

Verifica delle previsioni di qualità dell'aria

Relazione tecnica – dicembre 2021

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

9 dicembre 2021

Indice

1	Metodi e strumenti	4
1.1	Catena modellistica	4
1.2	Il software <i>DeltaTool</i>	4
2	Risultati	6
3	Conclusioni e prospettive	16

Elenco delle figure

1	Struttura della catena modellistica FARM-FVG.	5
2	<i>Target plot</i> per FARM: media giornaliera di PM10	8
3	<i>Target plot</i> per FARMK: media giornaliera di PM10	8
4	<i>Target plot</i> per FARM: massimo giornaliero di biossido di azoto	9
5	<i>Target plot</i> per FARMK: massimo giornaliero di biossido di azoto	9
6	<i>Target plot</i> per FARM: medie orarie di ozono	10
7	<i>Target plot</i> per FARMK: medie orarie di ozono	10
8	<i>Target plot</i> per FARM: massimo giornaliero della media mobile su otto ore dell'ozono	11
9	<i>Target plot</i> per FARMK: massimo giornaliero della media mobile su otto ore dell'ozono	11
10	<i>Scatter plot</i> delle medie annue per PM10	12
11	<i>Scatter plot</i> delle medie annue per NO2	12
12	<i>Scatter plot</i> delle medie annue per O3	13
13	<i>Summary plot</i> , media giornaliera di PM10, FARM	14
14	<i>Summary plot</i> , media giornaliera di PM10, FARMK	14
15	<i>Summary plot</i> , massimo giornaliero della media mobile su otto ore dell'ozono, FARM	15
16	<i>Summary plot</i> , massimo giornaliero della media mobile su otto ore dell'ozono, FARMK	15

Elenco delle tabelle

1	Indicatori di qualità dicotomici usati in <i>DeltaTool</i>	6
2	<i>Modelling Quality Indicator</i> per alcuni indicatori di qualità dell'aria, per le previsioni a due giorni. In grassetto se raggiungono l'obiettivo di qualità, in rosso se non lo raggiungono	7

Avvertenza

Le informazioni presenti in questa pubblicazione possono essere liberamente copiate e diffuse purché se ne citi la fonte.

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.

Precedenti relazioni tecniche sulla verifica delle previsioni di qualità dell'aria, realizzate su periodi di alcuni anni e focalizzate su aspetti differenti, sono disponibili sul sito di ARPA-FVG:

dicembre 2020 qualità delle previsioni 2016–2020, andamenti medi, analisi di episodi [1];

settembre 2021 qualità delle previsioni 2017–2021 e confronto con altri modelli [2].

1. Metodi e strumenti

Le capacità previsionali della catena modellistica FARM-FVG sono state valutate con il *software* dedicato *DeltaTool*.

1.1 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 [3];
- a partire dagli input di WRF, **SurfPRO** [4] 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** [5] 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.

1.2 Il software *DeltaTool*

Dal 2007 il forum FAIRMODE (*Forum for Air quality Modeling*), istituito dall'Agenzia Europea per l'Ambiente (EEA) e dal Joint Research Center (JRC), promuove e coordina a livello europeo l'armonizzazione di metodi e strumenti per la modellistica della qualità dell'aria. Per la verifica delle previsioni di qualità dell'aria, FAIRMODE sviluppa *DeltaTool* [6].

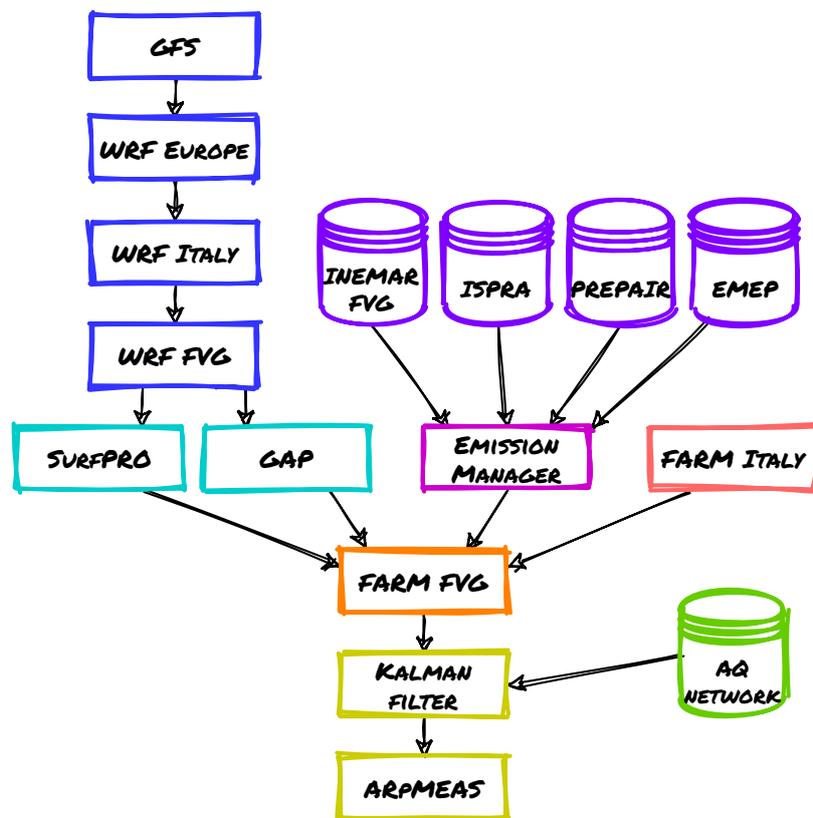


Figura 1: Struttura della catena modellistica FARM-FVG.

