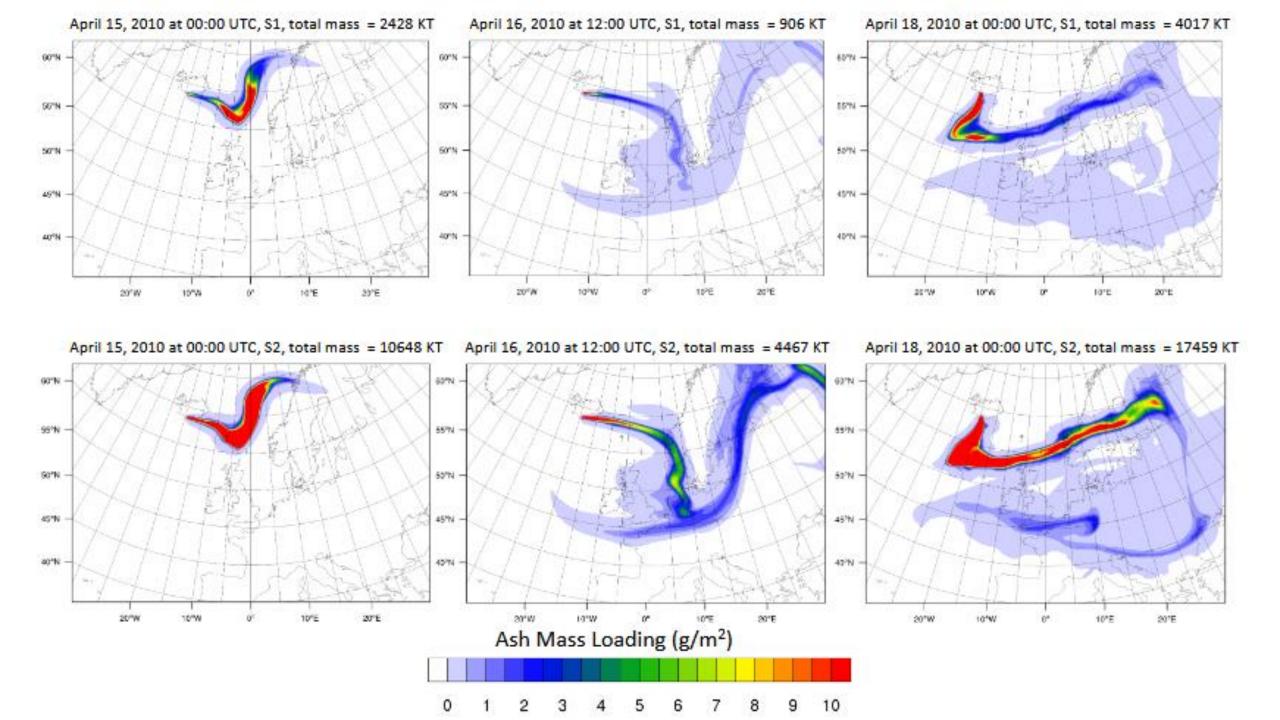






## ATTIVITA' PER PROGETTO «AEROMAT»

- Implementazione del modello WRF con aggiunta del modulo «CHEM»
- Previsione di diffusione, trasporto e deposito al suolo delle ceneri vulcaniche dell'ETNA, finalizzate al supporto alle attività operative aeronautiche degli aeroporti di Fontanarossa, Sigonella, Reggio Calabria e Comiso
- Predisposizione di un nuovo sito internet per la distribuzione dei prodotti
- Sviluppo di un' APP per dispositivi mobili



Cenere Vulcanica: nuovi sviluppi della modellistica

