

Analisi della performance del modello WRF con l'utilizzo di due set di suolo differenti (CORINE E MODIS)

Autore: Pace Luca, lucapace.91@gmail.com

Supervisori: Prof. Mario Marcello Miglietta, mmigliettaster@gmail.com; Dott. Enrico Maggioni, enrico.maggioni@ideamweb.com; Dott. Alessandro Perotto, alessandro.perotto@ideamweb.com.

Abstract: La classificazione dell'utilizzo del suolo risulta essere estremamente importante all'interno di un modello meteorologico, in quanto consente a quest'ultimo di stimare alcune importanti caratteristiche superficiali come l'albedo, l'altezza di rugosità, l'umidità del suolo, l'inerzia termica e i flussi di calore sensibile e latente. Ciascuna tipologia di uso del suolo presenta determinate proprietà fisiche che possono condizionare parametri fondamentali quali la temperatura, l'umidità, il vento e le precipitazioni di una determinata area. In questo lavoro, sono state analizzate e confrontate le previsioni del modello WRF che utilizza il database di land-use globale "MODIS", con quelle dello stesso modello che usano il database di utilizzo del suolo europeo "CORINE", prendendo in considerazione alcuni capoluoghi italiani. Dall'analisi dei risultati emerge come, in particolare in alcune città, una diversa rappresentazione della tipologia di suolo, permette al modello di migliorare o peggiorare notevolmente le sue prestazioni, soprattutto nella previsione dei valori massimi e minimi di temperatura. È stato possibile anche valutare il miglioramento che in molti casi si è ottenuto riducendo il passo di griglia del modello da 6 a 3 km. Tuttavia, da questa analisi, con le caratteristiche testate e per queste località risulta generalmente bassa la qualità di previsione della precipitazione e del vento a 10 m.

Parole chiave: WRF, Modis Land Cover, Corine Land Cover, Land Use

1. Introduzione

1.1. Il modello WRF

Il modello atmosferico WRF (Weather Research and Forecasting model), è un codice open-source sviluppato, a partire dalla fine degli anni '90, dalla collaborazione tra il National Center for Atmospheric Research (NCAR), la National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), e l'Air Force Weather Agency (AFWA). WRF è un sistema di previsione numerica di mesoscala di ultima generazione, concepito sia per la ricerca sia per le previsioni operative dello stato del tempo.

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.

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 ha il compito di scompattare e riformattare i GRIB dei modelli globali utilizzati come condizioni iniziali e al contorno, 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 (Pineda 2004). La fase finale del processo è costituita dalla produzione dei dati di output originata dal software WRF, dal calcolo delle varie variabili diagnostiche e dalla successiva produzione grafica (post-processing).

WRF è dotato di due "core" che governano la dinamica del modello: l'Advanced Research WRF (ARW), codice di calcolo sviluppato da

NCAR, in grado di simulare diverse tipologie di eventi meteorologici con diverse risoluzioni spaziali, e 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. 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 è possibile modificarne i codici (equazioni comprese). Esso è anche facilmente configurabile: tramite opportuni files (detti namelist) si possono scegliere le impostazioni da dare ai molti parametri dinamici e fisici presenti nel codice. Il sistema è in grado di simulare le condizioni atmosferiche in un ampio range di scale: dalle decine di metri, fino alle centinaia di km. WRF è supportato da NCAR, che ne cura lo sviluppo e l'aggiornamento tramite rilasci periodici.

I dati utilizzati in questo studio provengono dalla versione 3.9 del modello ARW-WRF, fatto girare su due diverse griglie, 3 e 6 km. Lungo la verticale, il modello conta su 37 livelli, con top collocato a 500 hPa. Le condizioni iniziali e al contorno derivano dal modello globale deterministico GFS (Global Forecast System) con una risoluzione orizzontale di 0,25°. Di seguito le principali parametrizzazioni utilizzate nella presente configurazione:

- Microfisica: schema WSM5 a 5 classi (rain, cloud, snow, ice, vapour);
- Radiazione onda corta e onda lunga: RRTMG;
- Strato superficiale: Revised scheme MM5 surface layer;
- Surface physics: 5 layer thermal diffusion;
- Boundary layer: Yonsei University Scheme;
- Convezione: Kain_Fritsch.

1.2. Importanza del land use in un modello meteorologico

La tipologia e le caratteristiche del suolo sono una forzante in grado di condizionare in maniera importante la circolazione atmosferica alla mesoscala; ecco perché la necessità di

rappresentare in modo sempre più realistico e dettagliato l'effettivo utilizzo del suolo è diventata col passare degli anni un'esigenza primaria nello sviluppo dei modelli meteorologici (Chen e Dudhia 2001).