Tabella 1: Indicatori di qualità dicotomici usati in *DeltaTool*

indicatore	codice	definizione
falsi allarmi	FA	previsione di superamento smentita dalle osservazioni
allarmi mancati	MA	superamento osservato che non era stato previsto
accordo sotto soglia	GA_-	previsioni e osservazioni entrambi sotto la soglia
accordo sopra soglia	GA_+	previsioni e osservazioni entrambi sopra la soglia
<i>probability of detection</i>	POD	$GA_+ / (MA + GA_+)$
<i>success ratio</i>	SR	$GA_+ / (FA + GA_+)$
<i>false alarm ratio</i>	FAR	$FA / (FA + GA_+)$
<i>forecast bias</i>	$FBIAS$	$(GA_+ + FA) / (MA + GA_+)$
<i>accuracy</i>	ACC	$(GA_+ + GA_-) / N$
<i>threat score</i>	TS	$GA_+ / (MA + FA + GA_+)$
<i>Gilbert skill score</i>	GSS	$GA_+ - H_r / (MA + FA + GA_+ - H_r)$ dove $H_r = \frac{(MA + GA_-) \cdot (FA + GA_+)}{N}$

Il software è frequentemente aggiornato e si articola in numerose possibili analisi, a ciascuna delle quali corrispondono vari diagrammi. In questa relazione sono presentati i risultati dell'applicazione della versione 6.0.1 (settembre 2020) di *DeltaTool*¹.

Il *dataset* di verifica è costituito dalle previsioni a due giorni (da +48 a +72 ore) emesse nel 2020, prodotte da FARM tal quale (FARMd2) e corrette con filtro di Kalman (FARMKd2). Le previsioni e le osservazioni sono convertite nei formati richiesti da *deltaTool* con gli appositi moduli².

L'indicatore di riferimento in *DeltaTool* per la valutazione della qualità delle previsioni è il *Modelling Quality Indicator*

$$MQI_{forecast} = \sqrt{\frac{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (M_i - O_i)^2}{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (P_i - O_i)^2}} \quad (1)$$

dove M_i sono le previsioni del modello per il giorno i -esimo, P_i sono le previsioni del modello a persistenza, O_i le osservazioni dello stesso giorno, e N il numero di giorni inclusi nella serie temporale considerata. L'obiettivo di qualità è soddisfatto quando $MQI_{forecast} \leq 1$, cioè quando il modello ha prestazioni migliori rispetto al "modello a persistenza", il quale banalmente ipotizza che le concentrazioni rimangano uguali all'ultimo dato osservato disponibile, cioè al giorno precedente l'emissione della previsione. Dunque se indichiamo con fh l'orizzonte temporale della previsione (*forecast horizon*), la previsione del modello a persistenza è $P_i = O_{i-1-fh}$ e in particolare per la previsione a due giorni $P_i = O_{i-3}$.

2. Risultati

L'obiettivo di qualità stabilito da FAIRMODE prevede che MQI (eq.1) sia inferiore a 1. Il modello FARM "tal quale", nelle previsioni a due giorni (tab.2), raggiunge l'obiettivo solo per l'indicatore massimo giornaliero della concentrazione di ozono media su otto ore. Il modulo di correzione automatica, basato sul filtro di Kalman, aggiusta le previsioni sulla base delle ultime osservazioni della rete di monitoraggio. Questo processo di ag-

¹ con le modifiche diffuse nel giugno 2021, che aggiornano i file *elaboration_hour.dat*, *goals_criteria_oc.dat*, *diagram_hour.dat* e *delta.sav*

² rispettivamente, *Interactive format conversion tool* e *Data check integrity tool*

Tabella 2: *Modelling Quality Indicator* per alcuni indicatori di qualità dell'aria, per le previsioni a due giorni. In grassetto se raggiungono l'obiettivo di qualità, in rosso se non lo raggiungono

inquinante	indicatore	MQI _{forecast}	
		FARM	FARMK
PM ₁₀	media giornaliera	1.09	0.92
NO ₂	massima giornaliera	1.56	1.43
O ₃	media oraria	1.13	0.87
	max giornaliero della media su 8h	0.85	0.79

giustamento dinamico migliora la qualità di previsione: la previsione FARMK, destinata alla pubblicazione e usata anche per decidere l'attivazione dei Piani di Azione Comunale, raggiunge l'obiettivo di qualità, oltre che per l'indicatore massimo giornaliero della concentrazione di ozono media su otto ore, anche per gli indicatori media oraria di ozono e media giornaliera di PM₁₀. Invece per la massima concentrazione giornaliera di biossido di azoto l'obiettivo di qualità non è raggiunto neanche da FARMK.

Nel dettaglio, notiamo che le maggiori difficoltà di FARM nella previsione del **PM₁₀ giornaliero** sono in Carnia (Tolmezzo) e nella pianura pordenonese (Brugnera e Morsano, fig.2). In tutte le stazioni il numero di falsi allarmi è inferiore al numero di mancati allarmi (si collocano nella metà sinistra del *target plot*), e solo a Tolmezzo il *bias* è positivo (metà superiore del *target plot*). In circa metà delle stazioni l'obiettivo di qualità è raggiunto (area verde del *target plot*). Sono chiaramente migliori le *performance* previsionali di FARMK (fig.3): solo per la stazione di Tolmezzo non è raggiunto l'obiettivo di qualità. Il confronto delle medie annuali osservate e previste nel grafico a dispersione (fig.10) mostra con chiarezza la sottostima di FARM nella previsione, specie nelle stazioni dove le concentrazioni osservate sono più alte, e l'evidente beneficio dell'applicazione del modulo di correzione dinamica.

Diverso il quadro per la previsione oraria di **biossido di azoto** (fig.4). Il modello ha un *bias* negativo; la correzione dinamica (fig.5) avvicina alcune stazioni all'obiettivo di qualità, ma complessivamente non lo raggiunge. Risultano particolarmente difficili le previsioni di NO₂ a Ugovizza e a Ronchi. Tuttavia in termini di media annuale dei massimi giornalieri la qualità della previsione è soddisfacente, specie quella di FARMK (fig.11).

Per le **medie orarie di ozono** FARM ha un *bias* positivo, che determina un numero di falsi allarmi superiore ai mancati allarmi (per la soglia di 180 µg/m³) e impedisce in molte stazioni, seppur di poco, il raggiungimento dell'obiettivo di qualità (fig.6). Per questo indicatore il modulo di correzione dinamica basato sul filtro di Kalman ottiene un buon risultato: riduce il *bias* e raggiunge l'obiettivo di qualità, sia complessivo sia per ciascuna singola stazione di monitoraggio, esclusa Ugovizza (fig.7).

