



**APAT**

**Agenzia per la Protezione dell'Ambiente e per i servizi Tecnici**

**RAPPORTO TECNICO SULLA APPLICAZIONE DI  
MODELLISTICA AL BACINO PADANO  
ADRIATICO**

Marco Deserti, ARPA Emilia Romagna  
Stefano Bande, ARPA Piemonte  
Elisabetta Angelino, ARPA Lombardia  
Giordano Pession, ARPA Valle d'Aosta  
Fabio Dalan, ARPA Veneto  
Enrico Minguzzi, ARPA Emilia Romagna  
Michele Stortini, ARPA Emilia Romagna  
Giovanni Bonafè, ARPA Emilia Romagna  
Roberta De Maria, ARPA Piemonte  
Giuseppe Fossati, ARPA Lombardia  
Edoardo Peroni, ARPA Lombardia  
Matteo Paolo Costa, ARPA Lombardia  
Francesca Liguori, ARPA Veneto  
Silvia Pillon, ARPA Veneto

Responsabile di progetto  
APAT  
Patrizia Bonanni



Responsabile CTN-ACE  
Roberto Gualdi

### **Informazioni legali**

L'Agenzia per la Protezione dell'Ambiente e per i servizi Tecnici o le persone che agiscono per conto dell'Agenzia stessa non sono responsabili per l'uso che può essere fatto delle informazioni contenute in questo rapporto.

Informazioni aggiuntive sull'argomento sono disponibili nel sito Internet <http://www.sinanet.apat.it>

Riproduzione autorizzata citando la fonte

Stampato in Italia

**Agenzia per la Protezione dell'Ambiente e per i servizi Tecnici**  
Via Vitaliano Brancati, 48  
00144 Roma

**Centro Tematico Nazionale – Atmosfera Clima ed Emissioni in Aria**

## INDICE

<b>INTRODUZIONE .....</b>	<b>1</b>
<b>1 - I DATI DI INGRESSO, I PERIODI DI SIMULAZIONE E GLI SCENARI .....</b>	<b>2</b>
<b>I dati di emissioni.....</b>	<b>3</b>
<b>I dati meteorologici.....</b>	<b>3</b>
<b>Le condizioni al contorno.....</b>	<b>4</b>
<b>I dati per la validazione.....</b>	<b>5</b>
<b>Il caso base: la scelta dei periodi di simulazione.....</b>	<b>6</b>
<b>Le analisi di scenario:.....</b>	<b>7</b>
<b>2- I SISTEMI DI MODELLI UTILIZZATI .....</b>	<b>11</b>
<b>Il sistema modellistico NINFA di ARPA Emilia-Romagna .....</b>	<b>11</b>
<b>Il sistema modellistico ARIA Regional di ARPA Valle d’Aosta .....</b>	<b>14</b>
<b>Il sistema modellistico ARIA Regional di ARPA Lombardia .....</b>	<b>14</b>
<b>Il sistema modellistico CAMx – LAMI di ARPA Veneto .....</b>	<b>17</b>
<b>3 - LA RACCOLTA E L'ELABORAZIONE DEI DATI .....</b>	<b>21</b>
Il dataset di stazioni .....	21
Il formato di scambio dati.....	23
Gli indicatori di valutazione dei risultati. ....	23
<b>4 - RISULTATI .....</b>	<b>27</b>
<b>Caso base, PM<sub>10</sub> .....</b>	<b>28</b>
<b>Caso base, NO<sub>2</sub> .....</b>	<b>29</b>
<b>Caso base, O<sub>3</sub>.....</b>	<b>30</b>
<b>Scenari, PM<sub>10</sub> .....</b>	<b>31</b>
<b>Scenari, NO<sub>2</sub> .....</b>	<b>32</b>
<b>Scenari, O<sub>3</sub>.....</b>	<b>32</b>

<b>5 - CONCLUSIONI .....</b>	<b>33</b>
<b>RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI .....</b>	<b>36</b>
Tabella sinottica dei modelli .....	41
Risultati PM <sub>10</sub> .....	43
Risultati NO <sub>2</sub> .....	58
Risultati O <sub>3</sub> .....	76
Risultati scenari .....	93
<b>ALLEGATO 1: IL FORMATO DI SCAMBIO DATI .....</b>	<b>107</b>
Tracciato record dei files per il confronto con i dati delle stazioni di qualità dell'aria.....	107
Tracciato record dei files per il confronto fra i campi prodotti dai modelli.....	108
<b>ALLEGATO 2: ELENCO E CODIFICA DELLE STAZIONI.....</b>	<b>110</b>

## INTRODUZIONE

Questo rapporto, che conclude il ciclo di lavoro 2005-2006 del Centro Tematico Nazionale Atmosfera, Clima ed Emissioni in aria (CTN-ACE), rappresenta, assieme alle linee guida per lo sviluppo di piani di miglioramento della qualità dell'aria, il risultato finale del sottoprogetto SP03 "Osservatorio dei modelli e due applicazioni su area padana e mediterranea" al quale hanno partecipato le ARPA delle regioni Emilia-Romagna, Piemonte, Lombardia, Veneto e Valle d'Aosta.

In seguito all'entrata in vigore della direttiva quadro europea sulla qualità dell'aria 96/62/CE, che ha individuato nelle "tecniche di modellizzazione" uno degli strumenti tecnici per eseguire la valutazione della qualità dell'aria ed il principale strumento per svolgere analisi di scenario finalizzate alla preparazione di piani di risanamento, l'utilizzo dei modelli matematici di trasporto, dispersione e trasformazione chimica degli inquinanti in aria si è progressivamente ampliato. Oggi essi rappresentano, assieme alle misure in campo ed agli inventari delle emissioni, uno strumento indispensabile per condurre le attività di valutazione e gestione della qualità dell'aria ed il loro utilizzo si va ampiamente diffondendo, non solo nell'ambito degli studi scientifici, ma anche nella pratica operativa quotidiana delle agenzie ambientali e delle amministrazioni. Si è quindi ravvisata la necessità da parte del CTN-ACE di eseguire una prima analisi comparativa dei risultati forniti da alcune catene modellistiche utilizzate in ambito nazionale. Questa analisi è stata resa possibile dalla disponibilità di un set completo di dati adatti alla applicazione e verifica di modelli chimici, realizzato nel corso della precedente fase di attività del CTN-ACE. Sebbene non esaustiva, l'analisi ha permesso di ottenere molte indicazioni concrete sulla stato dell'arte attuale riguardo alle prestazioni ed alla qualità dei risultati forniti da una catena modellistica, alla sua capacità di soddisfare i requisiti di qualità del dato stabiliti dalle normative di settore ed ai possibili miglioramenti da apportare agli strumenti attualmente in uso. La applicazione dei modelli ha inoltre permesso di provare la sequenza di operazioni necessarie ad eseguire una analisi di scenario del tipo di quelle che devono essere realizzate per la stesura di un piano di risanamento. Il lavoro di gruppo condotto dai partecipanti ha infine rappresentato un importante sede di scambio di conoscenze scientifiche e tecniche.

Nel valutare i risultati si sono considerati due ordini principali di questioni, la prima legata alla capacità dei sistemi modellistici utilizzati di riprodurre correttamente i dati misurati, la seconda alla possibilità di mettere quantitativamente a confronto le risposte dei differenti modelli rispetto ai medesimi scenari.

Per quanto riguarda il primo punto, cioè per validare i modelli sul periodo in esame, si sono utilizzati vari indicatori finalizzati a stimare la capacità di riprodurre sia i valori che la variabilità spaziale e temporale delle concentrazioni misurate degli inquinanti (ozono, PM10 e biossido di azoto).

Per quanto concerne il secondo punto le attività di confronto hanno cercato di ottenere indicazioni rispetto alle seguenti questioni considerate rilevanti per la stesura di un piano con l'ausilio della modellistica:

- 1) la individuazione delle distribuzione spaziale degli inquinanti è confrontabile tra i vari modelli ?
- 2) i modelli rispondono allo stesso modo alle variazioni di scenario emissivo ?

Per ottenere una risposta a queste questioni il confronto è stato eseguito tra i sistemi di modelli NINFA dell'ARPA Emilia Romagna, ARIA-Regional dell'ARPA Lombardia e

Valle D'Aosta, e CAMX dell'ARPA Veneto, applicati a due bimestri di riferimento (ago – sett 2003 e gen – feb 2004 ) ed a tre scenari di prova. I modelli sono stati applicati utilizzando gli stessi dati di ingresso in modo da garantire il più possibile la confrontabilità dei risultati. Le caratteristiche del set di dati di ingresso (input meteo, emissioni, condizioni al contorno) sono riepilogate nel capitolo 1, mentre i diversi modelli e la loro implementazione di dettaglio sono descritti nel capitolo 2.

La grande mole di dati prodotti dalle simulazioni condotte con i 4 modelli è stata raccolta ed elaborata con una metodologia appositamente realizzata per questo progetto, considerando analoghe esperienze condotte in ambito internazionale, come il progetto City-Delta realizzato nell'ambito del programma CAFE dell'Unione Europea. La metodologia di raccolta ed elaborazione dei dati è descritta e documentata nel capitolo 3. I risultati sono dettagliatamente descritti ed analizzati nel capitolo 4 e nelle relative appendici, e sono presentati in forma sintetica nel capitolo 5.

Per consentire una maggiore facilità di lettura, le tabelle riepilogative e tutte le immagini relative ai risultati sono contenute in una unica sezione, presentata alla fine del rapporto.

Il formato di scambio dati e l'elenco completo di stazioni utilizzate per la validazione sono presentati in allegato.

## **1 - I DATI DI INGRESSO, I PERIODI DI SIMULAZIONE E GLI SCENARI**

Il set completo di dati necessari all'esecuzione di un sistema modellistico è stato realizzato nel corso del 2004 nell'ambito del progetto CTN\_ACE (Centro Tematico Nazionale Aria Clima ed Emissioni) promosso da APAT. Copre due aree italiane, il nord Italia (Bacino Padano Adriatico o BPA) e la quasi totalità dell'area peninsulare del centro-sud (bacino MEDiterraneo). Il dominio di interesse per l'esercizio del Progetto CTN\_ACE 2006 è il BPA, che si estende su 640x410 Km<sup>2</sup>, da 6°2'57.5''E, 43°8'2.1''N (angolo sud-occidentale) a 14°14'11.4''E, 46°44'N (angolo nord-orientale).

Alla realizzazione del dataset BPA hanno partecipato diverse ARPA fornendo contributi alle quattro principali parti di cui il set completo si compone: set dati meteorologici (ARPA ER), set emissivo (ARPA LO), set relativo alle condizioni al contorno (concentrazioni al bordo del dominio; ARPA PI e ARPA ER) e alle misure di qualità dell'aria per la validazione dei modelli (ARPA VE e ARPA PI). Il dataset è stato progettato per alimentare modelli fotochimici euleriani tridimensionali (CTM) a griglia, i più complessi, ma anche i più adatti a studiare inquinanti secondari come ozono e PM10 in simulazioni di lungo periodo a scala regionale.

Se ne riporta nel seguito una breve descrizione rimandando per una più ampia presentazione al capitolo "Il set di dati per l'applicazione e la verifica di modelli chimici e di trasporto nel Bacino Padano e Mediterraneo" del rapporto APAT-CTN-ACE, "I modelli per la valutazione, previsione e gestione della qualità dell'aria a scala regionale" (Deserti, Lollobrigida, Angelino, 2004) ed al riferimento bibliografico (E. Angelino et al., 2006).

## **I dati di emissioni**

Il dataset emissivo è costituito dalle emissioni annuali di VOC, CO, NO<sub>x</sub>, NH<sub>3</sub>, SO<sub>2</sub>, PM<sub>10</sub> per ogni cella di 5x5 km<sup>2</sup> del dominio, dai profili di disaggregazione temporale delle emissioni e dai profili di speciazione chimica e distribuzione granulometrica dei VOC e del PM<sub>10</sub>.

Le emissioni su cella sono state ottenute disaggregando le emissioni presenti nell'Inventario Nazionale APAT disaggregato a livello provinciale e disponibili per attività o settore (Liburdi et al., 2004) e le emissioni EMEP disponibili su grigliato da 50X50 km<sup>2</sup> e raggruppate per macrosettore; entrambe le fonti sono relative all'anno 2000.

La disaggregazione su celle di grigliato è stata condotta associando ad ogni attività, settore o macrosettore una variabile (proxy) di tipo geografico, quale la superficie relativa a particolari tipologie di uso del suolo, la lunghezza di strade, autostrade, ferrovie, metanodotti, coste. Alle emissioni provinciali per attività sono state sottratte le emissioni attribuite agli impianti localizzati. Le emissioni risultanti, così come le emissioni EMEP, sono state infine aggregate a livello di cella e macrosettore, sommando anche le emissioni degli impianti localizzati eventualmente presenti.

Per ciascuna delle attività emissive presenti nei due bacini sono stati costruiti i profili di modulazione temporale mensile, giornaliero e orario. Le fonti consultate sono quelle note in letteratura (EPA, EMEP Guidebook) integrate con stime sviluppate specificatamente e derivate da opportuni parametri (temperatura, radiazione solare netta media) nonché da dati forniti da associazioni di categoria o presenti in inventari locali.

Il set di profili temporali per macrosettore è stato ottenuto dalla media dei profili delle singole attività presenti nel bacino pesata con le rispettive emissioni. Le celle sono state classificate su base altimetrica e suddivise in tre gruppi (pianura, collina, montagna) per poter tenere conto dell'influenza della temperatura, parametro fondamentale per esempio nelle emissioni da attività fotosintetica vegetale ed in quelle legate al riscaldamento domestico ed industriale.

In maniera analoga, per ciascuna delle attività emissive presenti sono stati costruiti profili di speciazione chimica delle emissioni di VOC e del PM, nonché profili di distribuzione granulometrica del particolato. La speciazione chimica del PM<sub>10</sub> è stata fornita per le frazioni granulometriche fine (0 - 2.5 μm) e coarse (2.5 - 10 μm). Il profilo per macrosettore è stato ottenuto come media dei profili delle attività pesata sulle rispettive emissioni.

Il set complessivo è costituito da una serie di file in formato ASCII

## **I dati meteorologici**

Il dataset meteorologico è stato prodotto mediante simulazioni con il modello Lokall Modell progettato negli anni '90 dal DWD (Servizio Meteorologico tedesco) e attualmente sviluppato dai servizi meteorologici di Germania, Svizzera, Italia, Grecia e Polonia, raggruppati nel consorzio COSMO. Si tratta di un modello di previsioni meteorologiche ad area limitata, non idrostatico, contenente le equazioni fluidodinamiche complete e capace di descrivere esplicitamente i fenomeni atmosferici su scale variabili. Contiene inoltre schemi di parametrizzazione per tenere conto delle scale spaziali non risolte: formazione delle nubi e della precipitazione, convezione a piccola scala, radiazione, diffusione turbolenta, strato atmosferico superficiale, suolo e

interazione suolo-atmosfera. Il modello è stato applicato in modalità di rianalisi sul periodo di un anno con i campi di analisi dell'ECMWF come condizioni al contorno e con una forzante continua, ottenuta con particolari tecniche di nudging (Schraff C., 1999) ai dati osservati. Per evitare l'accumulo di errori sistematici alcuni campi superficiali sono stati periodicamente riportati ai valori delle analisi ECMWF. L'insieme di dati così prodotto rappresenta quindi il miglior compromesso tra coerenza interna e rispondenza con le misure. Il set contiene solo le grandezze calcolate dal modello in modo da consentire la massima flessibilità nella costruzione dell'input per il CTM. La scelta del particolare insieme di grandezze da utilizzare, così come la scelta degli algoritmi per stimare eventuali parametri non inclusi nel dataset (ad esempio l'altezza di rimescolamento) sono lasciate all'utente.

Le principali caratteristiche sono le seguenti:

- dominio: 2 aree, in coordinate geografiche ruotate che coprono interamente i bacini BPA e MED
- risoluzione temporale: oraria
- risoluzione spaziale: circa 7 km in orizzontale, 16 livelli verticali (8 nei primi 1000 metri, altri 8 nei successivi 7500 m)
- grandezze incluse: 8 tridimensionali e 22 superficiali
- estensione temporale: dal 1/4/2003 al 31/3/2004, senza dati mancanti
- Il formato di distribuzione è ASCII compresso (a richiesta sono disponibili anche i dati nel formato originale GRIB) la dimensione è di 11 Gbyte per il dominio BPA e di 8 Gbyte per il dominio MED

Successivamente il set di dati meteorologici è stato accuratamente verificato sulla base di dati di stazioni meteorologiche e di speciali campagne di misura. I risultati della verifica sono documentati in Bonafè, G. and Jonghen S 2006 ed in Pernigotti et al. 2006.

### **Le condizioni al contorno**

Il dataset delle condizioni iniziali ed al contorno è stato costruito grazie alla collaborazione con gli enti istituzionali francesi INERIS (*"Institut National de l'Environnement Industriel et des Risques"*) e I.P.S.L (*"Institut Pierre Simon Laplace des Sciences de l'environnement"*), che hanno messo a disposizione la banca dati del sistema Prev'Air che dall'aprile 2003 quotidianamente produce e rende disponibili le previsioni numeriche ottenute con il modello CHIMERE, operativo a scala continentale, ed i risultati di un progetto di rianalisi relativo agli anni 2003 e 2004, condotto sempre con il modello CHIMERE.

CHIMERE è un modello euleriano multiscala tridimensionale di Chimica e Trasporto sviluppato da I.P.S.L con lo scopo di effettuare sia previsioni quotidiane delle concentrazioni dei principali inquinanti, sia simulazioni di lungo periodo per valutazioni e scenari. Può lavorare su domini di differenti dimensioni e con differenti risoluzioni (dalla scala regionale alla scala continentale) può inoltre adottare differenti meccanismi chimici ed ammettere in input diversi dataset meteorologici ed emissivi.

Le principali caratteristiche della versione continentale attualmente operativa presso Prev'Air ed utilizzata nella predisposizione del dataset sono:

- griglia orizzontale regolare con 0.5° di risoluzione (~50 km ) e dominio che si estende a quasi tutta l'Europa Occidentale

- griglia verticale descritta in coordinate ibride sigma-pressione ( $\sigma$ -p), con otto livelli verticali che ricoprono integralmente il Planetary Boundary Layer;
- meccanismo chimico MELCHIOR in versione ridotta con 44 specie gassose e circa 120 reazioni, con in aggiunta un modulo per la descrizione della chimico-fisica degli aerosol.
- le emissioni antropogeniche gassose derivano dalle emissioni del database EMEP, riportate sulla griglia del modello ed aggregate nelle specie emmissive previste dallo schema MELCHIOR
- le emissioni antropogeniche di PM derivano dall'inventario del TNO ("Neetherlands Organisation for Applied Scientific Research) ripartite in tre classi PM2.5, PM10 e PTS
- le emissioni biogeniche sono calcolate per condizioni meteorologiche standard sul dominio del modello a partire da database territoriali (vegetazione, uso del suolo) e successivamente calibrate con la meteorologia prevalente nel periodo di simulazione
- per le condizioni al contorno delle specie in fase gassosa vengono utilizzati i valori medi mensili di concentrazione calcolati dalle simulazioni climatologiche del modello MOZART di seconda generazione (MOZART-2, Model for Ozone and Related Chemical Tracers)
- per le condizioni al contorno degli aerosols, al fine di considerarne il trasporto ai bordi del dominio, vengono utilizzati i valori medi mensili ottenuti dalle simulazioni del modello NASA GOCART (Georgia Tech/Goddard Chemistry Aerosol Radiation and Transport Model) per gli anni 2000 e 2001.

Il dataset delle condizioni al contorno copre l'intero periodo temporale compreso tra il 01/04/2003 e il 30/03/2004, le griglie di distribuzione corrispondono a due sottoaree del dominio continentale e ricoprono integralmente i bacini BPA e MED. Il set è costituito da:

- un file testuale contenente le coordinate in longitudine e latitudine dei punti griglia della maglia orizzontale
- un file testuale contenente l'elenco delle specie chimiche disponibili in output
- un file giornaliero binario contenente le concentrazioni orarie di tutti gli inquinanti modellizzati in output sulla griglia tridimensionale

## **I dati per la validazione**

Per la valutazione delle prestazioni delle catene modellistiche è stato utilizzato il set di dati prodotto nell'ambito delle attività dell'Osservatorio Modelli del CTN-ACE. In questa sezione vengono descritte le caratteristiche generali del set di dati di validazione, mentre nel capitolo 3 vengono specificate in dettaglio le stazioni e la classificazione adottate in questo lavoro.

I dati contenuti nel set di dati completo caratterizzano i bacini BPA e MED, contenenti rispettivamente 51 e 16 stazioni, offrendo una adeguata rappresentatività spaziale in riferimento alle dimensioni del grigliato di calcolo. I dati coprono il periodo aprile 2003 - marzo 2004 per gli inquinanti ossidi di azoto, ozono e PM10, quest'ultimo rilevato sia con campionatori gravimetrici (concentrazioni medie giornaliere) che con analizzatori automatici (concentrazioni medie orarie).

Un file di anagrafica contiene informazioni identificative della stazione (nome, tipologia, coordinate geografiche) e relative alla presenza/assenza dei dati di

concentrazione. La tipologia di zona e di stazione è definita secondo la classificazione riportata nella Decisione 2001/752/CE “Exchange of Information” (EOI) e nel documento “Criteria for EUROAIRNET” [<http://reports.eea.europa.eu/TEC12/en/tech12.pdf> ].

I dati di qualità dell’aria, oltre alla normale procedura di validazione a cui sono sottoposti presso le stazioni delle reti di monitoraggio locali, sono stati ulteriormente controllati mediante una procedura automatica appositamente sviluppata. Tale procedura ha permesso di caratterizzare ogni dato contenuto nel set di validazione con un codice di stato descrivente sinteticamente l’esito di controlli relativamente a:

- “range di validità” e “soglie critiche” in relazione al periodo dell’anno
- presenza di picchi di concentrazione isolati
- assenza di tipiche variazioni giornaliere nelle concentrazioni specifiche per ogni inquinante

Tutto ciò per offrire le maggiori informazioni possibili utili al lavoro di interpretazione dei confronti tra i risultati dei modelli e le misure. La descrizione del set di dati è disponibile su web pubblico ai seguenti indirizzi:

sito web CTN-ACE modellistica (documenti scaricabili):  
<http://www.sinanet.apat.it/it/sinanet/ctn-tti/ace-aria-clima-e-emissioni-in-atmosfera/prodotti>

### **Il caso base: la scelta dei periodi di simulazione**

La simulazione modellistica con i modelli CTM applicati al set di dati di input del CTN-ACE per tutto il periodo annuale avrebbe richiesto notevoli risorse di calcolo e tempi di simulazione non compatibili con la durata del progetto. Pertanto è stato necessario individuare un periodo di simulazione più breve, ma comunque sufficientemente lungo da permettere, da un lato, un confronto significativo tra i risultati forniti dai diversi modelli, e dall'altro la verifica del rispetto degli obiettivi di qualità dei dati per la modellazione previsti dalla normativa vigente. Si è preferito inoltre suddividere il periodo di simulazione in due sottoperiodi, uno invernale ed uno estivo, in modo da cogliere le diverse peculiarità dei fenomeni di inquinamento nelle differenti stagioni dell'anno. Il periodo invernale è stato scelto in modo da garantire la confrontabilità delle simulazioni a scala di bacino con simulazioni a risoluzione maggiore condotte dalle ARPA partecipanti all'interno delle proprie attività istituzionali su domini compresi all'interno del bacino padano adriatico, mentre il periodo estivo in modo da non essere eccessivamente influenzato dall'ondata di calore che ha colpito il bacino del Mediterraneo tra il mese di giugno ed il mese di agosto del 2003.

Sulla base di tali considerazioni i periodi di simulazione scelti per il caso base sono:

- periodo invernale: dal 01/01/2004 al 29/02/2004
- periodo estivo: dal 01/08/2003 al 30/09/2003.

## **Le analisi di scenario:**

Gli scenari emissivi elaborati per l'esercizio modellistico sono tre. Le variazioni in termini di totali di emissione per ciascun inquinante sul bacino BPA sono riportate in tabella 1.

Il primo ed il secondo scenario (rispettivamente, SC1 e SC2) sono mutuati dalle proiezioni EMEP [Co-operative Programme for Monitoring and Evaluation of the Long-range Transmissions of Air Pollutants in Europe - <http://webdab.emep.int/>] delle emissioni nazionali relative agli anni 2010 e 2020.

I due scenari stimano per il 2010 e per il 2020 gli impatti della normativa esistente (ad esempio quella relativa alle emissioni degli autoveicoli, delle centrali per la produzione di energia o dei grandi impianti industriali di combustione, la qualità dei combustibili, il contenuto di composti organici dei vari prodotti, i limiti di emissione per i principali inquinanti) sulle emissioni in termini di riduzione delle emissioni stesse. Tali stime sono diverse per ciascuno dei 25 Stati membri dell'Unione Europea. Inoltre gli scenari tengono conto delle proiezioni di sviluppo economico per quegli anni (si vedano al proposito i rapporti CAFE, 2005).

Il terzo scenario individuato (SC3) prevede la riduzione delle emissioni solo per alcuni macrosettori ed in particolare si concentra sul traffico su strada (M7; -50% per tutti gli inquinanti), sui mezzi offroad (M8; -30% per tutti gli inquinanti), sul riscaldamento (M2; -50% per tutti gli inquinanti), sull'agricoltura (M10; -30% per tutti gli inquinanti ad esclusione del diossido di zolfo) e sull'uso e produzione di solventi (M6; -30% solo per i composti organici volatili non metanici). Le variazioni complessive per inquinante sono riportate nelle tabelle 2.a e 2.b. Tali variazioni sono state riportate omogeneamente su ciascuna cella del grigliato di calcolo.

Nelle figure sono riportate le emissioni totali in Ton/anno per i vari scenari emissivi per NOX e il PM10.

### *Note bibliografiche*

Il riferimento per tutti e gli scenari emissivi EMEP è Vestreng, 2004. Lo scenario EMEP 2000 è stato successivamente revisionato nel corso del 2006 (Vestreng, 2006). In questa ultima revisione le emissioni italiane al 2000 presentano lievi variazioni rispetto alla stima precedente, pertanto anche gli scenari emissivi al 2010 e 2020 per il Nord Italia, presenterebbero alcune differenze se venissero ricalcolati in base alla più recente revisione delle emissioni nazionali italiane al 2000.

La metodologia utilizzata da EMEP per la costruzione degli scenari emissivi utilizzati in questo rapporto è descritta in Vestreng, V.(2003), nel quale tuttavia si rimanda per i dettagli al rapporto non pubblicato del CIAM 2003 (citazione letterale Vestreng, V.(2003) pagina 24 “ Projections for 2010 constitutes this year mainly Current Legislation Projections (CLE) provided from CIAM (CIAM, 2003). Only where no data was provided from CIAM, reported projections or latest year available emission data was used.”)

Per una descrizione generale della metodologia utilizzata nella costruzione degli scenari emissivi conviene quindi fare riferimento alla bibliografia relativa al programma CAFE (Clean Air For Europe) dell'Unione Europea, che rappresenta un perfezionamento di quanto svolto in precedenza da EMEP.

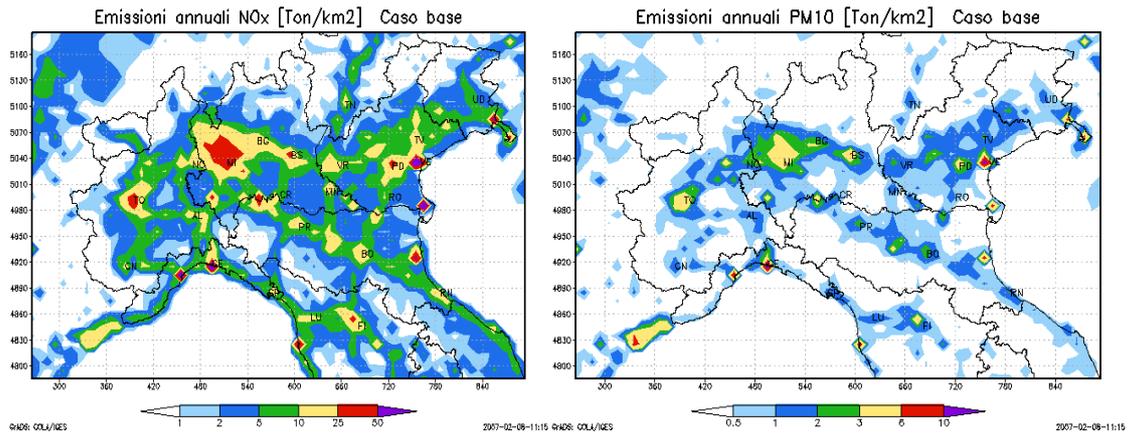


Figura 1 Emissioni annuali Caso base a destra NOx a sinistra PM10 Mg/km2

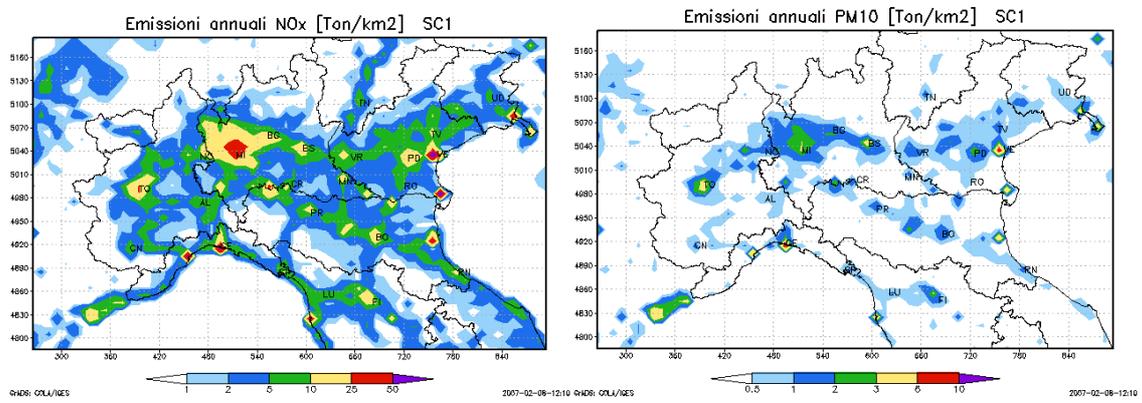


Figura 2 Emissioni annuali,scenario SC1, a destra NOx a sinistra PM10 Mg/km2

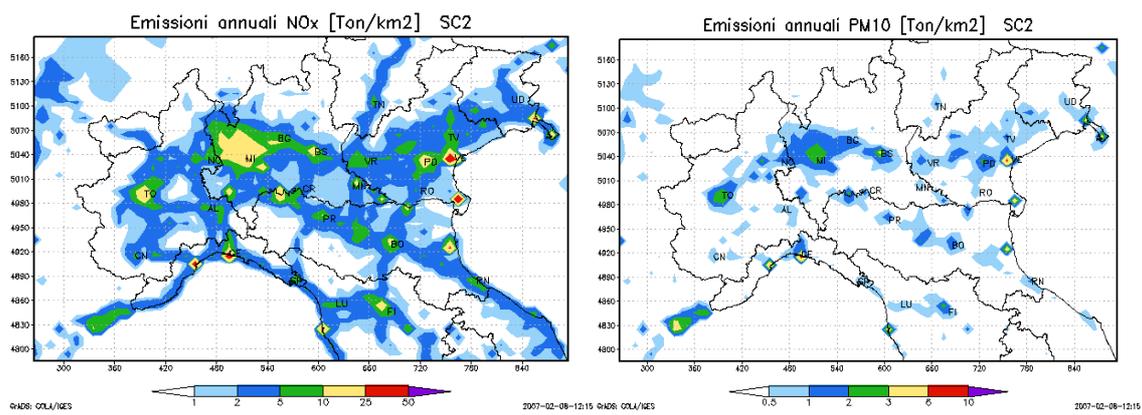


Figura 3 Emissioni annuali, scenario SC2, a destra NOx a sinistra PM10 Mg/km2

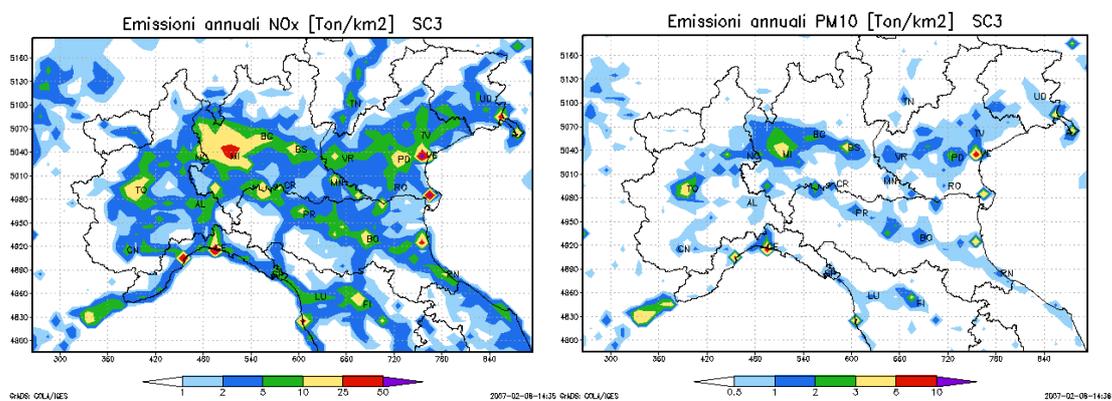


Figura 4 Emissioni annuali, scenario SC3, a destra NOx a sinistra PM10 Mg/km2

Inquinante	Caso base	SC1	SC2	SC3
CO	2.838.677	1.987.074	1.674.819	1.589.659
NMVOC	1.058.663	656.371	497.572	719.891
NH <sub>3</sub>	356.110	348.988	334.743	252.838
NO <sub>x</sub> (NO+NO <sub>2</sub> )	830.849	598.211	407.116	531.743
PM <sub>10</sub>	127.651	85.526	68.932	90.633
SO <sub>2</sub>	388.654	190.440	155.461	369.221

**Tabella 1: Emissioni totali in Mg/anno per inquinante nel caso base (fonti: EMEP ed APAT), negli scenari legislazione corrente al 2010 ed al 2020 (fonte: EMEP) e nello scenario SC3 (fonte: Progetto CTN\_ACE - SP3)**

Inquinante	SC1 vs caso base	SC2 vs caso base	SC3 vs caso base
CO	-30%	-41%	-44%
NMVOC	-38%	-53%	-32%
NH <sub>3</sub>	-2%	-6%	-29%
NO <sub>x</sub> (NO+NO <sub>2</sub> )	-28%	-51%	-36%
PM <sub>10</sub>	-33%	-46%	-29%
SO <sub>2</sub>	-51%	-60%	-5%

**Tabella 2.a: Variazioni percentuali per inquinante degli scenari simulati rispetto al caso base**

Inquinante	SC2 vs SC1	SC3 vs SC1	SC3 vs SC2
CO	-11%	-14%	-4%
NMVOC	-4%	+6%	+21%
NH <sub>3</sub>	-15%	-27%	-23%
NO <sub>x</sub> (NO+NO <sub>2</sub> )	-23%	-8%	-23%
PM <sub>10</sub>	-13%	+4%	+15%
SO <sub>2</sub>	-9%	+46%	+55%

**Tabella 2.b: Variazioni percentuali per inquinante tra gli scenari simulati**

## **2- I SISTEMI DI MODELLI UTILIZZATI**

Per eseguire le simulazioni sono stati utilizzati 4 diversi sistemi modellistici, il sistema NINFA di ARPA Emilia-Romagna, il sistema ARIA Regional in due diverse configurazioni, da parte delle ARPA Lombardia e Valle d'Aosta ed il sistema CAMX da parte di ARPA Veneto. Nel seguito vengono riportate le informazioni di base per ciascun sistema con particolare riferimento al modello chimico di trasporto e dispersione, con una descrizione del tipo di meccanismo chimico per i gas e l'aerosol atmosferico utilizzato da ciascun modello.

I sistemi sono stati applicati utilizzando lo stesso insieme di dati di ingresso per quanto riguarda le emissioni, i dati meteorologici di base e le condizioni al contorno. Le applicazioni differiscono tra loro per la configurazione della griglia di lavoro e per i parametri statici forniti in ingresso a ciascun modello, quali l'orografia, l'uso del suolo e le varie costanti fisiografiche tipiche di ciascun modello. Anche il trattamento applicato ai dati meteorologici e di emissione per adattarli alle specifiche esigenze di ciascun sistema può differire da una applicazione all'altra. Per ciascuna applicazione sono stati quindi specificati il tipo di procedimento utilizzato per ricavare, a partire dai dati fondamentali, i vari parametri meteorologici richiesti per il trattamento dei processi di diffusione e trasformazione degli inquinanti (coefficienti di diffusione, velocità verticale, altezza di rimescolamento, radiazione, ecc.). Anche il trattamento applicato ai dati di emissione, quali la assegnazione delle sorgenti puntuali a diversi livelli del modello o la eventuale dipendenza delle emissioni dalle condizioni meteorologiche vengono descritte per ciascuna applicazione. Vengono infine riportati alcuni dati relativi ai tempi di calcolo necessari per eseguire le simulazioni da parte di ciascun sistema.

L'insieme di queste caratteristiche determina le differenze nei risultati ottenuti applicando sistemi diversi con gli stessi dati di ingresso.

L'insieme delle informazioni riportate è riassunto nella tabella sinottica contenuta nella sezione FIGURE E TABELLE-

### **Il sistema modellistico NINFA di ARPA Emilia-Romagna**

Il sistema di modelli utilizzato da ARPA Emilia-Romagna è denominato NINFA (acronimo bilingue con il significato italiano di "Network dell'Italia del Nord per la Fotochimica e l'Aerosol" e inglese di "Northern Italian Network to Forecast photochemical and Aerosol pollution"). NINFA è un insieme di modelli frutto del "progetto di realizzazione di un sistema modellistico integrato per la valutazione e gestione della qualità dell'aria" inserito nell'ambito dello "Accordo di Programma Quadro in materia di ambiente, mobilità ed energia" stipulato tra la Regione Emilia-Romagna e il Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio. L'intero sistema è stato realizzato nel periodo 2003-2005 con le risorse di personale e di calcolo di ARPA e con le risorse finanziarie rese disponibili dalla regione Emilia-Romagna. Allo sviluppo del sistema hanno inoltre contribuito in parte le collaborazioni in ambito nazionale, come quella del CTN-ACE e progetti di ricerca europei, come il progetto FUMAPEX. I criteri generali attraverso i quali è stato sviluppato ed implementato il sistema sono descritti in Deserti, Stortini, Minguzzi, Bonafè, 2005. Il sistema NINFA è implementato operativamente presso SIM ed è gestito dall'Area di Meteorologia Ambientale. Le previsioni numeriche di NINFA sono disponibili quotidianamente sul

sito del Servizio Idrometeorologico ([www.arpa.emr.it/SIM](http://www.arpa.emr.it/SIM) nella sezione *Qualità dell'aria, Previsioni qualità aria Nord Italia*), dove è disponibile anche la documentazione del sistema. Una descrizione dettagliata di NINFA e del modello chimico CHIMERE è disponibile attraverso l'inventario dei modelli dell'azione europea COST 728/732 (<http://www.mi.uni-hamburg.de/Model-Inventory.504.0.html> )

Il modello Chimico di trasporto e dispersione (CTM) utilizzato da NINFA è CHIMERE (versione: 200501H), un modello a codice aperto ed a distribuzione libera sviluppato all'Ecole Polytechnique di Parigi (<http://euler.lmd.polytechnique.fr/chimere/>). CHIMERE è un modello euleriano di trasporto chimico, progettato sia per produrre previsioni quotidiane di ozono, polveri ed altri inquinanti, sia per realizzare simulazioni di lungo termine per l'analisi di scenari emissivi. Può essere implementato su domini di integrazione molto diversi, dalla scala continentale (qualche migliaio di chilometri) alla scala regionale (100-200 km), con una risoluzione orizzontale compresa tra 100 e 1-2 km. CHIMERE riproduce i principali fenomeni che riguardano gli inquinanti atmosferici: emissione, diffusione, trasporto, reazioni chimiche, deposizioni.

#### *Meccanismo chimico*

Il meccanismo chimico in fase gassosa utilizzato per le simulazioni è il meccanismo chimico ridotto MELCHIOR2 [Derognat et al., 2003]. Questo meccanismo permette di ridurre il tempo di calcolo in quanto opera con 44 specie e circa 120 reazioni ed è stato derivato dal meccanismo chimico completo MELCHIOR ([Lattuati, 1997]).

Il modulo per gli aerosol utilizzato è stato appositamente sviluppato per Chimere (Bessagnet et. al, 2004) utilizzando un modello a classi dimensionali basato sull'equilibrio termodinamico calcolato mediante il modello ISORROPIA. Nelle simulazioni con NINFA si è utilizzato il modo standard che tratta 6 classi granulometriche (limiti a: 40 $\mu$ m, 10 $\mu$ m, 2.5 $\mu$ m, 0.6 $\mu$ m, 150nm, 40nm, 10nm) e 7 specie chimiche (primario, solfati, nitrati, ammonio, secondario organico, dust, sale marino), per un totale di 42 variabili prognostiche. Il modello valuta inoltre le polveri disciolte nell'acqua delle nubi (5 specie chimiche) e l'acqua associata agli aerosol (per ciascuna classe granulometrica). Le specie primario, dust e sale non partecipano alle reazioni chimiche. Gli aerosol emessi vengono tutti inclusi nella specie "primario" (nitrati, solfati, ammonio e secondario organico sono quindi interamente secondari). Erosione, risospensione e spray marino sono stimati con semplici algoritmi che dipendono da: velocità del vento, friction velocity, umidità del terreno e uso del suolo. La risospensione è indipendente dalla deposizione (agisce in sostanza come un'ulteriore erosione del suolo). Per maggiori dettagli sul modulo aerosol, si rimanda al manuale di Chimere, pag. 27-28.

NINFA è stato eseguito su una griglia regolare UTM ad una risoluzione orizzontale di 10 km, 8 livelli verticali ibridi sigma-P. In pianura, il 1° livello è a 20 m, l'ultimo a 500 hPa. Il time step è stato impostato a 15'.

#### *Geografia*

I dati utilizzati per l'orografia derivano dal USGS (United States Geological Survey-<http://www.usgs.gov/>). Nella porzione italiana del dominio l'uso del suolo è stato

derivato dal Corine 2002 (<http://stweb.sister.it/ita/Corine/corine/progettocorine.htm>), mentre al di fuori dall'Italia è stato usato il Global Land Cover 2000 database, European Commission, Joint Research Centre, (<http://www-gem.jrc.it/glc2000/>). Una opportuna interfaccia è stata predisposta da ARPA-SIM per calcolare i 9 tipi di suolo usati da CHIMERE a partire dai data set utilizzati.

### *Meteorologia*

I dati meteorologici sono stati processati mediante il preprocessore DIAGMET di Chimere opportunamente adattato da ARPA-SIM per processare i dati derivanti dal modello meteorologico LAMI. DIAGMET utilizza uno schema parametrico dipendente da  $H_{mix}$ ,  $U^*$ ,  $MO$ ,  $W^*$  con formule diverse per le condizioni atmosferiche stabili/instabili, e per quote maggiori/minori di  $H_{mix}$  (per maggiori dettagli, si rimanda al manuale di Chimere, pag. 18). Nella versione modificata di DIAGMET  $U^*$ ,  $MO$  e  $H_{mix}$  sono calcolati con schemi parametrici, a partire dai profili di temperatura potenziale e velocità del vento, dai flussi di calore e da vento e temperatura alla superficie forniti dal modello meteorologico LAMI. La velocità verticale è diagnosticata a partire dalla divergenza del vento orizzontale. L'effetto delle nubi sulle reazioni fotochimiche viene considerato parametrizzando l'attenuazione della radiazione (si vedi manuale di Chimere, pag. 28-29). Nella versione di DIAGMET modificata il contenuto d'acqua delle nubi è stato stimato con uno schema parametrico (Slobin, 1982) a partire dalla copertura nuvolosa fornita dal modello LAMI. Nelle celle prevalentemente urbane sono stati imposti valori minimi per:  $H_{mix}$  (150m),  $K_z$  ( $0.25 \text{ m}^2/\text{s}$ ),  $MO$  in condizioni stabili (25 m). Il massimo valore dell'altezza di rimescolamento  $H_{mix}$  è stato imposto essere 2500 m.

### *Emissioni*

I dati di emissione sono stati processati assegnando tutte le emissioni al 1° livello, tranne quelle relative ai grandi impianti di produzione di energia, che sono state trattate come sorgenti puntuali ad altezza variabile in base alle condizioni meteorologiche. Poiché tali sorgenti non sono descritte esplicitamente nell'inventario, sono state selezionate le celle in cui le emissioni annuali di  $\text{NO}_x$  del settore 1 sono superiori a 100 t/anno: in queste celle, tutte le emissioni del settore 1 sono attribuite a sorgenti puntuali.

Le emissioni biogeniche e l'altezza efficace delle sorgenti puntuali sono calcolate ora per ora in base alle condizioni meteorologiche (per l'altezza efficace è stato usato lo stesso algoritmo del modello CAMx (Environ Inc., 1994).

Le emissioni di PM coarse ( $10\text{-}40 \mu\text{m}$ ) sono state stimate moltiplicando le emissioni di  $\text{PM}_{10}$  dell'inventario CTN per un fattore, dipendente dal settore, desunto dall'inventario Lombardia 2001 (versione ott.2004). Le emissioni di aerosol, che nell'inventario non sono attribuite a nessuna classe granulometrica, sono state considerate  $<2.5 \mu\text{m}$

### *Altre note*

Il Sistema NINFA è implementato su un sistema Linux multiprocessore a 6 nodi con processori da 3GHz. In questa configurazione i tempi di calcolo su singolo processore per condurre una simulazione NINFA a 10 km di risoluzione sono di circa 1h per un

giorno di simulazione con un rapporto tempo di calcolo/tempo simulato pari a circa 0.048.

