



UN MODELLO AD AREA LIMITATA (LAM) PER LA SICILIA: il WRF dell'Università di Messina

F. COLOMBO^{1,3}, G. CASTORINA¹, V. INSINGA², E. MAIORANA², M.T. CACCAMO¹,
S. MAGAZU'¹



Riassunto

L'attività di ricerca del gruppo sperimentale di Fisica Ambientale - settore Meteorologia e Modellistica Ambientale - verte sullo sviluppo e sull'ottimizzazione di un modello fisico - matematico ad area limitata e ad alta risoluzione per la previsione numerica di interesse meteorologico, con specifico riferimento alla Regione Sicilia.

Il modello preso in esame per tale scopo è un *Advanced Research WRF (ARW)* sviluppato presso i laboratori del *National Center for Atmospheric Research (NCAR)*, nella versione 3.7.1.

La configurazione del modello è stata ottimizzata per il territorio siciliano mediante l'aumento della risoluzione dei dati geografici statici iniziali (DEM) e l'ottimizzazione dei parametri locali di uso del suolo e copertura vegetativa.

Sono stati fatti esperimenti di *re-analysis* utilizzando come *case study* l'evento alluvionale che ha interessato tra gli altri il Comune di Barcellona Pozzo di Gotto nella mattinata del 10 ottobre 2015.

¹ Department of Mathematical and Informatics Sciences, Physical Sciences and Earth Sciences (MIFT), University of Messina, Viale F. S. D'Alcontres 31, 98166 Messina, Italy.

² Consorzio Interuniversitario Scienze Fisiche Applicate (CISFA), Viale F. S. D'Alcontres 31, 98166 Messina, Italy.

³ Italian Air Force Meteorological Service - Comando Aeroporto - Sigonella.

Abstract

One of the activities of research of the group of Environmental Physics - sector Meteorology and Physics of the Atmosphere of Messina University has focused on the optimization and set-up of a limited area model with high spatial and temporal resolution, adapted for Sicilian territory.

The choice of the model to use for this purpose was oriented to the Advanced Research WRF (ARW) ver. 3.7.1, developed by National Center for Atmospheric Research (NCAR).

The original configuration of model has been changed and adapted for Sicily, through the use of alternative and higher resolution Digital Elevation Model data and the local parameters of use of the soil and vegetative coverage.

To check the model performances, some re-analysis experiments have been made using different case study. In this paper the flash-flood of October 10th 2015 is analyzed.

1. Introduzione

Esistono due tipi di modelli meteorologici: i Modelli Globali (GM = *Global Model*) e i modelli ad Area Limitata (LAM = *Limited Area Model*). È intuitivo che i modelli globali prendono in considerazione tutta l'atmosfera terrestre, mentre quelli ad area limitata lavorano su volumi più ristretti. Poiché non esistono soluzioni analitiche semplici del sistema di equazioni valide per tutti i punti dell'atmosfera, è necessario ricorrere ad una semplificazione della porzione di atmosfera di interesse, trasformandola in una matrice tridimensionale individuata da punti di griglia, riformulando così il problema in termini discreti, una volta definite le condizioni al contorno. La semplificazione adottata, che prende il nome di discretizzazione, comporta che alle derivate si sostituiscano delle differenze finite.

$$\frac{\partial T}{\partial t} = -u \frac{\partial T}{\partial x} - v \frac{\partial T}{\partial y} \quad \rightarrow \quad \frac{T_{final} - T_{initial}}{t_{final} - t_{initial}} \approx -u_i \frac{T_{i+1} - T_{i-1}}{(x_{i+1} - x_{i-1}))}$$

Questa sostituzione rende il sistema di equazioni differenziali originario affrontabile mediante calcolo numerico. Tale approccio comporta l'individuazione di una serie di punti fissi, selezionati nel dominio di definizione delle variabili delle equazioni.

Ogni variabile viene quindi completamente identificata dai valori assunti su questi punti, i cosiddetti punti di griglia, mentre le derivate spaziali diventano differenze finite valutate tra i punti di griglia. Si noti che ad ogni punto di griglia è associata una porzione di atmosfera, le cui caratteristiche sono rappresentate dai valori assunti dalle variabili.

La previsione diventa pertanto un procedimento per il calcolo dei valori futuri delle variabili meteorologiche su tutti i punti di griglia. Nel caso specifico si immagina di sezionare completamente l'atmosfera sia in orizzontale sia in verticale mediante una griglia tridimensionale di scala opportuna. Non ci sono vincoli sul numero complessivo di punti (chiamati anche nodi) da usare, anche se è evidente che infittendo la griglia l'intervallo di separazione tra i punti diminuisce e da ciò risulta una miglior precisione del computo numerico. In pratica è la potenza di calcolo dello strumento elettronico che limita la scelta dei punti: o si considera tutto il globo e quindi si tiene ampia la distanza tra i nodi, oppure ci si concentra su un'area infittendo il passo di griglia, guadagnando così in risoluzione. Poiché le capacità di calcolo automatico sono finite, i Modelli Globali, avendo il passo di



griglia più grande, introducono le più importanti semplificazioni, operando con risoluzioni comprese tra i 10 e i 50 km in orizzontale.

I LAM, *Local Area Model*, riducendo la zona di interesse, impiegano una griglia più fitta, con passo tipico di $1\div 10$ km. In verticale, la porzione di atmosfera considerata si può estendere fino ad un'altezza di $30\div 70$ km, distribuiti su circa sessanta livelli, in modo non uniforme (più fitti vicino al suolo, dove è necessaria una migliore definizione verticale). È importante sottolineare che i Modelli Globali servono ad inizializzare i LAM, ossia, all'istante iniziale $t=0$ relativo all'inizio dei calcoli, i LAM utilizzano le uscite GM come valori iniziali e successivamente elaborano una previsione.

Inoltre i GM forniscono ai LAM le condizioni al contorno laterali durante tutto il tempo di previsione. Ovviamente ci saranno delle lacune, perché le condizioni iniziali e al contorno su tutti i punti della maglia più fitta non sono note; sarà necessario quindi interpolare questi dati con tecniche opportune. Pur soffrendo di queste incertezze i LAM permettono di produrre previsioni molto dettagliate, ma valide solo da poche ore fino a circa due giorni.

2. Modello WRF

Il modello *Weather Research Forecast (WRF)* è un sistema di previsione numerica di nuova generazione progettata per le esigenze di ricerca e di previsione operativa dei fenomeni atmosferici.

Il WRF è frutto della collaborazione tra il *National Center for Atmospheric Research (NCAR)*, i *National Center for Environmental Prediction (NCEP)* e l'*Earth System Research Laboratory (ESRL)* della *National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA)*. WRF è

stato progettato sia per scopi scientifici (ad esempio per la simulazione numerica delle dinamiche atmosferiche), sia per scopi più operativi, come la previsione numerica operativa. La struttura del modello è costituita da un nucleo centrale, chiamato *WRF Software Framework (WSF)*, che si compone di diversi schemi di assimilazione e parametrizzazione delle variabili fisico-chimiche, al quale sono connessi i moduli di pre e post processing. I "core" che governano la dinamica del modello WRF sono due:

- l'*Advanced Research WRF (ARW)*, codice di calcolo sviluppato da NCAR, in grado di simulare diverse tipologie di eventi meteorologici con diverse risoluzioni spaziali;
- il *Non-hydrostatic Mesoscale Model (NMM)*, realizzato da NCEP, in grado di operare in modalità sia idrostatica che non-idrostatica.

Il "core" ARW è dedicato in genere ad applicazioni di ricerca, mentre il secondo ha uno scopo più operativo. Tuttavia per modelli ad area locale, laddove siano disponibili risorse di calcolo sufficienti, i risultati di ARW sono migliori di NMM. Il modello WRF risulta essere molto versatile e permette l'utilizzo di diverse tipologie di parametrizzazione per quanto riguarda, ad esempio, la microfisica delle nubi, la convezione, i flussi all'interno del *Planetary Boundary Layer*, i processi radiativi e di diffusione. Il WRF è *open source*: questo significa che, volendo, è possibile modificare i codici (equazioni comprese). Esso è anche altamente configurabile: tramite opportuni *files* (detti *namelist*) si possono scegliere le impostazioni da dare ai molti parametri dinamici e fisici presenti nel codice. E' possibile ad esempio scegliere uno tra i diversi algoritmi di calcolo presenti per stimare le precipitazioni: quello esplicito, dove il modello calcola

direttamente nubi e precipitazioni e che va bene solo per altissime risoluzioni e quello parametrico da preferire per risoluzioni superiori ai 2-3 km.

WRF ha oggi una enorme comunità di utenti e sviluppatori registrati (circa 30.000 in oltre 150 paesi). Il sito ufficiale del WRF fornisce informazioni generali sull'organizzazione del Centro, sugli sviluppi in itinere e sulle applicazioni in tempo reale. L'architettura del sistema è costituita da diverse componenti *software* tutte integrate tra di loro: la fase di *pre-processing* (WPS) include 3 routine di calcolo, *Geogrid*, *Ungrib* e *Metgrid* che in sequenza si occupano di elaborare i dati che vanno ad alimentare il modello. *Geogrid* crea i dati statici che includono i dati geografici e i dati di uso del suolo; *Ungrib* assimila i dati meteorologici in formato GRIB raccolti dai centri di calcolo mondiali, mentre *Metgrid* interpola i dati meteorologici orizzontali, scalandoli sul dominio definito in origine. I dati così pre-elaborati, vengono passati ad altre routine di calcolo, e nello specifico al *software* WRF-REAL che interpola verticalmente i dati nelle coordinate spaziali del modello. La fase finale del processo è costituita dalla produzione dei dati di *output* originata dal software WRF e dalla successiva produzione grafica (*post-processing*).

