

Verifica delle previsioni di qualità dell'aria

Relazione tecnica – dicembre 2020

Giovanni Bonafè
Centro Regionale di Modellistica Ambientale
giovanni.bonafe@arpa.fvg.it

22 dicembre 2020

Indice

1	Metodi e strumenti	4
1.1	Catena modellistica	4
1.2	Indicatori di qualità	5
2	Risultati	6
2.1	Discrepanza, latenza, copertura	6
2.2	Qualità delle previsioni giornaliere	6
2.3	Andamenti medi annuali, settimanali, giornalieri	22
2.4	Analisi di episodi	38
3	Conclusioni e prospettive	39

Elenco delle figure

1	Struttura della catena modellistica.	4
2	Mean Gross Error nel periodo luglio 2016 – novembre 2020 per il biossido di azoto	7
3	Normalized Mean Bias nel periodo luglio 2016 – novembre 2020 per il biossido di azoto	8
4	Normalized Mean Gross Error nel periodo luglio 2016 – novembre 2020 per il biossido di azoto	9
5	Root Mean Square Error nel periodo luglio 2016 – novembre 2020 per il biossido di azoto	10
6	Correlazione di Pearson nel periodo luglio 2016 – novembre 2020 per il biossido di azoto	11
7	Mean Gross Error nel periodo luglio 2016 – novembre 2020 per il ozono	12
8	Normalized Mean Bias nel periodo luglio 2016 – novembre 2020 per il ozono	13
9	Normalized Mean Gross Error nel periodo luglio 2016 – novembre 2020 per il ozono	14
10	Root Mean Square Error nel periodo luglio 2016 – novembre 2020 per il ozono	15
11	Correlazione di Pearson nel periodo luglio 2016 – novembre 2020 per il ozono	16
12	Mean Gross Error nel periodo luglio 2016 – novembre 2020 per il PM10	17
13	Normalized Mean Bias nel periodo luglio 2016 – novembre 2020 per il PM10	18
14	Normalized Mean Gross Error nel periodo luglio 2016 – novembre 2020 per il PM10	19
15	Root Mean Square Error nel periodo luglio 2016 – novembre 2020 per il PM10	20
16	Correlazione di Pearson nel periodo luglio 2016 – novembre 2020 per il PM10	21
17	Andamenti di NO ₂ osservati e simulati (CAI)	23
18	Andamenti di NO ₂ osservati e simulati (EDI)	23
19	Andamenti di NO ₂ osservati e simulati (OPP)	24
20	Andamenti di NO ₂ osservati e simulati (PCA)	24
21	Andamenti di NO ₂ osservati e simulati (MNF)	25
22	Andamenti di NO ₂ osservati e simulati (POR)	25
23	Andamenti di NO ₂ osservati e simulati (RON)	26
24	Andamenti di NO ₂ osservati e simulati (SGV)	26
25	Andamenti di NO ₂ osservati e simulati (UGO)	27
26	Andamenti di ozono osservati e simulati (BRU)	27
27	Andamenti di ozono osservati e simulati (CAI)	28
28	Andamenti di ozono osservati e simulati (CAR)	28

29	Andamenti di ozono osservati e simulati (CAS)	29
30	Andamenti di ozono osservati e simulati (EDI)	29
31	Andamenti di ozono osservati e simulati (GRA)	30
32	Andamenti di ozono osservati e simulati (MNF)	30
33	Andamenti di ozono osservati e simulati (OSV)	31
34	Andamenti di ozono osservati e simulati (POR)	31
35	Andamenti di ozono osservati e simulati (RON)	32
36	Andamenti di ozono osservati e simulati (SGV)	32
37	Andamenti di ozono osservati e simulati (TOL)	33
38	Andamenti di ozono osservati e simulati (UGO)	33
39	Andamenti di ozono osservati e simulati (ZON)	34
40	Andamenti di PM10 osservati e simulati (BRU)	34
41	Andamenti di PM10 osservati e simulati (CAR)	35
42	Andamenti di PM10 osservati e simulati (CAS)	35
43	Andamenti di PM10 osservati e simulati (EDI)	36
44	Andamenti di PM10 osservati e simulati (OSV)	36
45	Andamenti di PM10 osservati e simulati (PCA)	37
46	Andamenti di PM10 osservati e simulati (SGV)	37
47	Andamenti di PM10 osservati e simulati (TOL)	38
48	PM10 osservato e simulato nel periodo 15/2–15/4/2020	39
49	PM10 osservato e simulato nel periodo 23/12/2016 – 23/1/2017	40
50	PM10 osservato e simulato nel periodo 23/12/2017 – 23/1/2018	40
51	PM10 osservato e simulato nel periodo 23/12/2018 – 23/1/2019	41
52	PM10 osservato e simulato nel periodo 23/12/2019 – 23/1/2020	41

Elenco delle tabelle

1	Indicatori di qualità considerati per la verifica delle prestazioni del modello.	5
2	Discrepanza, latenza e copertura (2013–2019)	6

Premessa

La catena modellistica FARM-FVG, gestita dal CRMA in ARPA-FVG, produce quotidianamente previsioni di qualità dell'aria per il territorio della regione Friuli Venezia Giulia. Le previsioni sono diffuse alla cittadinanza tramite mappe interattive sul sito dell'Agenzia e sono il supporto necessario per decidere l'eventuale attivazione dei Piani di Azione Comunali.

Le previsioni di qualità dell'aria sono inserite nel sistema di gestione UNI EN ISO 9001 attraverso il processo PP23.01. In questo contesto la verifica semestrale ha recentemente evidenziato una criticità: l'indicatore di qualità "discrepanza", calcolato per l'inquinante PM10 sul semestre gennaio-giugno 2020 vale 54% e dunque non rientra nello standard stabilito (50%). Perciò il 6/10/2020 è stata assegnata al CRMA l'"Azione Correttiva" AC1/20/SCE. Per individuare gli aspetti critici e orientare gli interventi di miglioramento, analizziamo qui la qualità delle previsioni negli ultimi anni, con particolare attenzione al 2020.

1. Metodi e strumenti

1.1 Catena modellistica

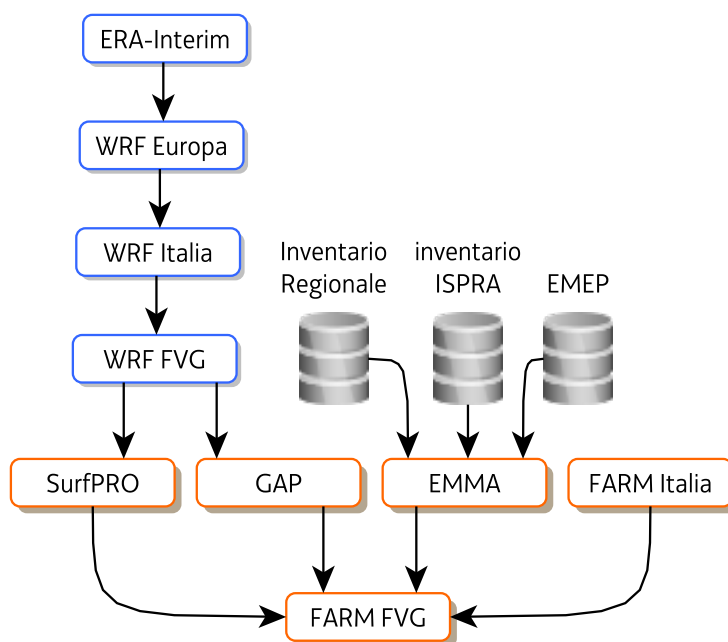


Figura 1: Struttura della catena modellistica.

La catena modellistica FARM-FVG di ARPA-FVG (fig.1) si articola nei seguenti moduli:

- **EMMA** prepara l'input emissivo a partire dagli inventari;
- **GAP** interpola sulla griglia di lavoro le uscite del modello meteo WRF [4];
- a partire dagli input di WRF, **SurfPRO** [3] calcola i parametri descrittivi della turbolenza nello strato limite atmosferico, le emissioni biogeniche e le velocità di deposizione;

- il modello chimico e di trasporto **FARM** [2] simula i principali fenomeni fisico-chimici che interessano le specie gassose di interesse, i precursori gassosi e gli aerosol (distinti per composizione e per granulometria), cioè diffusione, trasporto, trasformazioni chimiche e fisiche, deposizioni secca e umida;
- un modulo che corregge le previsioni sui punti stazione in base all'andamento degli errori del modello nei giorni precedenti (filtro di Kalman) e un modulo che - dopo la correzione - reinterpolare le serie temporali previste sul dominio di calcolo regionale (Optimal Interpolation).

Questi ultimi moduli - filtro di Kalman e Optimal Interpolation - sono attivi operativamente dall'aprile 2019; nel seguito indicheremo con il codice "FARM" le uscite della catena modellistica prima delle correzioni a posteriori e con il codice "FARMK" le uscite corrette dal filtro di Kalman e reinterpolate.

1.2 Indicatori di qualità

Per valutare nel dettaglio sul periodo 2016–2020 la qualità delle previsioni useremo gli indicatori MGE, NMB, NMGE, RMSE ed r , descritti nella tabella 1), calcolandoli su base mensile per ciascuna stazione di monitoraggio, riferendosi alla previsione a due giorni (per dopodomani). Su base semestrale o annuale considereremo altri indicatori sintetici:

discrepanza corrisponde a $NMGE^1$ calcolato su base semestrale e mediato su tutte le stazioni di fondo regionali;

latenza cioè l'orario in cui mediamente la previsione giornaliera è pubblicata;

copertura cioè la percentuale di bollettini quotidiani emessi.

Gli indicatori semestrali di latenza e discrepanza sono usati ai fini della gestione UNI EN ISO 9001. L'indicatore "copertura" non è incluso nelle procedure di qualità, ma è un indicatore di performance per la SOS-QA.

sigla	descrizione	formula
MGE	mean gross error	$\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n M_i - O_i $
NMB	normalized mean bias	$\frac{1}{\bar{O}} \sum_{i=1}^n (M_i - O_i)$
NMGE	normalised mean gross error	$\frac{1}{\bar{O}} \sum_{i=1}^n M_i - O_i $
RMSE	root mean squared error	$\left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (M_i - O_i)^2 \right)^{1/2}$
r	Pearson correlation coefficient	$\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n \frac{(M_i - \bar{M})}{\sigma_M} \cdot \frac{(O_i - \bar{O})}{\sigma_O}$

Tabella 1: Indicatori di qualità considerati per la verifica delle prestazioni del modello.

¹sebbene nella documentazione del PP23.01 sia erroneamente indicato RMSE

anno	periodo	latenza (ore)	discrepanza (%)			copertura (%)
	semestre		PM10	O ₃	NO ₂	
2013	I	12.8	47	39	41	n.d.
	II	12.7	52	53	47	
2014	I	-	-	-	-	96
	II	13.5	46	96	43	
2015	I	13.6	47	31	41	n.d.
	II	-	-	-	-	
2016	I	-	-	-	-	45
	II	10.6	64	25	44	
2017	I	10.6	40	18	50	95
	II	10.1	42	24	40	
2018	I	10.0	39	19	50	96
	II	8.8	43	25	43	
2019	I	9.3	39	19	47	93
	II	9.8	45	21	39	

Tabella 2: Discrepanza, latenza e copertura (2013–2019)

2. Risultati

2.1 Discrepanza, latenza, copertura

La tabella 2 mostra una panoramica riferita al periodo 2013–2019 degli indicatori semestrali discrepanza e latenza e dell'indicatore annuale copertura. Si nota l'interruzione di un anno del servizio, a seguito del *crash* del *cluster* di calcolo, verificatosi nell'estate 2015.

Nel 2016, al riavvio della catena modellistica, la tempestività di fornitura del servizio è significativamente migliorata, passando da 12-13 ore a circa 10; nei due anni successivi è ulteriormente migliorata (fino a circa 9), poi nel 2019 l'aggiunta del modulo di correzione a posteriori delle previsioni ha solo marginalmente peggiorato la latenza, che comunque si mantiene su valori inferiori al 2016 e ampiamente sotto il limite massimo (13).

La discrepanza per l'ozono fino al 2015 era un indicatore critico, con qualche superamento dell'obiettivo semestrale (50%) invece dal 2016 si è stabilizzata su valori prossimi al 20%. Per il biossido di azoto la discrepanza oscilla tra il 40 e il 50%, purtroppo senza una tendenza al miglioramento. Anche per il PM10 la discrepanza oscilla tra il 40 e il 50%, con qualche semestre di superamento dell'obiettivo di qualità legato a condizioni contingenti², purtroppo senza una tendenza al miglioramento.

La copertura annuale, da quando il sistema è tornato a regime, è sempre superiore al 90%. Le previsioni mancanti sono probabilmente per lo più dovute alla mancanza delle condizioni al contorno chimiche.

2.2 Qualità delle previsioni giornaliere

Dall'analisi delle prestazioni nel periodo luglio 2016 – novembre 2020 nella previsione dei valori giornalieri emergono questi aspetti salienti:

²il valore elevato (64%) del secondo semestre 2016 era legato alla fase di messa a punto del parametro moltiplicativo di correzione a posteriori stagionale

NO2: MGE

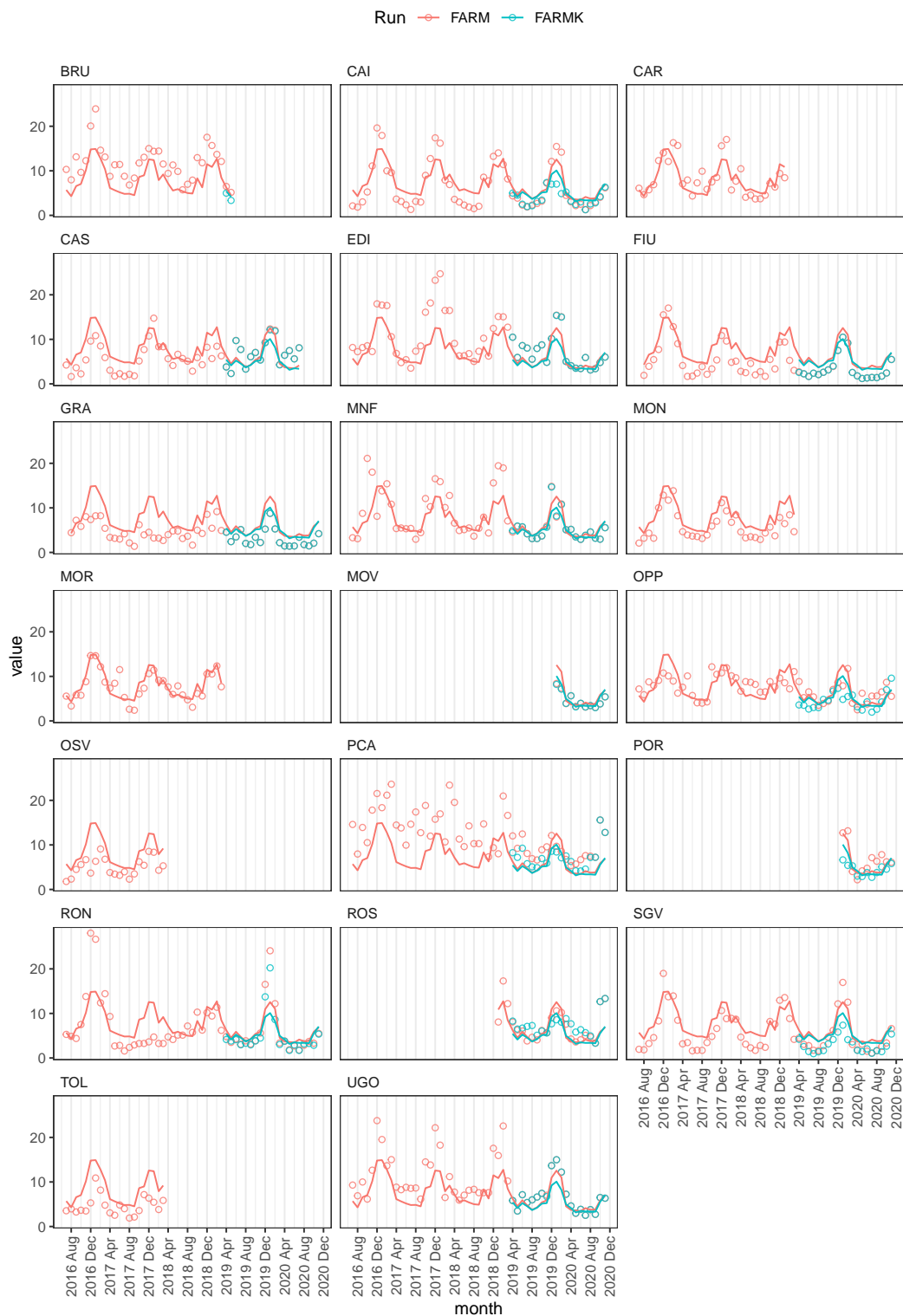


Figura 2: Prestazioni di FARM nella previsione della media giornaliera di **biossido di azoto**. Valori mensili per ciascuna stazione (cerchietti) e medie regionali (linee) dell'indicatore **Mean Gross Error** nel periodo luglio 2016 – novembre 2020. Confronto tra la corsa senza filtro di Kalman (salmone) e quella con filtro di Kalman (turchese).

NO2: NMB

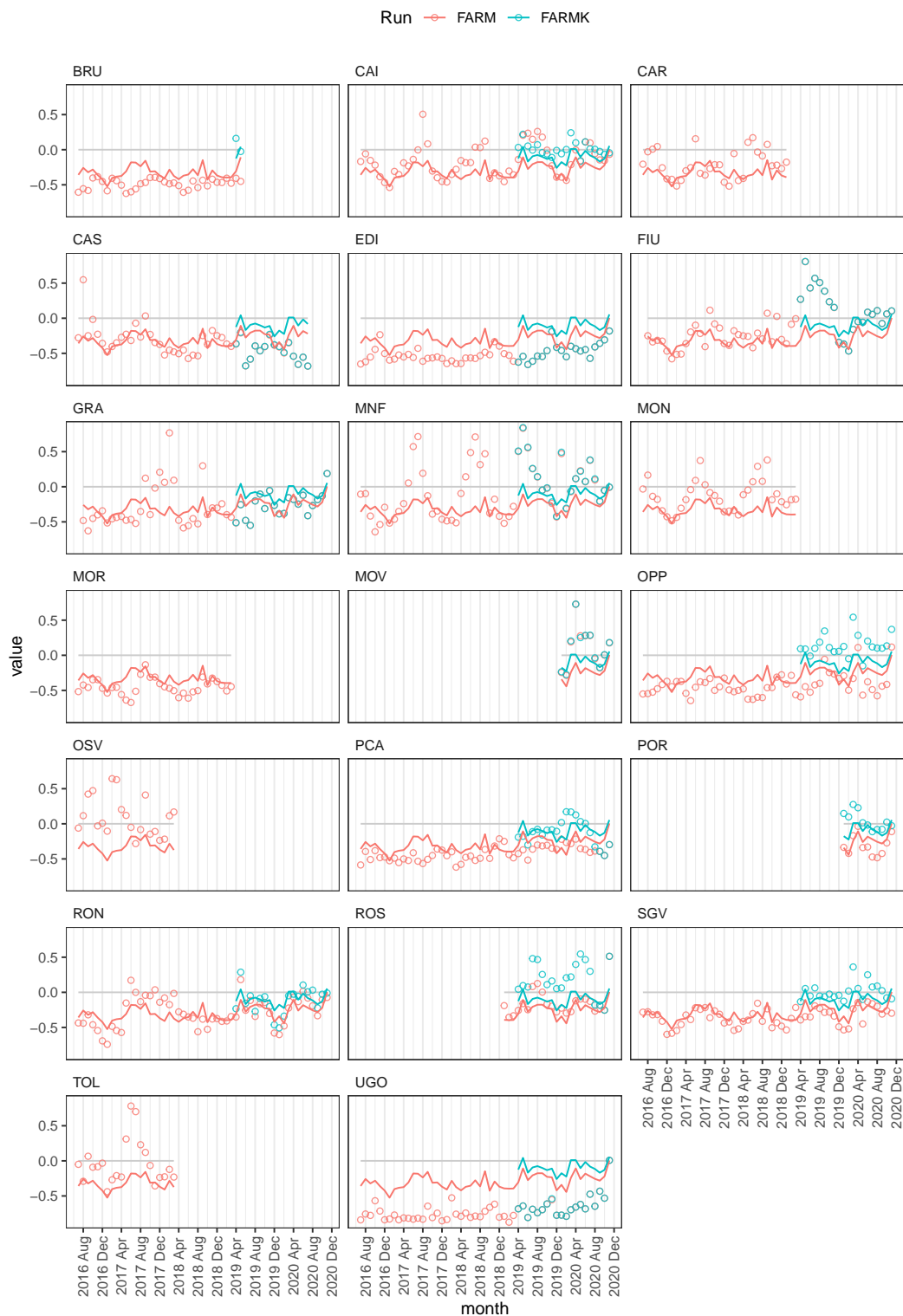


Figura 3: Prestazioni di FARM nella previsione della media giornaliera di **biossido di azoto**. Valori mensili per ciascuna stazione (cerchietti) e medie regionali (linee) dell'indicatore **Normalized Mean Bias** nel periodo luglio 2016 – novembre 2020. Confronto tra la corsa senza filtro di Kalman (salmone) e quella con filtro di Kalman (turchese).

NO2: NMGE

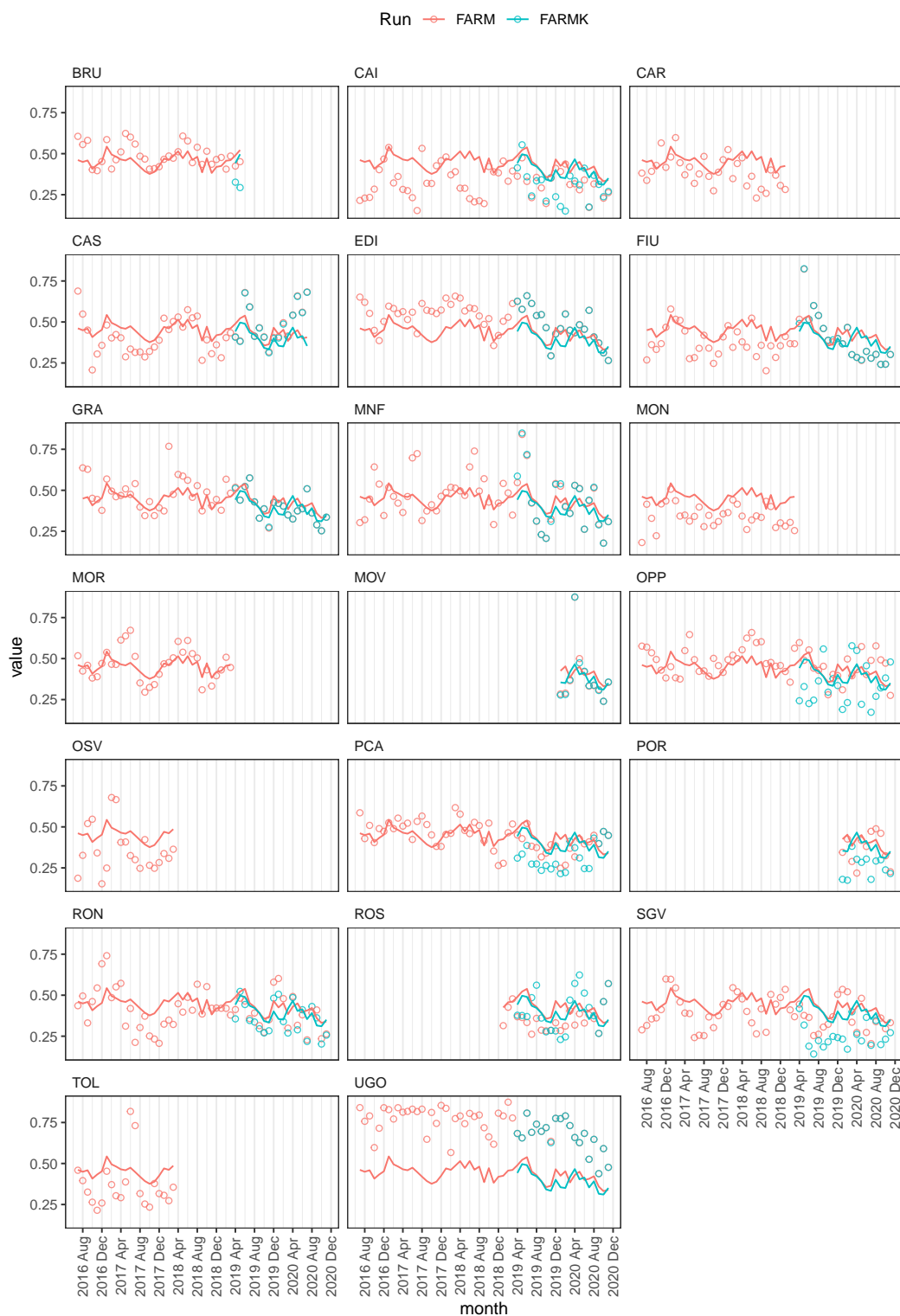


Figura 4: Prestazioni di FARM nella previsione della media giornaliera di **biossido di azoto**. Valori mensili per ciascuna stazione (cerchietti) e medie regionali (linee) dell'indicatore **Normalized Mean Gross Error** nel periodo luglio 2016 – novembre 2020. Confronto tra la corsa senza filtro di Kalman (salmone) e quella con filtro di Kalman (turchese).

