

# Verifica delle previsioni di qualità dell'aria

Relazione tecnica – settembre 2021

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

13 settembre 2021

## Indice

<b>1</b>	<b>Metodi e strumenti</b>	<b>5</b>
1.1	Catena modellistica . . . . .	5
1.2	Indicatori di qualità . . . . .	6
<b>2</b>	<b>Risultati</b>	<b>7</b>
2.1	Discrepanza, latenza, copertura . . . . .	7
2.2	Qualità delle previsioni giornaliere . . . . .	9
2.3	Confronto con altri modelli . . . . .	25
<b>3</b>	<b>Conclusioni e prospettive</b>	<b>38</b>

## Elenco delle figure

1	Struttura della catena modellistica. . . . .	5
2	Mean Gross Error nel periodo aprile 2017 – marzo 2021 per biossido di azoto . . . . .	10
3	Normalized Mean Bias nel periodo aprile 2017 – marzo 2021 per biossido di azoto . . . . .	11
4	Normalized Mean Gross Error nel periodo aprile 2017 – marzo 2021 per biossido di azoto . . . . .	12
5	Root Mean Square Error nel periodo aprile 2017 – marzo 2021 per biossido di azoto . . . . .	13
6	Correlazione di Pearson nel periodo aprile 2017 – marzo 2021 per biossido di azoto . . . . .	14
7	Mean Gross Error nel periodo aprile 2017 – marzo 2021 per ozono . . . . .	15
8	Normalized Mean Bias nel periodo aprile 2017 – marzo 2021 per ozono . . . . .	16
9	Normalized Mean Gross Error nel periodo aprile 2017 – marzo 2021 per ozono . . . . .	17
10	Root Mean Square Error nel periodo aprile 2017 – marzo 2021 per ozono . . . . .	18
11	Correlazione di Pearson nel periodo aprile 2017 – marzo 2021 per ozono . . . . .	19
12	Mean Gross Error nel periodo aprile 2017 – marzo 2021 per PM10 . . . . .	20
13	Normalized Mean Bias nel periodo aprile 2017 – marzo 2021 per PM10 . . . . .	21
14	Normalized Mean Gross Error nel periodo aprile 2017 – marzo 2021 per PM10 . . . . .	22
15	Root Mean Square Error nel periodo aprile 2017 – marzo 2021 per PM10 . . . . .	23
16	Correlazione di Pearson nel periodo aprile 2017 – marzo 2021 per PM10 . . . . .	24
17	Domini di esecuzione di FARM-FVG (turchese) e CAMx-Veneto (salmone) e stazioni di fondo poste nell'intersezione dei due domini e utilizzate per il confronto. . . . .	26
18	Confronto tra FARM-FVG e altri modelli: Normalized Mean Bias . . . . .	28
19	Confronto tra FARM-FVG e altri modelli: Normalized Mean Gross Error . . . . .	29
20	Confronto tra FARM-FVG e altri modelli: Correlazione di Pearson . . . . .	30
21	Confronto tra FARM-FVG e altri modelli: stazione di via Cairoli a Udine . . . . .	31
22	Confronto tra FARM-FVG e altri modelli: stazione di via Marconi a Torviscosa (UD) . . . . .	32
23	Confronto tra FARM-FVG e altri modelli: stazione di Brugnera (PN) . . . . .	33
24	Confronto tra FARM-FVG e altri modelli: stazione di Tolmezzo (UD) . . . . .	34
25	Confronto tra FARM-FVG e altri modelli: stazione di Pieve d'Alpago (BL) . . . . .	35
26	Confronto tra FARM-FVG e altri modelli: stazione di Conegliano (TV) . . . . .	36
27	Confronto tra FARM-FVG e altri modelli: stazione di Sacca Fisola a Venezia . . . . .	37

## Elenco delle tabelle

1	Cronistoria delle modifiche alla catena modellistica. . . . .	6
2	Indicatori di qualità considerati per la verifica delle prestazioni del modello. . . . .	7
3	Discrepanza, latenza e copertura (aggiornamento luglio 2021) . . . . .	8
4	Condizioni di esecuzione della <i>suite</i> modellistica. . . . .	9
5	Caratteristiche dei modelli confrontati. . . . .	27

### **Ringraziamenti**

Si ringraziano Alberto Dalla Fontana di ARPAV e Sandro Finardi di AriaNet srl per il contributo al confronto di FARM-FVG con altri modelli.

### **Avvertenze**

Le informazioni presenti in questa pubblicazione possono essere liberamente copiate e diffuse purché se ne citi la fonte. In particolare dovranno essere indicate come fonti dei dati: ARPA-FVG per le sezioni 2.1 e 2.2; per la sezione 2.3 ARPA-FVG, ARPA Veneto, AriaNet srl, Copernicus Atmosphere Monitoring Service (CAMS).

Quest'opera è distribuita con licenza Creative Commons "Attribuzione 4.0 Internazionale".



## 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.

Questa relazione integra ed estende una precedente [1].<sup>1</sup>

## 1. Metodi e strumenti

### 1.1 Catena modellistica

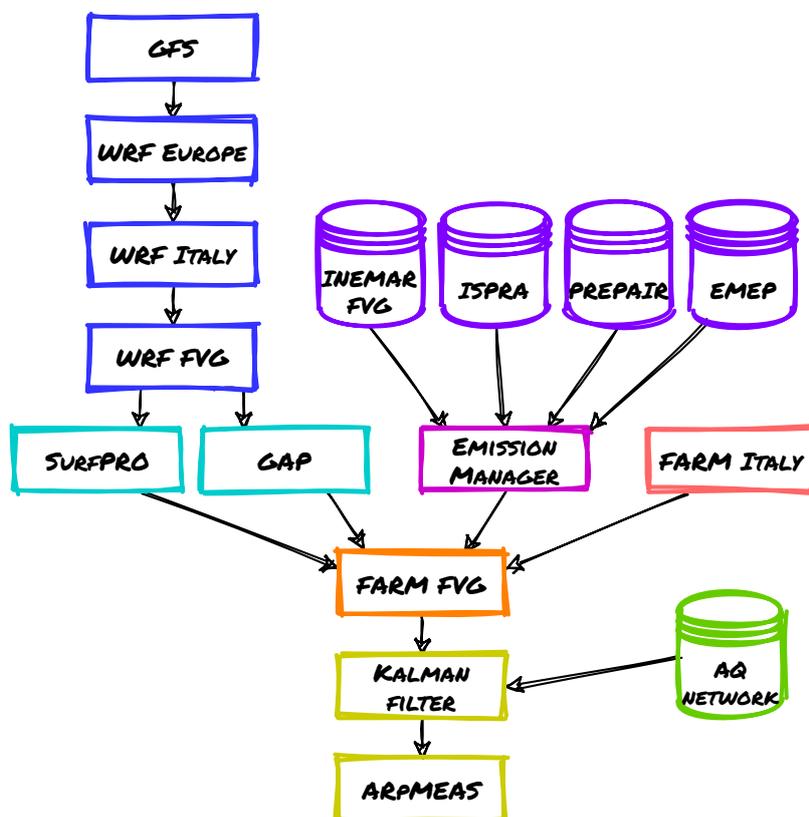


Figura 1: Struttura della catena modellistica.

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

- **EMMA** prepara l'input emissivo a partire dagli inventari;

<sup>1</sup>pubblicata nel dicembre 2020, disponibile all'indirizzo <https://bit.ly/2XeVAMS>

- **GAP** interpola sulla griglia di lavoro le uscite del modello meteo WRF [2];
- 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** [4] 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 (**ARpMEAS** – 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.

Tabella 1: Cronistoria delle modifiche alla catena modellistica.

data	intervento
2016-07-15	catena previsionale operativa
2016-07-19	pubblicazione su sito web
2016-07-26	correzione errore $h_{PBL}$
2016-09-21	aggiornato eseguibile FARM modificati valori minimi per $h_{PBL}$
2017-01-13	modificata disaggregazione emissioni estere
2017-02-27	workflow gestito da ecFlow
2019-04-02	attivato filtro di Kalman
2019-12-31	risolto <i>bug</i> di SurfPRO
2020-10-27	aggiornamento emissioni al 2013 revisione profili emissivi verticali revisione andamento emissioni combustione legna correzione del vento WRF/GAP
2020-12-29	risolto <i>bug</i> di SurfPRO
2021-03-31	risolto <i>bug</i> estrazione dati osservati
2021-06-16	possibilità di escludere eventi anomali dall'input del filtro di Kalman

## 1.2 Indicatori di qualità

Per valutare la qualità delle previsioni useremo gli indicatori MGE, NMB, NMGE, RMSE ed r, descritti nella tabella 2, 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 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.

Tabella 2: Indicatori di qualità considerati per la verifica delle prestazioni del modello.

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	$\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n \frac{(M_i - \bar{M})}{\sigma_M} \cdot \frac{(O_i - \bar{O})}{\sigma_O}$

## 2. Risultati

### 2.1 Discrepanza, latenza, copertura

La tabella 3 mostra una panoramica riferita al periodo 2013–2021 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.

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 oscillava tra il 40 e il 50% fino al primo semestre 2019; da quando è stato introdotto il modulo di correzione a posteriori (aprile 2019) si è mantenuta sotto il 40%. Per il PM10 la discrepanza oscilla tra il 40 e il 50%, con qualche semestre di superamento dell'obiettivo di qualità legato a condizioni contingenti<sup>2</sup>. Per il PM10 il modulo di correzione a posteriori non ha determinato miglioramenti significativi della discrepanza.

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. Tale indicatore però è peggiorato a partire dal secondo semestre 2020, pur restando ampiamente sotto il limite massimo (13).

La copertura annuale, da quando il sistema è tornato a regime, è sempre superiore al 90%. Le cause di ritardo o assenza delle previsioni (tab.4) sono prevalentemente riconducibili a ritardo o mancanza delle

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

Tabella 3: Discrepanza, latenza e copertura (aggiornamento luglio 2021)

anno	periodo semestre	latenza (ore)	discrepanza (%)			copertura (%)
			PM10	O <sub>3</sub>	NO <sub>2</sub>	
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	
2020	I	9.4	54	15	39	94
	II	11.0	41	21	33	
2021	I	10.5	46	14	38	-
	II	-	-	-	-	

condizioni al contorno chimiche, fornite quotidianamente dal sistema QualeAria di AriaNet. Questi problemi si sono rarefatti nel corso degli ultimi anni: nel 2019 interessavano circa il 13% delle previsioni, nel 2021 circa il 5%. Meno frequenti i problemi determinati da assenza o ritardo dell'input meteo, in calo dal 6% al 3%.

Tabella 4: Condizioni di esecuzione della suite modellistica.

condizione	periodo		
	2019 gen-dic	2020 gen-dic	2021 gen-ago
esecuzione regolare	81.9%	88.8%	91.8%
non eseguita per mancanza di condizioni al contorno	9.5%	4.6%	3.3%
in ritardo per ritardo condizioni al contorno	3.6%	4.1%	2.0%
non eseguita per mancanza di input meteo	4.1%	0.8%	2.0%
in ritardo per ritardo input meteo	2.2%	2.4%	1.2%
non eseguita per problemi indipendenti da input esterni	1.1%	0.8%	0.8%

## 2.2 Qualità delle previsioni giornaliere

Dall'analisi delle prestazioni nel periodo aprile 2017 – marzo 2021 nella previsione dei valori giornalieri emergono questi aspetti salienti:

- per il **biossido di azoto** (figg.2–6)
  - FARM tende a sottostimare, in alcune stazioni FARMK corregge il *bias* (CAI, OPP, POR, RON, SGV), in altre esso rimane sostanzialmente immutato (CAS, EDI, GRA, UGO) (fig.3);
  - NMGE ha un trend in calo (fig.4);
  - la correlazione mediamente non è molto alta, ed è spesso deteriorata da prestazioni episodiche insoddisfacenti in alcune stazioni (specie UGO); negli ultimi mesi si osserva una tendenza al miglioramento (fig.6);
- per l'**ozono** (figg.7–11)
  - FARM tende a sovrastimare (spesso tra il 10% e il 30%), ma il filtro di Kalman corregge il *bias* quasi sempre quasi in tutte le stazioni (fig.8); tra 2020 e 2021 si osserva un miglioramento;
  - 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 a volte esagera, portando a una sovrastima (fig.13);
  - negli ultimi 12 mesi del periodo analizzato è diminuita la sottostima di FARM e si è ridotta la sovrastima di FARMK;
  - 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).

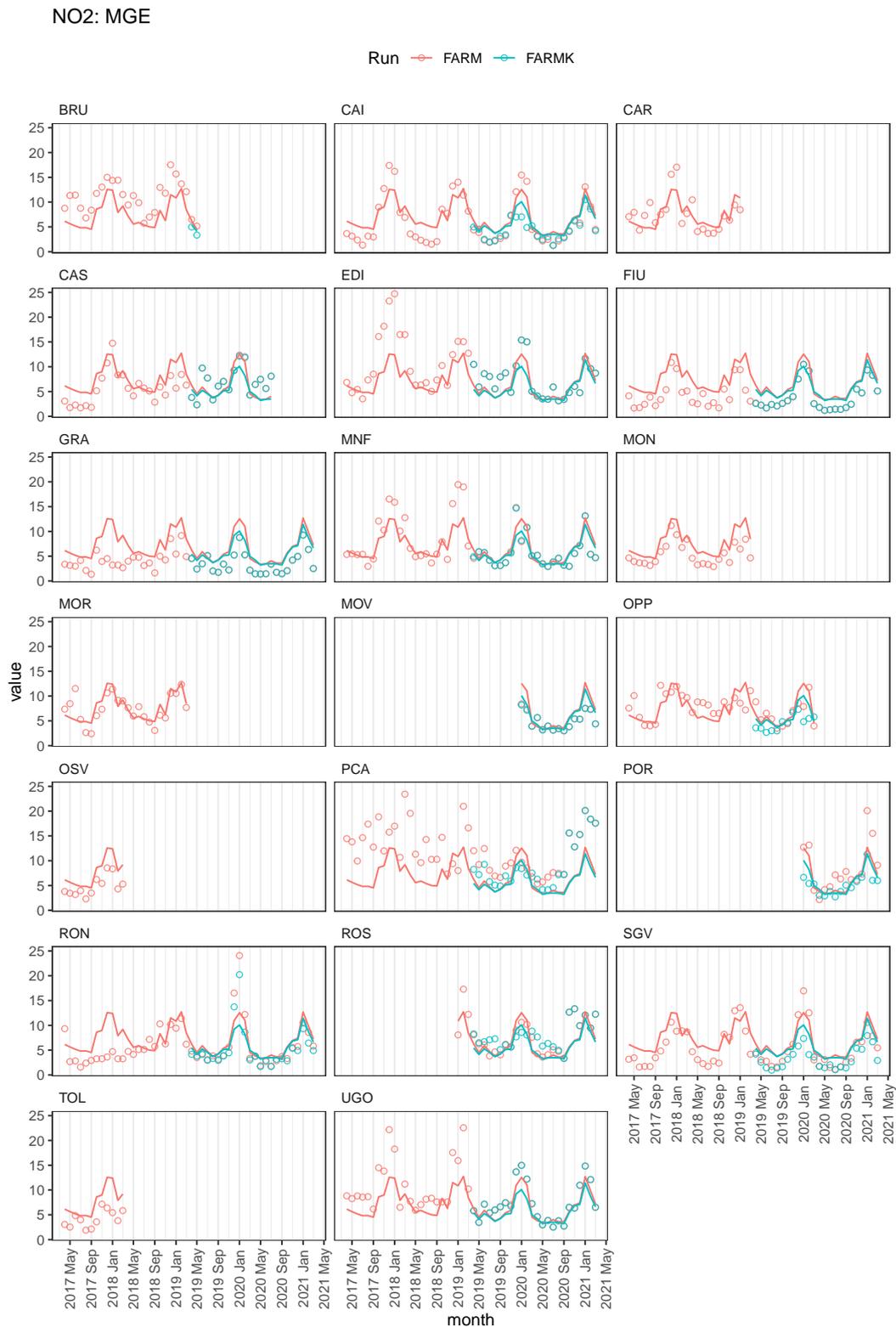


Figura 2: Prestazioni di FARM nella previsione di **biossido di azoto**. Valori mensili per ciascuna stazione (cerchietti) e medie regionali (linee) dell'indicatore **Mean Gross Error** nel periodo aprile 2017 – marzo 2021. Confronto tra la corsa senza filtro di Kalman (salmone) e quella con filtro di Kalman (turchese).