3. Un modello ad area locale per la Sicilia: Il WRF-UniMe

Il gruppo di ricerca in Fisica Ambientale dell'Università di Messina, nell'ambito delle attività di ricerca nei settori della Meteorologia e Modellistica Ambientale, dal marzo 2016 ha reso operativo il modello fisico-matematico ad area limitata WRF (*Weather Research and Forecasting model*). Attualmente viene utilizzato il *core* ARW alla versione 3.7.1. La configurazione iniziale dei modelli, frutto dell'esperienza pluriennale nel campo delle previsioni meteorologiche acquisita da alcuni dei componenti del gruppo, è specificamente ottimizzata per il territorio siciliano e sarà oggetto di futuri studi e sperimentazioni.

Le condizioni iniziali utilizzate sono quelle del modello globale GFS a 0.25deg di risoluzione, con aggiornamento delle condizioni al contorno orario. I miglioramenti apportati riguardano l'aumento della risoluzione dei dati geografici statici iniziali (dati ASTER GDEM V2 30m), l'ottimizzazione dei parametri locali di uso del suolo e copertura vegetativa (dati CORINE LANDUSE 2006 100m), l'acquisizione dei dati delle temperature del mare ad alta risoluzione (NOAA RTG 0.083deg) e sono oggetto di una costante attività di ricerca e sviluppo.

Le successive immagini (Figg. 1 e 2) riportano la comparazione tra differenti schemi di uso del suolo ed indici di copertura vegetale; esse mostrano alcuni dei miglioramenti ottenuti ottimizzando la risoluzione dei parametri che sono stati oggetto di

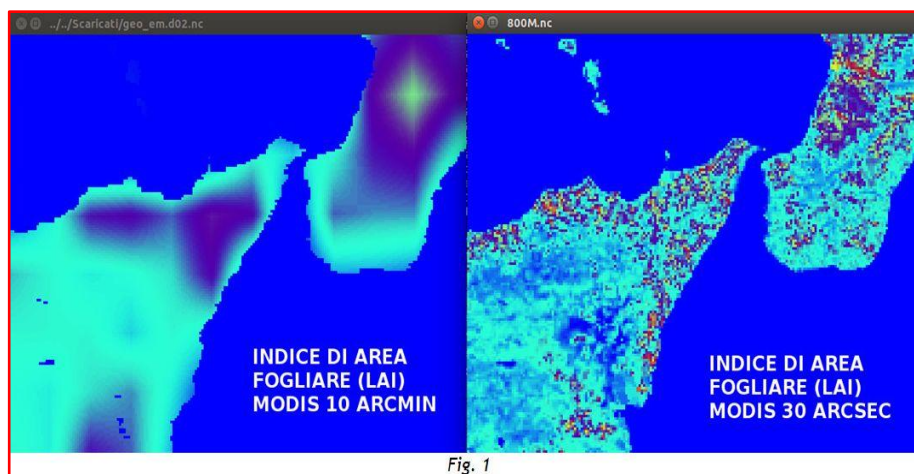


Fig. 1

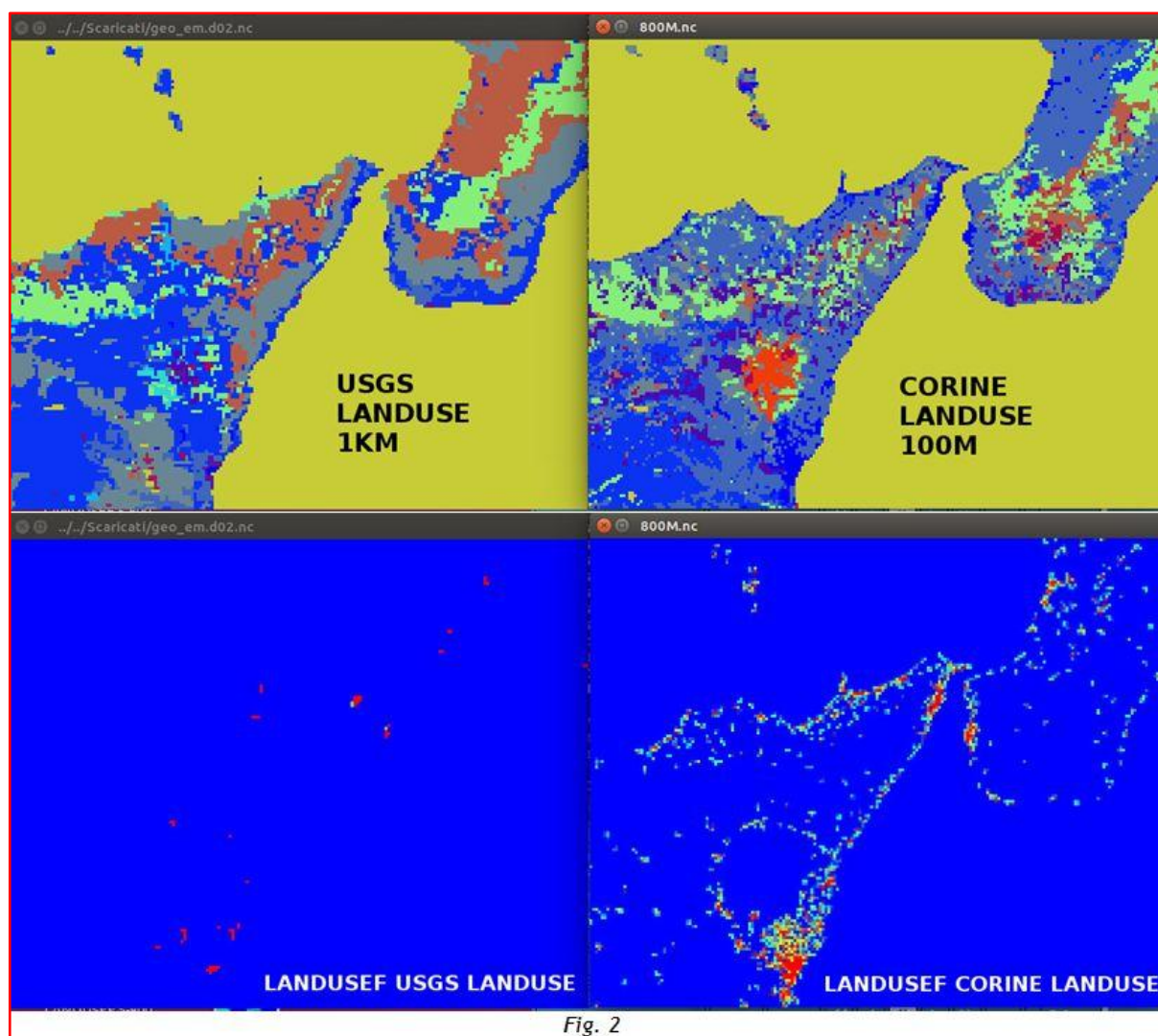


Fig. 2

revisione e aggiornamento: il modello WRF-UNIME produce degli output a diverse risoluzioni e con più corse giornaliere che permettono di produrre previsioni operative di routine ad altissima risoluzione sino a 3 km di dettaglio spaziale. Nella tabella si riassumono le caratteristiche delle varie corse operative presso il CED dell'Università di Messina:

Inoltre, in via sperimentale, viene fatto girare il modello tramite configurazione NESTING 4KM/800M, su spot specifici di particolare interesse.

Vengono prodotte tutte le variabili necessarie per l'elaborazione di una previsione meteorologica ad alta risoluzione spazio-temporale per 65 livelli verticali.

TIPO CORSIA	Risoluzione spaziale	durata	Risoluzione temporale	Inizializzazione	Corse giornaliere	Plottaggio dati local time
ARW 10km	10 km	144 h	1 h	GFS 0.25 °	4 (00,06, 12, 18z)	07:00, 13:00, 19:00, 01:00
ARW 5km	5 km	72 h	1 h	GFS 0.25 °	4 (00, 06,12,18z)	08:00, 14:00, 20:00, 02:00
ARW 3km	3 km	48 h	1 h	GFS 0.25 °	2 (00,12z)	09:00, 21:00

Z = UTC (Universal Time Coordinated) è l'ora del meridiano di Greenwich: per l'ora locale aggiungere 1h in caso di ora solare o 2h in caso di ora legale

4. Caso Studio del 10 Ottobre 2015: alluvione di Barcellona Pozzo di Gotto

Il caso studio selezionato riguarda un recente evento alluvionale verificatosi sul messinese nelle prime ore del 10 ottobre 2015. In tale occasione, il massimo accumulo di precipitazioni di 175,4 millimetri è stato registrato dalla stazione meteorologica di Antillo, facente parte della rete del SIAS (Servizio Informativo Agrometeorologico Siciliano). Queste precipitazioni intense sono state la diretta conseguenza di un sistema convettivo a mesoscala, di tipo V-Shaped quasi stazionario, sviluppatosi sullo Ionio ed alimentato da correnti sud-orientali nei bassi strati e da elevati tassi di umidità.

Un ulteriore elemento cruciale che ha innescato il violento nubifragio, è stato il sollevamento orografico indotto dalla barriera montuosa dei Nebrodi orientali e dei Peloritani, nonché dal massiccio dall'Etna.