Per il **massimo giornaliero della media di ozono su otto ore** FARM, pur avendo un diffuso *bias* positivo, raggiunge l'obiettivo di qualità, sia complessivamente sia per ciascuna stazione (fig.8). La correzione dinamica migliora ulteriormente la previsione, sostanzialmente azzerando l'errore sistematico (fig.7). In termini di medie estive la previsione dell'indicatore prodotta da FARM è soddisfacente e quella di FARMK è particolarmente buona (fig.12).

I valori degli *skill score* dicotomici descritti in tabella 1 sono riportati nelle figure 13-16, espressi in rapporto al valore ottenuto dal corrispondente "modello a persistenza". Si nota che per il PM₁₀ (fig.13) FARM ha capacità previsionale migliore rispetto alla persistenza in termini di *accuracy* e *success ratio*, ma non per quanto riguarda *probability of detection*, *threat score* né *Gilbert skill score*. Invece FARMK per tutti gli indicatori (fig.14), quasi in tutte le stazioni di monitoraggio, ha capacità previsionali migliori rispetto alla persistenza.

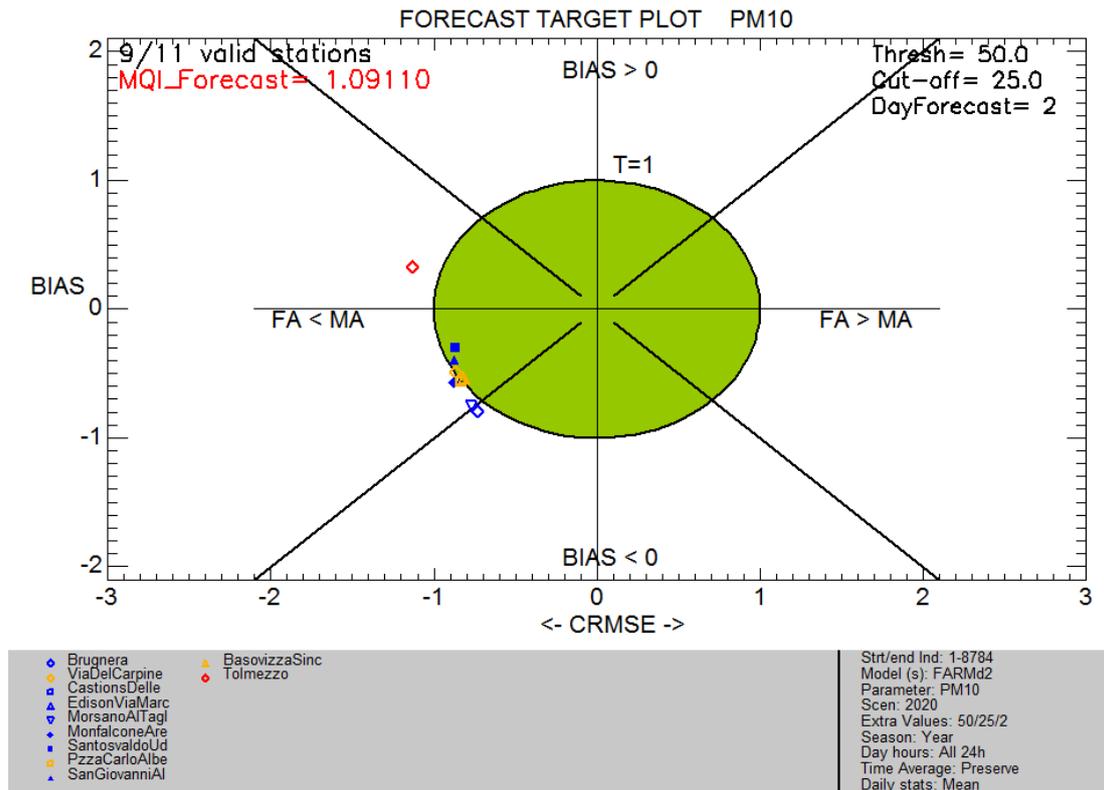


Figura 2: Target plot per FARM: media giornaliera di PM10

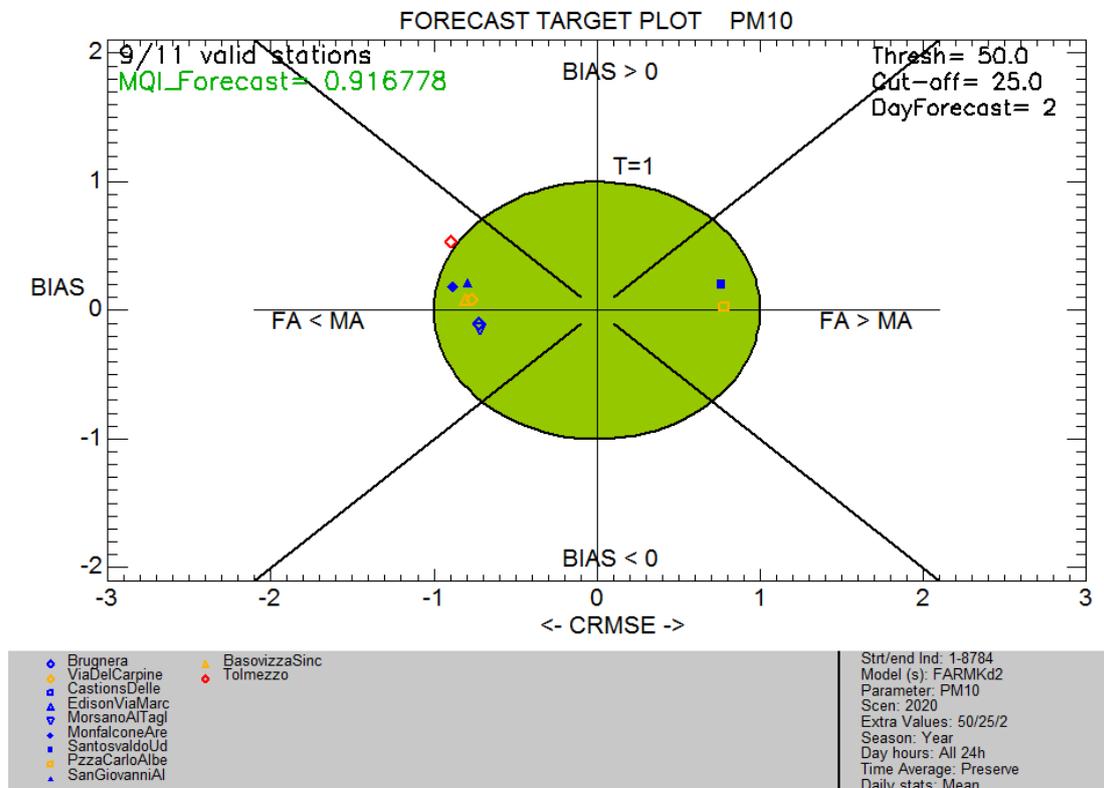


Figura 3: Target plot per FARMK: media giornaliera di PM10

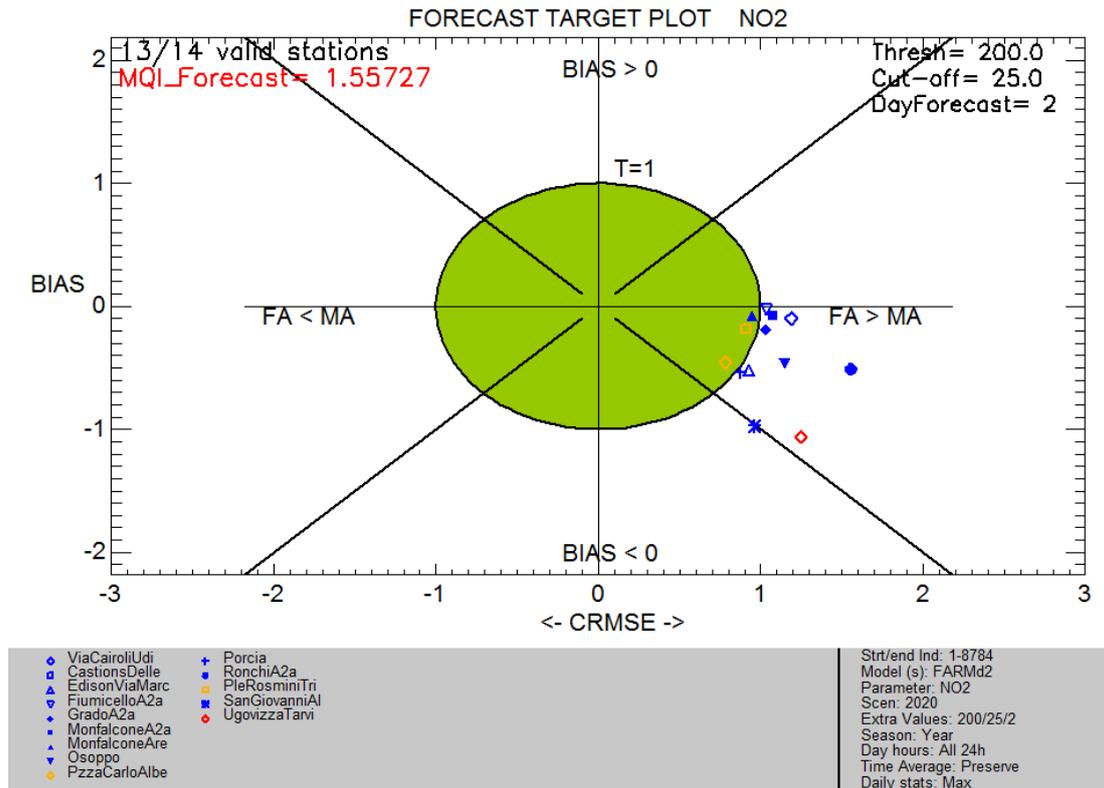


Figura 4: Target plot per FARM: massimo giornaliero di biossido di azoto

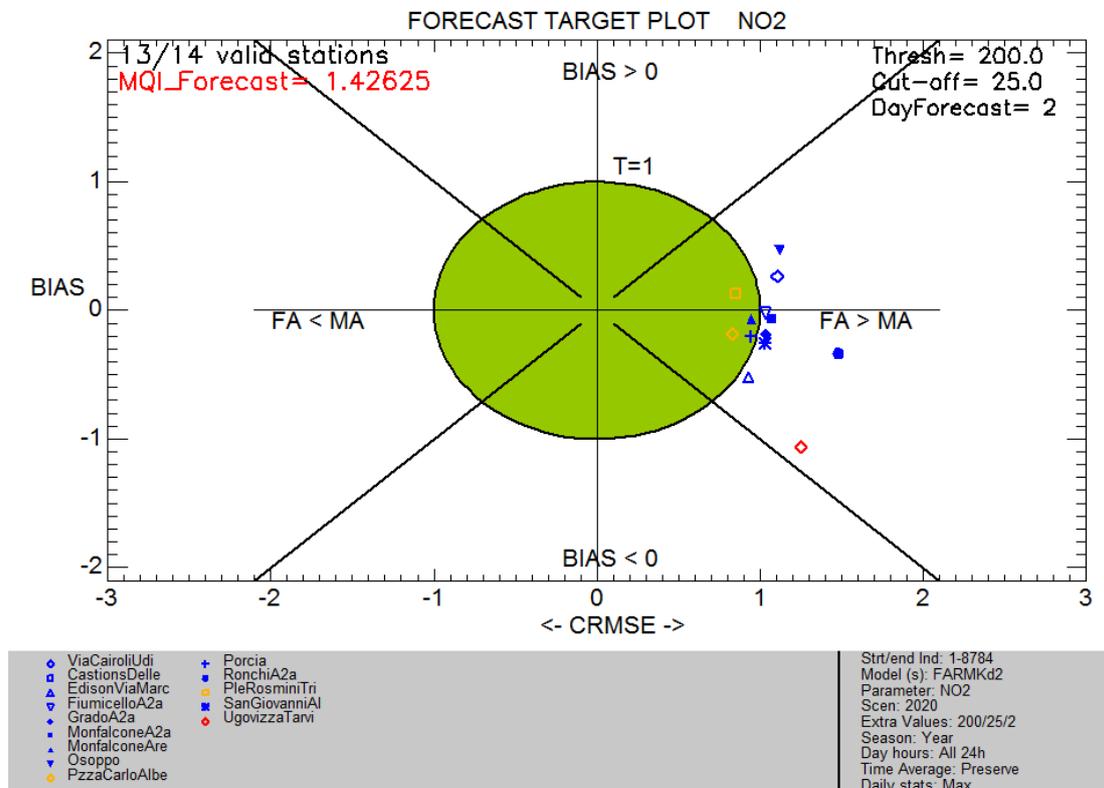


Figura 5: Target plot per FARMK: massimo giornaliero di biossido di azoto

