



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI TRIESTE

Dipartimento di Fisica
Corso di Laurea Magistrale Interateneo in Fisica

Tesi di Laurea

**Studio delle cause di precipitazioni
di intensità eccezionale e di breve durata
in zone pedemontane**

Laureando: Marco Bettiol

Relatore: prof. Dario Giaiotti
Correlatore: prof. Fulvio Stel

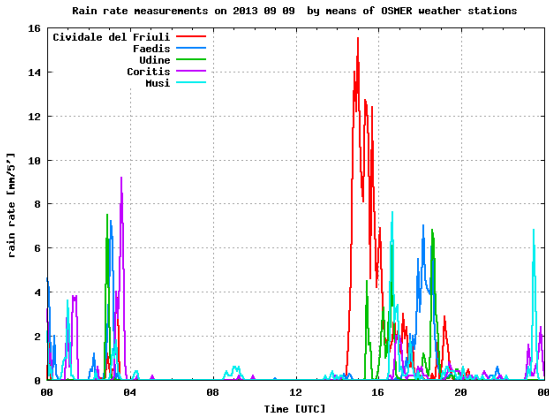
Sommario

- 1 Importanza dell'evento studiato
- 2 Modello fisico
- 3 Modello ARW
- 4 Metodo di confronto tra simulazioni e misure
- 5 Risultati delle simulazioni
- 6 Conclusioni

Caratteristiche dell'evento

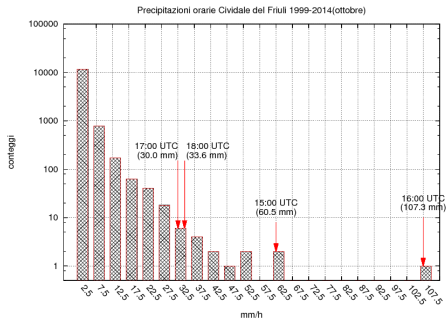
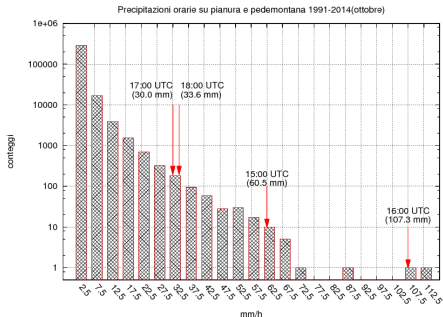
Cividale del Friuli (UD), 9 Settembre 2013, 14:00-16:00 UTC

- **Intensità** delle precipitazioni: $> 10\text{mm}/5'$
- **Durata** delle precipitazioni intense: $> 1\text{h}$
- **Ristrettezza** delle aree coinvolte: $\simeq 5 \times 5\text{km}^2$



Eccezionalità dell'evento

Precipitazioni orarie rilevate dalle stazioni meteorologiche di pianura e della pedemontana del territorio regionale e da quella di Cividale del Friuli: le precipitazioni integrate in un'ora si collocano nelle **code delle distribuzioni**.



Motivazioni della scelta

- **Conseguenze sociali ed economiche prodotte**

- 100 volontari della Protezione Civile coinvolti
- \simeq 6Mln€ di danni causati

⇒ È possibile prevedere l'evento?

Motivazioni della scelta

- **Conseguenze sociali ed economiche prodotte**

- 100 volontari della Protezione Civile coinvolti
- \simeq 6Mln€ di danni causati

⇒ È possibile prevedere l'evento?

- **Complessità fisica**

- Fenomeni al confine tra *mesoscala* e *microscala* atmosferiche
- Grande **efficienza** nella trasformazione di vapore acqueo in pioggia
- **Stazionarietà** delle celle temporalesche

⇒ Quali meccanismi fisici ne sono alla base?

Motivazioni della scelta

- **Conseguenze sociali ed economiche prodotte**

- 100 volontari della Protezione Civile coinvolti
- \simeq 6Mln€ di danni causati

⇒ È possibile prevedere l'evento?

- **Complessità fisica**

- Fenomeni al confine tra *mesoscala* e *microscala* atmosferiche
- Grande **efficienza** nella trasformazione di vapore acqueo in pioggia
- **Stazionarietà** delle celle temporalesche

⇒ Quali meccanismi fisici ne sono alla base?