NO2: NMB

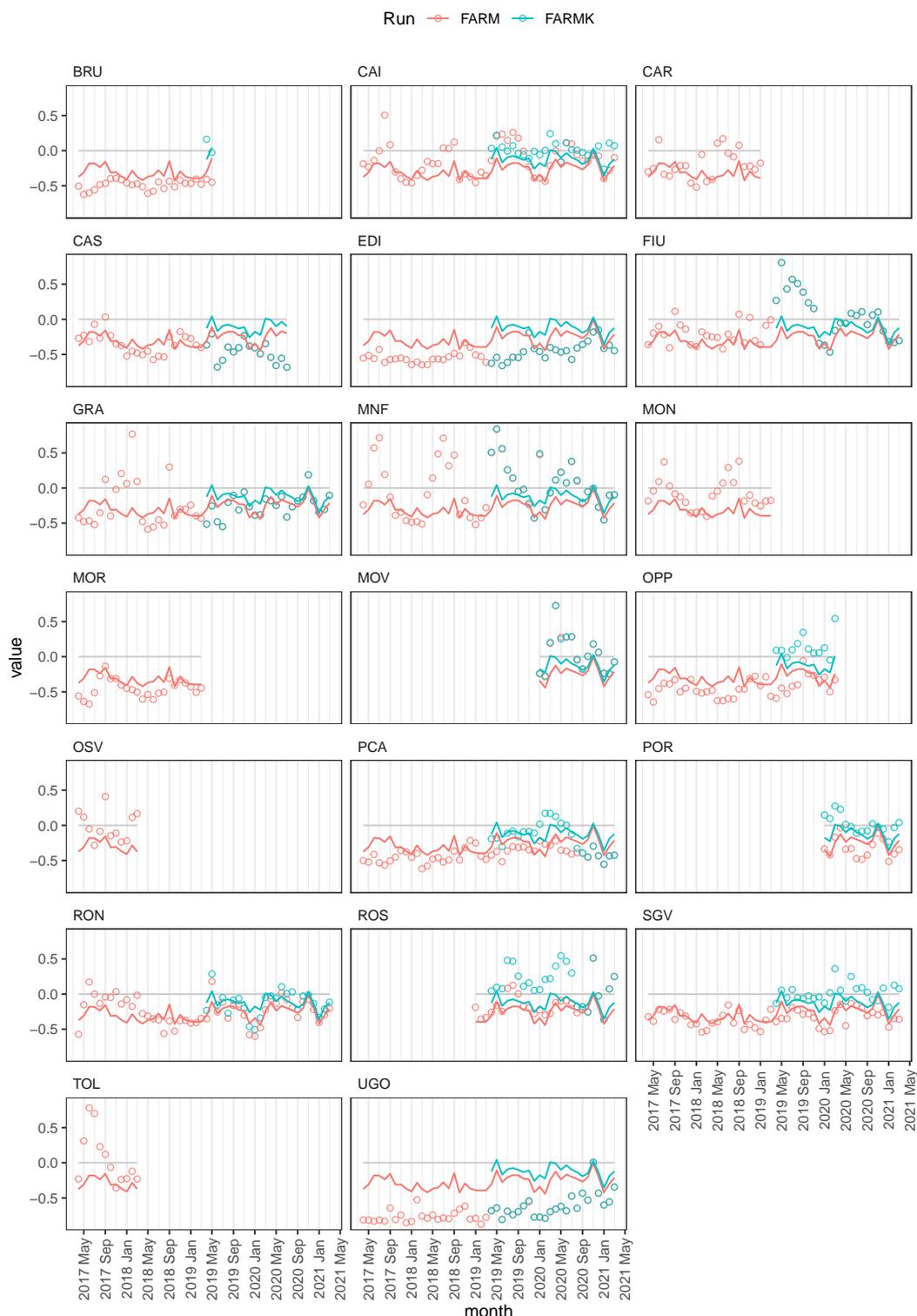


Figura 3: Prestazioni di FARM nella previsione di **biossido di azoto**. Valori mensili per ciascuna stazione (cerchietti) e medie regionali (linee) dell'indicatore **Normalized Mean Bias** nel periodo aprile 2017 – marzo 2021. Confronto tra la corsa senza filtro di Kalman (salmone) e quella con filtro di Kalman (turchese).

NO2: NMGE

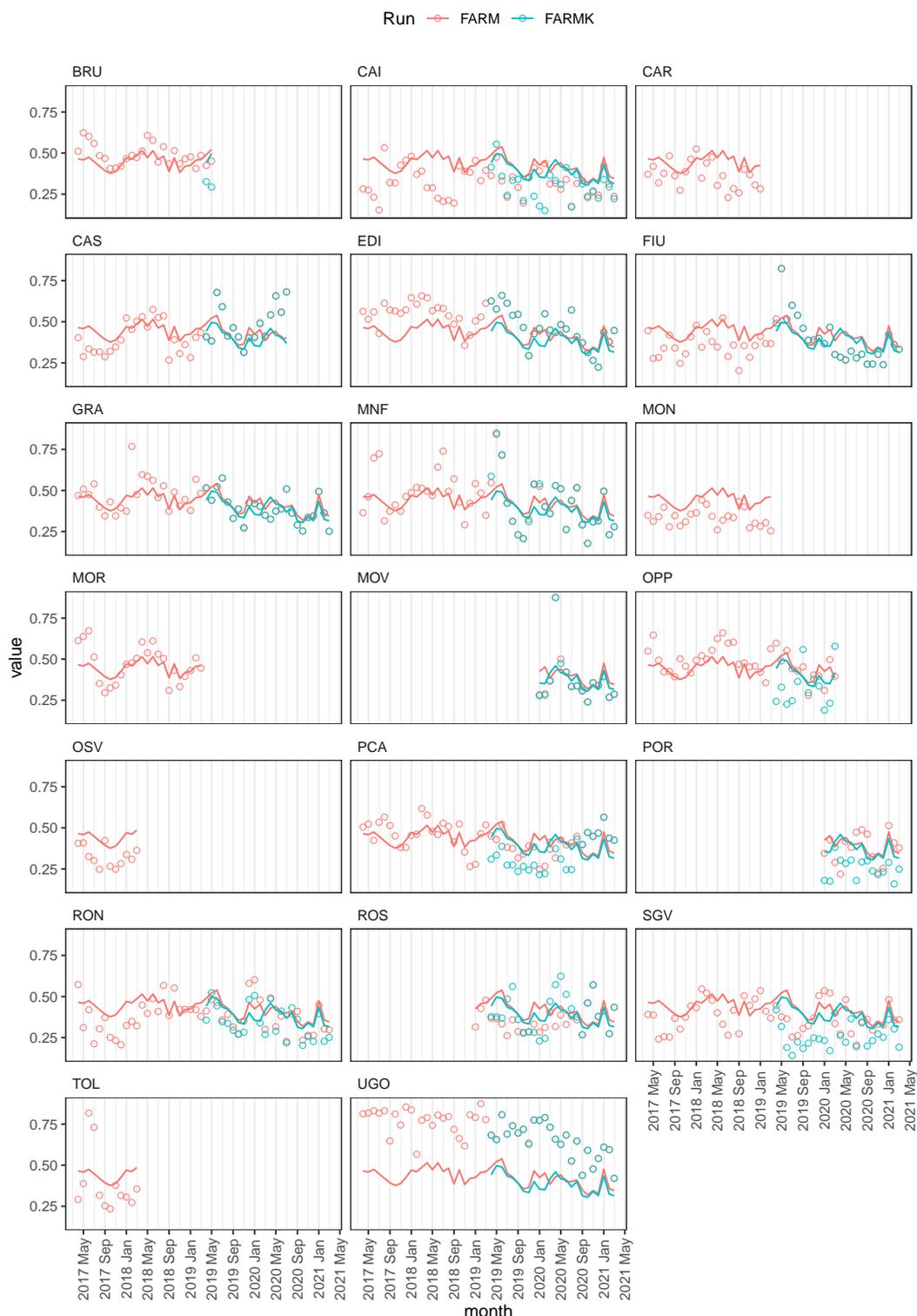


Figura 4: Prestazioni di FARM nella previsione di **biossido di azoto**. Valori mensili per ciascuna stazione (cerchietti) e medie regionali (linee) dell'indicatore **Normalized Mean Gross Error** nel periodo aprile 2017 – marzo 2021. Confronto tra la corsa senza filtro di Kalman (salmone) e quella con filtro di Kalman (turchese).

NO2: RMSE

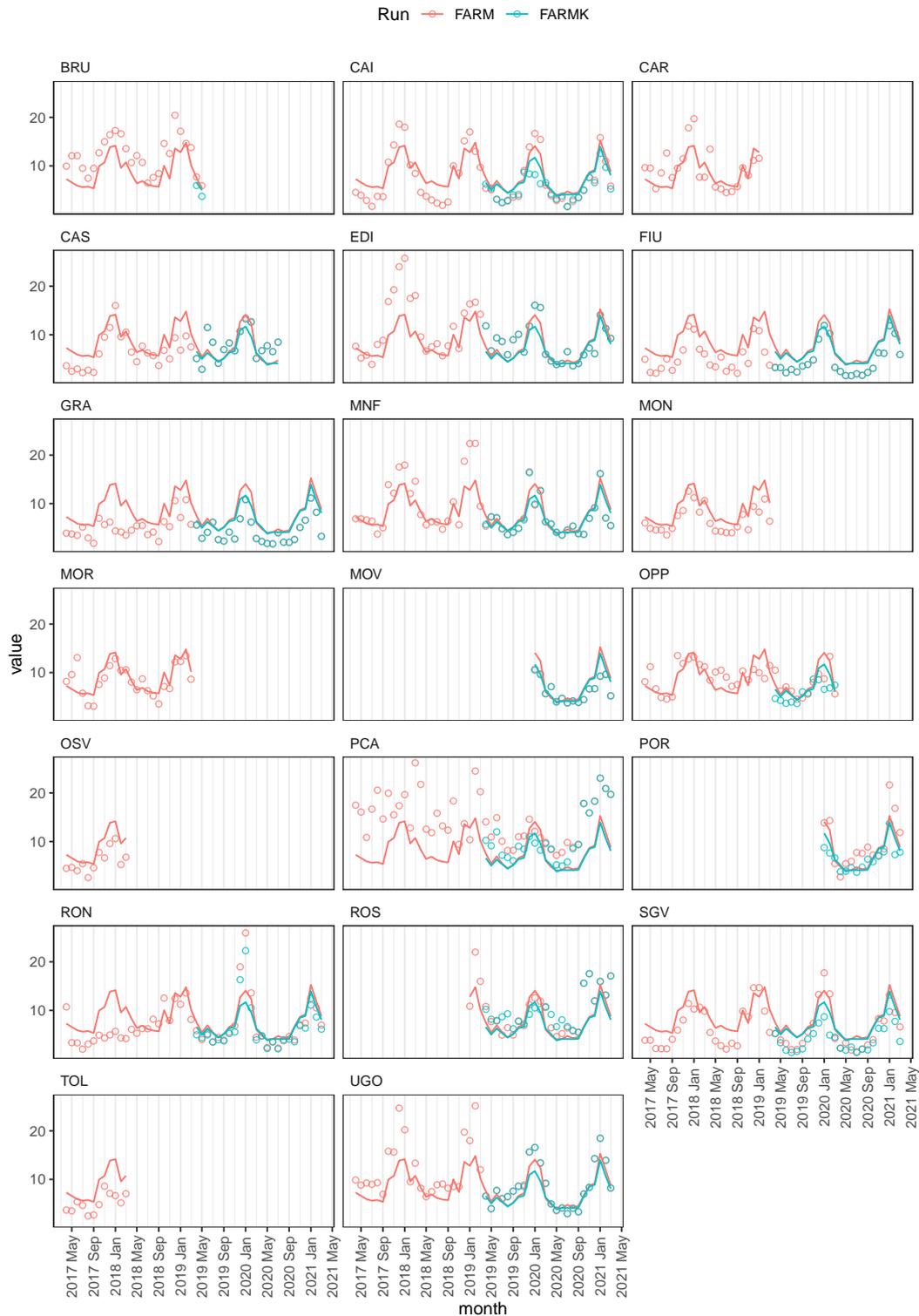


Figura 5: Prestazioni di FARM nella previsione di **biossido di azoto**. Valori mensili per ciascuna stazione (cerchietti) e medie regionali (linee) dell'indicatore **Root Mean Square Error** nel periodo aprile 2017 – marzo 2021. Confronto tra la corsa senza filtro di Kalman (salmone) e quella con filtro di Kalman (turchese).

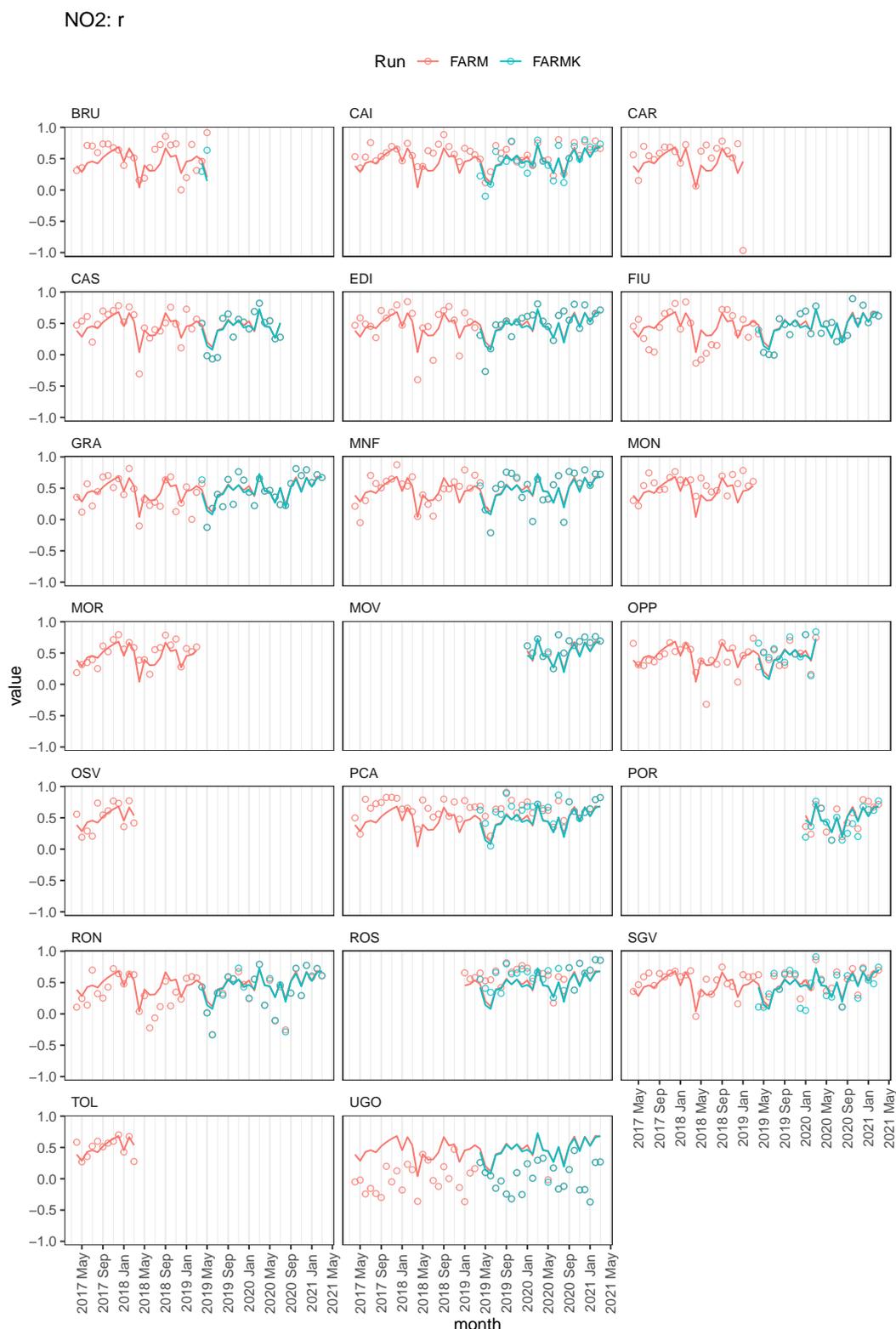


Figura 6: Prestazioni di FARM nella previsione di **biossido di azoto**. Valori mensili per ciascuna stazione (cerchietti) e medie regionali (linee) dell'indicatore **Correlazione di Pearson** nel periodo aprile 2017 – marzo 2021. Confronto tra la corsa senza filtro di Kalman (salmone) e quella con filtro di Kalman (turchese).