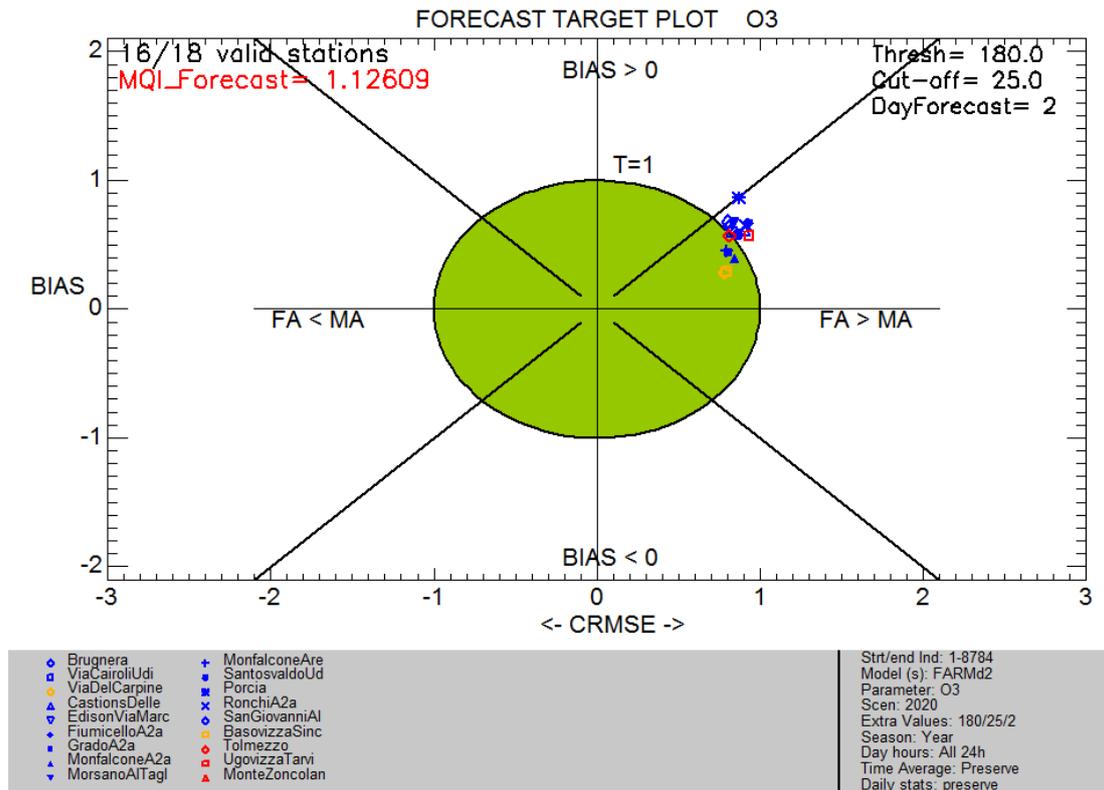


Figura 6: Target plot per FARM: medie orarie di ozono

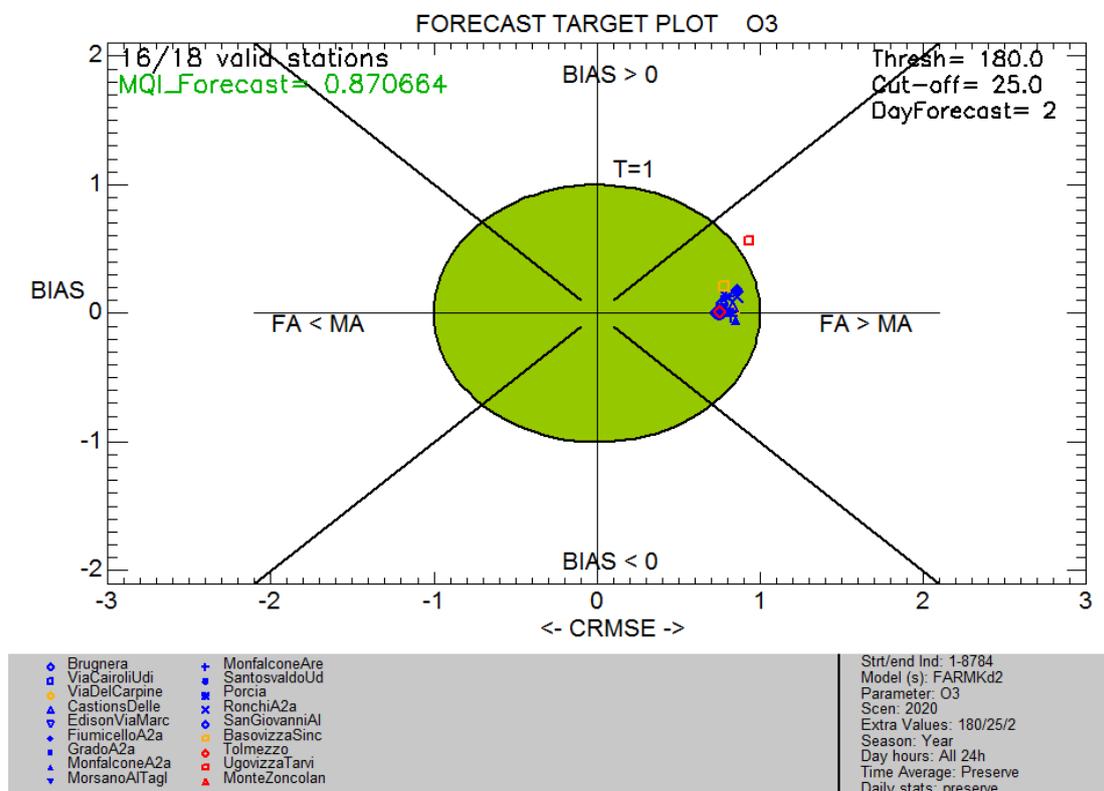


Figura 7: Target plot per FARMK: medie orarie di ozono

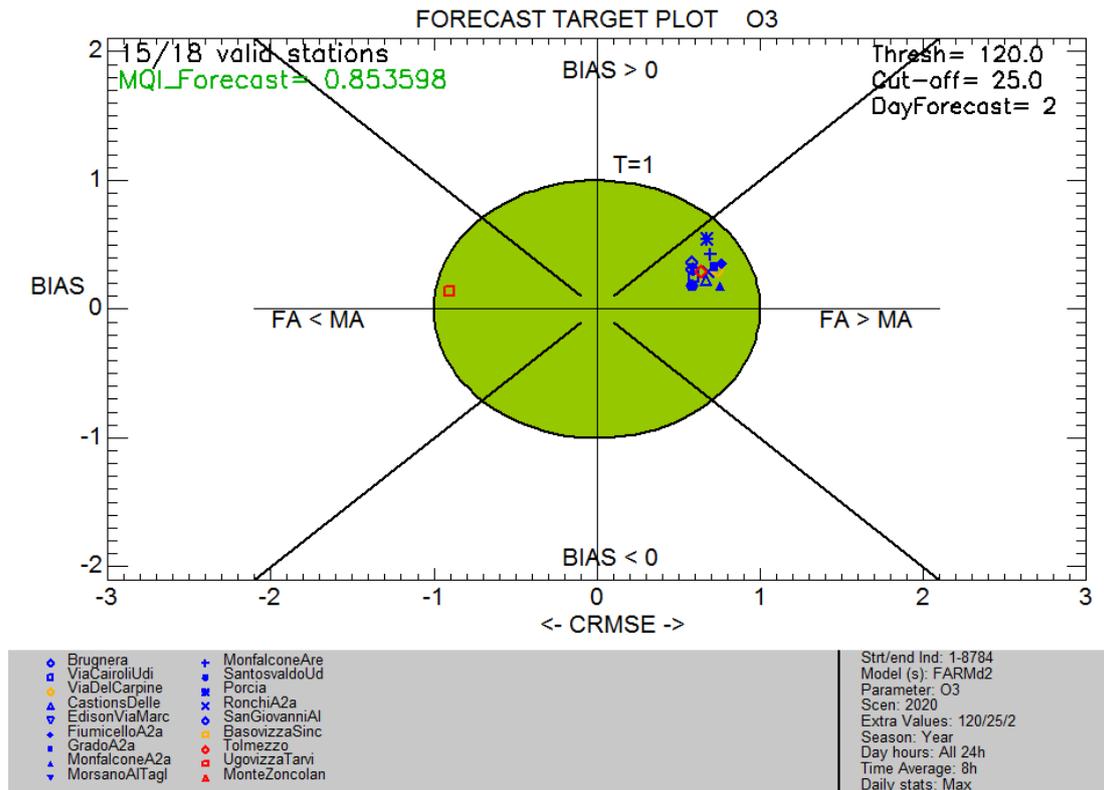


Figura 8: Target plot per FARM: massimo giornaliero della media mobile su otto ore dell'ozono

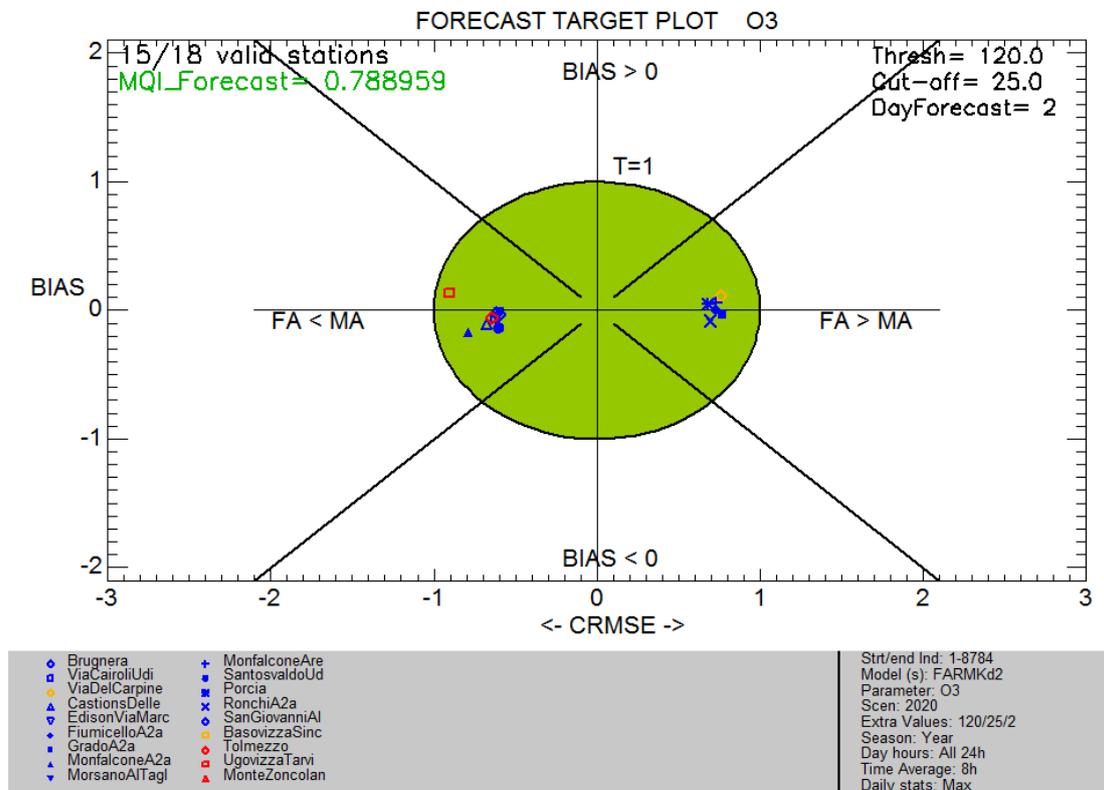


Figura 9: Target plot per FARMK: massimo giornaliero della media mobile su otto ore dell'ozono

