

Influenza su simulazioni meteo-chimiche dell'inventario di utilizzo del suolo: risultati preliminari dell'implementazione di CORINE in WRF/Chem

Curci G., Tuccella P., Tiberi A.

CETEMPS, Dipartimento di Fisica, Università degli Studi dell'Aquila, via Vetoio, 67010 Coppito, L'Aquila, gabriele.curci@aquila.infn.it

La classificazione dell'utilizzo del suolo viene utilizzata nei modelli meteorologici e di chimica e trasporto per stimare alcune importanti caratteristiche della superficie come l'albedo, l'altezza di rugosità, l'umidità del suolo, l'inerzia termica e i flussi di calore sensibile e latente. La mappa di landuse gioca quindi un ruolo chiave nella simulazione degli scambi di momento, umidità e calore tra suolo e aria e quindi dei moti turbolenti nello strato limite planetario. I database di utilizzo del suolo tipicamente utilizzati nei modelli sono sviluppati a livello globale e possono essere poco accurati quando si guarda ad una particolare regione. E' il caso del territorio Italiano rappresentato nel database USGS utilizzato come default nel WRF/Chem, il modello accoppiato meteorologia-chimica-radiazione allo stato dell'arte e largamente utilizzato simulazioni meteo-chimiche. Il database Europeo CORINE ha una rappresentazione molto più realistica in termini di frazione di aree urbane, coltivate e forestali ed è stato qui implementato nel modello WRF/Chem su un dominio che copre l'Italia Centro-Settentrionale a 10 km di risoluzione. I risultati preliminari di due simulazioni di 9 giorni nell'estate del 2007, mostrano che la zona più sensibile ai cambiamenti è quella di Milano, dove si riscontrano le maggiori discrepanze tra USGS e CORINE. In questa zona la temperatura e la velocità del vento aumentano sensibilmente, a causa del maggiore accumulo di calore e dell'aumentata turbolenza indotta dalla costruzioni antropiche. Nella stessa zona si osserva una diminuzione di diossido di azoto e concomitante aumento di ozono, probabilmente dovuto all'interazione non lineare tra aumentata diluizione delle emissioni e minore copertura nuvolosa. Il confronto con le osservazioni a terra non migliora introducendo il landuse CORINE e ciò stimola più approfondite analisi nel prossimo futuro.

INTRODUZIONE

La classificazione dell'utilizzo del suolo (in inglese "landuse") permette di distinguere le aree urbane, forestali, agricole, ecc. Questo tipo di informazione viene utilizzata anche nei modelli atmosferici per simulare i flussi di calore sensibile e latente suolo-aria, per caratterizzare la rugosità del terreno per simulare il trasporto turbolento, simulare la deposizione delle specie chimiche e le emissioni biogeniche. E' stato stimato che le pratiche agricole in California, a causa soprattutto dell'irrigazione, provocano un innalzamento delle temperature minime notturne e un abbassamento di quelle diurne fino a variazioni di circa 2 K (Jacobson, 2008). Il relativo cambiamento dei flussi di calore, innesca una variegata serie di effetti a catena che modificano la stabilità dell'aria, il tasso di umidità, la velocità dei venti e quindi anche le precipitazioni e il trasporto di inquinanti. Osservazioni recenti, stanno già dimostrando che gli effetti negativi delle "isole urbane" (UHI = Urban Heat Islands) non sono localizzati a singole aree metropolitane, ma possono essere trasportati ad aree limitrofe, esacerbando gli effetti di riscaldamento in queste ultime (Zhang et al., 2009). Oltre agli effetti radiativi, i cambiamenti di utilizzo del suolo causano modifiche alle emissioni e alla deposizione di sostanze chimiche (Ganzeveld et al., 2008; Trusilova and Churkina, 2008).

In questo lavoro vengono presentati i primi risultati ottenuti dall'implementazione del database di utilizzo del suolo Europeo CORINE nel modello accoppiato meteorologia-radiazione-chimica WRF/Chem (Grell et al., 2005). Nella configurazione di default, il modello WRF utilizza dei database di landuse globali derivati da satellite ("USGS", derivato da osservazioni AVHRR e "MODIS", derivato da osservazioni del sensore omonimo). Questo approccio ha il pregio di essere applicabile sul tutto il globo, ma può presentare delle lacune sostanziali quando guardato nei dettagli di una particolare regione. Ad esempio, nel caso dell'Italia si può facilmente riscontrare una quasi totale assenza di aree urbane, che contraddice anche quello che è il senso comune della percezione del nostro territorio. Il database CORINE, usato in maniera comparata con USGS in questo lavoro, presenta una maggiore dettaglio sia delle aree urbane che di altri tipi di suolo. Riportiamo qui una prima valutazione degli effetti di tale cambiamento sulla simulazione di variabili

meteorologiche e di composizione atmosferica su un periodo estivo di 9 giorni sull'Italia Centro-Settentrionale.