Il *land use* è un parametro in grado di descrivere le proprietà del suolo, comprese le modifiche che questo ha subito a causa delle varie attività antropiche e dell'urbanizzazione. Esso regola lo scambio di calore e momento tra suolo e aria, che nei modelli numerici va ad incidere sul calcolo delle principali grandezze meteorologiche superficiali (umidità, vento a 10 m, temperatura a 2 m). È stato ampiamente dimostrato, ad esempio, come la presenza di un'area urbana determini effetti sostanziali sulle dinamiche meteorologiche anche dell'area circostante (Civerolo et al. 2000). L'introduzione di una nuova classificazione di *land use* o un aggiornamento della sua distribuzione spaziale possono avere un importante impatto sui flussi turbolenti di calore che condizionano in maniera diretta il ciclo diurno del Planetary Boundary Layer (Kim et al. 2013). Alcuni studi (Grossman-Clarke et al. 2005) hanno mostrato l'impatto del set di *land use* utilizzato sulla qualità della previsione delle temperature massime e minime superficiali, così come dei campi di precipitazione e vento (Cheng et al. 2013), ma anche dei profili verticali di vapore acqueo (Fedele et al., 2015). D'altronde non solo cementificazione ed urbanizzazione, ma anche processi quale la conversione di aree forestali a zone destinate a piantagioni per la produzione di olio di palma e gomma hanno modificato la struttura della canopy di regioni del sud est asiatico, come l'Indonesia, con importanti conseguenze dal punto di vista microclimatico, in termini di umidità del suolo e di temperature registrate (Meijide et al. 2018). Molti articoli scientifici hanno analizzato il ruolo giocato dall'eterogeneità del suolo all'interno dei modelli atmosferici, ed è emersa una visione comune riguardo al fatto che una migliore rappresentazione ed un periodico aggiornamento dei cambiamenti di uso del suolo rappresenti un importante aspetto da tenere in considerazione quando si vuole migliorare la performance di un modello meteorologico. (Cheng 2013, Lam 2006). Nelle zone caratterizzate da una morfologia complessa e bruschi pendii, è opportuno anche aumentare la risoluzione di griglia del modello (Arnold et al. 2012). Nella configurazione di default, il modello

WRF utilizza database di *land use* globali derivati da satellite (“USGS”, derivato da osservazioni AVHRR e “MODIS”, derivato da osservazioni del sensore omonimo). I due set di *land use* applicati al modello WRF e confrontati in questo lavoro sono il CORINE *Land Cover* e il MODIS *Land Cover*. Si tratta di set che differiscono tra loro per molti aspetti, a partire dal numero di classi, dalla risoluzione spaziale e dal dominio di interesse. In entrambi i set, ciascuna categoria di uso del suolo è caratterizzata da sei parametri fisici, quali l'altezza di rugosità, l'inerzia termica, la quantità di umidità nel suolo, l'albedo, l'emissività e la capacità termica superficiale. Il valore di questi parametri superficiali nel modello varia a seconda delle categorie di uso del suolo e dalla stagione.

1.3. MODIS Land Cover e CORINE Cover Land

Introduciamo ora i due dataset di uso del suolo che sono stati oggetto di questo studio, illustrandone le principali caratteristiche e le rispettive classificazioni.

Il MODIS *Land Cover* è costituito da un set di dati scientifici che mappano la copertura del suolo globale con una risoluzione spaziale di 500 metri su un intervallo temporale di un anno, secondo sei diverse classificazioni di copertura del suolo. I dati provengono dalle osservazioni del sensore MODIS (Moderate-resolution Imaging Spectroradiometer) che si trova a bordo dei satelliti Terra (EOS AM) ed Aqua (EOS PM) della NASA, lanciati rispettivamente nel 1999 e nel 2002 e progettati per l'osservazione della Terra. Per quanto concerne la classificazione, MODIS utilizza un insieme di 17 classi di copertura del suolo che è stato sviluppato dal “International Geosphere-Biosphere Programme Data and Information System” (IGBP-DIS) con lo scopo di creare delle classi che risultassero ben distinguibili tramite telerilevamento e fossero direttamente correlate alle caratteristiche fisiche della superficie, in particolare alla vegetazione. L'adozione di questo sistema di classificazione è legata al fatto che è stato sviluppato per un prodotto di copertura del suolo globale avente una risoluzione e uno scopo (parametrizzazione biofisica per la modellazione) simili a quella di MODIS (Loveland e Belward, 1997).

Il CORINE *Land Cover* (CLC) è un progetto nato nel 1985 a livello europeo specificamente per il rilevamento e il monitoraggio delle caratteristiche di copertura e uso del territorio, con particolare attenzione alle esigenze di tutela ambientale. Il CLC fornisce informazioni coerenti sulla copertura del suolo e sui cambiamenti nell'uso del suolo in tutta Europa. Questo inventario è stato avviato nel 1985 (anno di riferimento 1990) e ha creato una serie temporale della copertura del suolo con aggiornamenti nel 2000, nel 2006 e nel 2012. I prodotti CLC derivano da un lavoro di fotointerpretazione di immagini satellitari a cui partecipano i team di ogni Stato Membro dell'Agencia Europea per l'Ambiente e i paesi cooperanti. Il processo produttivo ha seguito una metodologia e una nomenclatura standard. La scala adottata è di 1:100.000, con un'unità di mappatura minima (MMU) di 25 ettari per gli elementi areali e una larghezza minima degli elementi lineari di 100 metri. Per quanto riguarda la nomenclatura, CORINE utilizza una classificazione organizzata secondo tre livelli gerarchici e 44 classi. Gli inventari nazionali sulla copertura del suolo derivati da questo lavoro sono stati successivamente integrati creando una mappa della copertura del suolo continua su tutta Europa (Fig.1).

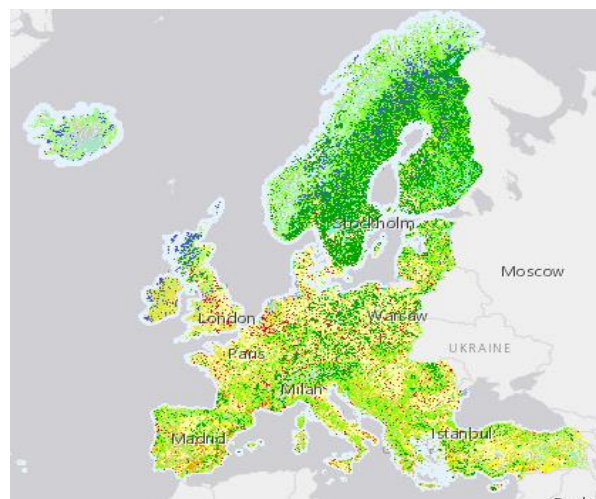


Fig. 1 Mappa di copertura del suolo europeo secondo l'ultima versione di CORINE Land Cover (2012), <https://land.copernicus.eu/pan-european/corine-land-cover/clc-2012>