### **Il sistema modellistico ARIA Regional di ARPA Valle d'Aosta**

ARPA Valle d'Aosta utilizza la suite ARIA Regional della società AriaNET srl per gli studi di modellistica di dispersione degli inquinanti in atmosfera della Regione Valle d'Aosta.

Dopo diversi anni di utilizzo del codice lagrangiano a particelle SPRAY, dal 2005 si è iniziato a simulare con il codice euleriano fotochimico FARM per poter meglio analizzare le polveri e l'ozono, inquinante particolarmente critico nelle zone di alta montagna.

FARM è stato applicato su un dominio di 112 x 72 km<sup>2</sup> con risoluzione di 2 km, 12 livelli verticali fino a 8000 m, che comprende la Regione Valle d'Aosta e parti delle regioni limitrofe (Alta Savoia francese, Vallese svizzero e Canavese). L'input emissivo, trattato dal modulo EMMA, è dato dall'inventario regionale valdostano, una parte di quello piemontese e dati EMEP per le regioni straniere, l'input meteo viene costruito a partire dai campi meteorologici forniti dai risultati della simulazione nazionale del Progetto MINNI combinati con dati da stazioni locali mediante il modello mass-consistent, Minerve. Le condizioni al contorno ed iniziali derivano anch'esse dalla simulazione MINNI.

In futuro si prevede per i campi meteorologici e di concentrazioni ai bordi del dominio di utilizzare gli output della simulazione annuale per la Regione Piemonte, a cui forniremo i nostri dati emissivi come input per i loro lavori.

### **Il sistema modellistico ARIA Regional di ARPA Lombardia**

Il sistema ARIA Regional, sviluppato dalla società AriaNET srl, è stato messo a punto presso ARPA Lombardia nell'ambito di una ricerca per lo studio modellistico dell'ozono e del particolato promosso dalla Regione Lombardia. Il sistema si compone di un set di processori diagnostici per la trattazione dei campi meteorologici e dei parametri micrometeorologici di turbolenza (Minerve, SurfPro), di processori per la disaggregazione spazio-temporale, la speciazione delle emissioni e la produzione di scenari (EMMA, modulo SCENARI) e di algoritmi dedicati al processing delle condizioni al contorno e di start-up per la simulazione. Il modello chimico e di trasporto impiegato è FARM, dotato di modulo aero3 per la trattazione del particolato aerodisperso. Il sistema viene applicato su un dominio di 244 x 236 km<sup>2</sup>, con risoluzione di 4 km per 11 livelli verticali (fino a 8000 m), che include interamente la Regione Lombardia e si interfaccia al database della rete di qualità dell'aria, al database della rete meteorologica e idrogeologica ed alla rete micrometeorologica SHAKEup. L'input meteo viene costruito a partire dai campi meteorologici forniti dal Centro Europeo (ECMWF) combinati con dati da stazioni meteo locali mediante il processore diagnostico Minerve. Le condizioni al contorno ed iniziali sono ricavate a partire dalle elaborazioni quotidiane fornite dal sistema Prev'air (CHIMERE continentale a 50 km di risoluzione orizzontale) assimilate ai dati misurati per la fase di start-up del modello. L'input emissivo è costituito dall'inventario regionale INEMAR di emissioni (anno

2003) e dai dati resi disponibili dal CTN\_ACE (APAT, riferiti al 2000) per quel che riguarda le aree extra-regionali ricadenti nel dominio di calcolo.

Il sistema è stato utilizzato per la ricostruzione di episodi critici di ozono e PM10, per l'analisi dell'impatto sulla qualità dell'aria di scenari emissivi nonché per supportare, insieme agli esperti di reti di qualità dell'aria, le scelte relative alla zonizzazione del territorio regionale. Su richiesta dei Dipartimenti provinciali ARPA, vengono estratti risultati su porzioni del dominio o applicato il sistema con risoluzione maggiore per analisi di ricadute locali. È in fase di testing finale una catena operativa per l'analisi quotidiana dei campi di concentrazione di PM10, ozono e biossido di azoto. Terminato il periodo di sperimentazione, sarà possibile disporre ogni giorno delle uscite numeriche e delle mappe di concentrazioni medie e massime per tali inquinanti a supporto della valutazione quotidiana della qualità dell'aria sull'intero territorio regionale.

Le simulazioni sono state eseguite da ARPA Lombardia e Valle d'Aosta utilizzando il sistema ARIA Regional in due diverse configurazioni di seguito descritte:

Il modello Chimico di trasporto e dispersione (CTM) utilizzato da ARIA Regional è FARM versione 2.6.2

#### *Meccanismo chimico*

Il Meccanismo chimico (fase gassosa e particellare) utilizzato da FARM è stato per entrambe le configurazioni SAPRC90 (C6H6 esplicito); che tratta 57 specie (esplicite, aggregate e operatori) e 129 reazioni. Le specie sono distinte sulla base dell'integratore chimico (IEH): 3 "specie" costanti, 36 lente, 10 veloci, 8 stazionarie (radicali).

Nelle due configurazioni sono stati utilizzati due diversi moduli per gli aerosol implementati in FARM. Il primo, denominato *aero0*, utilizzato da ARPA Valle d'Aosta, include le emissioni delle frazioni fine (PM2,5) e grossolana (PM2,5-10) e uno schema semplificato per il trattamento dei processi chimico-fisici che coinvolgono l'ammoniaca, l'acido nitrico e l'acido solforico e che danno luogo alla formazione, in fase particellare, di solfato e nitrato di ammonio. Il secondo, denominato *aero3*, utilizzato da ARPA Lombardia, è il modulo messo a punto da EPA e implementato in MODELS-3 (Binkowski, 1999; Binkowski e Shankar, 1995). *aero3* considera tre classi dimensionali: "Aitken" (fino a 0,1 µm), "accumulazione" (0,1-2,5 µm) e "grossolane" (2,5-10 µm) nelle quali sono considerate diverse specie chimiche (nitrati, solfati, ammonio, acqua, carbonio, eccetera). Tale modulo considera inoltre i principali processi che governano la formazione e l'accrescimento del particolato:

- nucleazione: formazione di particelle per agglomerazione di molecole di vapore supersature;
- condensazione (conversione da gas a particella);
- diffusione di specie gassose verso la superficie delle particelle e successiva cattura;
- dissoluzione e reazioni chimiche eterogenee di solfati e nitrati: solitamente trascurate ma significative in presenza di acqua liquida (per esempio in condizioni caratterizzate da alti valori di umidità relativa);
- equilibrio termodinamico tra le specie chimiche inorganiche (Nenes et al., 1998) e organiche (Schell et al., 2001) in fase gassosa, liquida e solida;
- coagulazione: collisione ed adesione di particelle (accrescimento).

Il modulo aero0 (ARPA VdA) considera tre specie per la frazione fine (PM<sub>2,5</sub>): nitrato d'ammonio, solfato d'ammonio e aerosol primario e una specie per la frazione grossolana (PM<sub>2,5-10</sub>): aerosol primario (che include, se considerate, le emissioni terrigene e derivanti da aerosol marino).

Il modulo aero3 (ARPA LO) considera le seguenti nove specie per le due classi di PM<sub>2,5</sub> (Aitken e accumulazione): solfato, nitrato, ammonio, carbonio organico primario, carbonio organico secondario, carbonio organico secondario di origine biogenica, carbonio elementare, aerosol antropogenico non speciato e acqua. Per la frazione grossolana (PM<sub>2,5-10</sub>) considera le seguenti tre specie: aerosol primario, sali marini e particolato di origine terrigena.

### *Geografia*

I dati utilizzati per l'orografia derivano dal DEM100 - WGS84 dell'USGS (United States Geological Survey). Uso del suolo: classificazione CORINE (CORINE 2000) aggregato in 21 classi.

### *Meteorologia*

I dati meteorologici del modello meteorologico LAMI sono stati processati eseguendo una lettura dei file ASCII, un controllo su eventuali valori negativi di umidità e precipitazione e la conversione in formato NetCDF. Successivamente si è proceduto alla interpolazione tridimensionale dei campi meteorologici sulla griglia di calcolo, imponendo divergenza nulla alla velocità del vento (modulo GAP, Ariamet R2005.09). Il calcolo di parametri turbolenti/micrometeorologici avvenuto mediante il codice SURFPRO (Ariamet R2005.11), che esegue i seguenti calcoli:

- radiazione totale e netta: calcolo di pendenze del terreno e ombre (Oke, 1987)
- diffusività orizzontale: funzione dipendente dalla classe di stabilità e schema di Smagorinsky (1963)
- diffusività verticale: come nel modello RDM (Lange, 1989; Nasstrom, 1995)
- calore sensibile, velocità di frizione, lunghezza di Monin-Obukhov, altezza dello strato rimescolato, velocità convettiva: in condizioni stabili, Holtslag (1983) e Carson (1973); altrimenti, Venkatram (1980) e Weil (1983).
- velocità di deposizione: modello a resistenze con approcci di Hicks (1987) e Slinn (1978)

Il contenuto d'acqua delle nubi è stato stimato mediante il processore MCIP (Byun, 1999). L'effetto delle nubi sulle reazioni fotochimiche considera l'attenuazione della radiazione al di sotto delle nubi e l'effetto albedo al di sopra.

Il trattamento delle reazioni eterogenee avviene nel modulo aero3 considerando la reazione in fase eterogenea del N<sub>2</sub>O<sub>5</sub> sulla superficie dell'aerosol.

Nelle aree urbane è stata applicata una correzione ponendo KZ minimo differenziato per le aree urbane e rurali.

### *Emissioni*

I dati di emissione sono stati processati con il preprocessore chimico – interfaccia emissioni EMMA 3.5.1 (Ariamet R2005.08). Le emissioni sono assegnate sia al primo livello (80%) sia al secondo (20%). Sono state considerate dipendenti dalle condizioni meteorologiche la erosione, sospensione, sale marino per le quali il contributo è calcolato in funzione della velocità del vento al suolo o sul mare nelle due classi < 2,5

$\mu\text{m}$  e  $> 2,5 \mu\text{m}$ . Per le particelle fini esso confluisce nella particelle “restante antropogenico”, classe “accumulazione”.

#### *Altre note*

Le deposizioni secche (dei gas, e per aerosol anche degli aerosol) sono considerate proporzionali alla concentrazione al suolo tramite la velocità di deposizione (si veda più sotto) calcolata da un modello micrometeorologico (SURFPRO, Ariamet R2005.11). Se il modulo per gli aerosol è aerosol3, si utilizza lo schema di deposizione descritto in Binkowski, 1999 e Binkowski e Shankar, 1995. Le deposizioni umide non sono state considerate.

Entrambe le simulazioni eseguite con ARIA Regional sono state effettuate su una griglia regolare UTM32 di 128 x 82 punti con passo 5 km, angolo sudovest con coordinate (260, 4780) km, 11 livelli verticali, ad altezze 10, 40, 90, 170, 300, 500, 800, 1250, 1950, 3050, 4860 m (quota del punto di mezzo fra le facce superiore e inferiore). Cima del dominio a 8000 m. Intervallo di sincronizzazione (passo temporale principale): 600 s

Coefficienti di conversione da ppb a  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  sui valori in uscita:

ARPA LO	NO: 1,227	NO2: 1,881	O3: 1,962	specie aerosol: già in $\mu\text{g}/\text{m}^3$
ARPA VdA	NO: 1,25	NO2: 1,91	O3: 2,00	specie aerosol: già in $\mu\text{g}/\text{m}^3$

La catena modellistica, gestita con script bash su Windows PC tramite l'emulatore Cygwin è stata implementata da ARPA LO su due macchine (no brand), non esclusivamente dedicate. Processori: AMD Athlon 3500+ (2,21 GHz) RAM: 2 GB. Nel caso più favorevole il rapporto tempo di calcolo/tempo simulato è stato pari a circa 0,15 (un giorno di simulazione in tre ore e mezza, un mese di simulazione in quattro giorni e mezzo)

ARPA VdA ha implementato il sistema su una macchina non esclusivamente dedicata, Pentium IV (CPU 3.6 GHz, RAM 2 GB), ed un PC portatile, Pentium M760 (CPU 2 GHz, RAM 512 MB). Nel caso più favorevole il rapporto tempo di calcolo/tempo simulato è stato pari a circa 0,13 (un giorno di simulazione in tre ore, un mese di simulazione in tre giorni e mezzo).

### **Il sistema modellistico CAMx – LAMI di ARPA Veneto**

Il modello utilizzato da A.R.P.A. Veneto (A.R.P.A.V.) è CAMx (Comprehensive Air quality Model with extensions), versione 4.03 (<http://www.camx.com>) .

CAMx è un modello fotochimico euleriano di dispersione d'inquinanti gassosi e di materiale particolato dalla scala regionale fino alla scala continentale. Il sistema è disponibile pubblicamente, ovvero qualsiasi utente può scaricare il codice sorgente e modificarlo. La grande flessibilità nella trattazione degli strati verticali nella griglia di CAMx permette al modello di adattarsi alla griglia di qualsiasi modello meteorologico; lungo la direzione orizzontale invece CAMx accetta proiezioni geometriche di tipo UTM, LAT-LON, conica di Lambert e Polare.

CAMx consente l'utilizzo del nesting (griglie a nido) di tipo due vie; offre l'opportunità agli utenti di introdurre o di rimuovere arbitrariamente griglie nido (flexi-nesting); consente l'utilizzo di più processori per computer con memoria condivisa (parallel

processing - OpenMP); contiene un modulo lagrangiano per il trattamento delle sorgenti puntuali; infine il sistema contiene diversi strumenti che consentono di valutare l'importanza dei diversi processi e delle fonti emissive nel computo delle concentrazioni finali. Nelle simulazioni eseguite per il progetto SP03 nessuno di questi strumenti è stato utilizzato in quanto non necessario ai fini applicativi.

ARPA Veneto ha implementato il modello CAMx sulla regione Veneto utilizzando il preprocessore CALMET (Scire et al., 1990) per il calcolo delle variabili meteorologiche, l'inventario Top-Down APAT 2000 integrato con un inventario Bottom-Up per le principali sorgenti puntuali industriali per la parte emissiva e di dati di uscite del sistema Prev'air (<http://prevair.ineris.fr/fr/index.php>) per le condizioni al contorno ed iniziali.

#### *Meccanismo chimico*

Il meccanismo chimico utilizzato da CAMx per la fase gassosa è il Carbon Bond IV (CB4, Gery et al., 1989) per un totale di 100 reazioni (di cui 6 fotochimiche) e 46 specie chimiche (34 gas, 12 radicali). In alternativa, CAMx è interfacciato con il SAPRC-99, ma nella versione di CAMx utilizzata in questo progetto solo il meccanismo CB4 consente la trattazione congiunta della chimica gassosa con la chimica del particolato.

Il risolutore chimico si chiama Chemical Mechanism Compiler (Environ Inc., 2004). Più che un risolutore codificato è un preprocessore che genera il meccanismo chimico adatto. Una volta lette le specie del meccanismo chimico scelto (Carbon Bond o SAPRC99) genera il codice numerico per risolvere le equazioni chimiche. Alternativamente si può optare di utilizzare CAMx con risolutore chimico IEH (Sun et al., 1994) circa 3 volte più lento di CMC.

In tabella 1 sono elencate le specie aerosoliche considerate da CAMx versione 4.03. Per ogni specie è presente la dimensione delle particelle (tab. 1, seconda colonna), la presenza o meno della specie nella catena delle reazioni chimiche (tab. 1, terza colonna) e la presenza o meno della specie nell'inventario delle emissioni. La dimensione delle particelle è un parametro di ingresso del modello. Le specie cristalline non vengono emesse e neanche considerate dal meccanismo chimico, quindi il loro apporto per la frazione di particolato fine e grossolano è nullo. Tutte le specie secondarie (solfato, nitrato, ammonio, organico secondario) e le particelle carboniose sono considerate avere frazione fine (inferiore a 2.5  $\mu\text{m}$ ).

Specie	Dimensione assunta	R - Reattiva N - Non-reattiva	E - Emessa N - Non Emessa
Solfato	0 - 2.5 $\mu\text{m}$	R	E
Nitrato	0 - 2.5 $\mu\text{m}$	R	E
Ammonio	0 - 2.5 $\mu\text{m}$	R	E
Organico primario	0 - 2.5 $\mu\text{m}$	N	E
Carbonio elementare	0 - 2.5 $\mu\text{m}$	N	E
Altro primario fine	0 - 2.5 $\mu\text{m}$	N	E
Altro primario grossolano	2.5 - 10 $\mu\text{m}$	N	E
Crostante fine	0 - 2.5 $\mu\text{m}$	N	N
Crostante grossolano	2.5 - 10 $\mu\text{m}$	N	N
Sodio	2.5 - 10 $\mu\text{m}$	R	E
Cloro	2.5 - 10 $\mu\text{m}$	R	E
Organico secondario (4 specie di cui una di origine biologica)	0 - 2.5 $\mu\text{m}$	R	N

**Tabella 1: Specie aerosoliche considerate da CAMx versione 4.03 con relativa dimensione, presenza o assenza nello schema chimico del modello e presenza o assenza nell'inventario delle emissioni.**

La chimica del particolato in CAMx deriva dalla trattazione implementata nel modello RADM (Regional Acid Deposition Model) da cui prende il nome il modulo in CAMx per la trattazione della chimica in fase acquosa (Chang et al. 1987). La partizione tra gas condensabili organici in aerosoli secondari organici viene gestita dal modulo SOAP (Strader et al, 1998) mentre la partizione di costituenti inorganici (solfati, nitrati, ammonio) tra fase gassosa e particellare utilizza il modulo termodinamico ISORROPIA (Nenes et al. 1998, 1999). Il modello non valuta l'acqua associata agli aerosol.

I tassi di fotolisi a cielo sereno (privo di nubi e precipitazione) vengono calcolati dal modello TUV adattato per CAMx e distribuito con il pacchetto del modello. Il modello richiede in ingresso i dati di albedo, concentrazione di ozono integrato verticalmente e torpidità atmosferica e calcola tassi di fotolisi a cielo limpido. I tassi di fotolisi vengono ridotti al di sotto delle nuvole a causa dell'estinzione dei raggi solari ed incrementati al di sopra le nuvole a causa della riflessione degli stessi.

### *Geografia*

CAMx necessita della suddivisione percentuale delle in categorie di uso del suolo su ogni punto di griglia. La base dati per ricavare tale classificazione è duplice. La base dati CORINE 2000 vettoriale per i territori all'interno della comunità europea EU15 integrata con la base dati PELCOM vettoriale. Elaborazioni tramite software GIS (Geographical Information Systems) hanno permesso di produrre una griglia di valori con risoluzione 500x500 m ed un processamento di tali dati ha generato i dati di uso del suolo su griglia 5x5 km.

### *Meteorologia*

I parametri meteorologici che CAMx necessita in ingresso sono velocità orizzontale del vento, temperatura, pressione, umidità specifica, diffusività verticale, contenuto di acqua e ghiaccio nelle nubi, precipitazione e lo spessore ottico dell'atmosfera dovuto al nubi ed alla precipitazione. Tutte le grandezze devono essere specificate per le tre dimensioni spaziali e con cadenza temporale oraria. Tutte le grandezze ad esclusione della diffusività verticale sono presenti nella base dati LAMI fornita da ARPA Emilia Romagna.

Il preprocessore meteorologico sviluppato da ARPA Veneto permette di leggere i dati del modello meteorologico LAMI, così come forniti da ARPA Emilia Romagna, e di svolgere le seguenti funzioni:

- Interpolare in direzione orizzontale i parametri necessari dalla griglia 7x7 km proiezione geografica Latitudine-Longitudine alla griglia 5x5 km proiezione UTM
- Calcolare la diffusività verticale utilizzando le variabili LAMI del vento e temperatura (Richardson number) secondo lo schema diffusivo di Louis 1979.

Lungo la direzione verticale il modello utilizza lo stesso tipo di griglia del modello meteorologico LAMI, ovvero la discretizzazione verticale in livelli  $\sigma_z$ . I livelli utilizzati nelle simulazioni coincidono con i 12 livelli più vicini al suolo presenti nella base dati. Le interfacce dei vari livelli si trovano ad una distanza dal suolo di circa: 33, 100, 200, 300, 450, 600, 750, 900, 1100, 1500, 2110 e 2900 metri.

#### *Emissioni*

L'inventario delle emissioni utilizzato è stato fornito da ARPA Lombardia così come i profili di disaggregazione chimica (per COV, PM) e temporale mentre la disaggregazione assunta per gli NOx è stata di 95% e 5% per NO e NO2 rispettivamente. La base dati contiene al suo interno emissioni da sorgenti puntuali. Non potendo però scindere le emissioni puntuali da quelle areali nelle celle in cui sia presente un camino industriale, tutte le emissioni sono state poste al suolo. Ciò può comportare una sovrastima delle concentrazioni nelle celle limitrofe ad emissioni al suolo elevate dovute a sorgenti puntuali con quota di emissione maggiore del primo livello del dominio. Nessuna emissione o stima di emissioni è inclusa nel modello per quanto riguarda gli aerosoli marini ed i fenomeni di erosione e risospensione.

#### *Altre note*

Le condizioni al contorno ed iniziali per le simulazioni derivano dal modello continentale CHIMERE e sono state fornite da ARPA Piemonte. Un processore di ARPA Veneto ha prodotto i dati di ingresso nel formato richiesto da CAMx. In direzione orizzontale, il valore delle condizioni al contorno ed iniziali in una cella di CAMx coincide con il valore della concentrazione della cella di CHIMERE ove ricade il centro della cella di CAMx. Ovvero, nessun tipo di interpolazione orizzontale è stata eseguita mentre il processore esegue una interpolazione verticale tra i livelli di CHIMERE ed i livelli di CAMx. La scelta dell'altezza massima del dominio tridimensionale di CAMx è stata limitata dall'altezza del dominio di CHIMERE presente nella base dati. L'ultimo livello utile nei dati CHIMERE si trova a circa 3200 m.

La lunghezza massima di ogni simulazione è di 15 giorni poiché i tassi di fotolisi sono costanti all'interno di essa.

Il modello ha simulato i 15 giorni antecedenti il periodo di simulazione al fine di produrre le condizioni iniziali ottimali per il periodo di confronto.

Il tempo macchina necessario per la simulazione di un mese varia da 4 giorni macchina per un periodo estivo a 10 giorni macchina per un periodo invernale in un server con singolo processore a 2GHz e 8GB di RAM.

La dimensione dei dati di uscita per un mese di simulazione e per le specie simulate (5 gas e 15 aerosoli) è di 600MB.

Nelle simulazioni modellistiche dell'esercizio di interconfronto non sono state applicati accorgimenti del tipo: correzioni alle variabili meteorologiche in aree urbane, stima delle emissioni dipendenti dalle condizioni meteorologiche, stima dei meccanismi di erosione, risospensione ed emissione di spray marino. Inoltre i risultati della catena modellistica CAMx-CALMET implementata sulla regione Veneto hanno dimostrato essere particolarmente sensibili alla diffusività verticale. Un'adeguata analisi delle prestazioni e la taratura della catena modellistica implementata in questo esercizio con diversi schemi di stima diffusività ed altri accorgimenti verrà eseguita in un prossimo futuro quando la catena modellistica CAMx-CALMET verrà sostituita dalla catena CAMx-LAMI. Sono prevedibili quindi buoni margini di miglioramento delle prestazioni per le simulazioni qui presentate.

### **3 - LA RACCOLTA E L'ELABORAZIONE DEI DATI**

I campi di concentrazione al suolo di PM<sub>10</sub>, NO<sub>2</sub> ed O<sub>3</sub>, prodotti dai quattro differenti sistemi modellistici, per il caso base e per i differenti scenari, sono stati raccolti secondo un protocollo di scambio dati appositamente definito ed elaborati per valutare le prestazioni dei diversi modelli in riferimento ai dati osservati di qualità dell'aria, e la loro risposta alle variazioni di scenario emissivo. Nel seguito si esamineranno in dettaglio il dataset di stazioni di qualità dell'aria utilizzato, il protocollo di scambio dati e la metodologia di valutazione dei risultati.

#### **Il dataset di stazioni**

I dati di qualità dell'aria utilizzati per il confronto provengono dal dataset predisposto per l'area Bacino Padano Adriatico (BPA), unitamente al set di dati di input del CTN-ACE. Il dataset, che contiene i dati raccolti entro l'autunno 2004, si riferisce al periodo compreso fra gennaio 2003 e marzo 2004 e contiene le concentrazioni di ossidi di azoto, ozono e particolato PM<sub>10</sub> (sia come valori giornalieri ottenuti con campionatori gravimetrici, sia come valori orari ottenuti con analizzatori automatici) misurate da 51 stazioni di rilevamento di qualità dell'aria. L'anagrafica completa delle stazioni costituenti il dataset di verifica è riportata in allegato (SB: valutare se è necessaria), mentre in Figura 1 è indicata la distribuzione delle stazioni per tipologia.

Nella definizione dei criteri per la scelta delle stazioni del dataset di confronto si è tenuto conto della necessità di permettere una corretta descrizione dei livelli di concentrazione degli inquinanti nell'area (attraverso l'individuazione di un numero significativo di siti di misura) ed un'adeguata rappresentatività spaziale in riferimento alle dimensioni del grigliato di calcolo, in modo da non condizionare la corretta valutazione delle prestazioni del sistema modellistico con la scelta di siti con

caratteristiche molto locali, nonché di avere un'elevata disponibilità di dati validi ripartiti nel periodo di riferimento. Per l'individuazione della tipologia delle stazioni di misura si è fatto riferimento alla classificazione riportata nella Decisione 2001/752/CE "Exchange of Information" (EOI), nel documento "Criteria for EUROAIRNET" relativamente alla definizione, per ogni sito, della tipologia di stazione (traffico, industriale e fondo) e del tipo di zona (urbana, suburbana, rurale). La classificazione delle stazioni è stata successivamente rivista dalle ARPA partecipanti sulla base delle *Linee Guida per la predisposizione delle reti di monitoraggio della qualità dell'aria in Italia* (APAT, 2004).

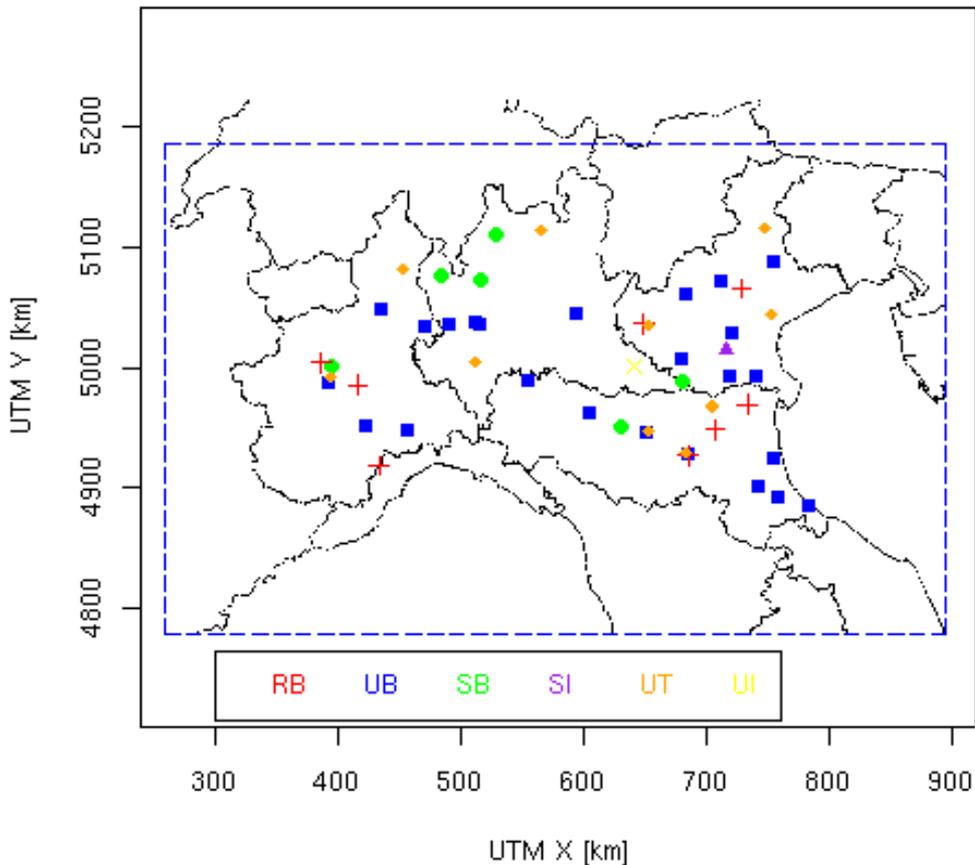


Figura 1: distribuzione delle stazioni nell'area BPA per tipologia (RB: rural background, UB: urban background, SB: suburban background, SI: suburban industrial, UT: urban traffic, UI: urban industrial) (SB: non c'è uno stile per le didascalie)

A valle della normale procedura di validazione alla quale sono soggetti i dati acquisiti presso le stazioni delle reti di monitoraggio locali, si è ritenuta opportuno effettuare una validazione di secondo livello, finalizzata all'individuazione di eventuali dati di qualità dell'aria anomali ai fini della valutazione delle prestazioni dei modelli di dispersione, sulla base di un protocollo di controllo che permetta di verificare la presenza nella serie temporale delle osservazioni di valori irrealistici, la presenza di *spikes* isolati di

concentrazione, l'assenza di modulazioni giornaliere e/o stagionali (De Maria et al, 2004).

### **Il formato di scambio dati**

La raccolta dei dati è avvenuta secondo il protocollo di scambio (riportato in allegato 1) definito all'interno del gruppo di lavoro. Tale protocollo prevede due differenti formati, il primo relativo al confronto con i dati osservati di stazioni di qualità dell'aria, il secondo relativo al confronto tra i campi di concentrazione al suolo. Per ogni stazione di monitoraggio facente parte del dataset di controllo, è stato prodotto un file testuale contenente i valori di concentrazione per tutti gli inquinanti considerati, sull'intero periodo di simulazione con cadenza oraria, riportando i campi di concentrazione sul primo livello del modello sulle coordinate delle stazioni di qualità dell'aria con un'interpolazione bilineare a partire dai quattro punti griglia più vicini. Per i campi di concentrazione al suolo è stato adottato il formato di scambio *NetCDF*, universalmente adottato a livello internazionale in ambito modellistico.

### **Gli indicatori di valutazione dei risultati.**

#### *Caso base*

La metodologia di valutazione dei risultati delle simulazioni modellistiche si basa da un lato sul confronto quantitativo tra i dati di concentrazione misurati dalle stazioni di rilevamento di qualità dell'aria ed i dati simulati estratti dalla griglia di calcolo sulle coordinate delle centraline (*verifica sui punti stazione*) e dall'altro sul confronto grafico tra i campi di concentrazione al suolo.

Le prestazioni dei modelli sono state valutate con la verifica sui punti stazione sia mediante l'utilizzo di indici statistici comunemente riportati nella letteratura specializzata, sia facendo riferimento agli obiettivi di qualità per la modellizzazione stabiliti dalla normativa nazionale e comunitaria di riferimento. Coerentemente con le motivazioni che hanno portato alla scelta del periodo di simulazione per il caso base, il periodo estivo ed il periodo invernale sono stati analizzati separatamente, in modo da cogliere eventuali differenze di comportamento dei sistemi modellistici legate alla stagionalità. Tutte le elaborazioni sono state inoltre effettuate sia sulle singole stazioni sia sulle stazioni raggruppate per tipologia. Tale scelta, oltre ad essere propedeutica alle elaborazioni legate alla variazione di scenario emissivo, permette di valutare la risposta dei modelli in differenti contesti di urbanizzazione ed utilizzo del territorio e rende più indipendente la valutazione delle simulazioni, i cui risultati sono rappresentativi di aree (o volumi) medi in relazione alla risoluzione adottata, dalle caratteristiche locali del singolo sito di misura. Si è infine preferito considerare separatamente il particolato  $PM_{10}$  misurato con campionatori automatici e quello misurato con metodo gravimetrico per non introdurre nel confronto fonti di errore legate alla eterogeneità della misura.

Sono stati scelti, tra quelli proposti in letteratura facendo riferimento a Yu (Yu et al. 2006), ai rapporti tecnici della comunità europea (EEA, 1998) ed a Poli (Poli and Cirillo, 1993), i seguenti dieci indici statistici (in tabella è riportata la loro definizione analitica):

- *BIAS*: fornisce informazioni sulla tendenza (in media) del modello alla sottostima o sovrastima; il valore ideale è zero, valori positivi indicano la sovrastima, valori negativi la sottostima.
- *FB* (Fractional Bias): anch'esso indica la tendenza in media del modello alla sottostima o alla sovrastima, ma, rispetto al *BIAS*, è un indice simmetrico (pesa allo stesso modo la sovrastima e la sottostima), adimensionale, ed assume valori compresi tra [-2,2], con valore ottimale zero.
- *NMBF* (Normalised Mean Bias Factor): nel *FB* la quantità simulata è confrontata non solo con l'osservazione ma con la media tra quantità osservate e simulate e questo può generare difficoltà interpretative, superabili con l'introduzione di *NMFB*, che è la misura del fattore di sottostima o sovrastima del modello rispetto alle osservazioni (ed è simmetrico ed adimensionale con valore ottimale zero).
- *RMSE* (Root Mean Square Error): fornisce una misura delle dimensioni degli errori prodotti dal modello. E' asimmetrico, non negativo, dimensionale con valore ottimale zero.
- *RMSE Systematic e RMSE Unsystematic*: definite come riportato in tabella, per un buon modello la componente sistematica di *RMSE* dovrebbe essere inferiore alla componente non sistematica.
- *WNNR* (Weighted Normalized mean square error of the Normalized Ratios): definito come in tabella, è un indice sempre non negativo con valore ideale zero.
- *NNR* (Normalized mean square error of the distribution of Normalized Ratios): definito come in tabella, è un indice sempre non negativo con valore ideale zero
- *Coefficiente di correlazione*: misura il grado (ed il segno) di correlazione lineare tra osservato e simulato; assume valori compresi tra [-1, 1], il valore zero indica assenza di correlazione lineare tra le due variabili.
- *SKILL-VAR*: è il rapporto tra le deviazioni standard simulate e misurate, fornisce informazioni sulla capacità del modello di riprodurre la variabilità delle osservazioni; è un indice adimensionale, sempre positivo con valore ottimale uno.

<i>BIAS</i>	$\frac{1}{N} \sum_i (P_i - O_i)$
<i>FRACTIONAL BIAS</i>	$2 \frac{\bar{P} - \bar{O}}{\bar{P} + \bar{O}}$
<i>NMBF (Normalised mean bias factor)</i>	$1 - \frac{\sum O_i}{\sum P_i}, \bar{P} < \bar{O}, \frac{\sum P_i}{\sum O_i} - 1, \bar{P} \geq \bar{O}$
<i>RMSE</i>	$\sqrt{\frac{1}{N} \sum_i (P_i - O_i)^2}$
<i>RMSE Systematic</i>	$\sqrt{\frac{1}{N} \sum_i (O_i - \hat{P}_i)^2}$
<i>RMSE Unsystematic</i>	$\sqrt{\frac{1}{N} \sum_i (\hat{P}_i - P_i)^2}$
<i>WNNR</i>	$\frac{\sum_i s_i^2 (1 - k_i)^2}{\sum_i s_i k_i}, k_i = \exp\left(-\left \ln \frac{P_i}{O_i}\right \right), s_i = \frac{O_i}{\bar{O}}$
<i>NNR</i>	$\frac{\sum_i (1 - k_i)^2}{\sum_i k_i}$
<i>Coefficiente di Correlazione</i>	$\frac{\sum_i (O_i - \bar{O})(P_i - \bar{P})}{\sqrt{\sum_i (O_i - \bar{O})^2} \cdot \sqrt{\sum_i (P_i - \bar{P})^2}}$
<i>SKILL-VAR</i>	$\frac{\sigma_P}{\sigma_O}$

Tabella 1: Indici statistici utilizzati. Con  $N$  si è indicato la numerosità dei dati, con  $O_i$  e  $P_i$  rispettivamente la concentrazione osservata e simulata al tempo  $i$ .

Gli indici sono stati calcolati, per ogni inquinante su ogni stazione di misura e su ogni gruppo di stazioni di differente tipologia, a partire dai dati orari simulati ed osservati (per il  $PM_{10}$  proveniente da campionatori gravimetrici è stata utilizzata una base temporale giornaliera) e successivamente rappresentati in forma grafica per una più immediata interpretazione.

Ai fini di valutare la capacità dei modelli di riprodurre la variabilità (oraria, giornaliera, stagionale e mensile) che caratterizza i differenti inquinanti considerati, è stato effettuato un confronto tra le distribuzioni di concentrazione simulate ed osservate, calcolando su ogni singola stazione e sulle stazioni raggruppate per tipologia i box-plots (rappresentazione grafica di una distribuzione mediante un insieme di indici statistici di posizione quali mediana, primo quartile, terzo quartile, valori cardine e valori massimi) delle:

- distribuzioni delle concentrazioni osservate e simulate da ogni modello sul periodo invernale e sul periodo estivo,

- delle distribuzioni delle concentrazioni osservate e simulate da ogni modello condizionate al mese,
- delle distribuzioni delle concentrazioni osservate e simulate da ogni modello condizionate al giorno della settimana,
- delle distribuzioni delle concentrazioni osservate e simulate da ogni modello condizionate all'ora del giorno.

Per quanto riguarda il confronto con gli obiettivi di qualità dei dati, la legislazione di riferimento è rappresentata dal D.M. 2 aprile 2002 n. 60 (“Recepimento della Direttiva 1999/30/CE concernente i valori limite di qualità dell’aria ambiente per SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, particelle, Piombo e della Direttiva 2000/69/CE relativa ai valori limite di qualità dell’aria ambiente per il benzene ed il CO”) e dal D.Lgs. 21 maggio 2004 n. 183 (“Attuazione della Direttiva 2002/3/CE relativa all’ozono nell’aria”). I due decreti introducono la richiesta che le tecniche di modellizzazione siano validate secondo procedure documentate ed i risultati accompagnati dal loro grado di incertezza, definiscono l'incertezza come la “deviazione massima dei livelli di concentrazione misurati e calcolati, nel periodo considerato, per il calcolo della pertinente soglia, a prescindere dall’ordine cronologico degli episodi”, e stabiliscono, per ogni inquinante e per ogni indicatore di legge costruito a partire dai dati orari, le soglie entro le quali deve essere compresa tale incertezza.

	<i>NO<sub>x</sub>, NO<sub>2</sub></i> ( D. M 60/2002)	<i>PM<sub>10</sub></i> ( D. M 60/2002)	<i>O<sub>3</sub></i> ( D.Lgs 183/2004)
<b>Media oraria</b>	50-60%	--	50%
<b>Massimo giornaliero della media mobile su otto ore</b>	--	--	50%
<b>Media giornaliera</b>	50%	(1)	--
<b>Media annuale</b>	30%	50%	--

*Tabella 2: Valori delle incertezza stabilite dalla normativa per gli inquinanti considerati per i diversi indicatori. L'incertezza sulla media giornaliera del PM<sub>10</sub> non è stata ancora stabilita. (SB: non c'è uno stile per le didascalie)*

Il rispetto degli obiettivi di qualità dei dati è stato valutato confrontando, per ogni inquinante e per ogni indicatore di legge calcolato a partire dai dati orari, i valori simulati ed osservati mediante diagrammi a dispersione in cui sono state riportate le soglie previste per l'incertezza ed i valori limite. Non avendo a disposizione un anno completo di simulazione, i valori medi sul periodo invernale e sul periodo estivo sono stati considerati equivalenti alla media annuale per quanto riguarda il grado di incertezza ed i valori limite.

Il confronto tra i campi di concentrazione al suolo è stato effettuato con lo scopo di evidenziare da un lato le differenze (eventuali) esistenti tra i diversi sistemi modellistici nella riproduzione della struttura spaziale dell'inquinante, dall'altro fornire un esempio di produzione di mappe di isococoncentrazione da utilizzare per valutare lo stato di qualità dell'aria (in relazione allo scenario di riferimento) in un territorio.

Il confronto è stato effettuato a livello di campi numerici di sintesi, costruendo le mappe corrispondenti agli indicatori di legge aggregando sull'opportuna base temporale i risultati orari prodotti dai modelli. L'analisi è stata focalizzata principalmente sui campi

mediati sull'intero periodo invernale ed estivo della simulazione, producendo le mappe relative ai singoli modelli, le mappe differenza tra un modello e l'altro e le mappe differenza tra il singolo modello e l'insieme dei modelli utilizzati considerati come un unico modello. Il confronto è stato effettuato a livello grafico ed il lavoro svolto può essere considerato come un primo passo per una analisi più approfondita, anche in relazione ai dati osservati di qualità dell'aria, delle strutture spazio-temporali di concentrazione prodotte da un modello di chimica e trasporto (Jun. and Stein, 2004).

#### *Scenari.*

I risultati prodotti dai quattro sistemi modellistici per i tre scenari considerati sono stati elaborati al fine di valutare le risposte alla variazione del quadro emissivo e stimare, per quanto possibile dato il periodo di simulazione considerato, le scale temporali per il rispetto dei limiti di legge. In analogia a quanto fatto per il caso base, la metodologia adottata ha considerato sia i campi di concentrazione al suolo, sia i valori da questi estratti sui punti stazione. A differenza di quanto fatto in precedenza, non sono state considerate le singole stazioni ma solo l'insieme delle stazioni raggruppate nelle otto differenti tipologie a disposizione, mentre si è continuato ad analizzare separatamente il periodo invernale ed il periodo estivo (in tal caso ridotti rispettivamente al mese di gennaio 2004 ed agosto 2003). Su ciascun gruppo di stazioni e per ognuno dei modelli sono state calcolate le variazioni, tra il caso base ed i tre differenti scenari, di concentrazione media sul periodo e le variazioni del numero di superamenti dei valori limite (in valore ed in percentuale).

Per quanto riguarda i campi di concentrazione al suolo sono state prodotte le mappe di isoconcentrazione degli indicatori relative a ciascuno degli scenari variati e le mappe differenza (relativamente alle concentrazioni medie sui periodi e al numero di superamenti dei valori limite) rispetto ai risultati del caso base.

## **4 - RISULTATI**

I risultati delle simulazioni modellistiche prodotte dai quattro differenti sistemi utilizzati dai gruppi partecipanti all'esercizio sono stati confrontati tra loro e con i dati osservati di qualità dell'aria, relativamente agli inquinanti particolato PM<sub>10</sub>, biossido di azoto (NO<sub>2</sub>) ed ozono (O<sub>3</sub>), secondo la metodologia descritta nel capitolo precedente. Nel seguito verranno esposti sistematicamente i principali risultati dell'analisi svolta, secondo uno schema che ricalca quello utilizzato nelle elaborazioni. Non vengono presentati i risultati del confronto sulle stazioni di tipo suburbano industriale ed urbano industriale, dato l'esiguo numero di centraline che ricadono in tale tipologia.

Per consentire una maggiore facilità di lettura, tutte le immagini a cui si fa riferimento nel testo sono contenute in una unica sezione, presentata alla fine del rapporto e composta da quattro allegati, i primi tre relativi a ciascun inquinante per il caso base ed il quarto relativo alle analisi di scenario. I quattro sistemi modellistici sono stati identificati con *arpaer* (ARPA Emilia Romagna), *arpalo* (ARPA Lombardia), *arpava* (ARPA Valle d'Aosta) ed *arpave* (ARPA Veneto).

Infine è opportuno osservare come il periodo di simulazione scelto (quattro mesi suddivisi in episodio invernale ed episodio estivo) non consenta il calcolo degli indicatori di legge di lungo periodo (annuale) stabiliti dalla normativa vigente, e

pertanto il confronto con gli obiettivi di qualità dei dati presentato tra i risultati non deve considerarsi come rigoroso ma solo indicativo delle prestazioni del modello, in particolare per la media sui singoli periodi. Inoltre la scelta dei mesi di gennaio e febbraio, contraddistinti generalmente da condizioni di stabilità meteorologica e quindi da concentrazioni di inquinanti più elevate, risulta in tal senso particolarmente severa.

### Caso base, PM<sub>10</sub>

Per quanto riguarda il periodo invernale, il confronto tra i *boxplot* delle distribuzioni di concentrazione osservate e simulate su tutto il periodo dai quattro sistemi modellistici, evidenzia una generale sottostima dei valori mediani. La sottostima è più marcata considerando i valori di PM<sub>10</sub> misurati con strumenti gravimetrici (denominati nel seguito PM10G, Figura 1), meno marcata nel caso si considerino i valori acquisiti da strumenti automatici (denominati nel seguito PM10A, Figura 2), ma in questo caso occorre ricordare come il numero di stazioni disponibili sia inferiore (Tabella 1). Tra i sistemi modellistici, l'accordo migliore si ottiene con *arpalo*, il peggiore con *arpava* (si noti come entrambi utilizzino lo stesso modello FARM, ma con differenti moduli per il particolato), mentre risultati intermedi si hanno con *arpave* e *arpaer*. I risultati migliori si ottengono nelle stazioni di background, suburbane ed urbane utilizzando i dati PM10G, rurali utilizzando i dati PM10A. In quest'ultimo caso il modello *arpalo* riproduce bene sia i valori mediani sia i valori massimi.