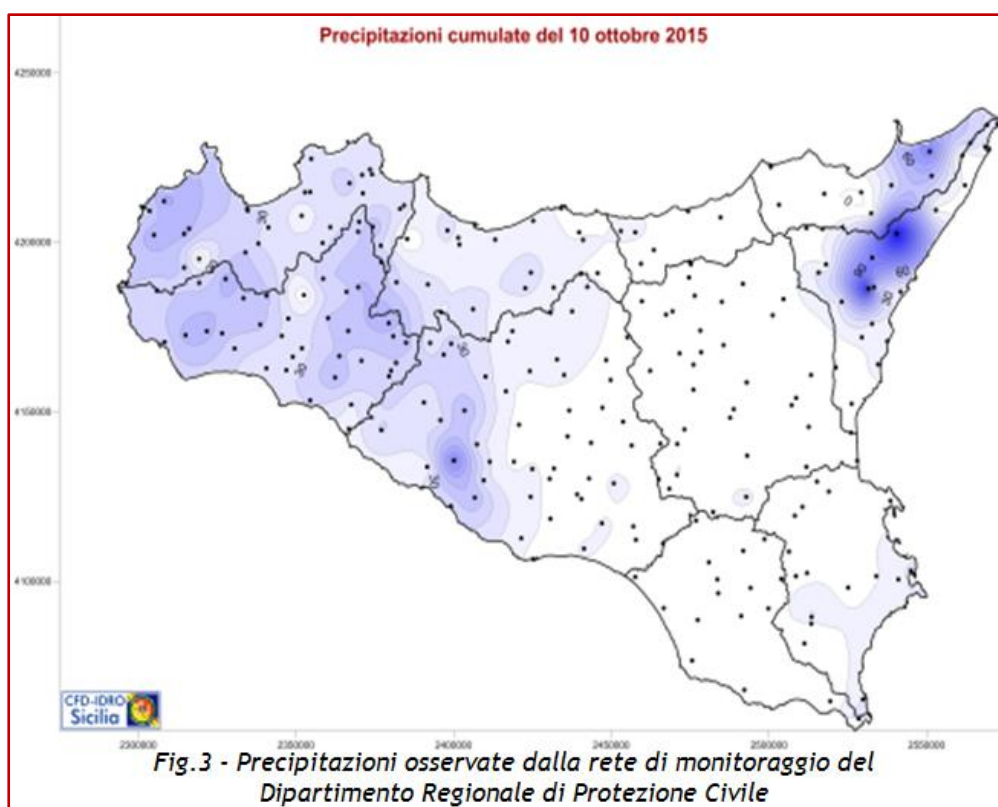
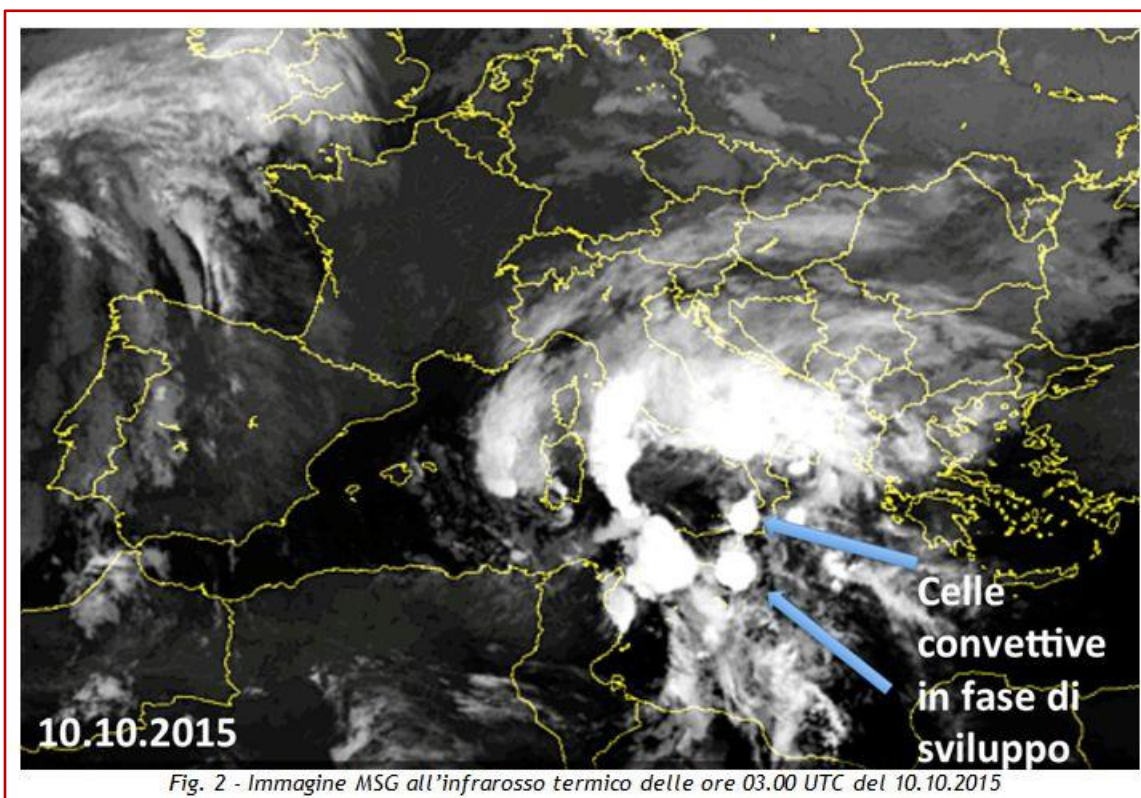
L'analisi delle mappe al suolo e a 500 hPa, ci consente di esprimere delle valutazioni sulle concause che hanno determinato l'evento stesso:

- l'intenso flusso sud-orientale che ha interessato la costa ionica durante tutto l'intervallo temporale considerato, ha convogliato enormi volumi di aria calda dalla Libia sin sul Tirreno centrale. Oltre al contenuto termico, tale massa d'aria si è arricchita di vapore acqueo, prelevato in larga parte dal Golfo della Sirte, dove le temperature della superficie marina, per il periodo considerato oscillavano tra i 25 e i 26 °C (fonte: Servizio Meteo Aeronautica Militare); tale situazione ha prodotto nella massa d'aria valori elevati di temperatura potenziale equivalente nei bassi strati. L'energia potenziale disponibile per la convezione - CAPE -, ha raggiunto punte superiori ai 4000 J/kg sui

mari a sud della Sicilia; rilevante in questa circostanza è stato l'effetto esercitato sia dalla valle dell'Alcantara che dalle valli laterali della catena dei Peloritani, che hanno permesso ad elevati volumi di aria caldo-umida di inoltrarsi per diverse decine di chilometri nell'entroterra;

- il sollevamento forzato dovuto alla catena dei Peloritani, disposti quasi ortogonalmente rispetto al flusso al suolo, ha favorito l'iniziale sollevamento della massa d'aria caldo-umida cui ha altresì contribuito la simultanea azione prodotta dell'Etna sul flusso in quota sud-occidentale;
- l'arrivo di un piccolo impulso freddo (probabilmente dovuto all'azione della cella convettiva sulla Sicilia occidentale, che ha favorito lo sviluppo dell'intero cluster di temporali secondo lo schema "*multicell cluster storm*");
- Il risultato finale di tali concause è stato lo sviluppo di due celle convettive ben visibili dall'immagine all'infrarosso delle ore 03 UTC (Fig. 2), che hanno interessato con precipitazioni intense e forti temporali l'intera costa ionica della Sicilia.

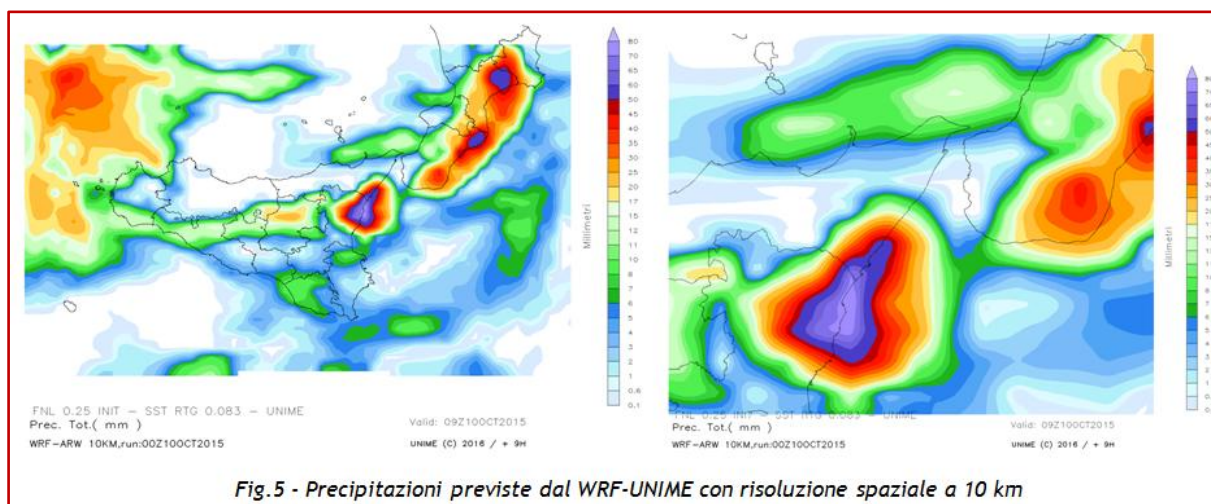
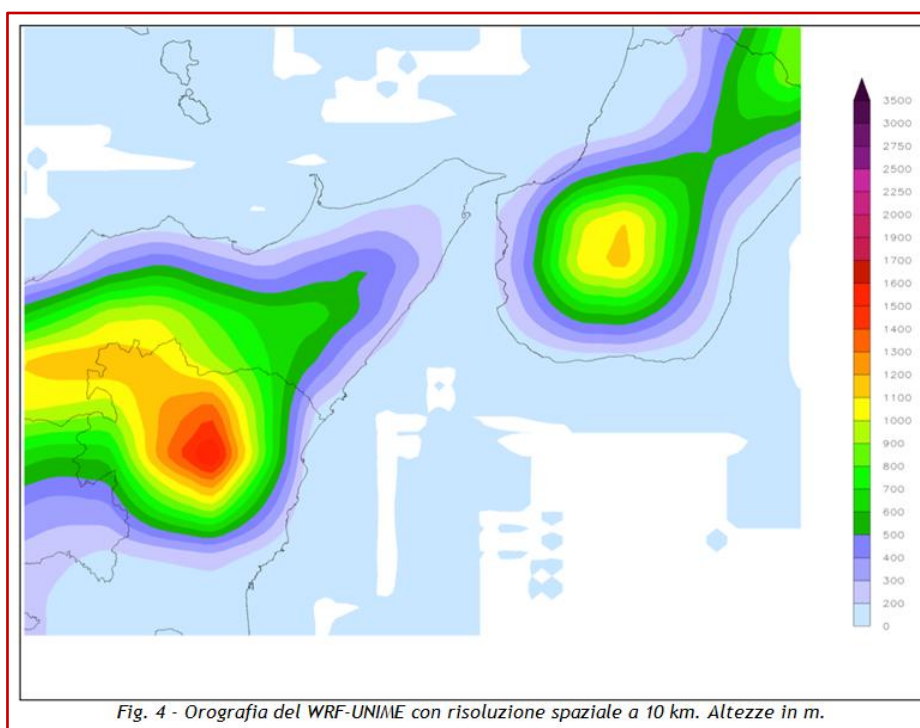
Tale situazione è stata quindi innescata da un iniziale sollevamento, evidentemente di natura meccanica, dello strato di aria calda prossimo al suolo, aiutato nel suo moto ascensionale dalla perturbazione dei flussi in quota, prodotta dall'Etna, investita invece da forti correnti sud-occidentali. Nella seguente figura 2, sono ben evidenti diverse celle convettive temporalesche, una delle quali interessa direttamente il messinese. Seppure di breve durata, i fenomeni sono stati tali da far registrare accumuli di pioggia in alcuni casi superiori a 175 millimetri nell'area di Antillo (Fig. 3) un quantitativo tale da determinare l'ondata di piena del