L'“Eionet network National Reference Centres Land Cover” (NRC/LC) si occupa della produzione dei database CLC nazionali, che sono

coordinati ed integrati dall'EEA (European Environment Agency). Il CORINE Land Cover è stato prodotto dalla maggior parte dei Paesi tramite interpretazione visiva di immagini satellitari ad alta risoluzione, mentre solamente in pochi Paesi sono state adottate soluzioni semiautomatiche, utilizzando dati nazionali, elaborazione di immagini satellitari, integrazione GIS e successiva generalizzazione. La versione 2012 è la prima che incorpora le serie temporali CLC nel programma "Copernicus", garantendo così finanziamenti sostenibili per il futuro.

Confrontando le classificazioni utilizzate dai due dataset di *land use* appena presentati, appare evidente come, per rendere possibile un successivo confronto dei risultati tra simulazioni che utilizzano in modo alternativo i due database,

occorra procedere con un'opera di conversione delle due classificazioni, creando così una corrispondenza tra le varie categorie di utilizzo del suolo presenti nei due dataset. Si è deciso per questo motivo di convertire le classi utilizzate da MODIS e aggregare quelle utilizzate da CORINE, prendendo per entrambi come riferimento le classi di *land use* di USGS utilizzate in WRF (Tabella 1). Il criterio adottato per la definizione di tali corrispondenze è quello della similarità degli enti fisici presenti nella classe (es. aree verdi urbane come prati d'erba naturale, vigne considerate arbusti, ecc.). In particolare, l'aggregazione e la riclassificazione delle 44 categorie di CLC nelle 24 di USGS è stata effettuata seguendo il metodo utilizzato da Pineda et. al (2004) e la loro tabella di conversione.

Tabella 1. Conversione e aggregazione delle classi di *land use* di CORINE e MODIS alla classificazione USGS; il principio è lo stesso utilizzato in precedenti lavori (Pineda et al., 2004)

CORINE Land Use Categories		USGS Land Use Categories		MODIS Land Use Categories	
1	Continuous urban fabric	1	Urban and Built Up Land	13	Urban and Built-up Lands
2	Discontinuous urban fabric				
3	Industrial or commercial units				
4	Road and rail networks and associated land				
5	Port areas				
6	Airports				
7	Mineral extraction sites				
8	Dump sites				
9	Construction sites				
10	Green urban areas				
11	Sport and leisure facilities				
12	Non-irrigated arable land	2	Dryland Cropland and Pasture		
18	Pastures				
13	Permanently irrigated land	3	Irrigated Cropland and Pasture	12	Croplands
14	Rice elds				
19	Annual Crops & Permanent Crops	5	Cropland/Grassland mosaic	14	Cropland/Natural Vegetation Mosaics
20	Complex cultivation patterns				
21	Mixed Agriculture & Natural Vegetation				
22	Agro-Forestry Areas				
26	Natural grassland	7	Grassland	10	Grasslands
27	Moors and heathland	8	Shrubland	6	Closed Shrublands
28	Sclerophyllous vegetation				
29	Transitional woodland shrub				
15	Vineyards	9	Mixed Shrubland/Grassland	7	Open Shrublands
16	Fruit Trees and berry Plantations				
17	Olive Groves				
		10	Savanna	8	Woody Savannas
				9	Savannas

23	Broad-leaved forest	11	Deciduous broadleaf forest	4	Deciduous Broadleaf Forests
		12	Deciduous Needleleaf Forests	3	Deciduous Needleleaf Forests
		13	Evergreen Broadleaf Forests	2	Evergreen Broadleaf Forests
24	Coniferous forest	14	Evergreen Needleleaf Forest	1	Evergreen Needleleaf Forests
25	Mixed Forest	15	Mixed forest	5	Mixed Forests
40	Water courses	16	Water Bodies	17	Water
41	Water bodies				
42	Coastal lagoons				
43	Estuaries				
44	Sea and ocean				
35	Inland marshes	17	Herbaceous wetlands	11	Permanent Wetlands
36	Peat bogs				
37	Salt marshes				
38	Salines				
39	Intertidal flats				
30	Beaches, dunes, and sand plains	19	Barren or Sparcely Vegetated	16	Barren
31	Bare rock				
32	Sparsely vegetated areas				
33	Burnt areas				
34	Glaciers and perpetual snow	24	Snow or ice	15	Permanent Snow and Ice

2. Materiali e metodi

L'obiettivo di questo lavoro è quello di capire quale sia il peso che un dataset di uso del suolo ha all'interno della performance previsionale del modello WRF. Per fare ciò, ho deciso di confrontare ed analizzare i valori di alcuni parametri meteorologici, osservati nei 20 capoluoghi di regione italiani, con i valori previsti per quelle località dal modello WRF, avente come *land use* dataset rispettivamente MODIS e CORINE. Per il confronto con i dati osservati, viene utilizzato il punto del grigliato del modello più vicino alle coordinate del centro della città; non sono stati fatti downscaling puntuali, proprio perché l'intento è stato quello di concentrarsi sulla performance pura del modello. L'analisi è stata effettuata prendendo in considerazione i dati relativi al periodo Aprile 2017-Marzo 2018 per quanto riguarda il WRF con un grigliato di risoluzione di 6 km, mentre per quanto concerne il WRF con 3 km di griglia risolutiva, si è considerato il trimestre Aprile-Giugno 2017.