NO2: RMSE

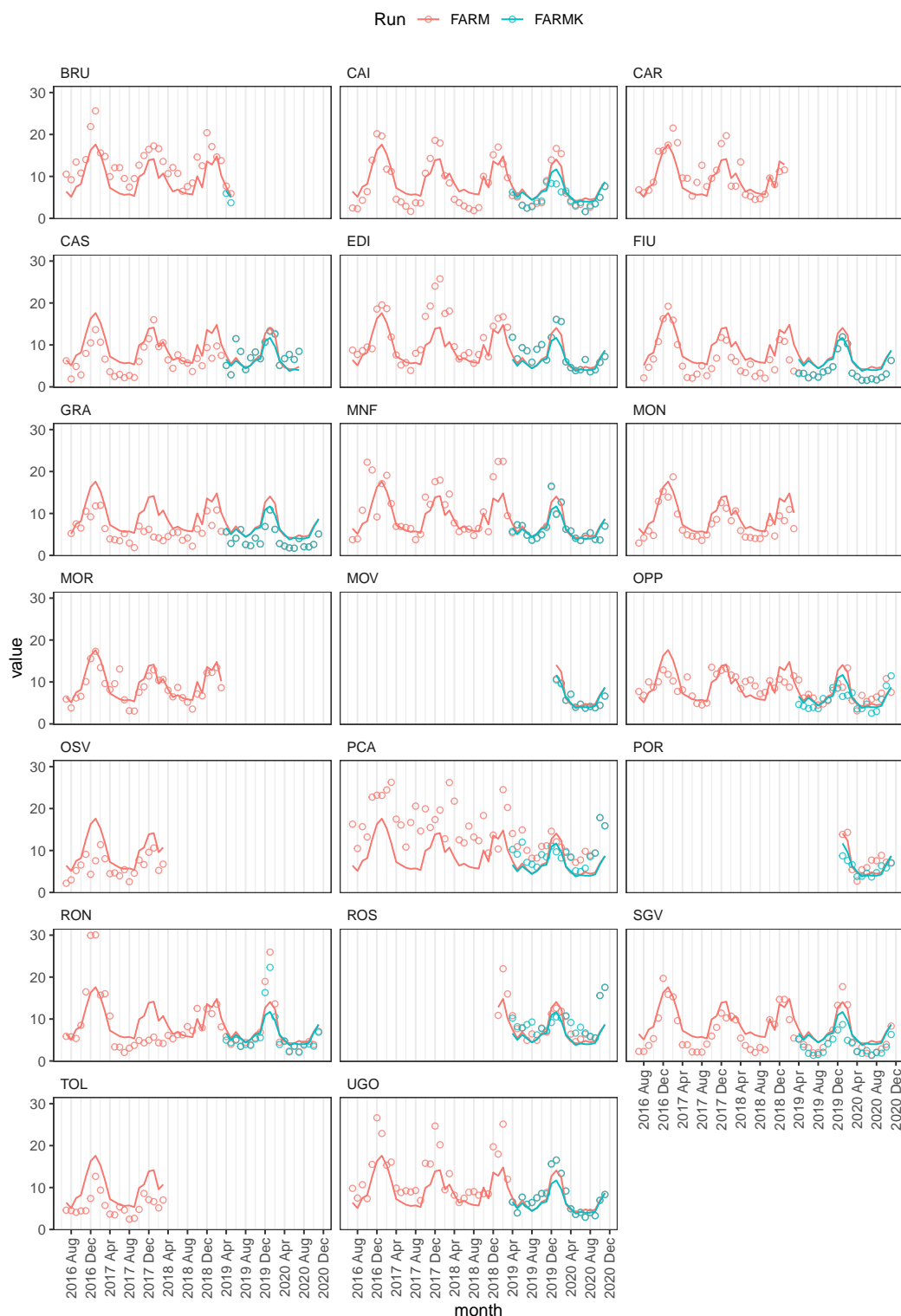


Figura 5: Prestazioni di FARM nella previsione della media giornaliera di **biossido di azoto**. Valori mensili per ciascuna stazione (cerchietti) e medie regionali (linee) dell'indicatore **Root Mean Square Error** nel periodo luglio 2016 – novembre 2020. Confronto tra la corsa senza filtro di Kalman (salmone) e quella con filtro di Kalman (turchese).

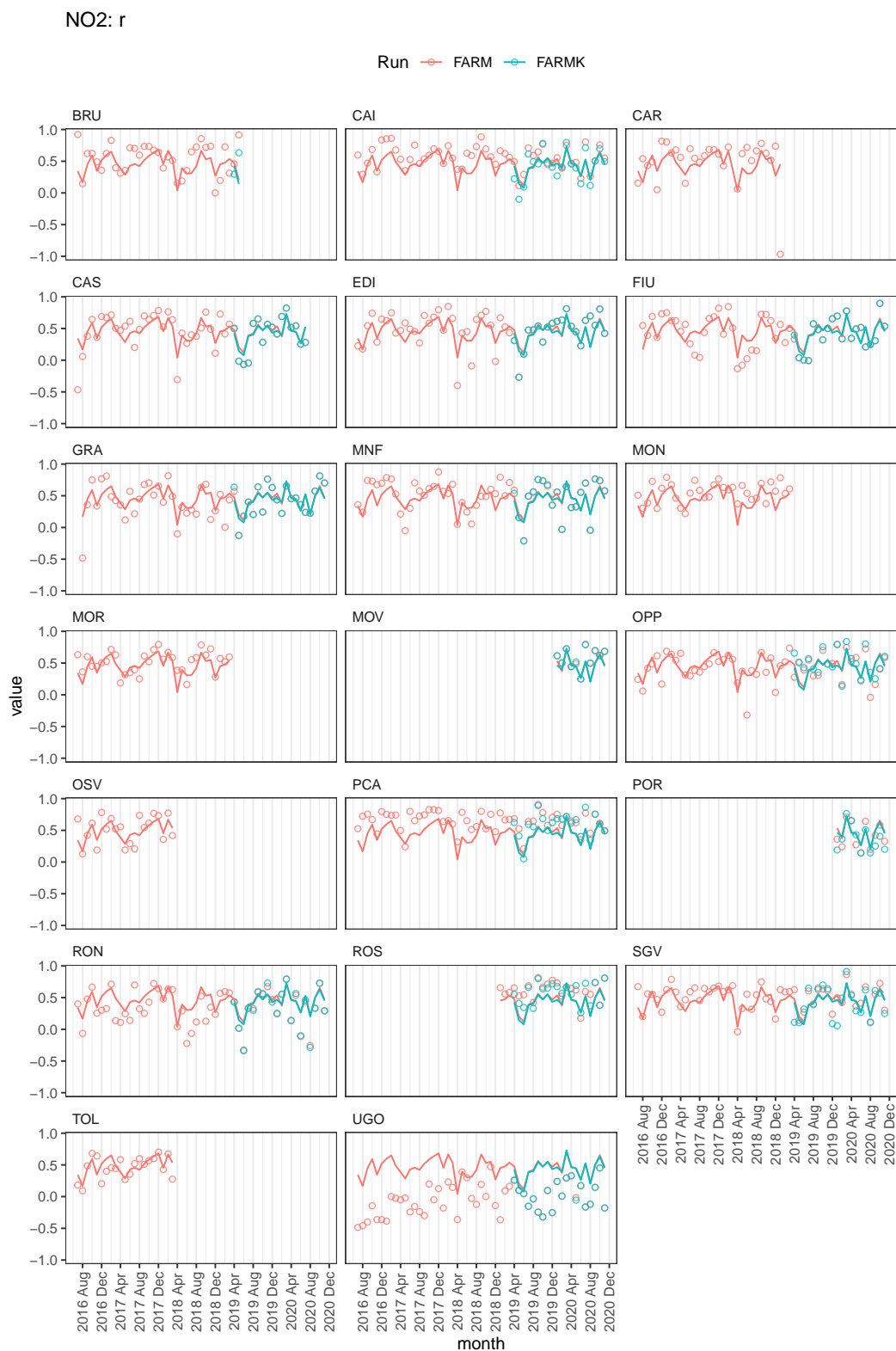


Figura 6: Prestazioni di FARM nella previsione della media giornaliera di **biossido di azoto**. Valori mensili per ciascuna stazione (cerchietti) e medie regionali (linee) dell'indicatore **Correlazione di Pearson** nel periodo luglio 2016 – novembre 2020. Confronto tra la corsa senza filtro di Kalman (salmone) e quella con filtro di Kalman (turchese).

O3: MGE

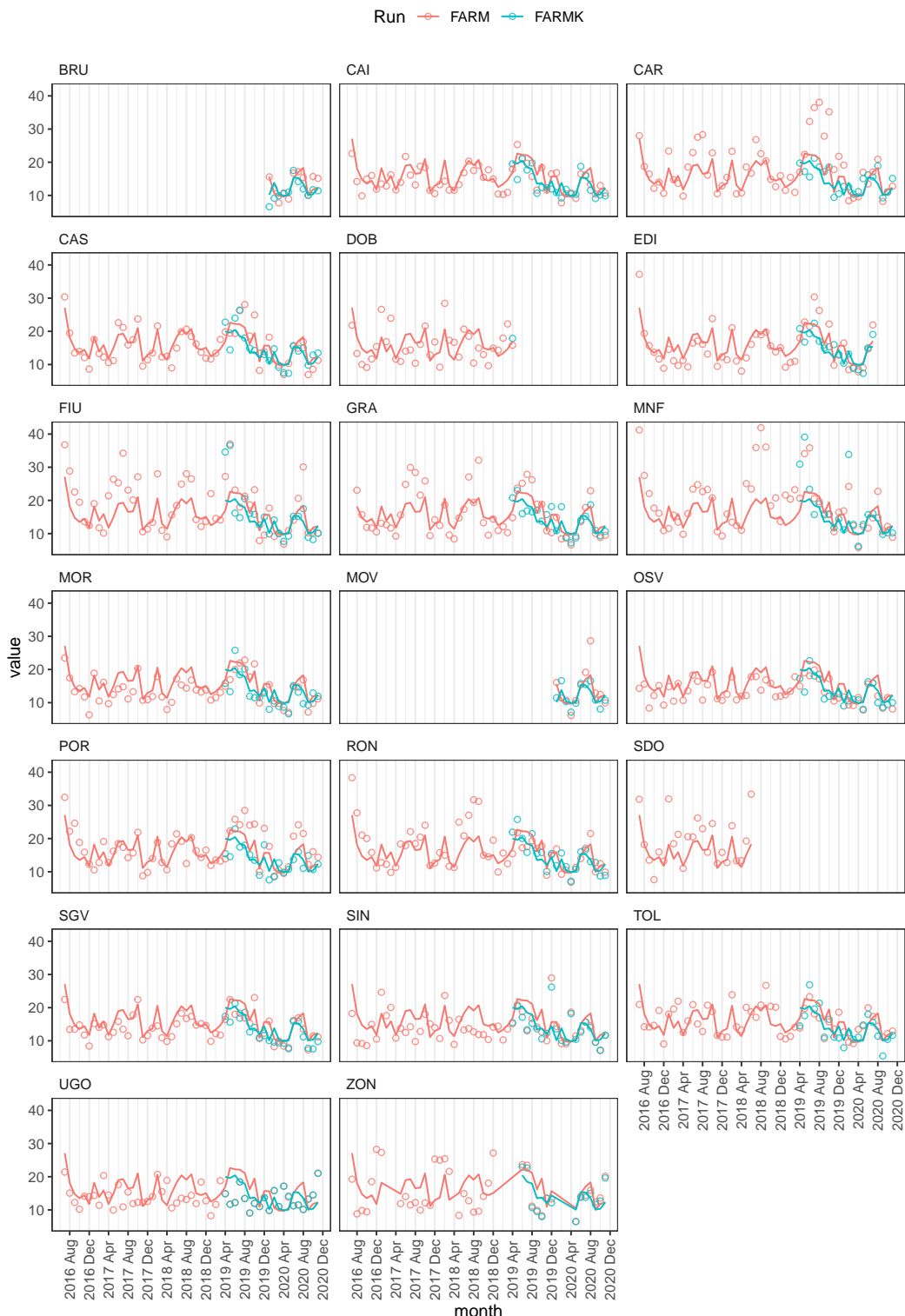


Figura 7: Prestazioni di FARM nella previsione della media giornaliera di **ozono**. Valori mensili per ciascuna stazione (cerchietti) e medie regionali (linee) dell'indicatore **Mean Gross Error** nel periodo luglio 2016 – novembre 2020. Confronto tra la corsa senza filtro di Kalman (salmone) e quella con filtro di Kalman (turchese).

O3: NMB

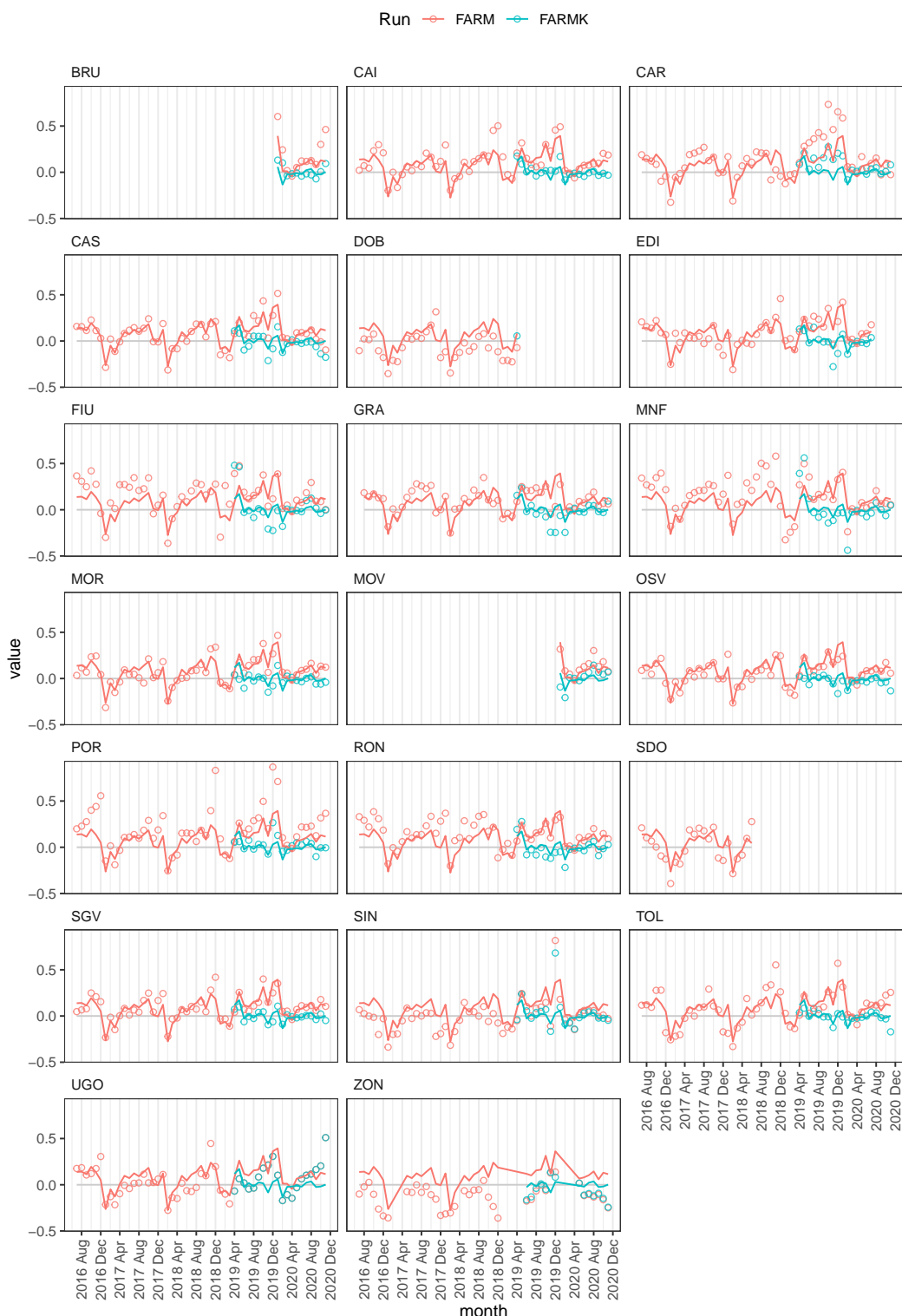


Figura 8: Prestazioni di FARM nella previsione della media giornaliera di ozono. Valori mensili per ciascuna stazione (cerchietti) e medie regionali (linee) dell'indicatore **Normalized Mean Bias** nel periodo luglio 2016 – novembre 2020. Confronto tra la corsa senza filtro di Kalman (salmone) e quella con filtro di Kalman (turchese).

O3: NMGE

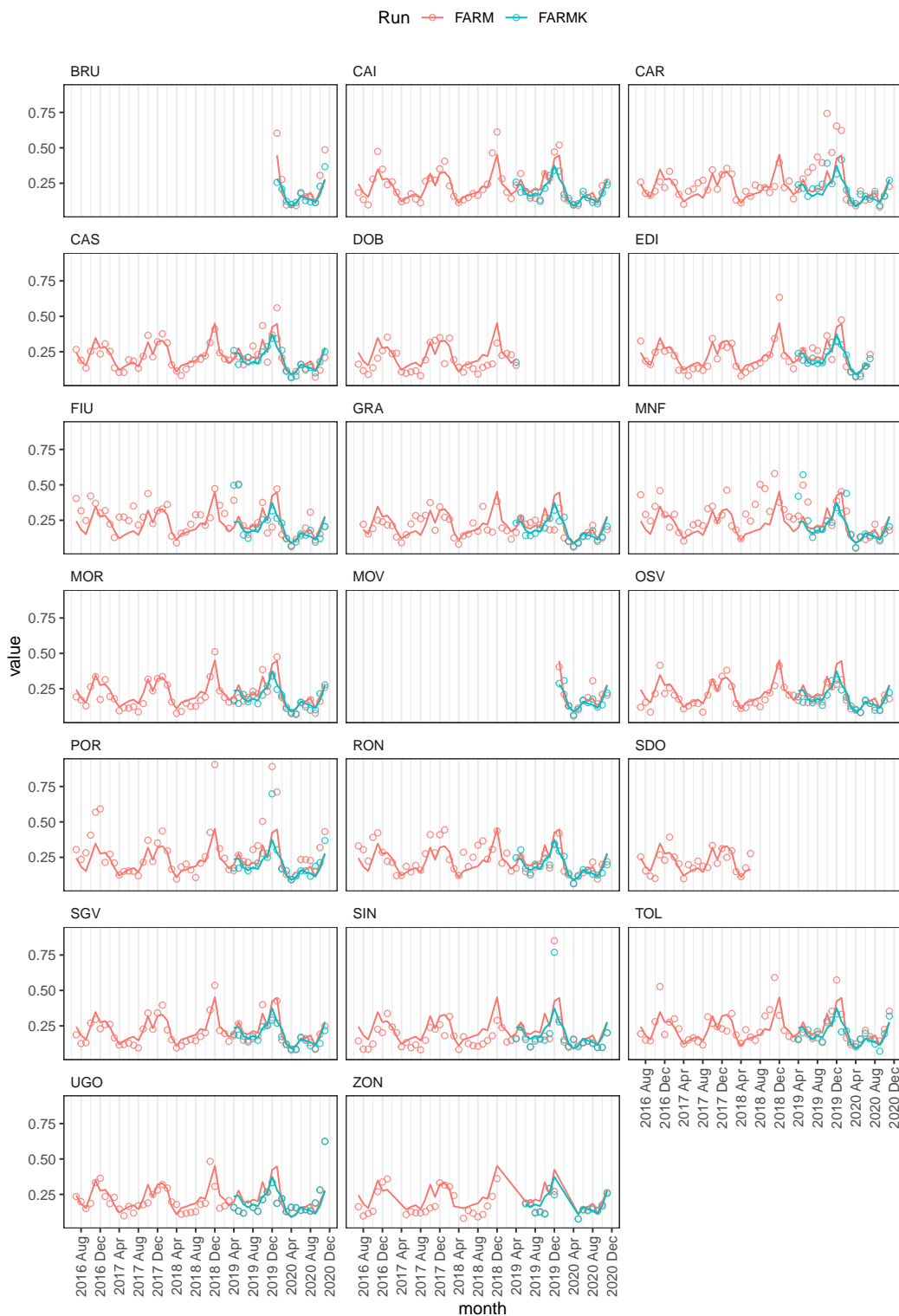


Figura 9: Prestazioni di FARM nella previsione della media giornaliera di **ozono**. Valori mensili per ciascuna stazione (cerchietti) e medie regionali (linee) dell'indicatore **Normalized Mean Gross Error** nel periodo luglio 2016 – novembre 2020. Confronto tra la corsa senza filtro di Kalman (salmone) e quella con filtro di Kalman (turchese).

O3: RMSE

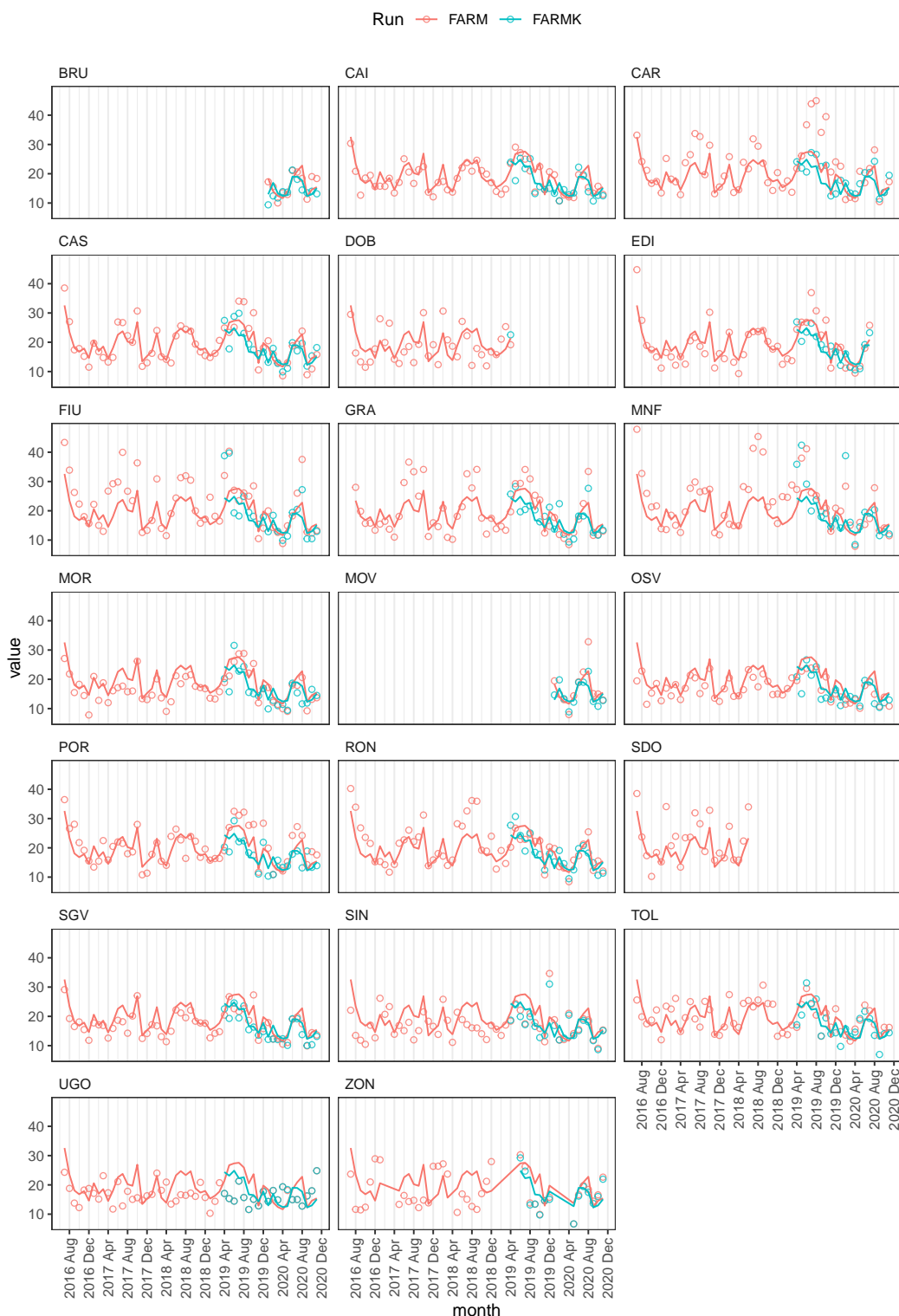


Figura 10: Prestazioni di FARM nella previsione della media giornaliera di ozono. Valori mensili per ciascuna stazione (cerchietti) e medie regionali (linee) dell'indicatore **Root Mean Square Error** nel periodo luglio 2016 – novembre 2020. Confronto tra la corsa senza filtro di Kalman (salmone) e quella con filtro di Kalman (turchese).