I valori degli indici di performance, **BIAS**, **FB**, **NMBF** e **RMSE** confermano il quadro appena descritto. In particolare osservando, per ogni modello, sia la distribuzione dell'indice NMBF (*Normalised Mean Bias Factor*, che fornisce informazioni sul fattore di sottostima o sovrastima del modello), sia i valori che esso assume su ogni stazione raggruppata per tipologia (Figura 3 e Figura 4 rispettivamente, entrambe relative al confronto con PM10G), emerge come le prestazioni migliori si abbiano con *arpalo* (distribuzione più spostata verso valori positivi dell'indice in Figura 3) e la difficoltà di tutti i sistemi modellistici nel riprodurre il comportamento delle stazioni urbane da traffico, maggiormente influenzate da fonti di emissione molto localizzate. A fronte della sottostima dei livelli di PM<sub>10</sub> si evidenzia comunque la capacità di riprodurre l'andamento temporale delle concentrazioni: i valori del coefficiente di correlazione di Pearson sono in generale buoni, nelle distribuzioni di tale indice su tutte le stazioni (Figura 5), la classe più popolata (tranne che per *arpave*) corrisponde a valori compresi tra 0.6 e 0.8, con occorrenze anche nella classe 0.8-1 per *arpaer* e *arpav*, ed i *boxplot* delle distribuzioni simulate ed osservate condizionate al giorno della settimana (riportate in Figura 6 per le stazioni urbane di background con dati PM10A) confermano una buona riproduzione del ciclo settimanale (tranne che per le stazioni urbane da traffico).

Le mappe di isoconcentrazione dei campi medi sul periodo invernale riportate in Figura 7 mostrano una generale concordanza tra i modelli nell'individuazione delle aree a maggiore criticità (i grandi agglomerati urbani e alcune zone nell'entroterra della laguna veneta) e nella riproduzione delle principali caratteristiche spaziali. I campi prodotti da *arpaer*, sono più regolari in quanto le simulazioni sono state condotte con un passo di griglia orizzontale di 10 km. I campi prodotti dai modelli con passo di griglia di 5km (in particolare *arpalo*) sono molto discontinui e presentano gradienti di concentrazione in corrispondenza delle aree urbane o con particolari caratteristiche territoriali.

Comportamenti differenti si osservano anche in corrispondenza delle maggiori sorgenti puntuali, dove *arpalo*, *arpava* ed *arpave* producono, seppur in modo diverso, picchi di concentrazione. Questo comportamento dipende dal fatto che le sorgenti puntuali, non presenti come tali nel dataset emissivo utilizzato, sono state trattate in modo differenti dai diversi sistemi modellistici (si vedano le schede relative alle singole applicazioni).

Analizzando i risultati relativi al periodo estivo si confermano le diversità emerse tra i quattro sistemi, ma con un generale miglioramento delle prestazioni (più marcato per *arpave*). Il confronto tra *boxplot* delle distribuzioni di concentrazione osservate (relative sia al PM10G che al PM10A) e simulate su tutto il periodo estivo (Figura 8) mostra infatti un ottimo accordo in termini di valori mediani, valori massimi e larghezza della distribuzione. Ciò è confermato anche dai valori degli indici di performance (Figura 9) e del coefficiente di correlazione (con tale indice si osserva un lieve peggioramento per *arpalo* su alcune stazioni). I campi medi sul periodo estivo prodotti dai diversi modelli risultano più difforni tra loro nel settore sud occidentale del dominio (Figura 10).

I diagrammi di dispersione (*scatterplot*) permettono di eseguire una valutazione di massima del rispetto degli obiettivi di qualità del dato per la modellazione. Questa valutazione è stata fatta applicando al sottoperiodo simulato gli stessi parametri di qualità che vengono stabiliti dalla normativa per la media annuale del PM10 (D.M. 60/2002). In base ai risultati si stima che gli obiettivi di qualità del dato non siano generalmente rispettati nel periodo invernale (Figura 11) - se non in un esiguo numero di stazioni e per alcune configurazioni modellistiche (*arpalo*, *arpave* ed in misura minore *arpaer*) - né per la media di lungo periodo, né per la media giornaliera. Risultati migliori si ottengono nel periodo estivo (Figura 12) quando si stima che i risultati della modellazione possano rientrare all'interno dei margini di incertezza richiesti dalla normativa in quasi tutte le stazioni e per le varie configurazioni modellistiche (tranne che per *arpava*).

## Caso base, NO2

Per quanto riguarda il periodo invernale, il confronto tra i *boxplot* delle distribuzioni di concentrazione osservate e simulate su tutto il periodo dai quattro sistemi modellistici, evidenzia un accordo soddisfacente (Figura 1). In particolare i livelli mediani sono meglio riprodotti da *arpave* ed *arpaer*, che tuttavia sembrano presentare una maggiore dispersione dei dati (in particolare *arpave*). I risultati migliori si ottengono nelle stazioni di background, soprattutto urbane e rurali (dove si nota una certa sovrastima per *arpave* e *arpaer*), mentre si osserva una tendenza alla sottostima (meno marcata per *arpave*) nelle stazioni urbane da traffico, molto influenzate, come ricordato in precedenza, dalle emissioni locali. L'indice FB (*Fractional Bias*) fornisce informazioni sulla sottostima o sovrastima del modello. L'indice assume valore -2 quando si verifica la massima sottostima e 2 quando si verifica la massima sovrastima. Il valore ottimale è 0. Le distribuzioni dell'indice FB per ogni modello (Figura 2) ed i valori assunti sulle stazioni raggruppate per tipologia (Figura 3) evidenziano, in un contesto comunque soddisfacente, come i valori medi di concentrazione siano meglio riprodotti dai sistemi di *arpaer* ed *arpave* (distribuzioni spostate verso valori positivi dell'indice). Le differenze possono essere ricondotte non solo alle caratteristiche specifiche dei singoli modelli, ma anche alle differenti ipotesi fatte nell'impostazione delle simulazioni sulla

ripartizione delle emissioni di ossidi di azoto. I valori degli altri indici di performance, **BIAS**, **NMBF** e **RMSE** confermano il quadro appena descritto.

Risultati più discordanti, ed in generale meno soddisfacenti di quelli ottenuti per il particolato PM<sub>10</sub>, emergono dall'analisi dell'andamento temporale delle concentrazioni di biossido di azoto. Nella distribuzione dei valori del coefficiente di correlazione (valore ottimale 1), la classe più popolata (Figura 4) corrisponde a valori compresi tra 0.4 e 0.6 solo per *arpaer*, mentre per gli altri modelli i valori più frequenti appartengono alla classe 0.2-0.4. A conferma di ciò i *boxplot* delle distribuzioni simulate ed osservate condizionate all'ora del giorno, mostrano una buona riproduzione del ciclo diurno per le stazioni suburbane di background, mentre per le altre tipologie si hanno maggiori differenze con le osservazioni, in particolare nelle ore notturne e nelle stazioni urbane da traffico (Figura 5 e Figura 6).

La distribuzione spaziale, rappresentata mediante campi medi di concentrazione per il periodo invernale (Figura 7) e per il periodo estivo, mostra una buona concordanza tra i modelli nell'individuazione delle aree a maggiore criticità e nella riproduzione delle principali caratteristiche spaziali e conferma il quadro delineatosi con la verifica sui punti stazione. Permangono le differenze tra *arpaer* e gli altri tre modelli sia per quanto riguarda il trattamento delle sorgenti puntuali, sia per il dettaglio spaziale dei campi legato alla effettiva risoluzione di calcolo.

Analizzando i risultati relativi al periodo estivo, si continua ad osservare un buon accordo tra simulato ed osservato a livello di concentrazioni medie e si accentuano le problematiche nella rappresentazione dei cicli temporali (Figura 11). Nel dettaglio il periodo estivo è caratterizzato da un migliore accordo tra distribuzioni osservate e simulate (Figura 8), ma gli indici di performance evidenziano una tendenza alla sottostima maggiore che non nel periodo invernale (Figura 9). Il modello *arpave*, che pur produce livelli medi di concentrazione più vicini alla misura, sembra avere maggiori difficoltà nella simulazione degli andamenti giornalieri.

Infine, facendo riferimento agli obiettivi di qualità dei dati stabiliti dal D.M 60/2002, per la modellazione del biossido di azoto, tenendo comunque in considerazione che non è stato simulato un intero anno e che quindi si deve tener conto delle puntualizzazioni di inizio capitolo sul significato di tale confronto, dall'analisi dei diagrammi di dispersione (*scatter-plot*) si osserva come i valori modellati rientrino all'interno dei margini di incertezza stabiliti dalla normativa per *arpave* ed *arpaer*, sia nel periodo invernale sia nel periodo estivo. Più problematico risulta il rispetto degli obiettivi di qualità per *arpalo* ed *arpava*.

### **Caso base, O3**

Per quanto riguarda l'ozono, date le caratteristiche dell'inquinante, si descrivono principalmente i risultati relativi al periodo estivo. I *boxplot* delle distribuzioni di concentrazione osservate e simulate su tutto il periodo dai quattro sistemi modellistici, mostrano un'ottima concordanza per quanto riguarda i livelli mediani. (Figura 1). Il modello *arpaer* riproduce molto bene anche i valori di picco e tende a sovrastimare nelle stazioni rurali di fondo. Si osserva comunque una generale tendenza alla sovrastima dei minimi e, tranne che per *arpave*, i *boxplot* simulati sono più stretti di quelli osservati. I valori degli indici di performance e del coefficiente di correlazione (Figura 2, Figura 3 e Figura 4) confermano le buone prestazioni dei modelli nella

riproduzione dei livelli di ozono. In particolare, i risultati migliori si ottengono con *arpaer*, con valori del coefficiente di correlazione per la maggior parte compresi tra 0.8 e 0.9, quelli meno buoni con *arpate*. I risultati meno soddisfacenti si ottengono per le stazioni urbane da traffico.

Gli andamenti temporali, in particolare il ciclo diurno, sono simulati con buona precisione dai modelli *arpaer*, *arpava* ed *arpalo*, mentre *arpave* presenta maggiori discordanze con le osservazioni, specie nelle ore notturne (Figura 5), legate alle discordanze già riscontrate nella stima dell'NO<sub>2</sub>. Anche in tal caso le stazioni urbane da traffico, come atteso, si rivelano più critiche.

I campi di concentrazione media sul periodo e la mappe dei superamenti del valore bersaglio (Figura 6 e Figura 7) evidenziano alcune differenze tra i modelli nella riproduzione delle strutture spaziali. Si noti che queste differenze vengono enfatizzate dall'interpolazione bilineare sulle celle adiacenti utilizzata per ottenere i dati modellati in corrispondenza delle postazioni di misura. I campi di *arpaer* risultano più omogenei, con livelli medi più alti, specie in pianura padana. Questo sembra indicare come l'adozione di una minore risoluzione di calcolo sembra essere una scelta vantaggiosa per la simulazione dell'ozono. I campi di *arpave* mostrano livelli medi inferiori a quelli degli altri modelli ed una struttura spaziale fortemente disomogenea, in particolare sul settore occidentale del dominio. *Arpalo* ed *arpava* utilizzano lo stesso modello con lo stesso meccanismo chimico per gli inquinanti gassosi (SAPRC90), ma adottano fattori di conversione leggermente differenti per riportare in  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  la concentrazione simulata dal modello ed espressa in *ppb* (si veda le schede dei singoli modelli per dettagli) e questo fornisce comunque risultati apprezzabilmente diversi (Figura 7).

Nel periodo estivo i diagrammi a dispersione (*scatterplot*) evidenziano per tutti i modelli un generale rispetto degli obiettivi di qualità dei dati per il massimo giornaliero della media mobile su otto ore (Figura 8) e anche per la media oraria. Per la media oraria si hanno maggiori criticità verso i valori estremi per *arpalo*, *arpava* e soprattutto *arpave*.

Durante il periodo invernale, si nota una generale sovrastima dell'ozono, con boxplot delle distribuzioni simulate molto meno ampi di quelli delle distribuzioni osservate (Figura 9) tranne per *arpave*. I valori del coefficiente di correlazione (Figura 10) ed i boxplot delle distribuzioni condizionate all'ora del giorno (Figura 11) evidenziano le difficoltà che tutti i sistemi modellistici incontrano nel riprodurre gli andamenti temporali dell'ozono nella stagione invernale.

## Scenari, PM<sub>10</sub>

Per quanto riguarda il PM<sub>10</sub> la risposta dei quattro modelli analizzati alle variazioni di scenario emissivo è univoca, sia nel periodo invernale, sia nel periodo estivo ed indica una riduzione dei valori medi di concentrazione in tutti gli scenari considerati. Andando ad analizzare nel dettaglio le variazioni percentuali rispetto al caso base (Figura 1 e Figura 2) si nota come nel periodo invernale le riduzioni siano analoghe per tutti i modelli e per le differenti tipologie di stazioni. Nel periodo estivo *arpaer* presenta riduzioni nettamente inferiori agli altri in tutti gli scenari. I modelli *arpalo* ed *arpave*, oltre a dimostrarsi i più sensibili alle variazioni delle emissioni, mostrano la stessa risposta (in percentuale) alla variazione di emissioni di ammoniaca (scenario sp3). Lo

scenario più efficace per la riduzione della concentrazione risulta essere in entrambi i periodi *CLE2020*, con riduzioni massime del 25% in inverno e del 20% in estate.

### **Scenari, NO2**

Anche per il biossido di azoto, nonostante le differenze tra i modelli emerse nell'analisi del caso base, la risposta alle variazioni di scenario emissivo è univoca, indicando una generale riduzione dei valori medi di concentrazione. La riduzione percentuale di concentrazione risulta maggiore in estate ed è pressoché la stessa per tutti i modelli. Le riduzioni sono in genere più elevate di quelle osservate per il  $PM_{10}$  (Figura 5 e Figura 6). Anche in questo caso lo scenario *CLE2020* prospetta una maggiore diminuzione delle concentrazioni medie, con riduzioni massime del 40 % in inverno e del 50% in estate, mentre lo scenario *CLE2010* si rivela il meno efficace. Dalle mappe di riduzione di concentrazione media sul periodo invernale (Figura 7, relativa allo scenario *CLE2020*) si osservano un marcato calo (percentuale) delle concentrazioni in montagna per *arpave* nel periodo invernale, e gradienti spaziali più contenuti per *arpaer* nel periodo estivo (Figura 8, relativa allo scenario *CLE2020*).

### **Scenari, O3**

Per l'ozono nel periodo invernale la risposta dei modelli è univoca ed indica un aumento delle concentrazioni medie sul periodo in tutti e tre gli scenari emissivi, più consistente con lo scenario *CLE2020* (Figura 9). Tra i sistemi modellistici *arpave* prospetta un aumento sensibilmente più marcato delle concentrazioni medie di ozono (aumenti in percentuale dell'ordine del 60%), specie nelle zone di pianura (Figura 12), che tuttavia non influisce sul numero dei superamenti delle soglie di legge.

Nel periodo estivo i tre scenari proposti sembrano portare ad una sostanziale stazionarietà delle concentrazioni medie di ozono (Figura 10 e Figura 13): *arpaer*, *arpalo* ed *arpava* indicano riduzioni percentuali simili tra loro e comunque molto contenute, intorno al 4% nelle stazioni rurali di fondo con lo scenario *CLE2020* intorno, mentre *arpave* in controtendenza prospetta un leggero aumento delle concentrazioni medie, intorno al 8% nelle stazioni di fondo urbane con lo scenario *CLE2020*. Se invece si osserva il numero di superamenti del valore bersaglio per la protezione della salute umana, tutti i modelli sono concordi (con maggiore inerzia da parte di *arpaer*) nell'indicare comunque una riduzione in tutti gli scenari considerati. (Figura 11) e maggiore con *CLE2020*.

## 5 - CONCLUSIONI

Il quadro di insieme che emerge dalla grande quantità di risultati realizzati durante l'esercizio permette di trarre conclusioni generali per quanto riguarda la capacità dei sistemi modellistici provati di simulare la concentrazione del PM10, di alcuni inquinanti gassosi e la risposta a diversi scenari emissivi.

Per quanto riguarda il particolato PM10 si evidenzia una sottostima dei valori orari, medi giornalieri e medi sul periodo in tutte le simulazioni eseguite. Tale sottostima è riconducibile in parte alle caratteristiche dei diversi codici ed alle diverse scelte adottate in sede di preparazione dei dati di ingresso. Un ruolo non trascurabile nel determinare la sottostima, che è presente in tutte le simulazioni, può essere anche attribuito ai dati di ingresso. La capacità dei modelli di riprodurre l'andamento temporale della concentrazione di PM10 nel periodo invernale risulta invece abbastanza buona, con una discreta correlazione con i valori misurati. La rappresentazione spaziale dei campi medi sul periodo presenta delle divergenze tra i vari modelli dovute anche al trattamento che ciascun gruppo di modellisti ha fatto delle sorgenti puntuali, non presenti come tali nel set di dati di ingresso distribuito. Il confronto tra le mappe evidenzia inoltre, come è logico aspettarsi, una dipendenza dal passo della griglia di calcolo: i modelli che sono stati applicati con un passo di griglia di 5 chilometri producono campi caratterizzati da maggiori gradienti orizzontali di concentrazione. Vi è comunque generale concordanza tra i vari modelli nel localizzare le aree a maggior inquinamento attorno alle zone più densamente urbanizzate e nell'entroterra veneto. Per alcune simulazioni è molto evidente una elevata concentrazione di particolato nelle aree marine, presumibilmente dovuto al trasporto dall'entroterra che, in alcuni casi, si somma al contributo dell'aerosol marino, considerato in modo diverso dai vari modelli. Si può ipotizzare anche che parte della sottostima dei valori di particolato PM10 possa essere attribuita ad una ancora incompleta trattazione della componente secondaria, in particolare di natura organica. Analizzando i dati è emerso che nessuno dei codici utilizzati fornisce risultati che rientrano nell'intervallo di qualità dei dati ( $\pm 50\%$ ) per la media sul periodo e la media giornaliera sui due mesi invernali. Nel periodo estivo la prestazione dei modelli generalmente migliora per tutti i parametri di confronto e rientra all'interno dell'intervallo di qualità  $\pm 50\%$ , anche se si manifestano nell'area occidentale del dominio maggiori differenze tra i campi medi simulati dai vari modelli rispetto a quanto non avvenga per il periodo invernale.

Per quanto riguarda gli inquinanti gassosi, i risultati presentano diversi aspetti positivi, più o meno accentuati in funzione dell'inquinante trattato, e si è valutato che complessivamente le prestazioni rispettano i criteri di qualità del dato richiesti della normativa.

L'ozono nel periodo estivo è ben riprodotto da tutti i codici, in termini di mediana delle distribuzioni e di media mobile, mentre non tutti i modelli riproducono efficacemente i valori di picco misurati. La correlazione è buona per tutti i codici, così come il ciclo diurno, e gli indicatori statistici forniscono risultati simili e di buona qualità per tutti i modelli. Durante il periodo invernale si riscontrano maggiori differenze nelle prestazioni, con una sovrastima generalizzata dell'ozono, specialmente nelle aree montuose, e distribuzioni dei valori simulati più ampie di quelle misurate; anche il ciclo diurno è solo parzialmente riprodotto.

Il biossido di azoto si presenta invece, come è ben noto, più problematico. Nel periodo invernale alcuni modelli riescono a riprodurre la variazione dei valori misurati, mentre altri rappresentano più fedelmente le mediane delle distribuzioni. La sottostima talvolta evidenziata può essere ricondotta, oltre che alle caratteristiche specifiche del codice e alle scelte operative effettuate da ciascun gruppo, anche alle diverse ipotesi fatte sulla ripartizione tra monossido e biossido delle emissioni di ossidi di azoto in ingresso al modello. Anche per il biossido di azoto la riproduzione dei valori misurati è migliore per le stazioni di fondo suburbano ed il ciclo giornaliero è abbastanza ben riprodotto, specie nelle ore diurne. Complessivamente la distribuzione spaziale dei valori medi presenta forti analogie tra le diverse simulazioni. Nel periodo estivo si evidenzia un migliore accordo tra simulato ed osservato per tutti i codici; alcuni di questi riproducono meglio i cicli giornalieri, ma sottostimano i valori assoluti medi e massimi, altri, all'opposto, riproducono bene i valori medi sul periodo, ma sono meno efficaci nella rappresentazione dei cicli.

Per quanto riguarda le modalità di confronto tra i risultati dei vari modelli è opportuno sottolineare come nel processo di conversione della concentrazione dei gas da ppb a  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  l'uso delle temperature di cella per i modelli che forniscono l'output in  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (procedimento interno al modello) fornisce risultati apprezzabilmente diversi dall'uso di coefficienti di conversione della concentrazione in uscita. Inoltre, variazioni anche ridotte dei valori di tali coefficienti (ad esempio, per l'ozono, sono stati adoperati coefficienti variabili tra 1.96 e 2.00) possono comportare differenze tra i risultati localmente significative, specie quando accoppiate agli usuali procedimenti di estrazione dei dati modellati (per esempio: interpolazione bilineare su celle adiacenti)

La risposta dei quattro modelli analizzati alle variazioni di scenario emissivo è univoca, sia nel periodo invernale sia nel periodo estivo, per il biossido di azoto ed il particolato PM10. Per il PM10 la variazione stimata dai vari modelli risulta più articolata, ma le differenze sono comunque contenute entro qualche punto percentuale. Per entrambi gli inquinanti gli scenari prospettano una diminuzione delle concentrazioni medie, con una maggiore efficacia dello scenario 3 rispetto allo scenario 1 e la massima efficacia per lo scenario 2 (CLE2020). La risposta dei modelli alla variazione di alcuni precursori del PM10 (per esempio, l'ammoniaca nel periodo estivo) è in generale abbastanza simile, indicando un buon accordo tra i vari codici nella trattazione delle reazioni di formazione della componente secondaria inorganica.

Anche per l'ozono, la cui formazione dipende in generale dal meccanismo chimico utilizzato, la risposta alla variazione di scenario emissivo è pressoché univoca. Tutti i modelli prevedono una concentrazione di ozono stazionaria o in aumento. Gli aumenti massimi si verificano per lo scenario 2 nel periodo invernale (ma nessuna influenza sul numero di superamenti delle soglie disposte per legge) e, di fatto, una quasi stazionarietà delle concentrazioni nel periodo estivo, con alcuni codici che mostrano maggiore inerzia di altri nella diminuzione dei valori massimi.

In conclusione quindi l'esercizio ha permesso di confrontare tra loro codici diversi sullo stesso dominio spaziale e temporale con dati di ingresso sostanzialmente comuni. Nel considerare i risultati del confronto è opportuno considerare che non è sempre facile stabilire quali sono le cause delle differenze o, per converso, delle somiglianze di risposta dei modelli. Data la complessità dei sistemi modellistici e dei dati di ingresso,

le differenze o le analogie possono essere ricercate nei codici, nei meccanismi chimici oppure nelle ipotesi fatte nella preparazione dei dati di ingresso (assegnazione e speciazione delle emissioni, ad “aggiustamenti” specifici dei campi meteorologici, alla stima dei parametri di turbolenza atmosferica) o ancora nei dati di ingresso stessi (sottostima delle emissioni, sovrastima dell’avvezione, sottostima della inversione termica). Nonostante alcune differenze nella rappresentazione del caso base, vi è tuttavia una sostanziale coerenza dei vari sistemi per quel che riguarda la valutazione della variazione di concentrazione media degli inquinanti nei diversi scenari emissivi.

Si può inoltre affermare che la capacità di tutti i sistemi di modellare gli inquinanti gassosi a scala interregionale sono abbastanza consolidate. La sostanziale omogeneità dei risultati evidenziata dall’interconfronto e il rispetto delle prescrizioni della normativa dimostrano l’affidabilità di questi strumenti a scopo di pianificazione e valutazione di scenari di riduzione dell’inquinamento. D’altra parte le maggiori incertezze nel modellare il PM10, comuni, anche se con gradi diversi a tutti i sistemi e configurazioni provate, e la forte rilevanza di questo inquinante per il Bacino Padano Adriatico, rendono necessario uno sforzo comune per migliorare le prestazioni dei sistemi nel modellare questo inquinante. In questo senso il lavoro comune all’interno del gruppo di lavoro ha reso particolarmente proficua, l’attività di scambio di informazioni, di esperienze e di ipotesi di lavoro.

## Riferimenti bibliografici <sup>1</sup>

Angelino E., S.Bande, C.Cascone, R.De Maria, M.Deserti, G.Fossati, F.Lollobrigida, M.Muraro, E.Minguzzi, S.Mossetti, F.Motta, E.Peroni, S.Pillon, M.Stortini *Aerosol modeling and criticities related to input data collection. An example of a complete three dimensional data-set for Northern Italy* accettato per presentazione orale a convegno AAAS - Advanced Atmospheric Aerosol Symposium, Milano 12 –15 November 2006

Arianet (2005) EMMA (EMGR/make) – User’s guide. Arianet R2005.08

Arianet (2005) FARM tools - Reference guide. Arianet R2005.09

Arianet (2005) SURFPRO (Surface-atmosphere interface processor) – User’s guide. Arianet R2005.01

ARPA-SIM: <http://www.arpa.emr.it/sim/>

Bessagnet et. al, 2004, Atmospheric, Environment, 38 2004; 2803-2817

Binkowski F. S. (1999) The aerosol portion of Models-3 CMAQ. In Science Algorithms of the EPA Models-3 Community Multiscale Air Quality (CMAQ) Modeling System. Part II: Chapters 9-18. D. W. Byun and J. K. S. Ching (Eds.) EPA-600/R-99/030, National Exposure Research Laboratory, U.S. Environmental Protection Agency, Research Triangle Park, NC, 10-1-10-16.

Binkowski, F. S. and U. Shankar (1995) The regional particulate matter model, 1. mode description and preliminary results. J. Geophys. Res., 100, 26191-26209.

Bonafè, G. and Jonghen S.: “ LAMI verification for air quality forecast and assessment purposes: case studies, special measurement campaigns, long-term evaluation, ARPA-SIM Internal Report, 2006 (available from [www.arpa.emr.it/sim](http://www.arpa.emr.it/sim) ).

Byun D. W. and Pleim J. E., Tang R. T. and Bourgeois A. (1999) Meteorology-chemistry interface processor (MCIP) for MODELS-3 community multiscale air quality (CMAQ) modelling system. EPA/600/R-99/030.

CAFE, 2005: COMMISSION STAFF WORKING PAPER Annex to : The Communication on 4 Thematic Strategy on Air Pollution and The Directive on “Ambient Air Quality and Cleaner Air for Europe” Impact Assessment, {COM(2005)446 final} and {COM(2005)447 final}

Carson D. J. (1973) The development of a dry inversion-capped convectively unstable boundary layer. Q. J. R. Met. Soc. 99, 450-467.

Chang, J.S., R.A. Brost, I.S.A. Isaksen, S. Madronich, P. Middleton, W.R. Stockwell, and C.J. Walcek. 1987. A Three-dimensional Eulerian Acid Deposition Model: Physical Concepts and Formulation. J. Geophys. Res., 92, 14,681-14,700

Chimere chemistry-transport model: <http://euler.lmd.polytechnique.fr/chimere> .

---

<sup>1</sup> I documenti prodotti dal CTN-ACE sono scaricabili sul sito SINANET-APAT modellistica: <http://www.sinanet.apat.it/documentazione/default.asp#a> alla voce “ATMOSFERA”.

CIAM, 2003, Results of the RAINS model calculation for the recent European baseline scenario, CIAM, IIASA, Luxemburg, Austria (unpublished)

COST 728/732:-Model Inventory <http://www.mi.uni-hamburg.de/Model-Inventory.504.0.html>

COST728: <http://www.cost728.org/>

CTN-ACE <http://www.smr.arpa.emr.it/ctn/>

De Maria, R., Motta, F, Pillon S. I dati e la metodologia di verifica. *I Modelli per la valutazione, previsione e gestione della qualità dell'aria a scala regionale*, APAT 2004

Derognat, C., Beekmann, M., Baeumle, M., Martin, D., and Schmidt, H. (2003). Effect of biogenic volatile organic compound emissions on tropospheric chemistry during the Atmospheric Pollution Over the Paris Area(ESQUIF) campaign in the Ile-de-France region. *J. of Geophys. Res.*, 108(D17):8560.

Deserti M. ; Lollobrigida F ; Angelino E; Bonafè G., Minguzzi E, Stortini M., Cascone C2 De Maria R. , Clemente M., Mossetti S Angius S.; “modelling techniques for air quality assessment and management in Italy: the work of the national topic center”, 2004, in atti 9th Harmonization conference, 2004 P. Suppan Ed., 197-201.

Deserti M. Lollobrigida, F..Angelino E.,Minguzzi E M.Stortini C.Cascone F.Motta, , R.De Maria, S.Bande, M.Muraro, S.Mossetti G.Fossati, E.Peroni, S.Pillon, B.Bove, L.Mangiamele, L.Ticconi, R.Sozzi “I modelli per la valutazione, previsione e gestione della qualità dell’aria a scala regionale, Pubblicazione APAT CTN\_ACE, maggio 2005

Deserti M., Lollobrigida F., Angelino E., “I modelli per la valutazione e gestione della qualità dell’aria: normativa, strumenti, applicazioni”, Rapporto CTN\_ACE, 2004

Deserti M., Stortini, M,Minguzzi E., Bonafè G. Arparivista, N.3 maggio-giugno 2004, 37-40.

Deserti M., Stortini M., Minguzzi E., Bonafè G.: “L’importanza della modellistica per la qualità dell’aria”, ArpaRivista, n.4 lug-ago 2005- [www.arpa.emr.it/arparivista/](http://www.arpa.emr.it/arparivista/)

Deserti, M. Spagli, L. Bini, G., Poluzzi, V., Minach, L., deMaria, R., Zanini, G., Vialetto, G., Brusasca, G., Angelino, E., Liguori, F “Osservatorio dei modelli su smog fotochimico e ozono troposferico”, RTI CTN\_ACE 1/2001;

Deserti, M., Angelino, E., Finzi, G., Pasini, A., Zanini G., Gabusi V., Volta M., Minguzzi, E.; “Metodi per la pre - elaborazione di dati di ingresso ai modelli tridimensionali di dispersione atmosferica“, RTI CTN\_ACE 5/2001.

EMEP WebDab 2066, EmeP Activity data and emission database <http://webdab.emep.int>

EMEP/CORINAIR, 2004 Atmospheric Emission Inventory Guidebook <http://reports.eea.eu.int/EMEPCORINAIR4/en/page002.html>

Environ Inc., 1994: User’s Guide Comprehensive Air quality Model with extensions), version 4.00. January, California USA.

Environ Inc., 1994: User’s Guide Comprehensive Air quality Model with extensions), version 4.00. January, California USA.

European Environmental Agency: Corine Land Cover (©EEA, Copenhagen <http://dataservice.eea.eu.int/dataservice/>)

FUMAPEX: <http://fumapex.dmi.dk/>

Gery, M.W., G.Z. Whitten, J.P. Killus, and M.C. Dodge. 1989. A Photochemical Kinetics Mechanism for Urban and Regional Scale Computer Modeling. *J. Geophys. Res.*, 94, 925-956

Hicks B. B., Baldocchi D. D., Meyers T. P., Hosker Jr R. P., Matt D. R. (1987) A preliminary multiple resistance routine for deriving dry deposition velocities from measured quantities. *Water, Air and Soil Pollution*, 36, 311-330.

Holtstag A. A. M. and van Ulden A. P. (1983) A simple scheme for daytime estimates of the surface fluxes from routine weather data. *J. of Climate and Applied Meteorology*, 22, 517-529.

JRC 2000: <http://www-gem.jrc.it/glc2000/>

Jun, M. and Stein, M. L. (2004). Statistical comparison of observed and CMAQ modeled daily sulfate levels. *Atmospheric Environment*, 38, 4427-4436

Kumar, N. and A. G. Russell. 1996. Development of a Computationally efficient, Reactive Sub-Grid-Scale Plume Model and the Impact in the Northeastern United States Using Increasing Levels of Chemical Detail. *J. Geophys. Res.*, 101, 16,737-16,744.

Lange R. (1989) Transferrability of a three-dimensional air quality model between two different sites in complex terrain. *J. Appl. Meteorol.*, 78, 665-679.

Lattuati, M. (1997). *Contribution à l'étude du bilan de l'ozone troposphérique à l'interface de l'Europe et de l'Atlantique Nord: modélisation lagrangienne et mesures en altitude*. Thèse de sciences, Université Paris 6, France.

Liburdi R., R.De Lauretis, C.Corrado, E.Di Cristofaro, B.Gonella, D.Romano, G.Napoletani,G.Fossati, E.Angelino, E.Peroni "La disaggregazione a livello provinciale dell'inventario nazionale delle emissioni". Pubblicazione APAT CTN\_ACE, Ottobre 2004.

Louis, J.F. 1979. A Parametric Model of Vertical Eddy Fluxes in the Atmosphere. *Bound. Lay. Meteor.* 17, 187-202.

Nenes A., C. Pilinis, and S.N. Pandis. 1998. "ISORROPIA: A New Thermodynamic Model for Multiphase Multicomponent Inorganic Aerosols." *Aquatic Geochemistry*, 4, 123-152.

Nenes A., C. Pilinis, and S.N. Pandis. 1999. "Continued Development and Testing of a New Thermodynamic Aerosol Module for Urban and Regional Air Quality Models." *Atmos. Environ.* 33, 1553-1560.

Nenes A., Pandis S. N., Pilinis C. (1998) ISORROPIA: A new thermodynamic equilibrium model for multiphase multicomponent inorganic aerosols. *Aquat. Geoch.*, 4, 123-152.

Oke T. R. (1987) *Boundary Layer Climates*, 2nd edition, Methuen, New York.

Pernigotti D., Sansone M. and Ferrario M., 2005: Validation of one-year LAMI model re-analysis on the Po-Valley, northern Italy. Comparison to CALMET model output on

the sub-area of the Veneto Region. Proceedings of the 10th International Conference on Harmonisation within Atmospheric Dispersion Modelling for Regulatory Purposes, HARMO 10, Sissi (Crete, Greece) 17-20 October 2005.

Poli, A.A, Cirillo, M.C. (1993). On the use of the normalized mean square error in evaluating dispersion model performance. *Atmospheric Environment* 27A, 2427-2434.

Previsions et observation de la qualité de l'air en France et en Europe  
<http://www.prevoir.org>

Schell B., Ackermann I. J., Hass H., Binkowski F. S., Abel A. (2001) Modeling the formation of secondary organic aerosol within a comprehensive air quality modeling system. *J. Geophys. Res.*, 106, D22, 28275-28293.

Schraff C. and M. Buchhold, *A Nudging Scheme for the Nonhydrostatic Regional Model LM at DWD*, Research Activities in Atmospheric and Oceanic Modelling, No.28, 1999 WMO/TD-No.942, pg 1.33-1.35

Scire J. S., E. M. Insley and R. J. Yamartino, 1990: Model formulation and user's guide for the CALMET meteorological model. Prepared for the California Air Resources Board by Sigma Research Corporation, Concord, MA.

[http://www.src.com/verio/download/CALMET\\_UsersGuide.pdf](http://www.src.com/verio/download/CALMET_UsersGuide.pdf)

Seinfeld J.H., and S.N. Pandis. 1998. *Atmospheric Chemistry and Physics, From Air Pollution to Climate Change*. John Wiley and Sons, Inc., NY.

Slinn S.A. and W.G.N. Slinn. 1980. "Predictions for particle deposition on natural waters." *Atmos. Environ.*, 24, 1013-1016.

Slinn W. G. N., L. Hasse, B. B. Hicks, A. W. Hogan, D. Lal, P. S. Liss, K. O. Munnich, G. A. Sehmel, and O. Vittori (1978) Some aspects of the transfer of atmospheric trace constituents past the air-sea interface. *Atmos. Environ.* 14, 1013-1016.

Slobin S.D., 'Microwave noise temperature and attenuation of clouds: Statistics of these effects at various sites in the United States, Alaska and Hawaii. *Radio Science*, no 17, 1982, pp.1443-1454

Smagorinsky J. (1963) General circulation experiments with primitive equations: 1. The basic experiment. *Mon. Weath. Rev.*, 91, 99-164.

Strader, R., C. Gurciullo, S.N. Pandis, N. Kumar, and F.W. Lurmann. 1998. Development of gas-phase chemistry, secondary organic aerosol, and aqueous-phase chemistry modules for PM modeling. Final report for CRC Project A21-1 prepared for the Coordinating Research Council, Atlanta, GA by Sonoma Technology, Inc., Petaluma, CA, STI-97510-1822-FR, October.

Sun, P., D.P. Chock, and S.L. Winkler. 1994. An Implicit-Explicit Hybrid Solver for a System of Stiff Kinetic Equations. *J. Comp. Phys.*, 115.

U.S. Environmental Protection Agency - <http://www.epa.gov/ttn/chief/ap42/index.html>

Van Aalst, R., Edwards, L., Pulles, T., De Saeger, E., Tombrou, M., Tønnesen, D.(1998) Guidance report on preliminary assessment under EC air quality directives, Annex 3. *Rapporto EEA, 1998*.

- Vautard R., Bessagnet B, Chin M., Menut L. (2005) On the contribution of natural Aeolian sources to particulate matter concentrations in Europe: Testing hypotheses with a modelling approach. *Atmospheric Environment*, 39, 3291-3303.
- Venkatram A. (1980) Estimating the Monin-Obukhov length in the stable boundary layer for dispersion calculations. *Boundary Layer Meteorology* 19, 481-485.
- Vestreng et al., 2006: Inventory Review 2006. Emission data reported to the LRTAP Convention and NEC directive. Stage 1, 2 and 3 review. Evaluation of inventories of HMs and POPs
- Vestreng, V. et al., 2004: Inventory Review 2004. Emission data reported to CLRTAP and the NEC Directive, EMEP/EEA, Joint Review report, EMEP/MSC-W Note 1, July 2004
- Vestreng, V.(2003) EMEP/MSC-W Technical report. Review and Revision. Emission data reported to CLRTAP. MSC-W Status Report 2003. EMEP/MSC-W Note 1/2003. ISSN 0804-2446
- Weil J. C. and Brower R. P. (1983) Estimating convective boundary layer parameters for diffusion application. Draft report prepared by Environmental Centre, Martin Marletta Corp. for Maryland Dept. for Natural Resources, Annapolis MD.
- Wesely, M.L. 1989. Parameterization of Surface Resistances to Gaseous Dry Deposition in Regional-Scale Numerical Models. *Atmos. Environ.*, 23, 1293-1304
- Yu, S., Eder, B., Dennis,R., Chu, S.H., Schwartz, S.E. (2006). New unbiased symmetric metrics for evaluation of air quality models. *Atmos. Sci. Let.* 7: 26–34.
- Zhang K. M., Knipping E. M., Wexler A. S., Bhave P. V., Tonnesen G. S. (2005) Size distribution of sea salt emissions as a function of relative humidity. *Atmospheric Environment*, 39, 3373-3379.

**Tabella sinottica dei modelli**

Generalità	ARPA VdA	ARPA LO	ARPA EMR	ARPA VE
Modello e versione	ARIA Regional (FARM 2.6.2)	ARIA Regional (FARM 2.6.2)	NINFA	CAMx 4.03
Riferimento 1	<a href="http://www.aria-net.it/">http://www.aria-net.it/</a>	<a href="http://www.aria-net.it/">http://www.aria-net.it/</a>	<a href="http://www.arpa.emr.it/sim/arc_hivio/downloads/generale/descrizione_ninfa_ita.pdf">http://www.arpa.emr.it/sim/arc_hivio/downloads/generale/descrizione_ninfa_ita.pdf</a>	<a href="http://www.camx.com/files/CAMxUsersGuide_v4.40.pdf">http://www.camx.com/files/CAMxUsersGuide_v4.40.pdf</a>
Referente ARPA	Giordano Pession	Elisabetta Angelino	Marco Deserti	Francesca Liguori
email	<a href="mailto:gi.pession@arpa.vda.it">gi.pession@arpa.vda.it</a>	<a href="mailto:e.angelino@arpalombardia.it">e.angelino@arpalombardia.it</a>	<a href="mailto:mdeserti@arpa.emr.it">mdeserti@arpa.emr.it</a>	<a href="mailto:fliguori@arpa.veneto.it">fliguori@arpa.veneto.it</a>
risoluzione orizzontale	5km x 5km	5km x 5km	10km x 10km	5km x 5km
Griglia verticale	Z	Z	Sigma P	Sigma Z
numero livelli verticali	11	11	8	12
spessore primo livello	20	20	20m	33m circa
interfaccia ultimo livello	8000m	8000m	500hPa	2900m circa
Proiezione	UTM	UTM	UTM	UTM
time step [secondi]	600	600	900	variabile: 180 (media estate), 90 (media inverno)
Tempo di esecuzione [1 mese simulato]	> 3,5 giorni	> 4,5 giorni	30 ore	da 4 (estate) a 10 (inverno) giorni
Caratteristiche computazionali	singolo processore 3,6GHz con 2GB di RAM (non dedicato)	Due macchine monoprocesso non dedicate da 2,21 GHz con 2GB di RAM.	singolo processore 3GHz con 1GB di RAM (dedicato)	singolo processore 2GHz con 8GB di RAM
specie output	61	79 (campi al suolo) + 6 (campi tridimensionali)	Selezionate dall'utente, max 88	20, selezionate dall'utente
Dimensione output	2 Gb / mese	4,5 GB / mese	130 MB/giorno per 88 specie	600MB/mese per 20 specie
Dati di orografia	DEM100 - WGS84 dell'USGS	DEM100 - WGS84 dell'USGS	USGS (www.usgs.gov)	NO
Dati di uso del suolo	CORINE 2000	CORINE 2000	CORINE 2002 + Global Land Cover 2000	CORINE per EU + PELCOM Europa
numero usi del suolo	21	21	0	11
Deposizione secca	SI	SI	SI	SI
Deposizione umida	SI	SI	SI	SI

<b>Meteorologia</b>				
Turbolenza - parametrizzazione	SURFPRO (Arianet R2005.11)	SURFPRO (Arianet R2005.11)	derivato da DIAGMET, pacchetto CHIMERE	sviluppato da ARPAVE basato Richardson number
Turbolenza - variabili output preprocessore	diffusività 3D, calore sensibile, micrometeorologia (u*, w*, MO, Hmix)	diffusività 3D, calore sensibile, micrometeorologia (u*, w*, MO, Hmix)	micrometeorologia (u*, w*, MO, Hmix)	Diffusività verticale 3D
Correzioni in aree urbane	Diffusione verticale minima differenziata per le aree urbane e rurali.	Diffusione verticale minima differenziata per le aree urbane e rurali.	Valori minimi in zone urbane per Hmix, diffusione verticale, MO	NO
<b>Chimica</b>				
Chimica gassosa	SAPRC90	SAPRC90	MELCHIOR2	Carbon Bond IV
reazioni/specie GAS	129 / 57	129 / 57	120 / 44	100 (6 fotochimiche) / 34
Meccanismo chimico PM	aero0	aero3. Partizione inorganici ISORROPIA e organici	basato su ISORROPIA	Partizione inorganici/organici: ISORROPIA/SOAP
numero specie - PM	4	9 (fini e ultrafini) 3 (grossolane)	7	15
classi granulometriche	2	3 (Aitken, accumulazione, e coarse)	6	NO
Tassi di fotolisi	funzione dell'angolo di zenith	funzione dell'angolo di zenith	tabella ASCII costante	tabella ASCII costante
Foto-attenuazione nubi	SI	SI	SI	SI
La chimica nelle nubi	SI	SI	SI	SI
Erosione	NO	SI - dipendente da meteo	SI - dipendente da meteo	NO
Risospensione	NO	SI - dipendente da meteo	SI - dipendente da meteo	NO
Particolato marino	NO	SI - dipendente da meteo	SI - dipendente da meteo	NO
Chimica - Altro	NO	reazione eterogenea del N <sub>2</sub> O <sub>5</sub> sulla superficie dell'aerosol	polveri disciolte nelle nubi (5 specie chimiche)	nessuna trattazione dell'acqua come particolato
<b>Emissioni</b>				
Emissioni in quota	SI = 20% delle emissioni totali	SI = 20% delle emissioni totali	SI per punti di griglia con NO <sub>x</sub> > 100ton/anno (quota efficace dipende dalla meteorologia)	NO
speciazione NO <sub>x</sub>	90% NO, 10% NO <sub>2</sub>	90% NO, 10% NO <sub>2</sub>	90% NO, 9.2% NO <sub>2</sub> , 0.8% HONO	95% NO, 5% NO <sub>2</sub>
speciazione COV	dati CTN	dati CTN	dati CTN	dati CTN
speciazione PM	dati CTN; parte non speciata attribuita tutta a fine.	dati CTN; parte non speciata ripartita fra le due classi del fine.	dati CTN; parte non speciata attribuita tutta a fine.	dati CTN. Parte non speciata ripartita tra coarse e fine (rapporto invariato)

## **Risultati PM<sub>10</sub>**

**Caso base,  $PM_{10}$**

	Stazioni RB	Stazioni SB	Stazioni UB	Stazioni UT	Stazioni UI	Stazioni SI	Totale
PM10G	3	3	12	7	--	--	25
PM10A	2	1	5	2	1	--	11

Tabella 1: numero di strumenti gravimetrici ( $PM_{10G}$ ) ed automatici ( $PM_{10A}$ ) per la misura del  $PM_{10}$ , raggruppati per tipologia di stazione (RB: background rurale, SB: background suburbano, UB: background urbano, UT: urbana traffico, UI: urbana industriale ed SI: suburbana industriale)

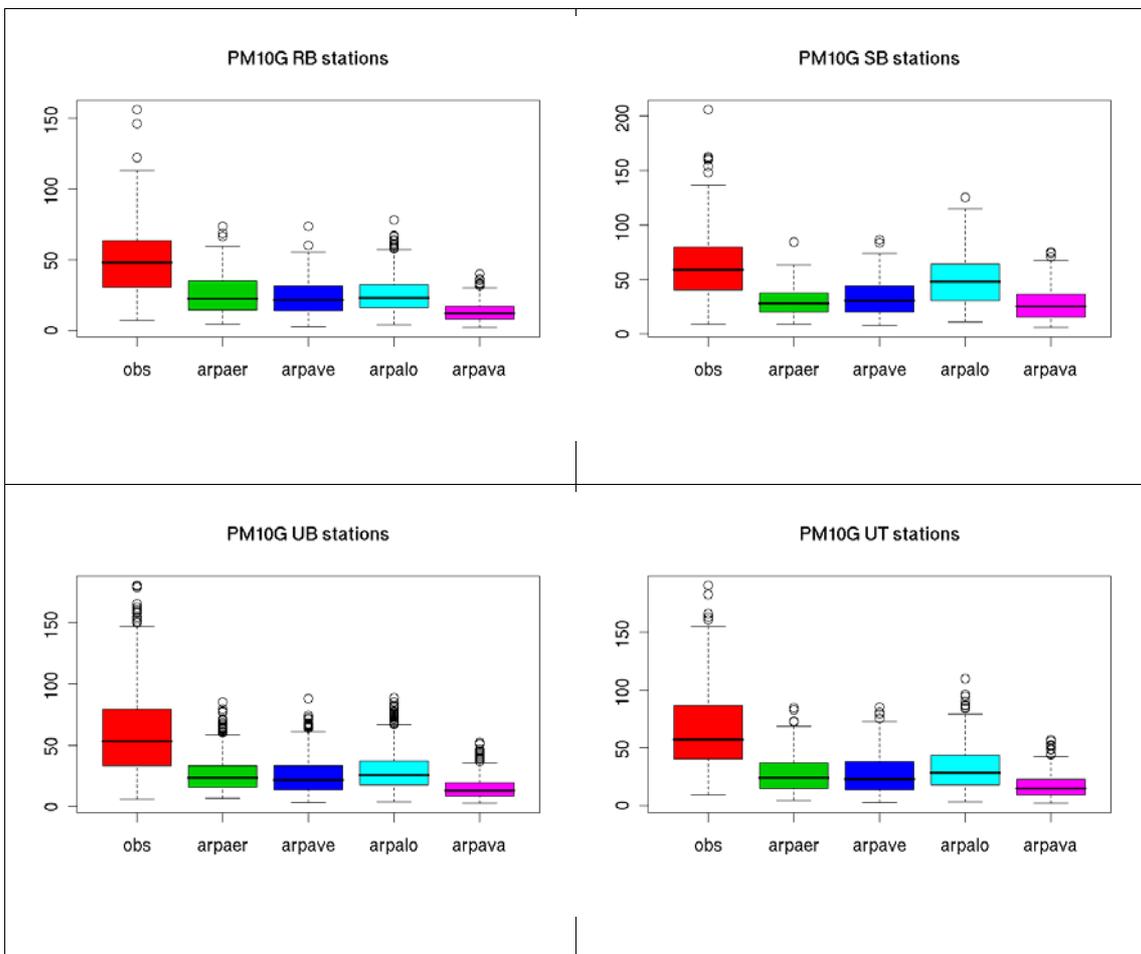


Figura 1. Boxplot delle distribuzioni di concentrazione osservate ( $PM_{10}$  gravimetrico) e simulate su tutto il periodo invernale dai quattro sistemi modellistici sulle stazioni raggruppate per tipologia.