IMPLEMENTAZIONE DI CORINE IN WRF/CHEM

Il modello adottato in questo studio è il WRF/Chem, un modello "online" di ultima generazione che simula contemporaneamente e in modo interattivo la meteorologia, la composizione atmosferica e il trasferimento radiativo (www.wrf-chem.org, Grell et al., 2005). Il modello è stato già applicato e validato sul dominio Europeo a 30 km di risoluzione orizzontale (Tuccella et al., 2012) e viene qui utilizzata una più recente implementazione a 10 km di risoluzione sull'Italia, su un dominio innestato a una via in quello a scala Europea. L'inventario di emissioni antropiche adottato a scala Europea è quello fornito dallo European Monitoring and Evaluation Programme (EMEP; Vesteng, 2003), mentre sull'Italia è stato implementato l'inventario a 5 km reso disponibili dal Centro Tematico Nazionale – Atmosfera Clima Emissioni (CTN-ACE; Deserti et al., 2008). Le parametrizzazioni adottate sono le stesse utilizzate in Tuccella et al. (2012).

La mappa di utilizzo del suolo è elaborata in fase di pre-processamento nel modulo GEOGRID e, nel nostro caso, le categorie utilizzate sono le 24 del database USGS (United States Geological Survey) mostrate in tab. 1. Questi dati sono utilizzati per generare tre variabili di base poi utilizzate nella simulazione: frazione di ciascuna classe nel punto di griglia (LANDUSEF), classe prevalente nel punto di griglia (LU_INDEX) e maschera suolo/acqua (LANDMASK). Queste variabili vengono scritte in un file netCDF (geo_em.nc) che viene poi fornito in input al modello vero e proprio. Le frazioni di ciascuna classe vengono utilizzate al momento della simulazione per calcolare in ciascun punto di griglia le seguenti variabili relative alla superficie terrestre: albedo, umidità del suolo, altezza di rugosità, inerzia termica, emissività e flussi di calore sensibile e latente. I parametri fisici in input per il calcolo sono forniti al modello tramite la tabella LANDUSE.TBL presente nella run directory di WRF. La mappa di landuse gioca quindi un ruolo decisivo nella simulazione dei flussi di momento, calore e umidità all'interfaccia suolo-aria e quindi nella simulazione dei moti turbolenti dello strato limite planetario.

In tab. 1 riportiamo la corrispondenza che abbiamo adottato in questo studio tra le classi di landuse CORINE e quello USGS. Abbiamo infatti scelto di non sviluppare una nuova tabella di interfaccia col modello con le 44 classi CORINE, per tre motivi: (1) difficoltà nel reperire informazioni per una stima dettagliata dei parametri per il calcolo di albedo, altezza di rugosità, ecc. (LANDUSE.TBL), (2) necessità di effettuare un tuning sulle velocità di deposizione delle specie chimiche basate sulle nuove classi, (3) facilità di confronto dei risultati tra simulazioni che utilizzano alternativamente i due database di landuse (USGS e CORINE).

In questa prima versione del lavoro per l'integrazione di CORINE in WRF, siamo partiti dai dati raster del 2006 a 250 m di risoluzione, distribuiti liberamente sul sito dell'Agenzia Europea per l'Ambiente all'indirizzo: <http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/corine-land-cover-2006-raster-1>. Abbiamo generato il file netCDF geo_em.nc sui domini di interesse (uno a scala Europea e uno innestato sull'Italia) con il database di default USGS e abbiamo poi sostituito direttamente nel netCDF le variabili LANDUSEF, LU_INDEX e LANDMASK con quelle calcolate a partire da CORINE. Per ottenere una mappa di landuse alla risoluzione e sulla proiezione utilizzata in WRF, si è seguita la seguente procedura:

1. si è utilizzato il software libero QGIS (<http://www.qgis.org/>) per riproiettare la mappa raster di CORINE da proiezione originale Lambert Azimuthal Equal Area a quella Lambert Conic Conformal utilizzata in WRF;
2. si è ritagliato il raster riproiettato sul dominio di simulazione WRF sull'Italia, sempre utilizzando QGIS;
3. si sono aggregate le classi di landuse CORINE in quelle USGS utilizzate in WRF, tramite le corrispondenze riportate in tab. 1. Il criterio utilizzato per la definizione di tali corrispondenze è quello della similitudine degli enti fisici presenti nella classe (es. aree verdi urbane come prati d'erba naturale, vigne considerate arbusti, ecc.). Le scelte presentano un certo grado di soggettività, che

verrà rivisitato in una prossima versione dell'algoritmo, in base a similarità tra caratteristiche sensibili per la simulazione (albedo, rugosità, inerzia termica, ecc.);

4. si è degradata la risoluzione da 250 m a quella di WRF, in questo caso 10 km. In pratica, si sono raggruppate le celle 40 a 40 e si sono calcolate le frazioni di ciascuna classe USGS presenti in ogni cella di 10 km (LANDUSEF). Da queste frazioni si sono ricavate sia la classe dominante (LU_INDEX), che la maschera suolo/acqua (LANDMASK);

5. si sono sovrascritti i campi nelle relative variabili nel geo_em.nc originale.

I passi 3-5 sono stati implementati in un programma Matlab. Tutti i passaggi verranno in futuro implementati in ambiente Linux direttamente nel preprocessore GEOGRID del modello WRF, ma la procedura resta in linea di principio la stessa.

Tabella 1. Corrispondenza tra le categorie di utilizzo del suolo nel database Europeo CORINE e quello USGS. Quest'ultimo è quello utilizzato di default nel modello WRF.

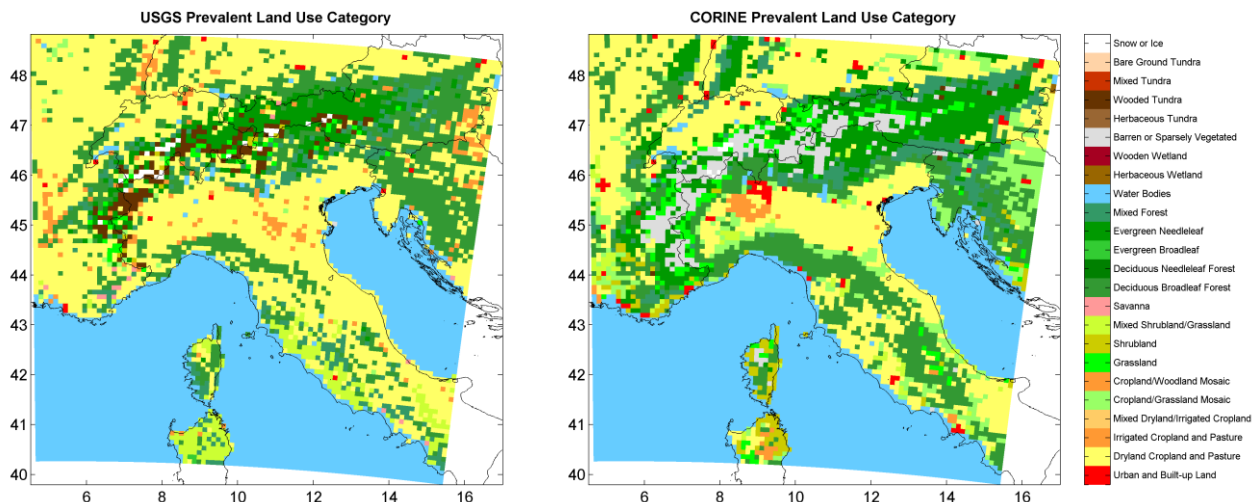
CORINE Land Use Categories		USGS Land Use Categories	
Number	Description	Number	Description
1	Continuous urban fabric	1	Urban and built-up land
2	Discontinuous urban fabric		
3	Industrial or commercial units		
4	Road and rail networks and associated land		
5	Port areas		
6	Airports		
7	Mineral extraction sites		
8	Dump sites		
9	Construction sites		
10	Green urban areas		
11	Sport and leisure facilities	2	Dryland cropland and pasture
12	Non-irrigated arable land	3	Irrigated cropland and pasture
13	Permanently irrigated land	9	Mixed Shrubland/Grassland
14	Rice fields		
15	Vineyards		
16	Fruit trees and berry plantations		
17	Olive groves		
18	Pastures	2	Dryland cropland and pasture
19	Annual crops associated with permanent crops	5	Cropland/Grassland mosaic
20	Complex cultivation patterns		
21	Land principally occupied by agriculture		
22	Agro-forestry areas	22	Cropland/Woodland mosaic
23	Broad-leaved forest	11	Deciduous broadleaf forest
24	Coniferous forest	14	Evergreen needleleaf forest
25	Mixed forest	15	Mixed forest
26	Natural grassland	7	Grassland
27	Moors and heathland	21	Wooded Tundra
28	Sclerophyllous vegetation	8	Shrubland
29	Transitional woodland shrub		
30	Beaches, dunes, and sand plains	19	Barren or sparsely vegetated
31	Bare rock		
32	Sparsely vegetated areas		
33	Burnt areas		
34	Glaciers and perpetual snow	24	Snow or ice
35	Inland marshes	17	Herbaceous wetland
36	Peat bogs		
37	Salt marshes		
38	Salines	16	Water bodies
39	Intertidal flats		