O3: MGE

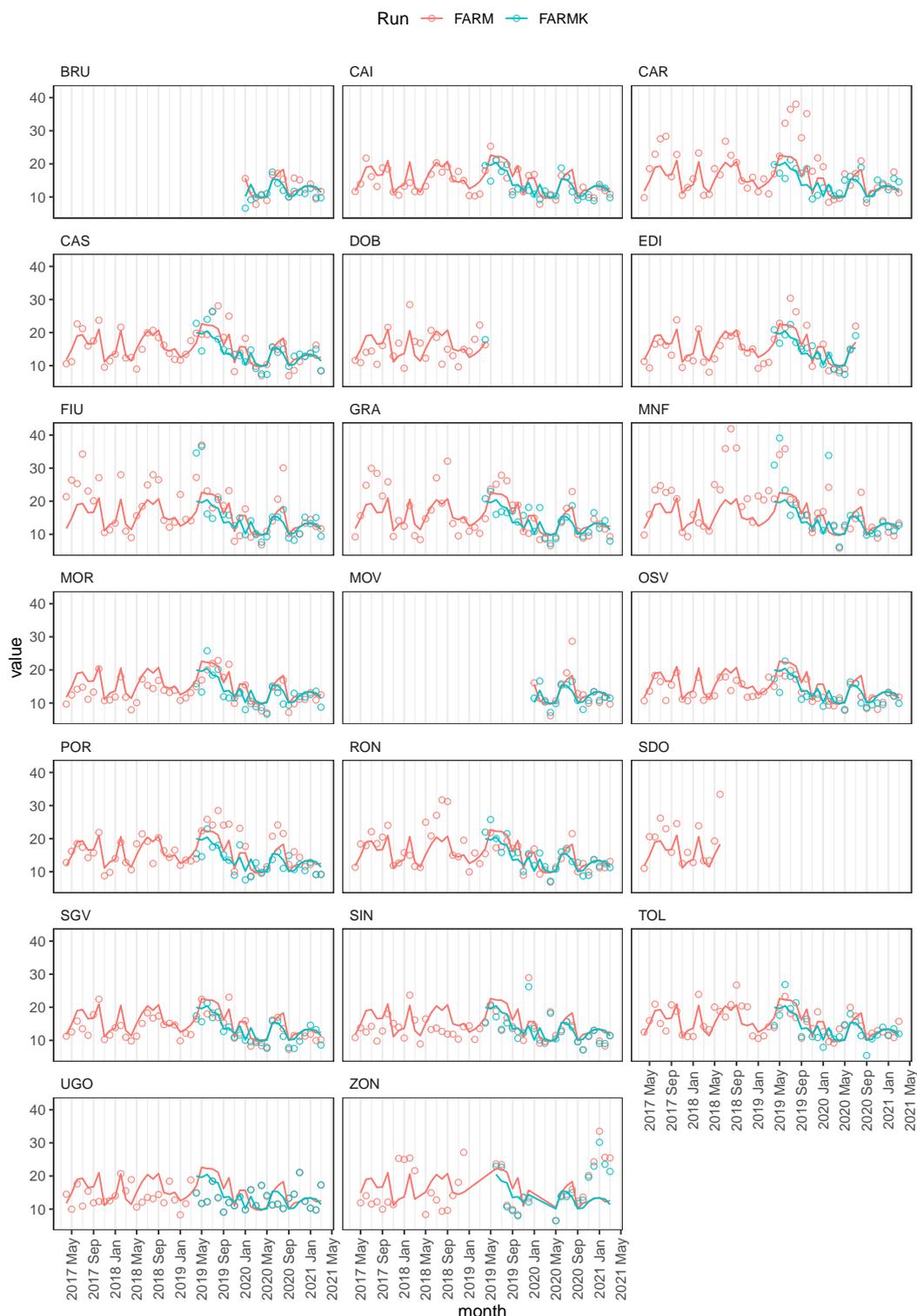


Figura 7: Prestazioni di FARM nella previsione di ozono. Valori mensili per ciascuna stazione (cerchietti) e medie regionali (linee) dell'indicatore **Mean Gross Error** nel periodo aprile 2017 – marzo 2021. Confronto tra la corsa senza filtro di Kalman (salmone) e quella con filtro di Kalman (turchese).

O3: NMB

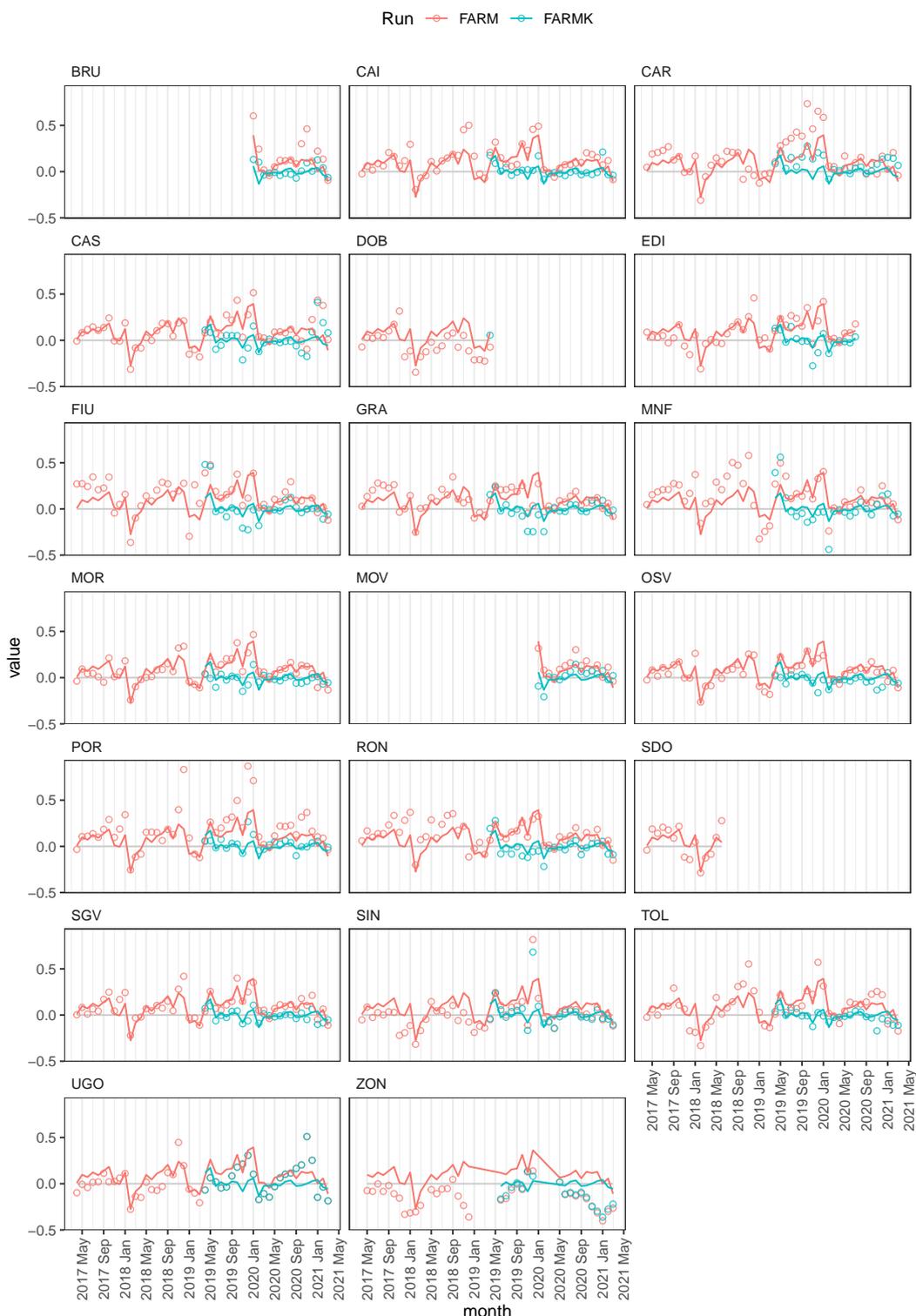


Figura 8: Prestazioni di FARM nella previsione di ozono. Valori mensili per ciascuna stazione (cerchietti) e medie regionali (linee) dell'indicatore **Normalized Mean Bias** nel periodo aprile 2017 – marzo 2021. Confronto tra la corsa senza filtro di Kalman (salmone) e quella con filtro di Kalman (turchese).

O3: NMGE

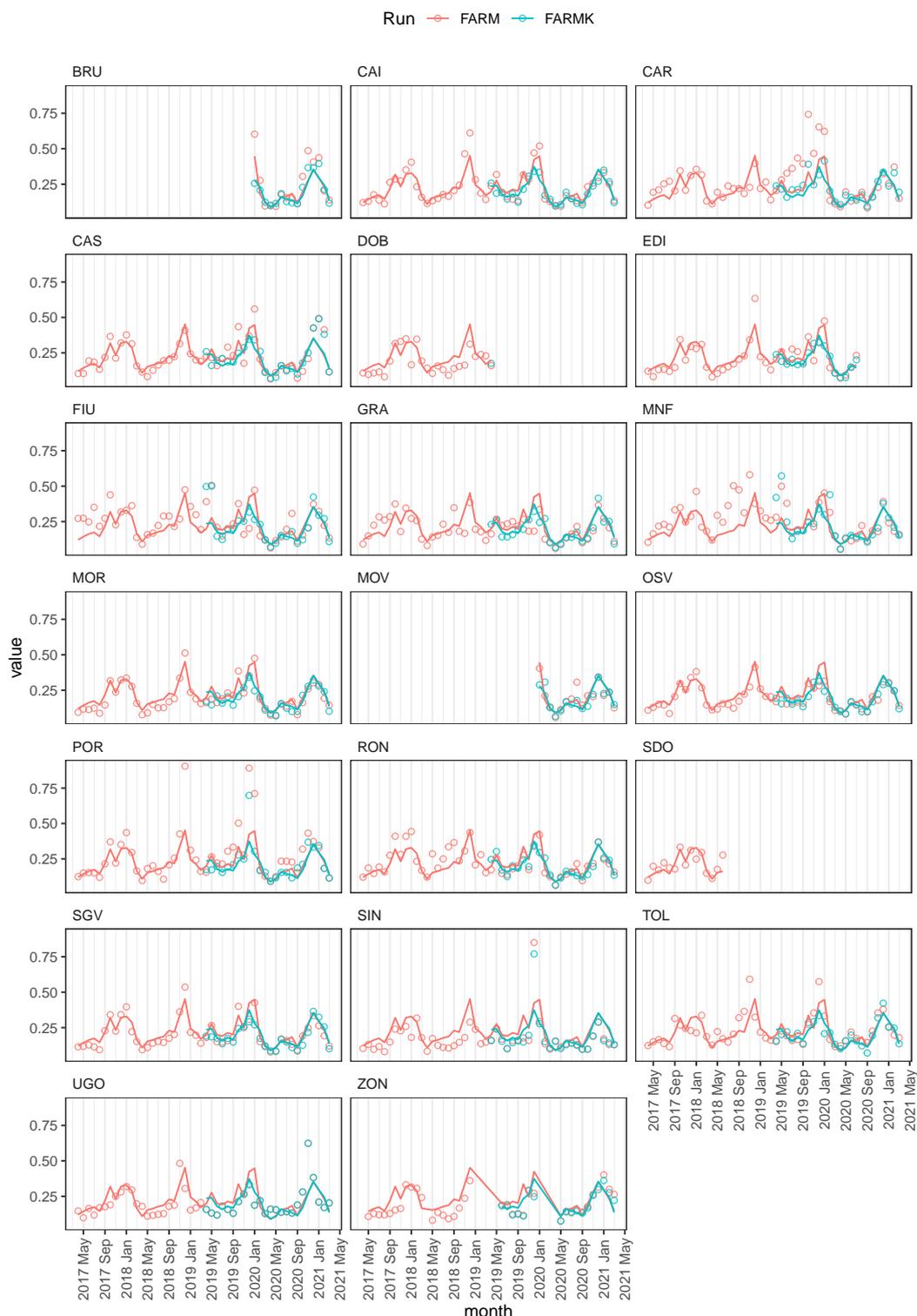


Figura 9: Prestazioni di FARM nella previsione di ozono. Valori mensili per ciascuna stazione (cerchietti) e medie regionali (linee) dell'indicatore **Normalized Mean Gross Error** nel periodo aprile 2017 – marzo 2021. Confronto tra la corsa senza filtro di Kalman (salmone) e quella con filtro di Kalman (turchese).

O3: RMSE

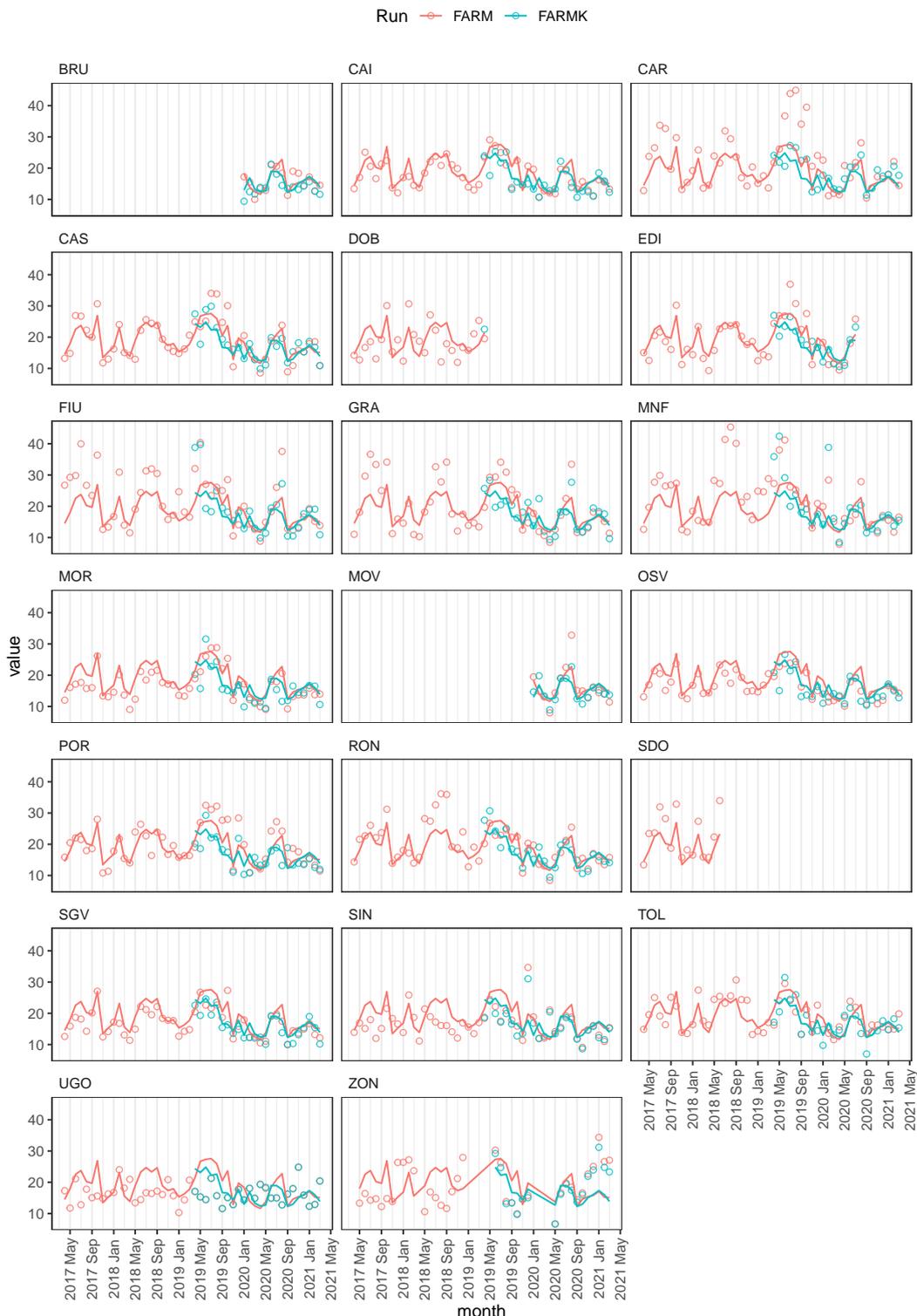


Figura 10: Prestazioni di FARM nella previsione di ozono. Valori mensili per ciascuna stazione (cerchietti) e medie regionali (linee) dell'indicatore **Root Mean Square Error** nel periodo aprile 2017 – marzo 2021. Confronto tra la corsa senza filtro di Kalman (salmone) e quella con filtro di Kalman (turchese).