- **Aspetti computazionali**

- Argomento di frontiera: interazione con la superficie terrestre e l'orografia
- Necessità di spingere i modelli meteorologici ad alta risoluzione

⇒ Un modello è in grado di descriverlo?

Massima quantità d'acqua precipitabile

Ipotesi

- Non ci sono scambi di calore tra *parcel* e ambiente esterno (**sollevamento adiabatico**).
- La scala di tempi considerata è tale da permettere il **riequilibrio della pressione** del *parcel* con quella esterna ma non della sua temperatura.
- Lungo la verticale c'è **equilibrio idrostatico**.
- Il calore latente di vaporizzazione non dipende dalla quota.

Massima quantità d'acqua precipitabile

Ipotesi

- Non ci sono scambi di calore tra *parcel* e ambiente esterno (**sollevamento adiabatico**).
- La scala di tempi considerata è tale da permettere il **riequilibrio della pressione** del *parcel* con quella esterna ma non della sua temperatura.
- Lungo la verticale c'è **equilibrio idrostatico**.
- Il calore latente di vaporizzazione non dipende dalla quota.

$$dP = -\frac{w}{l_v} \left[\frac{dp_d}{dz} - p_d \frac{r_s c_w + c_{p_d}}{R_d T} \left(\frac{dT}{dz} \right)_m \right] dz$$

⇒ Dipendenza da **velocità verticale** (\Leftrightarrow **moti convettivi**) e **dati ottenibili da radiosondaggi**

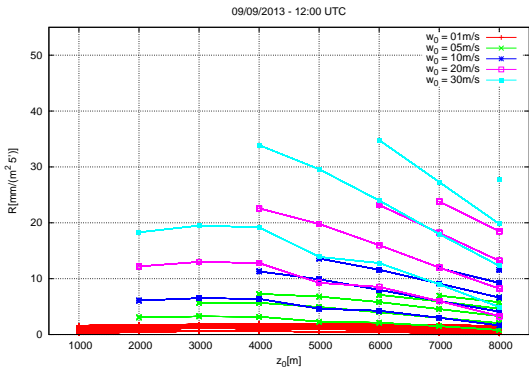
Integrazione numerica

Profilo verticale per w di tipo **gaussiano**

$$w(z) = w_0 e^{-\left(\frac{z-z_0}{H}\right)^2}$$

Condizione sui parametri

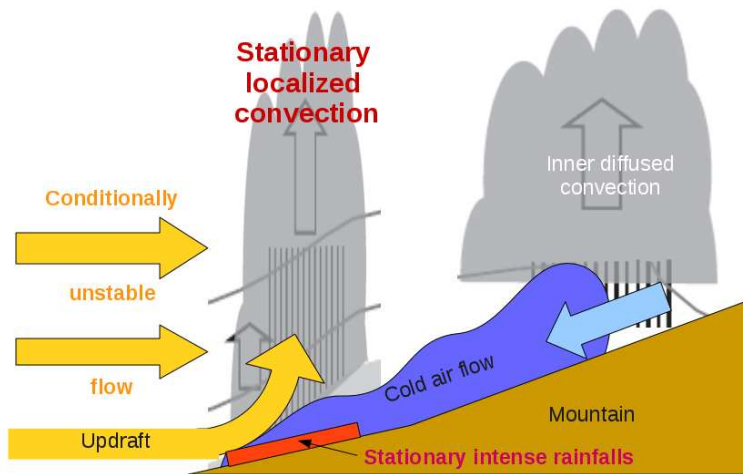
$$w_0 e^{-\left(\frac{z_0}{H}\right)^2} < 1 \text{ m/s}$$



⇒ Necessità di velocità verticali
 $\simeq 10\text{-}20 \text{ m/s}$
 ⇒ **Convezione profonda**