40	Water courses		
41	Water bodies		
42	Coastal lagoons		
43	Estuaries		
44	Sea and ocean		

Nelle fig. 1 e 2 mostriamo il confronto tra i due database di landuse implementati secondo la procedura appena descritta. In fig. 1 mettiamo a confronto la mappa di classe prevalente in ciascun punto di griglia del modello nel database originale (USGS) e quello ricavato dalla manipolazione di CORINE. Saltano all'occhio differenze importanti, come la maggiore estensione dell'area urbana di Milano in CORINE, la presenza di alcune aree urbane completamente assenti in USGS (es. Torino, Bologna, Firenze, Napoli e altre), una più accurata rappresentazione dei boschi appenninici (rappresentati come campi coltivati in USGS), la presenza di suolo scarsamente vegetato sulla sommità delle Alpi in CORINE, la presenza di risaie in Piemonte del tutto assenti in USGS. Queste semplici osservazioni fanno intendere la maggiore qualità sul territorio Europeo del database CORINE.

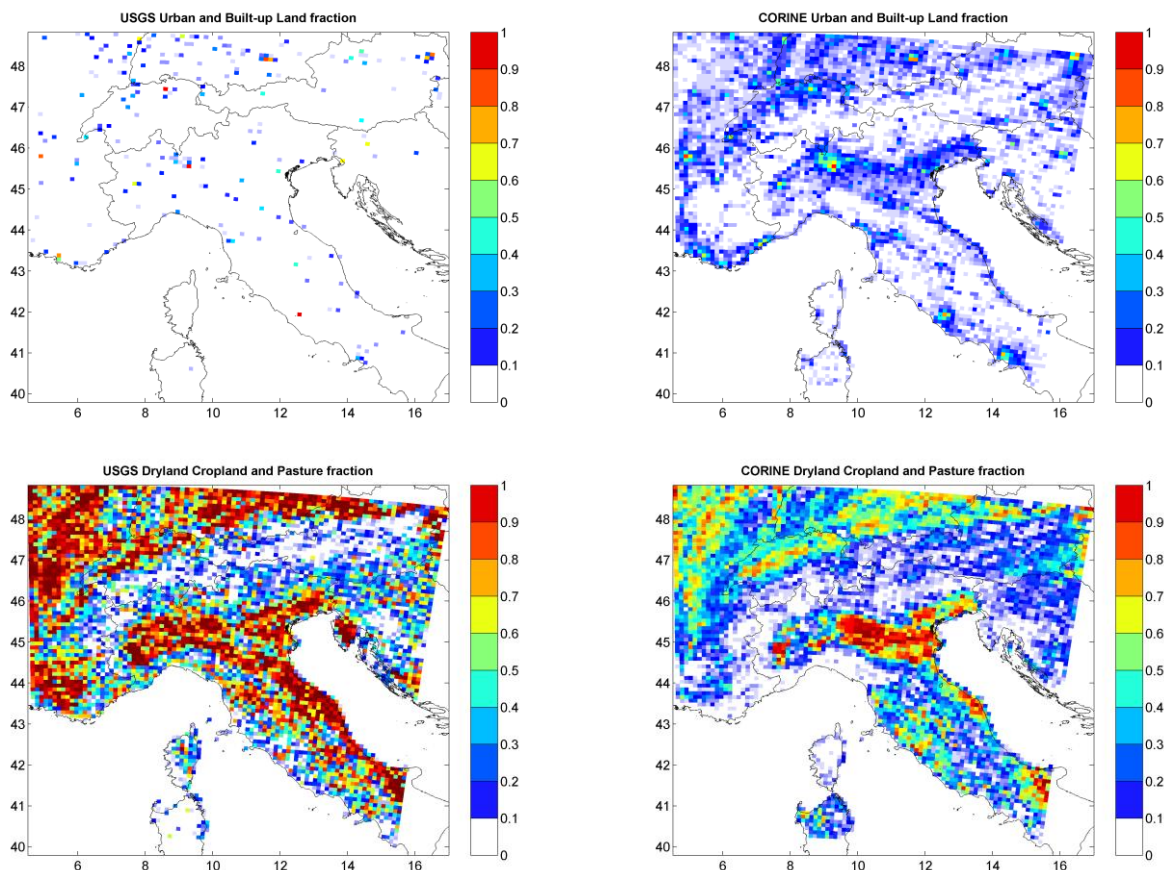
In fig. 2 mostriamo il dettaglio della distribuzione delle classi urbana e di colture e pascoli non irrigati in USGS e CORINE. Si conferma che la caratterizzazione delle aree urbane in USGS è insufficiente. La maggior parte del densamente popolato territorio italiano è rappresentato come un immenso campo coltivato, quasi senza insediamenti umani, il che contraddice totalmente il senso comune. Il database CORINE, invece, rappresenta il territorio sì come fittamente occupato da coltivazione, ma anche costituito da una fitta rete di piccoli agglomerati urbani che, pur occupando percentuali generalmente intorno al 10% in ogni cella, coprono densamente il territorio italiano ed Europeo, con l'esclusione delle aree montane.