O3: r

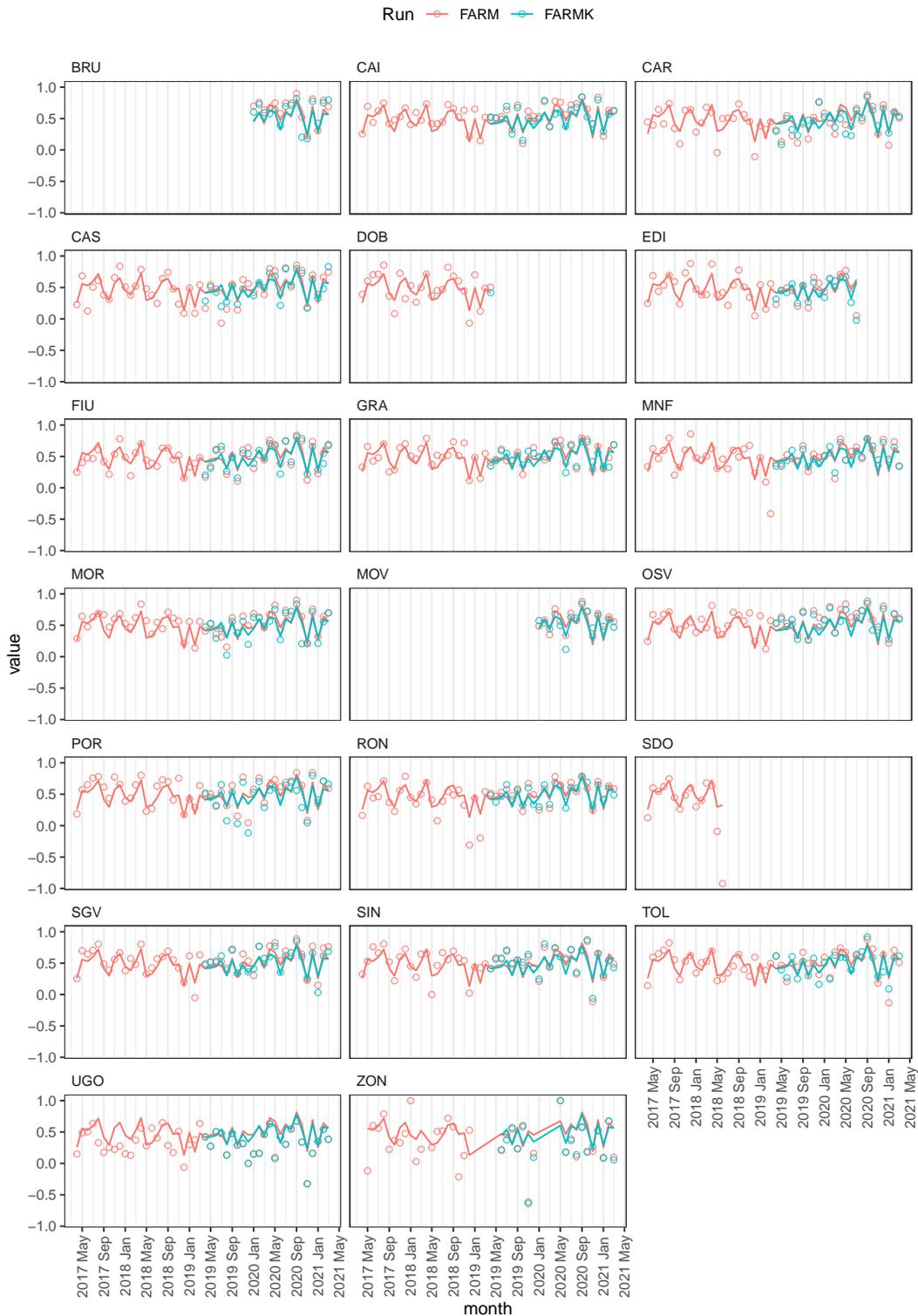


Figura 11: Prestazioni di FARM nella previsione di ozono. Valori mensili per ciascuna stazione (cerchietti) e medie regionali (linee) dell'indicatore **Correlazione di Pearson** nel periodo aprile 2017 – marzo 2021. Confronto tra la corsa senza filtro di Kalman (salmone) e quella con filtro di Kalman (turchese).

PM10: MGE

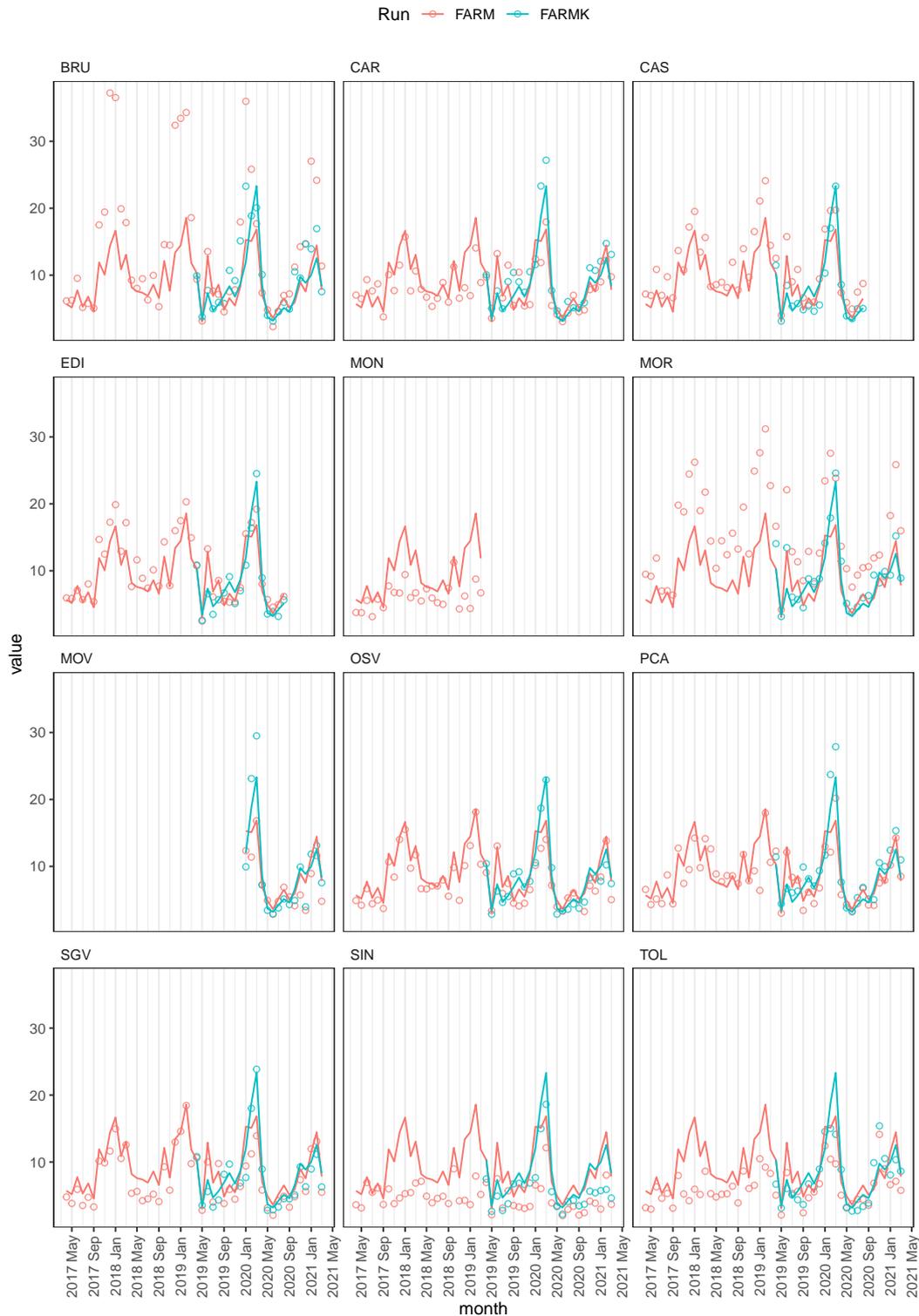


Figura 12: Prestazioni di FARM nella previsione di **PM10**. Valori mensili per ciascuna stazione (cerchietti) e medie regionali (linee) dell'indicatore **Mean Gross Error** nel periodo aprile 2017 – marzo 2021. Confronto tra la corsa senza filtro di Kalman (salmone) e quella con filtro di Kalman (turchese).

PM10: NMB

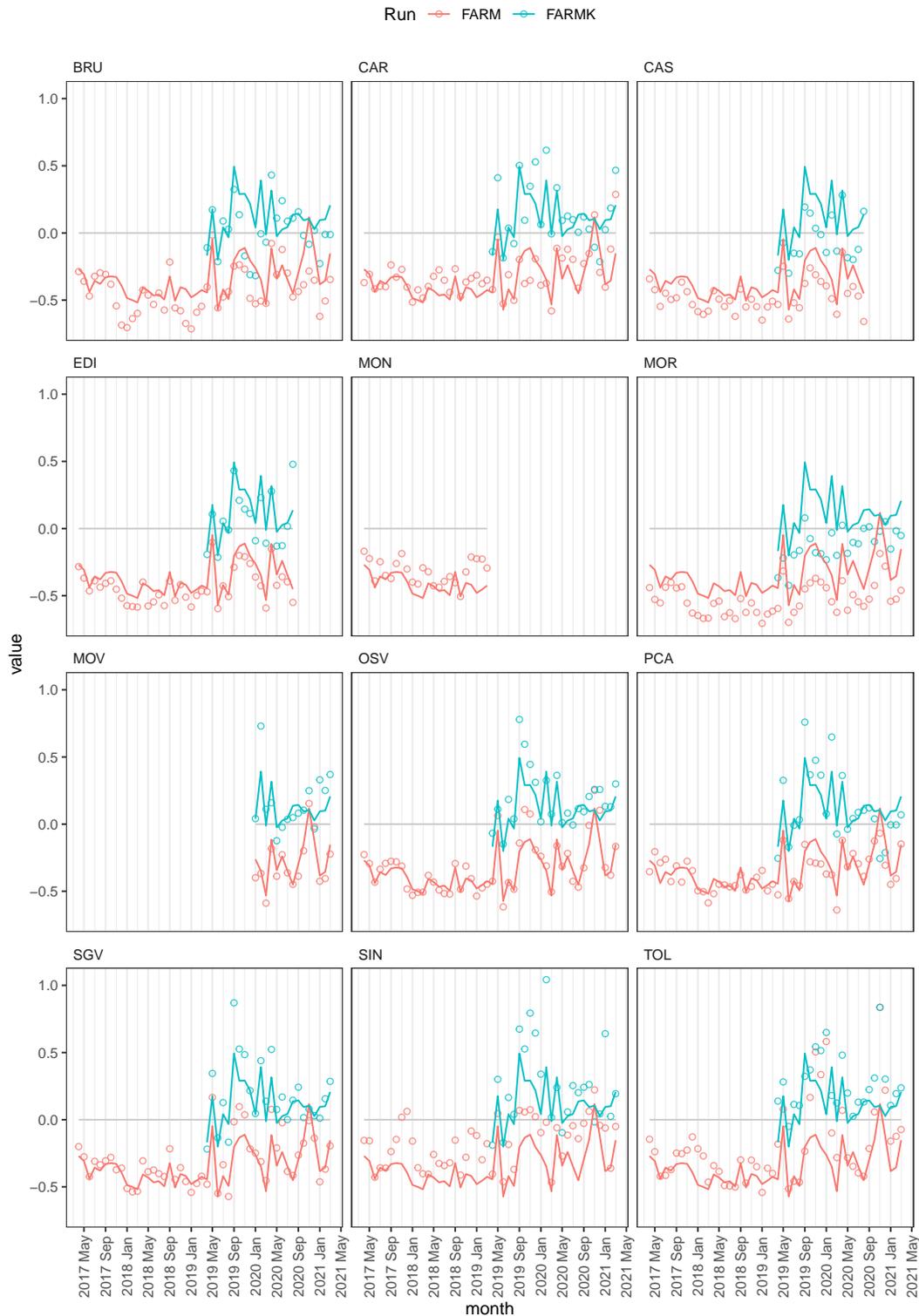


Figura 13: Prestazioni di FARM nella previsione di **PM10**. Valori mensili per ciascuna stazione (cerchietti) e medie regionali (linee) dell'indicatore **Normalized Mean Bias** nel periodo aprile 2017 – marzo 2021. Confronto tra la corsa senza filtro di Kalman (salmone) e quella con filtro di Kalman (turchese).