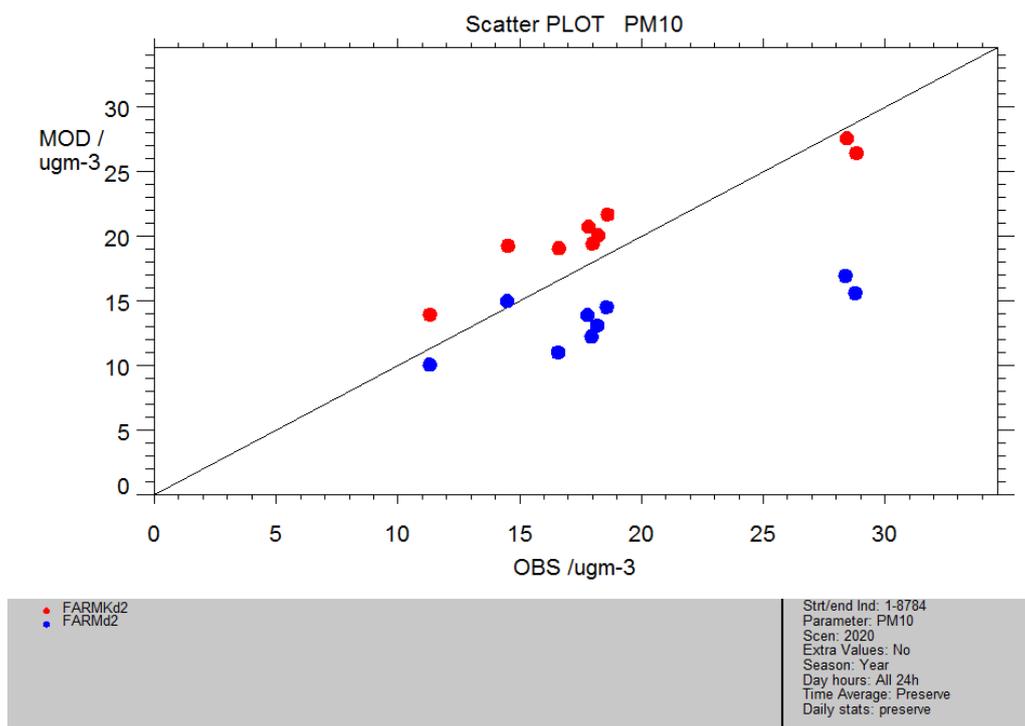


Figura 10: Confronto delle medie annuali osservate e previste dai due modelli FARM e FARMK per l'indicatore media giornaliera di PM10

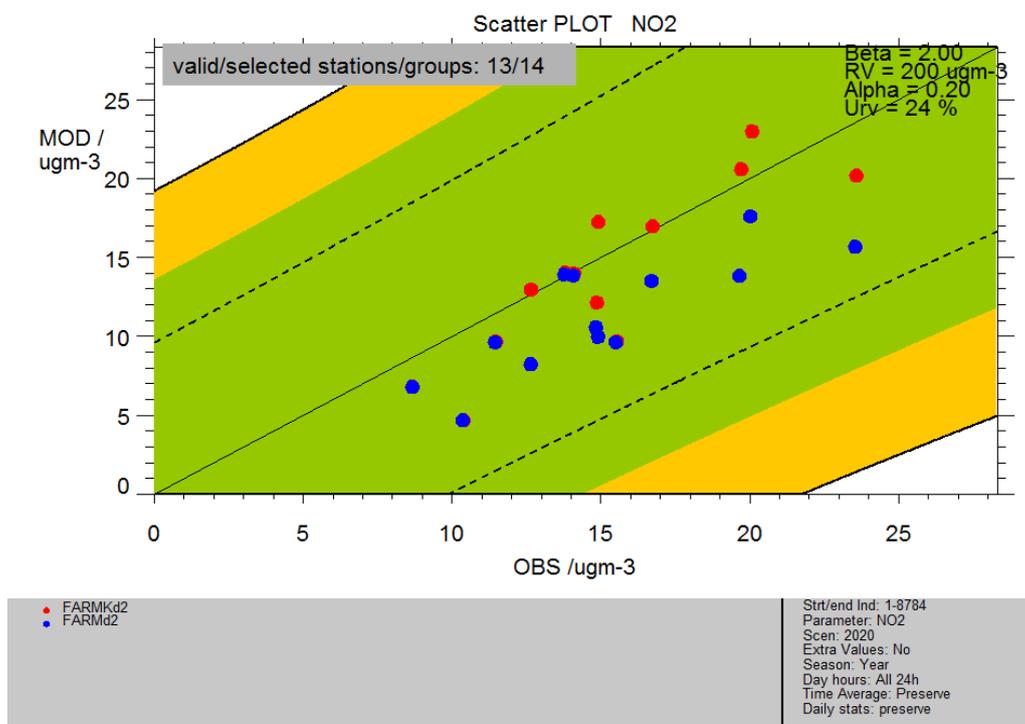


Figura 11: Confronto delle medie annuali osservate e previste dai due modelli FARM e FARMK per l'indicatore massimo giornaliero del biossido di azoto