Torrente Mela, il cui straripamento ha dato luogo all'inondazione registrata sul territorio di Milazzo e Barcellona Pozzo di Gotto.

Per un LAM a risoluzione orizzontale di 10 km, la topografia reale non può essere ben rappresentata a causa delle dimensioni della griglia (Fig. 4). A tale risoluzione, il comparto orografico della Sicilia nord-orientale che comprende l'Etna, i Nebrodi ed i Peloritani, è rappresentato come un unico rilievo montuoso, per di più con altezze decisamente

inferiori a quelle reali. L'errore che tale modellizzazione topografica genera sulla simulazione è banalmente intuibile ed incide - fra gli altri - su due aspetti di rilevante importanza nella formulazione della previsione meteorologica: la stima delle velocità verticali e la divergenza dei flussi, che a loro volta condizionano in maniera marcata la genesi e lo sviluppo dei fenomeni precipitativi più intensi, mostrando una simulazione poco realistica (Fig.5).





E' stata successivamente condotta un'attività di miglioramento della risoluzione spaziale a livello orizzontale per un più corretto trattamento delle altimetrie e della localizzazione dei sistemi montuosi.

La configurazione utilizzata per le analisi dell'evento è definita da un *Nesting Two Way* con *parent domain* a risoluzione orizzontale di 4km esteso su tutta la Sicilia e i mari circostanti, e sub-domain con risoluzione orizzontale di 800m (ratio 1:5) limitato all'area etnea, al messinese e alle coste calabre (Fig.6).

Le condizioni iniziali e al contorno sono state generate dal modello globale NCEP FNL a 0.25 gradi di risoluzione con intervallo temporale

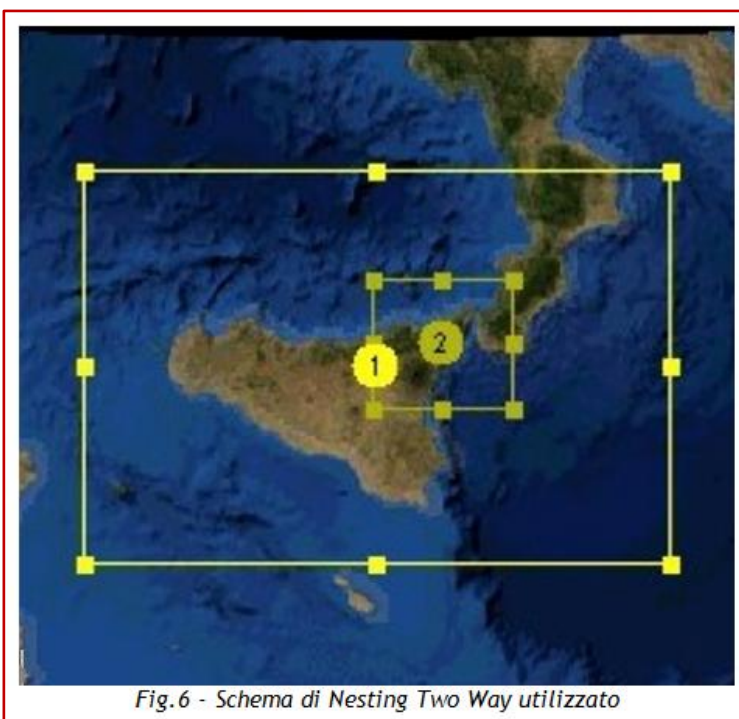
and Suarez, 1994). Sono stati inoltre utilizzati gli schemi Mellor-Yamada-Janjic (Janjic, 2002) per il boundary layer, l'Eta similarity surface layer (Janjic, 2002) e il Noah land surface model (Chen and Dudhia, 2001).

Lo schema microfisico utilizzato è il Thompson (Thompson et al., 2004), uno schema a doppio momento ben conosciuto ed ampiamente testato soprattutto nelle simulazioni ad alta risoluzione.

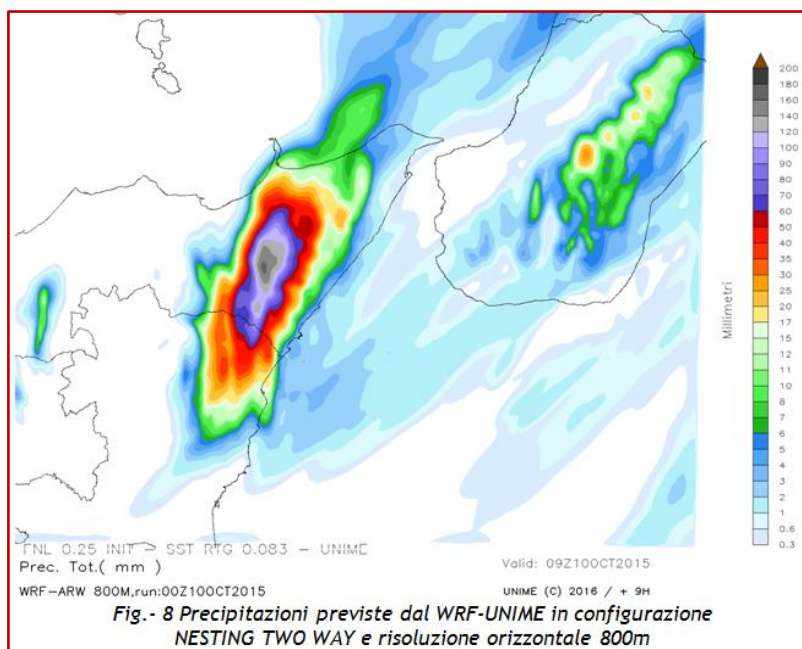
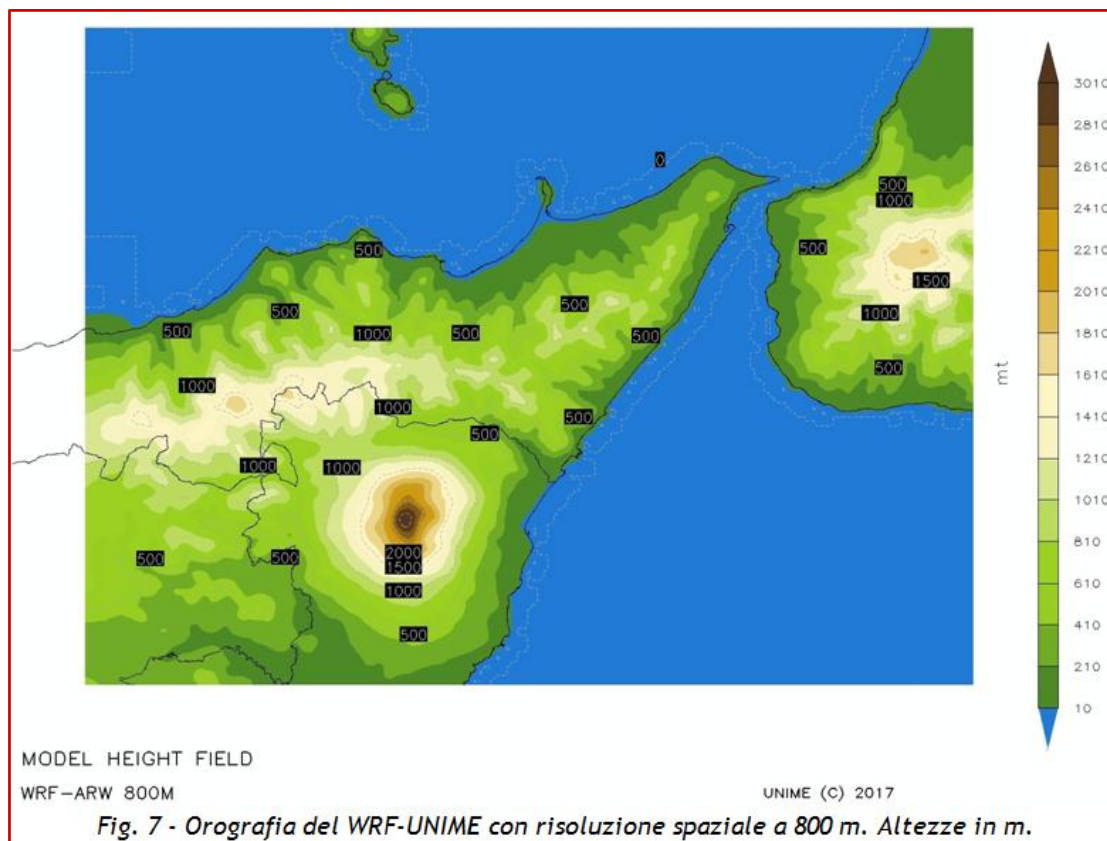
Per il parent-domain a 4km di risoluzione è stato utilizzato lo schema convettivo Kain Fritsch (Kain, 2004), mentre per il sottodominio alla risoluzione di 800m lo schema dei processi convettivi è esplicito.