Stazionarietà

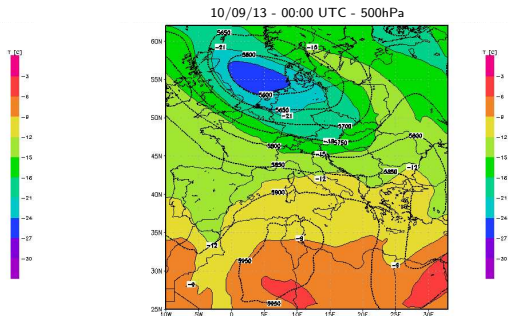
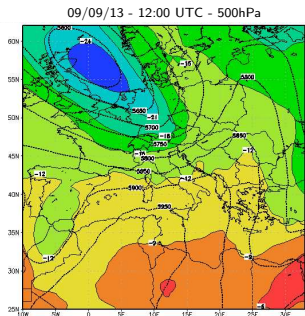
Equilibrio tra flusso sinottico e *downdraft*



Caso studio: descrizione sinottica

Presenza di una depressione nell'Europa nordoccidentale, in movimento verso Sud, e con progressiva rotazione dell'asse verso Est

⇒ In corrispondenza dell'evento, il **flusso sinottico** è diretto verso l'**orografia**.

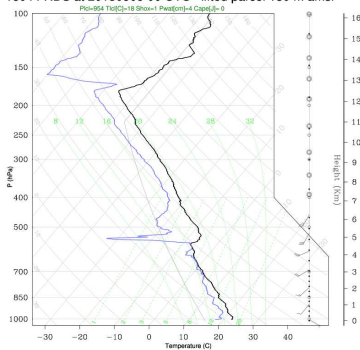


Caso studio: descrizione termodinamica

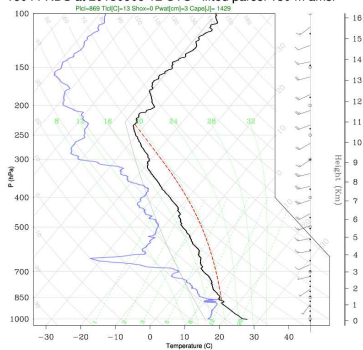
Nelle 12h antecedenti l'evento scompare l'inversione termica prima presente a $\simeq 5\text{km}$ e l'avvicinamento della bassa pressione causa l'abbassamento della tropopausa.

⇒ **Instabilità**

16044 RDS at 20130909 00 UTC lifted parcel 150 m amsl



16044 RDS at 20130909 12 UTC lifted parcel 150 m amsl

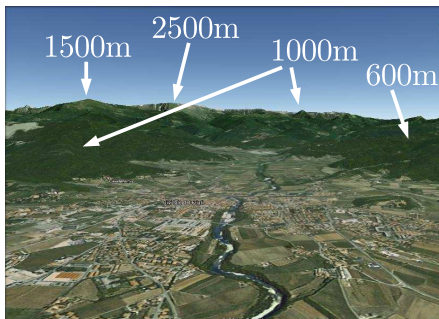


Caso studio: presenza dell'orografia

Altezza dei rilievi



Superamento del *Level of Free Convection*
(LFC)

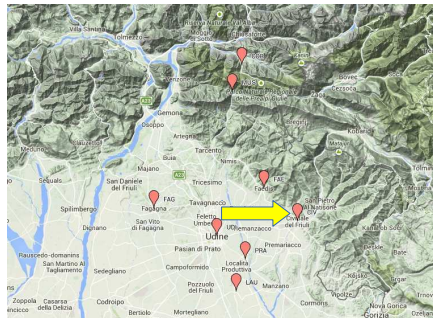
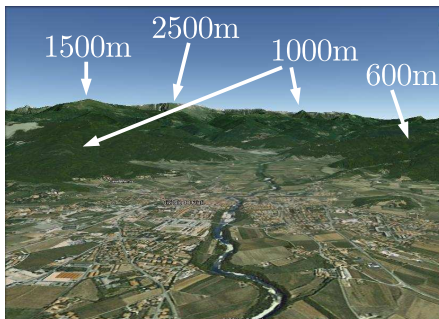


Caso studio: presenza dell'orografia

Altezza dei rilievi



Superamento del *Level of Free Convection*
(LFC)