Figura 1 – Categoria prevalente di utilizzo del suolo



Confronto della distribuzione della categoria prevalente di utilizzo del suolo sul dominio di simulazione a 10 km di risoluzione orizzontale del modello WRF/Chem su Italia Centro-Settentrionale. A sinistra la mappa di default derivata dal database USGS (US Geological Survey), a destra quella elaborata in questo lavoro a partire dal database Europeo CORINE Land Cover 2006.

Figura 2 – Frazione di suolo urbano e coltivato



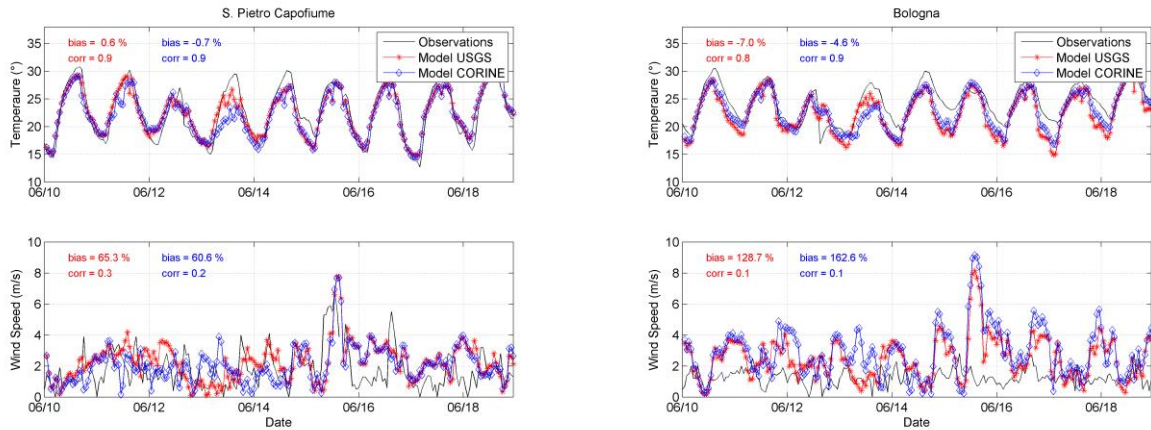
Confronto della frazione di suolo urbano (alto) e coltivato (basso) nei database USGS (sinistra) e CORINE (destra) sul dominio di simulazione.