O3: r

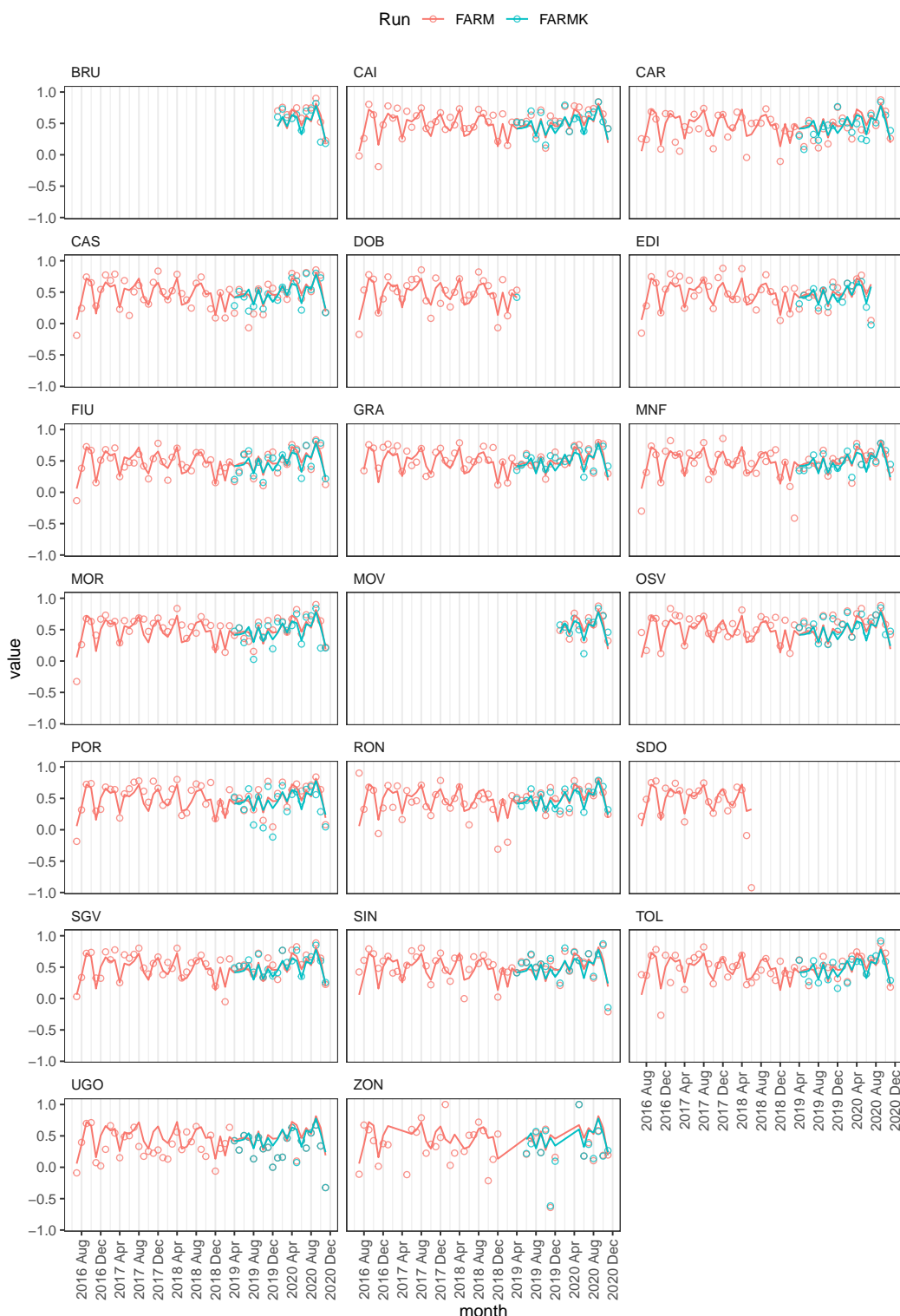


Figura 11: Prestazioni di FARM nella previsione della media giornaliera di **ozono**. Valori mensili per ciascuna stazione (cerchietti) e medie regionali (linee) dell'indicatore **Correlazione di Pearson** nel periodo luglio 2016 – novembre 2020. Confronto tra la corsa senza filtro di Kalman (salmone) e quella con filtro di Kalman (turchese).

PM10: MGE

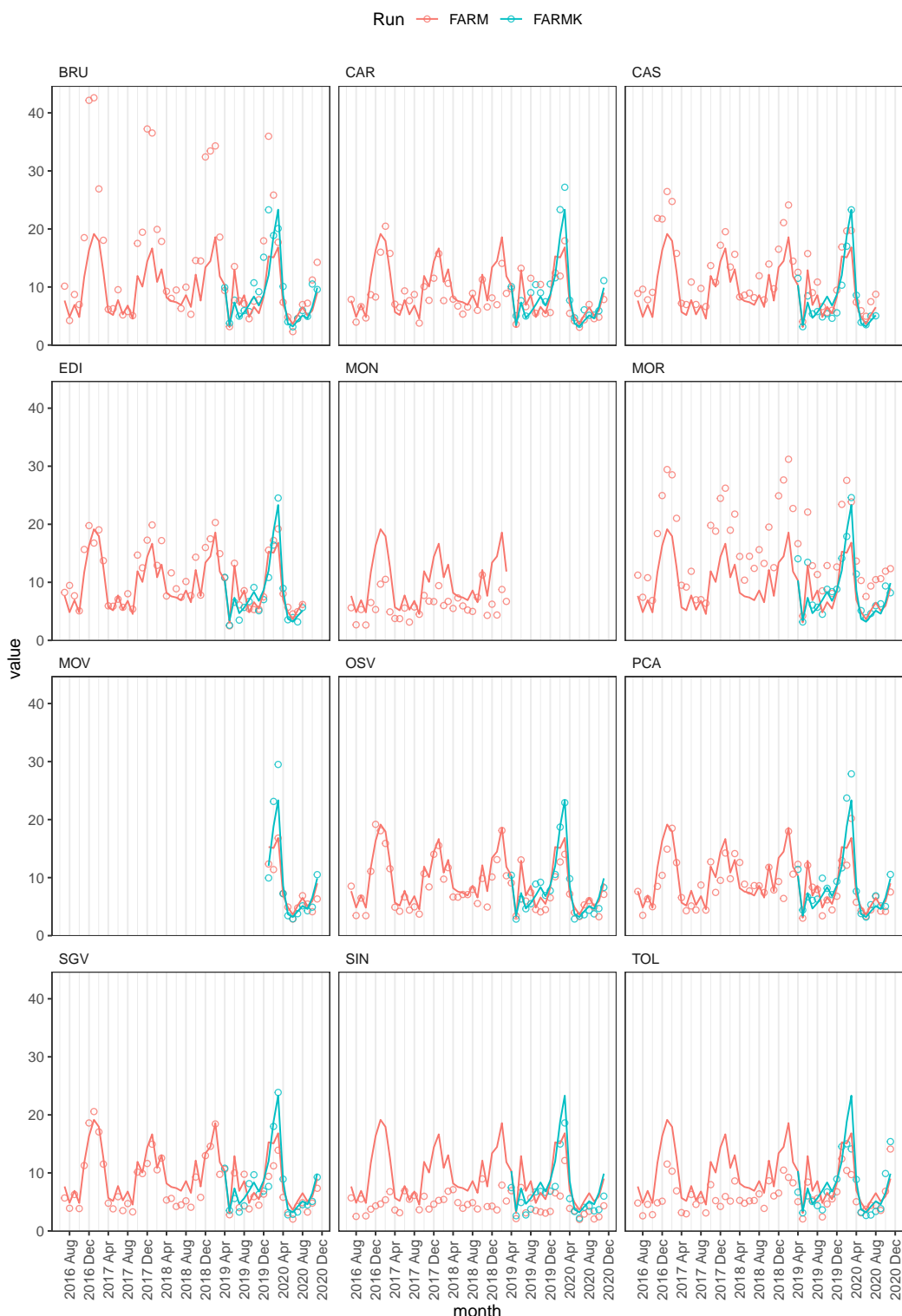


Figura 12: Prestazioni di FARM nella previsione della media giornaliera di **PM10**. Valori mensili per ciascuna stazione (cerchietti) e medie regionali (linee) dell'indicatore **Mean Gross Error** nel periodo luglio 2016 – novembre 2020. Confronto tra la corsa senza filtro di Kalman (salmone) e quella con filtro di Kalman (turchese).

PM10: NMB

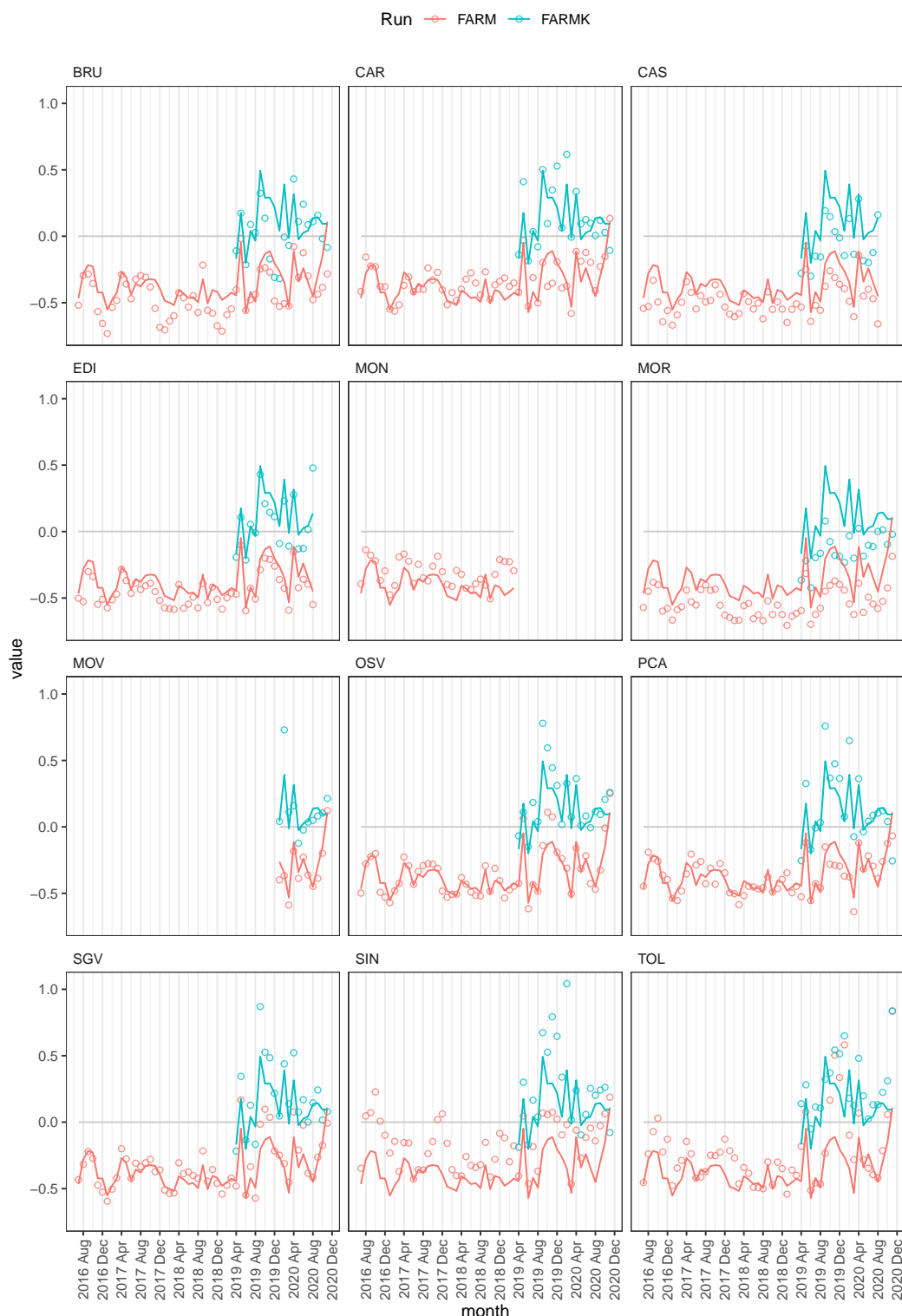


Figura 13: Prestazioni di FARM nella previsione della media giornaliera di **PM10**. Valori mensili per ciascuna stazione (cerchietti) e medie regionali (linee) dell'indicatore **Normalized Mean Bias** nel periodo luglio 2016 – novembre 2020. Confronto tra la corsa senza filtro di Kalman (salmone) e quella con filtro di Kalman (turchese).

PM10: NMGE

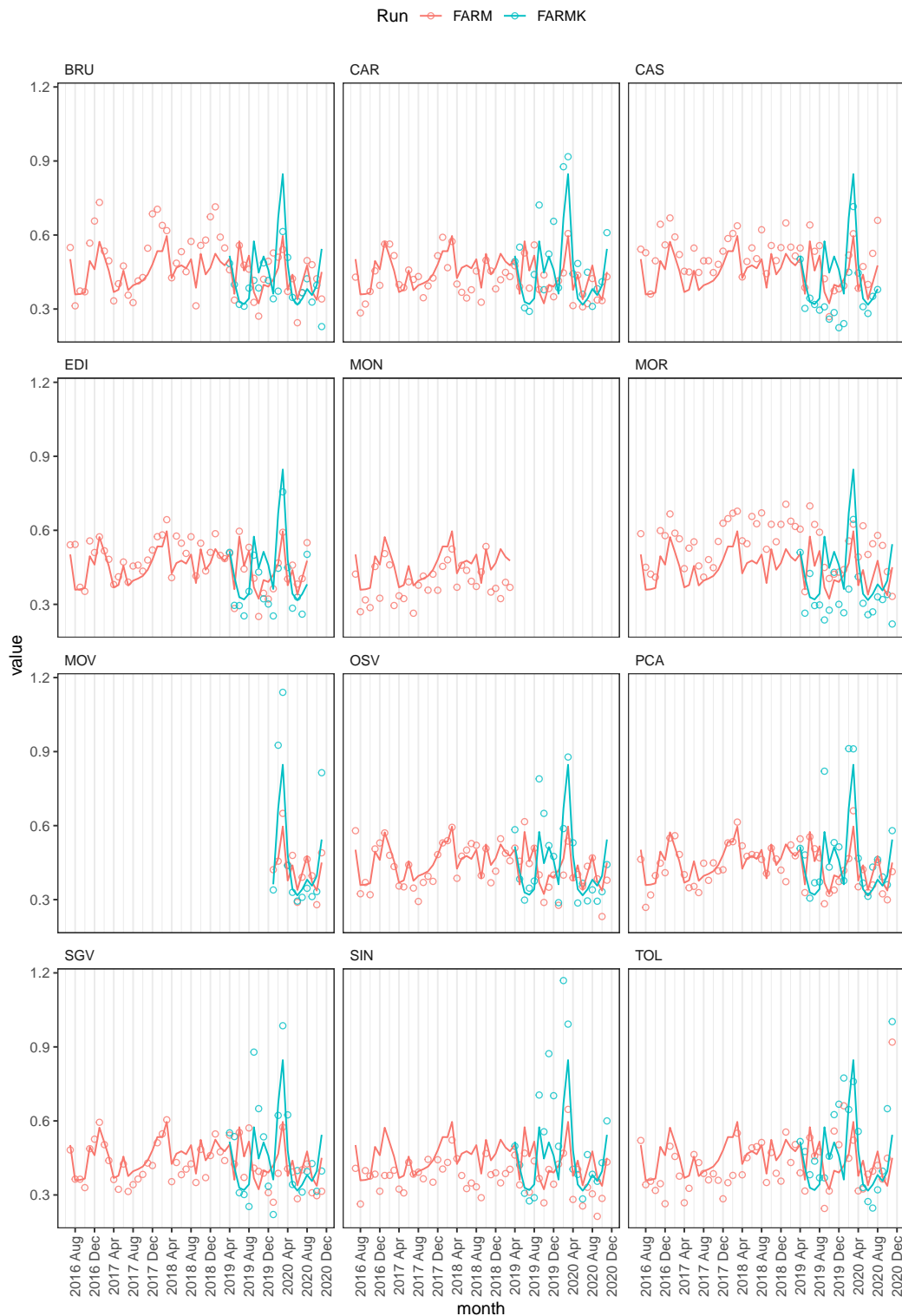


Figura 14: Prestazioni di FARM nella previsione della media giornaliera di **PM10**. Valori mensili per ciascuna stazione (cerchietti) e medie regionali (linee) dell'indicatore **Normalized Mean Gross Error** nel periodo luglio 2016 – novembre 2020. Confronto tra la corsa senza filtro di Kalman (salmone) e quella con filtro di Kalman (turchese).

PM10: RMSE

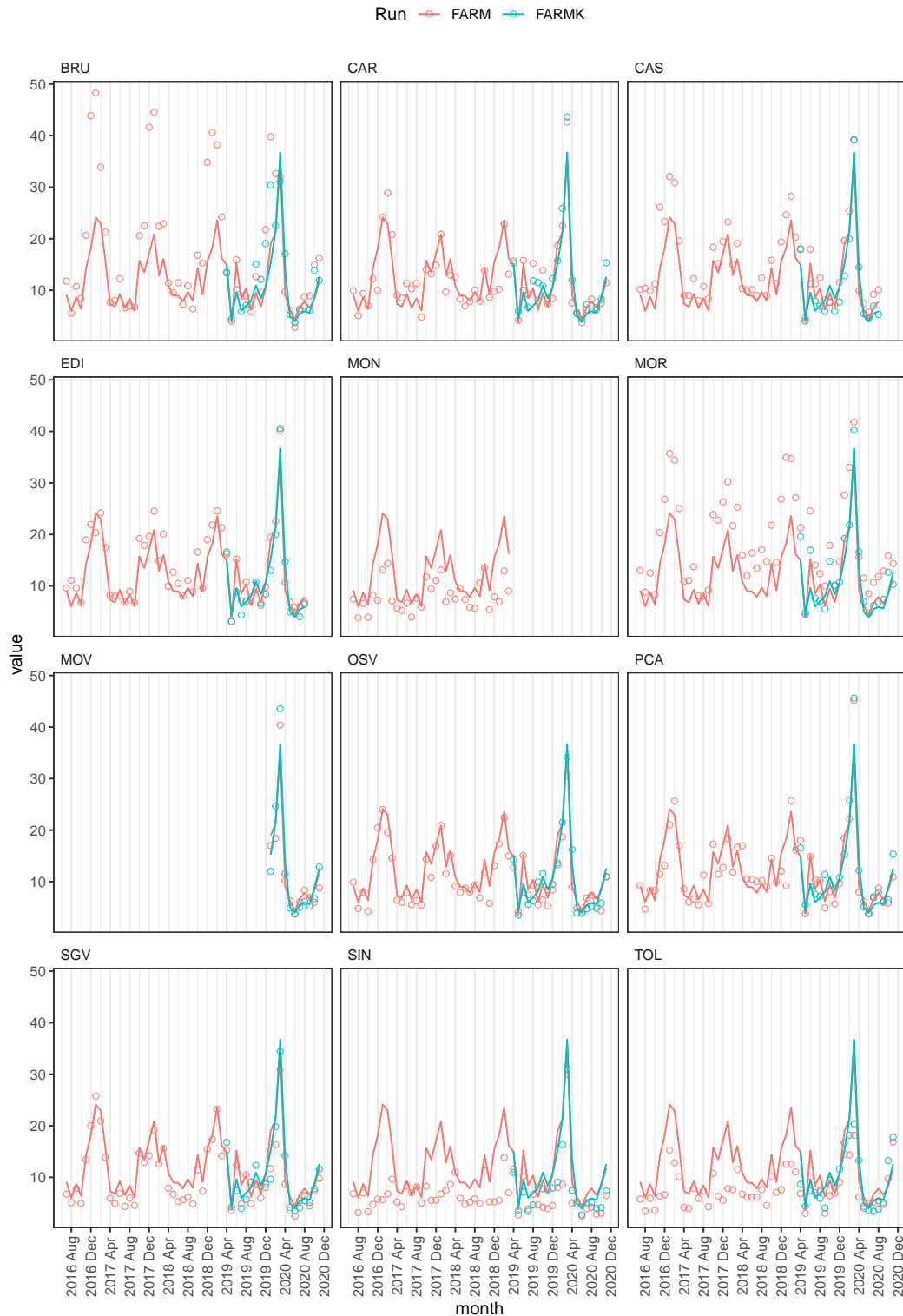


Figura 15: Prestazioni di FARM nella previsione della media giornaliera di **PM10**. Valori mensili per ciascuna stazione (cerchietti) e medie regionali (linee) dell'indicatore **Root Mean Square Error** nel periodo luglio 2016 – novembre 2020. Confronto tra la corsa senza filtro di Kalman (salmone) e quella con filtro di Kalman (turchese).

PM10: r

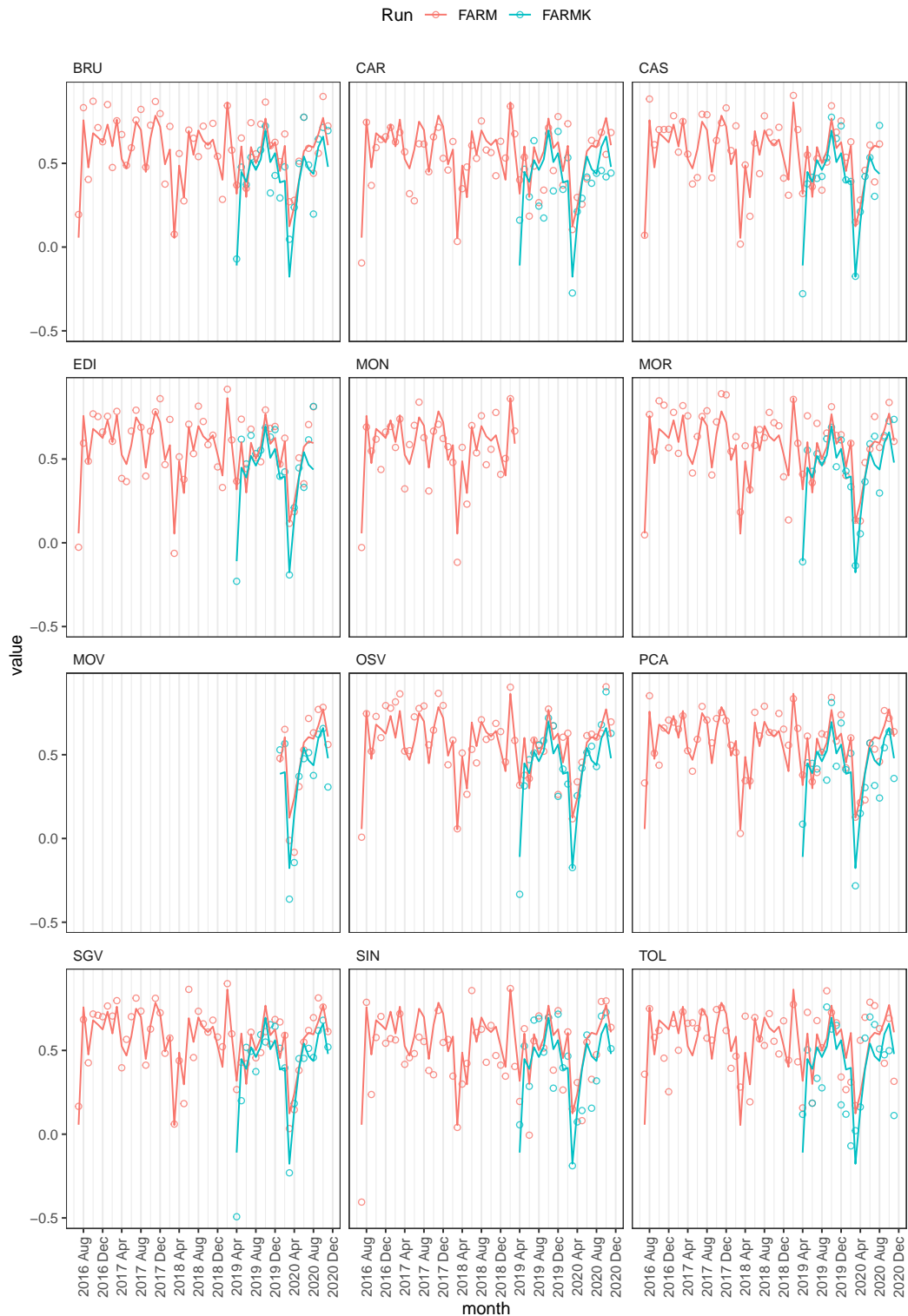


Figura 16: Prestazioni di FARM nella previsione della media giornaliera di **PM10**. Valori mensili per ciascuna stazione (cerchietti) e medie regionali (linee) dell'indicatore **Correlazione di Pearson** nel periodo luglio 2016 – novembre 2020. Confronto tra la corsa senza filtro di Kalman (salmone) e quella con filtro di Kalman (turchese).