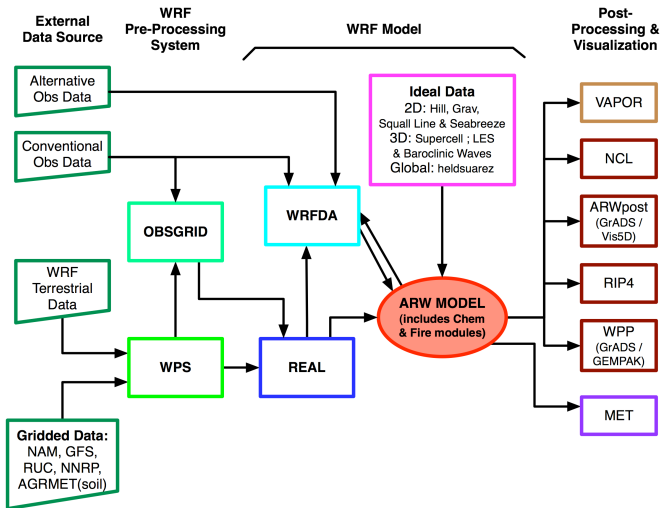
Vicinanza ai rilievi e allo sbocco della
valle del Natisone



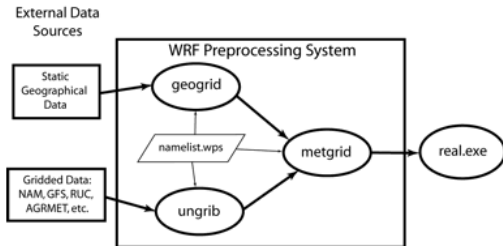
Incanalamento del **downdraft**

Descrizione generale del modello ARW

WRF Modeling System Flow Chart



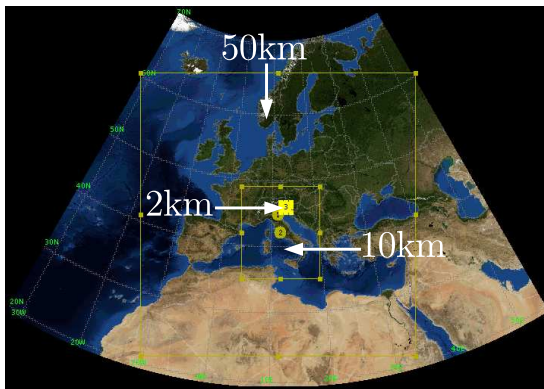
Il preprocessore WPS



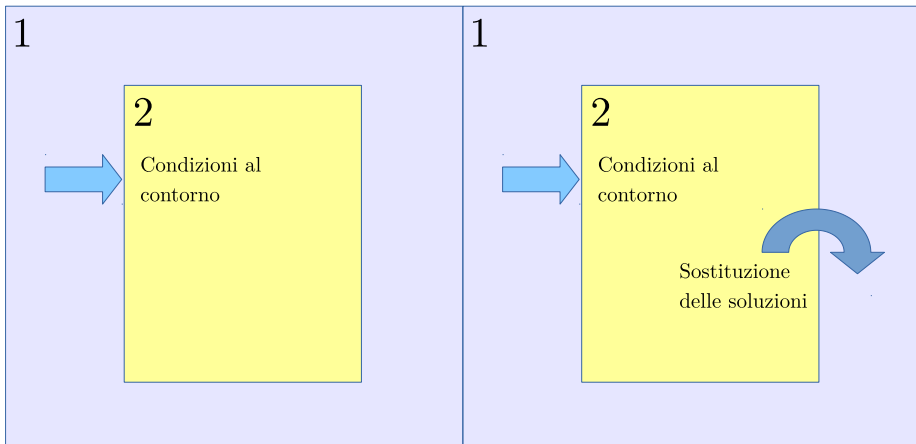
- **Geogrid:** preparazione dei domini di calcolo
 - Definisce estensione e coordinate dei domini.
 - Interpola in ciascun punto di griglia i valori di un set di dati terrestri statici (tipologie di suolo, orografia, temperatura media annua del suolo, vegetazione, albedo).
- **Ungrib e Metgrid:** definizione delle condizioni iniziali ed al contorno tramite dati ottenuti da altri modelli regionali o globali.