PM10: NMGE

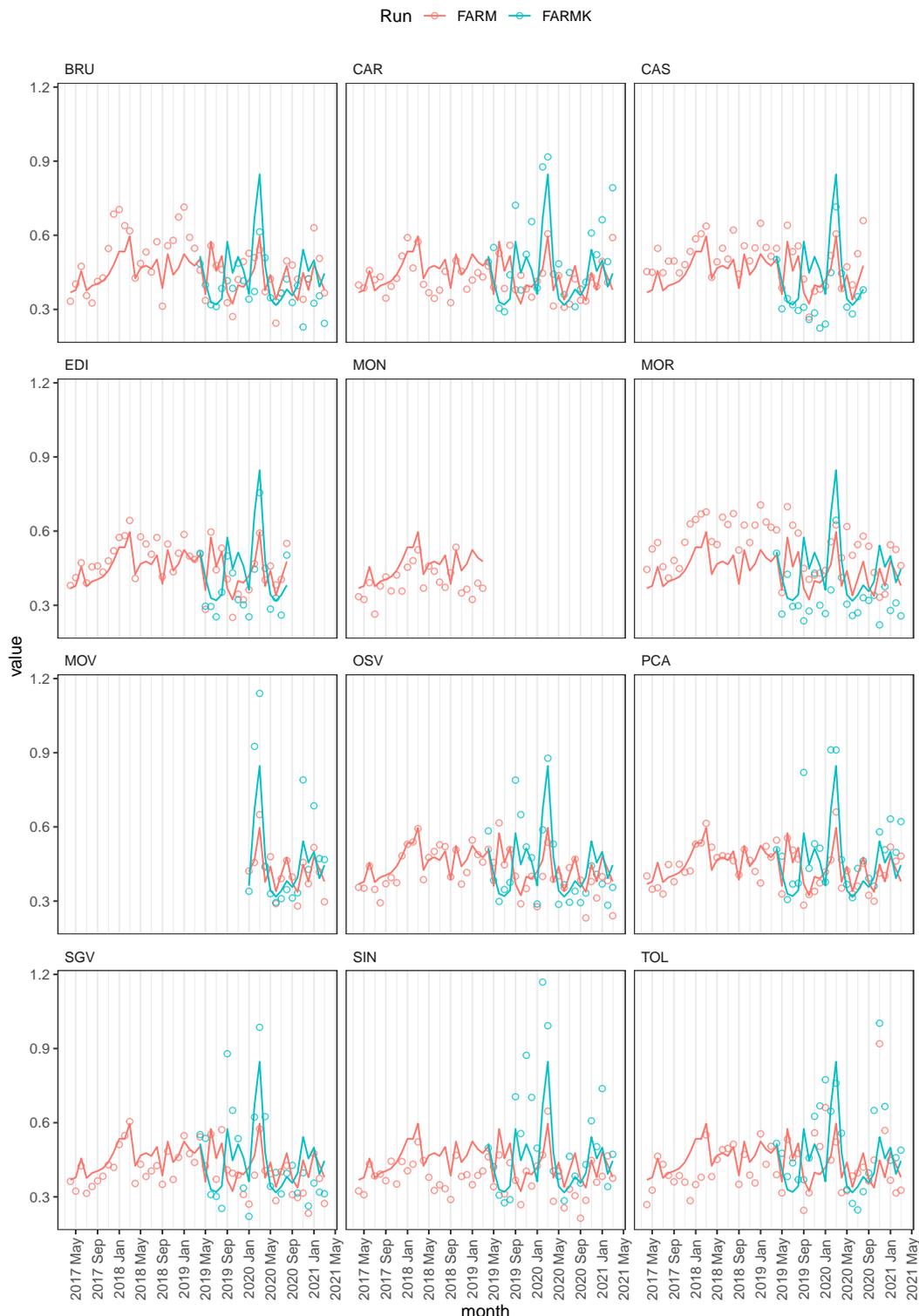


Figura 14: Prestazioni di FARM nella previsione di **PM10**. Valori mensili per ciascuna stazione (cerchietti) e medie regionali (linee) dell'indicatore **Normalized Mean Gross Error** nel periodo aprile 2017 – marzo 2021. Confronto tra la corsa senza filtro di Kalman (salmone) e quella con filtro di Kalman (turchese).

PM10: RMSE

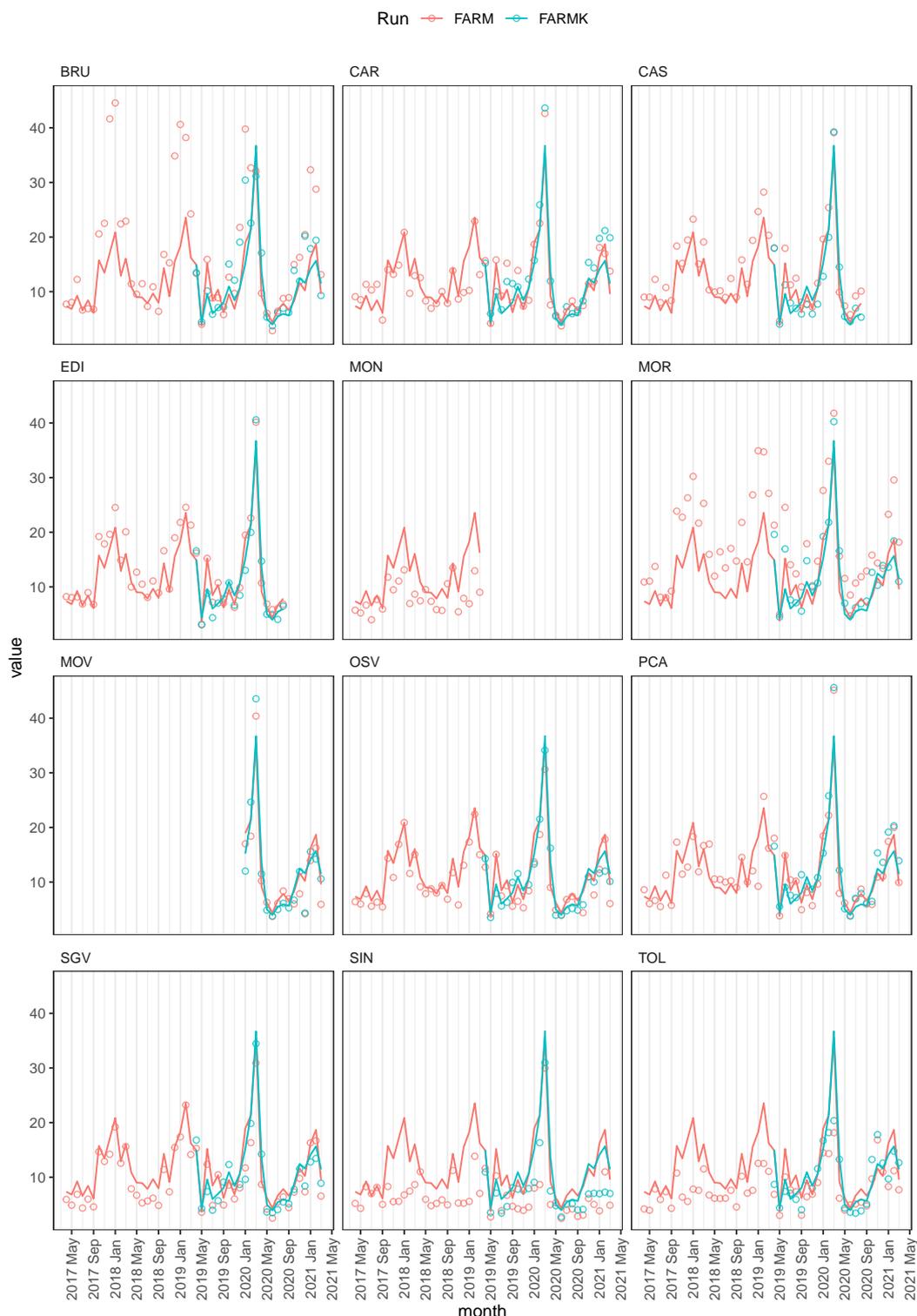


Figura 15: Prestazioni di FARM nella previsione di **PM10**. Valori mensili per ciascuna stazione (cerchietti) e medie regionali (linee) dell'indicatore **Root Mean Square Error** nel periodo aprile 2017 – marzo 2021. Confronto tra la corsa senza filtro di Kalman (salmone) e quella con filtro di Kalman (turchese).

PM10: r

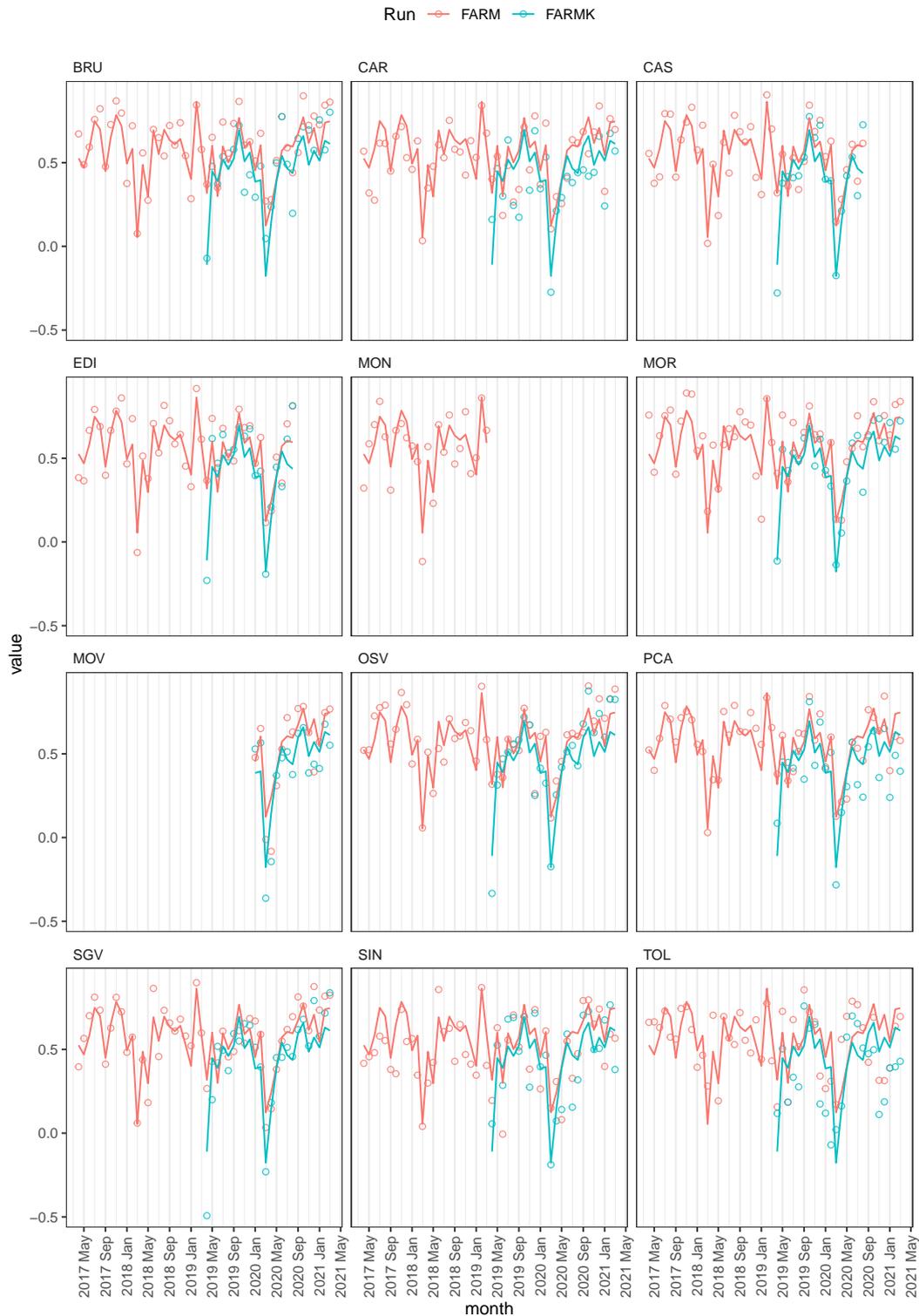


Figura 16: Prestazioni di FARM nella previsione di **PM10**. Valori mensili per ciascuna stazione (cerchietti) e medie regionali (linee) dell'indicatore **Correlazione di Pearson** nel periodo aprile 2017 – marzo 2021. Confronto tra la corsa senza filtro di Kalman (salmone) e quella con filtro di Kalman (turchese).

## 2.3 Confronto con altri modelli

Le previsioni quotidiane per le successive 24 ore sono state confrontate con le previsioni prodotte dai modelli (tab.5) CAMx di ARPAV [5], QualeAria di AriaNet [6] e dai nove modelli del Copernicus Atmosphere Monitoring Service (CAMS) CHIMERE [7], DEHM [8], EMEP [9], EURAD-IM [10], GEM-AQ [11], LOTOS-EUROS [12], MATCH [13], MOCAGE [14], SILAM [15]. Nei due periodi ottobre 2019 – febbraio 2020 e ottobre 2020 – febbraio 2021 si sono considerate le concentrazioni medie giornaliere di PM<sub>10</sub>, previste e misurate nelle stazioni di fondo del Friuli e del Veneto, poste nell'intersezione dei due domini di FARM-FVG e CAMx.

Sottolineiamo qui alcuni risultati:

- FARM è uno dei modelli che sottostima di più, assieme a MOCAGE, GEM-AQ, MATCH ed EURAD-IM (fig.18);
- per l'indicatore NMGE, FARM ha *performance* intermedie rispetto agli altri modelli, molto simili a quelle di QualeAria, da cui riceve le condizioni al contorno (fig.19);
- generalmente le previsioni di tutti i modelli correlano poco con le misure nel Bellunese e in Carnia (fig.20);
- mediamente FARM ha prestazioni soddisfacenti per la correlazione, simili a quelle di CAMx e migliori di quelle di QualeAria (fig.20);
- in genere i modelli che producono le migliori previsioni sono DEHM, SILAM, EMEP e CAMx (figg.18, 19 e 20);
- a Udine (fig.21) e a Tolmezzo (fig.24) FARM è uno dei modelli migliori;
- più a sud, verso la fascia costiera, tende a sottostimare (fig.22);
- nel Pordenonese (fig.23) e a Venezia (fig.27) la sottostima è evidente;
- nel Bellunese la sottostima è molto marcata, al contrario di CAMx che invece sovrastima (fig.25);
- a Conegliano FARM non riesce a riprodurre i picchi di gennaio-febbraio 2020 (fig.26).

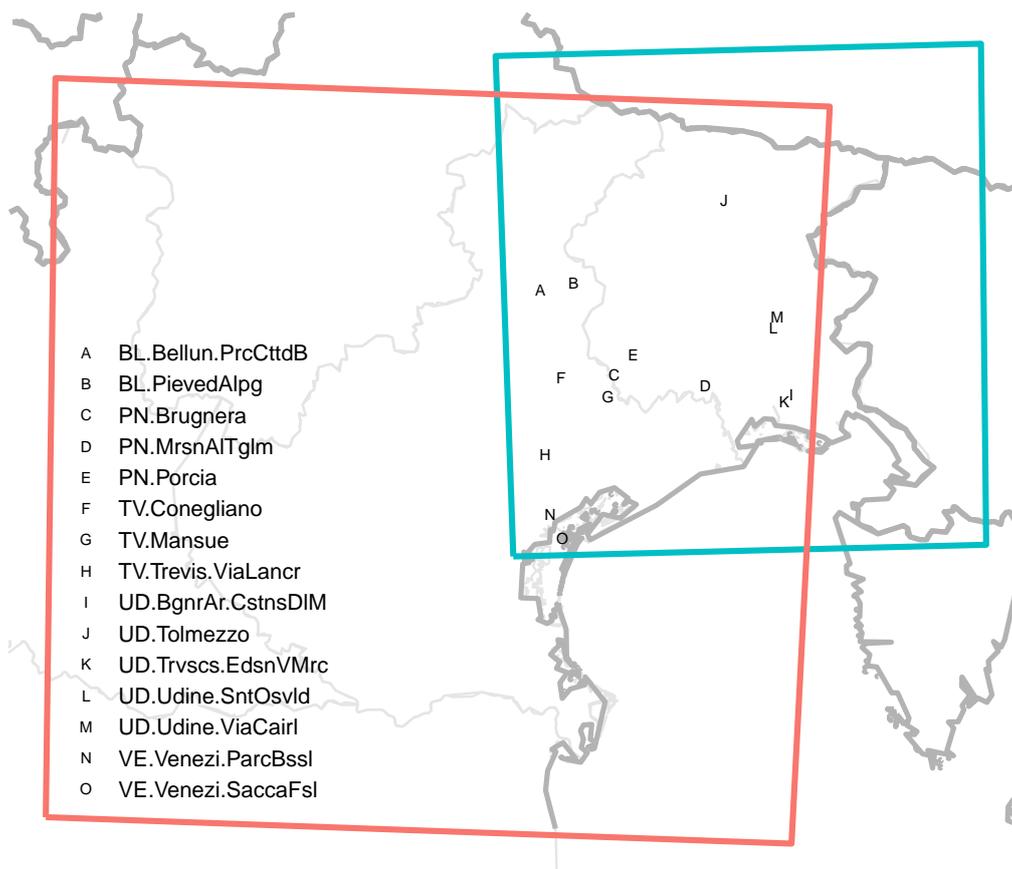


Figura 17: Domini di esecuzione di FARM-FVG (turchese) e CAMx-Veneto (salmone) e stazioni di fondo poste nell'intersezione dei due domini e utilizzate per il confronto.