- per il **biossido di azoto** (figg.2–6)
 - FARM tende a sottostimare, in alcune stazioni FARMK corregge il *bias* (CAI, OPP, PCA, POR, RON, SGV), in altre esso rimane sostanzialmente immutato (CAS, EDI, GRA, UGO) (fig.3);
 - NMGE ha un trend in calo, ma i valori bassi del 2020 potrebbero essere determinati dalle limitazioni alla mobilità per COVID-19 (fig.4);
 - la correlazione mediamente non è molto alta, ed è spesso deteriorata da prestazioni episodiche insoddisfacenti in alcune stazioni (fig.6);
- per l'**ozono** (figg.7–11)
 - FARM tende a sottostimare (spesso tra il 10% e il 30%), ma il filtro di Kalman corregge il *bias* quasi sempre quasi in tutte le stazioni (fig.8);
 - NMGE è per lo più inferiore al 25%, ma può raggiungere valori elevati nei mesi invernali, quando le concentrazioni sono più basse e dunque la previsione è meno importante (fig.9);
 - in montagna la correlazione è spesso scarsa (p.es.UGO e ZON in fig.11);
- per il **PM10** (figg.12–16)
 - FARM sottostima (spesso tra il 30% e il 50%); FARMK corregge il *bias* ma spesso esagera, portando a una sovrastima (fig.13);
 - a marzo 2020 la previsione di FARM ha avuto mediamente un NMGE elevato e una correlazione bassa, entrambi ulteriormente peggiorati da FARMK (figg.14–15);
 - FARM ha difficoltà in inverno nelle stazioni di pianura (BRU, CAS, MOR) (figg.14–15).

2.3 Andamenti medi annuali, settimanali, giornalieri

Dall'analisi, stazione per stazione, degli andamenti medi annuali, settimanali e giornalieri emergono alcuni aspetti:

- per il **biossido di azoto** (figg.17–25)
 - la forma degli andamenti medi è piuttosto ben riprodotta;
 - FARM sottostima, in alcune stazioni quasi solo in inverno (CAI fig.17, RON fig.23), in tutte le altre tutto l'anno (p.es.EDI fig.18, OPP fig.19, PCA fig.20);
 - FARMK corregge molto bene questo *bias* in alcune stazioni (CAI fig.17, OPP fig.19, PCA fig.20, POR fig.22, SGV fig.24), mentre in alcune altre FARMK rimane molto vicino a FARM (EDI fig.18, MNF fig.21, UGO fig.25);
- per l'**ozono** (figg.26–39)
 - FARM sovrastima quasi ovunque, soprattutto di notte, soprattutto in estate e autunno;
 - solo sul Monte Zoncolan (ZON fig.39) FARM sottostima (e non riesce a riprodurre l'andamento giornaliero, del tutto particolare);
 - FARMK corregge quasi ovunque egregiamente gli andamenti, solo nelle stazioni UGO (fig.38) e ZON (fig.39) rimane molto vicino a FARM;

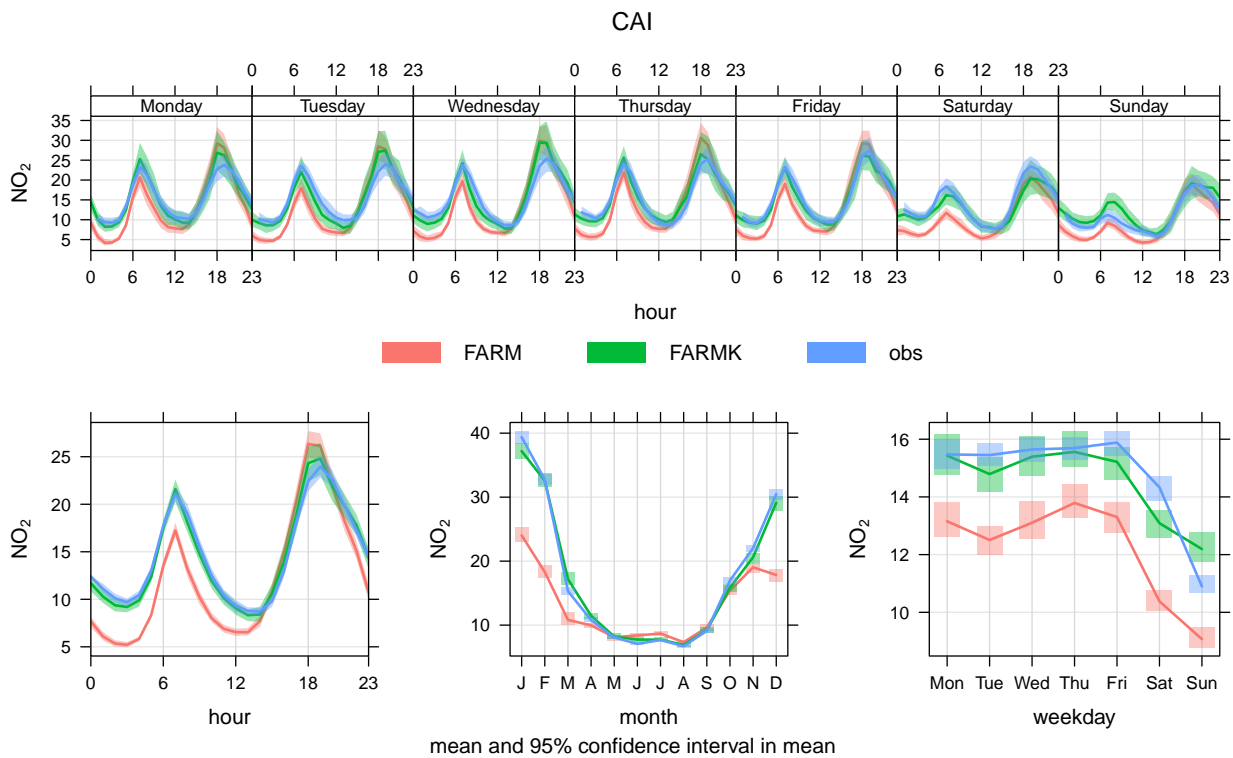


Figura 17: Andamenti medi di NO₂ osservati e simulati nella stazione CAI (aprile 2019 – novembre 2020)

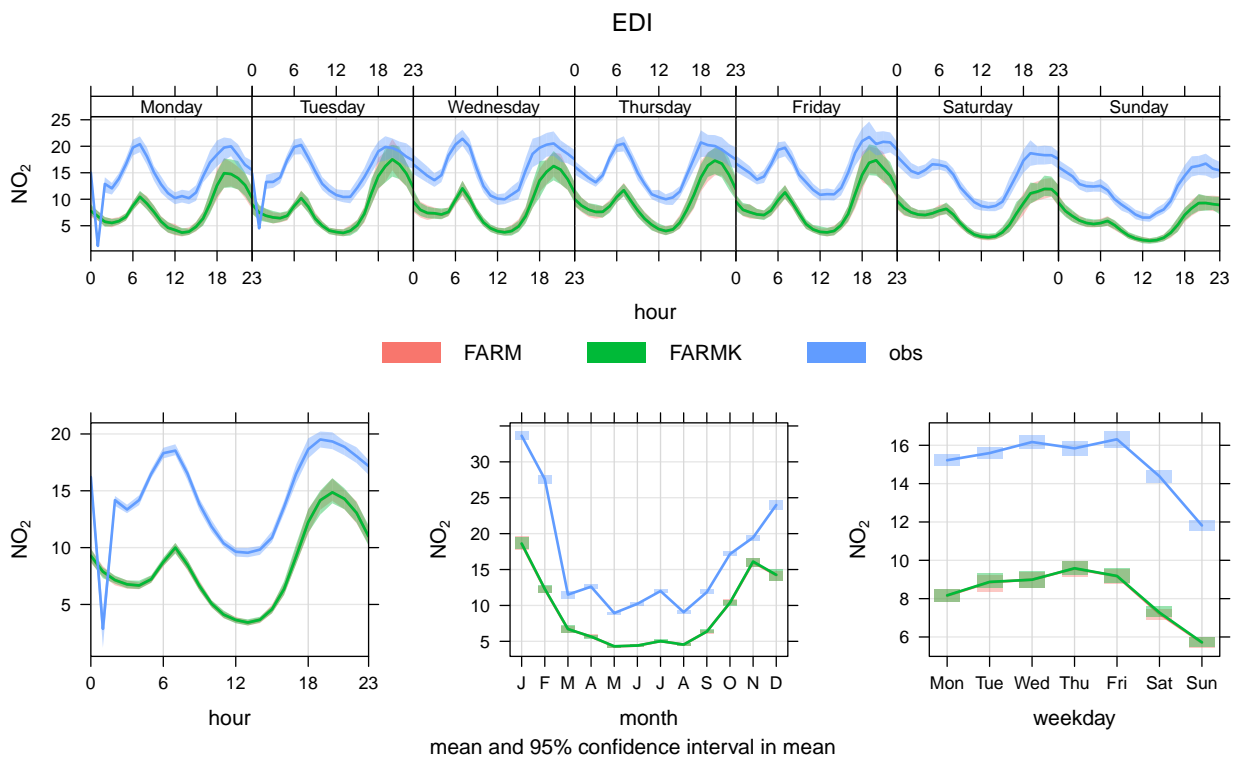


Figura 18: Andamenti medi di NO₂ osservati e simulati nella stazione EDI (aprile 2019 – novembre 2020)

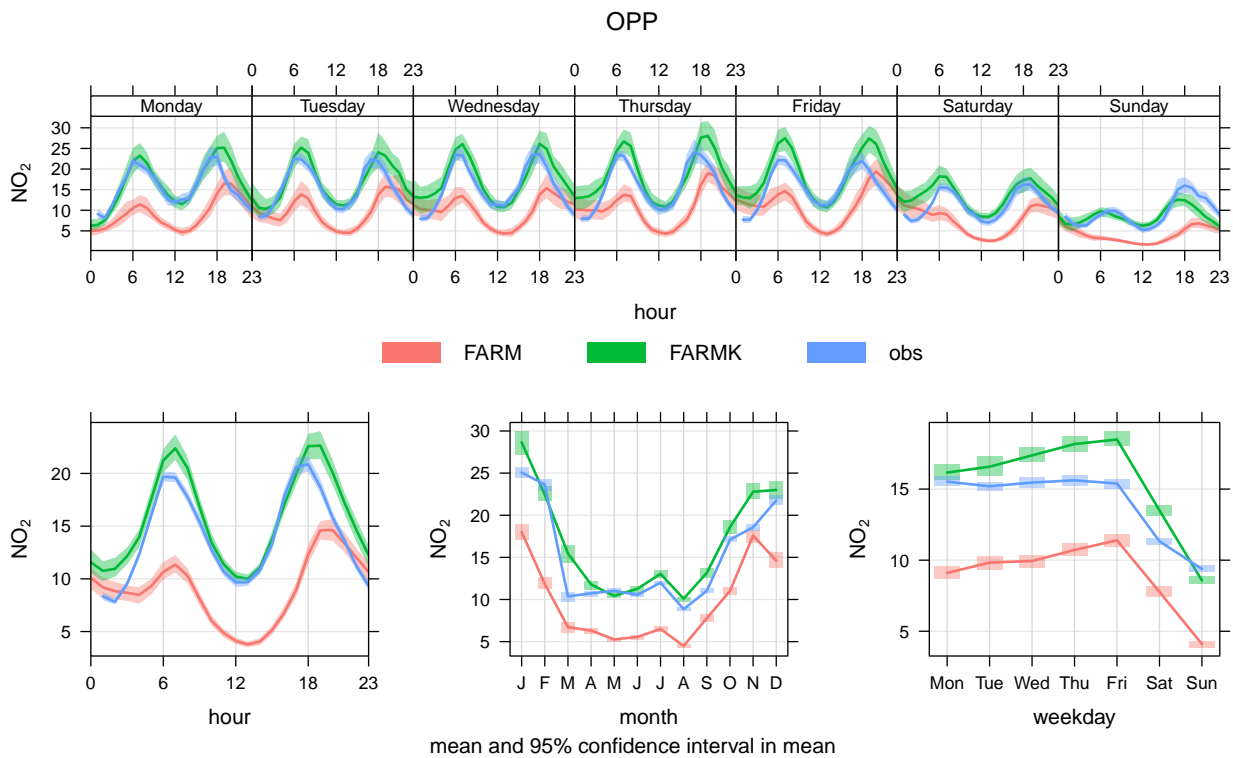


Figura 19: Andamenti medi di NO₂ osservati e simulati nella stazione OPP (aprile 2019 – novembre 2020)

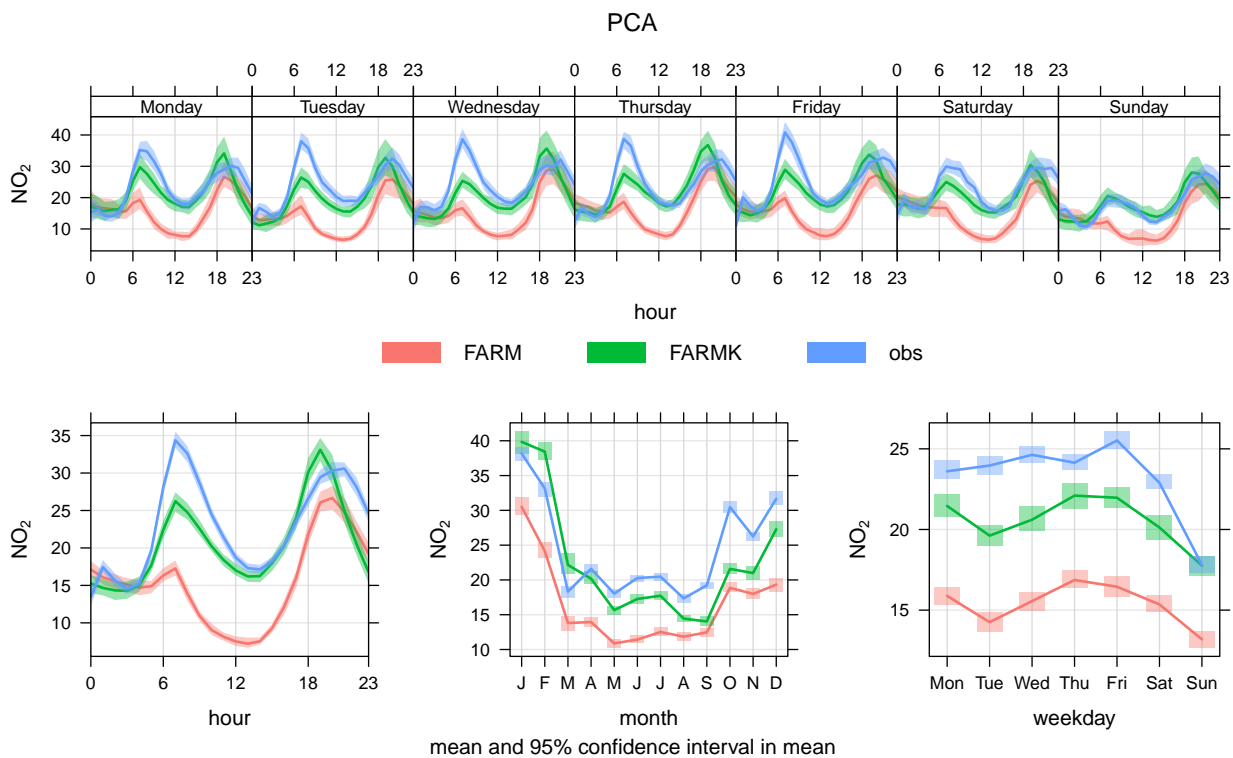


Figura 20: Andamenti medi di NO₂ osservati e simulati nella stazione PCA (aprile 2019 – novembre 2020)

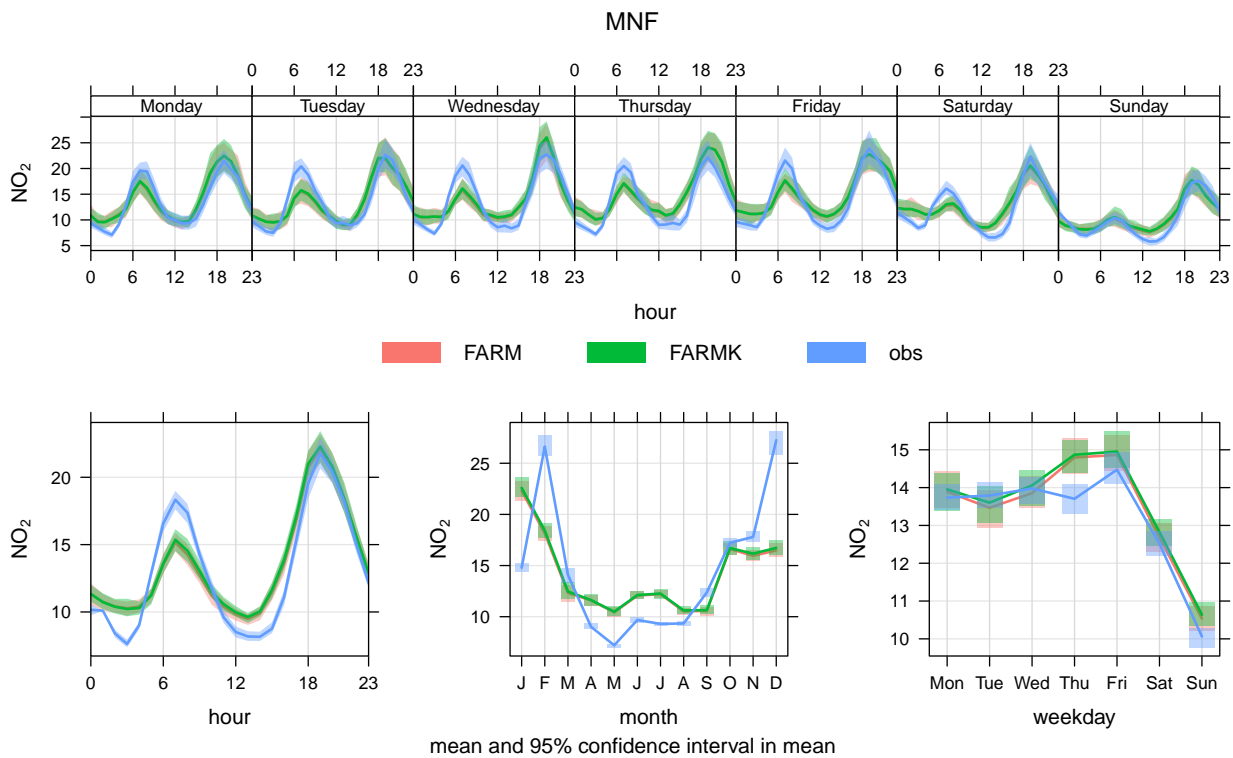


Figura 21: Andamenti medi di NO₂ osservati e simulati nella stazione MNF (aprile 2019 – novembre 2020)

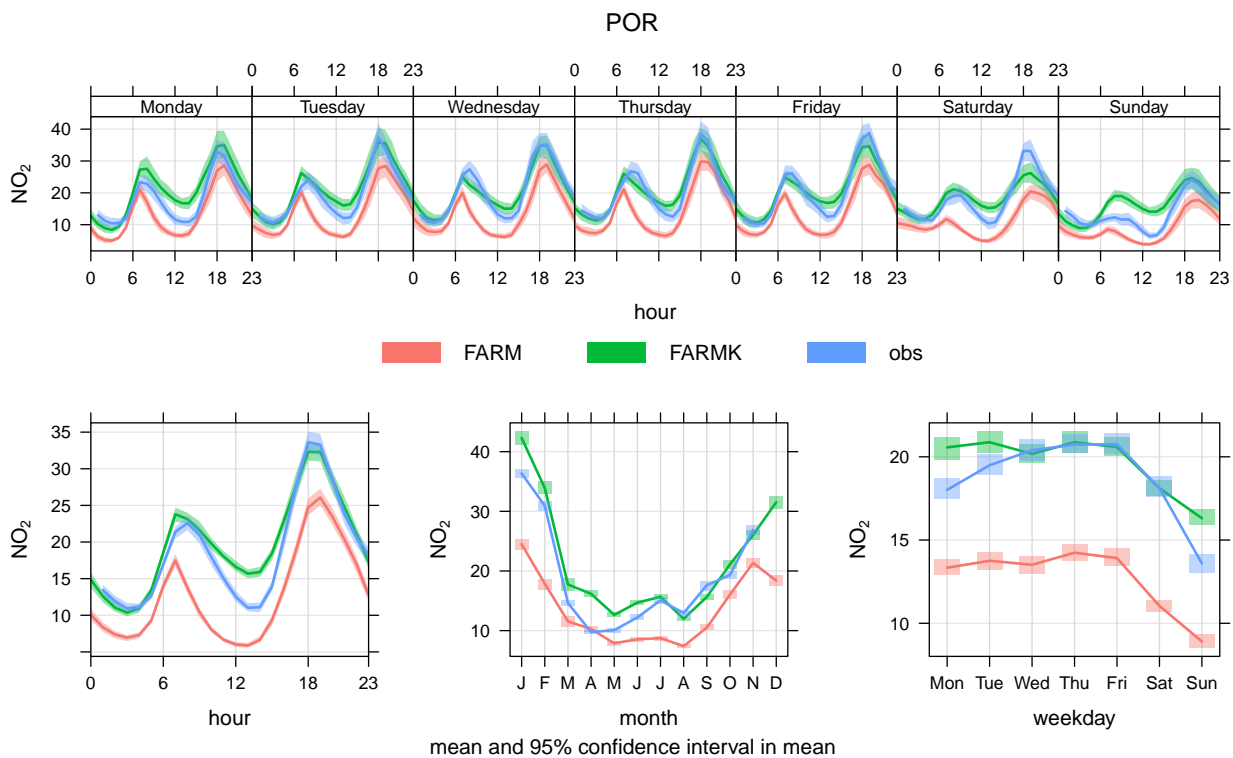


Figura 22: Andamenti medi di NO₂ osservati e simulati nella stazione POR (aprile 2019 – novembre 2020)