Nesting

I domini di calcolo sono innestati l'uno nell'altro per raggiungere **alte risoluzioni** nell'area di interesse **minimizzando** lo sforzo computazionale.



1-way e 2-way nesting

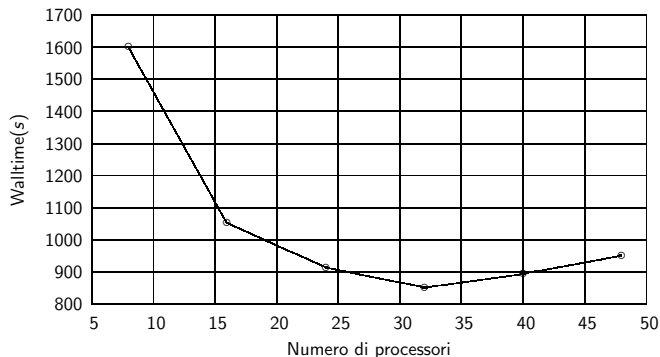


Preparazione dell'esperimento

Se eseguite su singolo processore, le otto simulazioni richiederebbero un tempo di calcolo $\simeq 7000h$

⇒ Scalabilità del modello ed efficienza del calcolo in **Shared Memory** e **Distributed Memory**: qual è il numero di **cores** ottimale?

⇒ **32 cores**



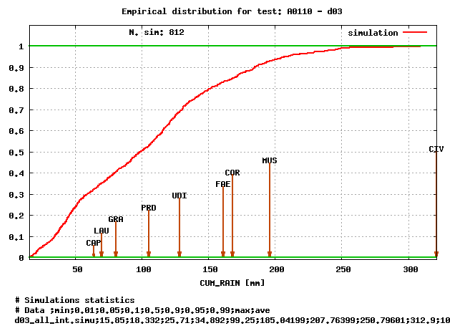
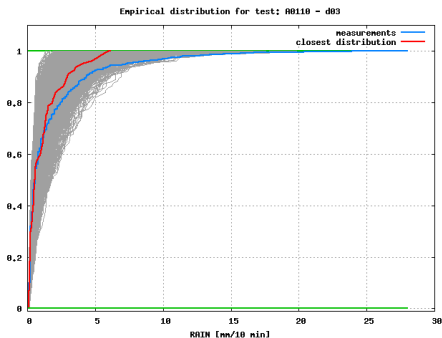
Richieste sui campi simulati

Metodo di confronto **innovativo** tra simulazioni e misure, sviluppato *ad hoc* per l'evento atmosferico studiato, volto in particolare al confronto tra i **campi di precipitazione** simulati e misurati, in grado di verificare le seguenti quattro richieste.

- **Valori ratei di precipitazione elevati**
⇒ **Convezione** profonda
- **Elevati quantitativi di precipitazione accumulata**
⇒ Celle convettive **stazionarie**
- **Coerenza spaziale**
⇒ Collocazione dei picchi di intensità a distanze confrontabili con le **scale spaziali** dei fenomeni
- **Coerenza temporale**
⇒ Previsione dell'evento entro le **scale temporali** caratteristiche (alcune ore)

Metodo di confronto: richieste fisiche

Confronto tra funzioni di distribuzione empiriche di dati simulati e misurati, supportato dal test di Kolmogorov-Smirnov



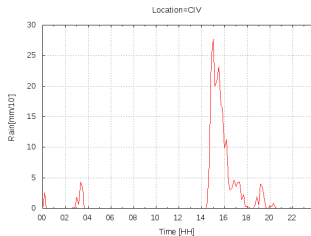
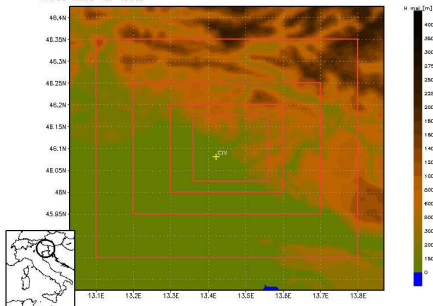
Viene momentaneamente **distrutta** l'informazione sulla dipendenza spaziale e temporale dei valori.