I parametri meteorologici su cui ho deciso di lavorare sono: la temperatura a 2 m, la precipitazione e il vento a 10 m; per quanto riguarda le osservazioni relative ai 20 capoluoghi, i dati che ho utilizzato provengono per la maggior parte da bollettini METAR, o, in mancanza di questi, da stazioni appartenenti alla rete osservativa "meteo network". I dati di previsione, invece, estrapolati dai rispettivi database, corrispondono alla previsione elaborata dal modello 24 ore prima dell'evento. Sia le osservazioni che le previsioni presentano valori "orari".

Il primo passo è stato quello di ripulire i dati relativi alle osservazioni: in quasi tutte le stazioni, infatti, sono presenti dei "buchi" osservativi nel periodo considerato e, in alcuni casi, dei valori chiaramente non coerenti per quanto riguarda i tre parametri presi in considerazione. La scelta è stata quella di cancellare i valori orari in cui l'osservazione è mancante e/o palesemente errata e, di conseguenza, anche le previsioni ad essi riferiti. Il numero di valori depurati, tuttavia, risulta essere per tutte le stazioni estremamente piccolo (mai superiore allo 0,57%), e quindi non inficia la qualità della successiva analisi statistica.

Per ciascuno dei tre parametri considerati, sono stati fatti due differenti confronti: il primo, su scala annuale, tra i valori osservati e quelli previsti con MODIS e CORINE dal modello WRF a 6 km; il secondo, nel trimestre Aprile-Giugno 2017, tra valori osservati e quelli previsti con i due differenti *land use* dataset dal modello WRF a 3km. I risultati ricavati sono stati quindi analizzati tenendo in considerazione la classe di uso del suolo che ciascuna delle quattro configurazioni di WRF attribuisce ai punti delle stazioni che sono state oggetto dello studio.

2.1. Temperatura

Per quanto riguarda la temperatura a 2 m, la strategia adottata è stata quella di confrontare la temperatura massima e minima giornaliera osservata (intervallo orario 0-23) con quelle previste dal modello. Nel primo confronto realizzato, relativo al WRF con un grigliato di 6 km, ho deciso di suddividere il periodo considerato in quattro trimestri (Aprile-Giugno, Luglio-Settembre, Ottobre-Dicembre, Gennaio-Marzo). Per ciascun trimestre ho realizzato due grafici relativi all'andamento termico osservato e a quello previsto dai due modelli per quanto riguarda i valori massimi e i valori minimi giornalieri. In una seconda fase ho calcolato l'errore assoluto giornalmente commesso dalle due versioni del modello nella previsione della temperatura massima e minima giornaliera. Infine, ho ricavato per entrambe le versioni del modello, un errore assoluto medio trimestrale sempre relativo alla temperatura massima e a quella minima. Terminata questa prima parte del lavoro, ho poi ripetuto la stessa procedura per quanto riguarda l'analisi ed il confronto dei dati relativi a WRF con un grigliato di 3 km; anche in questo caso ho considerato i valori massimi e minimi giornalieri e calcolato poi gli errori assoluti commessi dalla due differenti versioni del modello. In una tabella riassuntiva finale ho poi messo a confronto le performance dei due WRF a 3km con quelle dei due WRF a 6km per il trimestre in comune (Aprile- Giugno 2017).

2.2. Precipitazione

Le precipitazioni sono state analizzate sia per il modello WRF a 6 km che per quello a 3 km nel trimestre Aprile – Giugno 2017. Ho proceduto

confrontando l'accumulo di pioggia giornaliero osservato con quello previsto dalle varie versioni del modello, ricavando poi anche in questo caso il relativo errore assoluto. In una tabella riassuntiva ho poi indicato la sommatoria dell'errore assoluto di ciascuna versione del modello rispetto al valore di precipitazione cumulata del trimestre (Tabella 3). Non è stato possibile realizzare questo studio per la totalità dei capoluoghi di regione a causa della mancanza di dati relativi ad alcuni di questi.

2.3. Vento

Nella gestione dei dati relativi al vento a 10 m si sono rese necessarie due operazioni preliminari per rendere comparabili i valori osservati con quelli previsti dal modello. Quest'ultimo infatti fornisce i valori delle due componenti sul piano orizzontale del vento a 10 m (x,y) e utilizza come unità di misura m/s, mentre le osservazioni sono costituite da un unico valore (la risultante delle due componenti) espresso in km/h. Ho deciso quindi di calcolare il valore risultante previsto dal modello e di convertirlo in km/h. Anche in questo caso, non essendo disponibili dati per tutte le 20 stazioni, ho confrontato e analizzato i dati relativi a 9 stazioni un set completo e attendibile. Per ognuna di queste stazioni ho ricavato il massimo valore giornaliero osservato, e l'ho confrontato con il valore massimo previsto dalle diverse versioni del modello. Come per gli altri parametri, il confronto tra le quattro versioni del modello a 3 e 6 km si riferisce al trimestre Aprile – Giugno 2017; anche in questo caso, come per la precipitazione, in una tabella riassuntiva ho indicato la sommatoria dell'errore assoluto trimestrale di ogni modello per ciascuna stazione. Prendendo in considerazione invece solamente le versioni del modello con il grigliato a 6 km, ho estrapolato, per 5 città prese in esame, i giorni ventosi osservati (giornate con valori orari > 30 km/h), andando a valutare la capacità delle due versioni di WRF di individuare questi giorni e di non generare dei “falsi allarmi”. Quest'ultima analisi si riferisce al periodo Aprile 2017 – Marzo 2018.