Benché ciò abbia comportato un notevole dispendio in termini di risorse computazionali, è evidente l'importanza applicativa dello sviluppo. Il flusso sud-orientale nei bassi strati va ad impattare contro un poderoso sistema montuoso, rappresentato dal versante orientale dell'Etna (non più a 1500 m slm, bensì a 3300 m slm), innescando un notevole effetto stau, per espansione adiabatica della massa d'aria in risalita lungo il pendio. Adesso l'Etna "disturba" altresì il flusso della bassa troposfera, non più "libera", accentuando il wind-shear, già preesistente. I Peloritani, mal rappresentati nella versione a 10 km, adesso costituiscono un sistema montuoso molto vicino al mare di circa 1 km di altezza (Fig.7).

Nella simulazione tramite Nesting Two Way con sottodominio a 800m di risoluzione infatti i fenomeni vengono esaltati dall'orografia in maniera vistosa, mostrando un'ottima performance previsionistica del temporale di tipo V-Shaped che ha interessato il messinese nella notte del 10 Ottobre 2015 (Fig.8).



di 3h elaborate per il run 00z del 10 Ottobre 2015. Sono stati utilizzati dati di temperatura superficiale del mare RTG ad una risoluzione di 0.083 gradi. Per le radiazioni ad onda lunga è stato utilizzato lo schema RRTM (Rapid Radiation Transfer Model, Mlawer et al., 1997), mentre per le radiazioni ad onda corta è stato utilizzato lo schema Goddard (Chou



Way con sottodominio centrato nell'area interessata dalle precipitazioni alluvionali ha dato dei risultati positivi che hanno colto perfettamente sia la posizione del temporale a mesoscala di tipo V-Shaped, sia la localizzazione spaziale delle precipitazioni e dei quantitativi poi verificatisi.

Elemento determinante per la miglior previsione degli accumuli è risultato essere la tecnica del Nesting Two-Way ad 800 m di risoluzione, rispetto ad una configurazione single-run.

Il nesting è una tecnica di elaborazione del modello più

5. Discussione

Il test effettuato sull'episodio evidenzia che il modello WRF configurato tramite Nesting Two

accurata rispetto alle normali corse che utilizzano come condizioni al contorno (*Lateral Boundary Conditions, LBC*) i dati del Global Model, di risoluzione più bassa e con



frequenza di input, nel caso di FNL, trioraria. Nel nesting il sottodominio a risoluzione più elevata utilizza come LBC il dominio padre (*parent domain*), che presenta risoluzione orizzontale e verticale migliore rispetto alle condizioni dei Global Models. Inoltre le LBC del sottodominio sono fornite ad ogni *timestep* ($T+nestT$) del *parent domain*.

$T = \text{Timestep (Parent Domain)} / nestT = \text{Timestep sottodominio (T/ratio)}$

Le due possibili opzioni, da specificare al lancio di ogni simulazione, sono note con i termini:

- **One-Way Nesting** ove lo scambio di informazioni tra dominio padre (*parent domain*) e sottodominio è unidirezionale, in quanto il sottodominio utilizza le condizioni al contorno del *parent domain* già elaborato, senza effettuare una procedura di feedback del *parent domain*, più grossolano. Le LBC (*parent domain*) sono fornite al sottodominio, solitamente con cadenza oraria;
- **Two-Way Nesting** ove lo scambio di informazioni tra dominio padre (*parent domain*) e sottodominio è invece bidirezionale. La procedura di feedback ha un impatto sulla performance del *parent domain*. Le LBC del sottodominio includono variabili microfisiche e movimenti verticali e il sottodominio utilizza le LBC del *parent domain* ad ogni *timestep* ($T+nestT$).

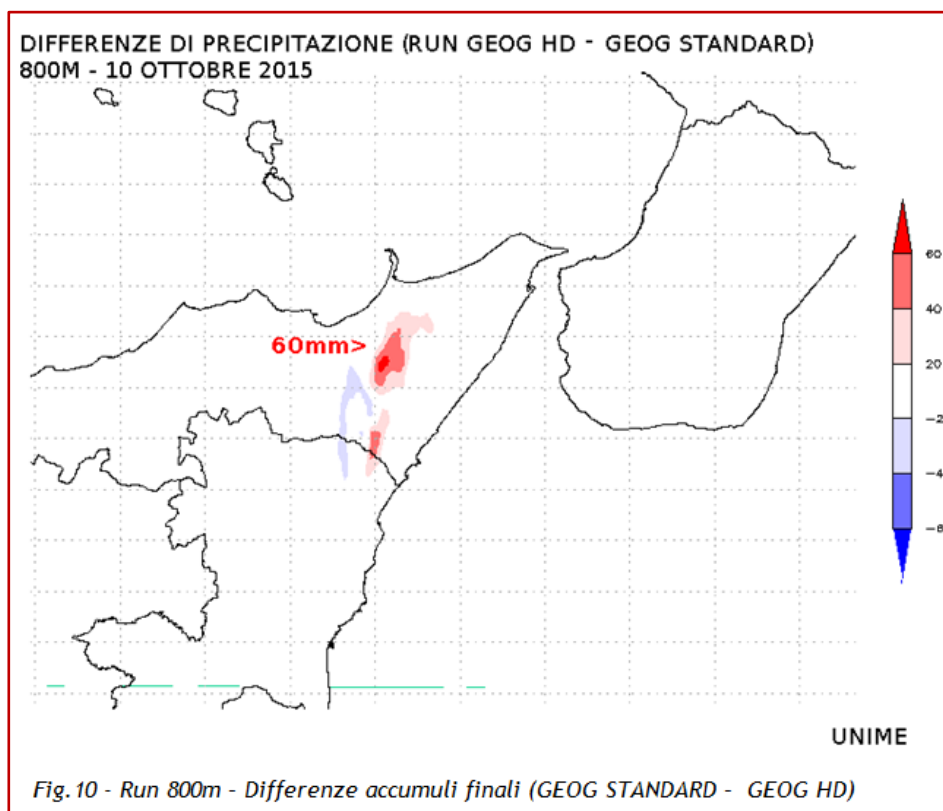
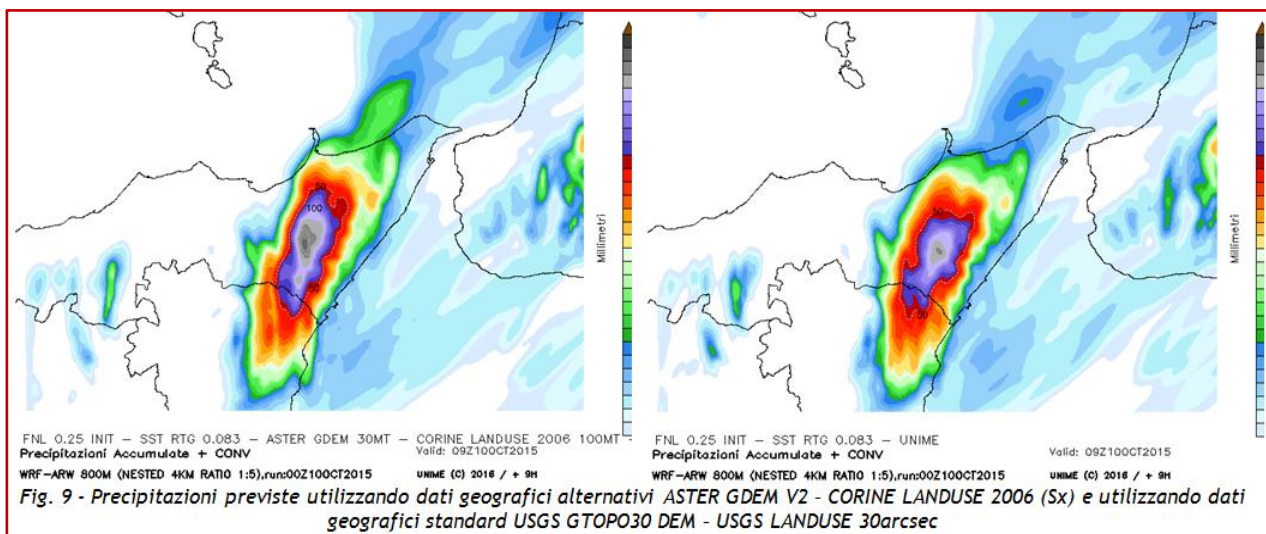
Sono state condotte analisi sia con configurazione Nesting One Way che Nesting Two Way che hanno consentito di affermare che la configurazione con Nesting Two Way ha permesso la miglior performance previsionistica degli accumuli finali.