Metodo di confronto: coerenza spaziale e temporale

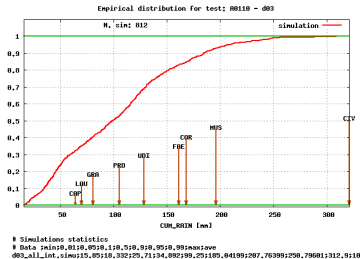
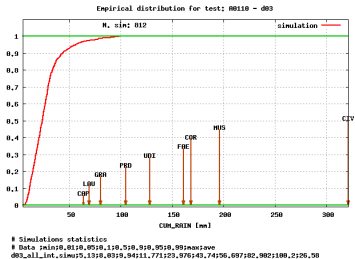
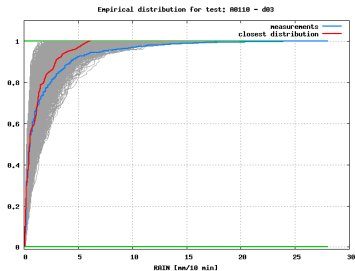
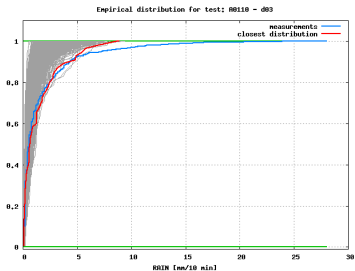
Zoom sull'area interessata, da $\simeq 50 \times 50\text{km}^2$ a $\simeq 8 \times 8\text{km}^2$

Zoom sulla finestra temporale, da 3 giorni a 14h

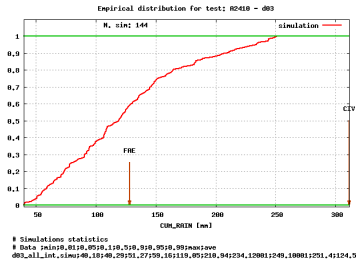
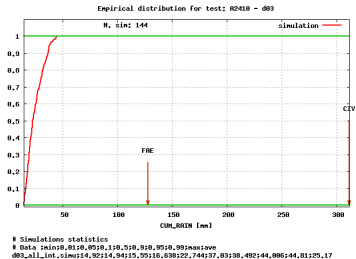
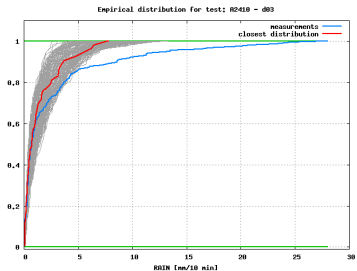
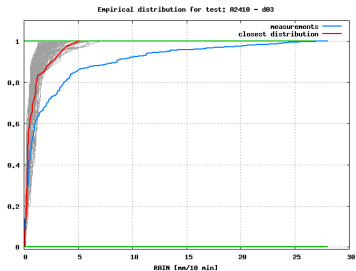
Areas used for tests



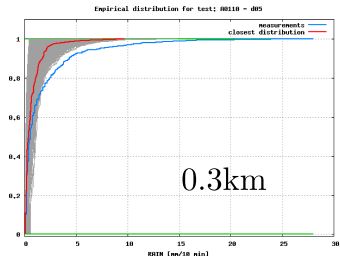
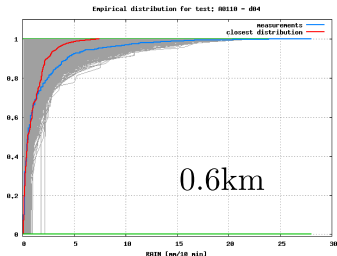
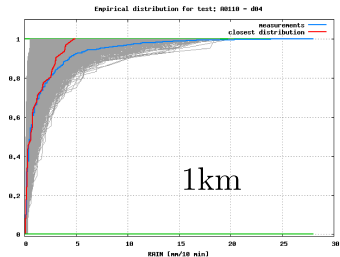
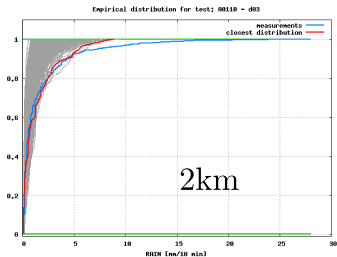
2km, 2-way e 1-way nesting, $50 \times 50\text{km}^2$