3. Risultati

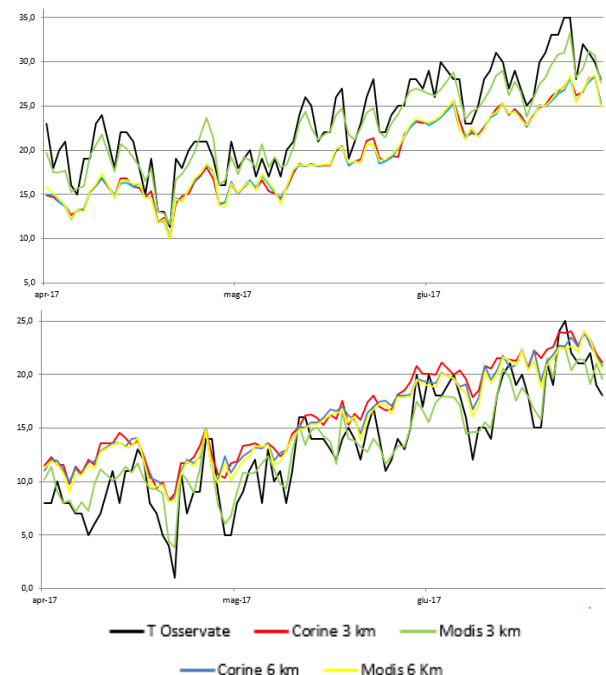
Le analisi che sono state effettuate non hanno evidenziato, in genere, significative

differenze nella performance del modello legate al diverso set di suolo utilizzato. Non mancano però spunti di interesse in particolare per quanto concerne la temperatura e, in parte, anche per le altre due grandezze analizzate.

Riguardo la temperatura a 2 m, le analisi della performance delle due versioni di WRF con una risoluzione spaziale di 6 km, per il periodo Aprile 2017 - Marzo 2018, mostrano in generale una buona qualità della previsione, con un errore medio giornaliero dei valori di massima e di minima che nelle 20 città analizzate è di circa 1,7 °C. Gli scarti maggiori sono stati registrati nelle città circondate da imponenti rilievi (es. Aosta) o che sorgono sul mare (es. Ancona, Venezia). Da queste analisi, tuttavia, risulta evidente come il ruolo giocato dai set di uso del suolo sia marginale in quasi tutte le stazioni, fatta eccezione per Bologna, in cui si evidenzia un dimezzamento dell'errore nel semestre autunno/inverno con il *land use* CORINE rispetto al MODIS. Alcuni risultati interessanti sono emersi invece dal confronto che è stato fatto per il trimestre Aprile – Giugno 2017 tra le quattro versioni del modello che utilizzano i due set di *land use* a due diverse risoluzioni. Occorre precisare, tuttavia, come anche da questa analisi non emerga una migliore performance di una particolare configurazione del modello rispetto alle altre, e questo è dovuto al fatto che la maggior parte delle stazioni analizzate presentano uno stesso uso del suolo sia per CORINE che per MODIS, e quindi, di conseguenza, non è lecito attendersi un risultato diverso da quello ottenuto. In alcune città (Bologna, Campobasso, Genova) l'aumento della risoluzione spaziale (da 6 a 3 km) porta ad un apprezzabile riduzione dell'errore medio. L'aspetto più interessante, ai fini di questo studio, che emerge dall'analisi della temperatura a 2m, è senza dubbio legato alla città di Ancona, e, in parte, a quella di Trieste. In queste due città, infatti, si registra una sostanziale differenza tra la rappresentazione di CORINE e quella di MODIS. Guardando la Tabella 2, si può notare che solamente il WRF a 3 km con il set di suoli MODIS colloca il capoluogo marchigiano su un suolo di tipo urbano, a differenza delle altre tre versioni del modello, i cui dataset vedono per quel punto spaziale, una superficie d'acqua. Questo è legato al fatto che, come detto, per il confronto è stato utilizzato il punto del grigliato del modello più

vicino alle coordinate del centro della città. Questa differenza si ripercuote in maniera netta ed evidente sulla performance del modello stesso; notiamo infatti come il WRF-MODIS a 3km commetta un errore quasi quattro volte inferiore per quanto riguarda la temperatura minima e quasi tre volte inferiore per la massima (Fig. 2). Ovviamente ciò è dovuto al fatto che le parametrizzazioni legate a queste due diverse categorie di *land use* sono radicalmente diverse, basti pensare al diverso riscaldamento che queste ricevono per via dell'irraggiamento diurno e alla loro diversa capacità di rilascio del calore nelle ore notturne. Una situazione analoga riguarda la città di Trieste, per la quale sono disponibili solamente i dati di WRF a 3 km. In questo caso è il data set CORINE a vedere un suolo di tipo urbano, mentre MODIS una superficie liquida. I risultati sono equiparabili a quelli di Ancona, in particolare per la temperatura minima, la cui previsione con il *land use* CORINE presenta un errore più che dimezzato rispetto a quello della previsione con MODIS.

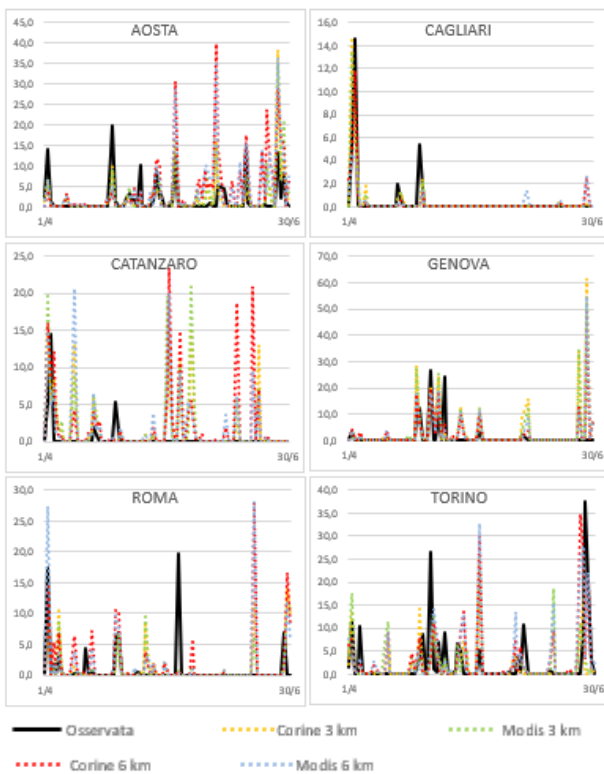
Fig. 2 Confronto tra le temperature massime (a) e le minime (b) giornaliere osservate e quelle previste per la città di Ancona (trimestre Aprile/Giugno 2017).