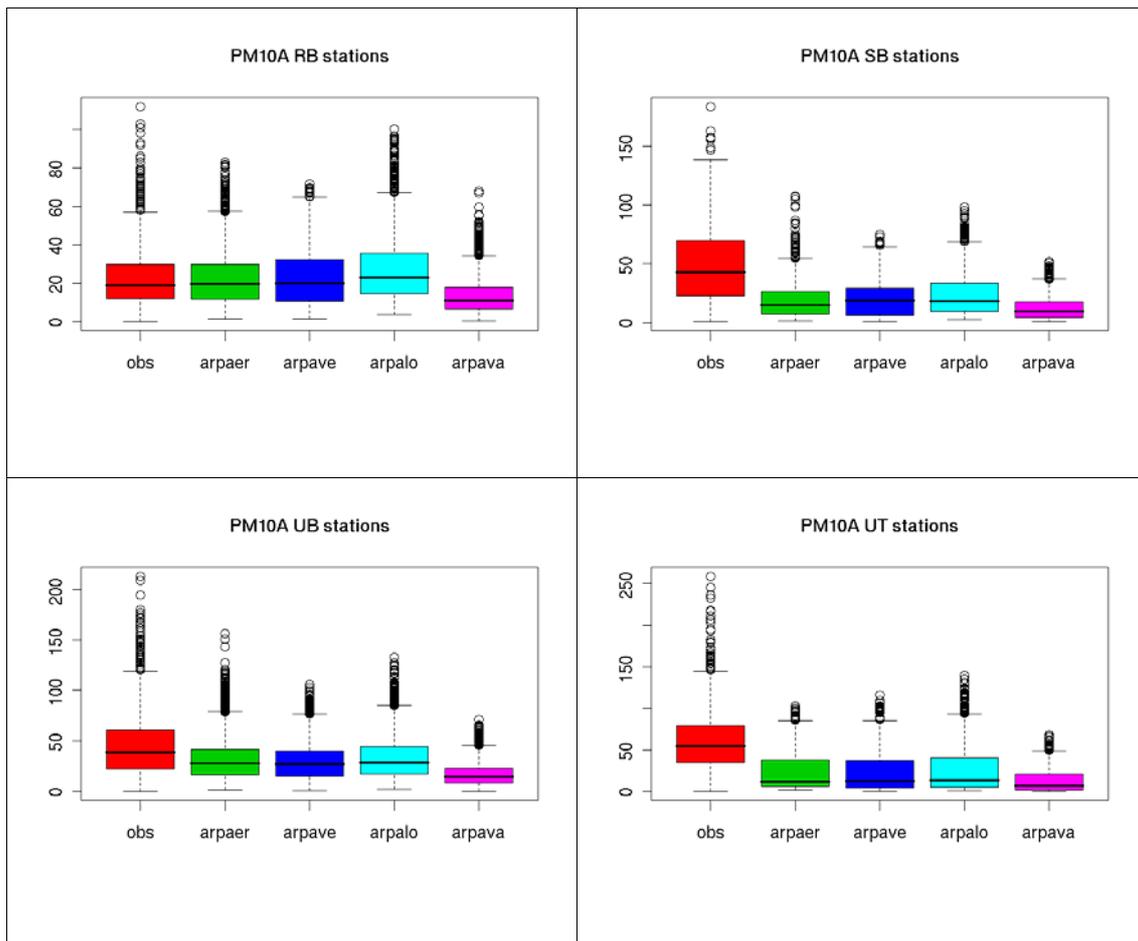


Figura 2. Boxplot delle distribuzioni di concentrazione osservate ( $PM_{10}$  automatico) e simulate su tutto il periodo invernale dai quattro sistemi modellistici sulle stazioni raggruppate per tipologica.

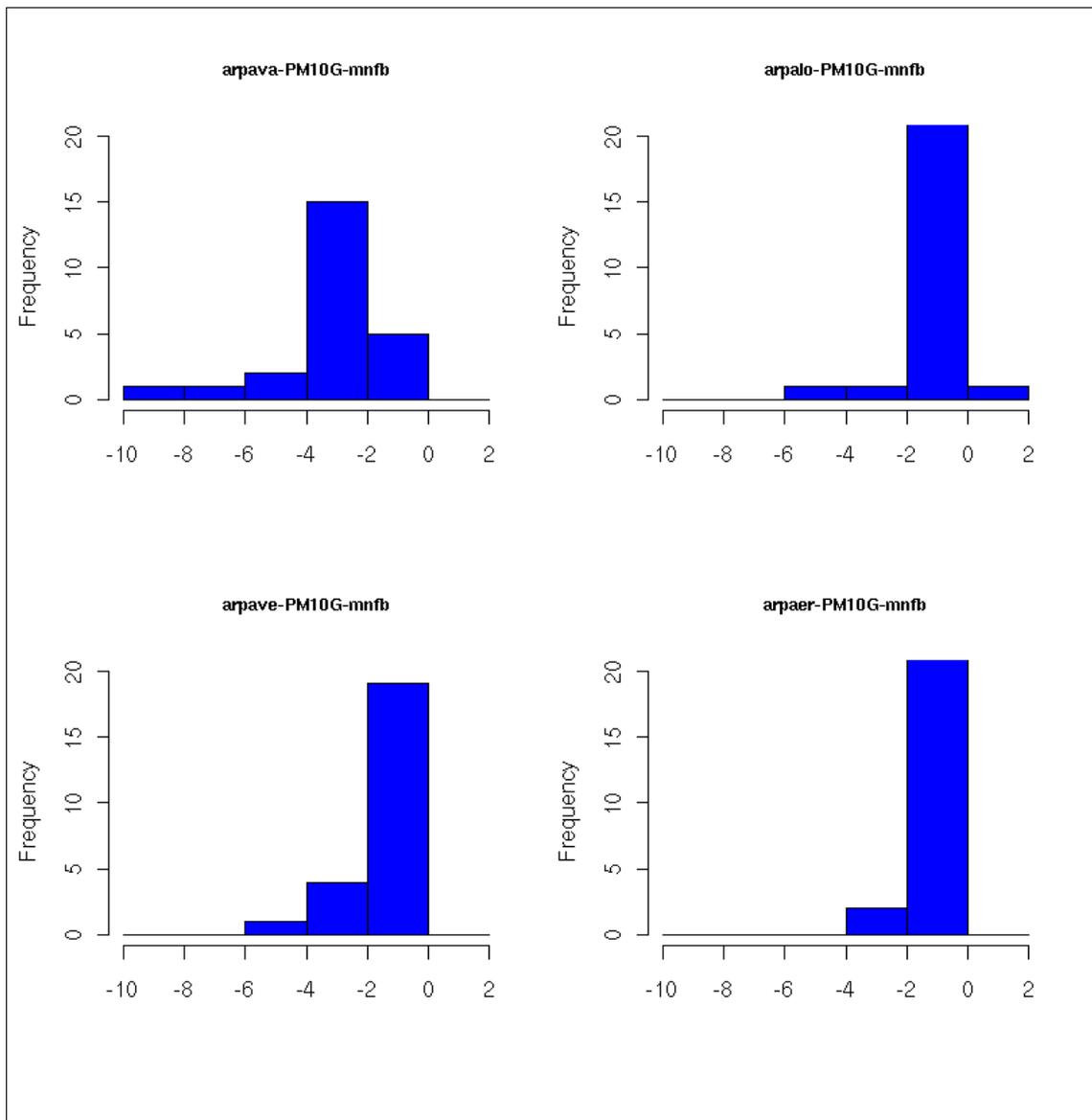


Figura 3. PM10G-periodo invernale: distribuzione di frequenza per ogni modello dei valori assunti dall'indice NMBF su tutte le stazioni.

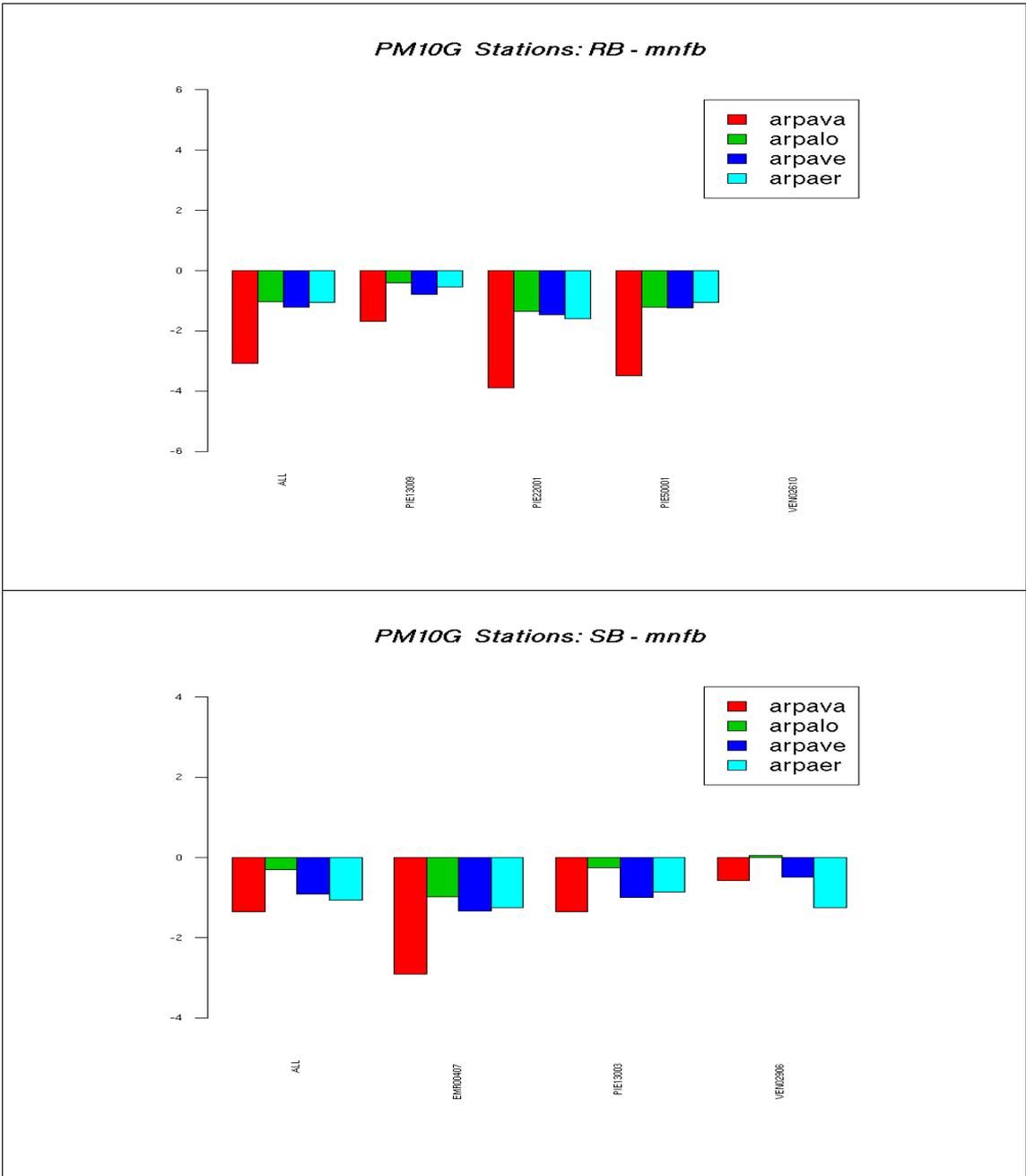


Figura 4-A PM10G-periodo invernale: NMBF sulle singole stazioni raggruppate per tipologia (RB e SB)

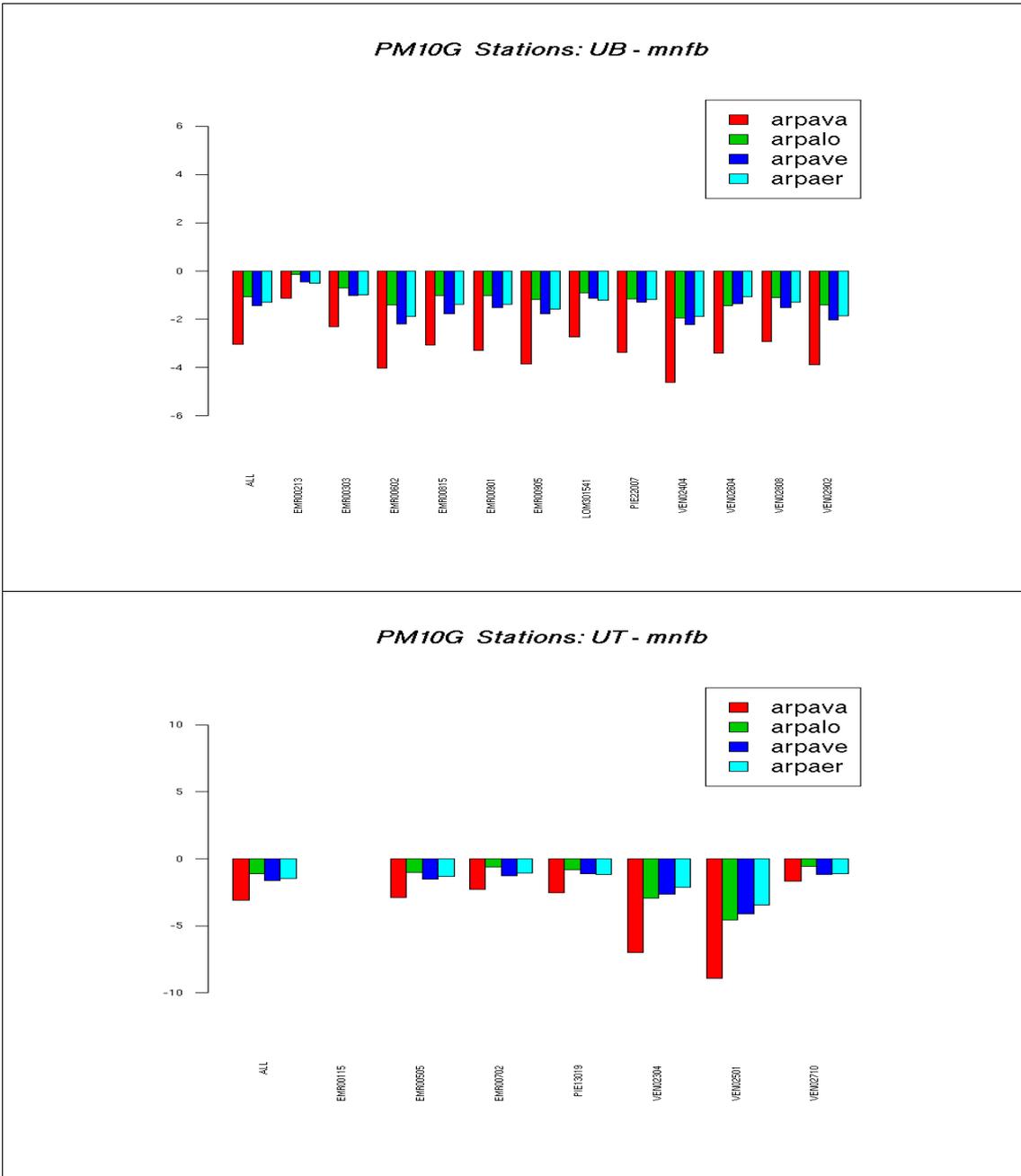


Figura 4-B PM10G-periodo invernale: NMBF sulle singole stazioni raggruppate per tipologia (UB e UT)

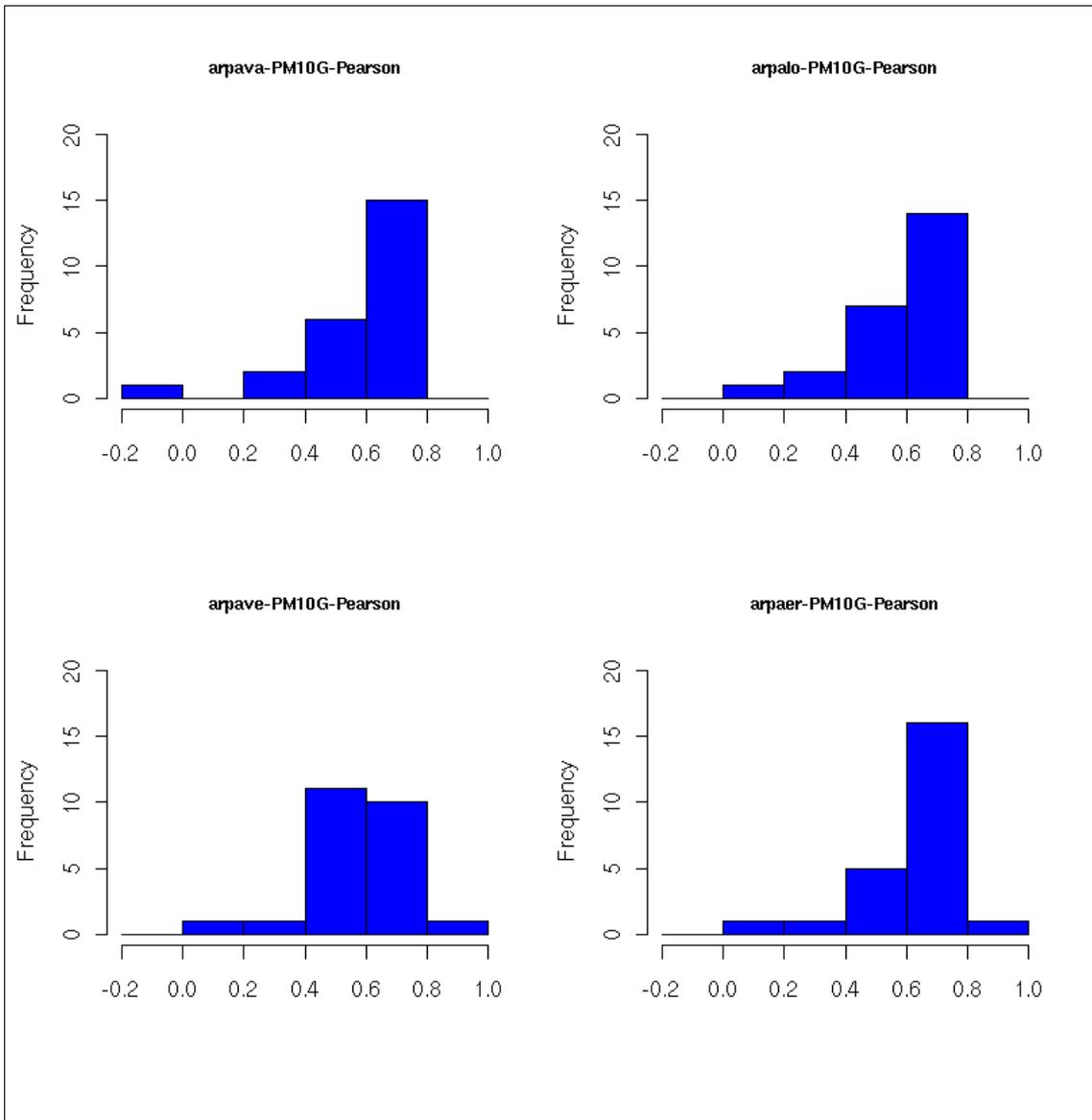


Figura 5. PM10G-periodo invernale: distribuzione di frequenza per ogni modello dei valori assunti dal coefficiente di correlazione di Pearson su tutte le stazioni.

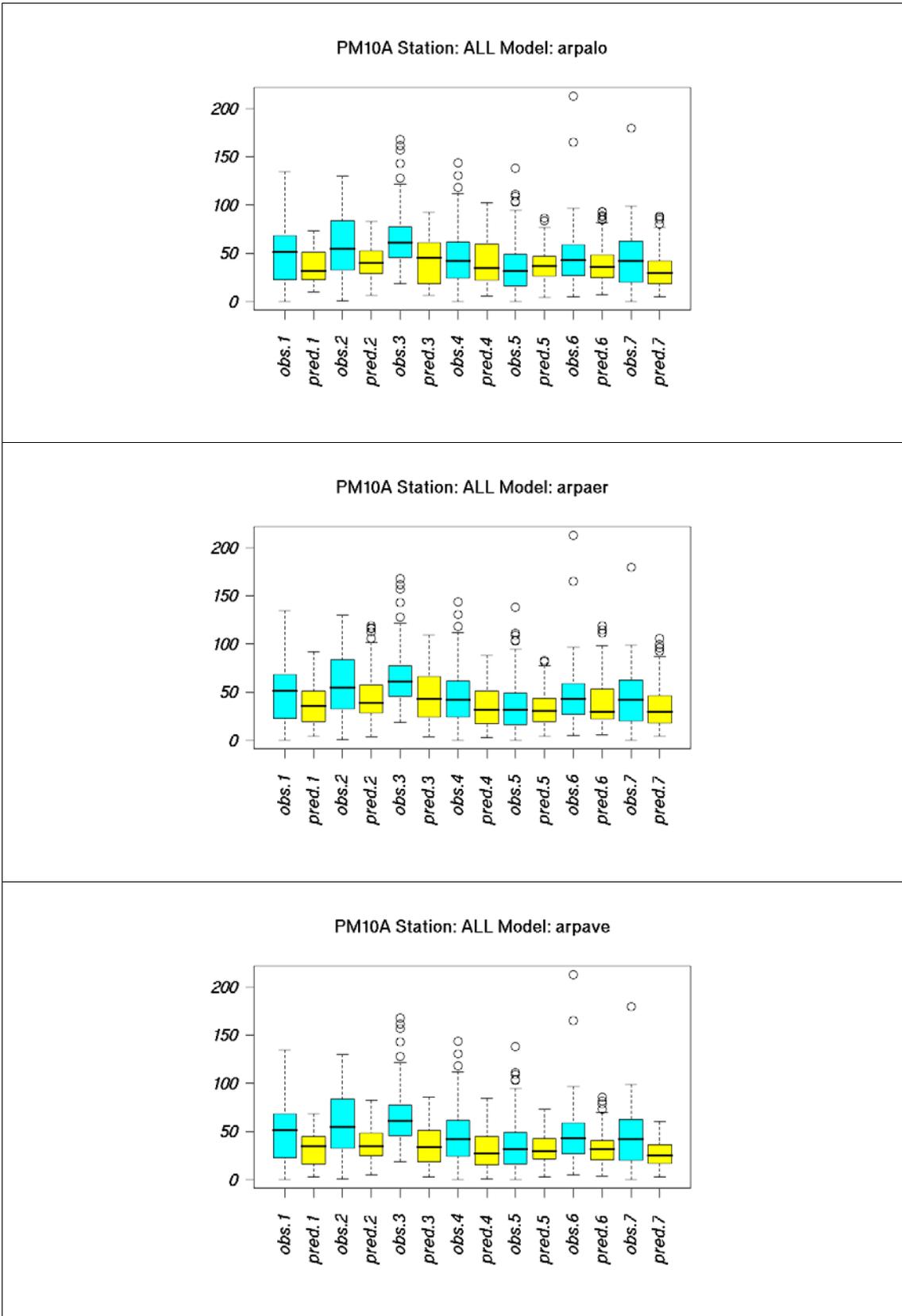
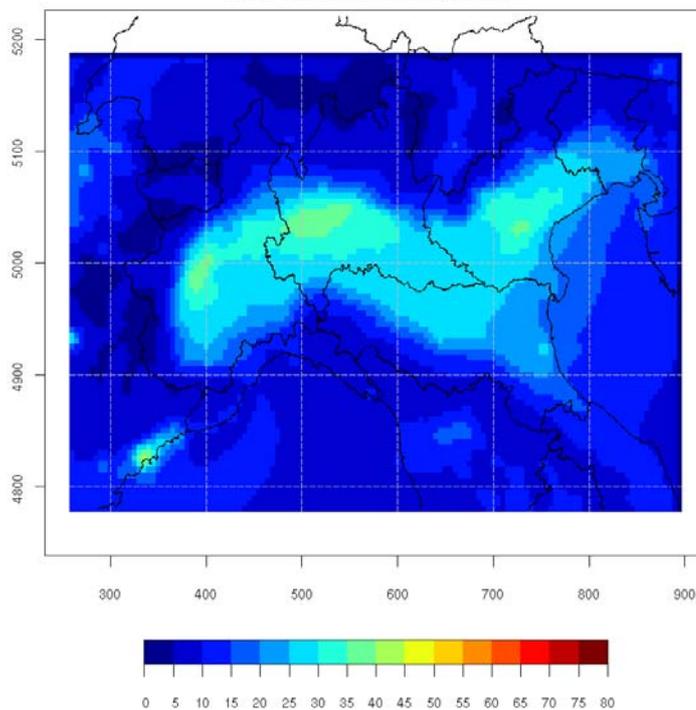
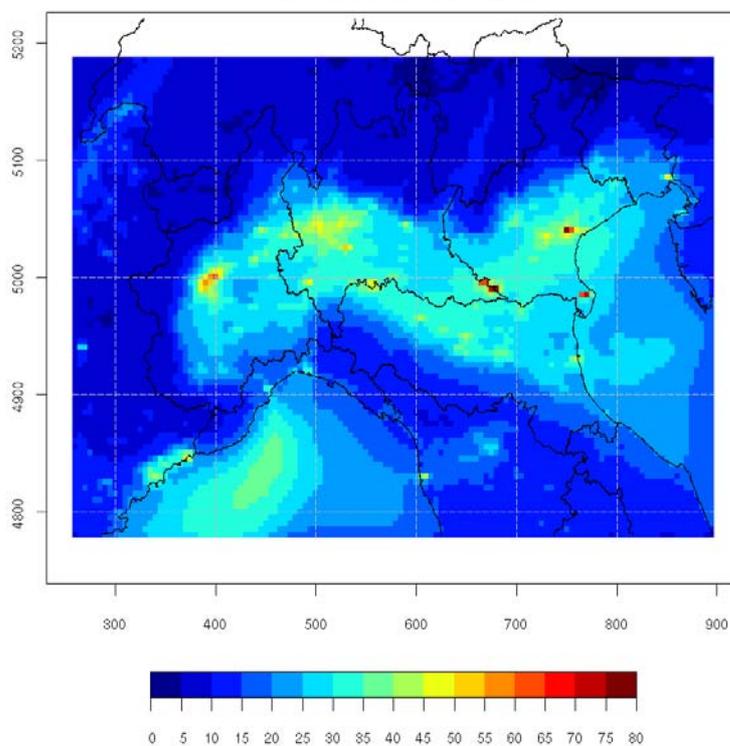


Figura 6. PM10A-periodo invernale: boxplot condizionati al giorno della settimana, stazioni UB

arpaer - PM10 Media sul periodo invernale



arpalo - PM10 Media sul periodo invernale



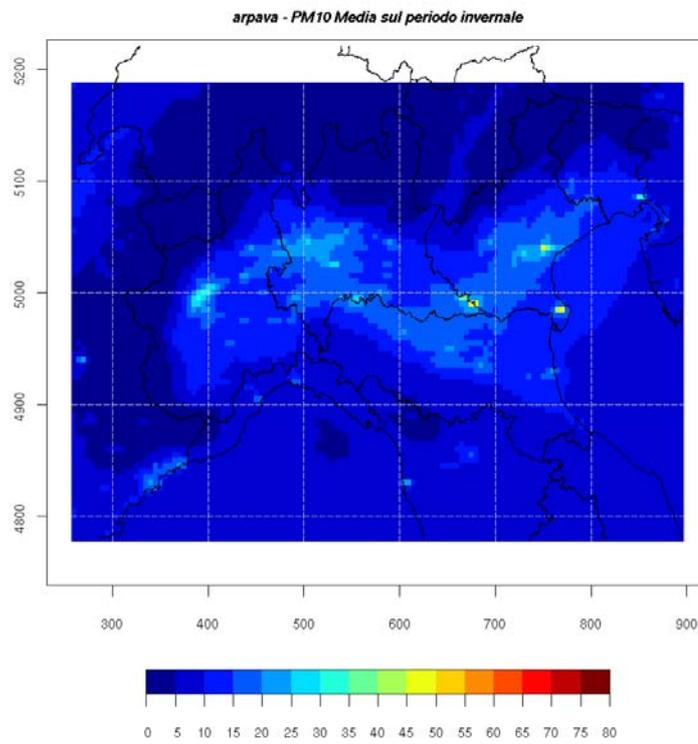
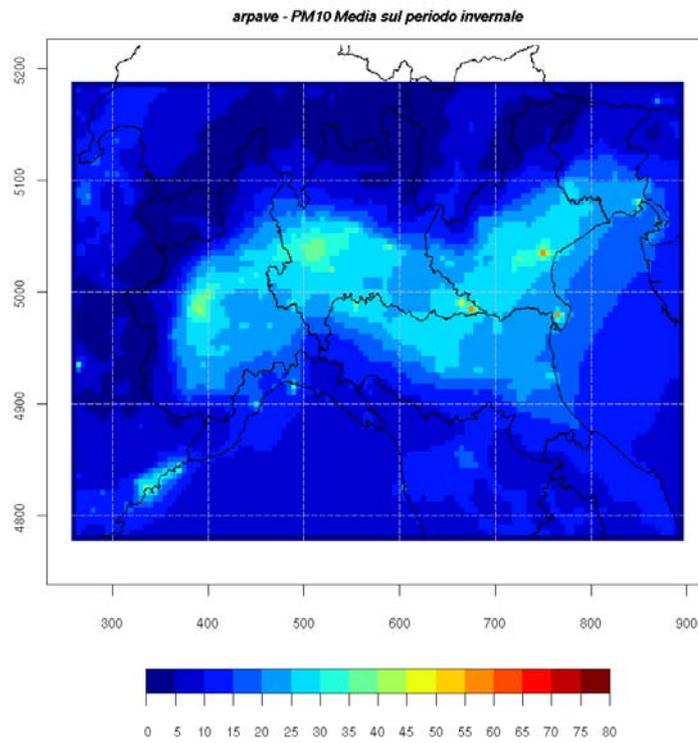


Figura 7.  $PM_{10}$  campi medi di concentrazione al suolo sul periodo invernale.

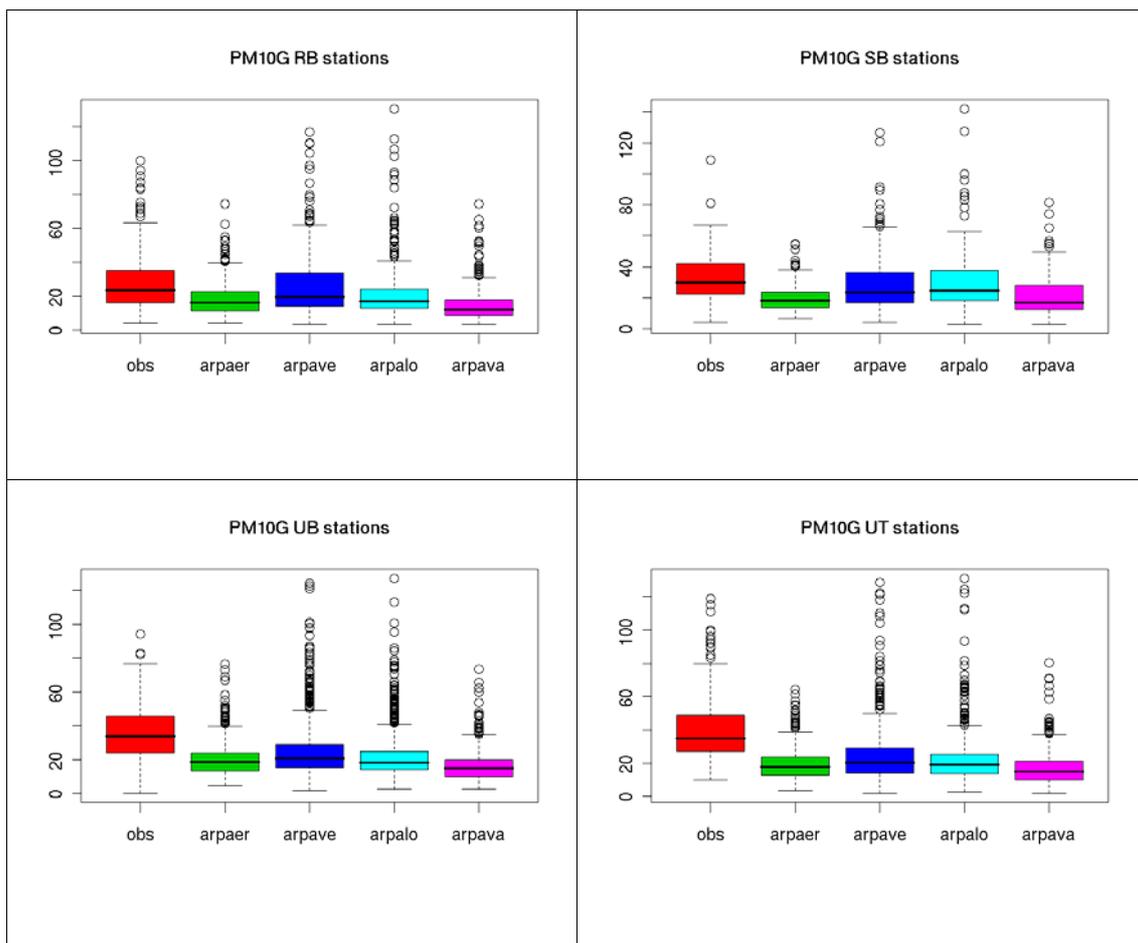
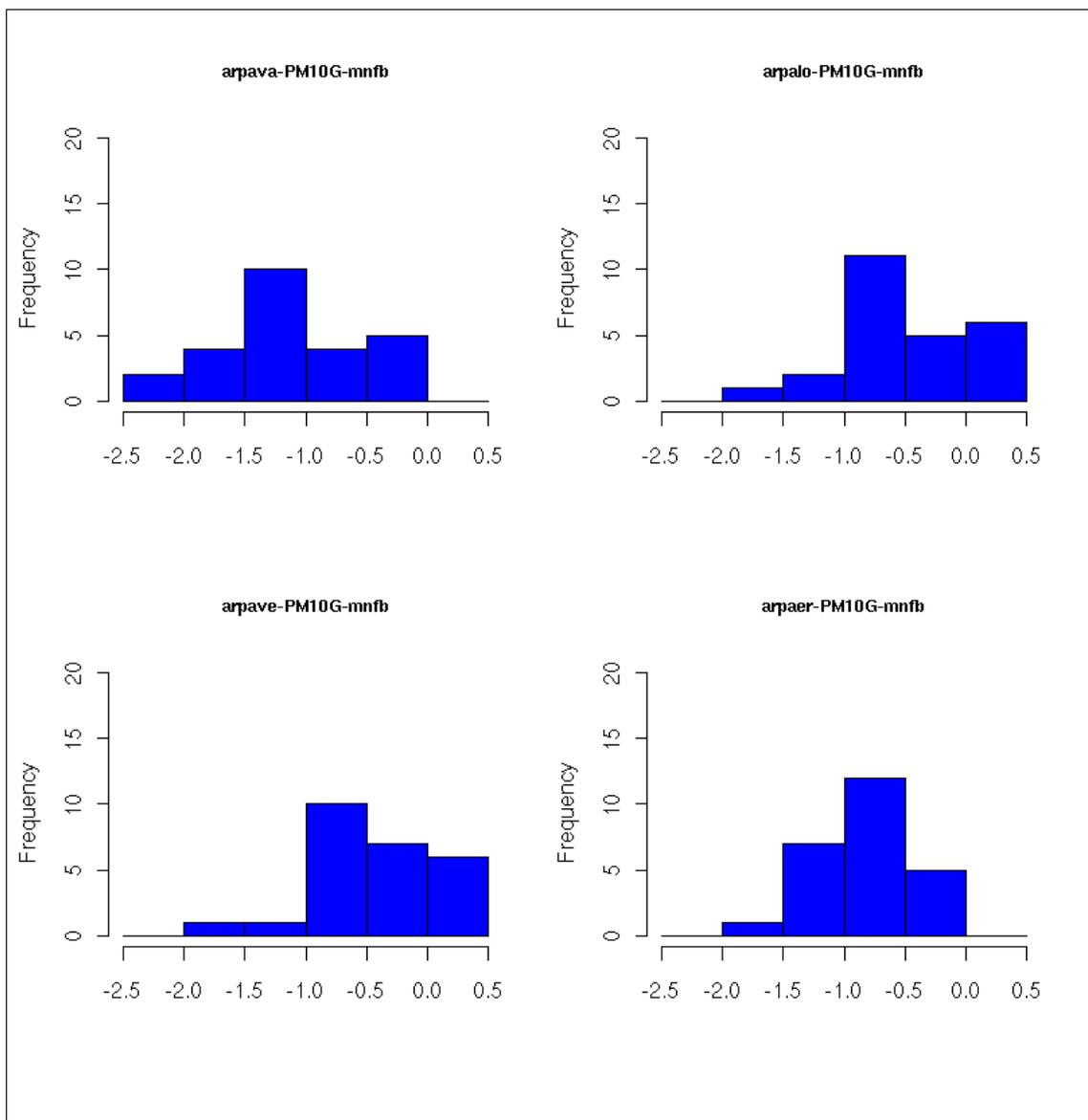


Figura 8. Boxplot delle distribuzioni di concentrazione osservate ( $PM_{10}$  gravimetrico) e simulate su tutto il periodo estivo dai quattro sistemi modellistici sulle stazioni raggruppate per tipologica.



*Figura 9. PM10G-periodo estivo: distribuzione di frequenza per ogni modello dei valori assunti dall'indice NMBF su tutte le stazioni.*

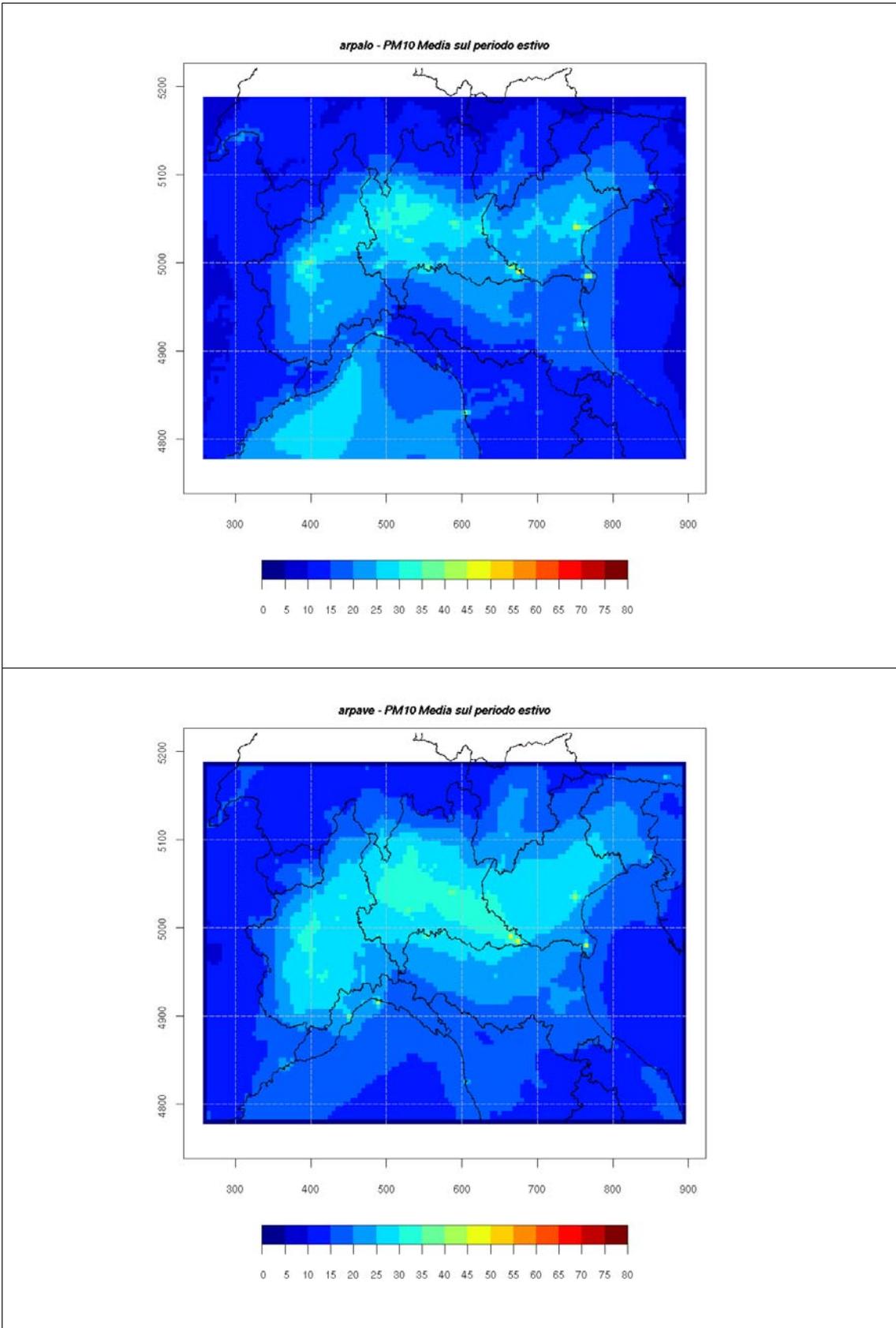


Figura 10.  $PM_{10}$  campi medi di concentrazione al suolo sul periodo estivo.