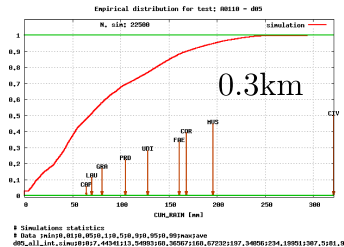
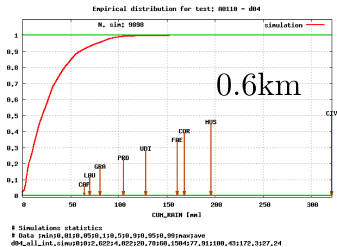
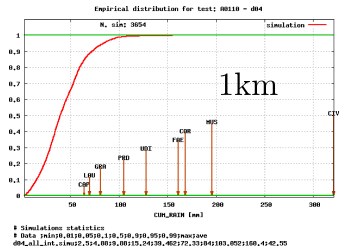
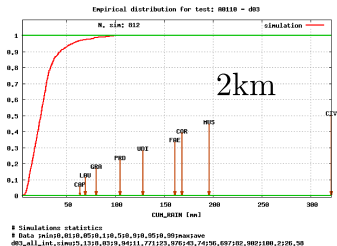
2km, 2-way e 1-way nesting, $25 \times 25\text{km}^2$



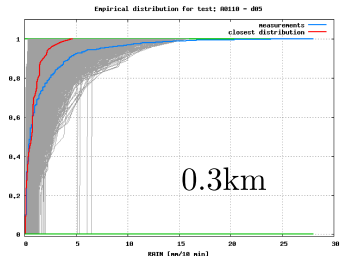
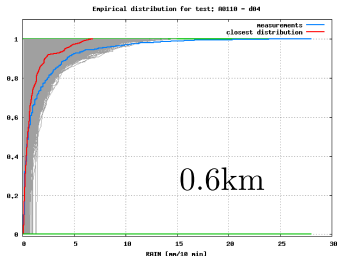
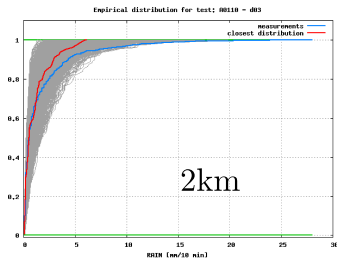
2-way nesting ad alta risoluzione



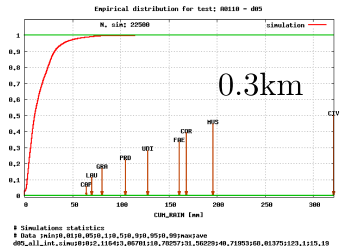
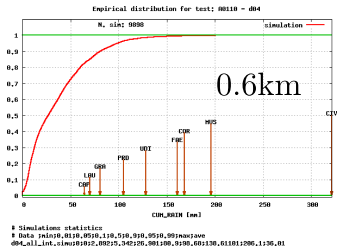
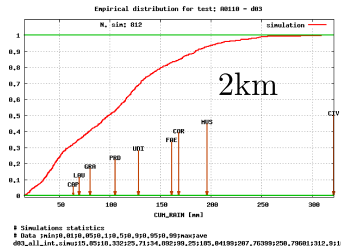
2-way nesting ad alta risoluzione