Riguardo la precipitazione, si può notare una generale tendenza a sovrastimare la quantità di

pioggia effettivamente caduta, soprattutto a causa di un noto problema quale la corretta simulazione dei fenomeni di convezione (Fig. 3). In molti casi, l'aumento della risoluzione del modello contribuisce effettivamente ad un parziale miglioramento della performance, stante la migliore individuazione dell'orografia e della morfologia del territorio (in particolare nella città di Aosta, ma anche Torino, Roma e Firenze). Nessuna apprezzabile correlazione, invece, emerge tra la quantità di pioggia prevista e il tipo di *land use* utilizzato (Tabella 3).

Fig. 3 Confronto tra la pioggia osservata e quella prevista dalle quattro configurazioni del modello WRF (trimestre Aprile/Giugno 2017)



Il vento a 10 metri, per concludere, è un altro parametro che WRF non simula sempre in modo corretto. Tuttavia, in molte delle città analizzate nel trimestre Aprile-Giugno 2017 l'errore medio sul massimo valore giornaliero si attesta attorno ai 3-4 km/h, un dato più che accettabile (Tabella 4). Interessante notare, in ottica di impatto del *land use*, come nel caso di Ancona, il WRF a 3km che utilizza il set MODIS risulta essere decisamente il migliore anche in questa previsione. Infatti, la rugosità superficiale

del suolo urbano risulterà in questo caso molto più prossima a quella reale rispetto alla rugosità della superficie marina. Un dato interessante emerge anche dalla stazione di Cagliari, dove il differente tipo di suolo rappresentato dai due modelli, pur non influenzando, come detto in precedenza, in maniera tangibile la previsione di temperatura e precipitazione, apporta invece un considerevole miglioramento nella previsione del vento da parte di MODIS rispetto a CORINE. Il dato di Cagliari viene confermato anche dall'analisi fatta su 5 città campione per le due versioni del modello a 6 km, riguardo la capacità di individuazione dei giorni ventosi nel periodo Aprile 2017-Marzo 2018 (Tabella 5). Nel capoluogo sardo infatti, la percentuale di individuazione dei giorni ventosi da parte di WRF MODIS supera il 70%, a fronte di quella di WRF CORINE che si ferma al di sotto del 40%; d'altra parte, però, occorre anche evidenziare come WRF MODIS produca, sempre per la stazione di Cagliari, un gran numero di falsi allarmi. Risulta comunque evidente il peso esercitato dal *land use* su questi risultati.

4. Conclusioni

I risultati emersi da questo studio sono in linea generale coerenti con le aspettative iniziali. Infatti, sebbene per la gran parte delle località prese in considerazione non sia emerso un sostanziale miglioramento/peggioramento della performance previsionale del modello WRF, è anche vero che ciò è dovuto essenzialmente al fatto che, per molte di queste, le rappresentazioni dei due set di suolo (MODIS e CORINE) sono simili. Da notare, ad ogni modo, come dall'analisi dei risultati non emerga alcuna sistematicità dell'errore né in funzione del tipo di suolo, né, per un dato tipo di suolo, fra i due modelli studiati.

I risultati più interessanti provengono, quindi, da quelle città, come Ancona, Trieste e, in parte, Cagliari, in cui la notevole differenza di rappresentazione dei due dataset di *land use* ha portato a delle previsioni notevolmente differenti riguardo soprattutto la temperatura ed il vento.

L'analisi delle precipitazioni ha evidenziato una tendenza piuttosto evidente del modello a sovrastimare il dato osservato. Si tratta di un risultato atteso, in quanto un singolo modello deterministico tende di per sé a commettere errori

elevati nell'identificazione precisa del fenomeno precipitativo, così come nella sua localizzazione spaziale che temporale. Verifiche puntuali non sono particolarmente adatte allo studio di questo parametro. La precipitazione, inoltre, risente in generale in modo minore di un cambio di *land use*, se non in pochi punti nello spazio, molto localizzati.

Risulta evidente come uno studio puntuale limiti la valutazione che può essere fatta sulla qualità dei due set di suolo considerati rispetto ad una verifica areale. Quest'ultima permetterebbe infatti di fare un'analisi e un confronto più completi, e di far emergere le lacune che un dataset con una definizione minore come MODIS può presentare rispetto ad uno molto più dettagliato come CORINE, in particolare nei pressi dei centri urbani.

Riferimenti bibliografici

Arnold D., Morton D., Schicker I., Seibert P., Rotach M., Horvat, K., Dudhia J., Satomura T., Müller M., others (2012) "High Resolution Modelling in Complex Terrain". Report on the HiRCOT 2012 Workshop, Vienna, 21-23 February 2012.

Castorina G., Caccamo M.T., Colombo F., Insinga V., Maiorana E., Magazù S.; "Sviluppo e ottimizzazione di un modello fisico-matematico ad area limitata e ad alta risoluzione per la previsione di dati meteorologici".

Civerolo K. L., Sistla G., Rao S. T., Nowak, D. J. (2000); "The effects of land use in meteorological modeling: implications for assessment of future air quality scenarios. *Atmospheric Environment*", 34(10), 1615-1621.