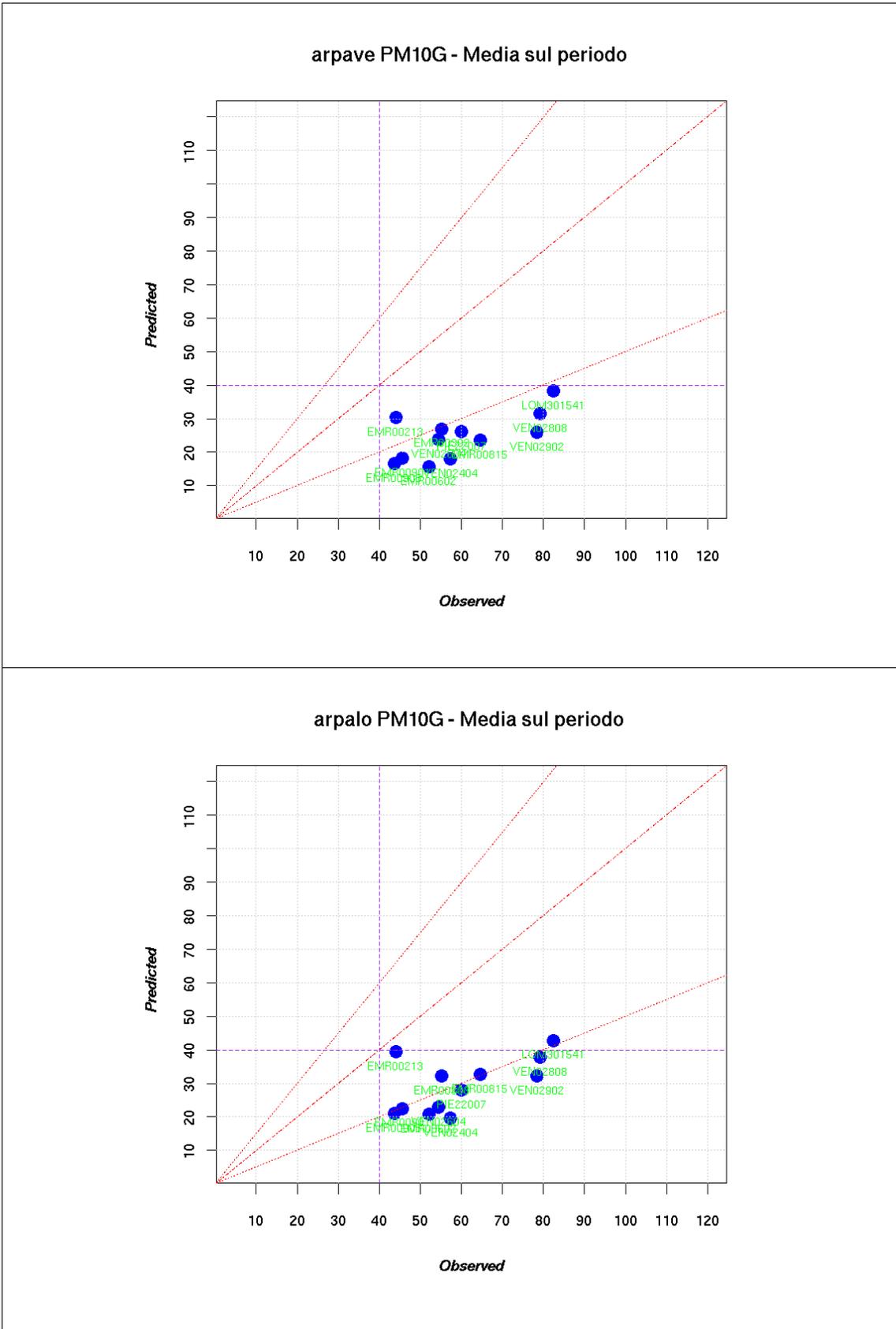


Figura 11. PM10G-periodo invernale, scatter-plot osservato simulato, stazioni UB.

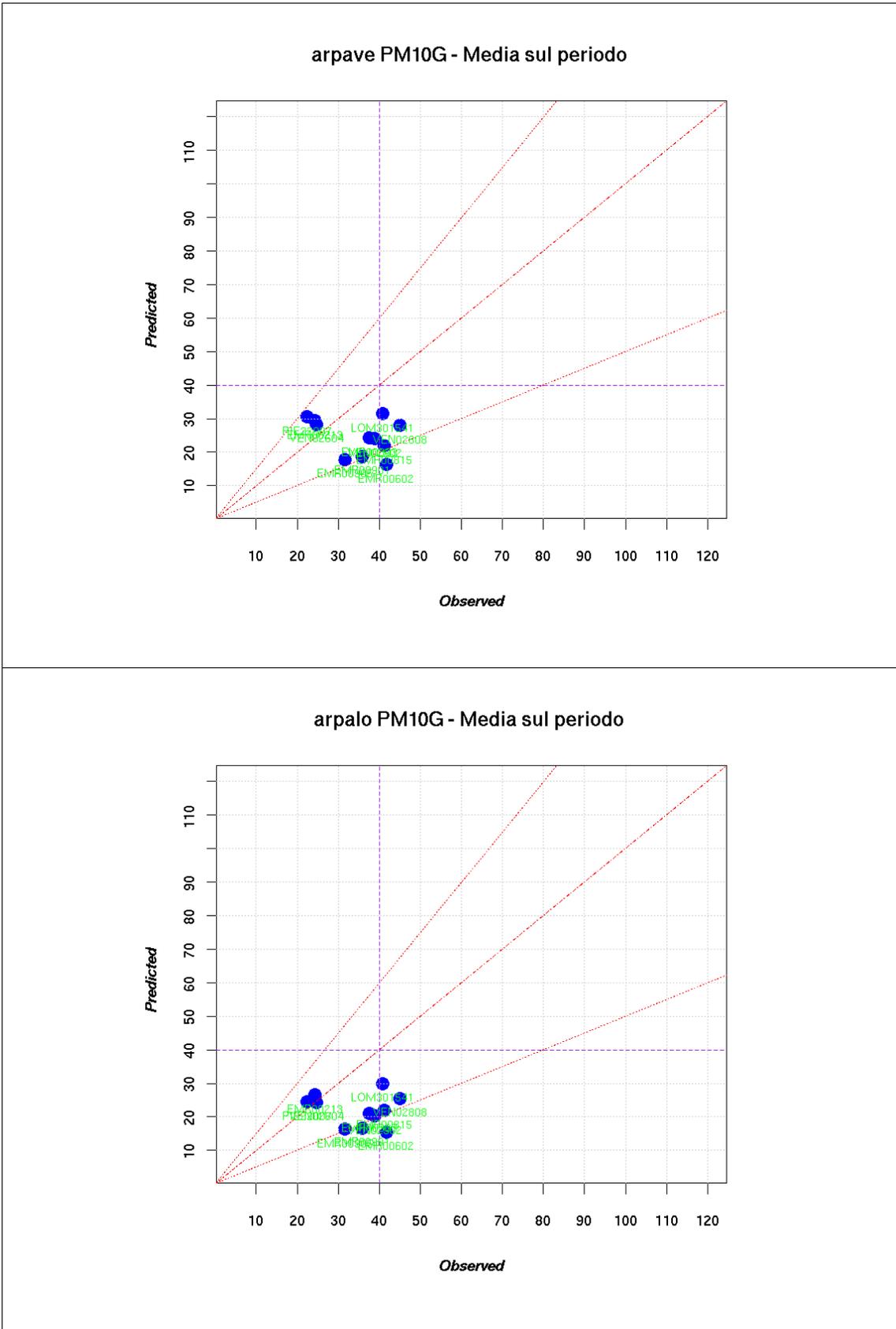


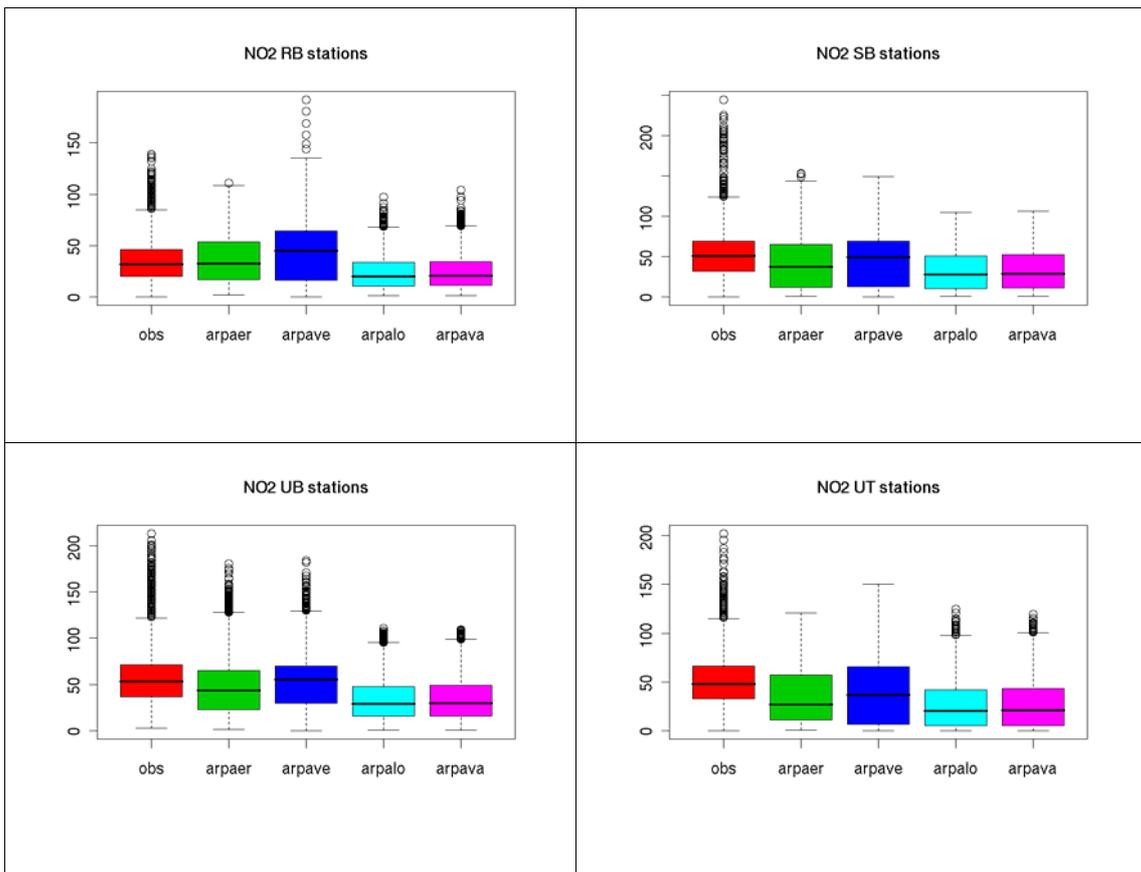
Figura 12. PM10G-periodo estivo, scatter-plot osservato simulato, stazioni UB.

## **Risultati NO<sub>2</sub>**

**Caso base, NO<sub>2</sub>**

	Stazioni RB	Stazioni SB	Stazioni UB	Stazioni UT	Stazioni UI	Stazioni SI	Totale
NO <sub>2</sub>	7	5	22	7	1	1	43

*Tabella 1: numero di strumenti per la misura di NO<sub>2</sub>, raggruppati per tipologia di stazione (RB: background rurale, SB: background suburbano, UB: background urbano, UT: urbana traffico, UI: urbana industriale ed SI: suburbana industriale)*



*Figura 1. NO<sub>2</sub>: Boxplot delle distribuzioni di concentrazione osservate e simulate su tutto il periodo invernale dai quattro sistemi modellistici sulle stazioni raggruppate per tipologica.*

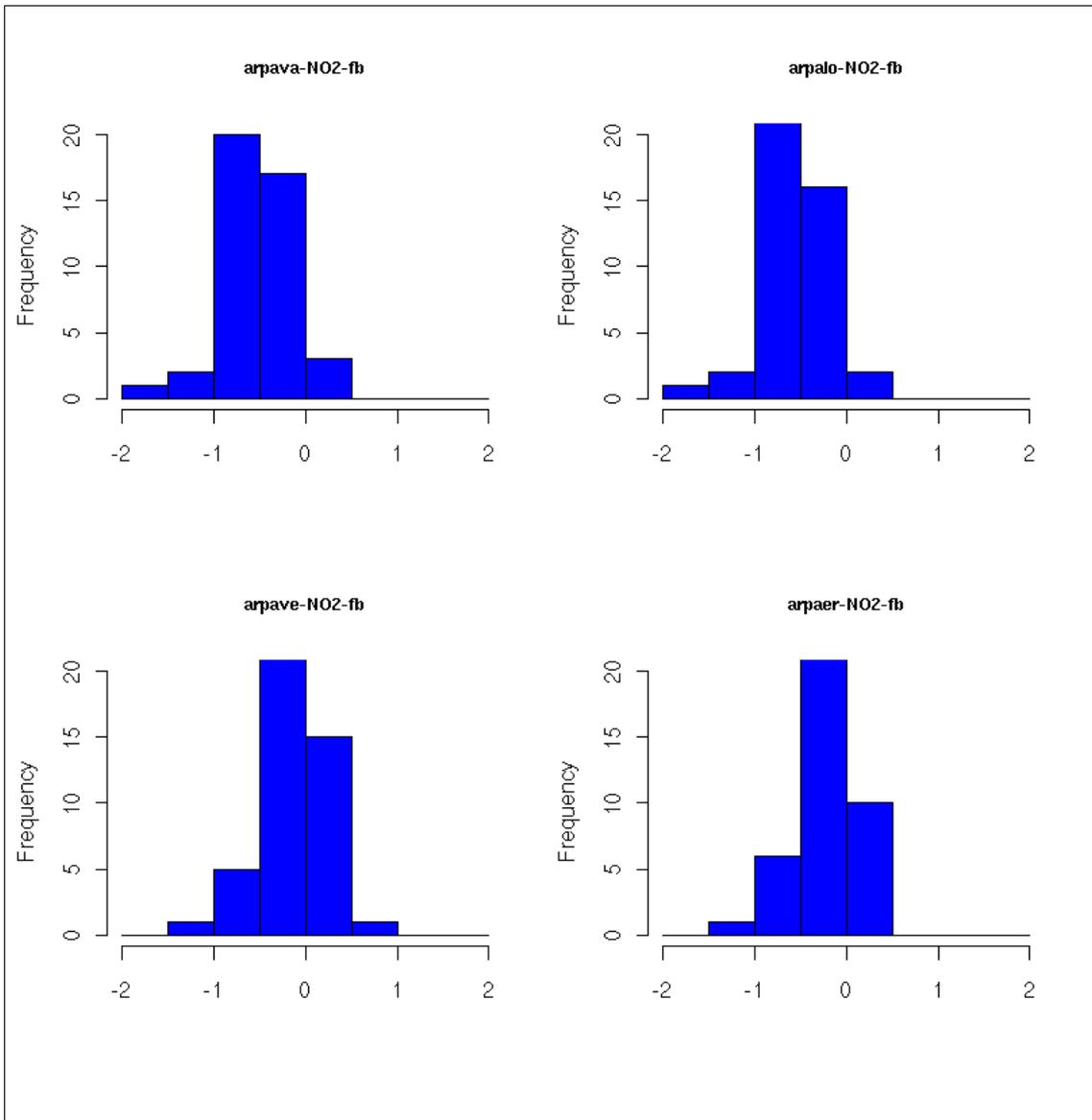


Figura 2.  $\text{NO}_2$ -periodo invernale: distribuzione di frequenza per ogni modello dei valori assunti dall'indice FB su tutte le stazioni.

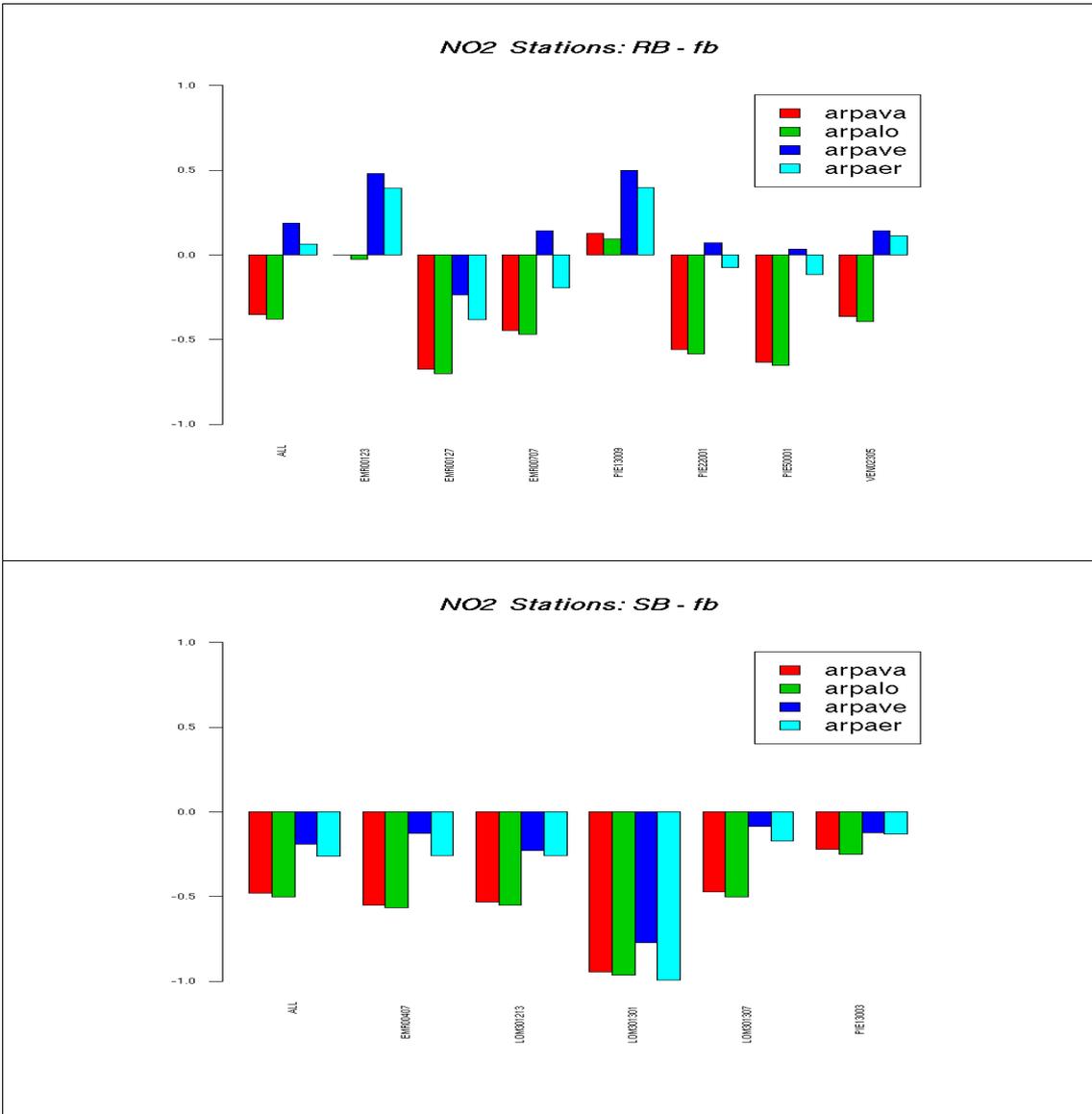


Figura 3-A. NO<sub>2</sub> -periodo invernale: FB sulle singole stazioni raggruppate per tipologia (RB e SB)

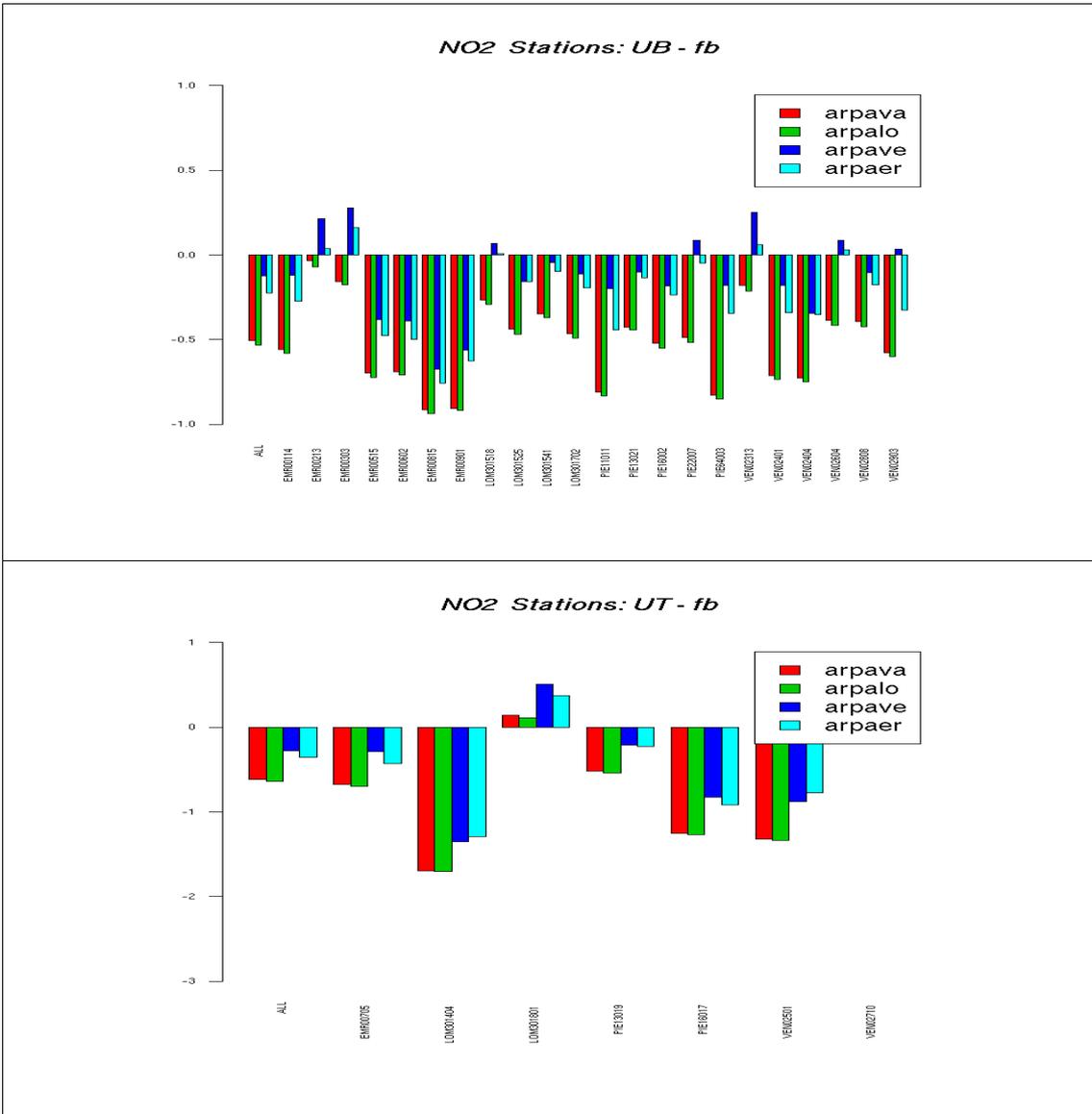


Figura 3-B. NO<sub>2</sub> -periodo invernale: FB sulle singole stazioni raggruppate per tipologia (UB e UT)

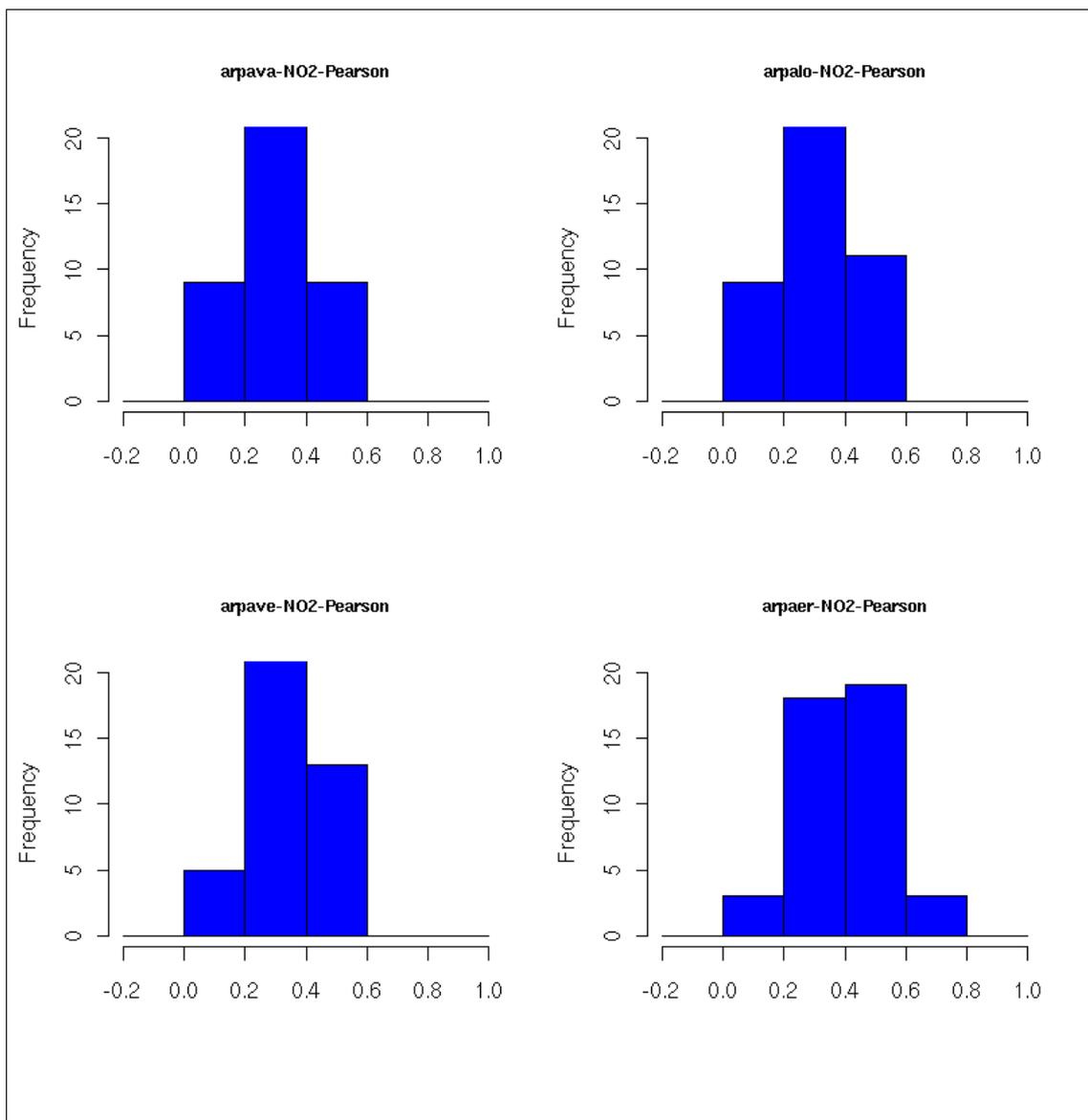


Figura 4. NO<sub>2</sub> -periodo invernale: distribuzione di frequenza per ogni modello dei valori assunti dal coefficiente di correlazione di Pearson su tutte le stazioni.

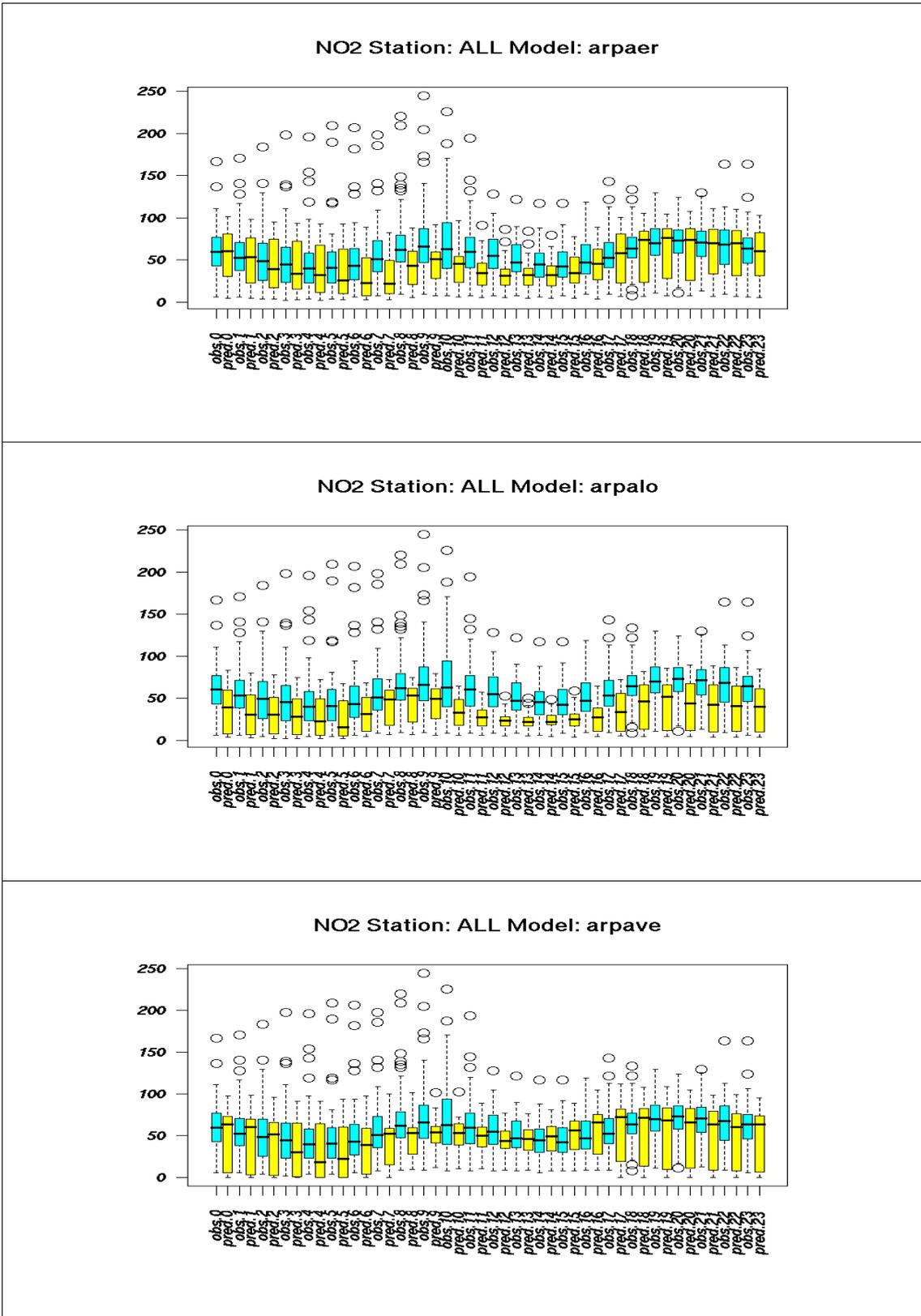


Figura 5. NO<sub>2</sub> periodo invernale: boxplot condizionati all'ora del giorno, stazioni SB

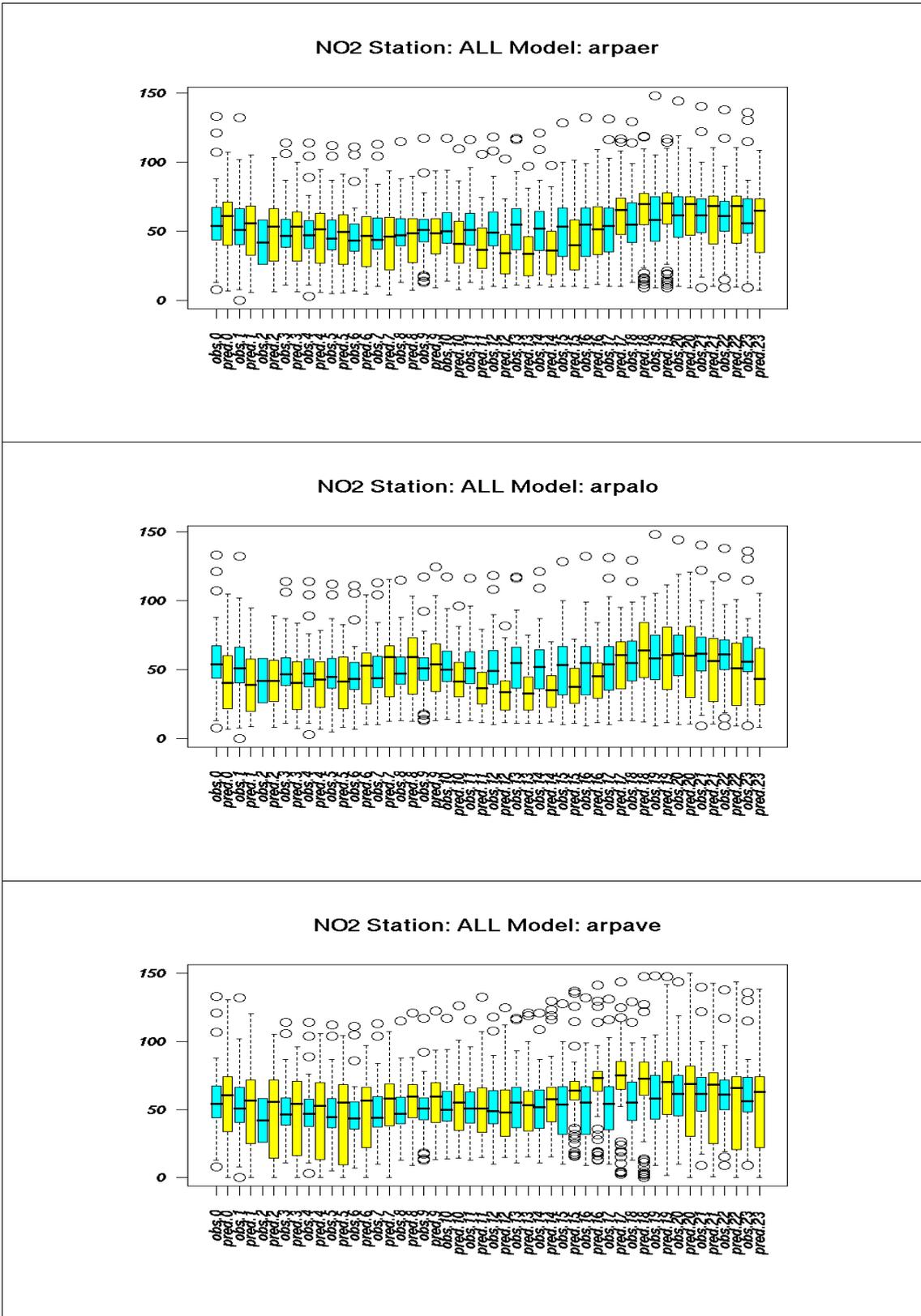
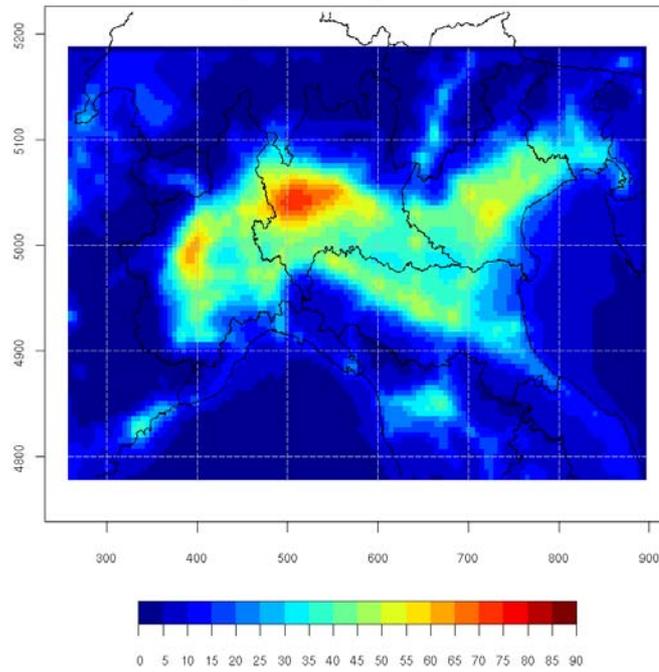
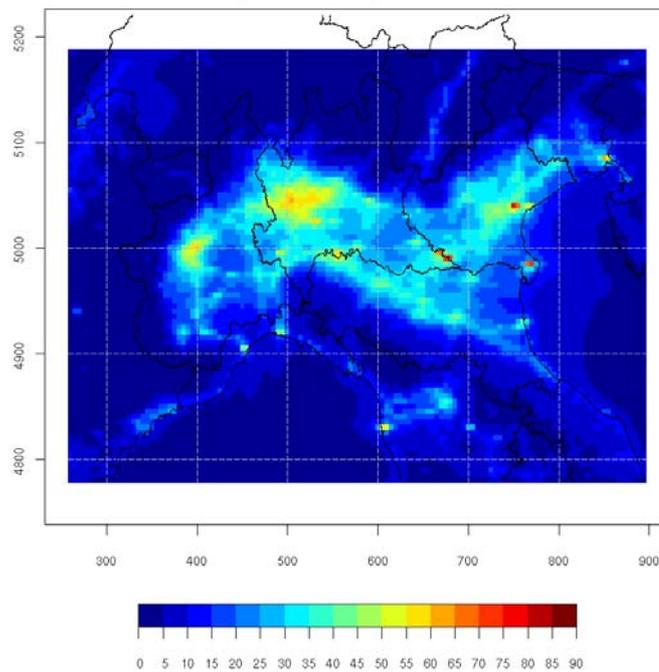


Figura 6. NO<sub>2</sub>-periodo invernale: boxplot condizionati all'ora del giorno, stazioni UT

arpaer - NO2 Media sul periodo invernale



arpalo - NO2 Media sul periodo invernale



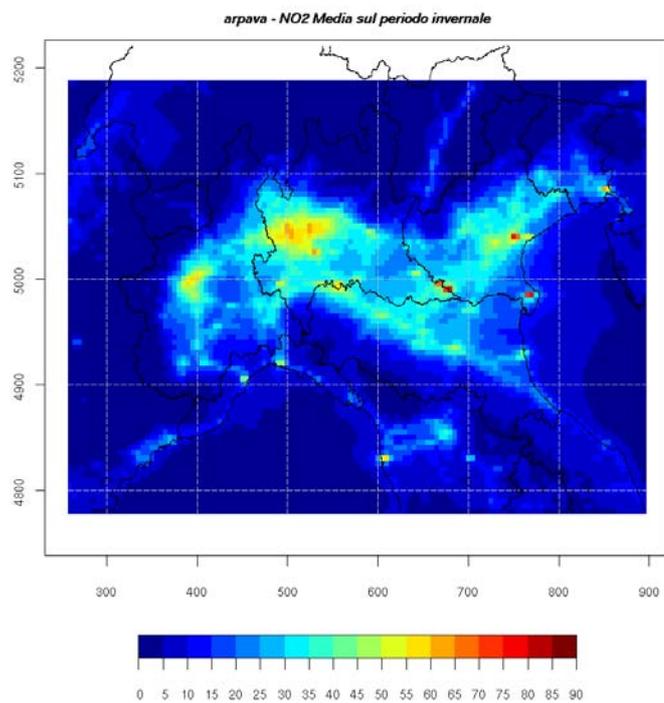
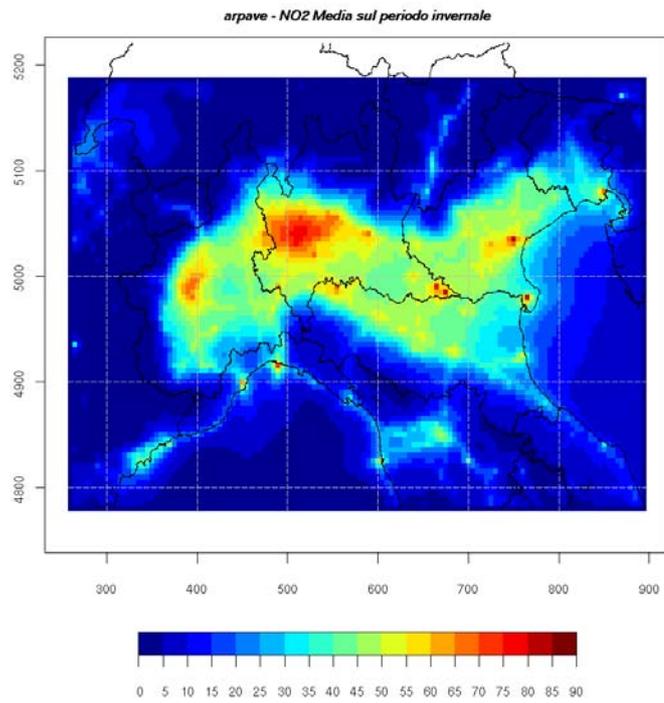


Figura 7. NO<sub>2</sub> campi medi di concentrazione al suolo sul periodo invernale.

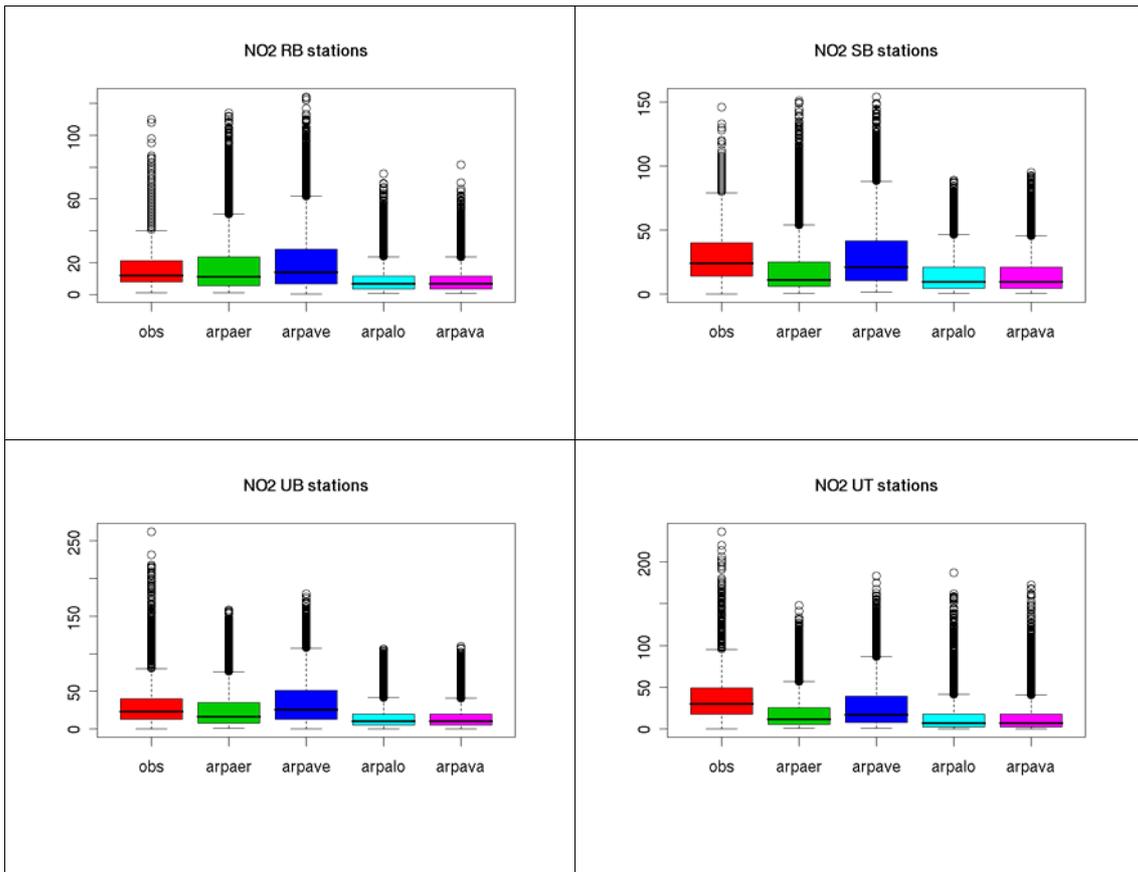
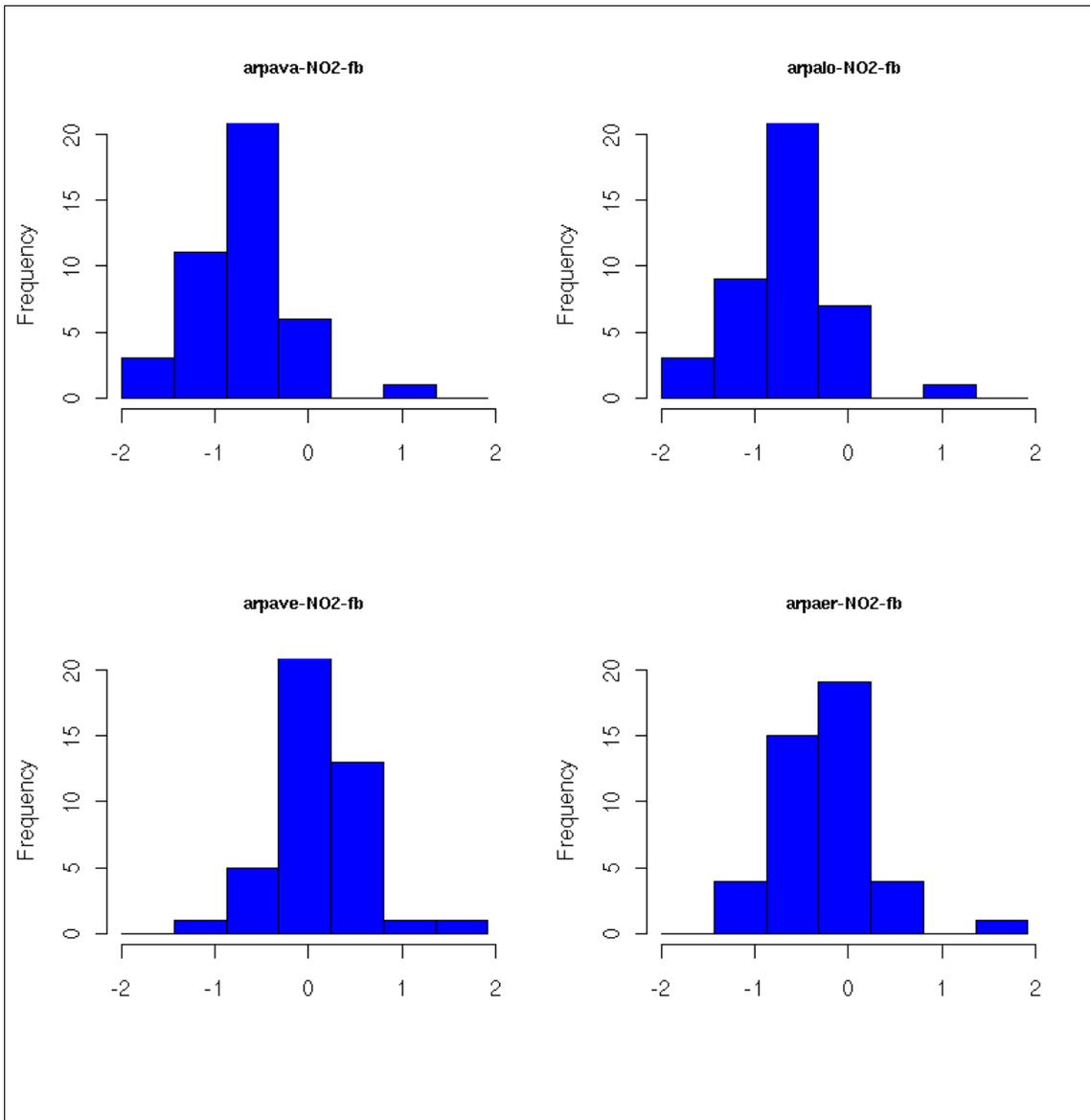
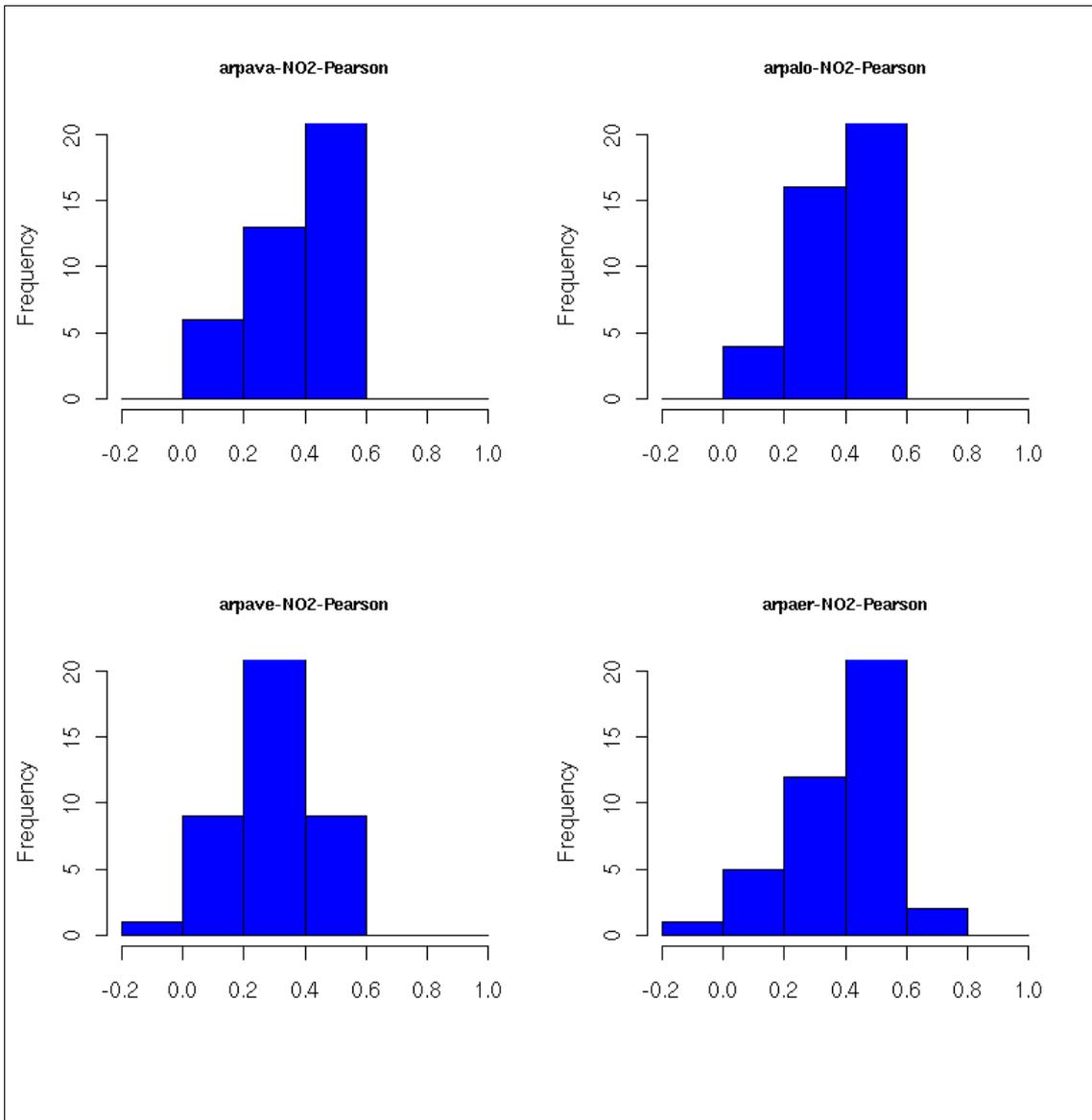


Figura 8. NO<sub>2</sub>: boxplot delle distribuzioni di concentrazione osservate e simulate su tutto il periodo estivo dai quattro sistemi modellistici sulle stazioni raggruppate per tipologica.