IMPATTO DEL NUOVO LANDUSE SULLE SIMULAZIONI METEO-CHIMICHE

Abbiamo condotto due simulazioni con WRF/Chem, una con landuse USGS di default e l'altra con landuse CORINE preparato per questo studio, sul periodo 10-18 Giugno 2007. Il periodo è stato scelto in base a risultati precedentemente ottenuti col modello meteorologico MM5 (risultati non pubblicati), che hanno mostrato un buon accordo con temperatura e velocità del vento osservata in una località rurale (S. Pietro Capofiume, Bologna) e una sottostima della temperatura e sovrastima della velocità del vento in una località urbana (Bologna città). Le osservazioni meteorologiche in questione derivano dal database DEXTER messo a disposizione dall'ARPA Emilia Romagna (http://www.arpa.emr.it/sim/?osservazioni_e_dati/dexter). Si è ipotizzato che il bias nell'area urbana potesse essere almeno in parte dovuto alla inadeguata rappresentazione del tessuto cittadino nel landuse USGS utilizzato anche in MM5. Un bias sistematico negativo per le temperature e positivo per il vento si è riscontrato anche nella simulazione WRF in tutto lo strato limite su scala Europea (Tuccella et al., 2012) e, tra le cause del disaccordo con le osservazioni, può senz'altro essere ipotizzata una cattiva rappresentazione dell'utilizzo del suolo.

In fig. 3 mostriamo il confronto fra le simulazioni e le temperature e velocità del vento registrate nelle due località succitate. Il modello WRF riproduce in modo accurato la temperatura (correlazione 0.8-0.9), ma ha un bias negativo nel sito urbano (-7%) non presente nel sito rurale (0.6%). L'introduzione del landuse CORINE riduce questo bias a -4.6% e aumenta la correlazione da 0.8 a 0.9. Il confronto con la velocità del vento è più difficoltosa a causa delle prestazioni non buone del modello. La correlazione con le misure è scadente (0.1-0.2) e il bias positivo è notevole sia a S. Pietro Capofiume (65%) che a Bologna (130%). L'introduzione del landuse CORINE non apporta particolari benefici alla simulazione, anzi fa aumentare il bias nel sito urbano (160%).

Figura 3 – Temperatura e velocità del vento a S. Pietro Capofiume (BO, rurale) e Bologna (urbana)