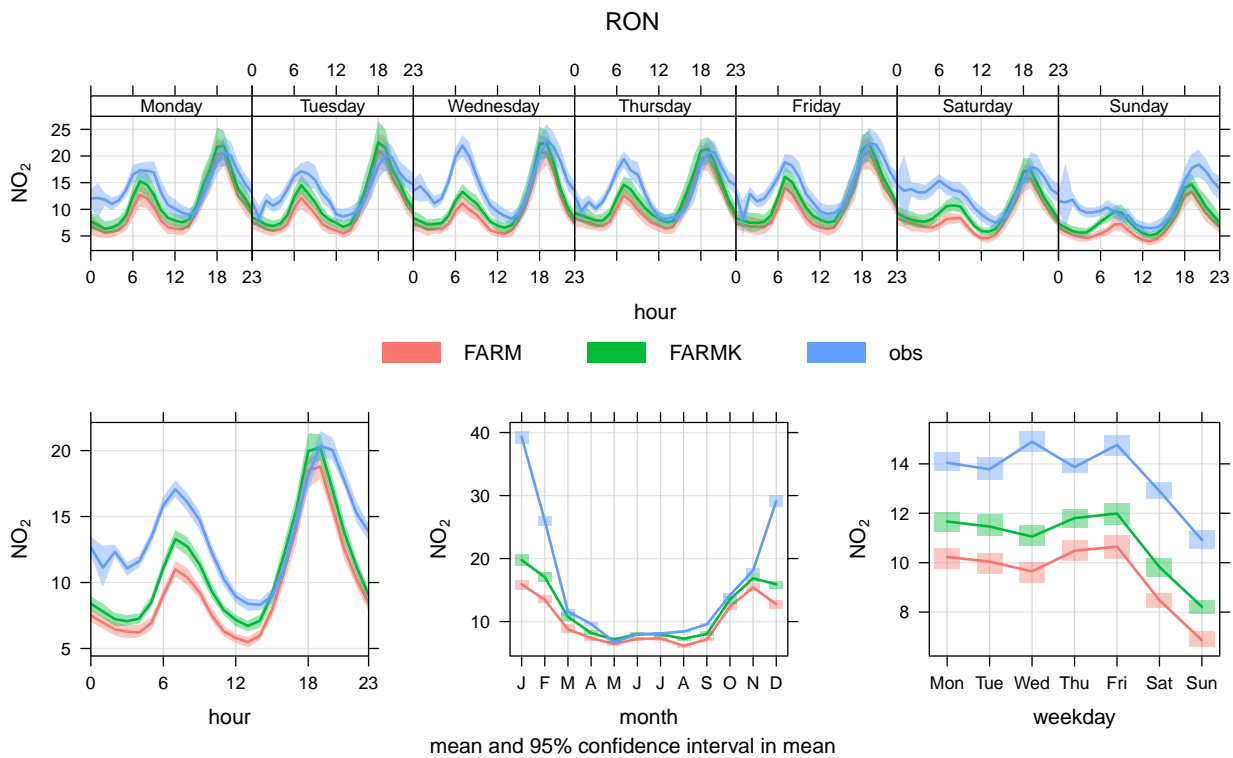


Figura 23: Andamenti medi di NO₂ osservati e simulati nella stazione RON (aprile 2019 – novembre 2020)

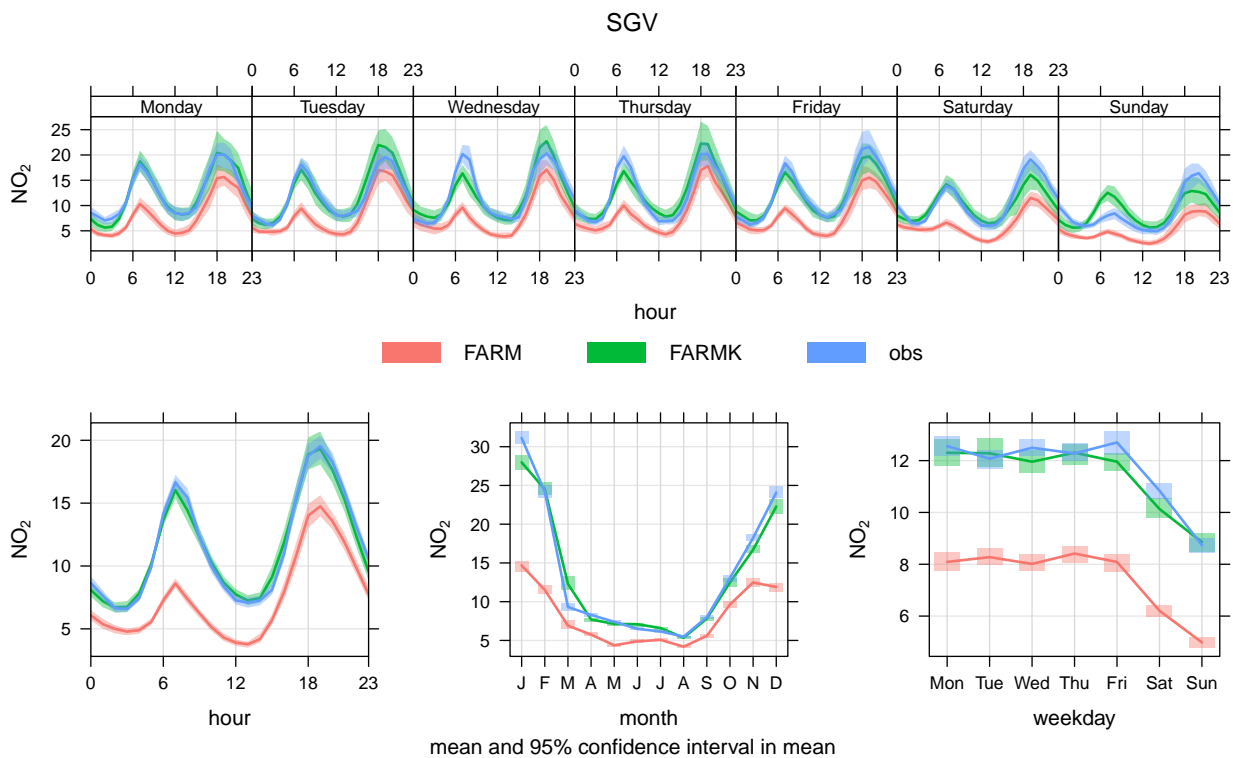


Figura 24: Andamenti medi di NO₂ osservati e simulati nella stazione SGV (aprile 2019 – novembre 2020)

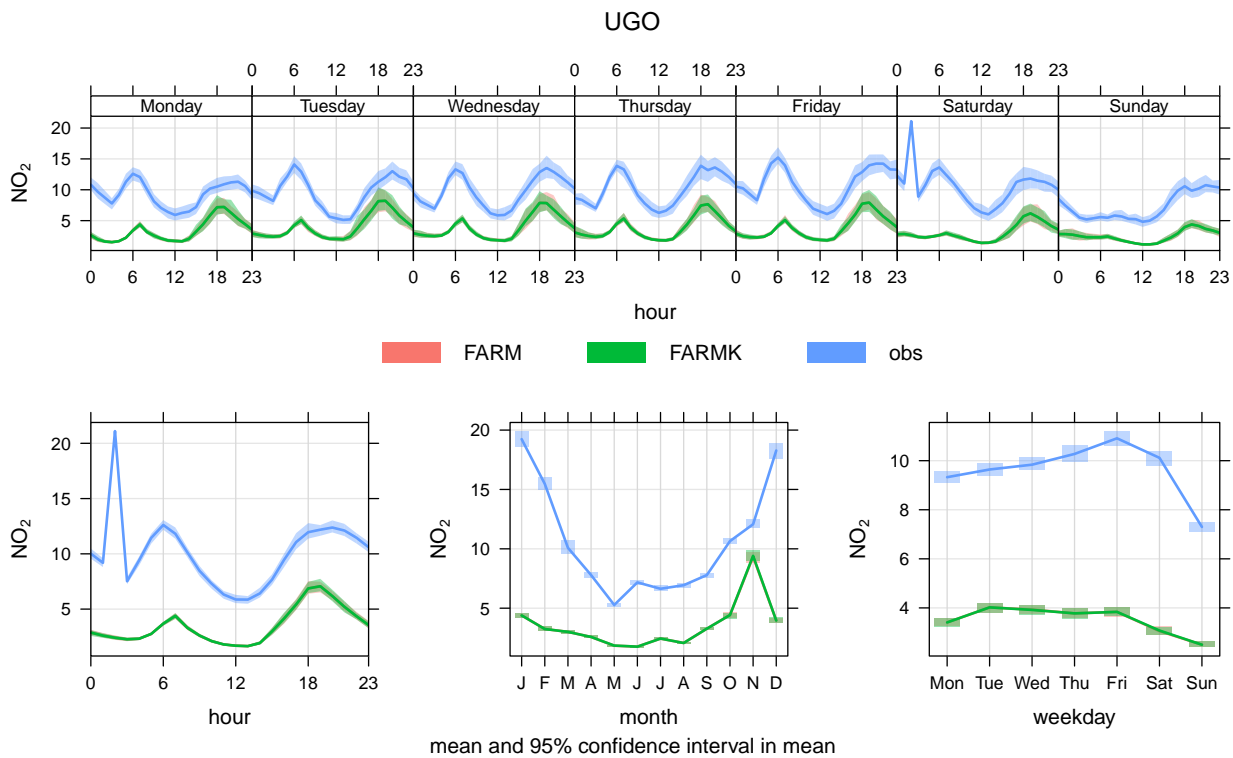


Figura 25: Andamenti medi di NO₂ osservati e simulati nella stazione UGO (aprile 2019 – novembre 2020)

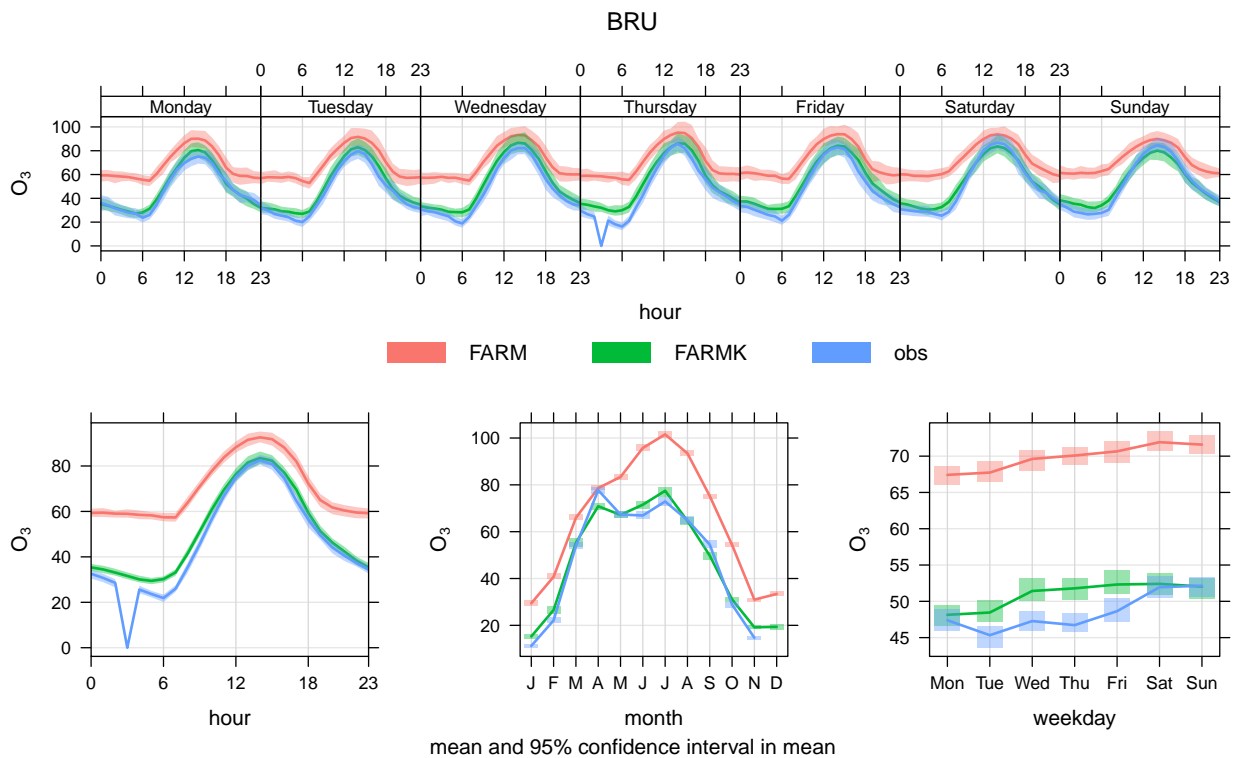


Figura 26: Andamenti medi di ozono osservati e simulati nella stazione BRU (aprile 2019 – novembre 2020)

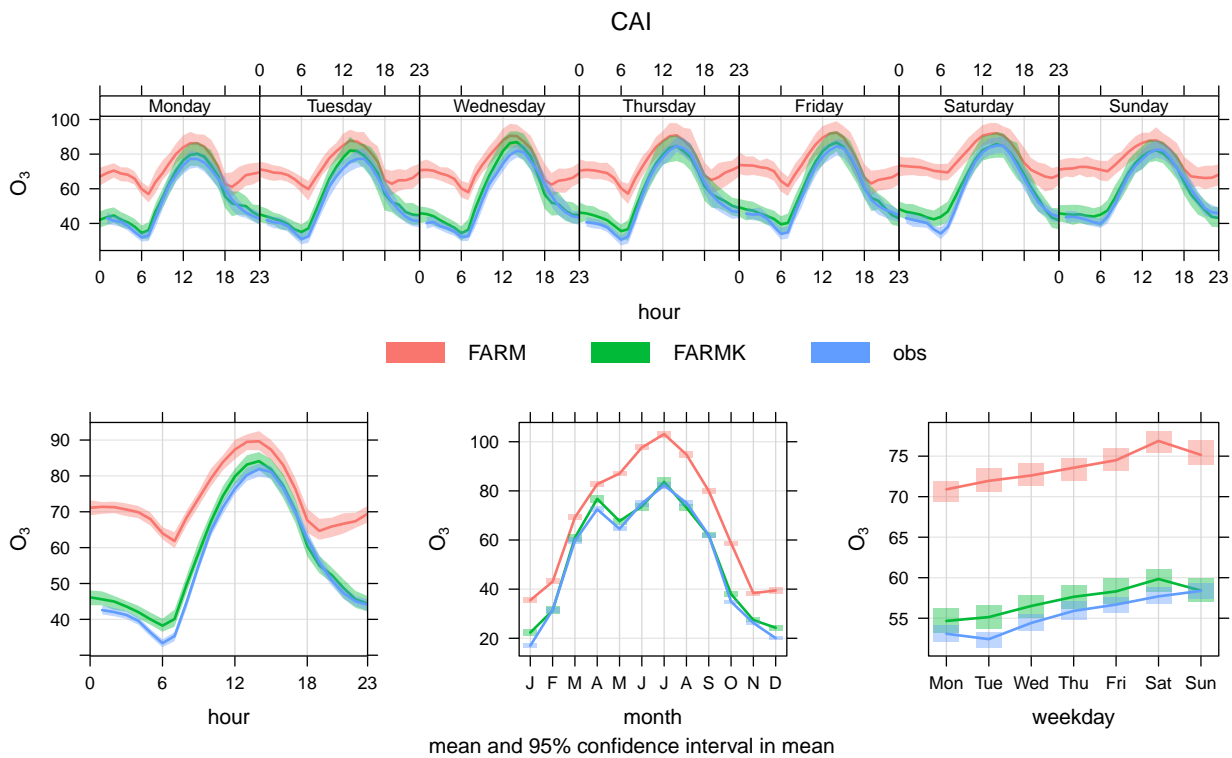


Figura 27: Andamenti medi di ozono osservati e simulati nella stazione CAI (aprile 2019 – novembre 2020)

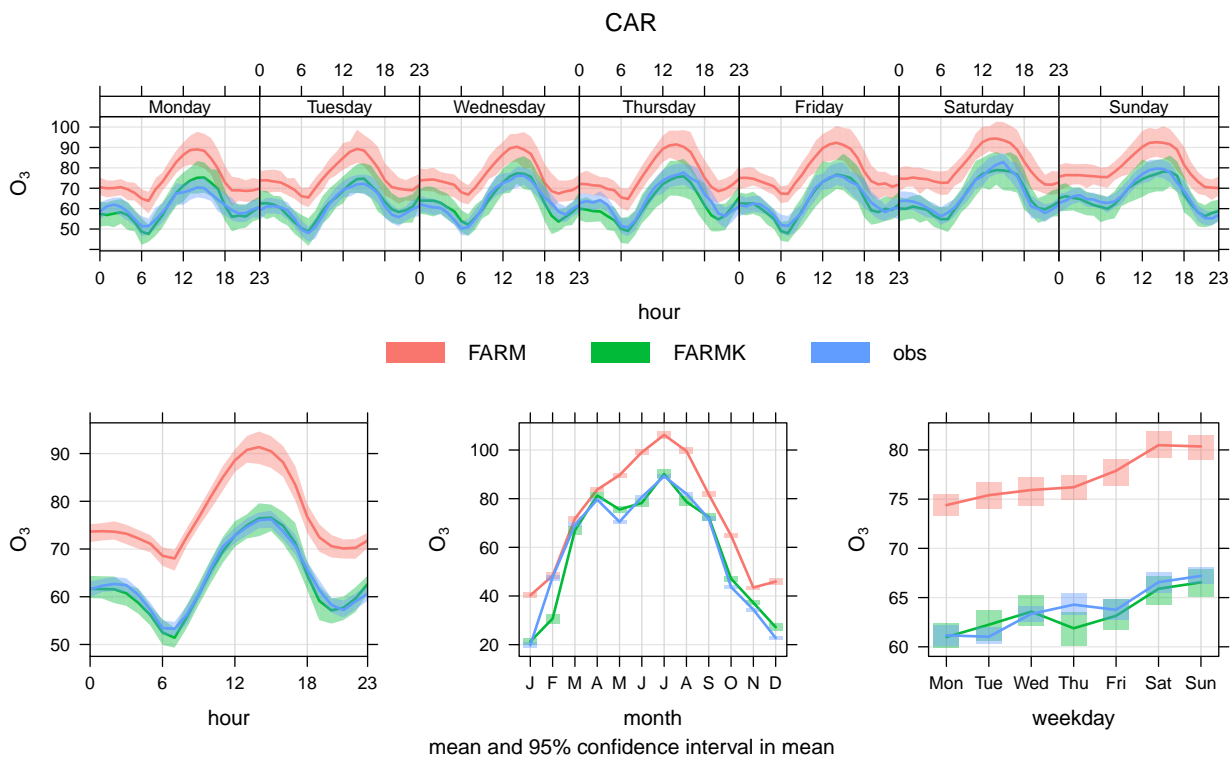


Figura 28: Andamenti medi di ozono osservati e simulati nella stazione CAR (aprile 2019 – novembre 2020)

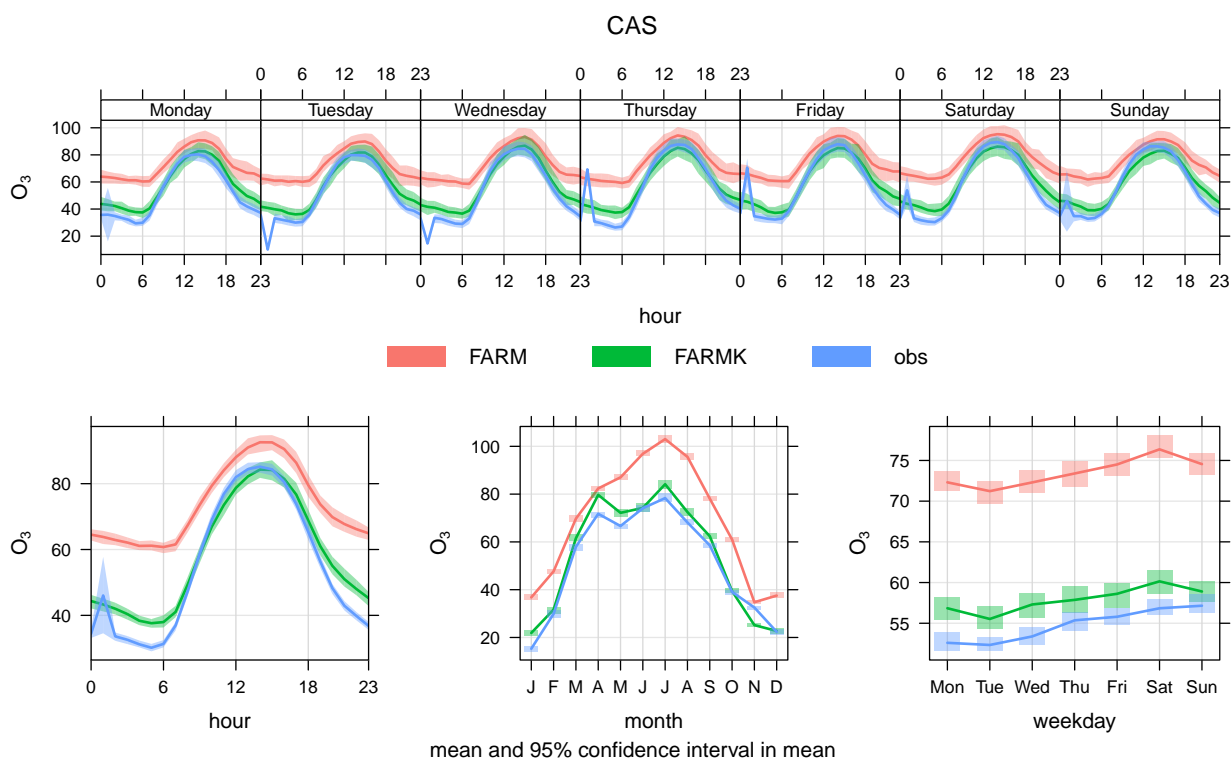


Figura 29: Andamenti medi di ozono osservati e simulati nella stazione CAS (aprile 2019 – novembre 2020)

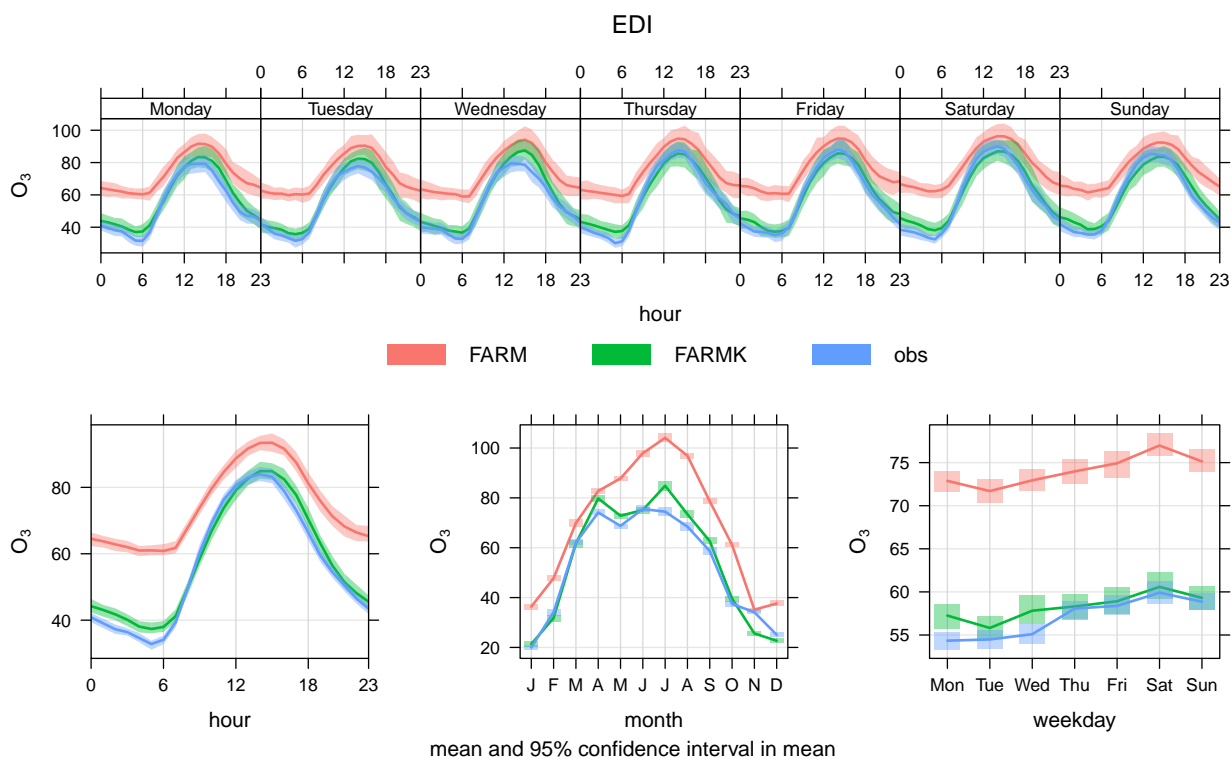


Figura 30: Andamenti medi di ozono osservati e simulati nella stazione EDI (aprile 2019 – novembre 2020)