*Figura 9. NO<sub>2</sub> -periodo estivo: distribuzione di frequenza per ogni modello dei valori assunti dall'indice FB su tutte le stazioni.*



*Figura 10. NO<sub>2</sub> -periodo estivo: distribuzione di frequenza per ogni modello dei valori assunti dal coefficiente di correlazione di Pearson su tutte le stazioni.*

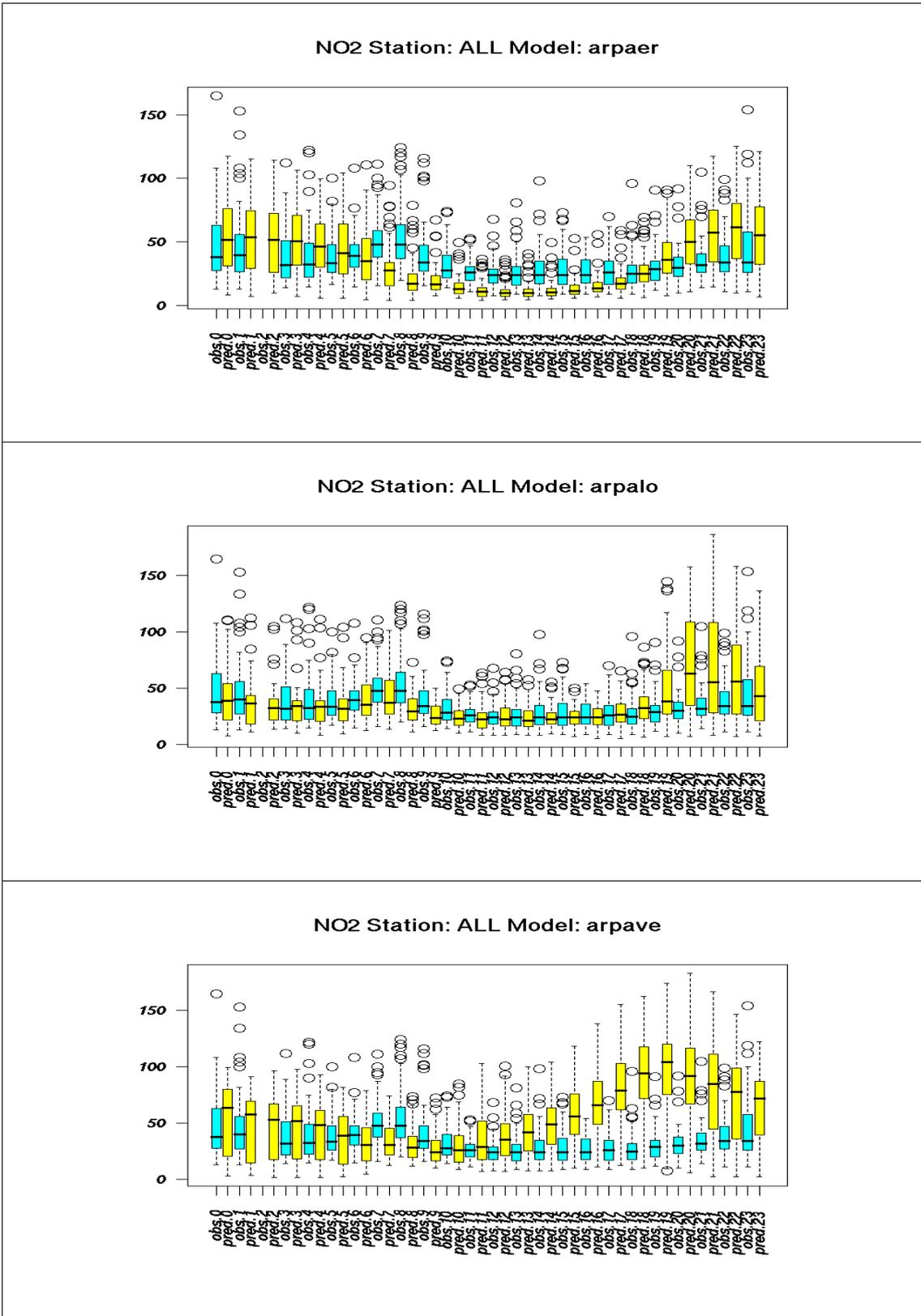
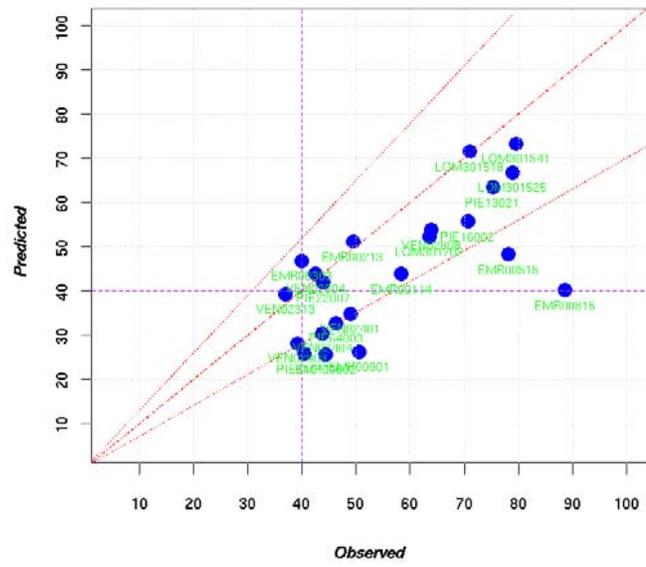
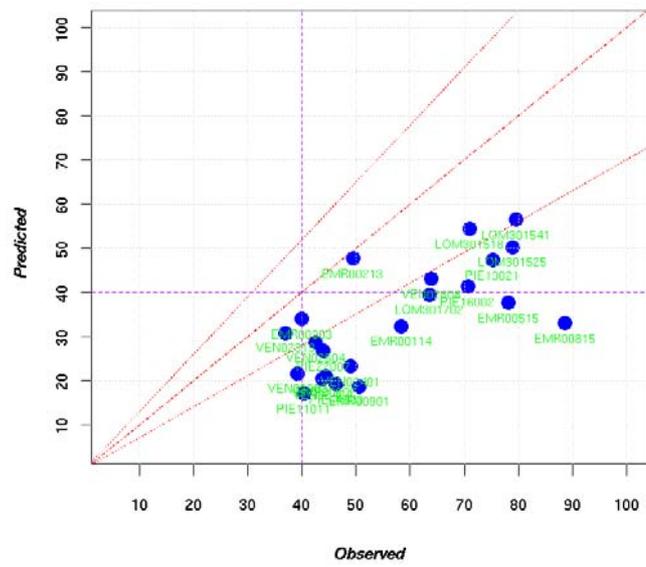


Figura 11. NO<sub>2</sub>-periodo estivo: boxplot condizionati all'ora del giorno, stazioni UT

arpaer NO2 - Media sul periodo



arpava NO2 - Media sul periodo



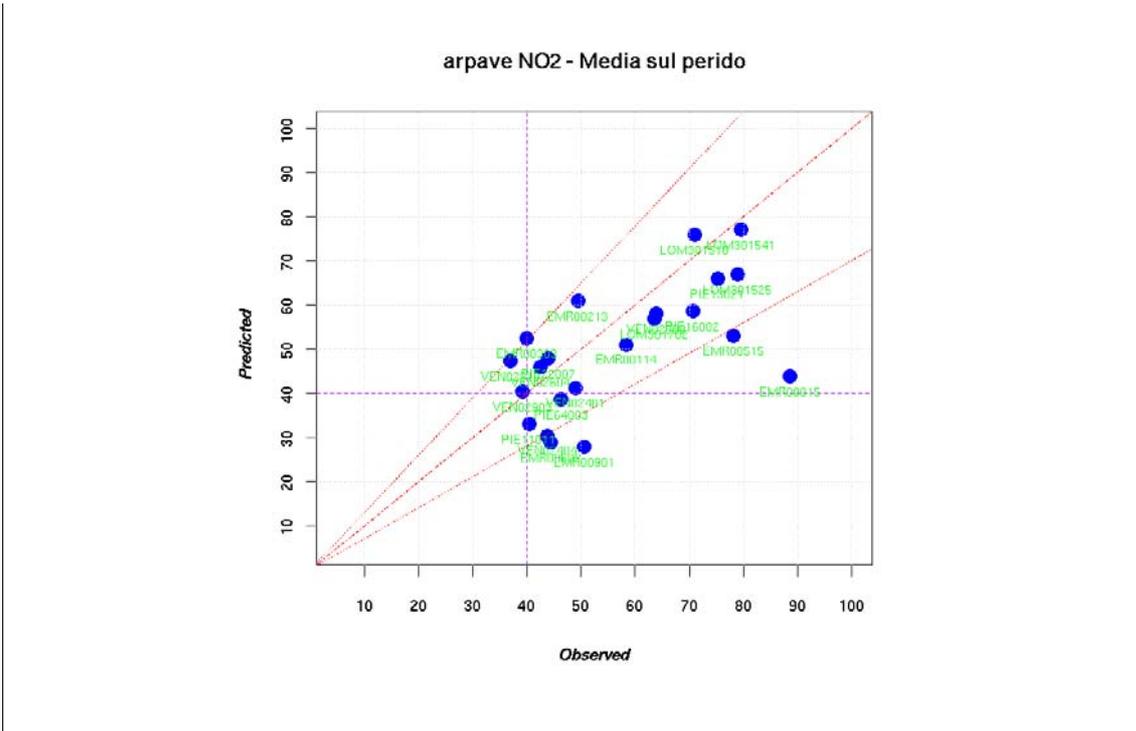


Figura 12. NO<sub>2</sub> periodo invernale, scatter-plot osservato simulato, stazioni UB.



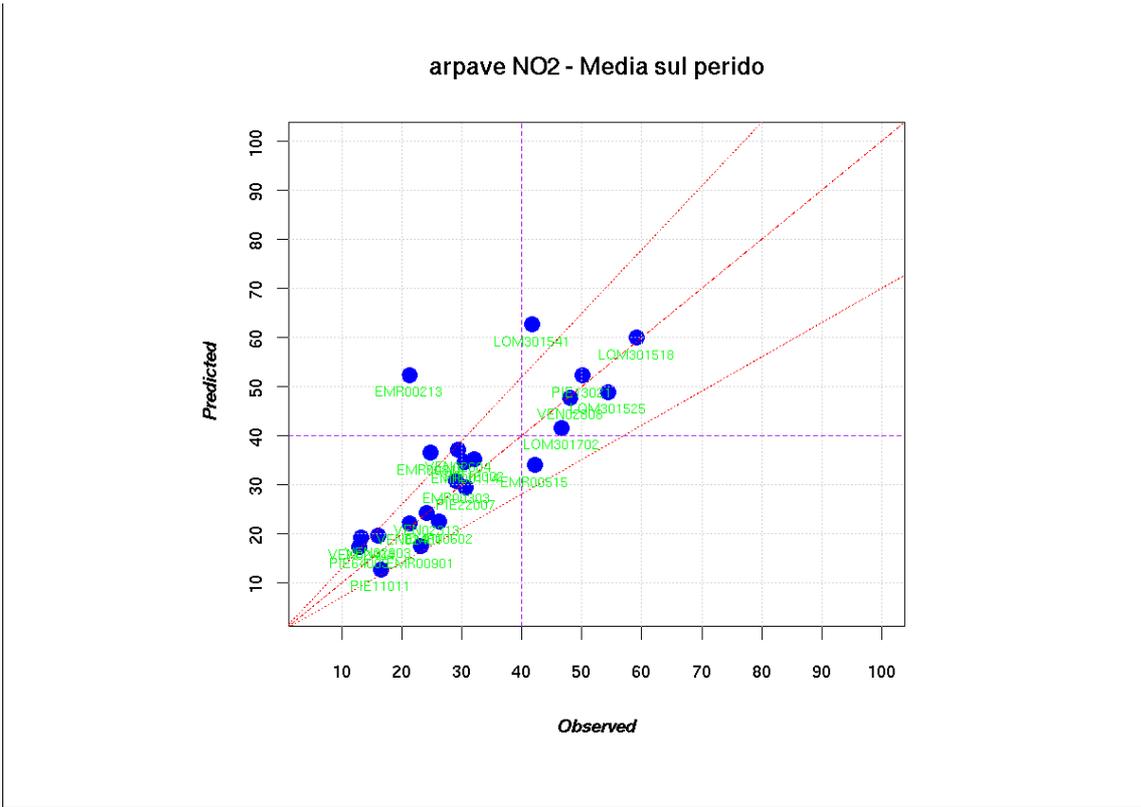


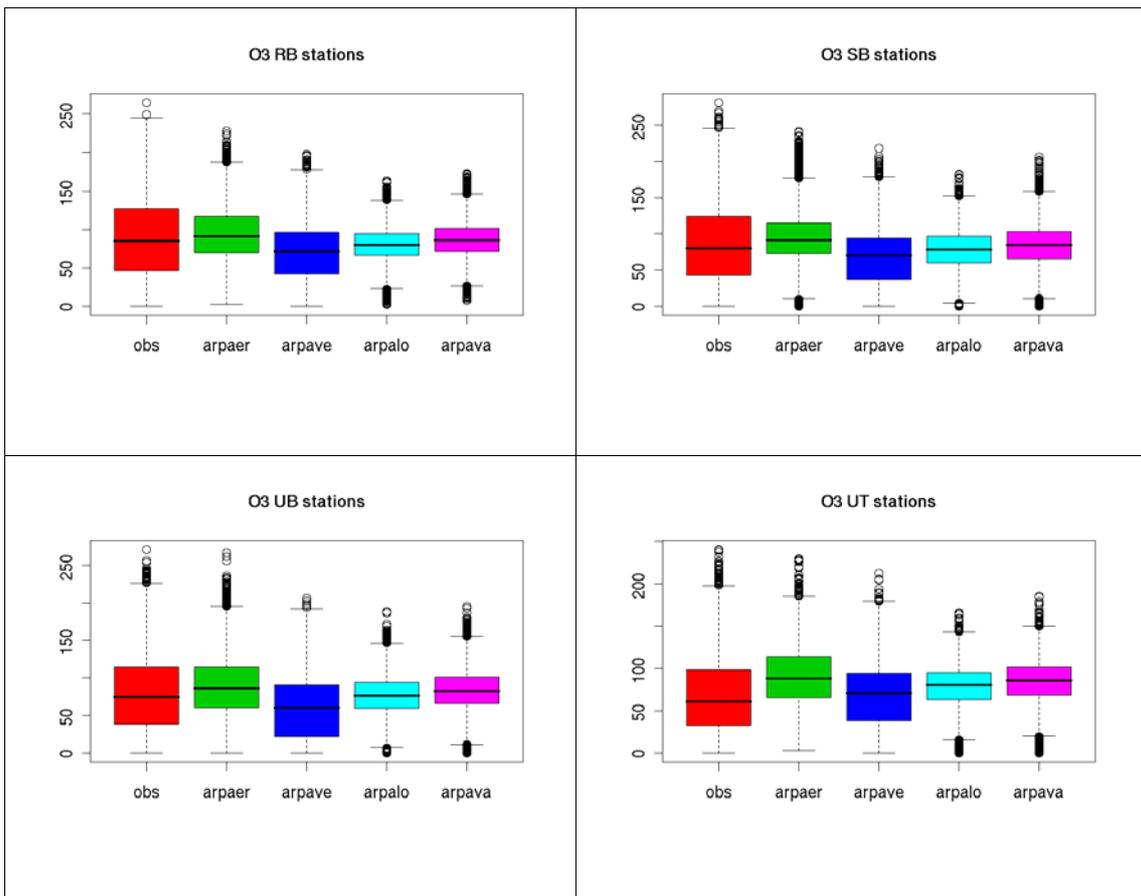
Figura 13. NO<sub>2</sub>-periodo estivo, scatter-plot osservato simulato, stazioni UB.

## **Risultati O<sub>3</sub>**

**Caso base, O<sub>3</sub>**

	Stazioni RB	Stazioni SB	Stazioni UB	Stazioni UT	Stazioni UI	Stazioni SI	Totale
O <sub>3</sub>	7	5	20	5	--	1	38

*Tabella 1: numero di strumenti per la misura di ozono, raggruppati per tipologia di stazione (RB: background rurale, SB: background suburbano, UB: background urbano, UT: urbana traffico, UI: urbana industriale ed SI: suburbana industriale)*



*Figura 1. Ozono: Boxplot delle distribuzioni di concentrazione osservate e simulate su tutto il periodo estivo dai quattro sistemi modellistici sulle stazioni raggruppate per tipologica.*

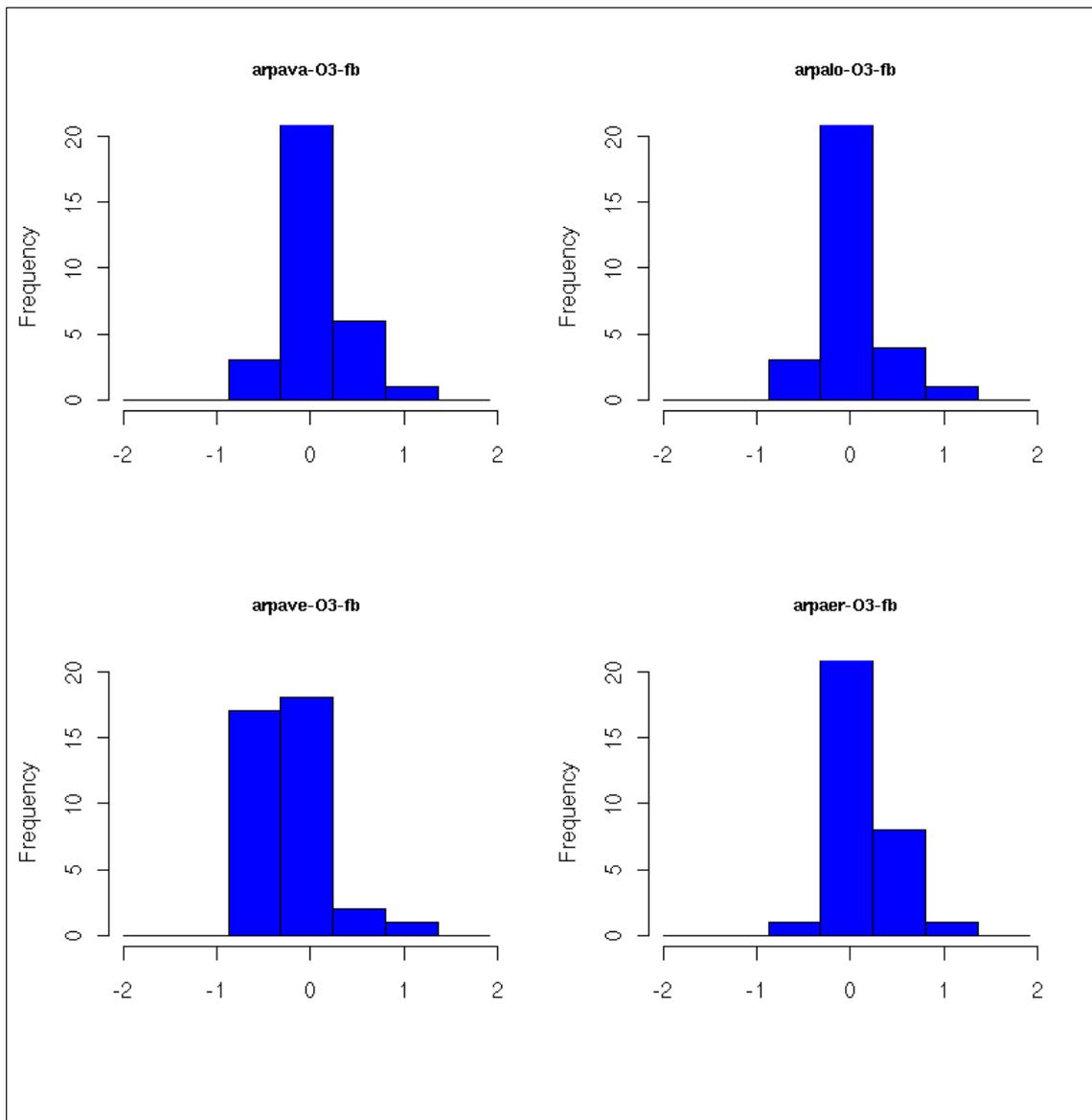


Figura 2. Ozono-periodo estivo: distribuzione di frequenza per ogni modello dei valori assunti dall'indice FB su tutte le stazioni.

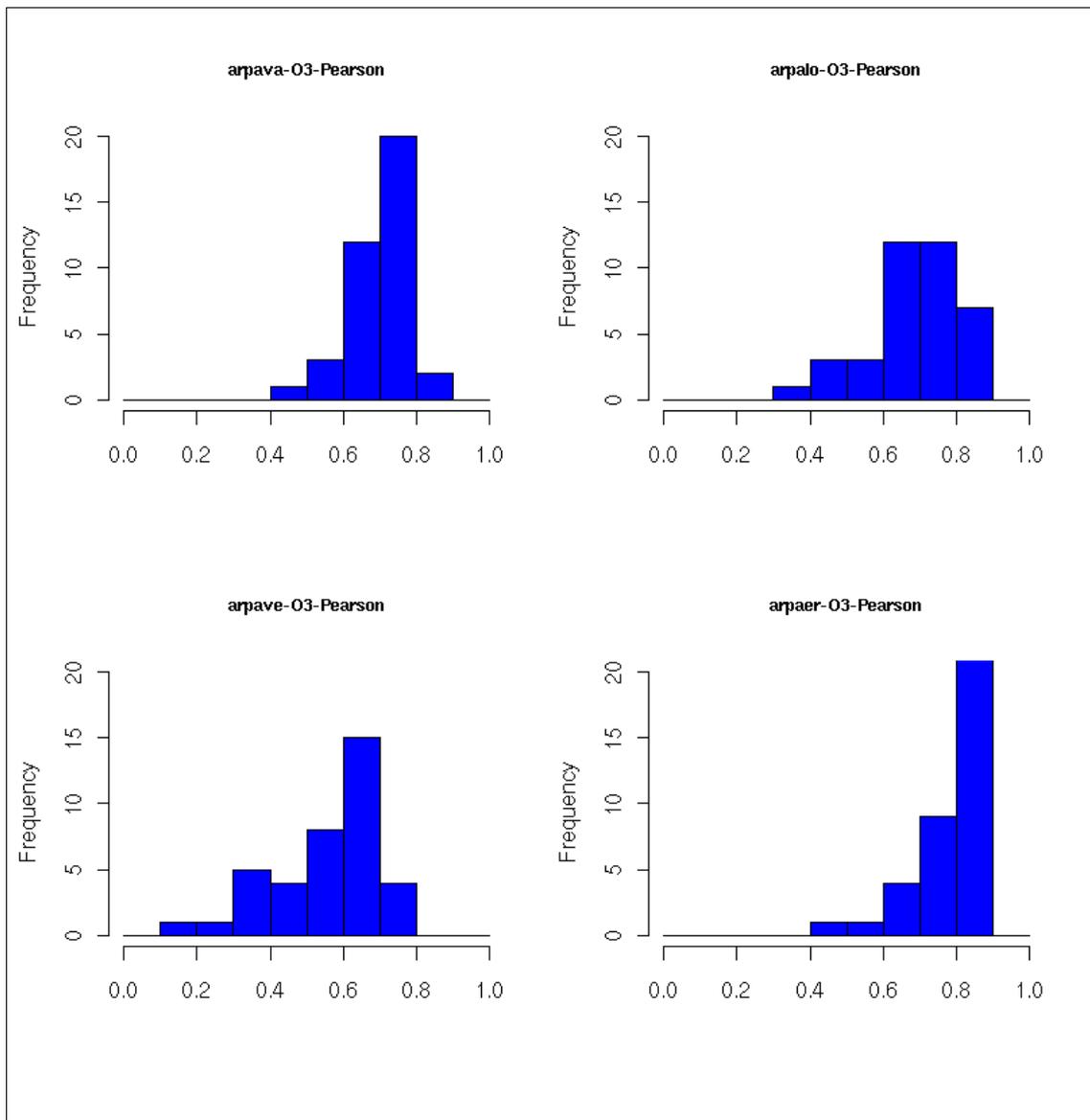


Figura 3. Ozono -periodo estivo: distribuzione di frequenza per ogni modello dei valori assunti dal coefficiente di correlazione di Pearson su tutte le stazioni.

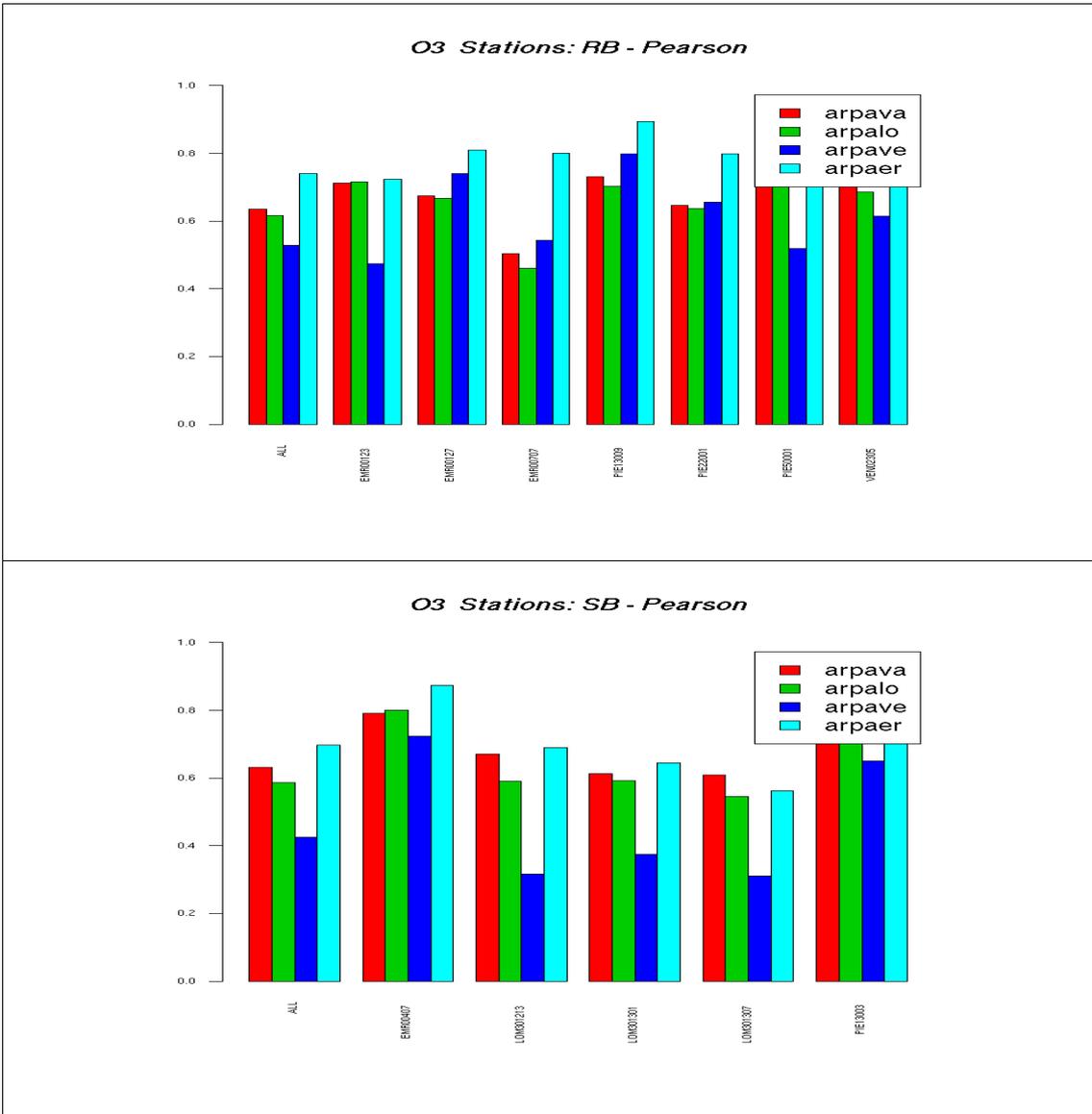


Figura 4 A. Ozono -periodo estivo: coefficiente di correlazione sulle singole stazioni raggruppate per tipologia (RB e SB).

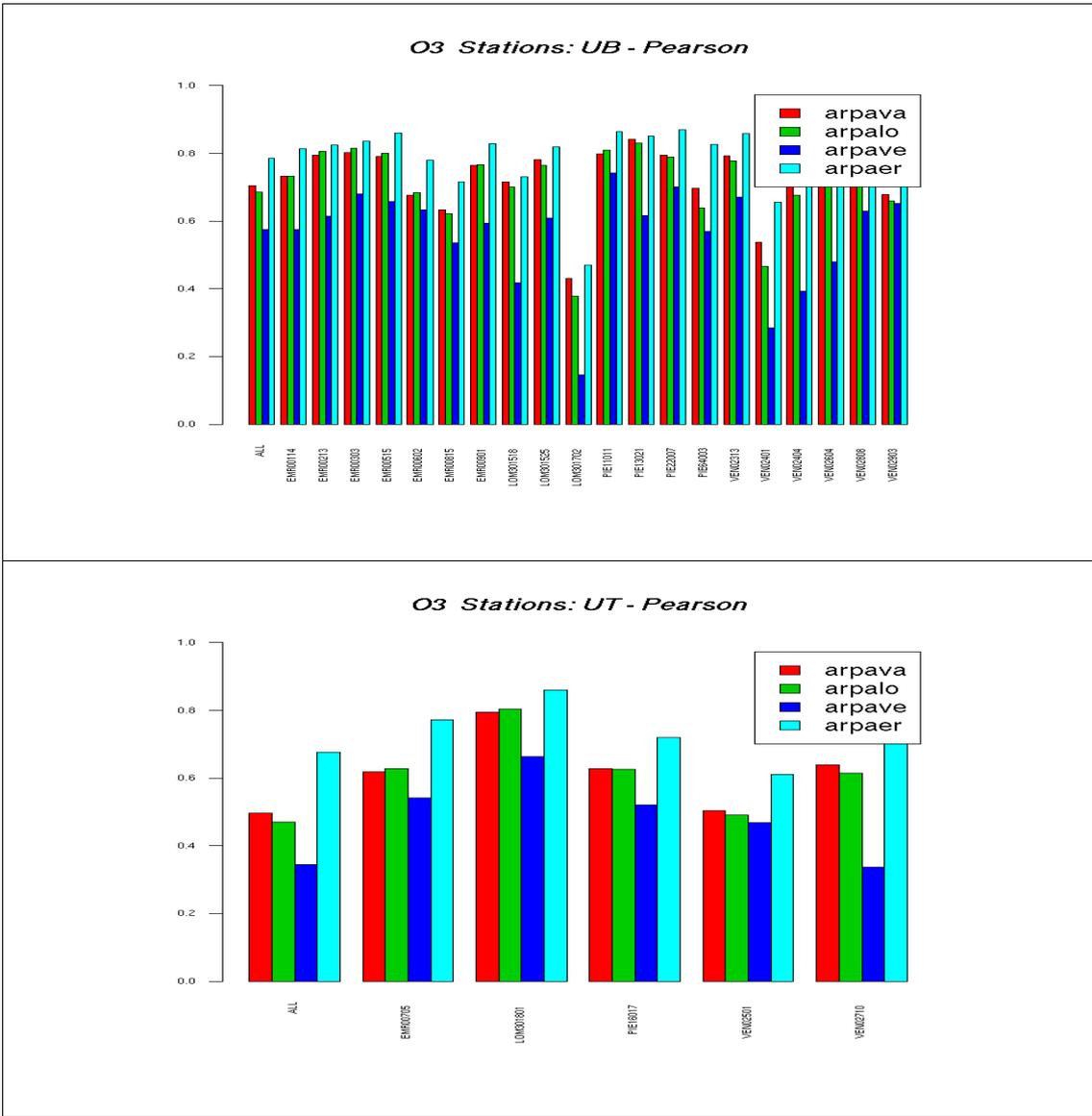
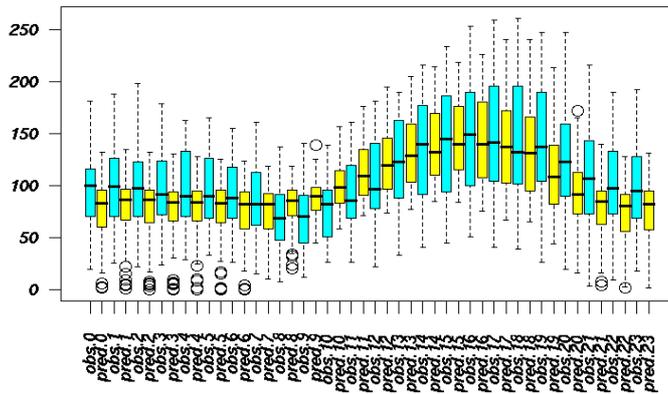
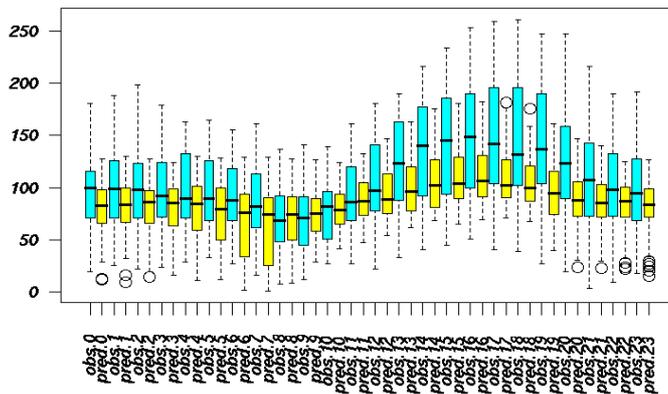


Figura 4 B. Ozono-periodo estivo: coefficiente di correlazione sulle singole stazioni raggruppate per tipologia (UB e UT).

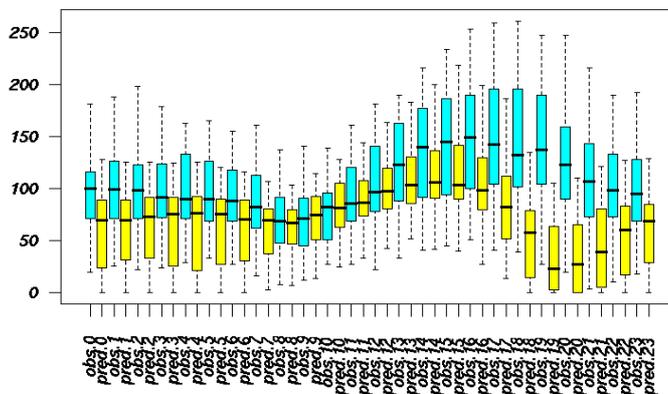
O3 Station: ALL Model: arpaer



O3 Station: ALL Model: arpalo



O3 Station: ALL Model: arpave



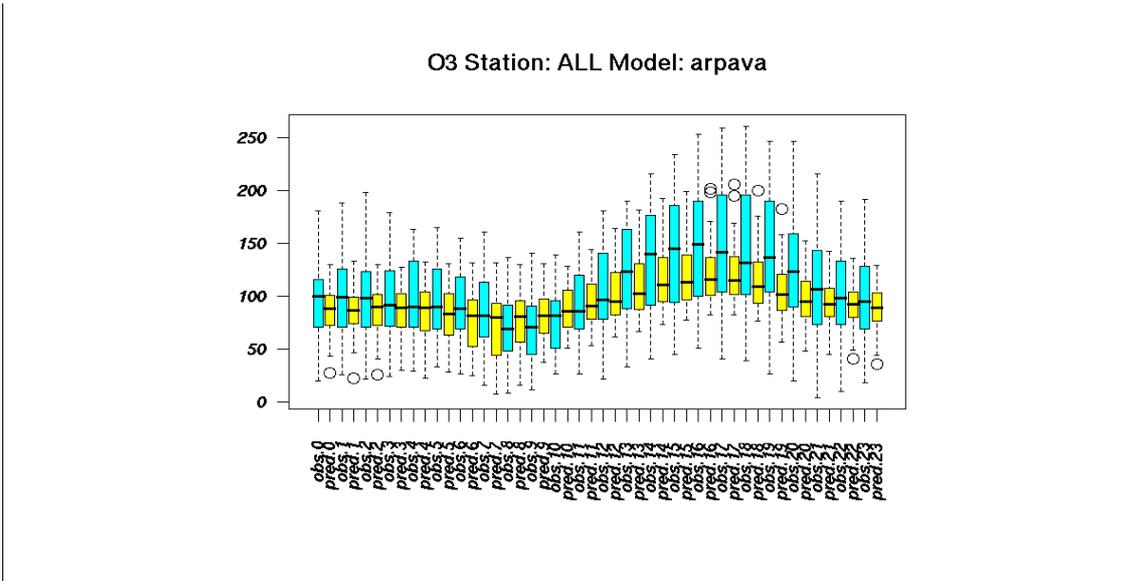
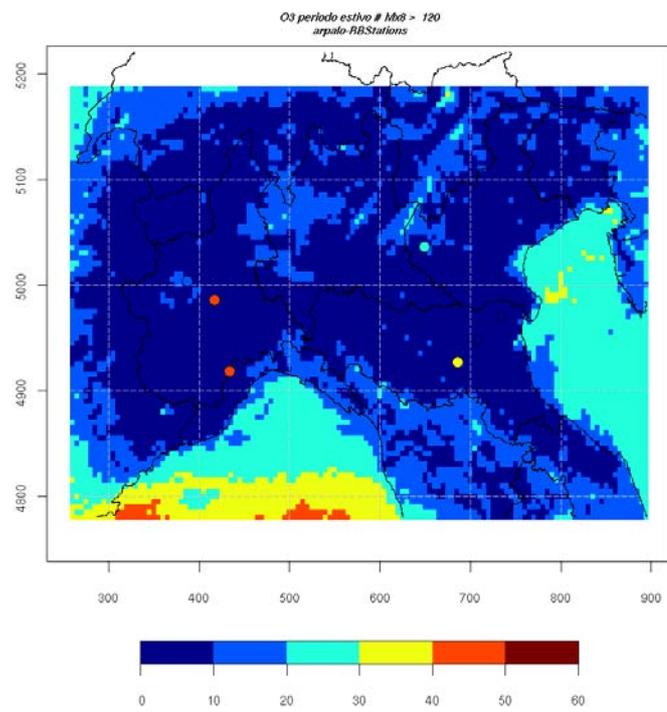
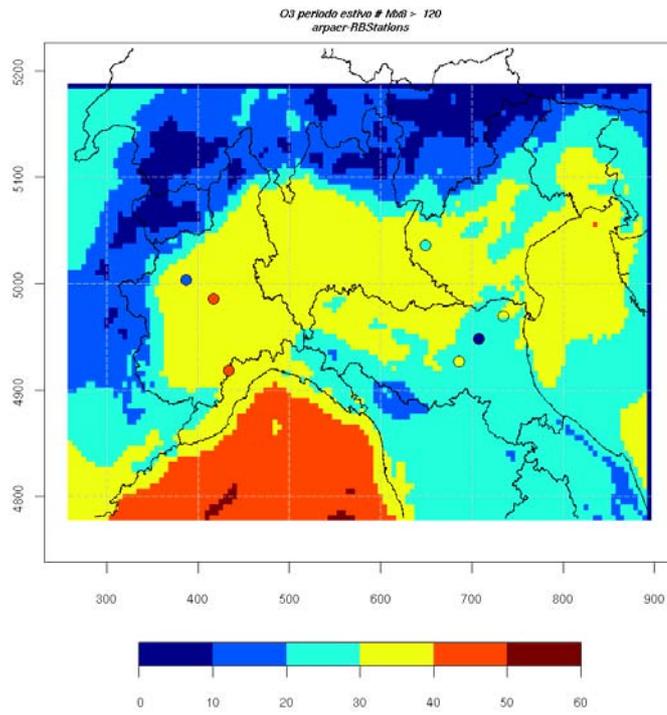


Figura 5. Ozono periodo estivo: boxplot condizionati all'ora del giorno, stazioni SB.