6. Impatto di dati geografici alternativi per il forecasting di eventi temporaleschi a mesoscala

I dati geografici statici standard forniti insieme al core del modello WRF prevedono l'utilizzo del DEM (Digital Elevation Model) GTOPO30, rilasciato dall'USGS e con risoluzione orizzontale di 30arcsec (approssimativamente 1 km), insieme ai Landuse USGS (24 classi) anch'essi a 30arcsec di risoluzione o in alternativa i Landuse MODIS (20 classi) a 15arcsec di risoluzione. Per le simulazioni descritte nei paragrafi precedenti sono stati invece utilizzati dati geografici alternativi a quelli presenti nel pacchetto WRF. Il modello di elevazione digitale GTOPO30 sviluppato dall'USGS a 30 arcsec di risoluzione è stato sostituito con l'ASTER GDEM V2 prodotto da una collaborazione tra METI (Ministry of Economy, Trade, and Industry of Japan) e NASA nel 2011, ad 1 arcsec di risoluzione. I Landuse USGS a 30 arcsec di risoluzione sono stati sostituiti con i Landuse Corine 2006, sviluppati dall'EEA (European Environment Agency), a 3 arcsec di risoluzione, riclassificati sulle 24 classi dei Landuse USGS (Pineda et. al 2004).

Allo scopo di definire l'impatto di tali modifiche sul caso studio in oggetto è stato elaborato un nuovo *run* tramite Nesting Two Way con parametrizzazione identica a quella descritta nel paragrafo precedente, con la sola sostituzione dei dati geografici alternativi con quelli standard distribuiti insieme al modello WRF. Le immagini che seguono (Figg. 9 e 10) mostrano la comparazione tra il campo delle precipitazioni previste utilizzando i dati Landuse Corine.

In questo caso, il solo miglioramento dei dati Landuse, ha influito in maniera decisiva sulla previsione dei quantitativi di pioggia. Se infatti entrambe le previsioni non si discostano molto, per quanto riguarda la localizzazione spaziale dell'evento, la migliore rappresentazione del terreno ottenuta grazie all'utilizzo dei dati Landuse,



ha influito positivamente sulla previsione dei quantitativi di dati Landuse, ha influito positivamente sulla previsione dei quantitativi di precipitazione. Nel dettaglio della figura 10 è possibile evidenziare come le differenze ottenute raggiungano in alcune aree del territorio anche i 60 mm. L'aumento della risoluzione spaziale da 10 a 2 km e poi a 800

metri (Fig.11), oltre che migliorare nettamente la rappresentazione del territorio, ha permesso di ottenere un maggiore dettaglio dei principali campi meteorologici previsti e di conseguenza agevolare, la comprensione del fenomeno stesso. Non è ad esempio chiaro, guardando alla sola analisi sinottica, se e in quale misura

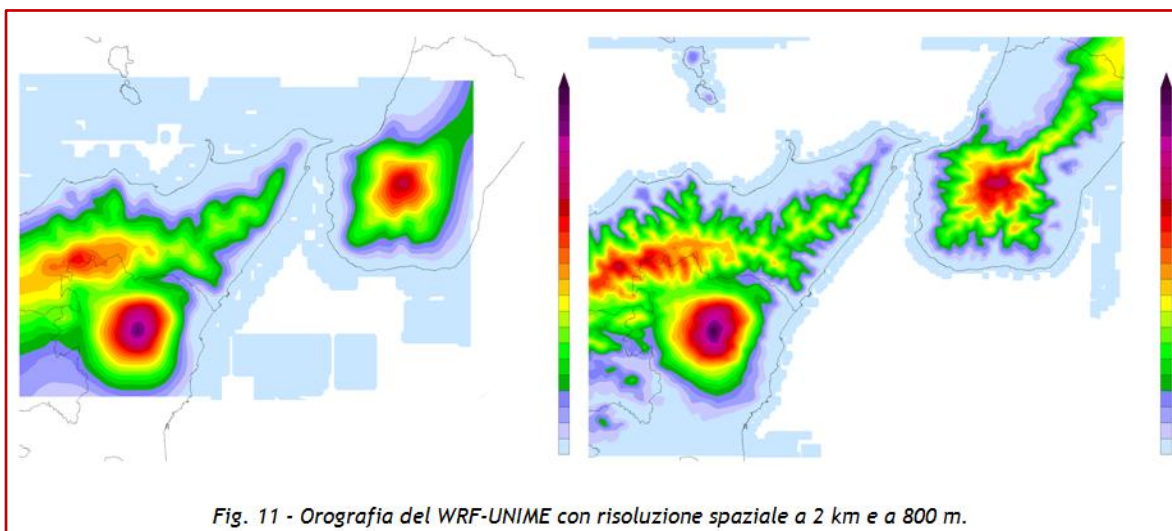


Fig. 11 - Orografia del WRF-UNIME con risoluzione spaziale a 2 km e a 800 m.

la perturbazione del flusso in quota prodotta dall'Etna, abbia avuto un ruolo determinante. L'immagine dei flussi d'aria "stream" (Fig.12), ricostruita a partire dall'output del modello alla risoluzione di 800 metri mediante il software "VAPOR" (Visualization and Analysis Platform for Ocean, Atmosphere, and Solar Researchers) prodotto dal National Center for Atmospheric Research's Computational and Information Systems Lab, può aiutare a chiarire molti dubbi in proposito e mettere in luce degli aspetti che altrimenti sfuggirebbero:

- il flusso di correnti sud-orientali al suolo, non appena inizia a sollevarsi, viene immediatamente "catturato" da quello sud-occidentale in quota più forte e predominante;
- l'iniziale sollevamento, piuttosto che avvenire in maniera uniforme lungo tutta la costa ionica, ha un'area privilegiata in corrispondenza della valle dell'Alcantara.

L'assenza di ostacoli orografici lungo la costa in corrispondenza della foce, permette infatti alle correnti caldo umide di risalire il corso della valle per diverse decine di chilometri, prima di venire sollevate;

- dopo un primo sollevamento, che avviene a ridosso dei monti posti alle spalle di Taormina, un secondo impulso, ben più forte del primo e dovuto all'onda generata dall'Etna, porta le particelle d'aria a salire fino a quote prossime alla tropopausa.

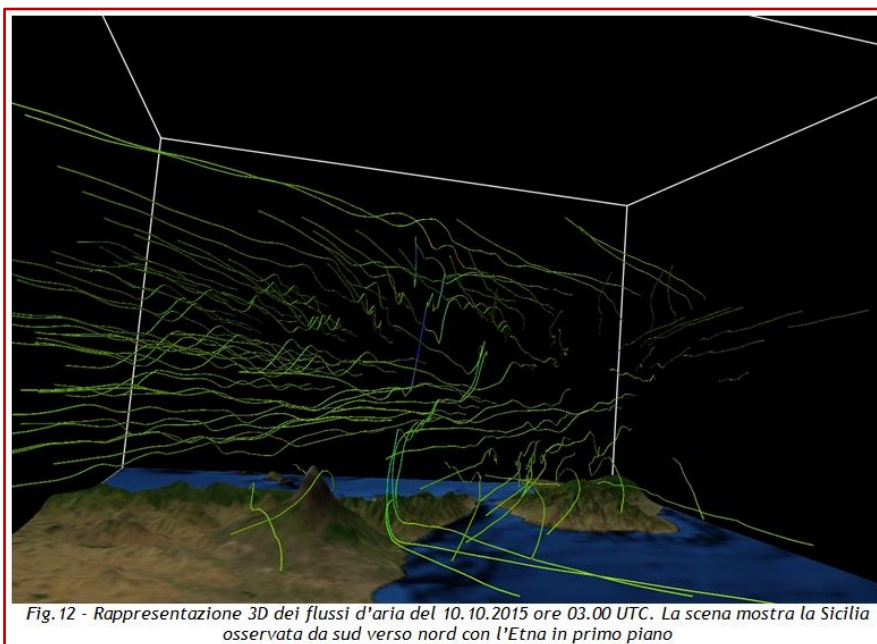


Fig. 12 - Rappresentazione 3D dei flussi d'aria del 10.10.2015 ore 03.00 UTC. La scena mostra la Sicilia osservata da sud verso nord con l'Etna in primo piano

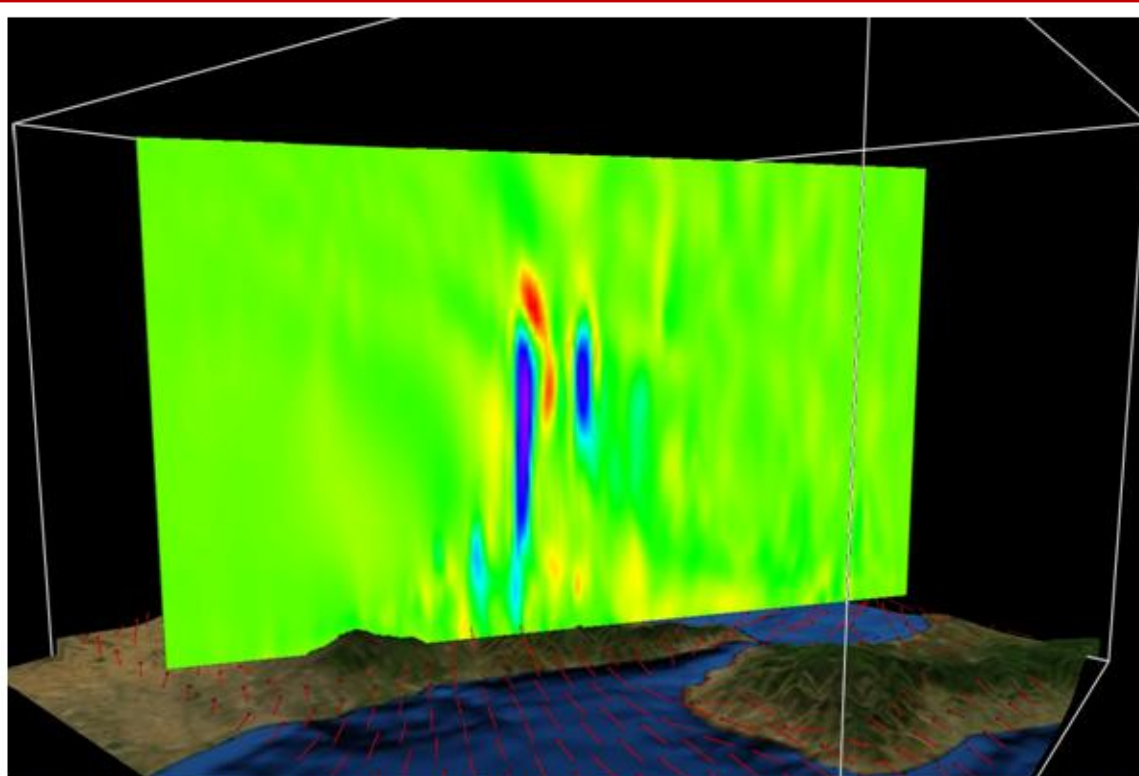


Fig. 13 - Sezione eseguita parallelamente alla linea di costa della componente verticale della velocità del vento (w). Il blu indica velocità verticali positive (ascendenze) ed il rosso negative (discendenze). I valori positivi raggiungono i 24 m/sec

Una sezione eseguita parallelamente alla linea di costa, in cui vengono mostrate le velocità verticali ed i flussi nei bassi strati (Fig. 13) ed il flusso turbolento (Fig. 14), rendono ancora più evidente l'effetto prodotto dall'Etna.