Cheng F.Y., Hsu Y.C., Lin P.L., Lin T.H. (2013); "Investigation of the effects of different land use and land cover patterns on mesoscale meteorological simulations in the Taiwan area". *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 52(3), 570-587.

Chen F., Dudhia, J. (2001); "Coupling an advanced land surface-hydrology model with the Penn State-NCAR MM5 modeling system. Part I: Model implementation and sensitivity". *Monthly Weather Review*, 129(4), 569-585.

Curci G., Tuccella P., Tiberi A (2012); "Influenza su simulazioni meteo-chimiche dell'inventario di

utilizzo del suolo: risultati preliminari dell'implementazione di CORINE in WRF/Chem".

De Meij A., Vinuesa J.F., (2014); "Impact of SRTM and Corine Land Cover data on meteorological parameters using WRF".

Fedele, F., M. M. Miglietta, M. R. Perrone, P. Burlizzi, R. Bellotti, D. Conte, and A. Guarnieri Calò Carducci, Numerical simulations with the WRF model of water vapour vertical profiles: A comparison with LIDAR and radiosounding measurements, *Atmos. Res.*, 166, 110-119, 2015.

Friedl M.A., Sulla-Menashe B. Tan A. Schneider N. Ramankutty A., Sibley and X. Huang (2010); "MODIS Collection 5 global land cover: Algorithm refinements and characterization of new datasets", 2001-2012, Collection 5.1 IGBP Land Cover, Boston University, Boston, MA, USA.

Friedl M.A., Sulla – Menashe D., (2018); "User Guide to Collection 6 MODIS Land Cover (MCD12Q1 and MCD12C1) Product".

Grossman-Clarke S., Zehnder J.A., Stefanov W. L., Liu Y., Zoldak M. A. (2005); "Urban modifications in a mesoscale meteorological model and the effects on near-surface variables in an arid metropolitan region". *Journal of Applied Meteorology*, 44(9), 1281-1297.

Kim Y., Sartelet K., Raut J.C., Chazette P. (2013); "Evaluation of the Weather Research and Forecast/Urban Model Over Greater Paris".

Lam J. S. L., Lau A. K. H., Fung, J. C. H. (2006); "Application of re ned land-use categories for high resolution mesoscale atmospheric modelling". *Boundary-layer meteorology*, 119(2), 263-288.

Loveland T. R., Belward A. S. (1997); "The International Geosphere Biosphere Programme Data and Information System Global Land Cover Data Set (DISCover)".

Meijide A., Manoli G., Huth N., Fatichi S. (2018); "Ecohydrological changes after tropical forest conversion to oil palm".

Pineda, N., Jorba, O., Jorge, J., & Baldasano, J. M. (2004). Using NOAA AVHRR and SPOT VGT data to estimate surface parameters: application to a mesoscale meteorological model. *International Journal of Remote Sensing*, 25(1), 129-143.

Skamarock W.C., Klemp J.B., Dudhia J., Gill D.O., Barker D.M., Duda M.G., Xiang-Yu Huang Wei Wang, Powers J. (2008); "A Description of the Advanced Research WRF Version 3", NCAR/TN-475-STR NCAR TECHNICAL NOTE, June 2008.

Appendice

Tabella 2. Errore medio assoluto commesso da WRF-CORINE e WRF-MODIS con risoluzione spaziale 3-6 km rispetto ai valori di massima e minima giornaliera osservati nei diversi capoluoghi di regione analizzati (trimestre Aprile/Giugno 2017).

		Errore assoluto medio giornaliero trimestre Aprile/Giugno 2017			
		CORINE		MODIS	
		3 KM	6 KM	3 KM	6 KM
ANCONA		water bodies	water bodies	urban & built up	Water
	MIN	3,1	2,9	1,4	2,7
	MAX	4,0	4,1	1,3	4,0
AOSTA		urban & built up land	urban & built up land	mixed forest	mixed forest
	MIN	2,9	1,5	2,7	1,3
	MAX	3,3	1,5	3,4	1,7
BARI		urban & built up land	urban & built up land	urban & built up	urban & built up
	MIN	1,2	1,3	1,2	1,3
	MAX	1,3	1,2	1,1	1,3
BOLOGNA		urban & built up land	urban & built up land	urban & built up	urban & built up
	MIN	1,6	1,6	1,6	1,7
	MAX	1,1	1,0	1,2	2,3
CAGLIARI		urban & built up land	urban & built up land	open shrubland	closed shrubland
	MIN	1,3	1,3	1,6	1,4
	MAX	1,3	1,0	1,3	1,1
CAMPOBASSO		cropland/grassland mosaic	cropland/woodland mosaic	cropland	cropland
	MIN	1,9	2,7	1,9	2,6
	MAX	1,0	1,2	1,0	1,1
CATANZARO		urban & built up land	urban & built up land	cropland	cropland
	MIN	1,0	1,4	1,1	1,6
	MAX	0,8	0,7	0,9	0,9
FIRENZE		urban & built up land	urban & built up land	urban & built up	urban & built up
	MIN	1,7	1,9	1,7	1,9
	MAX	1,2	1,2	1,2	1,2
GENOVA		urban & built up land	urban & built up land	urban & built up	urban & built up
	MIN	1,7	1,5	1,2	1,3
	MAX	1,3	2,0	2,3	2,2
L'AQUILA		cropland/woodland mosaic	grassland	cropland	cropland
	MIN	1,6	1,4	1,6	1,5
	MAX	1,3	1,2	1,4	1,3
MILANO		urban & built up land	urban & built up land	urban & built up	urban & built up
	MIN	2,8	2,7	2,8	2,8
	MAX	1,3	1,4	1,3	1,4
NAPOLI		urban & built up land	urban & built up land	urban & built up	urban & built up
	MIN	2,7	2,6	2,7	2,7
	MAX	0,9	1,0	0,9	1,0
PALERMO		urban & built up land	urban & built up land	urban & built up	urban & built up
	MIN	2,7	2,6	3,4	3,1
	MAX	1,4	1,3	1,5	1,3
		urban & built up land	cropland/grassland mosaic	urban & built up	cropland