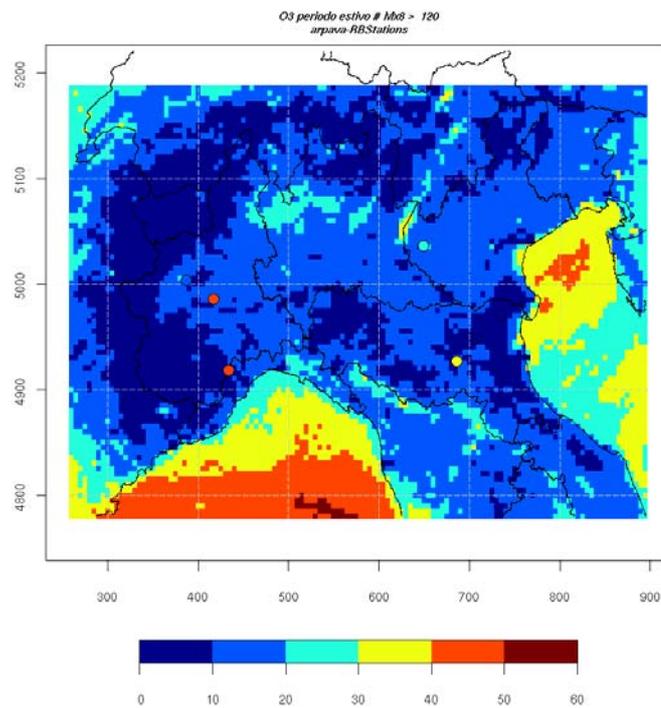
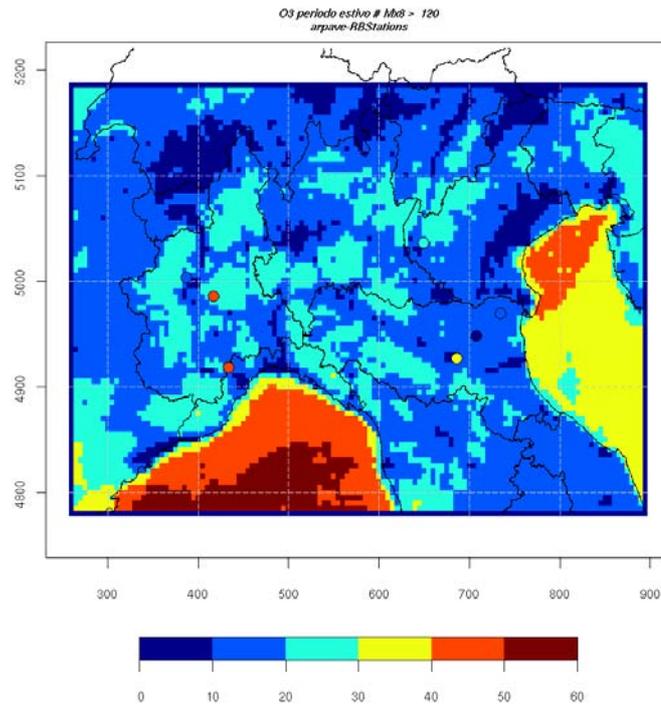
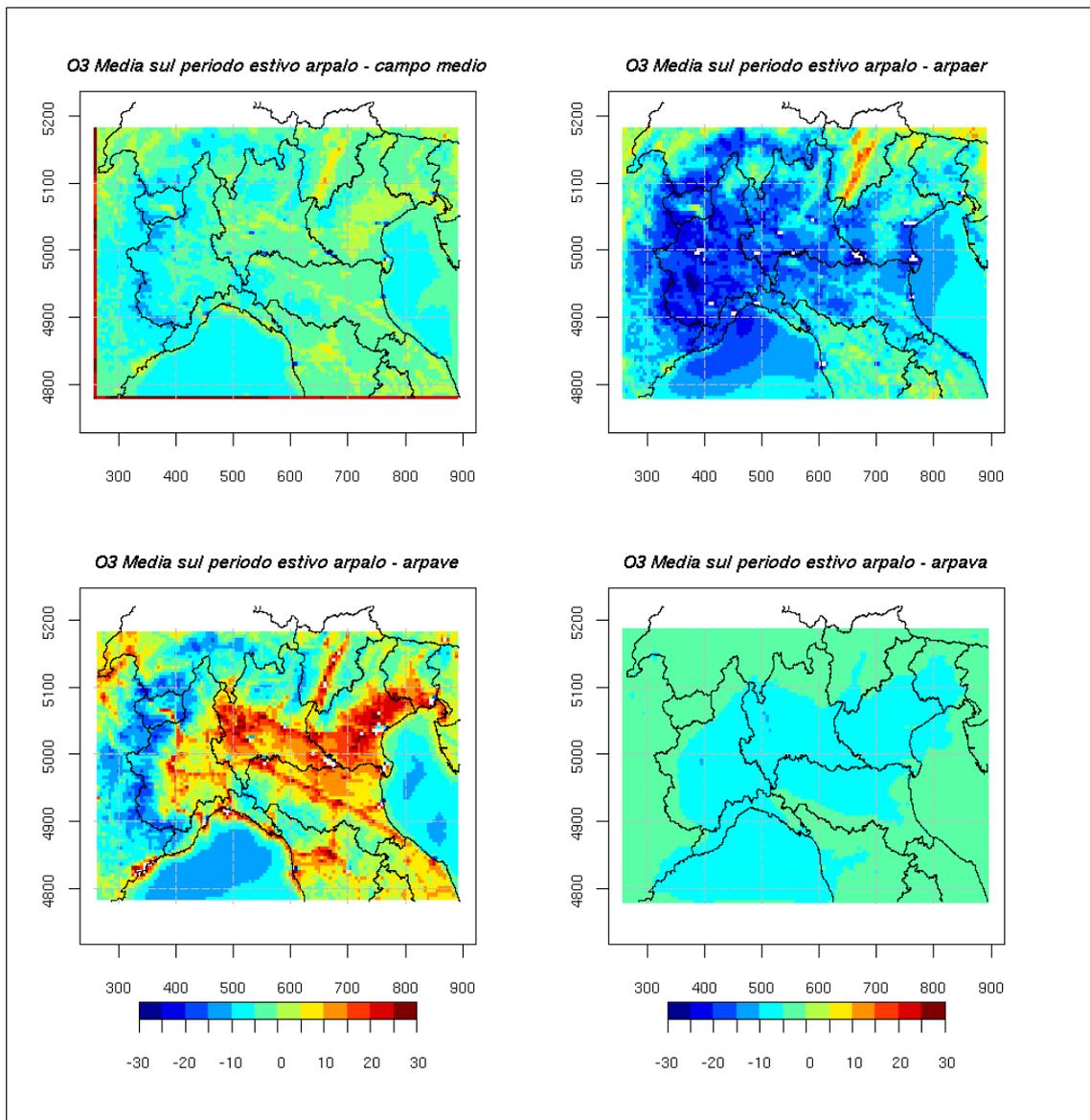
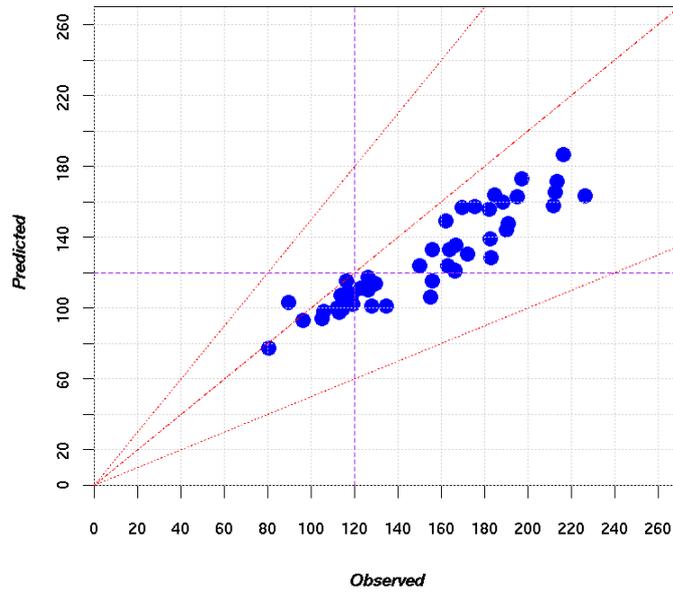


Figura 6. Ozono campi medi di superamento del valore bersaglio nel periodo estivo con osservazioni relative alle stazioni RB.

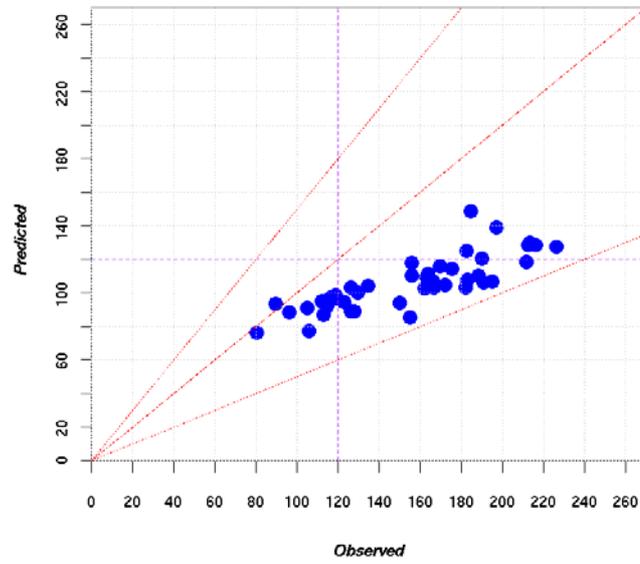


*Figura 7. Ozono campi medi di concentrazione al suolo sul periodo estivi, differenze tra i modelli facendo riferimento ad arpalo.*

EMR00123 arpaer 03 - Massima media su otto ore



EMR00123 arpalo 03 - Massima media su otto ore



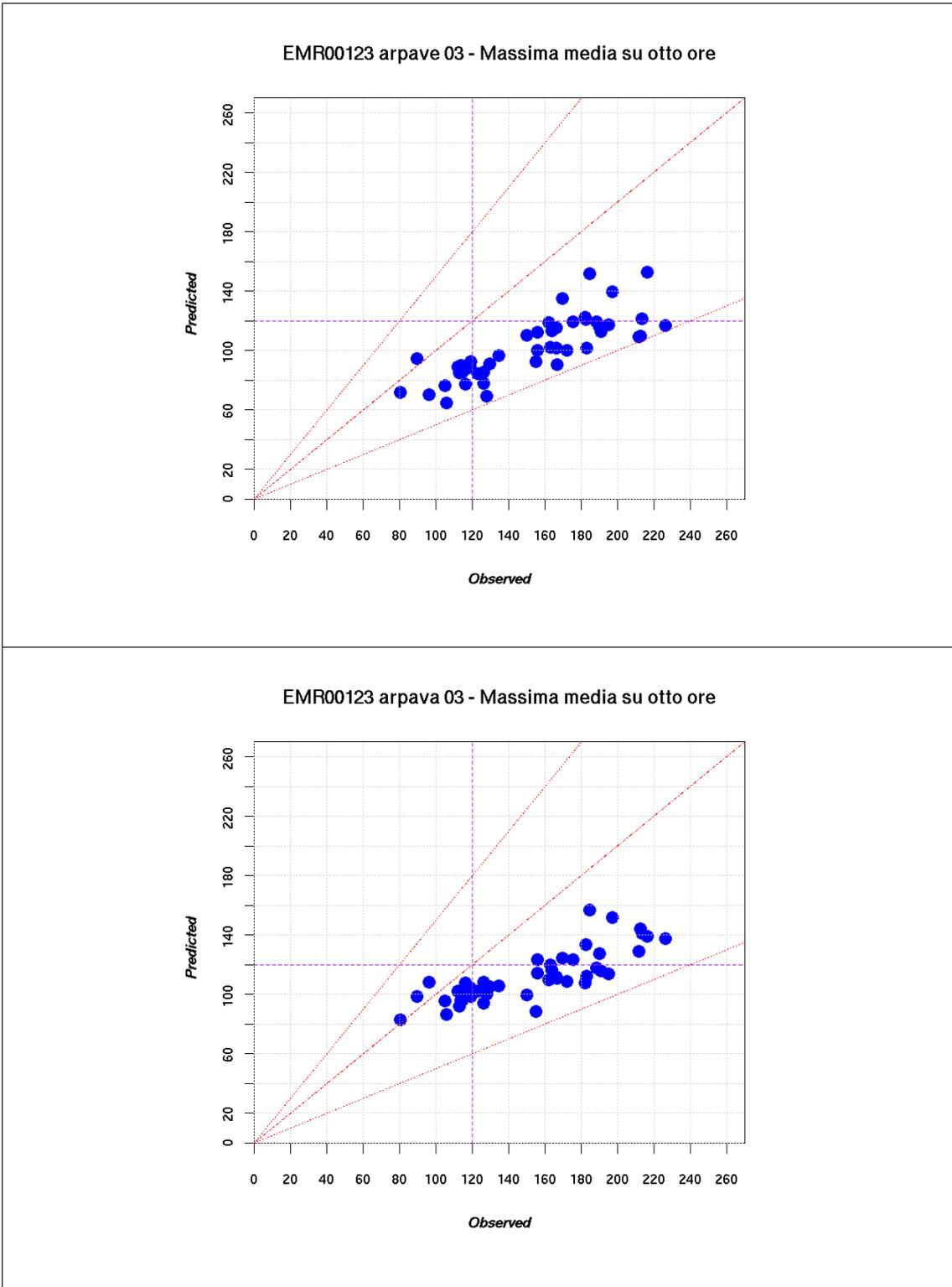


Figura 8. Ozono-periodo estivo: scatter-plot osservato simulato, stazione EMR00123 (RB), massima media mobile su otto ore giornaliera.

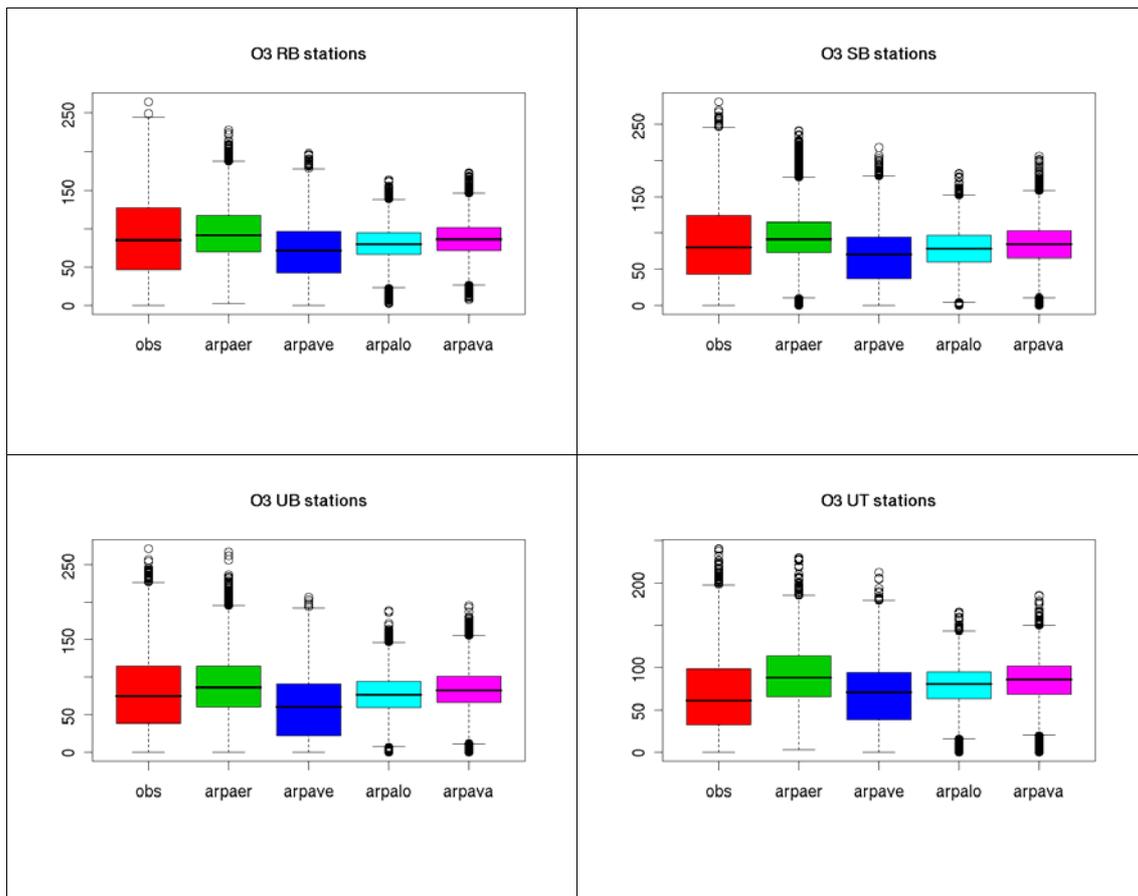
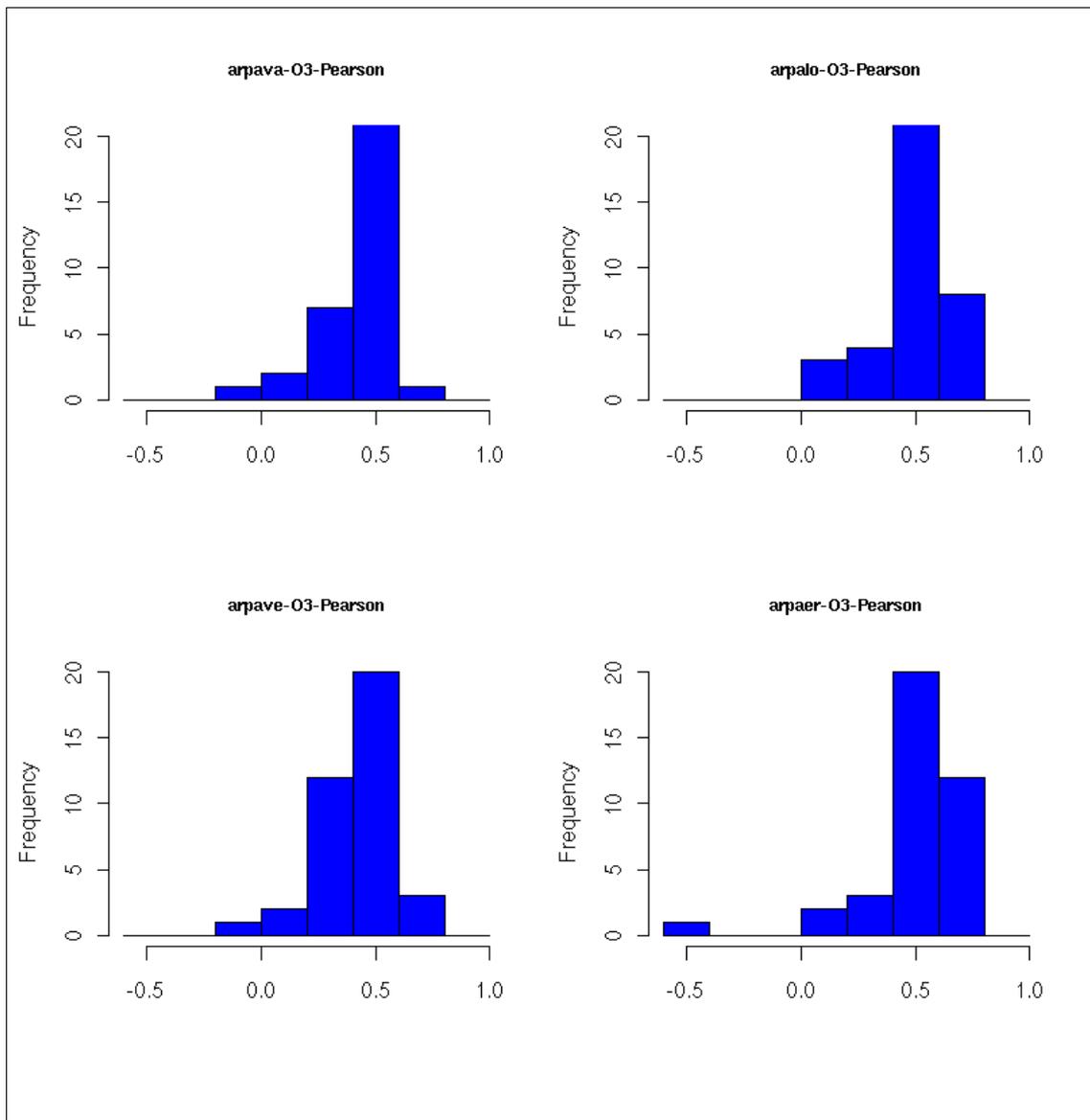
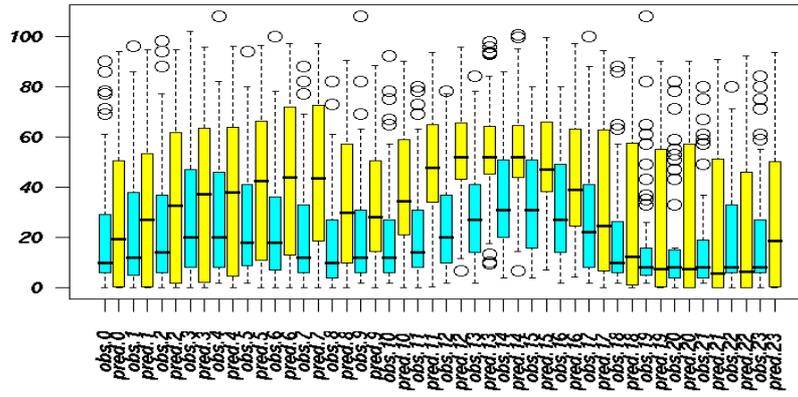


Figura 9. Ozono: Boxplot delle distribuzioni di concentrazione osservate e simulate su tutto il periodo invernale dai quattro sistemi modellistici sulle stazioni raggruppate per tipologica.

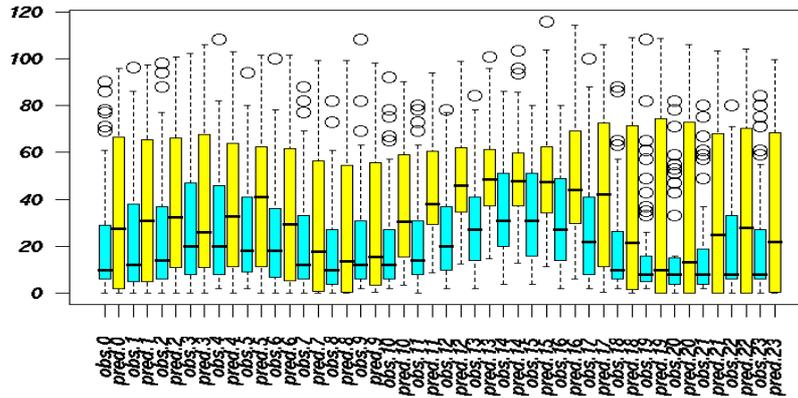


*Figura 10. Ozono-periodo invernale: distribuzione di frequenza per ogni modello dei valori assunti dal coefficiente di correlazione di Pearson su tutte le stazioni.*

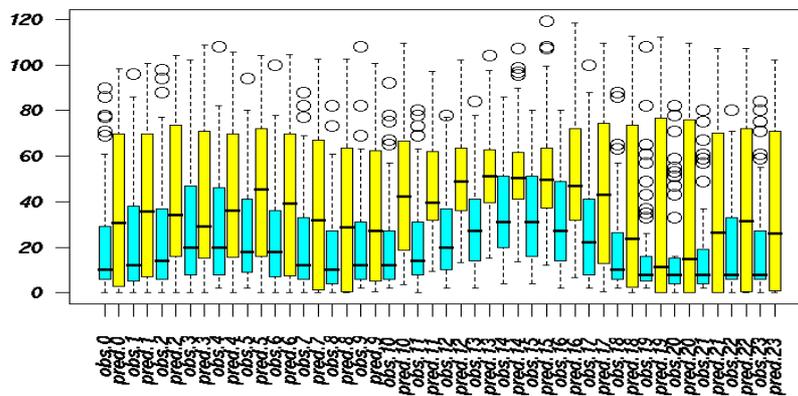
O3 Station: ALL Model: arpaer



O3 Station: ALL Model: arpalo



O3 Station: ALL Model: arpava



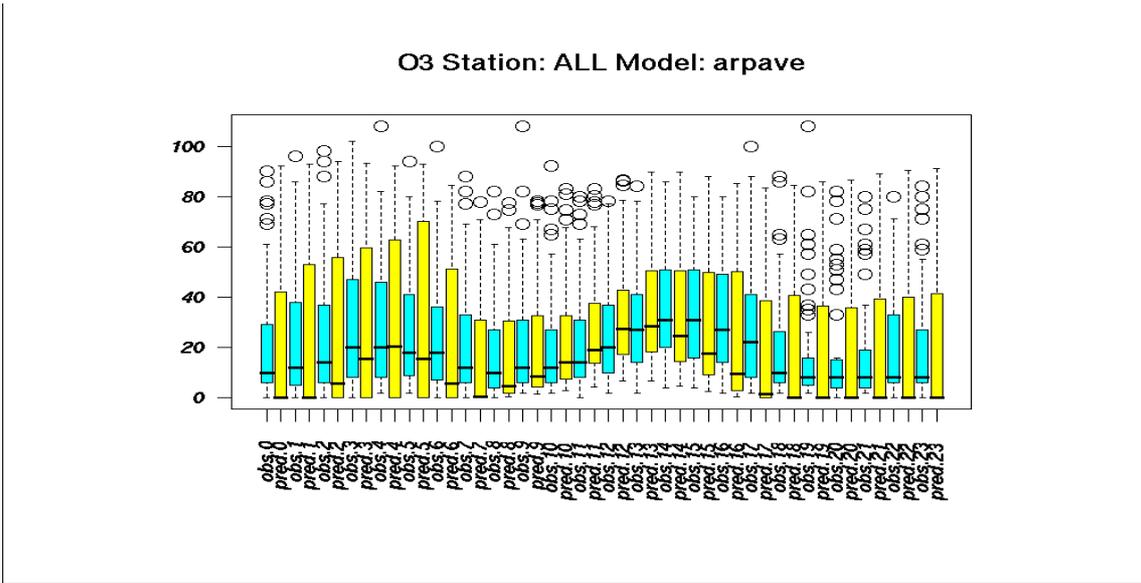


Figura 11. Ozono periodo invernale: boxplot condizionati all'ora del giorno, stazioni SB.

## **Risultati scenari**

Scenari,  $PM_{10}$

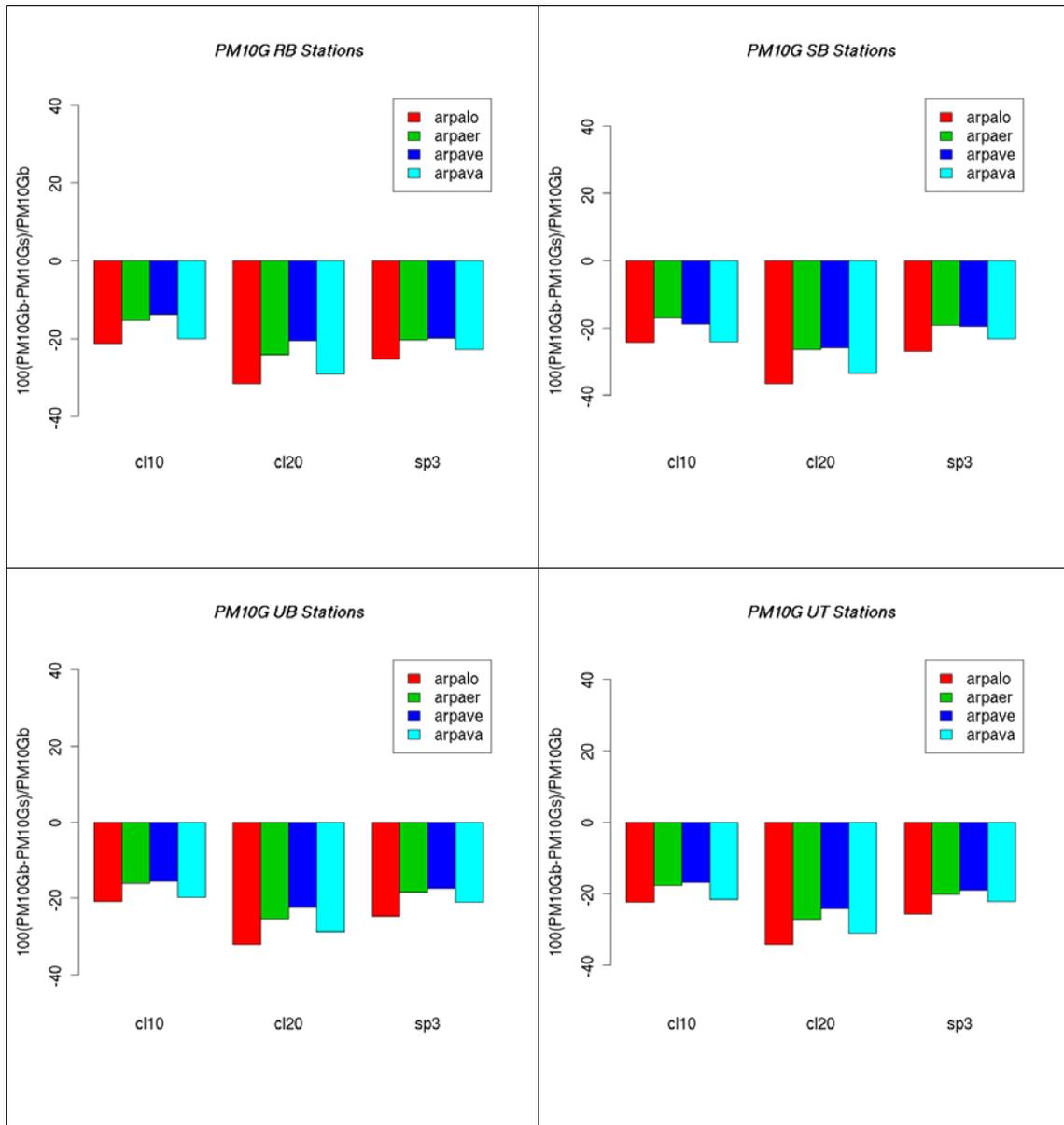


Figura 1.  $PM_{10}$  Variazioni percentuali sulle concentrazioni medie nel periodo invernale rispetto al caso base (*cl10*: CLE2010, *cl20*: CLE2020, *sp3*: terzo scenario proposto).

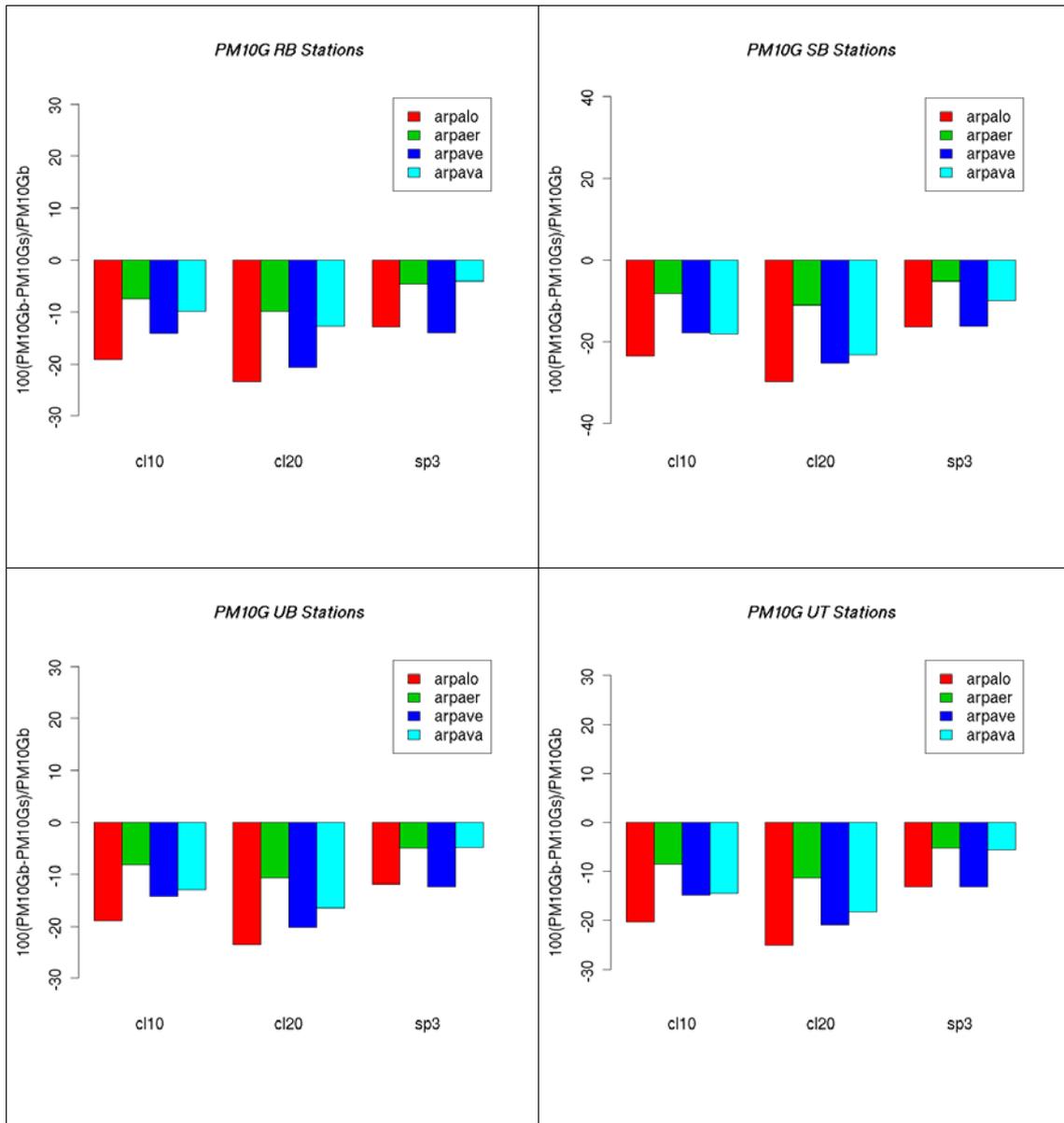


Figura 2.  $PM_{10}$  Variazioni percentuali sulle concentrazioni medie nel periodo estivo rispetto al caso base (cl10: CLE2010, cl20: CLE2020, sp3: terzo scenario proposto).

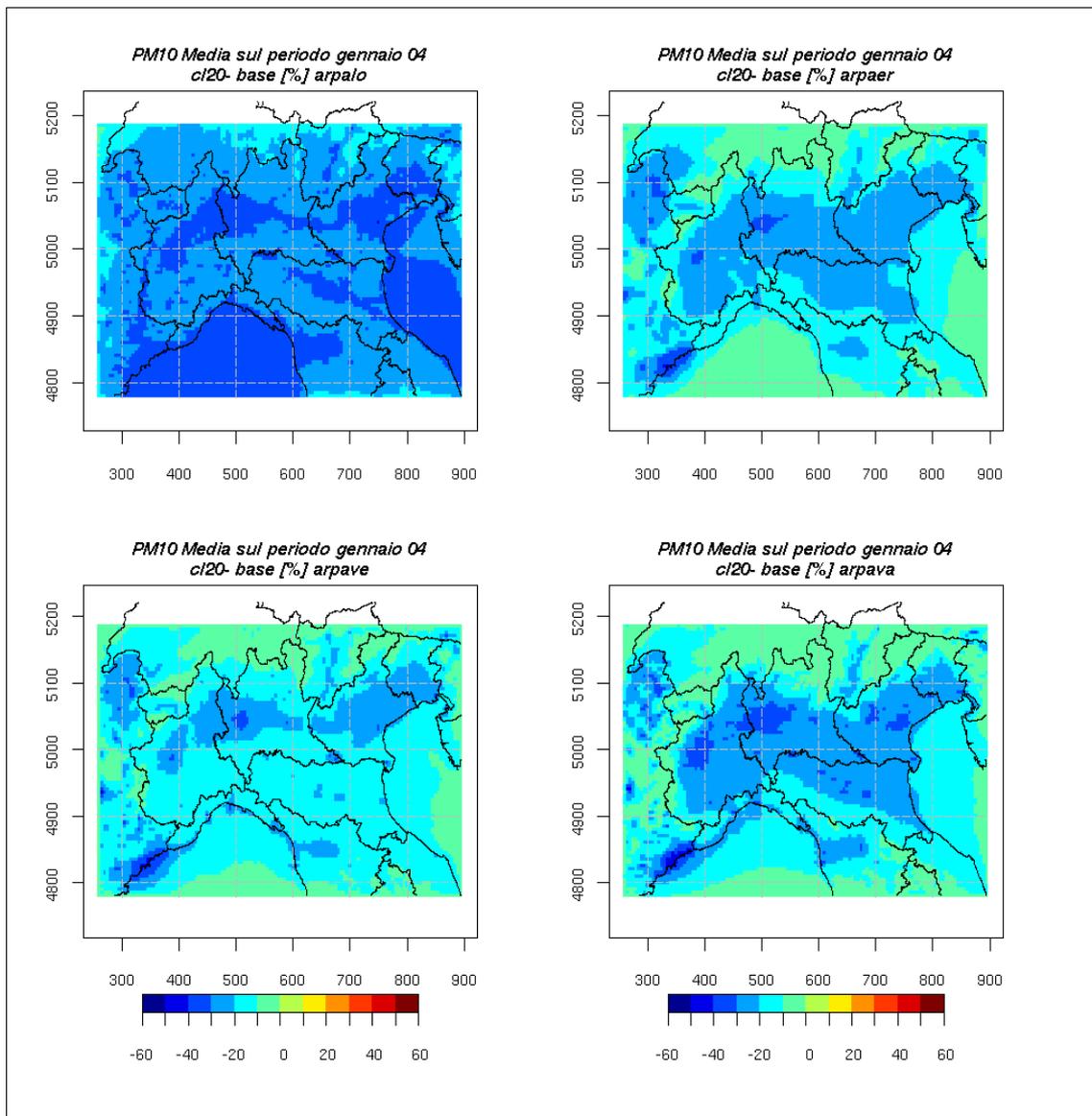


Figura 3.  $PM_{10}$  mappa di variazione percentuale sulle concentrazioni medie nel periodo invernale rispetto al caso base per lo scenario CLE2020.

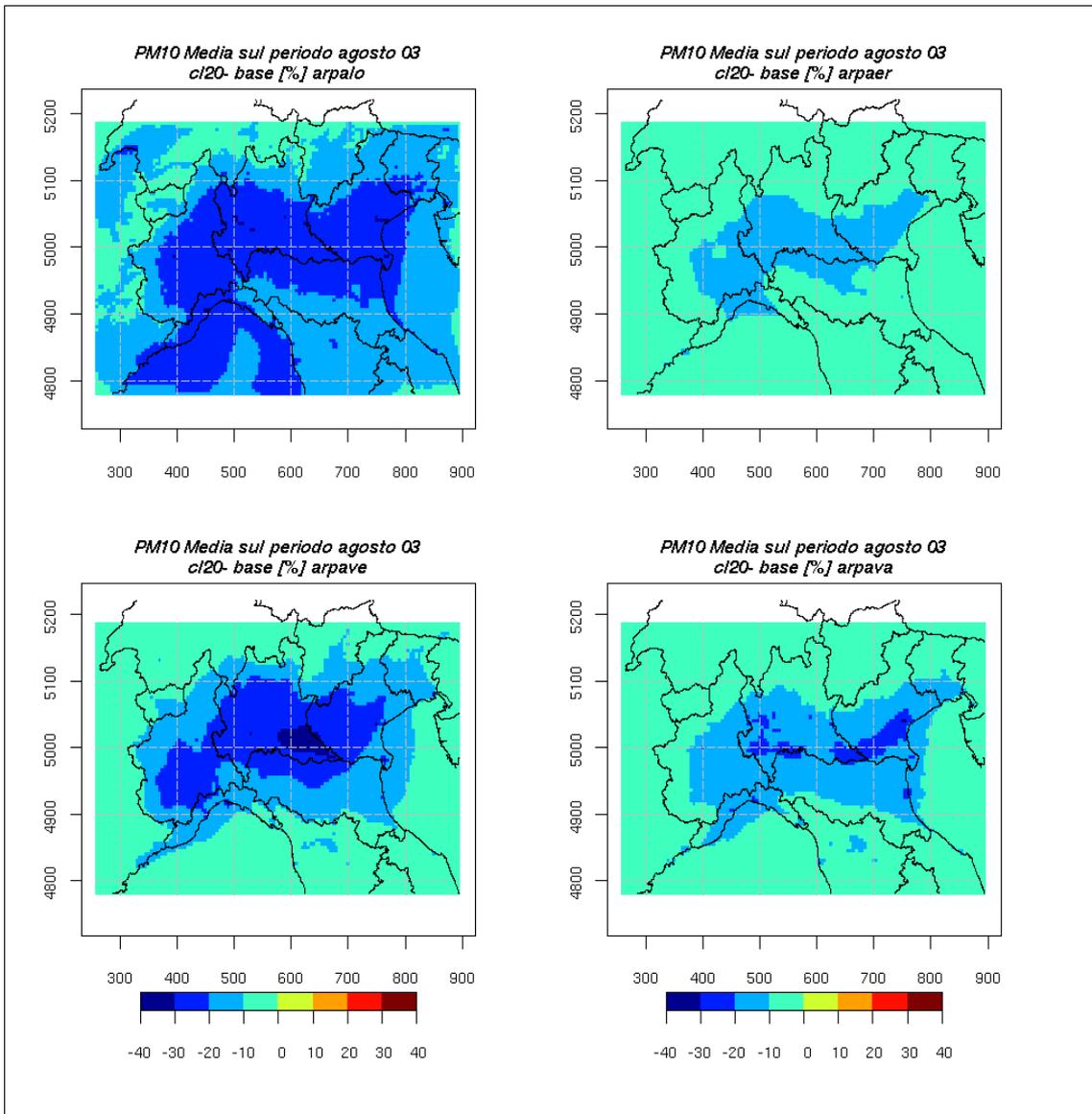


Figura 4.  $PM_{10}$  mappa di variazione percentuale sulle concentrazioni medie nel periodo estivo rispetto al caso base per lo scenario CLE2020.

## Scenari, NO<sub>2</sub>

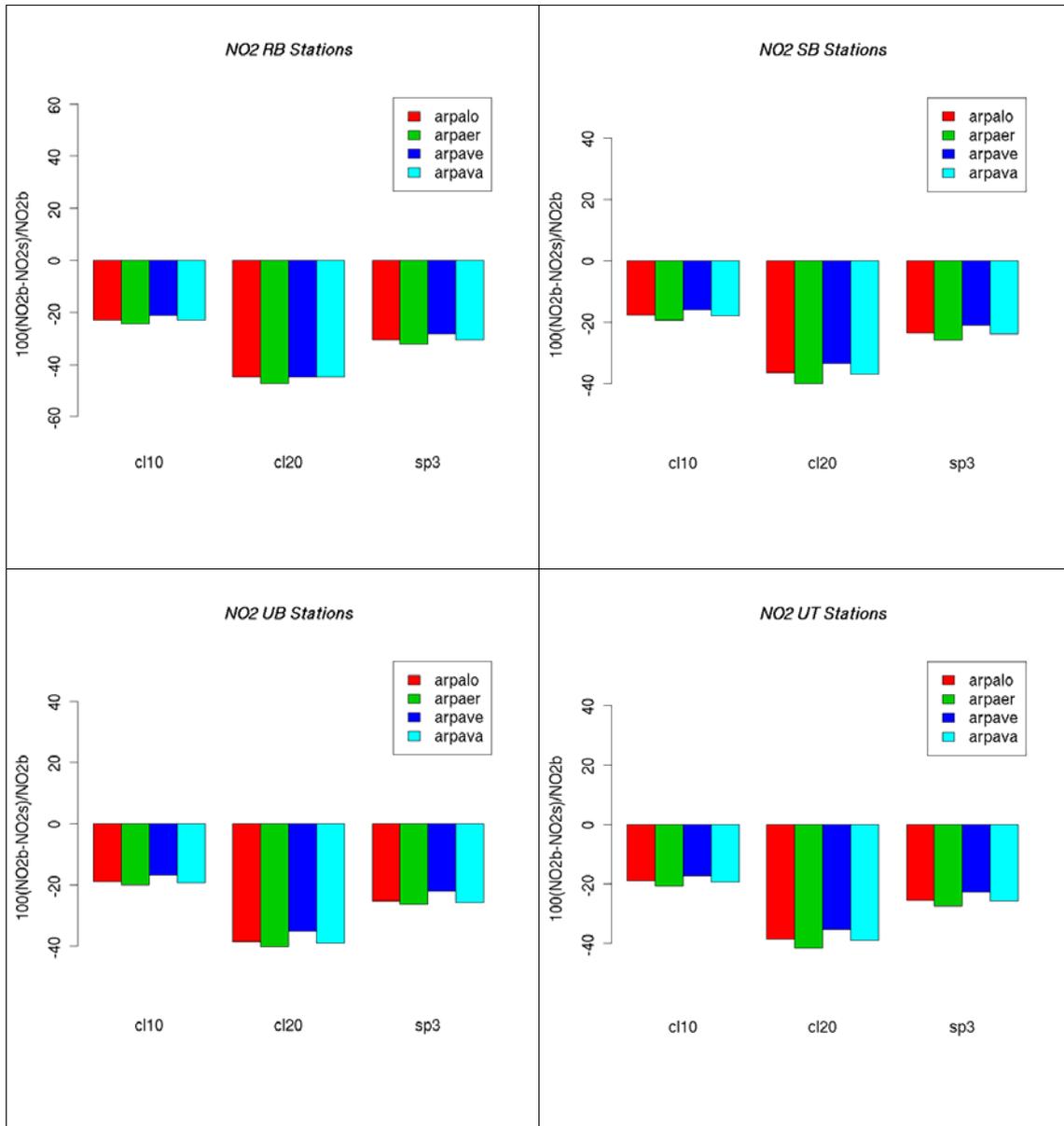


Figura 5. NO<sub>2</sub> Variazioni percentuali sulle concentrazioni medie nel periodo invernale rispetto al caso base (cl10: CLE2010, cl20: CLE2020, sp3: terzo scenario proposto).