Tabella 5: Caratteristiche dei modelli confrontati.

codice	nome	ente	dominio e risoluzione	input meteo	emissioni	condizioni al contorno
FARM	FARM-FVG	ARPA-FVG	FVG (2 km)	WRF (2 km)	INEMAR 2013, ISPRA 2015, PREPAIR 2013, EMEP 2010	QualeAria FARM (10 km)
CAMx	CAMx-Veneto	ARPAV	Veneto (4 km)	COSMO (5 km)	INEMAR 2015, GAINS	Prev'Air CHIMERE (20 km)
QuAr	QualeAria-FARM	AriaNet	Italia (5 km)	RAMS	ISPRA, TNO	FARM su dominio europeo (25 km)
chimere	CHIMERE	Ineris	Europa (0.1°)	IFS	CAMS-REG-AP	C-IFS
dehm	DEHM	Aarhus University	Europa (18 km a 60°N)	IFS	CAMS-REG-AP	C-IFS
emep	EMEP	MET Norway	Europa (0.125° x 0.0625°)	IFS	CAMS-REG-AP	C-IFS
euradim	EURAD-IM	IEK	Europa (9 km)	IFS	CAMS-REG-AP	C-IFS
gemaq	GEM-AQ	IEP-NRI	Europa (0.1°)	IFS	CAMS-REG-AP	C-IFS
lotos	LOTOS-EUROS	KNMI-TNO	Europa (0.1°)	IFS	CAMS-REG-AP	C-IFS
match	MATCH	SMHI	Europa (0.1°)	IFS	CAMS-REG-AP	C-IFS
mocage	MOCAGE	METEO-FRANCE	Europa (0.1°)	IFS	CAMS-REG-AP	C-IFS
silam	SILAM	FMI	Europa (0.1°)	IFS	CAMS-REG-AP	C-IFS

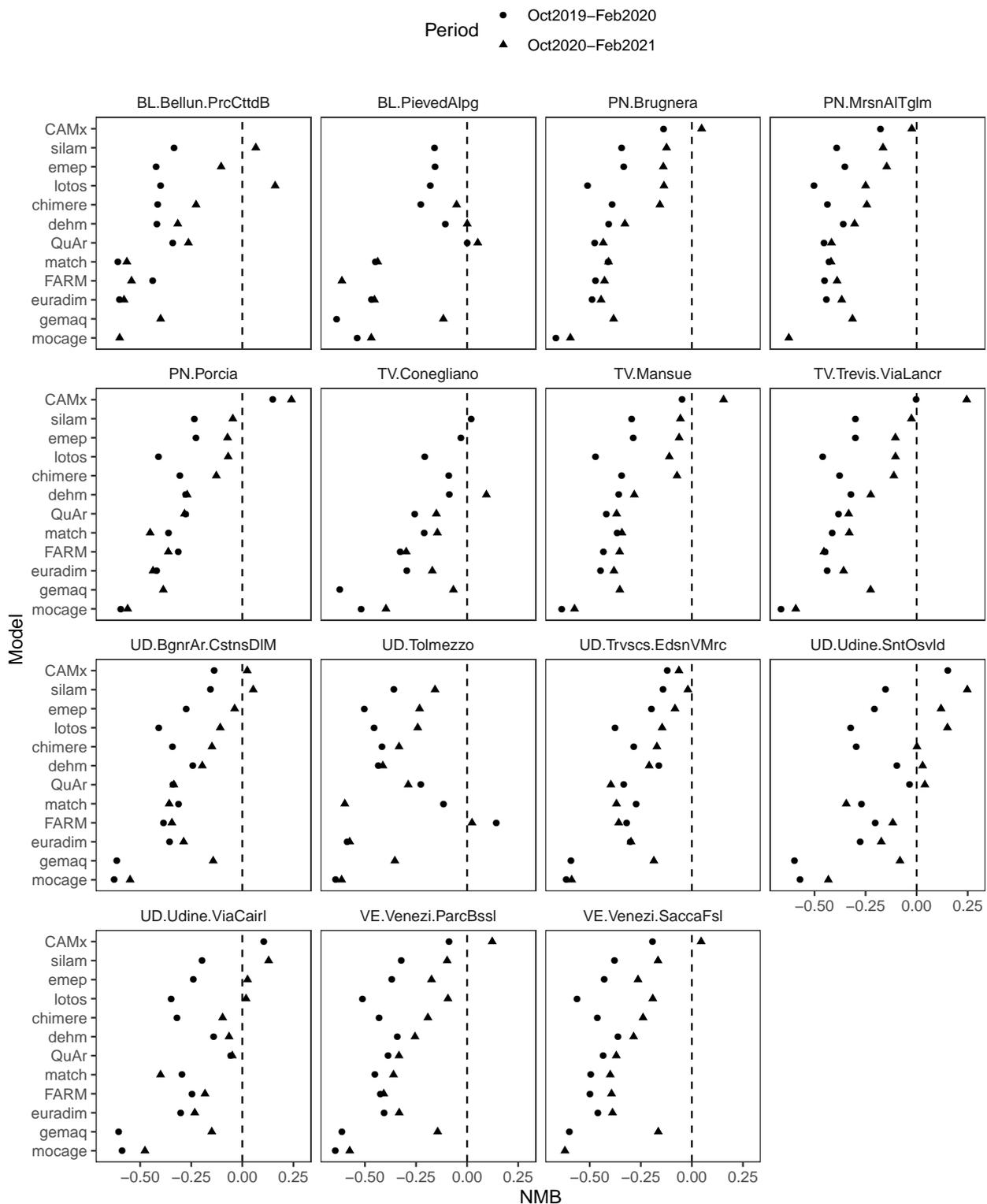


Figura 18: Prestazioni nella previsione della media giornaliera di **PM10**. Valori dell'indicatore **Normalized Mean Bias** nei periodi ottobre 2019 – febbraio 2020 e ottobre 2020 – febbraio 2021, nelle stazioni di fondo del Friuli e del Veneto, per FARM-FVG e altri modelli.

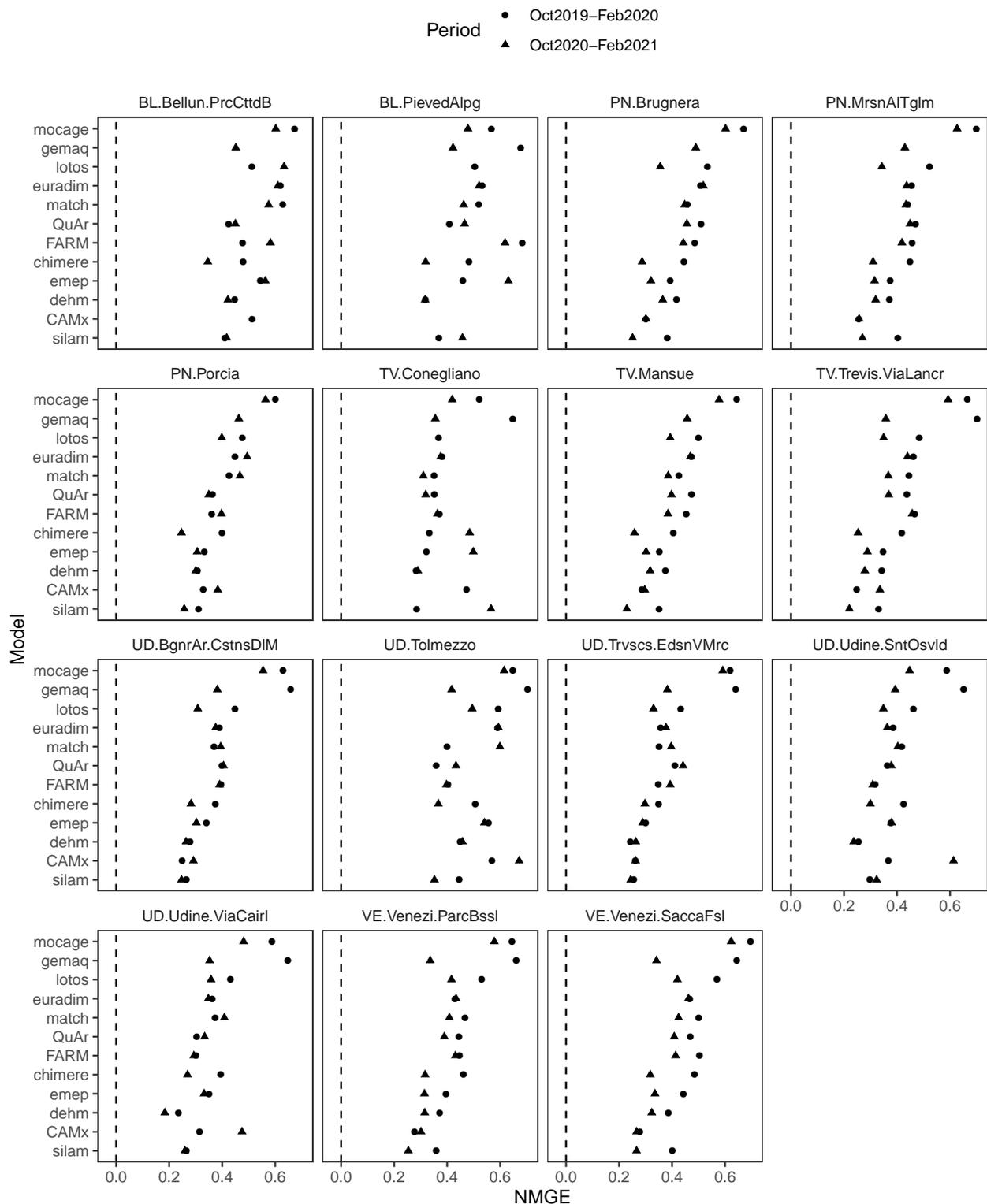


Figura 19: Prestazioni nella previsione della media giornaliera di **PM10**. Valori dell'indicatore **Normalized Mean Gross Error** nei periodi ottobre 2019 – febbraio 2020 e ottobre 2020 – febbraio 2021, nelle stazioni di fondo del Friuli e del Veneto, per FARM-FVG e altri modelli.

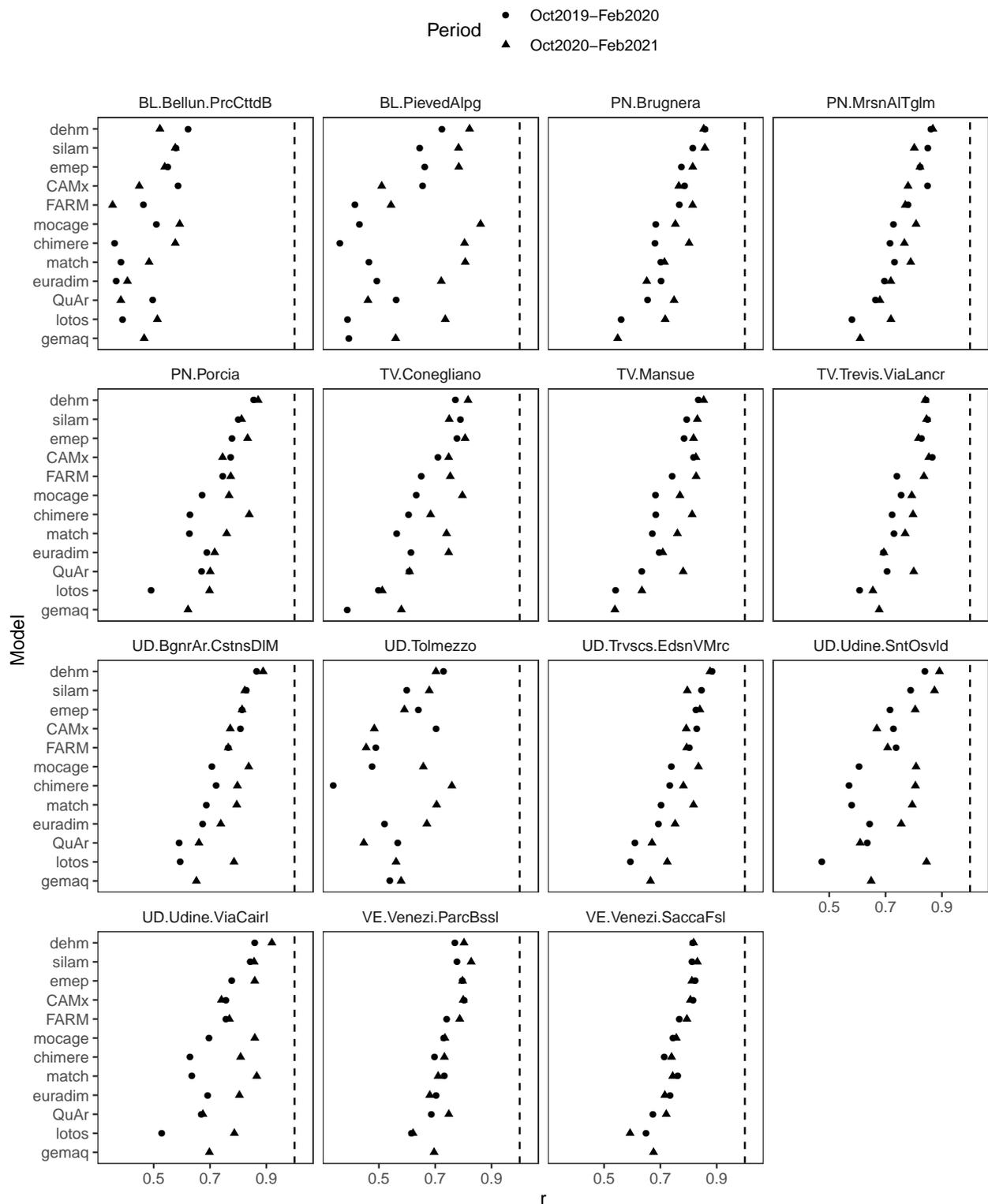


Figura 20: Prestazioni nella previsione della media giornaliera di **PM10**. Valori dell'indicatore **Correlazione di Pearson** nei periodi ottobre 2019 – febbraio 2020 e ottobre 2020 – febbraio 2021, nelle stazioni di fondo del Friuli e del Veneto, per FARM-FVG e altri modelli.