Un altro aspetto che il modello con risoluzione a 800 metri aiuta a cogliere è il così detto "effetto Alcantara". La definizione, si riferisce al ruolo, esercitato dalla valle dell' Alcantara, che

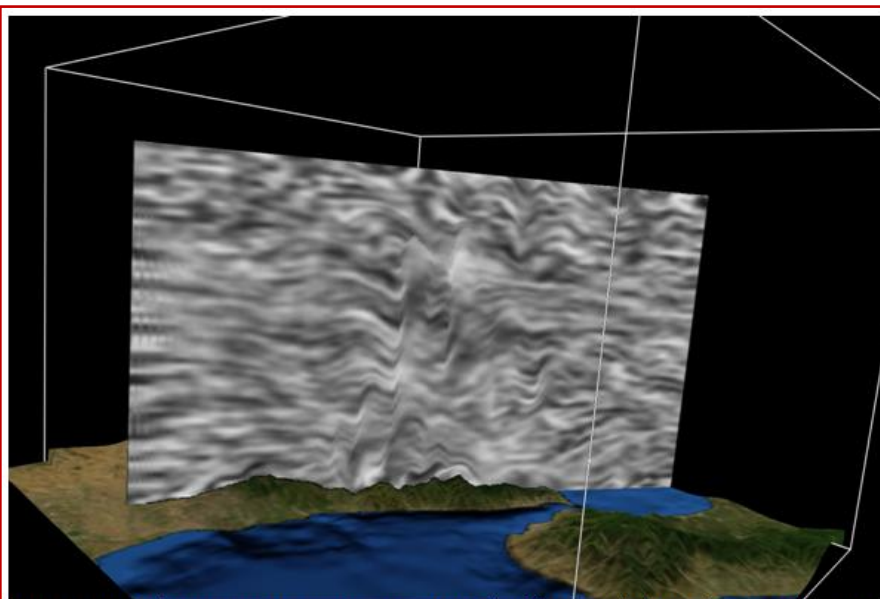


Fig. 14 - Visualizzazione ottenuta con VAPOR dei flussi turbolenti lungo una sezione parallela alla linea di costa

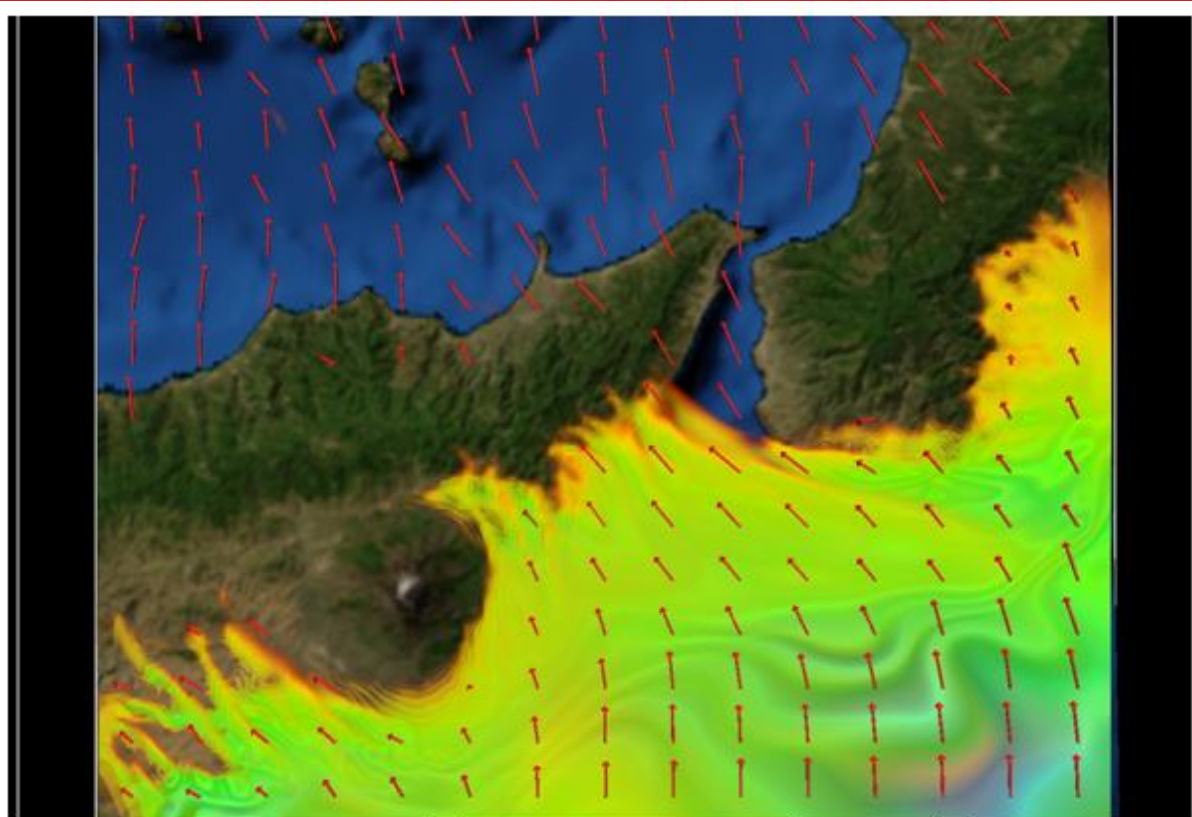


Fig. 15 - Quantità di vapore presente negli strati più bassi dell'atmosfera (1000 m) e flusso dei venti

nel caso di flussi al suolo provenienti da sud-est, favorirebbe l'ingresso verso l'entroterra, di enormi volumi di vapore per diverse decine di chilometri. L'aria molto umida, incanalandosi dentro la stretta vallata, sarebbe così costretta a valicare i primi comprensori montuosi, che rappresentano il versante più meridionale della dorsale dei Nebrodi e, costretta a sollevarsi lungo la parte più alta del bacino dell'Alcantara, favorirebbe la condensazione del vapore acqueo e il successivo sviluppo di imponenti annuvolamenti cumuli- formi. Questa situazione si verificò nelle prime ore del 10 ottobre ed è stata perfettamente ricostruita. La mappa (Fig.15) mostra infatti il campo QVAPOR, ovvero la quantità di vapore presente nella porzione più bassa dell'atmosfera (1000 metri) ottenuto con il

WRF. La risoluzione a 800 metri si è mostrata anche in grado di cogliere e restituire la struttura stessa della nube temporalesca. Nell'immagine (Fig. 16) viene evidenziata non solo la struttura morfologica della cella temporalesca, ma anche i flussi verticali presenti all'interno della nube e resi nell'immagine mediante la colorazione in viola per i flussi ascendenti ed in rosso e giallo per quelli discendenti.

6. Conclusioni

Per ottenere questi risultati, sono stati condotti dei *test* utilizzando differenti configurazioni. L'evento temporalesco del 10 ottobre 2015, utilizzato come "*case study*" ha permesso di comparare i dati osservati dalla rete delle stazioni meteorologiche siciliane,