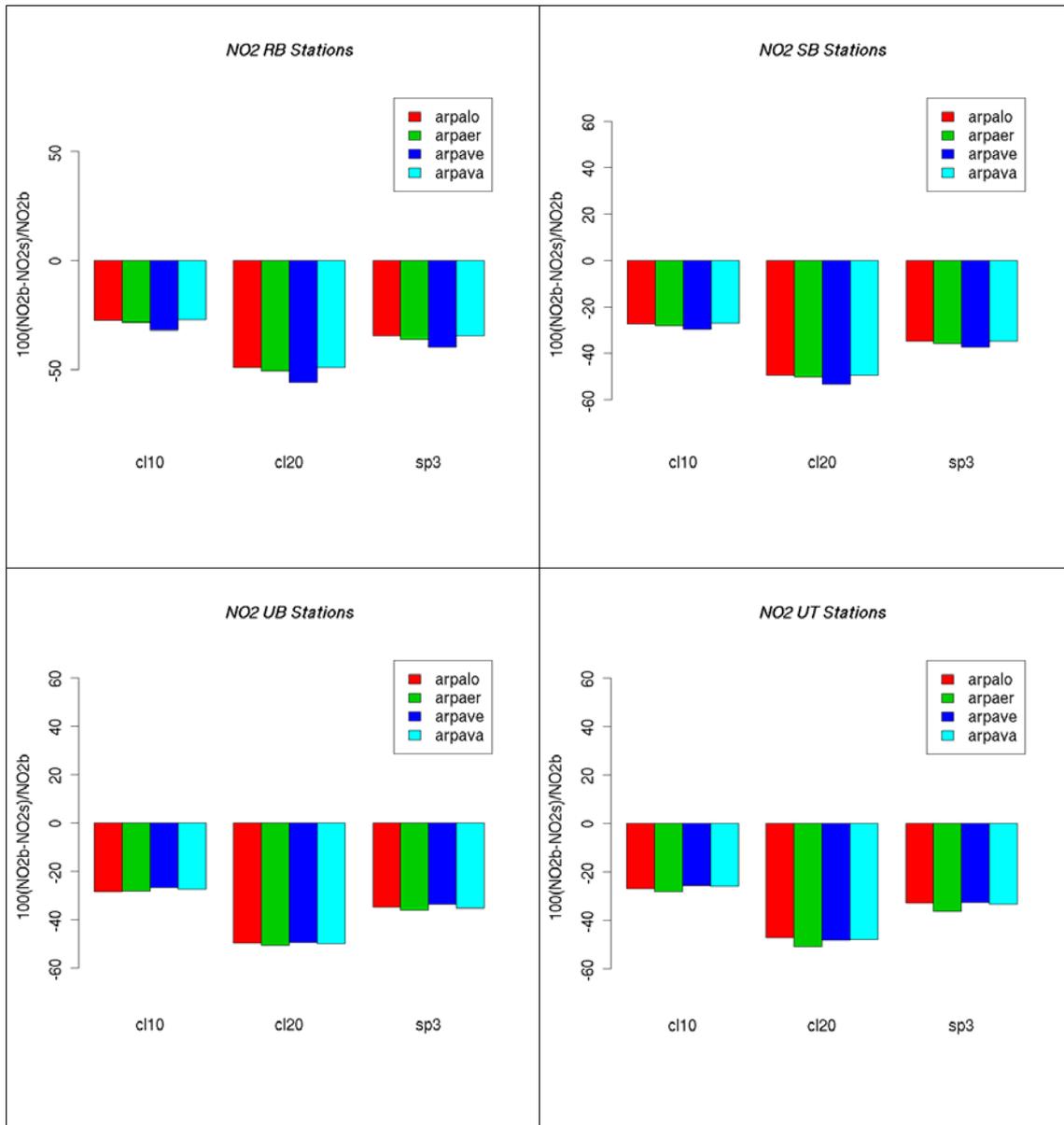


Figura 6. NO<sub>2</sub> Variazioni percentuali sulle concentrazioni medie nel periodo estivo rispetto al caso base (cl10: CLE2010, cl20: CLE2020, sp3: terzo scenario proposto).

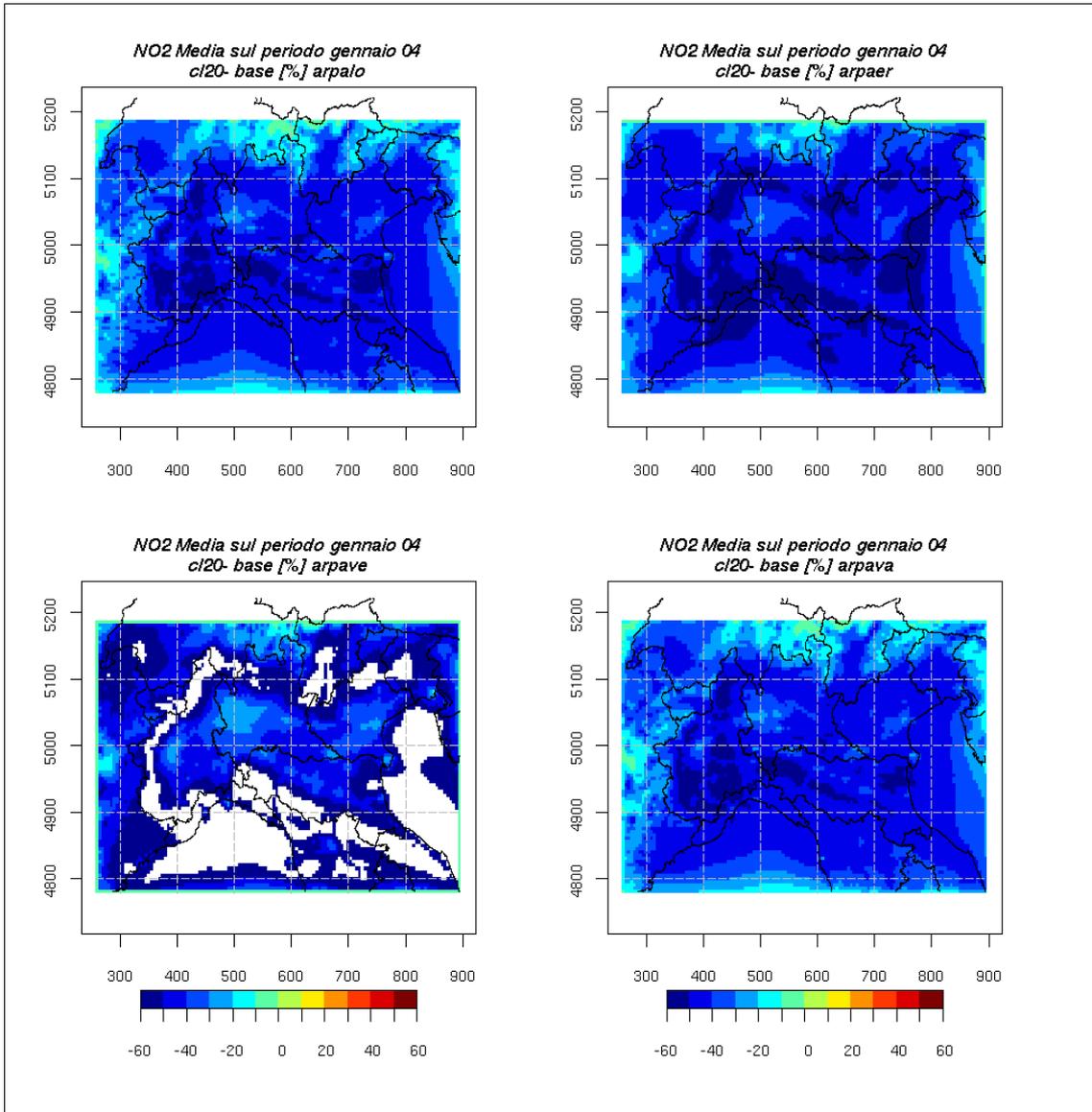


Figura 7. NO<sub>2</sub> mappa di variazione percentuale sulle concentrazioni medie nel periodo invernale rispetto al caso base per lo scenario CLE2020.

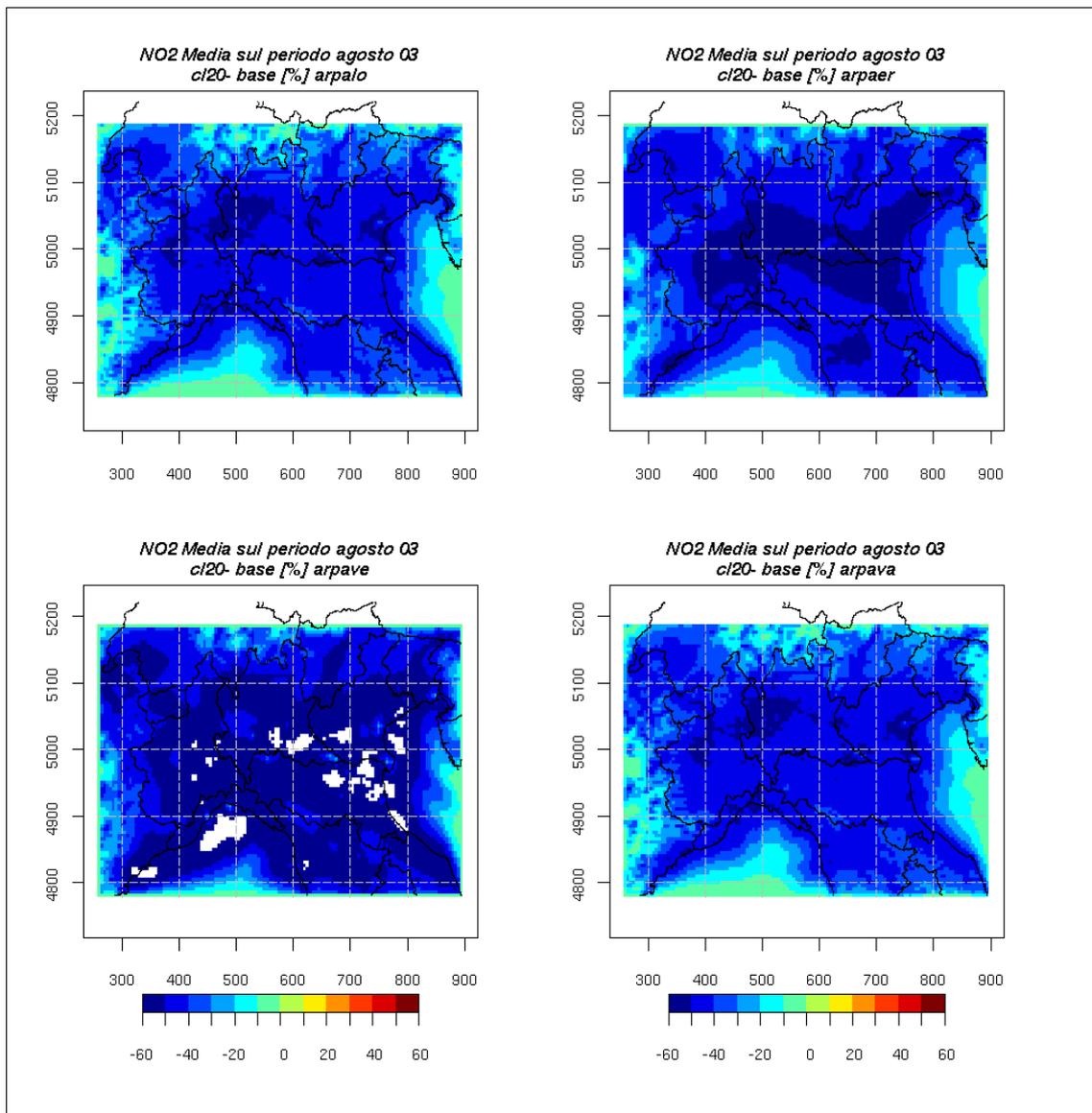


Figura 8. NO<sub>2</sub> mappa di variazione percentuale sulle concentrazioni medie nel periodo estivo rispetto al caso base per lo scenario CLE2020.

Scenari, O<sub>3</sub>

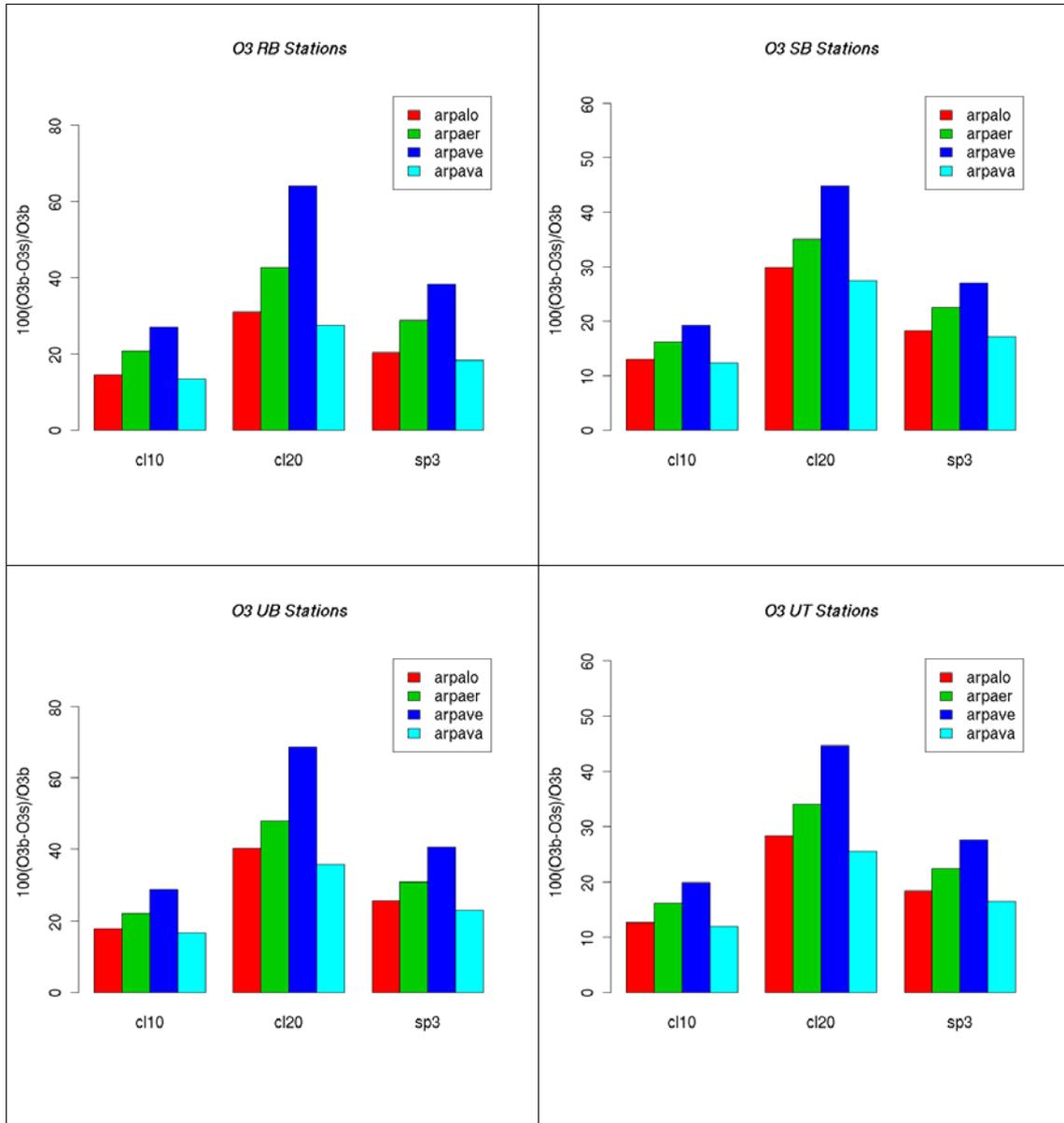


Figura 9. O<sub>3</sub> Variazioni percentuali sulle concentrazioni medie nel periodo invernale rispetto al caso base (cl10: CLE2010, cl20: CLE2020, sp3: terzo scenario proposto).

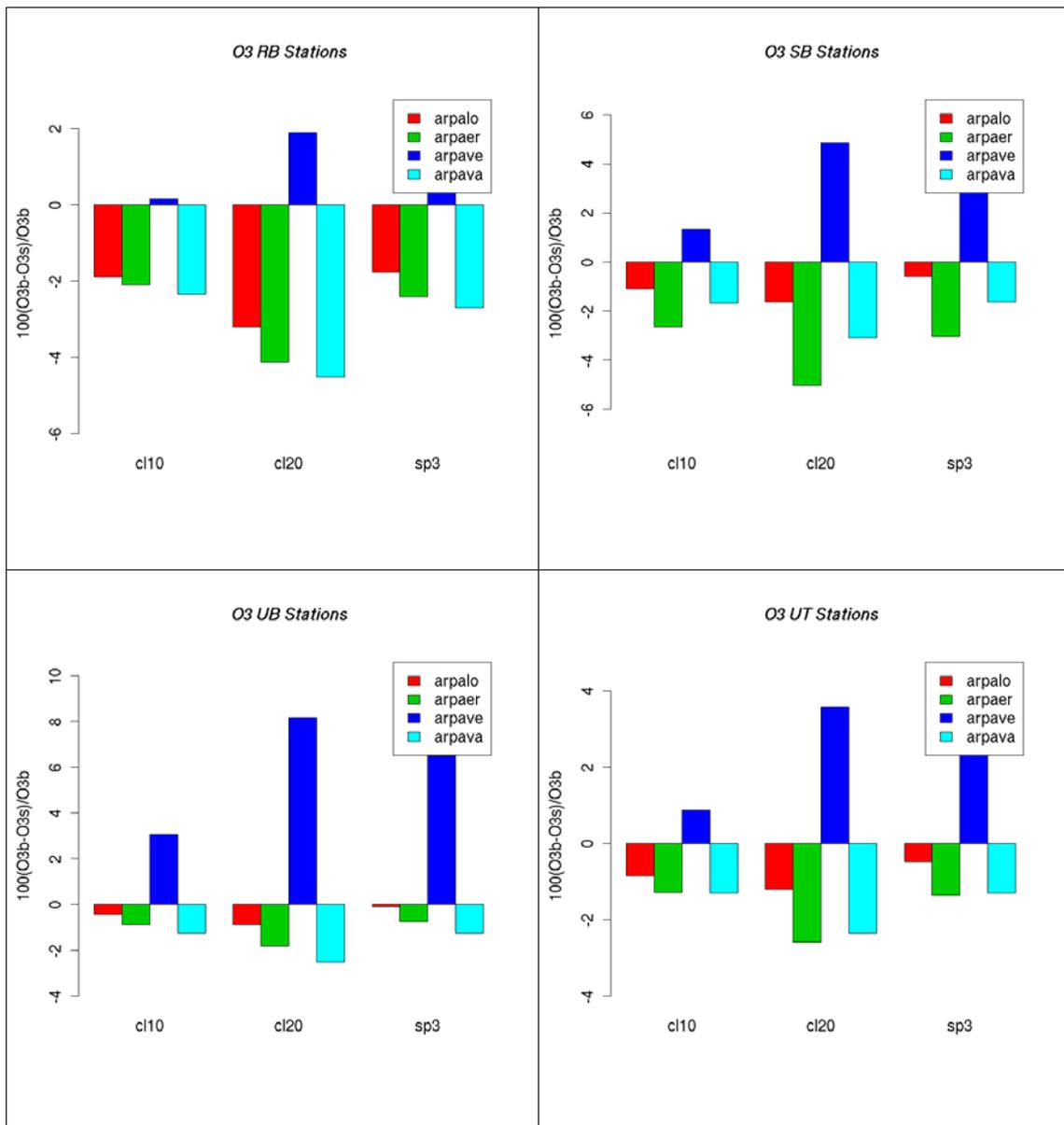


Figura 10. O<sub>3</sub> Variazioni percentuali sulle concentrazioni medie nel periodo estivo rispetto al caso base (cl10: CLE2010, cl20: CLE2020, sp3: terzo scenario proposto).

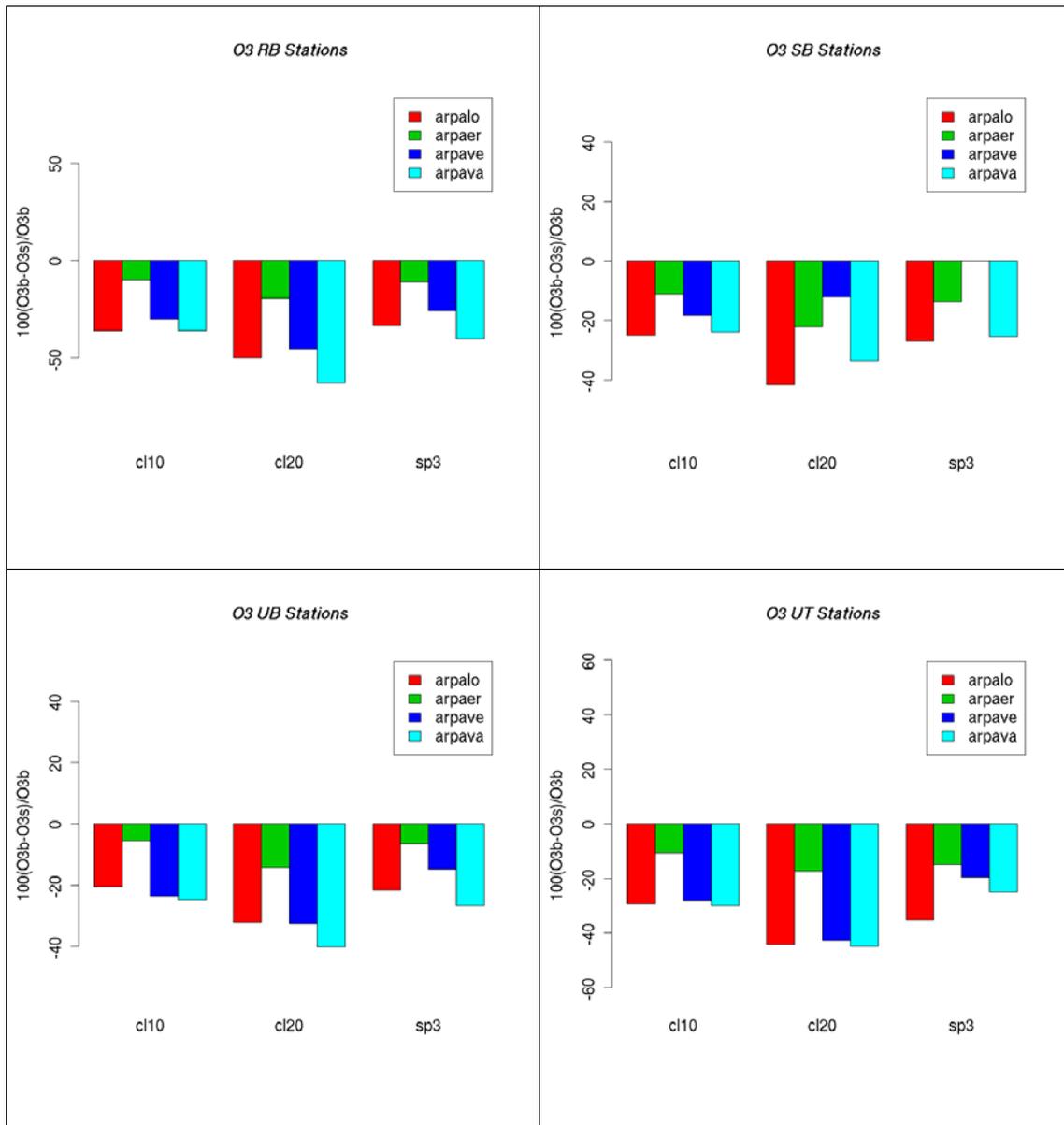


Figura 11. O<sub>3</sub> Variazioni percentuali del numero di superamenti del valore beraglio per la protezione della salute umana rispetto al caso base per il periodo estivo (cl10: CLE2010, cl20: CLE2020, sp3: terzo scenario proposto).

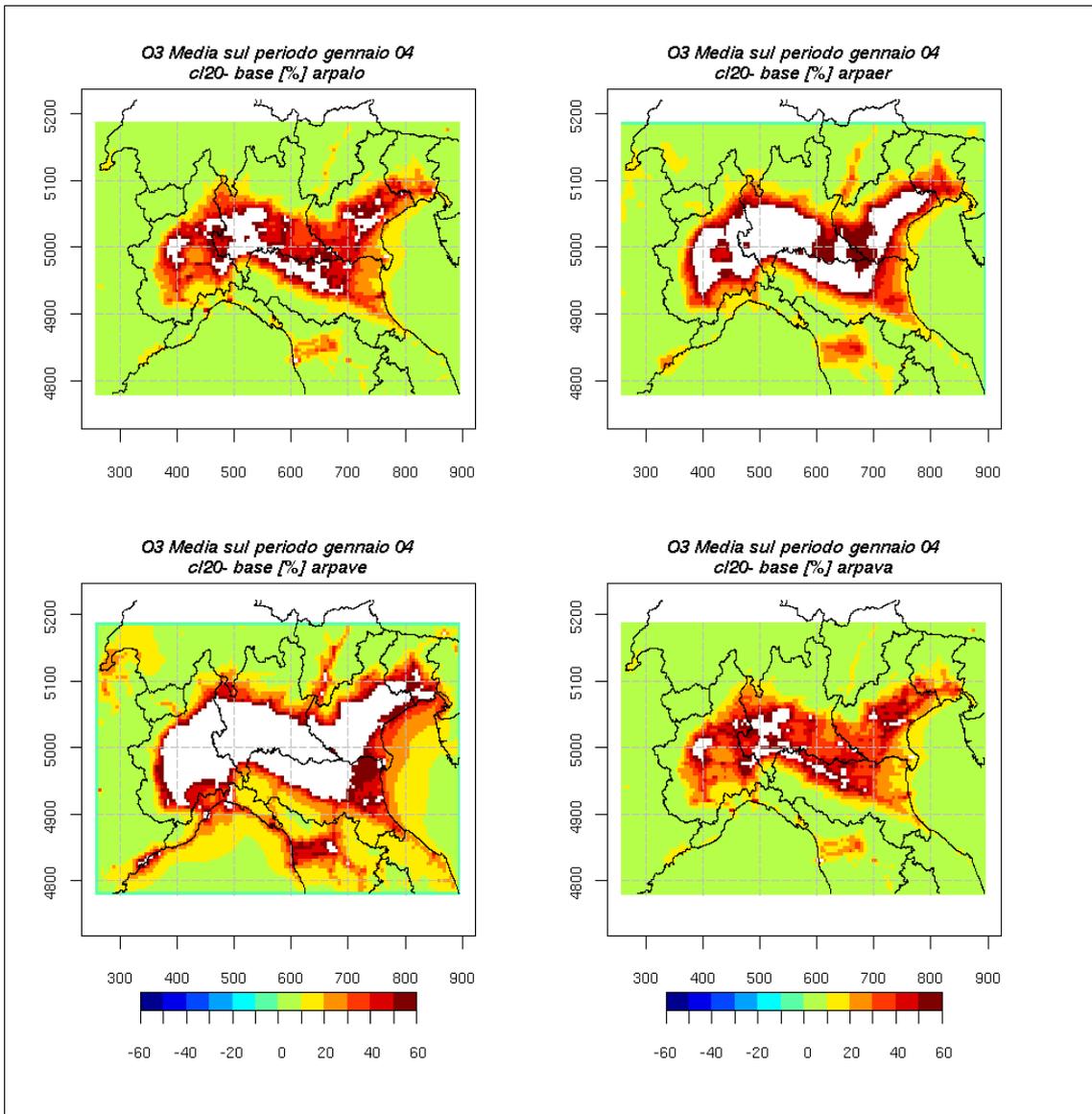


Figura 12. O<sub>3</sub> mappa variazione percentuale sulle concentrazioni medie nel periodo invernale rispetto al caso base per lo scenario CLE2020.

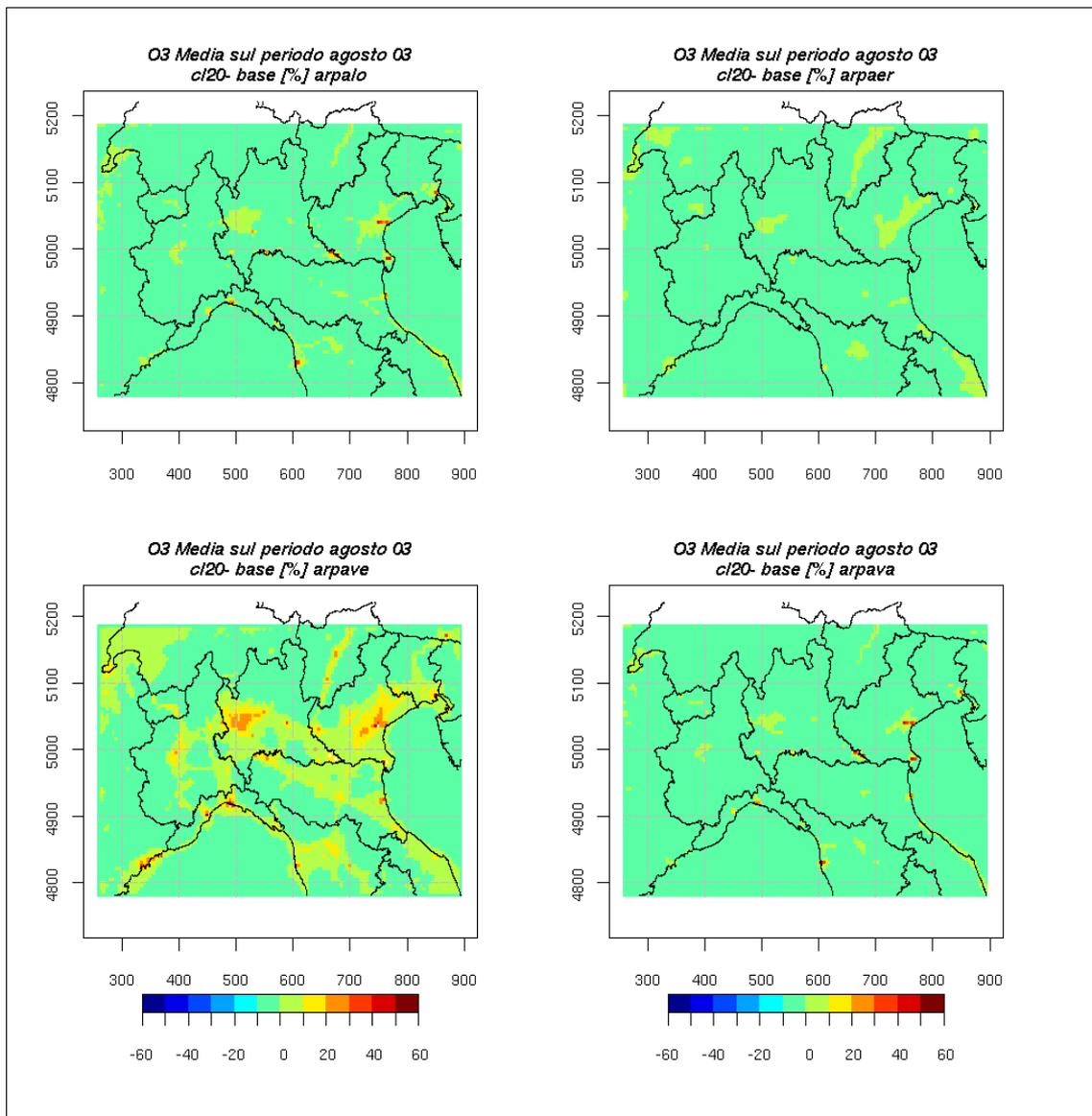


Figura 13. O<sub>3</sub> mappa variazione percentuale sulle concentrazioni medie nel periodo estivo rispetto al caso base per lo scenario CLE2020.

## ALLEGATO 1: IL FORMATO DI SCAMBIO DATI

### Tracciato record dei files per il confronto con i dati delle stazioni di qualità dell'aria.

Un file per ogni stazione presente nel file di anagrafica predisposto nel corso delle passate attività del **WP02.3 della Tk 09.01.04 (area BPA)** contenente i valori di concentrazione al suolo per tutti gli inquinanti considerati (PM<sub>10</sub>, NO<sub>2</sub>, NO, O<sub>3</sub>), sull'intero periodo selezionato con cadenza oraria, ed estratti sulle coordinate della stazione di qualità dell'aria a cui il file stesso si riferisce.

Il nome del file è formato da un codice di sei caratteri identificativo del modello e dal codice identificativo della stazione riportato nel sopraccitato file di anagrafica (campo di otto caratteri); i due campi devono essere separati da “\_”. Il suffisso del file deve essere “.csv”. Ad esempio il file “**XXXXXX\_CCCCCC.csv**” riporta i valori di concentrazioni simulati sulla stazione CCCCCC dal modello XXX.. Il codice XXXXXX vale:

- **arpava** per l'ARPA Valle d'Aosta
- **arpalo** per la ARPA Lombardia
- **arpave** per l' ARPA Veneto
- **arpaer** per l'ARPA Emilia Romagna

Il formato di scrittura del file è ASCII con i campi separati da virgole. Il tracciato record è:

***gg,mm,aaaa,hh,,PM10,NO2,NO,O3***

con:

- ***gg*** : giorno (carattere su 2 cifre)
- ***mm***: mese ( carattere su 2 cifre)
- ***aaaa*** anno (carattere su 4 cifre)
- ***hh***: ora (carattere su due cifre)
- ***PM10***: valore concentrazione (in µg/m<sup>3</sup>) di PM10 (REAL o INTEGER)
- ***NO2*** : valore concentrazione (in µg/m<sup>3</sup>) di biossido di azoto. (REAL o INTEGER)
- ***NO*** : valore concentrazione (in µg/m<sup>3</sup>) di monossido di azoto (REAL o INTEGER)
- ***O3***: valore concentrazione (in µg/m<sup>3</sup>) di ozono (REAL o INTEGER)

Il codice di dato mancante è: -999.

Ogni file deve contenere una riga di intestazione in cui sono riportati i nomi dei campi.

Non vi devono essere righe mancanti, ovvero vi deve essere ogni riga per ogni ora di ogni giorno del periodo.

Le ore devono essere espresse in ora solare locale e vanno dalle 0 alle 23.

Il controllo di qualità del dato è a cura dell'Ente fornitore.

## Tracciato record dei files per il confronto fra i campi prodotti dai modelli.

I files con i campi (bidimensionali e/o tridimensionali) di concentrazione devono essere in formato NetCDF. Il formato NetCDF è un formato (binario) condiviso ed universalmente adottato per lo scambio di dati in ambito modellistico, maggiori informazioni sono reperibili ai seguenti indirizzi: <http://my.unidata.ucar.edu/content/software/netcdf/index.html> (home page) <http://my.unidata.ucar.edu/content/software/netcdf/docs/index.html> (documentazione).

I files dovranno essere scritti in formato NetCDF utilizzando la convenzione COARDS (la più generica e diffusa, maggiori informazioni sulle caratteristiche di tale convenzione sono reperibili al seguente indirizzo: [http://ferret.wrc.noaa.gov/noaa\\_coop/coop\\_cdf\\_profile.html](http://ferret.wrc.noaa.gov/noaa_coop/coop_cdf_profile.html)).

Ciascun file NetCDF dovrà contenere *obbligatoriamente* i seguenti campi (nell'ordine in cui vengono di seguito descritti) con il nome indicato in grassetto:

- **x**: la coordinata longitudinale (tipo float), [utm, unità di misura: km]
- **y**: la coordinata lungo la latitudine (tipo float), [utm, unità di misura: km]
- **z**: la coordinata verticale (tipo float), [unità di misura: metri]
- **time** per il tempo (tip double). Il tempo è la coordinata *unlimited* ed è espresso in ore a partire dalle 00 del 01-01-0001.

Il file dovrà inoltre contenere una variabile per ogni inquinante (se le dimensioni del file risultassero eccessive è possibile creare un file per ogni inquinante). Le variabili relativi agli inquinanti sono di tipo float, il nome di ciascuna variabile relativa ad ogni inquinante è arbitrario (deve comunque permettere il riconoscimento in modo univoco dell'inquinante) ma la lunghezza della stringa che ne definisce il nome non deve essere più lunga di otto caratteri.

Il nome del file sarà formato dal codice XXXXXX identificativo del modello ovvero **XXXXXX.nc** se si tratta di dati orari sull'intero periodo. Se viene creato un file per ogni inquinante il nome del file dovrà contenere anche il nome dell'inquinante che riporta in coda al codice modello, ad esempio **XXXXXX\_PM10.nc** se vi è solo il PM10)

Se invece si tratta di aggregazioni su periodi temporali diversi (previsti dalla vigente normativa), il nome del file dovrà contenere in prima del codice modello il tipo di aggregazione effettuata: **AAA\_XXXXXX.nc**, dove AAA vale:

- Myy--> media annuale
- Mdd--> media giornaliera
- Mxd -> massimo giornaliero
- M8h -> media mobile su otto ore
- Mx8-> massima media mobile giornaliera su otto ore

Di seguito viene riportata la sezione informativa di un file NetCDF con esplicitati i campi descritti in precedenza (le dimensioni si riferiscono ad un domino più piccolo del bacino BPA con 12 livelli, il file è annuale con risoluzione temporale oraria)

```
netcdf XXXXXX.nc {
```

```

dimensions:
  x = 56 ;
  y = 72 ;
  z = 12 ;
  time = UNLIMITED ; // (8784 currently)
variables:
  float x(x) ;
    x:units = "km" ;
  float y(y) ;
    y:units = "km" ;
  float z(z) ;
    z:units = "m" ;
    z:ztop = 7526.426f ;
  double time(time) ;
    time:units = "hours since 1-1-1 00:00:0.0" ;
    time:delta_t = "0000-00-00 01:00:00.00 +00:00" ;
  float REL(time, y, x) ;
    REL:units = "m" ;
    REL:missing_value = -9.96921e+36f ;
    REL:actual_range = 0.f, 4046.426f ;
  float O3_Mhr(time, y, x) ;
    O3_Mhr:units = "" ;
    O3_Mhr:missing_value = -9.96921e+36f ;
    O3_Mhr:actual_range = 1.825627e-09f, 380.1245f ;

// global attributes:
  :Conventions = "COARDS" ;
  :lib_ver = 10101 ;
  :creation_time = "10 11 2005 H 17.37.44.044 (system local time) " ;
}

```

## ALLEGATO 2: ELENCO E CODIFICA DELLE STAZIONI

<i>nome</i>	<i>codice</i>	<i>provincia</i>	<i>Tipo</i>	<i>NO2</i>	<i>O3</i>	<i>PM10G</i>	<i>PM10A</i>	<i>Quota</i>	<i>utm_x</i>	<i>utm_y</i>	<i>periodo di disponibilità dati</i>
G.MARGHERITA	EMR00114	BO	UB	SI	SI	No	No	50	687,280	4928,346	01/01/03 - 30/04/04
S.FELICE	EMR00115	BO	UT	No	No	SI	No	50	685,105	4930,125	01/01/03 - 30/04/04
MONTE CUCCOLINO	EMR00123	BO	RB	SI	SI	No	SI	260	685,619	4926,740	01/01/03 - 30/04/04
SAN PIETRO CAPOFIUME	EMR00127	BO	RB	SI	SI	No	No	11	707,756	4948,225	01/01/03 - 30/04/04
PUBBLICO PASSEGGIO	EMR00213	PC	UB	SI	SI	SI	No	61	555,239	4988,304	01/01/03 - 30/04/04
CITTADELLA	EMR00303	PR	UB	SI	SI	SI	No	60	605,362	4961,044	01/01/03 - 30/04/04
S. LAZZARO	EMR00407	RE	SB	SI	SI	SI	No	58	631,916	4950,046	01/01/03 - 30/04/04
NONANTOLANA	EMR00505	MO	UT	No	No	SI	No	30	654,568	4946,782	01/01/03 - 30/04/04
PIAZZA 20 SETTEMBRE	EMR00515	MO	UB	SI	SI	No	SI	30	652,245	4944,890	01/01/03 - 30/04/04
MARECCHIA	EMR00602	RN	UB	SI	SI	SI	No	5	784,529	4885,242	01/01/03 - 30/04/04
ISONZO	EMR00702	FE	UT	No	No	SI	No	8	706,492	4968,776	01/01/03 - 30/04/04
BOLOGNA	EMR00705	FE	UT	SI	SI	No	No	9	706,350	4967,150	01/01/03 - 30/04/04
GHERARDI	EMR00707	FE	RB	SI	SI	No	SI	-2	734,038	4969,491	01/01/03 - 30/04/04
N. ROCCA BRANCALEONE	EMR00815	RA	UB	SI	SI	SI	No	4	755,194	4923,706	01/01/03 - 30/04/04
GIARDINI	EMR00901	FC	UB	SI	SI	SI	No	50	743,504	4900,393	01/01/03 - 30/04/04
BUFALINI	EMR00905	FC	UB	No	No	SI	No	44	759,505	4892,570	01/01/03 - 30/04/04
COSSATO	PIE64003	BI	UB	SI	SI	No	SI	273	436,689	5046,685	01/01/03 - 30/04/04
SALICETO	PIE22001	CN	RB	SI	SI	SI	No	390	433,807	4918,380	01/01/03 - 30/04/04
TORINO-Consolata	PIE13019	TO	UT	SI	No	SI	SI	210	396,043	4992,424	01/01/03 - 30/04/04
TORINO-Lingotto	PIE13021	TO	UB	SI	SI	No	No	220	393,640	4986,787	01/01/03 - 30/04/04
BORGARO	PIE13003	TO	SB	SI	SI	SI	No	257	394,606	5001,187	01/01/03 - 30/04/04
NOVARA-Bovio	PIE16002	NO	UB	SI	No	No	No	159	471,521	5033,083	01/01/03 - 30/04/04
OMEGNA	PIE16017	VCO	UT	SI	SI	No	No	295	454,080	5081,001	01/01/03 - 30/04/04
BUTTIGLIERA D'ASTI	PIE50001	AT	RB	SI	SI	SI	No	289	416,650	4985,650	01/01/03 - 30/04/04
ALBA	PIE22007	CN	UB	SI	SI	SI	No	172	423,481	4950,691	01/01/03 - 30/04/04
ACQUI TERME	PIE11011	AL	UB	SI	SI	No	No	156	457,361	4947,609	01/01/03 - 30/04/04
DRUENTO	PIE13009	TO	RB	SI	SI	SI	No	337	386,951	5003,683	01/01/03 - 30/04/04
BROLETTO	LOM301702	BS	UB	SI	SI	No	SI	149	595,495	5043,695	01/01/03 - 30/04/04
ERBA	LOM301307	CO	SB	SI	SI	No	SI	323	517,445	5073,135	01/01/03 - 30/04/04
COLICO	LOM301301	LC	SB	SI	SI	No	No	228	529,740	5109,475	01/01/03 - 30/04/04
VIA ARIOSTO	LOM302006	MN	UI	SI	No	No	SI	18	641,800	5000,690	01/01/03 - 30/04/04
JUVARA	LOM301518	MI	UB	SI	SI	No	SI	122	517,384	5035,561	01/01/03 - 30/04/04
FOLPERTI	LOM301801	PV	UT	SI	SI	No	No	77	512,960	5004,610	01/01/03 - 30/04/04
SONDRIO CENTRO	LOM301404	SO	UT	SI	No	No	SI	307	567,210	5113,100	01/01/03 - 30/04/04
MAGENTA VF	LOM301525	MI	UB	SI	SI	No	SI	138	491,600	5035,000	01/01/03 - 30/04/04
VIA MESSINA	LOM301541	MI	UB	SI	No	SI	No	122	513,610	5037,000	01/01/03 - 30/04/04
VIA VIDOLETTI	LOM301213	VA	SB	SI	SI	No	No	382	484,800	5075,965	01/01/03 - 30/04/04
CASON	VEN02305	VR	RB	SI	SI	No	No	91	649,501	5036,203	01/01/03 - 30/04/04
LEGNAGO	VEN02313	VR	UB	SI	SI	No	No	25	681,598	5006,040	01/01/03 - 30/04/04
VERONA	VEN02304	VR	UT	No	No	SI	No	62	653,588	5034,387	01/01/03 - 30/04/04
BASSANO	VEN02401	VI	UB	SI	SI	No	No	114	712,825	5071,213	01/01/03 - 30/04/04
SCHIO	VEN02404	VI	UB	SI	SI	SI	No	190	684,356	5060,145	01/01/03 - 30/04/04
BELLUNO	VEN02501	BL	UT	SI	SI	SI	No	401	748,237	5115,248	01/01/03 - 30/04/04
CONEGLIANO	VEN02604	TV	UB	SI	SI	SI	No	72	756,663	5087,306	01/01/03 - 30/04/04
CASTELFRANCO	VEN02610	TV	RB	No	No	SI	No	51	729,665	5065,045	01/01/03 - 30/04/04
MESTRE	VEN02710	VE	UT	SI	SI	SI	No	1	754,880	5043,676	01/01/03 - 30/04/04
MONSELICE	VEN02803	PD	SI	SI	SI	No	No	10	715,980	5014,533	01/01/03 - 30/04/04
PD-MANDRIA	VEN02808	PD	UB	SI	SI	SI	No	13	722,544	5028,294	01/01/03 - 30/04/04
RO-BORSEA	VEN02902	RO	UB	No	No	SI	No	3	719,840	4991,246	01/01/03 - 30/04/04
CASTELNUOVO BARIANO	VEN02906	RO	SB	No	No	SI	No	12	680,576	4988,932	01/01/03 - 30/04/04
ADRIA	VEN02903	RO	UB	SI	SI	No	No	4	741,143	4992,789	01/01/03 - 30/04/04