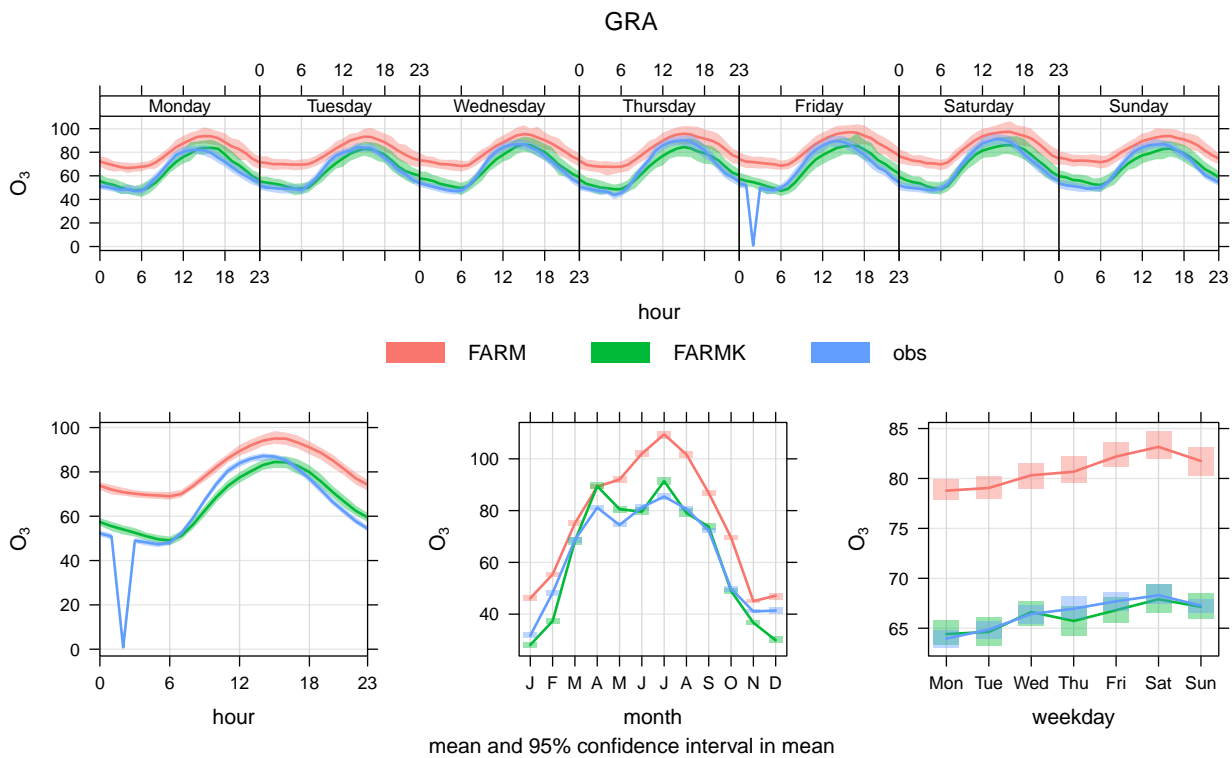


Figura 31: Andamenti medi di ozono osservati e simulati nella stazione GRA (aprile 2019 – novembre 2020)

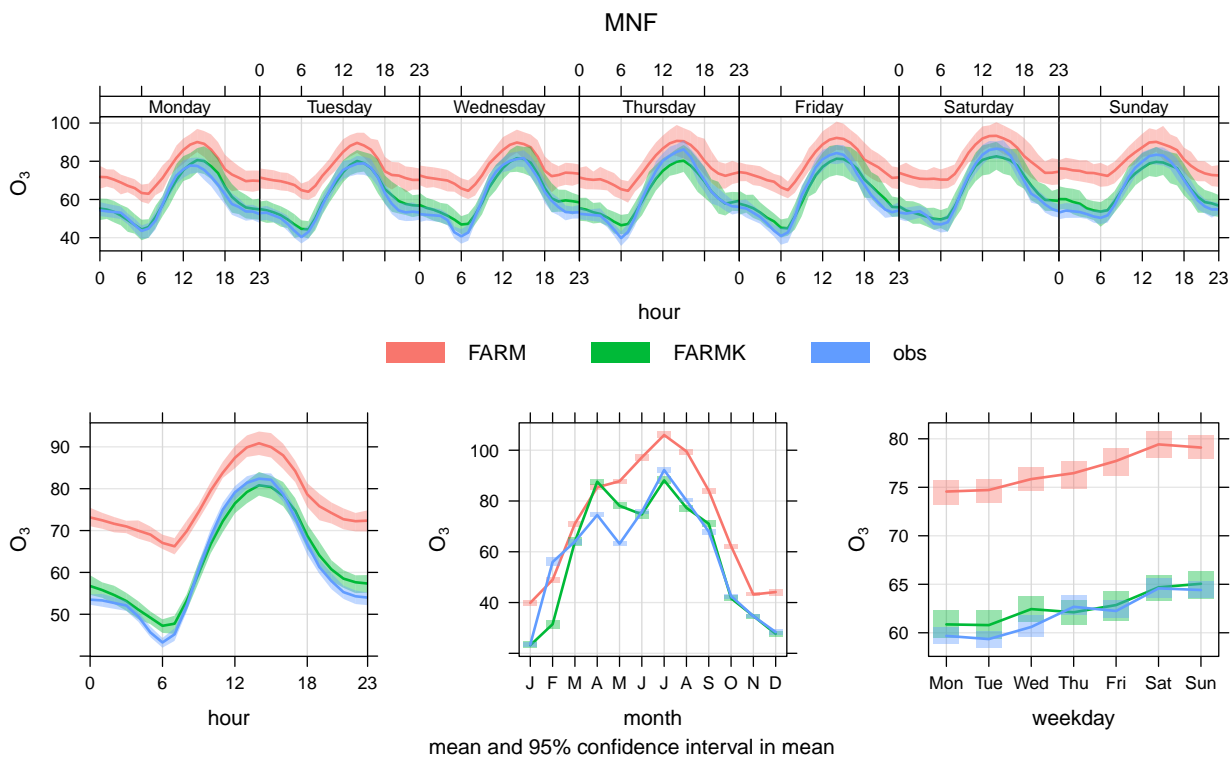


Figura 32: Andamenti medi di ozono osservati e simulati nella stazione MNF (aprile 2019 – novembre 2020)

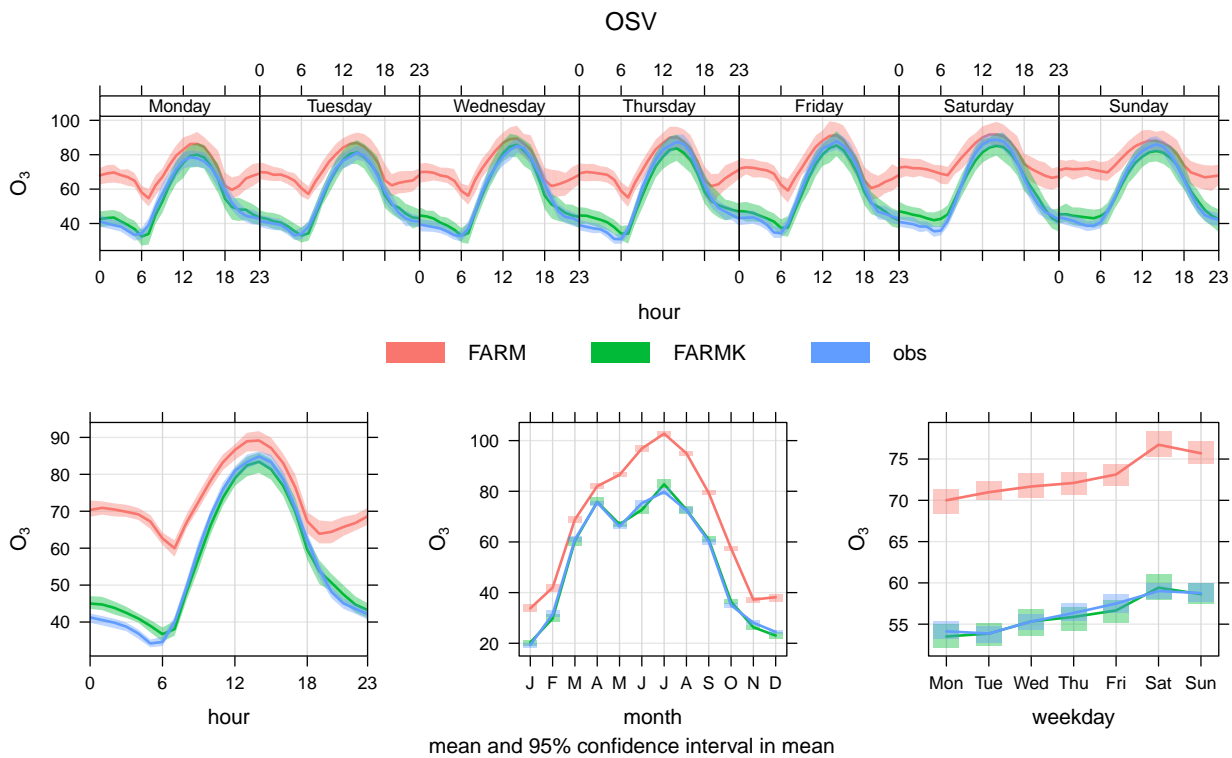


Figura 33: Andamenti medi di ozono osservati e simulati nella stazione OSV (aprile 2019 – novembre 2020)

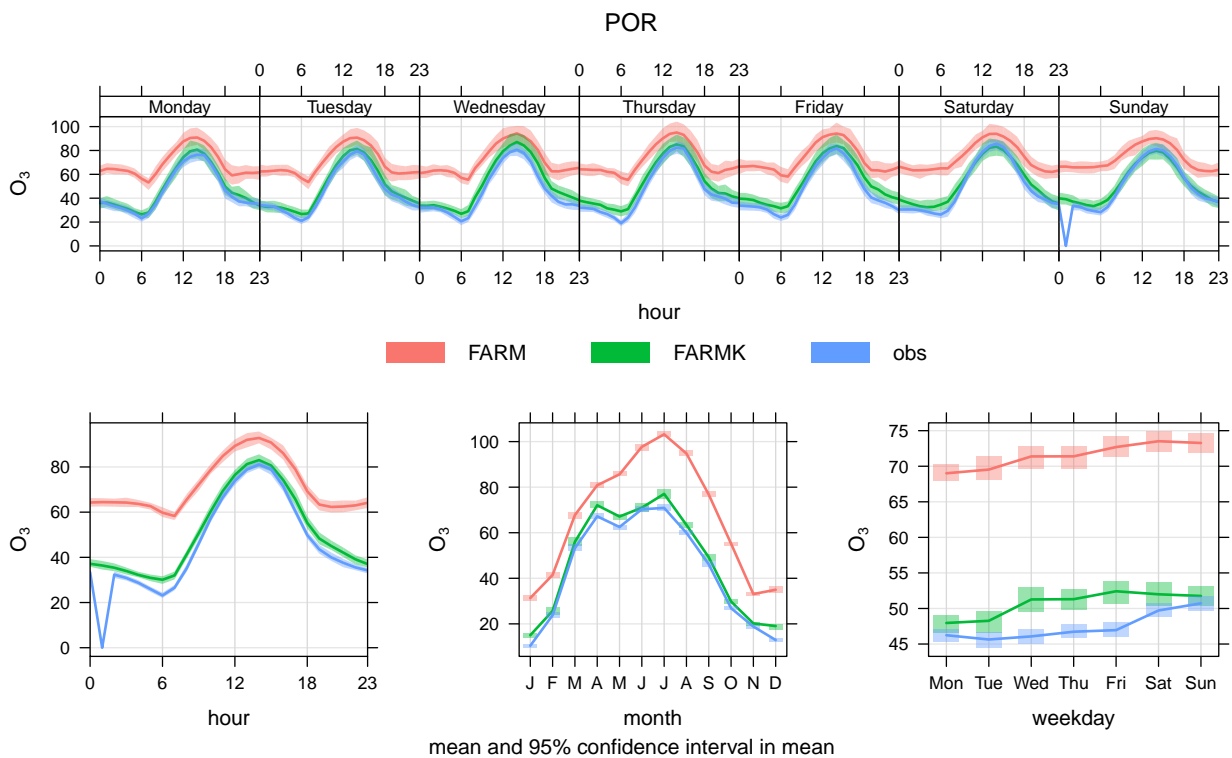


Figura 34: Andamenti medi di ozono osservati e simulati nella stazione POR (aprile 2019 – novembre 2020)

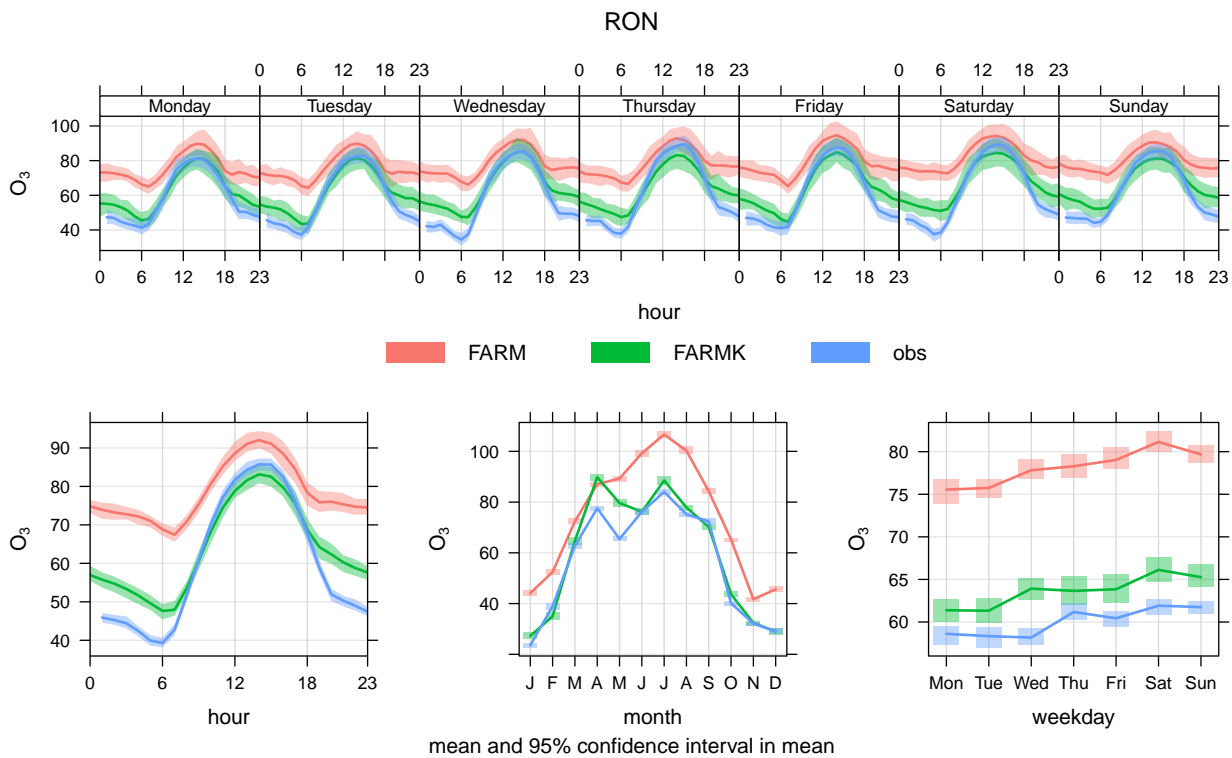


Figura 35: Andamenti medi di ozono osservati e simulati nella stazione RON (aprile 2019 – novembre 2020)

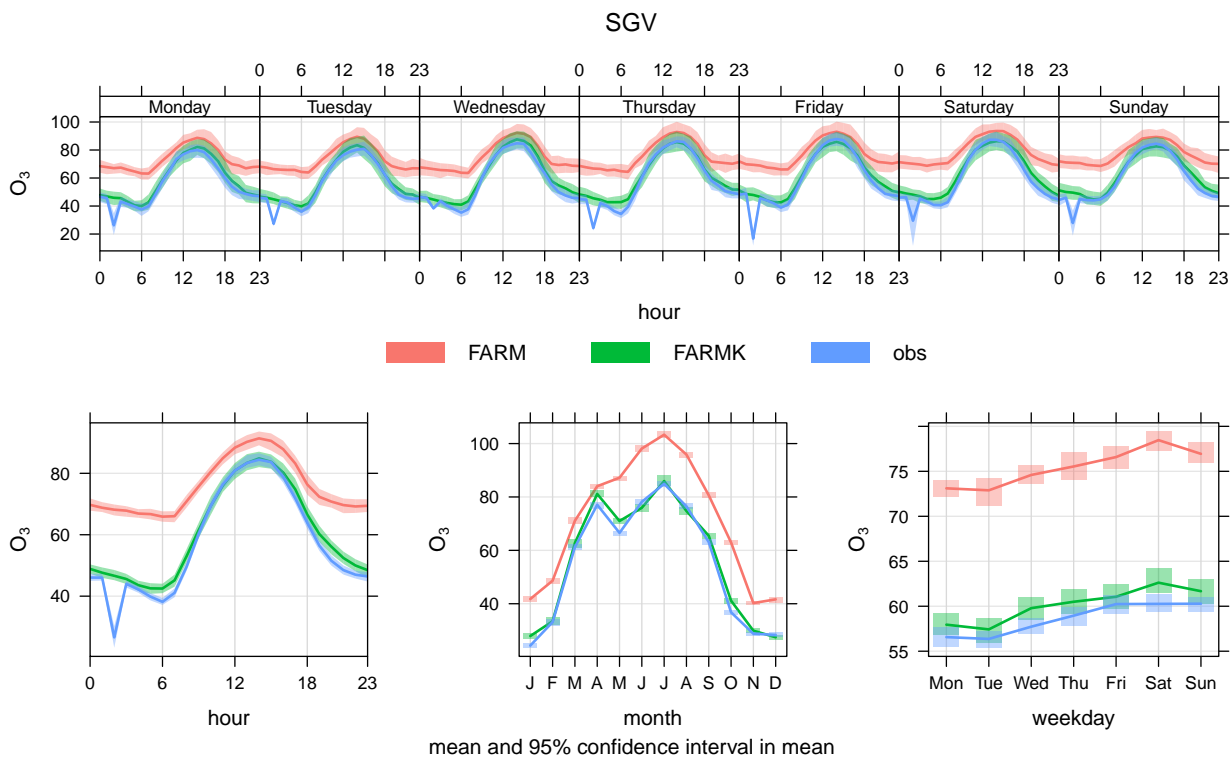


Figura 36: Andamenti medi di ozono osservati e simulati nella stazione SGV (aprile 2019 – novembre 2020)

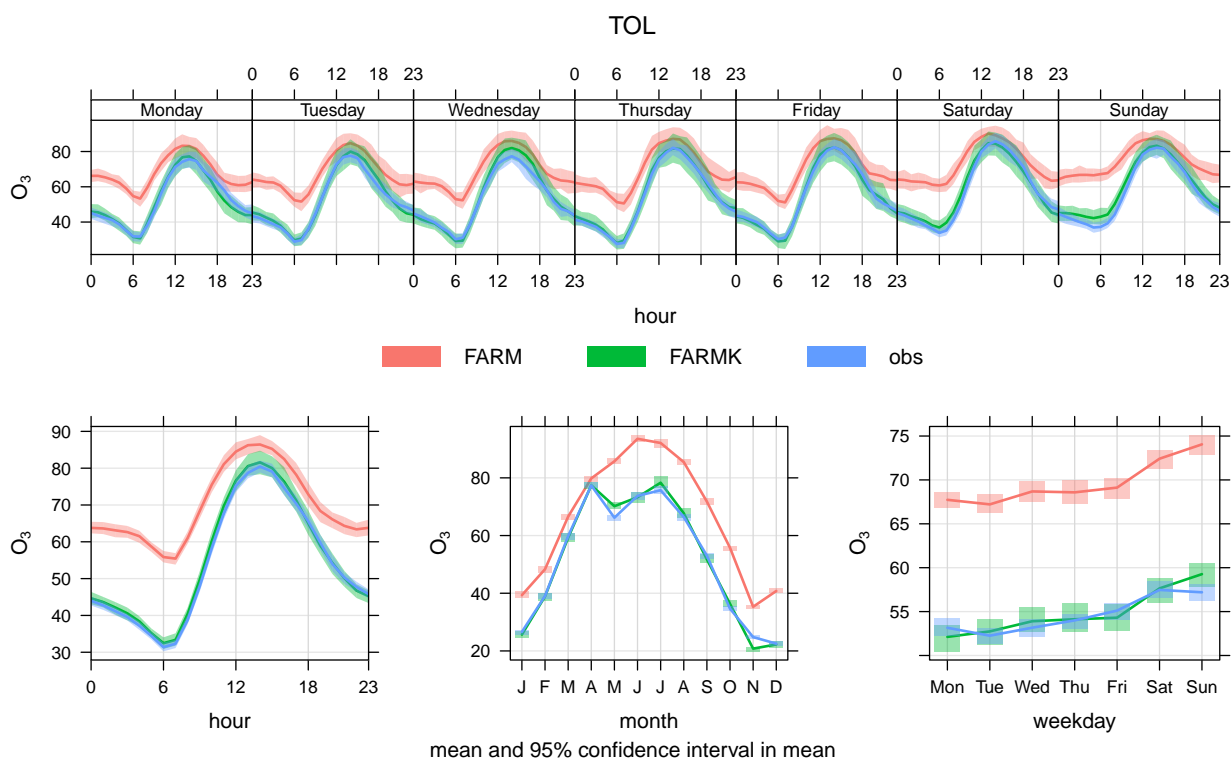


Figura 37: Andamenti medi di ozono osservati e simulati nella stazione TOL (aprile 2019 – novembre 2020)

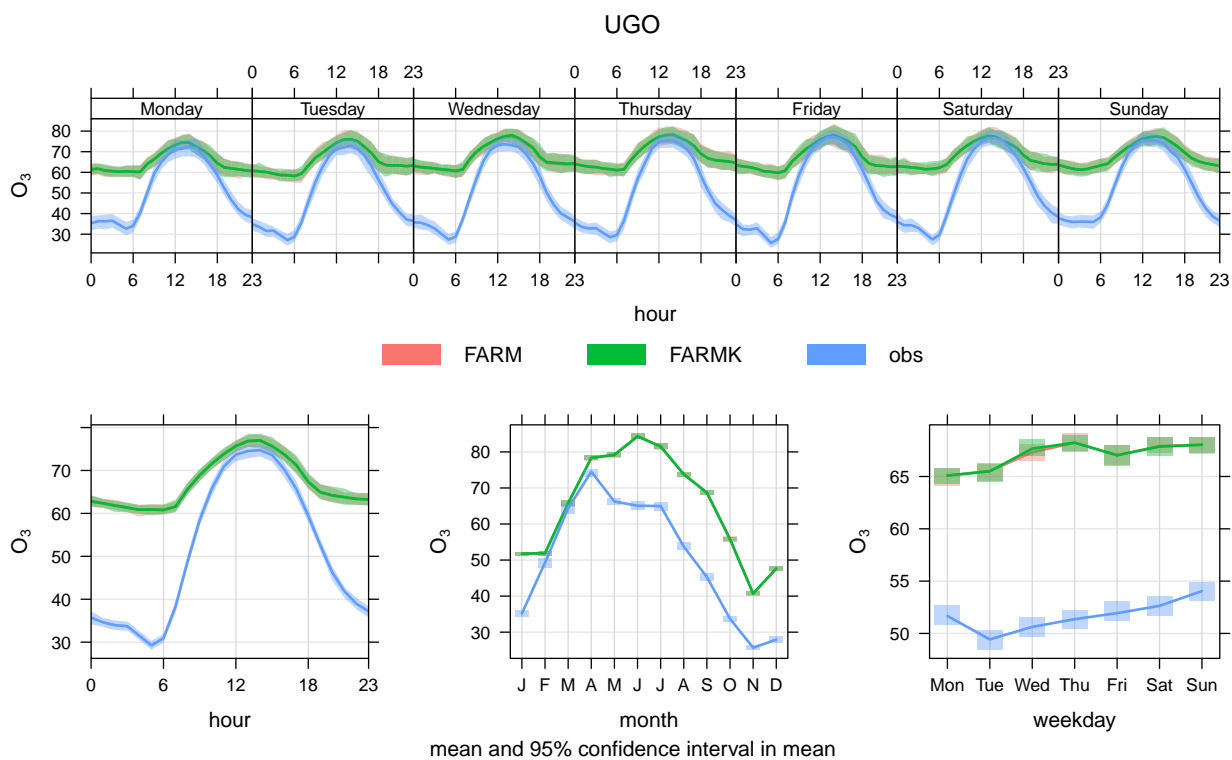


Figura 38: Andamenti medi di ozono osservati e simulati nella stazione UGO (aprile 2019 – novembre 2020)