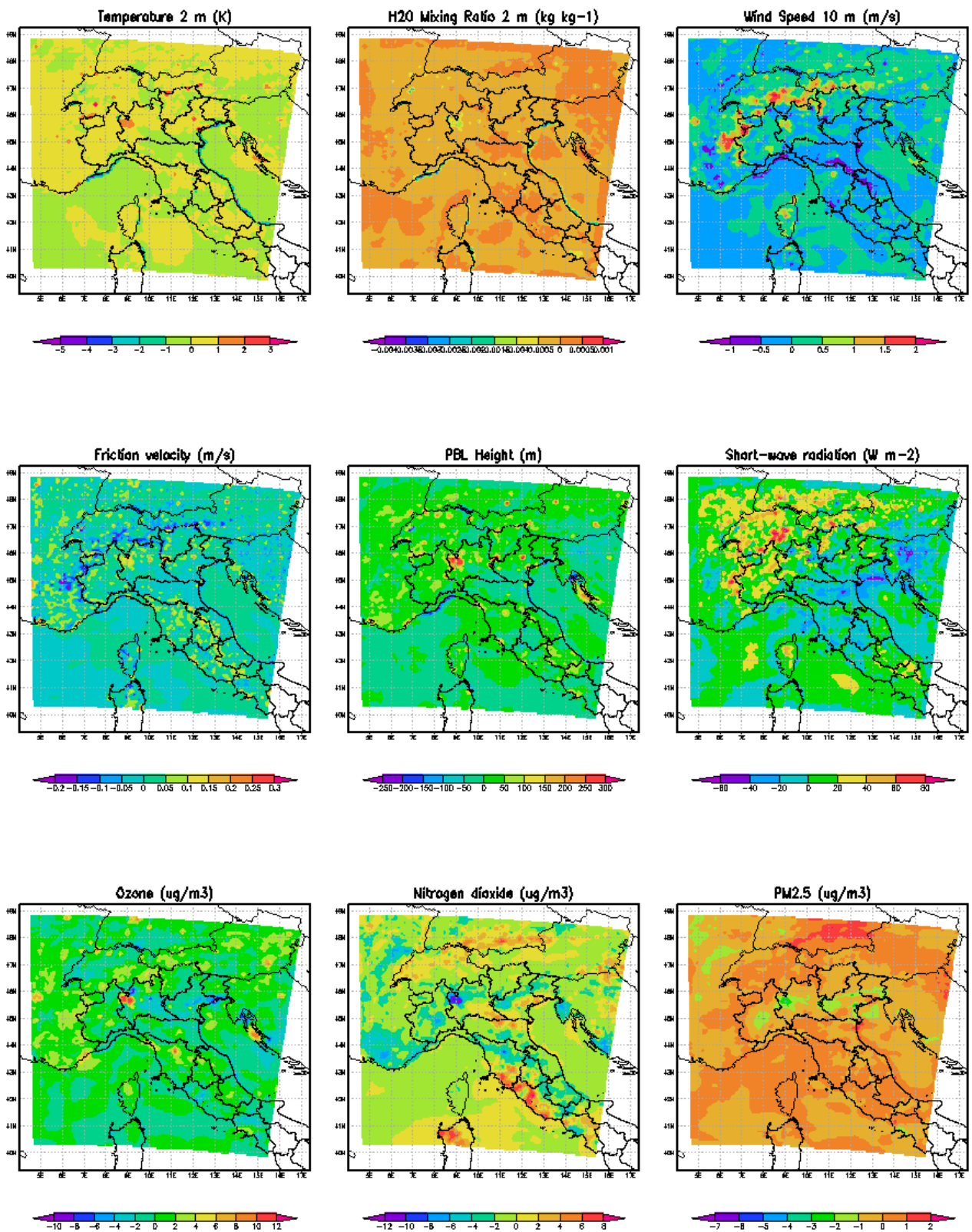
In fig. 4 mostriamo la differenza mediata sul periodo di simulazione di alcune variabili meteo e chimiche, mentre in tab. 2 riportiamo un sunto statistico del confronto con le osservazioni di ozono e NO₂ disponibili dal database europeo AirBase. Le variazioni maggiori si hanno intorno all'area urbana di Milano, che è quella con le differenze più macroscopiche tra USGS e CORINE (fig. 1 e 2). In questa zona la temperatura aumenta in media di 2 gradi (minore albedo e maggiore accumulo di calore nelle costruzioni), con conseguente diminuzione dell'umidità, e anche il vento subisce un'aumento di circa 1 m/s. L'aumento del vento può essere interpretato guardando la velocità di frizione u^* che anch'essa aumenta nella stessa area: questo implica maggiore turbolenza vicino la superficie e un aumento di trasporto di momento dagli strati superiori dello strato limite. La maggiore turbolenza induce anche un innalzamento medio dello strato limite di circa 300 m. Un forte aumento della velocità del vento si osserva anche sui rilievi Alpini, dove il database CORINE caratterizza il suolo principalmente come sparsamente vegetato o spoglio (fig. 1).

La risposta delle specie chimiche reattive a questi cambiamenti delle variabili meteo è meno facile da interpretare. Nell'area di Milano si osserva una diminuzione del diossido di azoto di circa 12 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ e un concomitante aumento di ozono della stessa entità. La diminuzione di NO₂ potrebbe essere spiegata in parte con l'aumento della velocità del vento, che rimuove più efficacemente gli ossidi di azoto (NO_x) appena emessi dalle abbondanti sorgenti locali (es. trasporti), e in parte con l'aumento della radiazione solare che raggiunge la superficie (evidentemente a causa di una diminuzione della copertura nuvolosa). Quest'ultimo fatto è confermato anche dall'aumento di NO₂ osservato sull'Emilia Romagna, dove la radiazione solare arriva invece in quantità ridotta rispetto alla simulazione di riferimento. L'aumento della radiazione solare comporta una maggiore velocità di fotolisi dell'NO₂, con conseguente formazione di ozono. Inoltre, l'aumentata diluizione delle emissioni milanesi, causata dalla maggiore altezza dello strato limite, può condurre ad una maggiore efficienza nella produzione di ozono, in quanto l'area in questione è presumibilmente in regime NO_x-saturato (quindi il tasso di produzione di ozono aumenta al decrescere della concentrazione di NO_x).