UD.Udine.ViaCairl  
daily PM10

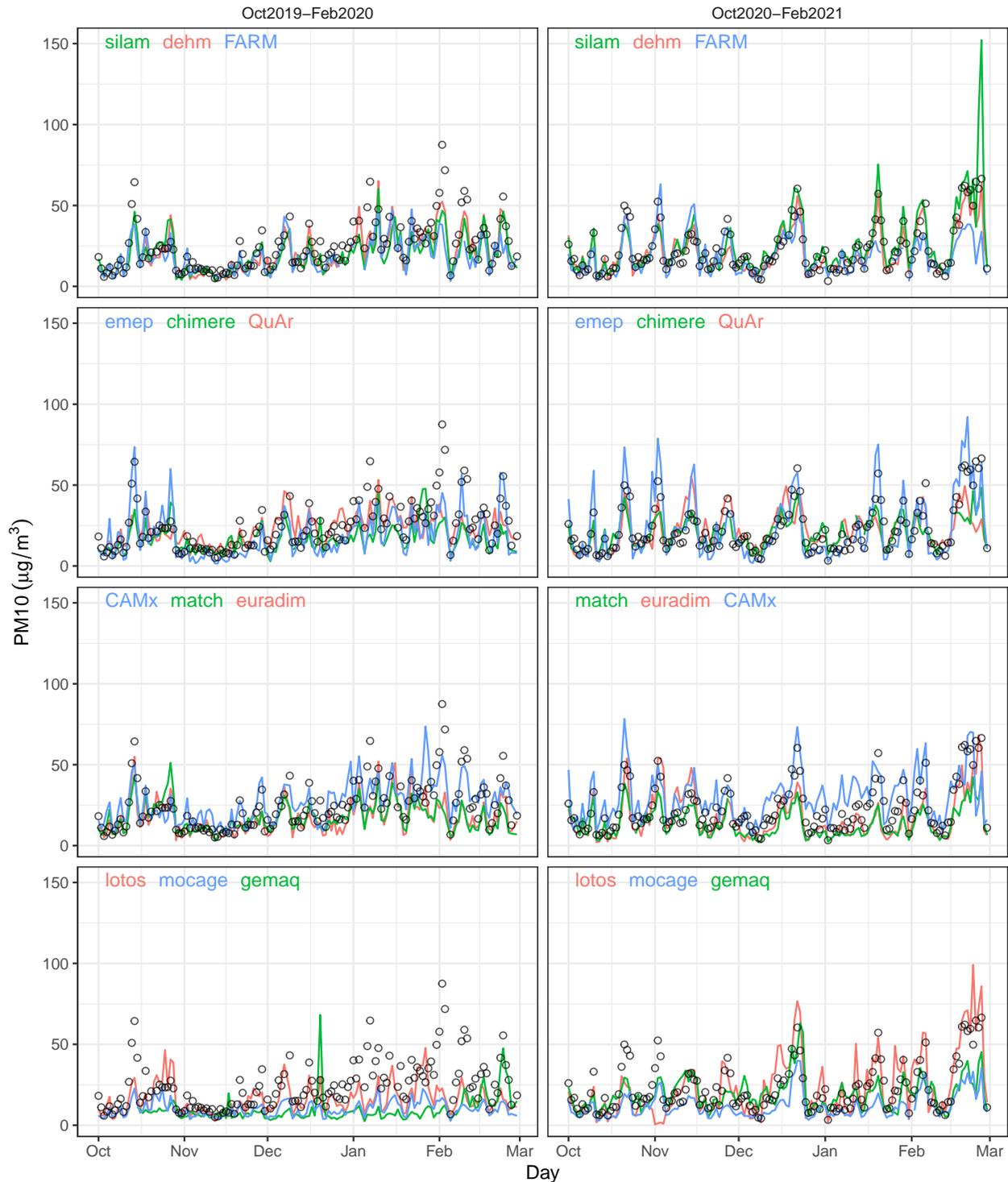


Figura 21: Previsioni di **PM10** nella stazione di **via Cairolì a Udine**. Medie giornaliere osservate (cerchietti neri) e previste per il giorno stesso dell'emissione (linee colorate) nei periodi ott 2019 – feb 2020 (a sinistra) e ott 2020 – feb 2021 (a destra), formulate da FARM-FVG e da altri modelli. Nei riquadri in alto sono presentati i modelli con le migliori *performance*, in basso i peggiori.

UD.Trvscs.EdsnVMrc  
daily PM10

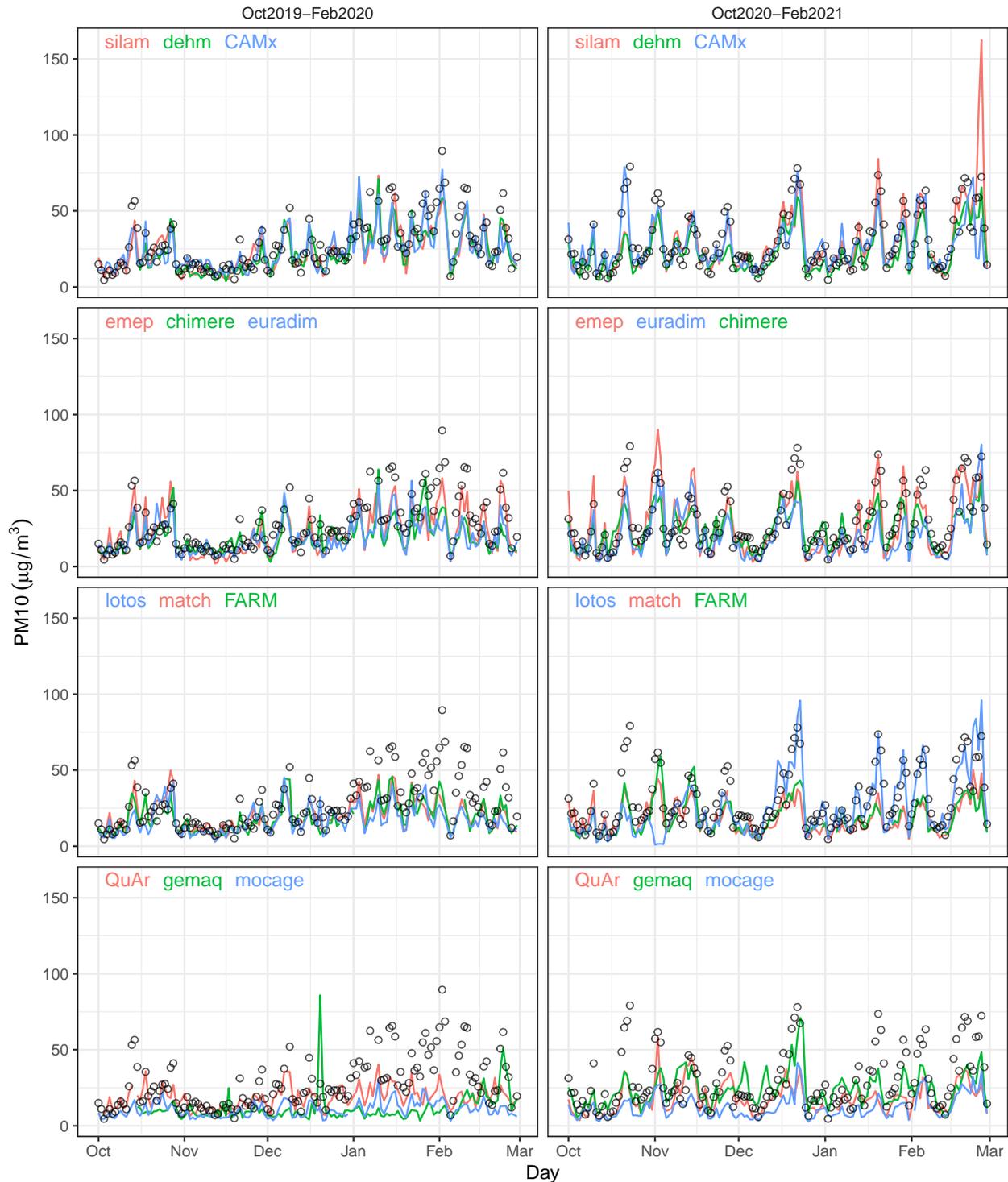


Figura 22: Previsioni di **PM10** nella stazione di **via Marconi a Torviscosa (UD)**. Medie giornaliere osservate (cerchietti neri) e previste per il giorno stesso dell'emissione (linee colorate) nei periodi ott 2019 – feb 2020 (a sinistra) e ott 2020 – feb 2021 (a destra), formulate da FARM-FVG e da altri modelli. Nei riquadri in alto sono presentati i modelli con le migliori *performance*, in basso i peggiori.

PN.Brugnera  
daily PM10

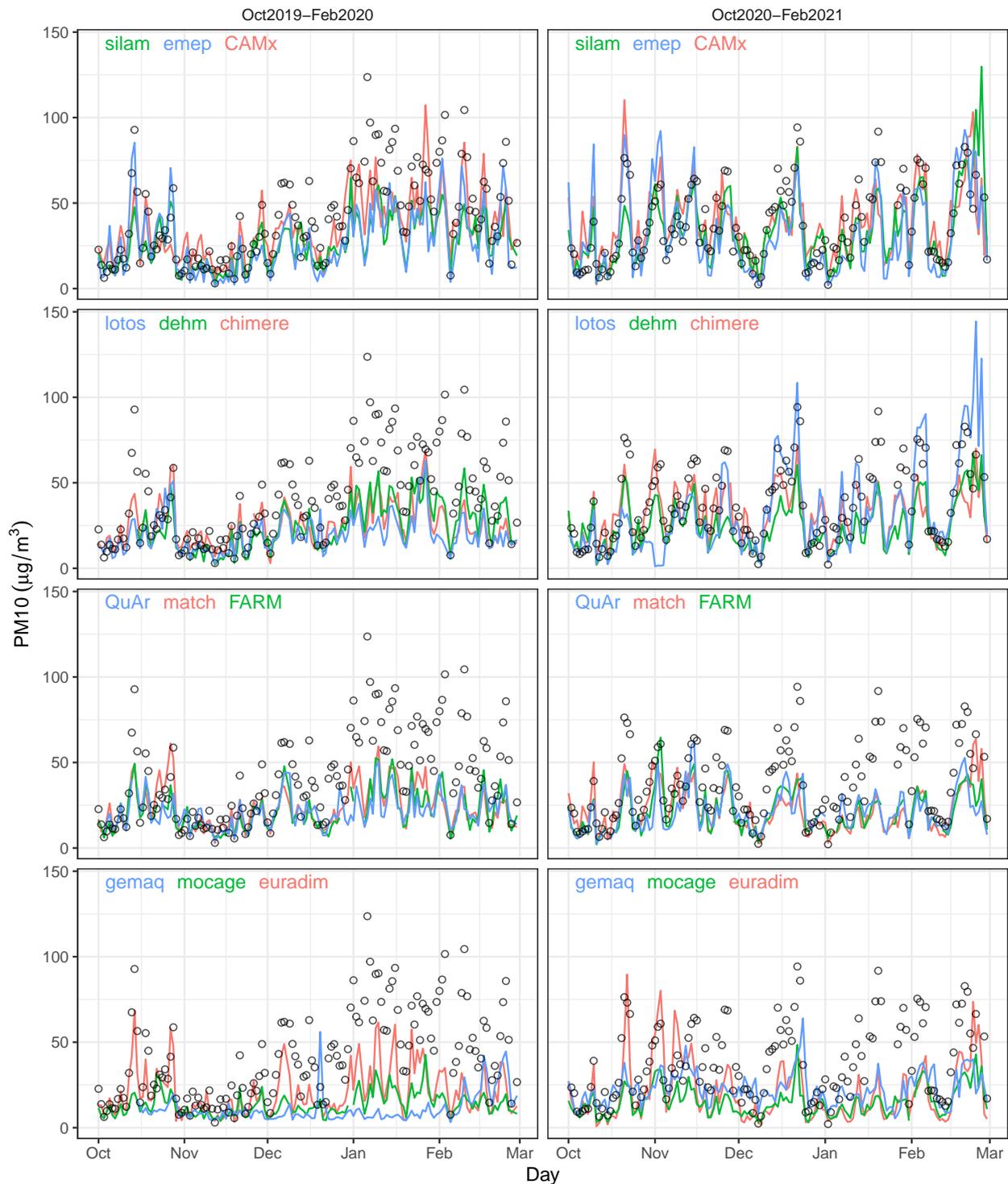


Figura 23: Previsioni di **PM10** nella stazione di **Brugnera (PN)**. Medie giornaliere osservate (cerchietti neri) e previste per il giorno stesso dell'emissione (linee colorate) nei periodi ott 2019 – feb 2020 (a sinistra) e ott 2020 – feb 2021 (a destra), formulate da FARM-FVG e da altri modelli. Nei riquadri in alto sono presentati i modelli con le migliori performance, in basso i peggiori.

UD.Tolmezzo  
daily PM10

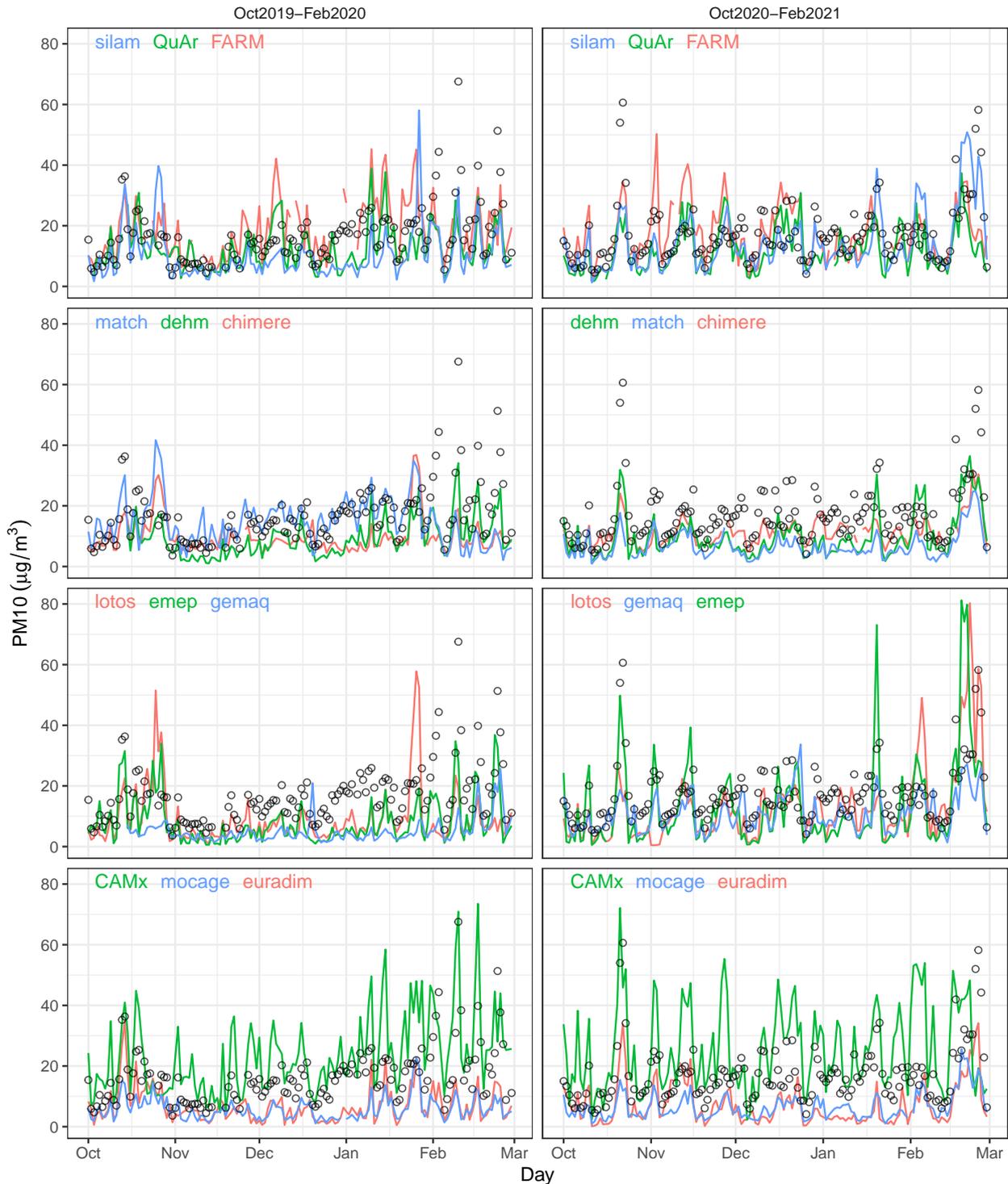


Figura 24: Previsioni di **PM10** nella stazione di **Tolmezzo (UD)**. Medie giornaliere osservate (cerchietti neri) e previste per il giorno stesso dell'emissione (linee colorate) nei periodi ott 2019 – feb 2020 (a sinistra) e ott 2020 – feb 2021 (a destra), formulate da FARM-FVG e da altri modelli. Nei riquadri in alto sono presentati i modelli con le migliori performance, in basso i peggiori.