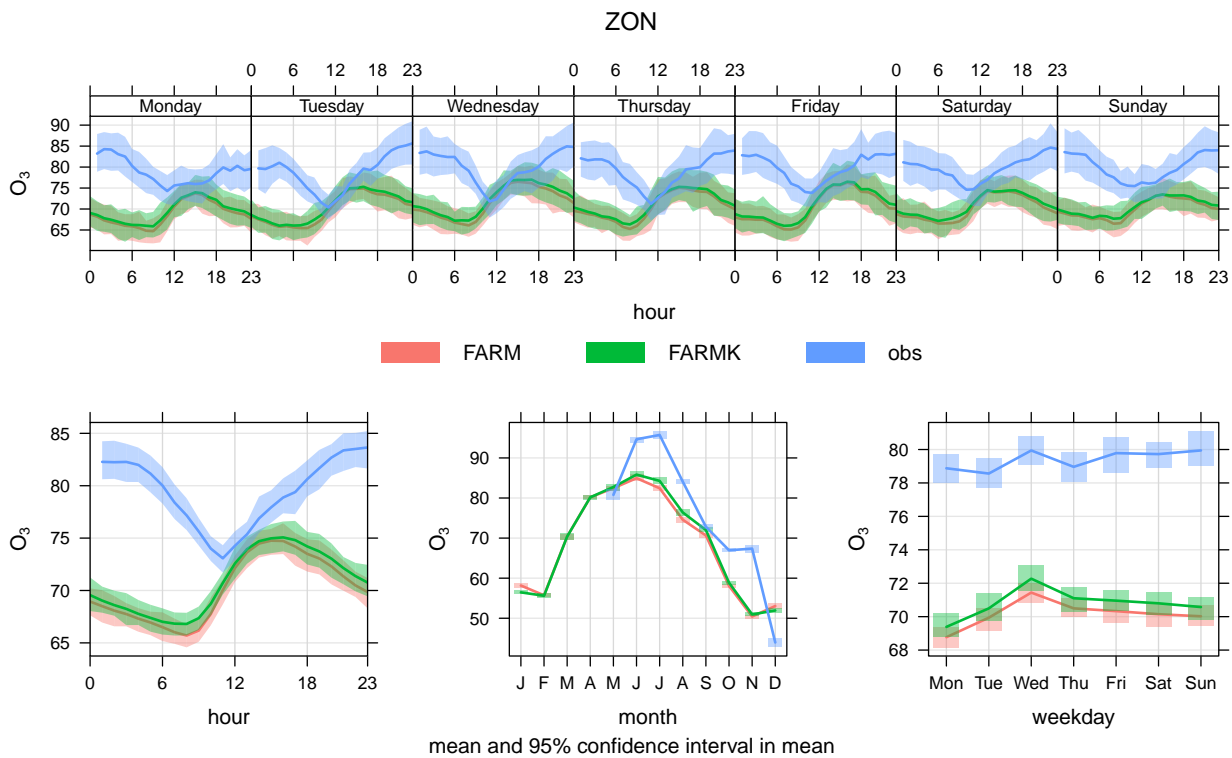


Figura 39: Andamenti medi di ozono osservati e simulati nella stazione ZON (aprile 2019 – novembre 2020)

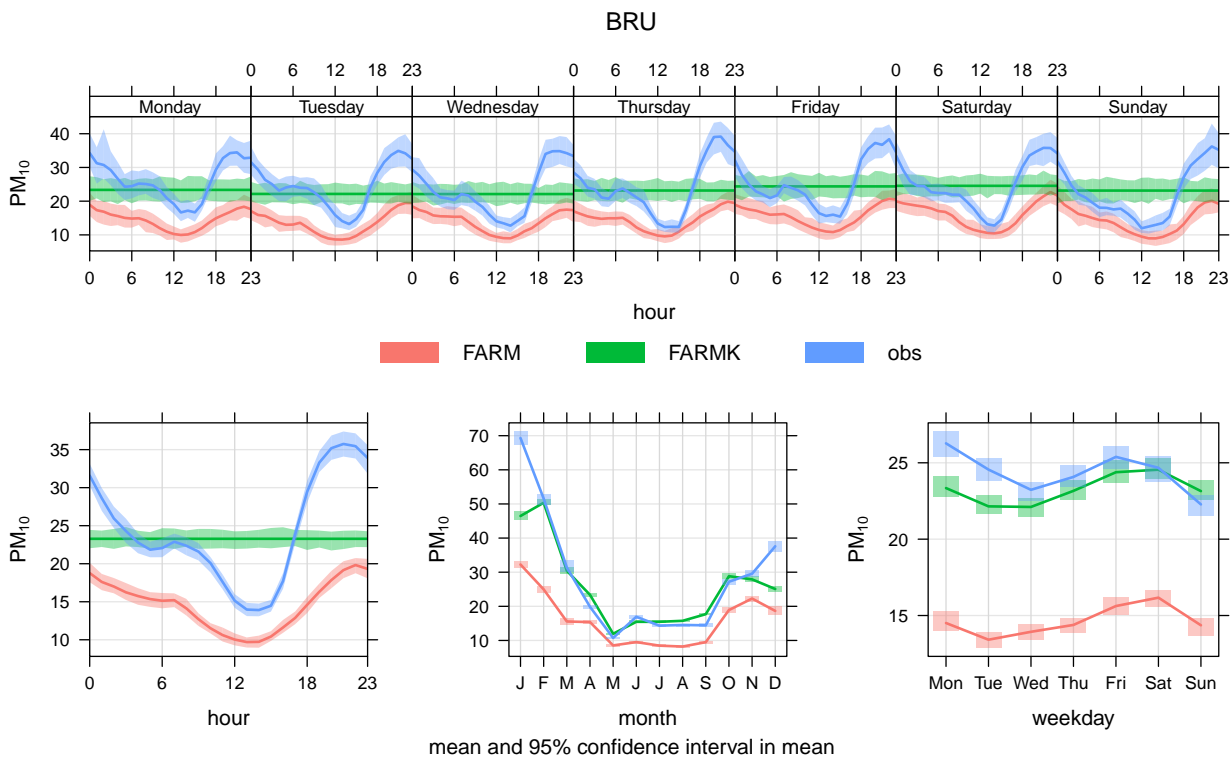


Figura 40: Andamenti medi di PM10 osservati e simulati nella stazione BRU (aprile 2019 – novembre 2020)

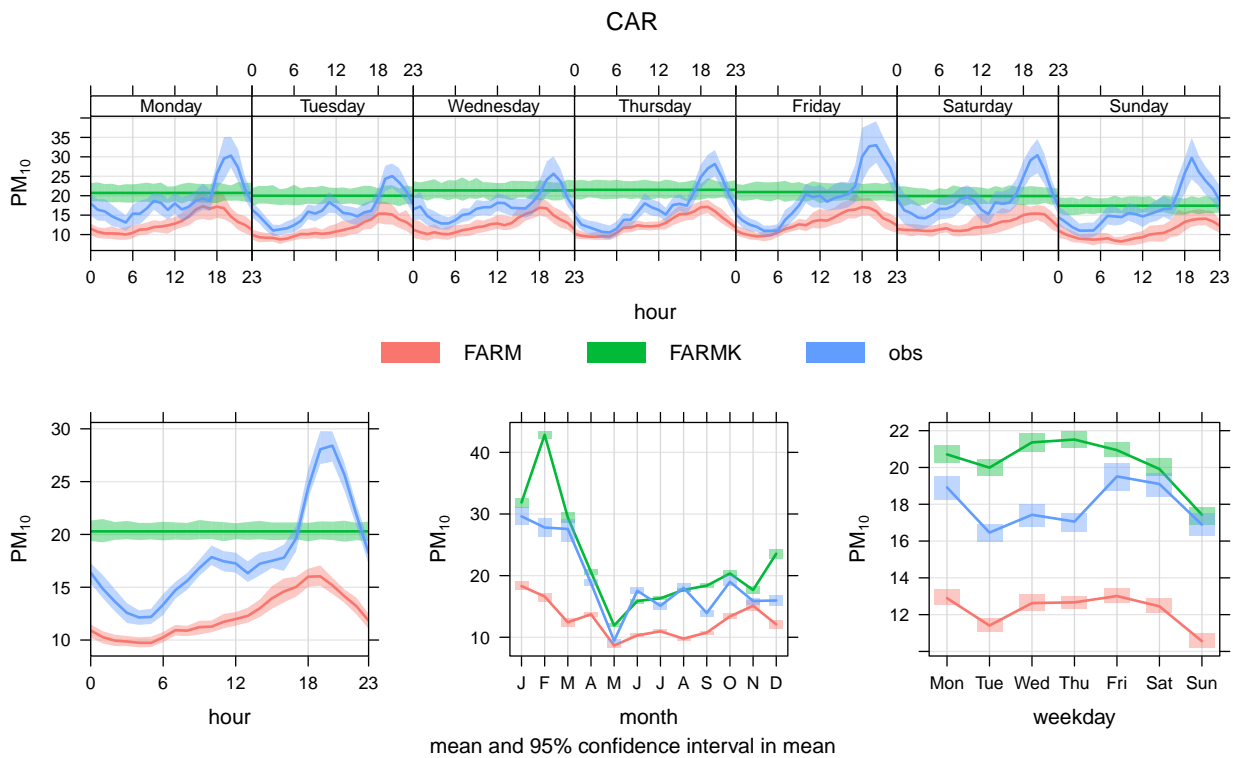


Figura 41: Andamenti medi di PM₁₀ osservati e simulati nella stazione CAR (aprile 2019 – novembre 2020)

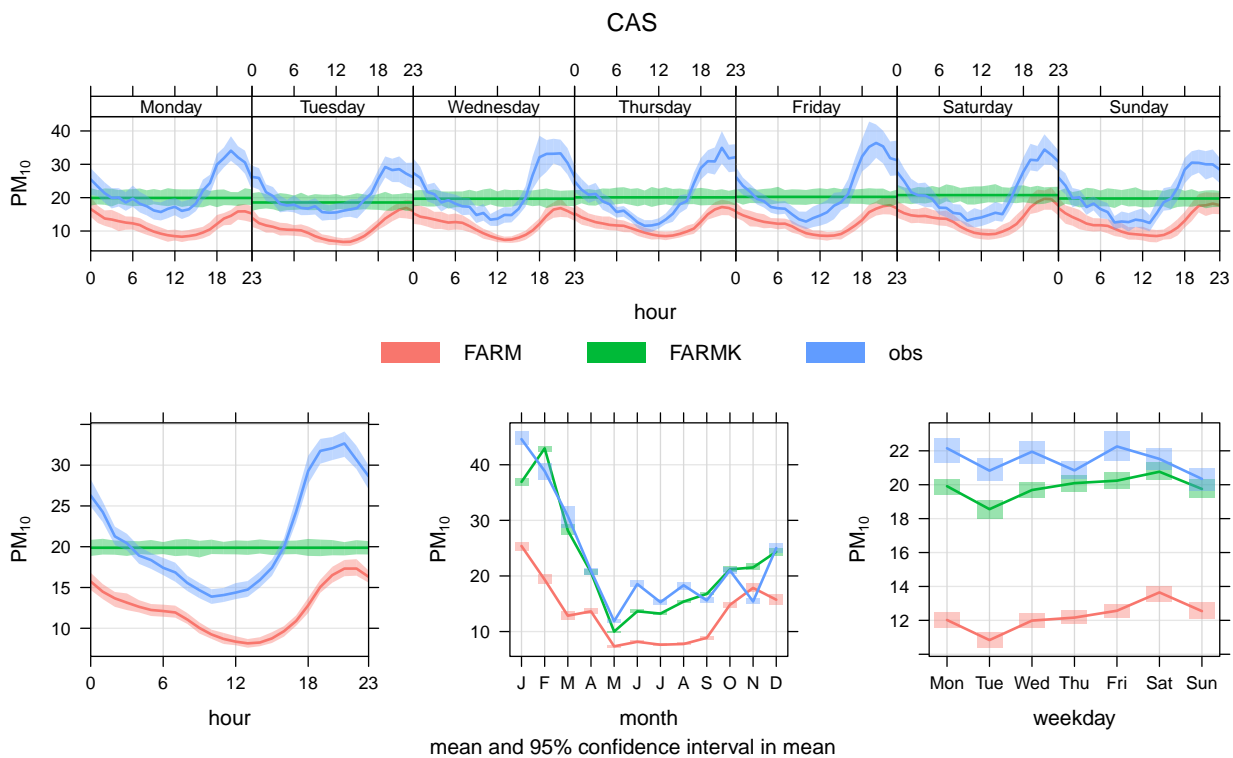


Figura 42: Andamenti medi di PM₁₀ osservati e simulati nella stazione CAS (aprile 2019 – novembre 2020)

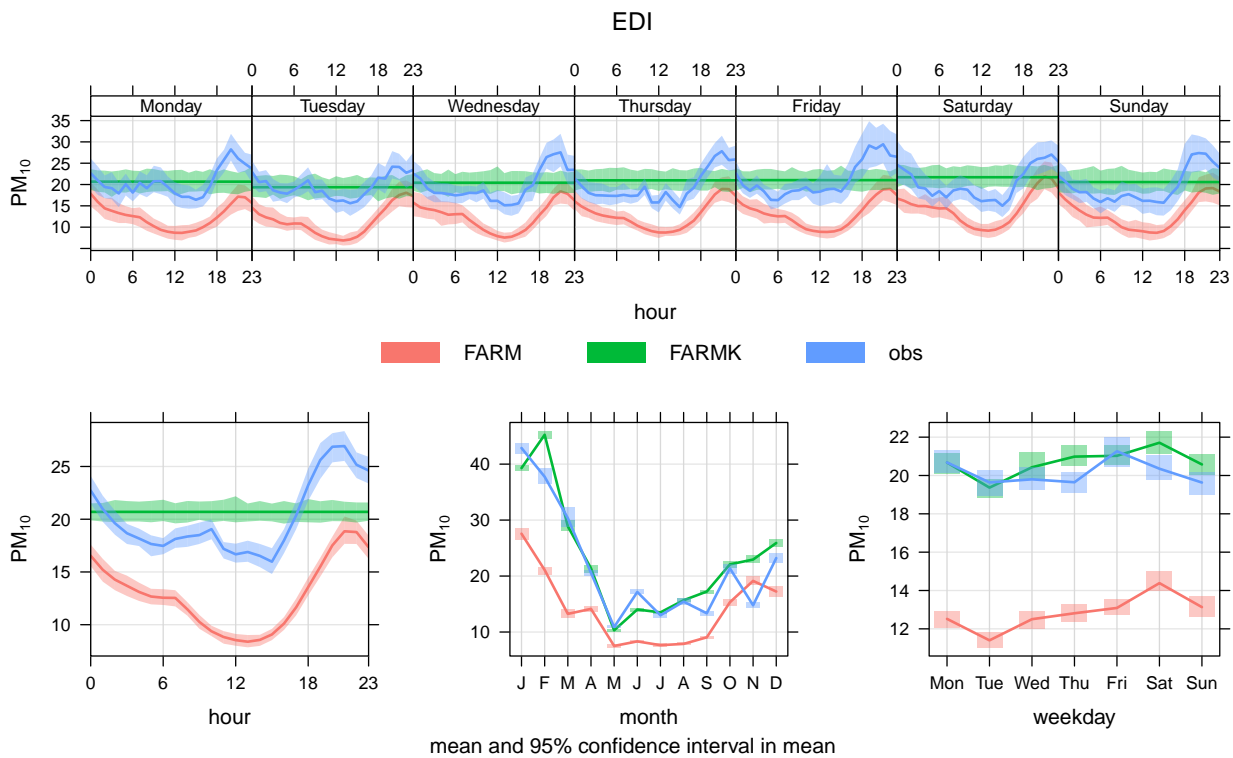


Figura 43: Andamenti medi di PM10 osservati e simulati nella stazione EDI (aprile 2019 – novembre 2020)

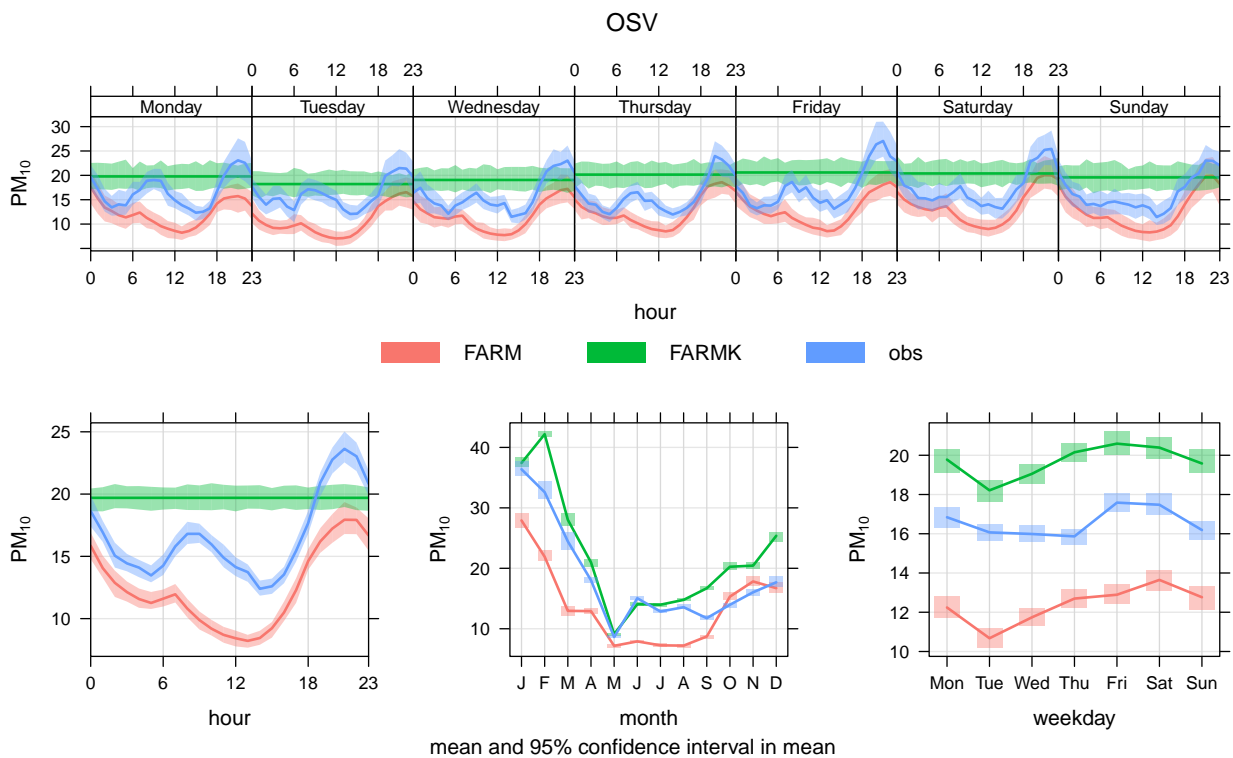


Figura 44: Andamenti medi di PM10 osservati e simulati nella stazione OSV (aprile 2019 – novembre 2020)

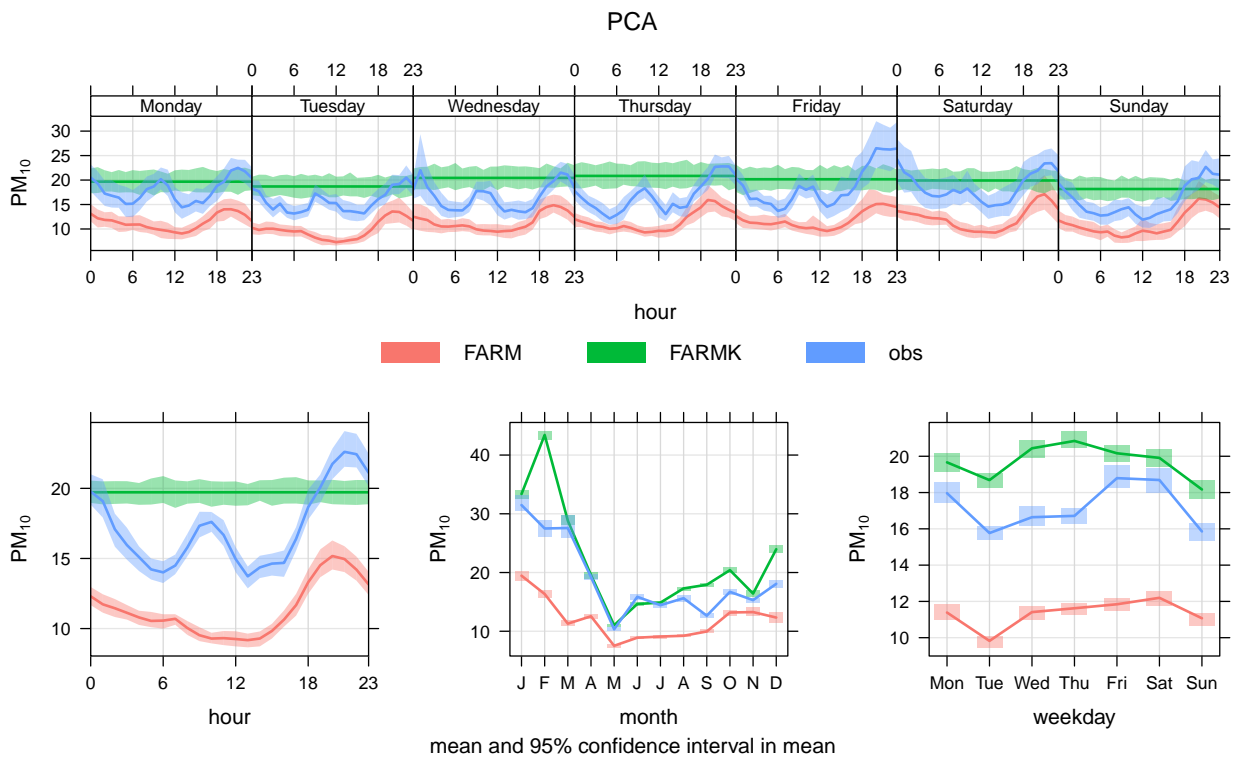


Figura 45: Andamenti medi di PM₁₀ osservati e simulati nella stazione PCA (aprile 2019 – novembre 2020)

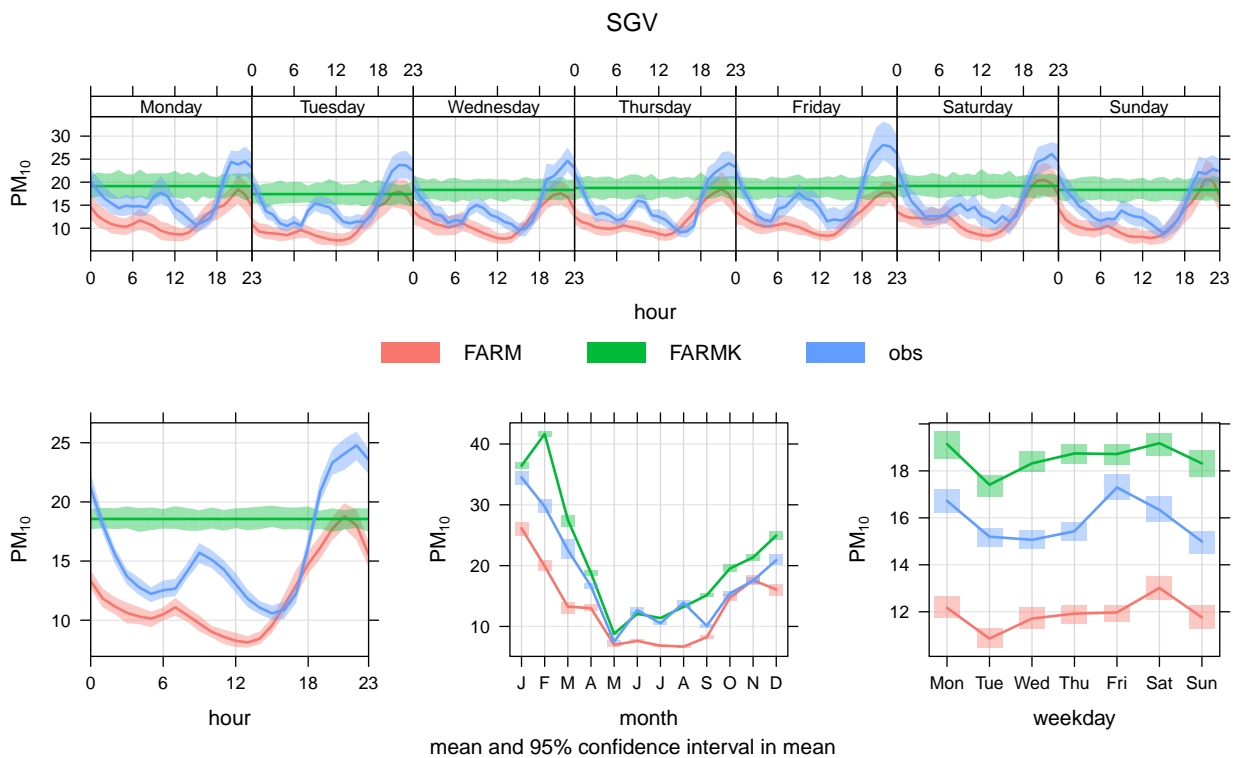


Figura 46: Andamenti medi di PM₁₀ osservati e simulati nella stazione SGV (aprile 2019 – novembre 2020)

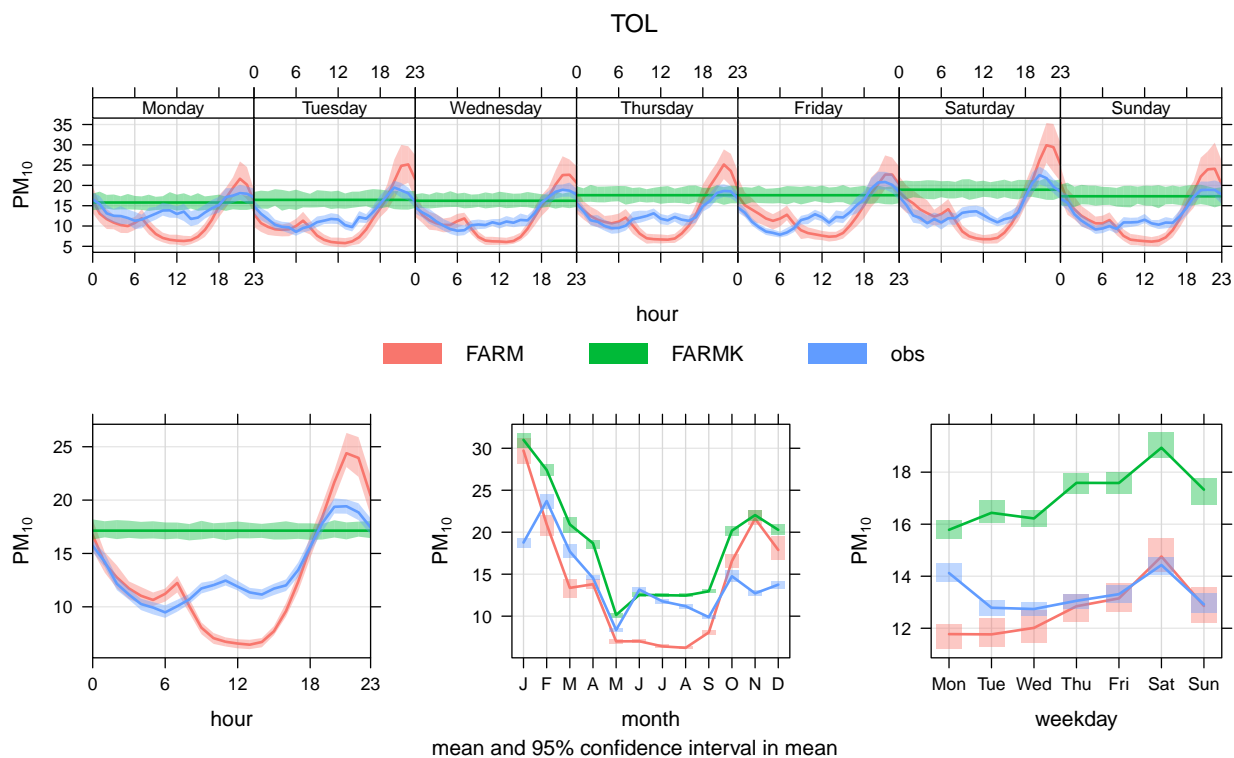


Figura 47: Andamenti medi di PM10 osservati e simulati nella stazione TOL (aprile 2019 – novembre 2020)

- per il **PM10** (figg.40–47)³
 - la forma degli andamenti è abbastanza ben riprodotta;
 - FARM sottostima quasi ovunque quasi sempre; fa eccezione Tolmezzo (TOL fig.47), mediamente sovrastimata la sera in inverno;
 - FARMK corregge abbastanza bene il *bias*, ma in diverse stazioni tende a sovrastimare (CAR fig.41, OSV fig.44, PCA fig.45, SGV fig.46, TOL fig.47).