PERUGIA	MIN	1,6	1,6	1,6	1,7
	MAX	1,3	1,3	1,2	1,2
POTENZA		urban & built up land	cropland/grassland mosaic	cropland	urban & built up
	MIN	1,5	1,7	1,2	1,6
	MAX	2,0	1,0	1,6	1,0
ROMA		urban & built up land	urban & built up land	urban & built up	urban & built up
	MIN	2,1	2,1	2,1	2,2
	MAX	1,3	1,4	1,4	1,5
TORINO		urban & built up land	urban & built up land	urban & built up	urban & built up
	MIN	1,9	2,0	1,9	2,0
	MAX	2,0	1,7	2,3	2,0
TRENTO		urban & built up land	urban & built up land	urban & built up	urban & built up
	MIN	1,2	1,8	1,2	1,8
	MAX	1,8	1,4	1,9	1,4
TRIESTE		urban & built up land		water	
	MIN	2,1		1,4	
	MAX	1,2		2,6	
VENEZIA		water bodies	water bodies	water	Water
	MIN	2,1	2,1	1,6	1,8
	MAX	1,3	1,3	1,2	1,2

Tabella 3. Errore assoluto totale sulla precipitazione prevista da WRF-CORINE e WRF-MODIS con risoluzione spaziale di 3 e 6 km (trimestre Aprile/Giugno 2017).

	Cumulata trimestrale osservata (mm)	Errore assoluto trimestre Aprile/Giugno 2017 (mm)			
		CORINE		MODIS	
		3 KM	6 KM	3 KM	6 KM
AOSTA	151,2	urban & built up land	urban & built up land	mixed forest	mixed forest
		159,9	320,7	177,7	289,4
BOLOGNA	100,4	urban & built up land	urban & built up land	urban & built up	urban & built up
		206,6	206,4	214,6	198,6
CAGLIARI	30,0	urban & built up land	urban & built up land	open shrubland	closed shrubland
		29,1	18,5	27,9	28,2
CATANZARO	30,0	urban & built up land	urban & built up land	cropland	Cropland
		138,7	169,6	151,8	154,4
FIRENZE	94,2	urban & built up land	urban & built up land	urban & built up	urban & built up
		195,8	259,2	199,2	241,2
GENOVA	81,4	urban & built up land	urban & built up land	urban & built up	urban & built up
		245,7	171,9	229,9	185,5
NAPOLI	41,6	urban & built up land	urban & built up land	urban & built up	urban & built up
		81,5	105,7	88,0	81,9
PALERMO	30,9	urban & built up land	urban & built up land	urban & built up	urban & built up
		42,7	52,4	57,0	43,2
PERUGIA	32,1	urban & built up land	cropland/grassland mosaic	urban & built up	Cropland
		159,0	127,1	130,7	138,1
ROMA	68,8	urban & built up land	urban & built up land	urban & built up	urban & built up
		103,1	132,4	89,8	115,6
TORINO	151,6	urban & built up land	urban & built up land	urban & built up	urban & built up
		222,9	289,8	246,9	292,6
TRENTO	190,6	urban & built up land	urban & built up land	urban & built up	urban & built up
		293,9	268,4	292,1	305,2

Tabella 4. Errore medio assoluto giornaliero di WRF-CORINE e WRF-MODIS con risoluzione spaziale a 3 e 6 km rispetto al valore massimo giornaliero osservato (trimestre Aprile/Giugno 2017).

	CORINE		MODIS	
	3 KM	6 KM	3 KM	6 KM
ANCONA	water bodies	water bodies	urban & built up	Water
	7,1	7,3	5,3	6,6
AOSTA	urban & built up land	urban & built up land	mixed forest	mixed forest
	10,0	6,4	8,3	8,3
BARI	urban & built up land	urban & built up land	urban & built up	urban & built up
	3,3	3,2	3,3	3,3
CAGLIARI	urban & built up land	urban & built up land	open shrubland	closed shrubland
	4,9	5,2	3,9	3,7
GENOVA	urban & built up land	urban & built up land	urban & built up	urban & built up
	3,7	4,2	5,9	4,2
MILANO	urban & built up land	urban & built up land	urban & built up	urban & built up
	3,3	3,2	3,5	3,4
ROMA	urban & built up land	urban & built up land	urban & built up	urban & built up
	2,7	2,8	2,9	3,2
TORINO	urban & built up land	urban & built up land	urban & built up	urban & built up
	3,5	3,2	3,5	3,2
TRENTO	urban & built up land	urban & built up land	urban & built up	urban & built up
	5,9	6,9	5,7	6,4

Tabella 5. Tabella di contingenza con veri positivi, falsi positivi e falsi negativi prodotti dalle due configurazioni del modello con una risoluzione di 6 km per il periodo di riferimento (Aprile 2017/ Marzo 2018).

	N° GIORNI VENTOSI OSSERVATI	VERI POSITIVI		FALSI POSITIVI		FALSI NEGATIVI	
		CORINE	MODIS	CORINE	MODIS	CORINE	MODIS
BARI	46	21	22	26	13	25	23
CAGLIARI	92	36	65	13	44	56	27
GENOVA	49	15	17	59	59	34	32
MILANO	5	2	2	5	4	3	3
ROMA	29	4	3	4	4	25	26