1-way nesting ad alta risoluzione

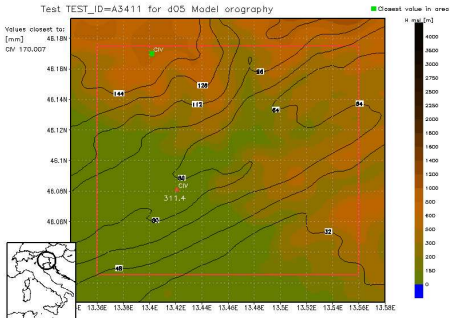


1-way nesting ad alta risoluzione

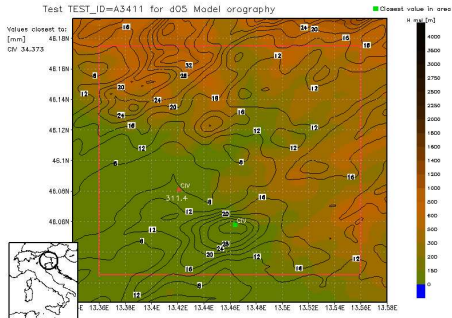


Individuazione delle celle convettive ad alta risoluzione

2-way nesting, 0.3km



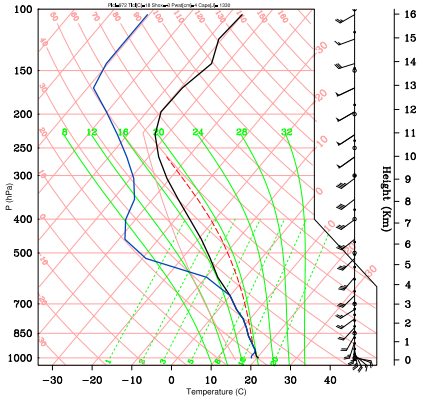
1-way nesting, 0.3km



Possibile Individuazione del downdraft ad alta risoluzione

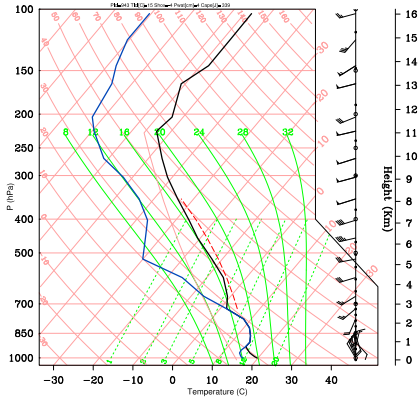
1-way nesting, 2km

WRF Udine WMO 16044 at 2013-09-09_12 00 00 UTC - Lower parcel Is Ilted



1-way nesting, 0.3km

WRF Udine WMO 16044 at 2013-09-09_12 00 00 UTC - Lower parcel Is Ilted



Conclusioni

- L'evento è stato descritto fisicamente e ne sono state individuate le cause fondamentali: **convezione profonda** e **interazione tra flusso sinottico e downdraft** in presenza di una barriera **orografica**.

Conclusioni

- L'evento è stato descritto fisicamente e ne sono state individuate le cause fondamentali: **convezione profonda** e **interazione tra flusso sinottico e downdraft** in presenza di una barriera **orografica**.
- La simulazione con risoluzione spaziale di 2km e innesto di tipo *1-way* **descrive correttamente l'evento** in tutti i suoi aspetti. Essa peraltro adotta una configurazione iniziale molto simile a quella in uso nella catena operativa dell'ARPA-FVG.

Conclusioni

- L'evento è stato descritto fisicamente e ne sono state individuate le cause fondamentali: **convezione profonda** e **interazione tra flusso sinottico e downdraft** in presenza di una barriera **orografica**.
- La simulazione con risoluzione spaziale di 2km e innesto di tipo *1-way* **descrive correttamente l'evento** in tutti i suoi aspetti. Essa peraltro adotta una configurazione iniziale molto simile a quella in uso nella catena operativa dell'ARPA-FVG.
- Il metodo sviluppato per il confronto tra simulazioni e misure ha dato buoni risultati in termini di percentuale di successi ed insuccessi.

Conclusioni

- L'evento è stato descritto fisicamente e ne sono state individuate le cause fondamentali: **convezione profonda** e **interazione tra flusso sinottico e downdraft** in presenza di una barriera **orografica**.
- La simulazione con risoluzione spaziale di 2km e innesto di tipo *1-way* **descrive correttamente l'evento** in tutti i suoi aspetti. Essa peraltro adotta una configurazione iniziale molto simile a quella in uso nella catena operativa dell'ARPA-FVG.
- Il metodo sviluppato per il confronto tra simulazioni e misure ha dato buoni risultati in termini di percentuale di successi ed insuccessi.
- Sono necessari ulteriori test del modello a risoluzioni spaziali inferiori a 1km. In particolare è necessario aumentare coerentemente la risoluzione dei dati orografici.