2.4 Analisi di episodi

Come si è visto nella sezione 2.2, a marzo 2020 la qualità della previsione di PM10 è stata scarsa. Analizziamo perciò in dettaglio l'andamento della previsione giornaliera (fig.48). Spicca il notevole impatto dell'evento di trasporto di polveri di origine crostale dalla regione del Mar Caspio [1], non previsto da FARM. Nei giorni seguenti, in misura variabile nelle varie stazioni, il sistema di correzione dinamica ha aggiustato al rialzo la previsione di FARMK, determinando per tre giorni una netta sovrastima.

Si nota inoltre che nelle prime settimane del *lockdown* le previsioni di FARM, nonostante fossero piuttosto accurate, sono state corrette al rialzo da FARMK. L'indicatore NMGE è particolarmente sensibile alle sovrastime che avvengono in periodi di concentrazioni basse, come in questo caso; infatti il valore medio dell'osservato si trova al denominatore della formula che lo definisce, come si vede in tabella 1.

³per PM10, FARMK produce previsioni delle medie giornaliere, quindi gli andamenti giornalieri e settimanali delle medie orarie sono piatti e non vanno considerati

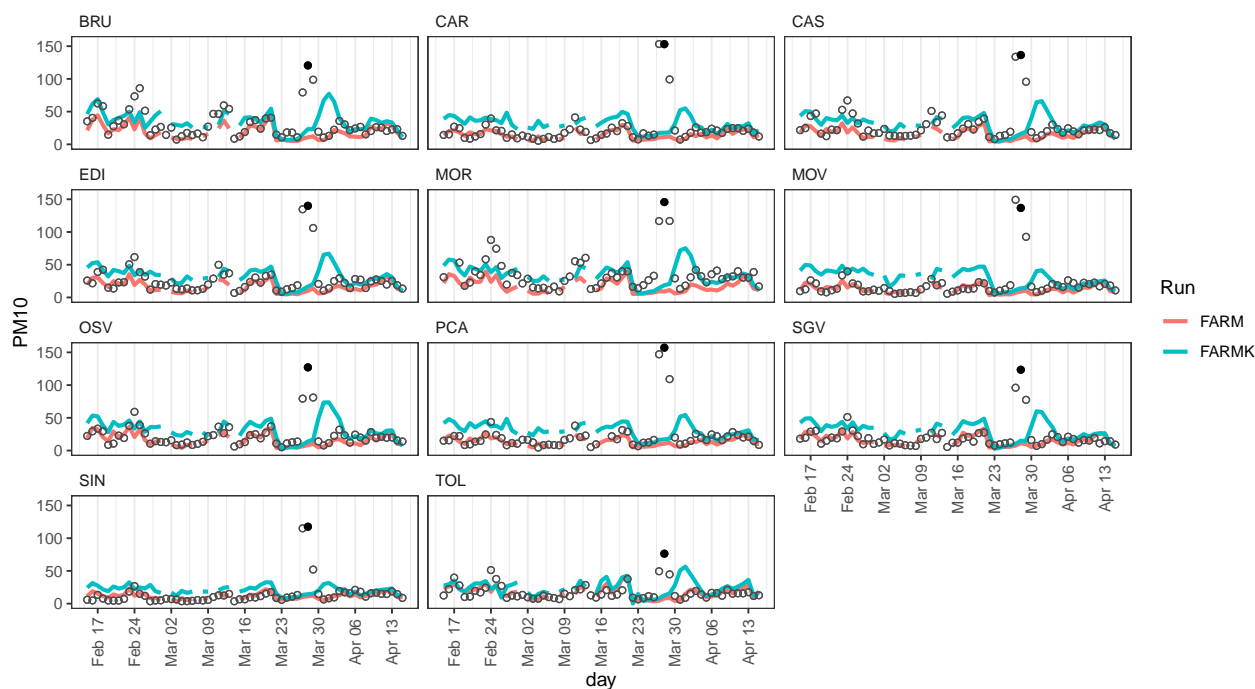
PM10: 2020-02-15 to 2020-04-15
(highlighted Mar 28)


Figura 48: PM10 osservato e simulato nel periodo 15/2–15/4/2020. In evidenza il 28 marzo 2020, secondo dei tre giorni in cui un consistente trasporto di polveri desertiche ha interessato la nostra regione.

Considerato l'effetto dannoso che un picco anche breve può avere sulle previsioni di FARMK nei giorni seguenti, controlliamo se qualcosa di simile a quanto avvenuto a fine marzo si sia verificato anche in corrispondenza dei tradizionali fuochi epifanici. Il sistema di correzione dinamica è attivo da aprile 2019, ma il 5 e 6 gennaio 2020 le condizioni meteorologiche hanno smussato l'impatto delle emissioni dei fuochi tradizionali (fig.52), pertanto non si è osservato un peggioramento della previsione. Tuttavia negli anni e nei luoghi in cui i fuochi epifanici determinano evidenti anomalie, è lecito aspettarsi da FARMK una sovrastima anche significativa nei giorni seguenti. Ripercorrendo gli ultimi anni, nel 2017 l'anomalia non si è verificata (fig.49), nel 2018 in pianura sì (fig.50), nel 2019 con minore intensità (fig.51). In nessun caso FARM ha potuto riprodurla, non essendo inclusa nei suoi dati in ingresso l'informazione relativa a queste particolari emissioni.

3. Conclusioni e prospettive

Le prime ipotesi sulle cause che hanno determinato il deterioramento della qualità di previsione del PM10 nel primo semestre 2020 sono sostanzialmente confermate da questo studio. Prima di procedere ad un'analisi approfondita, ritenevamo che la qualità delle previsioni avesse risentito del verificarsi di alcuni eventi non considerati correttamente dal modello:

1. un evento consueto ma non modellizzato, i fuochi tradizionali del 5 e 6 gennaio;
2. un evento naturale ma di intensità insolita per la nostra regione, il trasporto in quota di polveri desertiche dal Mar Caspio, avvenuto il 27, il 28 e il 29 marzo;

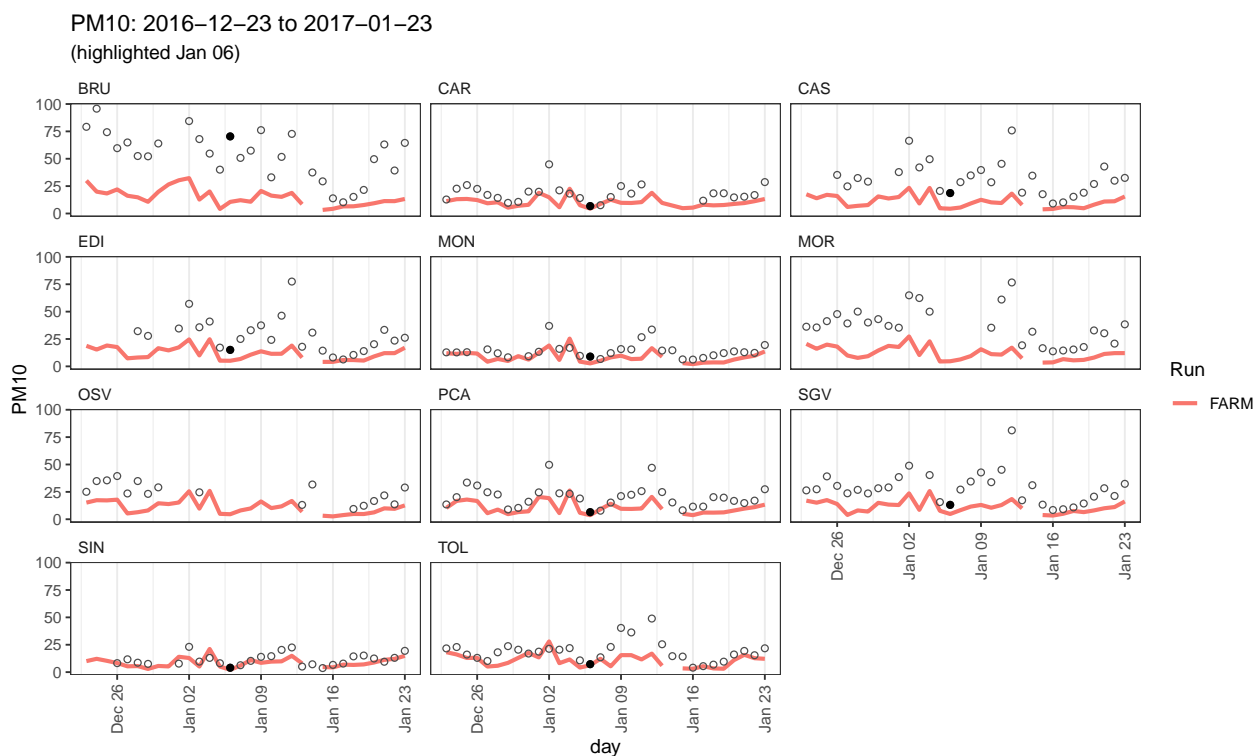


Figura 49: PM10 osservato e simulato nel periodo 23/12/2016 – 23/1/2017. In evidenza il 6 gennaio 2017.

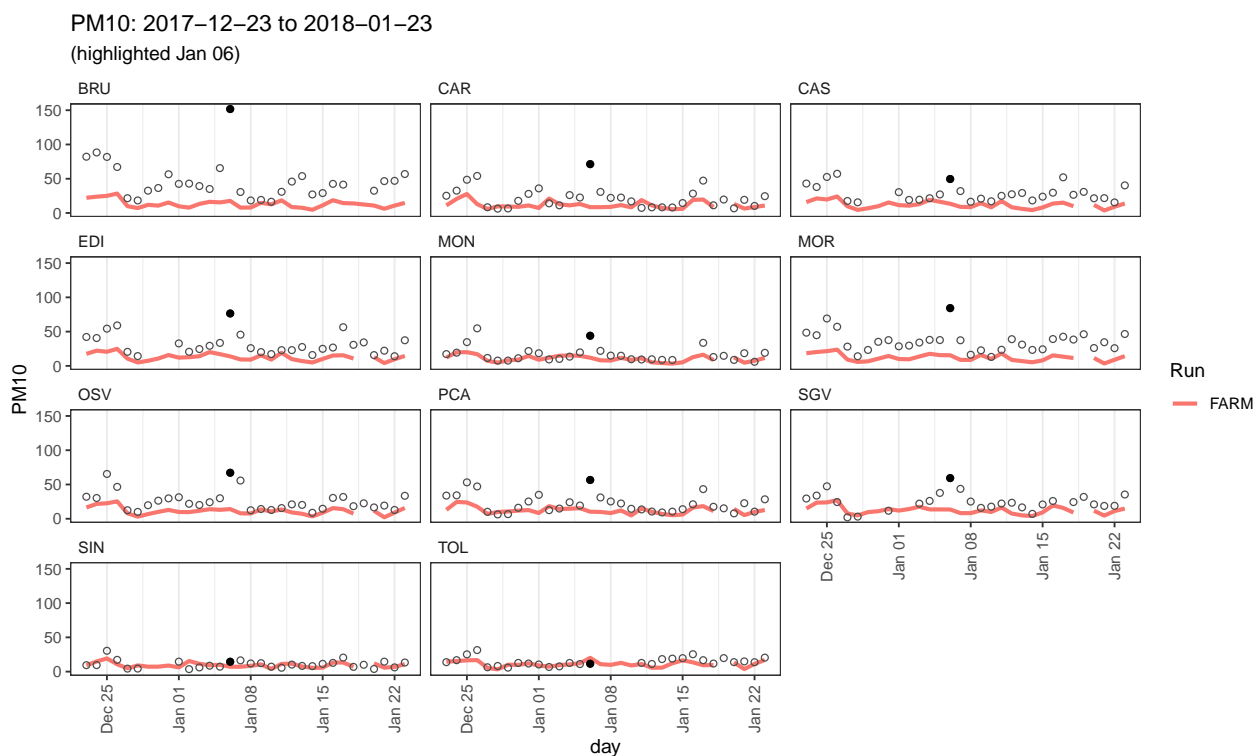


Figura 50: PM10 osservato e simulato nel periodo 23/12/2017 – 23/1/2018. In evidenza il 6 gennaio 2018.

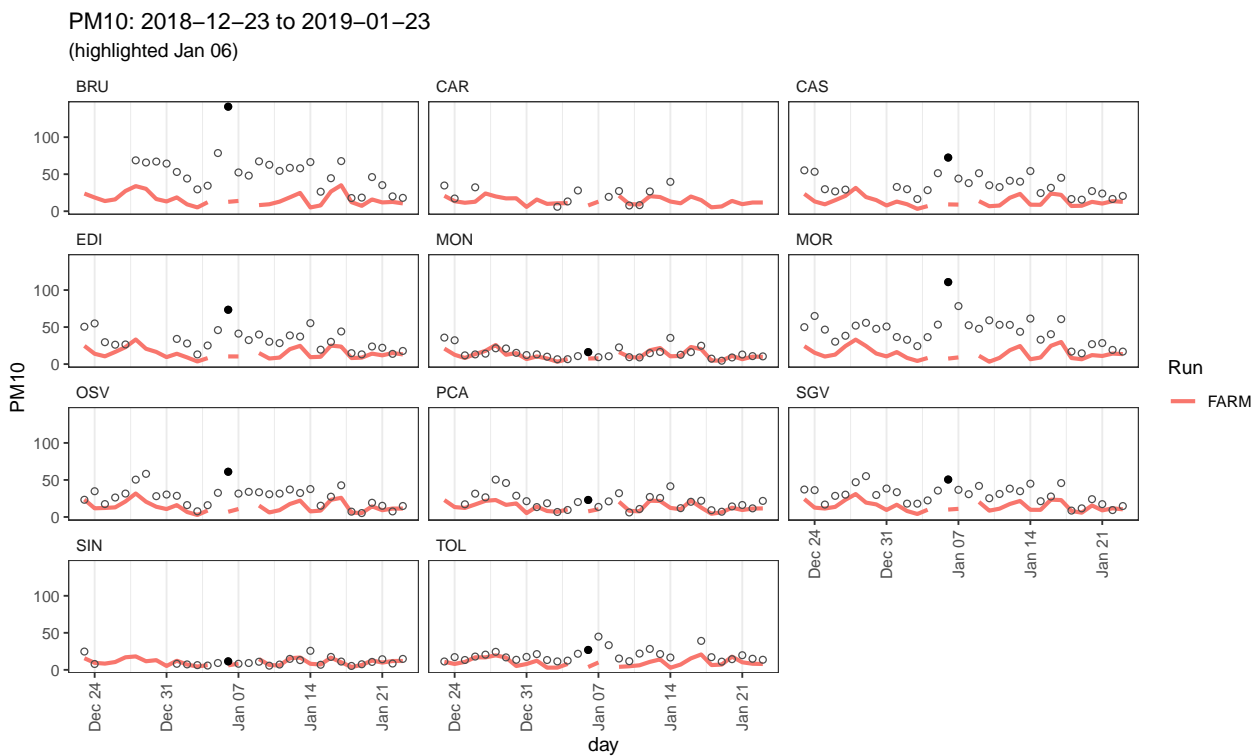


Figura 51: PM10 osservato e simulato nel periodo 23/12/2018 – 23/1/2019. In evidenza il 6 gennaio 2019.

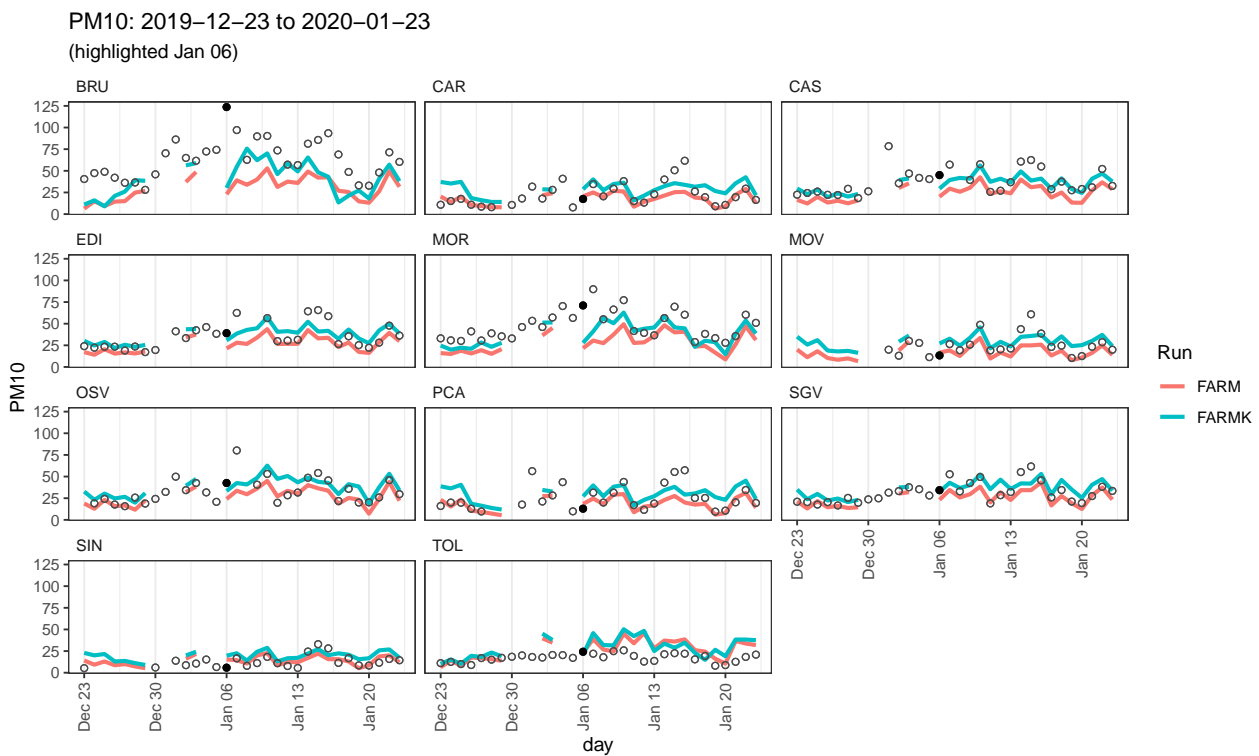


Figura 52: PM10 osservato e simulato nel periodo 23/12/2019 – 23/1/2020. In evidenza il 6 gennaio 2020.

3. un evento eccezionale non considerato dal modello, il *lockdown* per COVID-19.

In effetti il primo dei tre eventi quest'anno non ha pesato particolarmente sugli indicatori di qualità, ma in anni con contesti meteo diversi potrebbe essere più critico. Restano perciò valide le raccomandazioni formulate in ottobre:

- implementare nella catena modellistica FARM-FVG operativa gli aggiornamenti recentemente testati con successo nelle corse annuali;
- verificare la fattibilità di uno *switch* che consenta all'operatore di pubblicare previsioni alternative più stabili, prive di correzione dinamica con filtro di Kalman, che si destabilizza nelle giornate successive a episodi anomali come quelli citati;
- avviare uno studio per la stima delle emissioni dei fuochi tradizionali.

Di questi interventi

- il primo è già stato messo in atto, perciò tra qualche mese sarà possibile valutarne i benefici;
- il secondo è fattibile e potrà essere realizzato nei prossimi mesi, previa discussione con la SOS-QA per definire i dettagli pratici dell'attivazione dello *switch*;
- il terzo è stato avviato, con la raccolta di informazioni per la localizzazione spazio-temporale dei fuochi epifanici tradizionali in FVG e in Veneto.

Aggiungiamo ulteriori raccomandazioni:

- verificare se la qualità di previsione è significativamente peggiore nelle stazioni non considerate dal filtro di Kalman, e di conseguenza valutare se estendere/modificare l'insieme delle stazioni utilizzate e/o modificarne i parametri di rappresentatività;
- valutare se e come sia eventualmente possibile utilizzare gli scenari elaborati per il Piano Regionale della Qualità dell'Aria come "test di sensibilità" utile ad identificare i settori di emissione maggiormente associati agli errori di previsione;
- valutare la qualità della previsione in funzione della scadenza (previsioni per il giorno stesso, per l'indomani, ecc.);
- calcolare indicatori dicotomici per valutare la capacità di prevedere i superamenti delle soglie giornaliere definite dalla normativa;
- valutare le cause prevalenti della mancanza delle previsioni (mancanza delle condizioni al contorno chimiche, mancanza dell'input meteo, ecc).

Riferimenti bibliografici

- [1] ARPA-FVG. Effetti sulla matrice ambientale ARIA delle azioni di contenimento del COVID-19. Technical report, 2020.
- [2] C. Silibello, G. Calori, G. Brusasca, A. Giudici, E. Angelino, G. Fossati, E. Peroni, and E. Buganza. Modelling of PM10 concentrations over Milano urban area using two aerosol modules. *Environmental Modelling & Software*, 23(3):333–343, 2008.
- [3] C. Silibello, S. Finardi, and G. Calori. SURFPRO (SURrface-atmosphere interFace PROcessor) User's guide. Technical report, ARIANET, 2006.
- [4] W. C. Skamarock, J. B. Klemp, J. Dudhia, D. O. Gill, D. M. Barker, W. Wang, and J. G. Powers. A description of the advanced research WRF version 2. Technical report, National Center For Atmospheric Research Boulder Co Mesoscale and Microscale Meteorology Div, 2005.