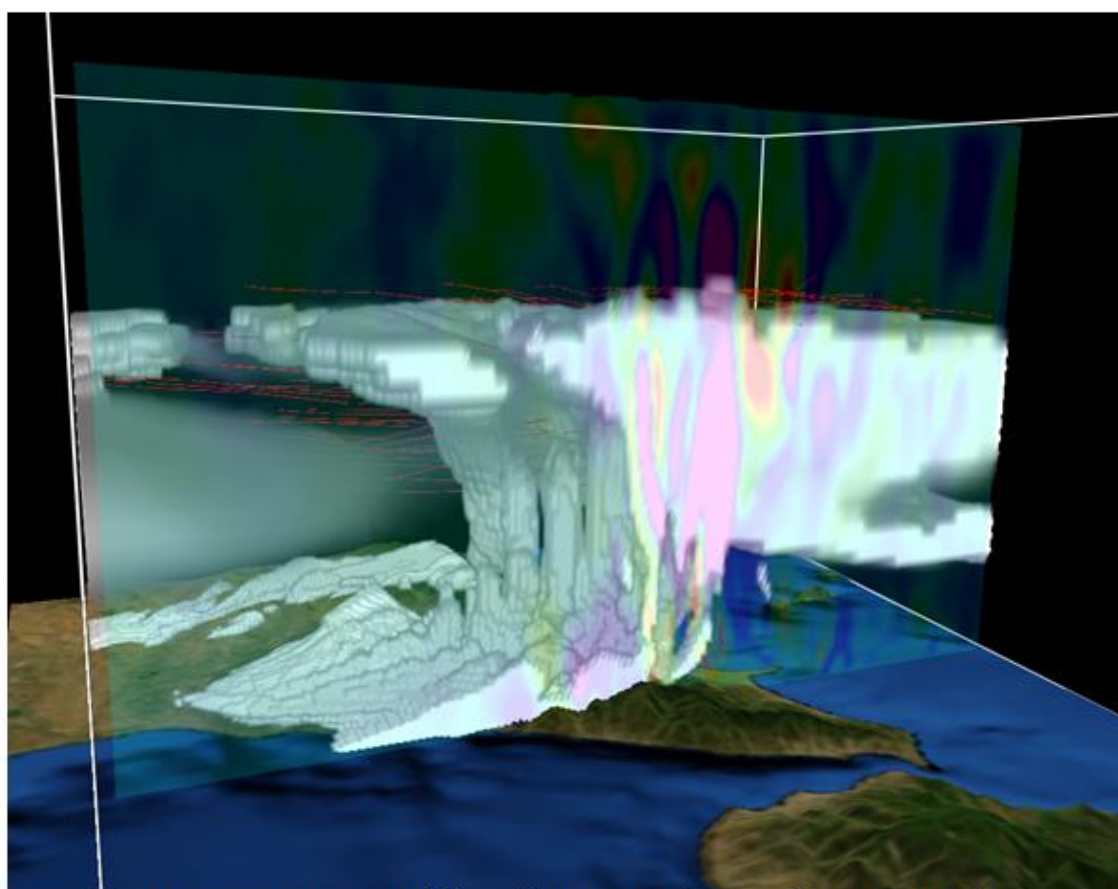


Fig. 16 - Struttura della cella temporalesca e flussi verticali

con gli *output* del modello nelle sue diverse configurazioni. In particolare sono stati messi a confronto i risultati previsti dal modello sul quantitativo e sulla distribuzione delle precipitazioni, al variare della risoluzione spaziale del modello. Analoghi *test* sulle precipitazioni sono stati condotti modificando la configurazione del modello mediante l'utilizzo di dati DEM alternativi e a maggiore risoluzione, così come sostituendo i dati Landuse dell'USGS con i dati CORINE. Infine, delle soluzioni come il "*nesting two way*" sono state adottate per ottimizzare e migliorare ulteriormente le performance del modello. I risultati ottenuti ci consentono di affermare che il miglioramento della risoluzione spaziale del modello, accoppiato all'utilizzo di dati DEM più precisi e di dati

Landuse più idonei a descrivere il territorio, costituiscono gli elementi chiave nella precisione della previsione, soprattutto su quelle aree geografiche come la Sicilia che sono caratterizzate dalla presenza di strutture orografiche complesse. Nonostante si tratti di "piccoli" aggiustamenti, l'influenza sui risultati del calcolo numerico, e quindi sulla previsione meteorologica, è risultato rilevante e di grande impatto. A maggior ragione se si pensa che su un territorio geologicamente instabile e complesso come appunto il messinese, una previsione di 10 o 20 millimetri di pioggia in più o in meno possono fare la differenza e consentire di salvare diverse vite umane.



Bibliografia

Beljaars, A.C.M., 1994: The parameterization of surface fluxes in large-scale models under free convection. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, 121, 255-270.

Betts, A. K., 1986: A new convective adjustment scheme. Part I: Observational and theoretical basis. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, 112, 677-691.

Betts, A. K., and M. J. Miller, 1986: A new convective adjustment scheme. Part II: Single column tests using GATE wave, BOMEX, and arctic air-mass data sets. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, 112, 693-709.

Caccamo M.T., G. Castorina, F. Colombo, V. Insinga, E. Maiorana, S. Magazù' 2017: Weather forecast performances for complex orographic areas: impact of different grid resolutions and of geographic data on heavy rainfall event simulations in Sicily. *Atmospheric Research* 198 (2017) 22-33

Chen, F., and J. Dudia, 2000: Coupling an advanced land-surface/ hydrology model with the Penn State/ NCAR MM5 modeling system. Part I: Model description and implementation. *Mon. Wea. Rev.*, in press.

Chen, S.-H., and W.-Y. Sun, 2002: A one-dimensional time dependent cloud model. *J. Meteor. Soc. Japan*, 80, 99-118.

Chen, S.-H., and J. Dudhia, 2000: Annual report: WRF physics, Air Force Weather Agency, 38pp.

Chou M.-D., and M. J. Suarez, 1994: An efficient thermal infrared radiation parameterization for use in general circulation models. *NASA Tech. Memo.* 104606, 3, 85pp.

Clyne, J., Mininni, P., Norton, A., and Rast, M. "Interactive desktop analysis of high resolution simulations: application to turbulent plume dynamics and current sheet formation", *New Journal of Physics* 9 (2007) 301.

Clyne, J. and Rast, M. "A prototype discovery environment for analyzing and visualizing terascale turbulent fluid flow simulations", in *proceedings of Visualization and Data Analysis 2005*, pp. 284-294, January 2005.

Dudia, J., 1989: Numerical study of convection observed during the winter monsoon experiment using a mesoscale two-dimensional model. *J. Atmos. Sci.*, 46, 3077-3107.

Dyer, A. J., and B. B. Hicks, 1970: Flux-gradient relationships in the constant flux layer. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, 96, 715-721.

Hong, S.-Y., and H.-L. Pan, 1996: Nonlocal boundary layer vertical diffusion in a medium-range forecast model. *Mon. Wea. Rev.*, 124, 2322-2339.

Hong, S.-Y., H.-M. H. Juang, and Q. Zhao, 1998: Implementation of prognostic cloud scheme for a regional spectral model, *Mon. Wea. Rev.*, 126, 2621-2639.

Janjic, Z. I., 1990: The step-mountain coordinate: physical package. *Mon. Wea. Rev.*, 118, 1429-1443.

Janjic, Z. I., 1994: The step-mountain eta coordinate model: further developments of the convection, viscous sublayer and turbulence closure schemes. *Mon. Wea. Rev.*, 122, 927-945.

Janjic, Z. I., 1996a: The surface layer in the NCEP Eta Model. Eleventh Conference on Numerical Weather Prediction, Norfolk, VA, 19-23 August 1996; *Amer. Meteor. Soc.*, Boston, MA, 354-355.

Janjic, Z. I., 2000: Comments on "Development and Evaluation of a Convection Scheme for Use in Climate Models." *Journal of the Atmospheric Sciences*, Vol. 57, p. 3686.

Janjic, Z. I., 2002: Nonsingular Implementation of the Mellor-Yamada Level 2.5 Scheme in the NCEP Meso model. NCEP Office Note No. 437, 61 pp.

Kessler, E., 1969: On the distribution and continuity of water substance in atmospheric circulation. *Meteor. Monogr.*, No. 32, *Amer. Meteor. Soc.*, 84pp.

Kain, J. S., and J. M. Fritsch, 1990: A one-dimensional entraining/ detraining plume model and its application in convective parameterization. *J. Atmos. Sci.*, 47, 2784-2802.

Kain, J. S., and J. M. Fritsch, 1993: Convective parameterization for mesoscale models: The Kain-Fritsch scheme. The representation of cumulus convection in numerical models, K. A. Emanuel and D.J. Raymond, Eds., *Amer. Meteor. Soc.*, 246 pp.

Lacis, A. A., and J. E. Hansen, 1974: A parameterization for the absorption of solar radiation in the earth's atmosphere. *J. Atmos. Sci.*, 31, 118-133.

Lin, Y.-L., R. D. Farley, and H. D. Orville, 1983: Bulk parameterization of the snow field in a cloud model. *J. Climate Appl. Meteor.*, 22, 1065-1092.

Meng, C.-H., 1984: A large-eddy-simulation model for the study of planetary boundary-layer turbulence. *J. Atmos. Sci.*, 41, 2052-2062.



Meng, C.-H., and J. C. Wyngaard, 1989: Evaluation of turbulence and dissipation closures in second-order modeling. *J. Atmos. Sci.*, 46, 2311-2330.

Mlawer, E. J., S. J. Taubman, P. D. Brown, M. J. Iacono, and S. A. Clough, 1997: Radiative transfer for inhomogeneous atmosphere: RRTM, a validated correlated-k model for the long-wave. *J. Geophys. Res.*, 102 (D14), 16663-16682.

Monin, A.S. and A.M. Obukhov, 1954: Basic laws of turbulent mixing in the surface layer of the atmosphere. *Contrib. Geophys. Inst. Acad. Sci. USSR*, (151), 163-187 (in Russian).

Paulson, C. A., 1970: The mathematical representation of wind speed and temperature profiles in the unstable atmospheric surface layer. *J. Appl. Meteor.*, 9, 857-861.

Rutledge, S. A., and P. V. Hobbs, 1984: The mesoscale and microscale structure and organization of clouds and precipitation in midlatitude cyclones. XII: A diagnostic modeling study of precipitation development in narrow cloud-frontal rainbands. *J. Atmos. Sci.*, 20, 2949-2972.

Scotton R. Mercalli L., Castellano C., Cat Berro D. Introduzione ai modelli numerici di previsione meteorologica (NWP) Ninbus 29-30

Stephens, G. L., 1978: Radiation profiles in extended water clouds. Part II: Parameterization schemes. *J. Atmos. Sci.*, 35, 2123-2132.

Tao, W.-K., 1989: An ice-water saturation adjustment. *Mon. Wea. Rev.*, 117, 231-235. Webb, E. K., 1970: Profile relationships: The log-linear range, and extension to strong stability. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, 96, 67-90.

Zilitinkevich, S.S., 1995: Non-local turbulent transport: pollution dispersion aspects of coherent structure of convective flows. In: *Air Pollution III - Volume I. Air Pollution Theory and Simulation* (Eds. H. Power, N. Moussiopoulos and C.A. Brebbia). Computational Mechanics Publications, Southampton Boston, 53-60.