BL.PievedAlpg  
daily PM10

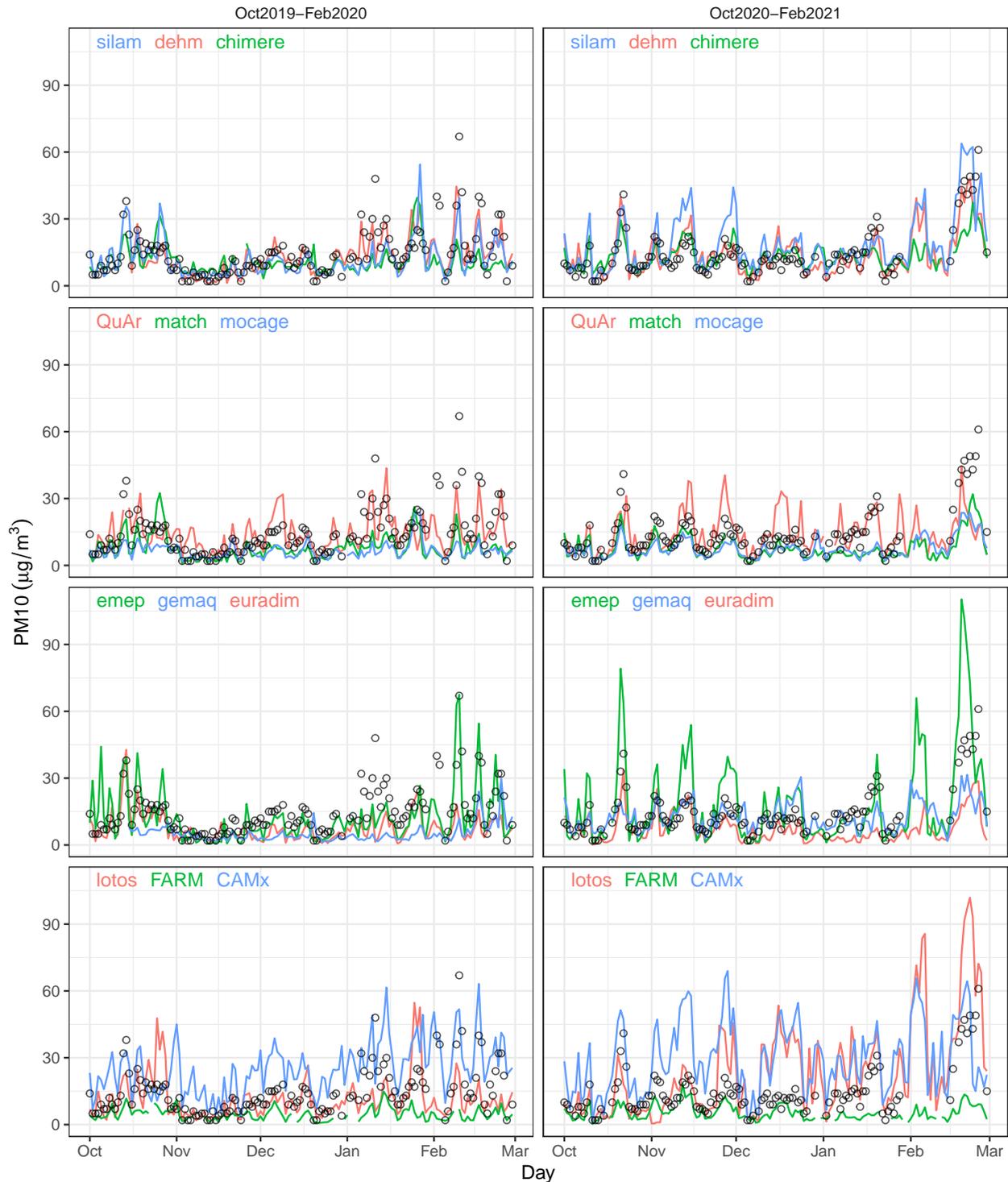


Figura 25: Previsioni di **PM10** nella stazione di **Pieve d'Alpago (BL)**. Medie giornaliere osservate (cerchietti neri) e previste per il giorno stesso dell'emissione (linee colorate) nei periodi ott 2019 – feb 2020 (a sinistra) e ott 2020 – feb 2021 (a destra), formulate da FARM-FVG e da altri modelli. Nei riquadri in alto sono presentati i modelli con le migliori *performance*, in basso i peggiori.

TV.Conegliano  
daily PM10

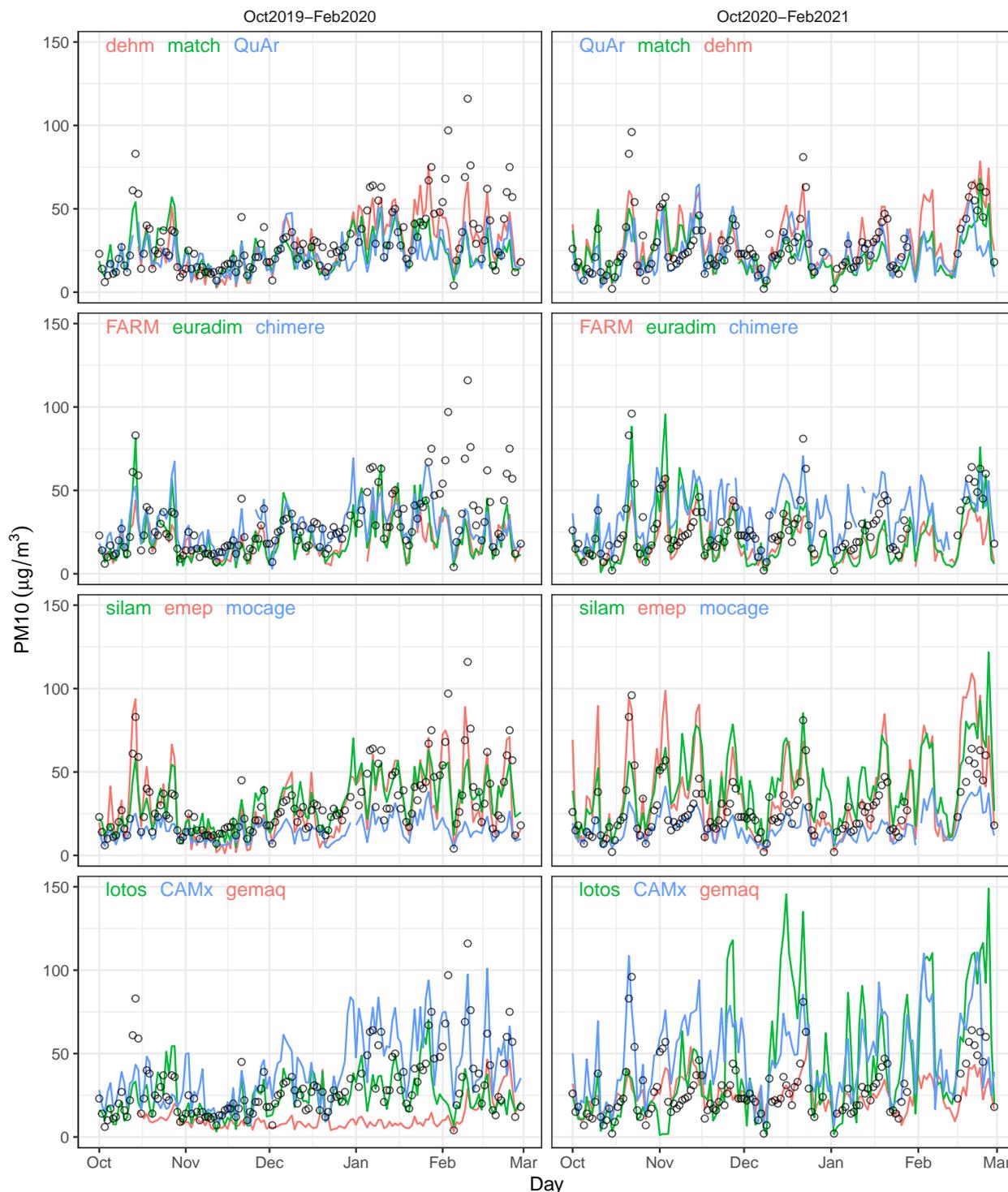


Figura 26: Previsioni di **PM10** nella stazione di **Conegliano (TV)**. Medie giornaliere osservate (cerchietti neri) e previste per il giorno stesso dell'emissione (linee colorate) nei periodi ott 2019 – feb 2020 (a sinistra) e ott 2020 – feb 2021 (a destra), formulate da FARM-FVG e da altri modelli. Nei riquadri in alto sono presentati i modelli con le migliori performance, in basso i peggiori.

VE.Venezi.SaccaFsl  
 daily PM10



Figura 27: Previsioni di **PM10** nella stazione di **Sacca Fisola a Venezia**. Medie giornaliere osservate (cerchietti neri) e previste per il giorno stesso dell'emissione (linee colorate) nei periodi ott 2019 – feb 2020 (a sinistra) e ott 2020 – feb 2021 (a destra), formulate da FARM-FVG e da altri modelli. Nei riquadri in alto sono presentati i modelli con le migliori *performance*, in basso i peggiori.

### 3. Conclusioni e prospettive

Gli interventi messi in atto nell'autunno 2020 hanno migliorato le *performance* di FARM-FVG per polveri sottili, ozono e biossido di azoto. La sottostima di FARM-FVG nella previsione di PM10 rimane, specie nella pianura friulana meridionale e occidentale e nella pianura veneta, tuttavia il sistema di correzione basato sul filtro di Kalman migliora decisamente la qualità.

Come raccomandato nella precedente relazione [1], è stato realizzato il selettore che consente all'operatore di escludere dati osservati anomali, che destabilizzano la correzione dinamica con filtro di Kalman (come si è verificato a marzo 2020). I coefficienti del filtro di Kalman sono stati recentemente ricalcolati, per adattarsi meglio alle specificità di FARM-FVG<sup>3</sup>.

Le giornate di ritardo o mancata emissione delle previsioni si sono ridotte negli ultimi due anni, tuttavia la disponibilità delle condizioni al contorno rimane l'elemento di maggior criticità.

In genere, il filtro di Kalman riduce significativamente il *bias*, ma non ha effetti apprezzabili sulla correlazione e su altri indicatori. Perciò è necessario intervenire sugli *input* di FARM: emissioni, condizioni al contorno, meteorologia. Dunque si raccomandano i seguenti interventi:

- aggiornamento del *dataset* emissivo al 2015;
- aggiustamenti al *dataset* emissivo 2015 per tenere conto di variazioni locali significative avvenute dopo il 2015<sup>4</sup>;
- aggiunta delle rotte navali al *dataset* emissivo;
- confronto tra le emissioni usate da CAMx-Veneto e gli altri *dataset* disponibili per le regioni confinanti, per impostare eventuali revisioni dell'*input* emissivo di FARM-FVG;
- test di applicazione della modulazione delle emissioni da riscaldamento con la temperatura;
- stima delle emissioni dei fuochi epifanici<sup>5</sup>;
- confronto delle prestazioni di WRF e di altri modelli meteo<sup>6</sup>;
- confronto dei coefficienti di dispersione verticale  $K_z$  calcolati da SURFPRO e da WRF.

Inoltre si suggerisce di:

- 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;

<sup>3</sup>questa modifica deve essere ancora implementata dagli sviluppatori di AriaNet

<sup>4</sup>ad esempio la chiusura dell'area a caldo della ferriera di Servola

<sup>5</sup>attività già avviata

<sup>6</sup>per esempio COSMO, che è utilizzato per la catena CAMx di ARPAV

- provare il *software* per la verifica dei modelli DELTA<sup>7</sup> [16], nell'ultima versione adatto anche a valutare la qualità delle previsioni.

---

<sup>7</sup>sviluppato nell'ambito dell'iniziativa FAIRMODE (*Forum for AIR quality MODEling*) a cui ARPA-FVG partecipa

## Riferimenti bibliografici

- [1] Giovanni Bonafè. Verifica delle previsioni di qualità dell'aria. Technical report, ARPA-FVG, 2020.
- [2] William C Skamarock, Joseph B Klemp, Jimmy Dudhia, David O Gill, Dale M Barker, Wei Wang, and Jordan 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.
- [3] C Silibello, S Finardi, and G Calori. SURFPRO (SURrface-atmosphere interFace PROcessor) User's guide. Technical report, ARIANET, 2006.
- [4] Camillo Silibello, Giuseppe 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.
- [5] A Dalla-Fontana, S Pillon, and S Patti. A performance evaluation of the CAMx air quality model to forecast ozone and PM10 over the Italian region of Veneto. *Journal of Mediterranean Meteorology & Climatology*, 18:1–13, 2021.
- [6] Alessio D'Allura, Matteo Paolo Costa, and Camillo Silibello. QualeAria: European and national scale air quality forecast system performance evaluation. *International Journal of Environment and Pollution*, 64(1-3):110–124, 2018.
- [7] Institut national de l'environnement industriel et des risques (Ineris). CAMS European air quality forecasts, CHIMERE model data, 2020. Data retrieved from Copernicus Atmosphere Monitoring Service (CAMS) Atmosphere Data Store (ADS), <https://ads.atmosphere.copernicus.eu/cdsapp#!/dataset/cams-europe-air-quality-forecasts?tab=overview>.
- [8] Aarhus University. CAMS European air quality forecasts, DEHM model data, 2020. Data retrieved from Copernicus Atmosphere Monitoring Service (CAMS) Atmosphere Data Store (ADS), <https://ads.atmosphere.copernicus.eu/cdsapp#!/dataset/cams-europe-air-quality-forecasts?tab=overview>.
- [9] Norwegian Meteorological Institute (MET Norway). CAMS European air quality forecasts, EMEP model data, 2020. Data retrieved from Copernicus Atmosphere Monitoring Service (CAMS) Atmosphere Data Store (ADS), <https://ads.atmosphere.copernicus.eu/cdsapp#!/dataset/cams-europe-air-quality-forecasts?tab=overview>.
- [10] Jülich Institut für Energie- und Klimaforschung (IEK). CAMS European air quality forecasts, EURAD-IM model data, 2020. Data retrieved from Copernicus Atmosphere Monitoring Service (CAMS) Atmosphere Data Store (ADS), <https://ads.atmosphere.copernicus.eu/cdsapp#!/dataset/cams-europe-air-quality-forecasts?tab=overview>.
- [11] Institute of Environmental Protection – National Research Institute (IEP-NRI). CAMS European air quality forecasts, GEM-AQ model data, 2020. Data retrieved from Copernicus Atmosphere Monitoring Service (CAMS) Atmosphere Data Store (ADS), <https://ads.atmosphere.copernicus.eu/cdsapp#!/dataset/cams-europe-air-quality-forecasts?tab=overview>.

- [12] Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut (KNMI) and Nederlandse Organisatie voor toegepast-natuurwetenschappelijk onderzoek (TNO). CAMS European air quality forecasts, LOTOS-EUROS model data, 2020. Data retrieved from Copernicus Atmosphere Monitoring Service (CAMS) Atmosphere Data Store (ADS), <https://ads.atmosphere.copernicus.eu/cdsapp#!/dataset/cams-europe-air-quality-forecasts?tab=overview>.
- [13] Swedish Meteorological and Hydrological Institute (SMHI). CAMS European air quality forecasts, MATCH model data, 2020. Data retrieved from Copernicus Atmosphere Monitoring Service (CAMS) Atmosphere Data Store (ADS), <https://ads.atmosphere.copernicus.eu/cdsapp#!/dataset/cams-europe-air-quality-forecasts?tab=overview>.
- [14] METEO-FRANCE. CAMS European air quality forecasts, MOCAGE model data, 2020. Data retrieved from Copernicus Atmosphere Monitoring Service (CAMS) Atmosphere Data Store (ADS), <https://ads.atmosphere.copernicus.eu/cdsapp#!/dataset/cams-europe-air-quality-forecasts?tab=overview>.
- [15] Finnish Meteorological Institute. CAMS European air quality forecasts, SILAM model data, 2020. Data retrieved from Copernicus Atmosphere Monitoring Service (CAMS) Atmosphere Data Store (ADS), <https://ads.atmosphere.copernicus.eu/cdsapp#!/dataset/cams-europe-air-quality-forecasts?tab=overview>.
- [16] P Thunis and K Cuvelier. DELTA Version 5.6. Concepts, user's guide, diagrams. Technical report, Joint Research Centre, Ispra, 2018. Available at [https://aqm.jrc.ec.europa.eu/public/data/DELTA\\_UserGuide.pdf](https://aqm.jrc.ec.europa.eu/public/data/DELTA_UserGuide.pdf).