Il particolato fine (PM_{2.5}) presenta anche variazioni significative, diminuendo di 2-3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ sul fondo della valle Padana e variando tra -1 e 1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ altrove. In questo caso, la diminuzione sembra essere legata all'aumento del vento che rimuove più efficacemente le emissioni fresche vicino alle principali sorgenti.

Nelle zone di Firenze e Napoli si riscontrano variazioni simili a quelle di Milano per ozono e NO₂, seppure con magnitudine minore, mentre su Lazio e Sardegna si osserva un aumento di NO₂ fino a 8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ e una scarsa variazione di ozono. Quest'ultimo fenomeno non è di chiara interpretazione e merita uno studio più approfondito in futuro.

Figura 4 – Variazione di variabili selezionate meteo-chimiche tra le simulazioni WRF/Chem con landuse CORINE e USGS.



Variazioni positive (negative) indicano valori maggiori (minori) nella simulazioni CORINE

Tabella 2 – Confronto statistico con osservazioni orarie AirBase di ozono e diossido di azoto

Zone	Ozone				Nitrogen dioxide			
	Bias ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)		Corr		Bias ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)		Corr	
	USGS	CRNE	USGS	CRNE	USGS	CRNE	USGS	CRNE
URBAN	4.2	5.9	0.62	0.60	-10.7	-12.6	0.16	0.17
SUBURBAN	1.7	3.1	0.60	0.59	-6.7	-8.5	0.19	0.19
RURAL	-6.8	-6.8	0.43	0.42	-1.5	-2.5	0.18	0.17

In conclusione, questo primo esperimento con landuse modificato nel modello WRF/Chem ha fornito utili indicazioni e risultati incoraggianti per la prosecuzione del lavoro. Il modello è risultato sensibile in particolare alle variazioni introdotte sul tessuto urbanizzato, in termini di aumentata temperatura e velocità del vento. L'effetto sugli score statistici del modello, in particolare per le specie chimiche, non mostra vantaggi nell'usare il maggiore dettaglio e realismo di CORINE. Ulteriore lavoro in futuro sarà diretto ad una nuova verifica della corrispondenza tra classi di landuse USGS e CORINE, una verifica della caratterizzazione dei parametri di albedo, umidità del suolo e inerzia termica e una più flessibile implementazione dell'interfaccia tra WRF e CORINE integrata nel preprocessore GEOGRID.

RINGRAZIAMENTI

Questo lavoro è supportato dall'Agenzia Spaziale Italiana nell'ambito del progetto PRIMES (contratto I/017/11/0).

Bibliografia

- Deserti, M., et al. (2008), *Rapporto tecnico sulla applicazione di modellistica al Bacino Padano Adriatico*, Agenzia per la Protezione dell'Ambiente e per i servizi Tecnici (APAT) e Centro Tematico Nazionale – Atmosfera Clima ed Emissioni in Aria (CTN-ACE). Disponibile al link: http://www.arpa.emr.it/dettaglio_documento.asp?id=1533&idlivello=64
- Ganzeveld, L., et al. (2010), *Impact of future land use and land cover changes on atmospheric chemistry-climate interactions*, J. Geophys. Res., 115, D23301, doi:10.1029/2010JD014041.
- Grell, G. et al. (2005), *Fully coupled "online" chemistry within the WRF model*, Atmos. Environ., 39, 6957-6975.
- Jacobson, M. Z. (2008), *Short-term effects of agriculture on air pollution and climate in California*, J. Geophys. Res., 113, D23101, doi:10.1029/2008JD010689.
- Trusilova, K. and Churkina, G. (2008), *The response of the terrestrial biosphere to urbanization: land cover conversion, climate, and urban pollution*, Biogeosciences, 5, 1505-1515, doi:10.5194/bg-5-1505-2008.
- Tuccella, P et al. (2012), *Modelling of gas and aerosol with WRF/Chem over Europe: evaluation and sensitivity study*, J. Geophys. Res., 117, D03303, doi:10.1029/2011JD016302
- Vestreng, V. (2003), *Review and revision. Emission data reported to CLRTAP*, Tech. rep., EMEP MSC-W, disponibile al link: http://www.emep.int/mscw/mscw_publications.html.
- Zhang, D.-L., et al. (2009), *Upstream urbanization exacerbates urban heat island effects*, Geophys. Res. Lett., 36, L24401, doi:10.1029/2009GL041082.