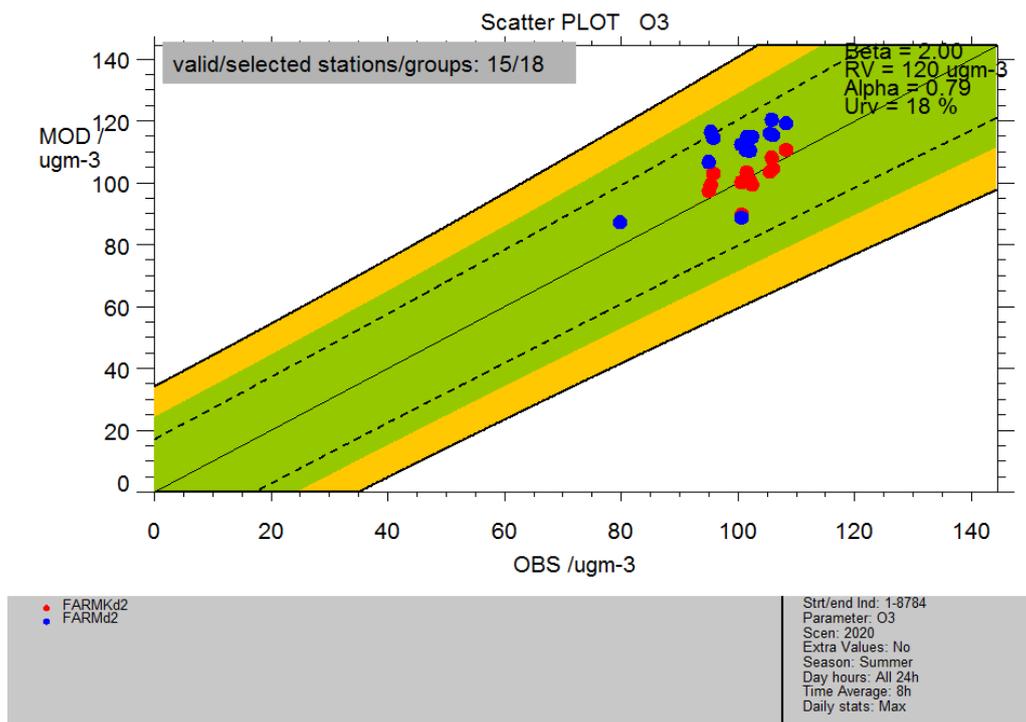


Figura 12: Confronto delle medie estive osservate e previste dai due modelli FARM e FARMK per l'indicatore massimo giornaliero della media mobile su otto ore dell'ozono

Per l'ozono (massimo giornaliero della media mobile) le performance sia di FARM (fig.15) sia di FARMK (fig.16) sono evidentemente migliori rispetto al modello a persistenza.

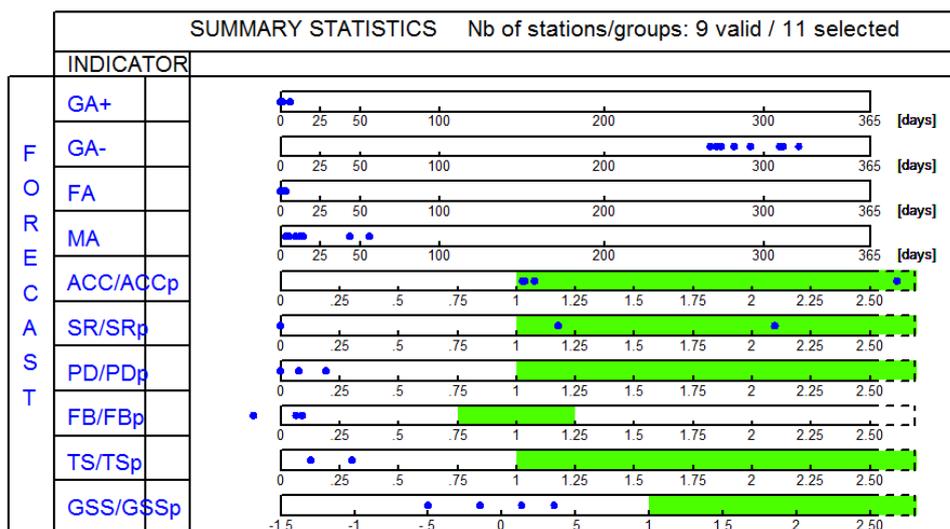


Figura 13: Sommario degli indicatori di qualità, media giornaliera di PM10, modello FARM

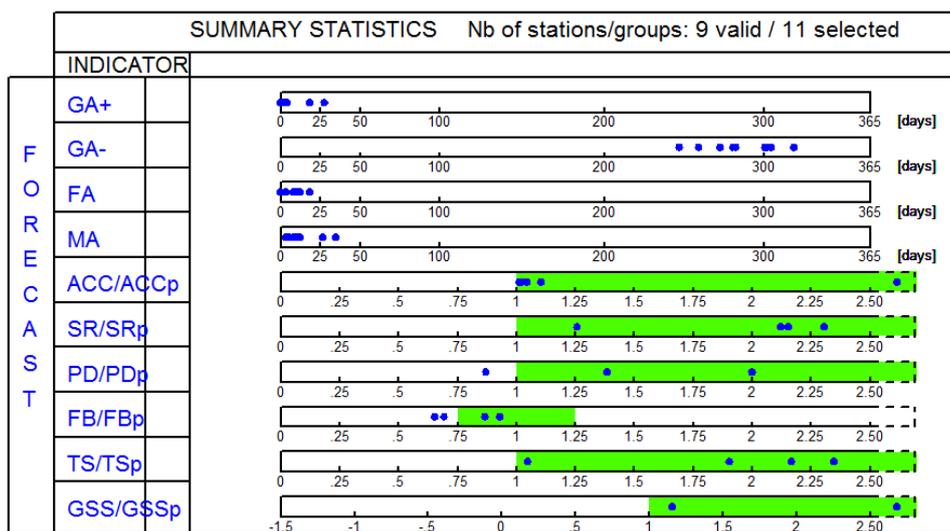


Figura 14: Sommario degli indicatori di qualità, media giornaliera di PM10, modello FARMK

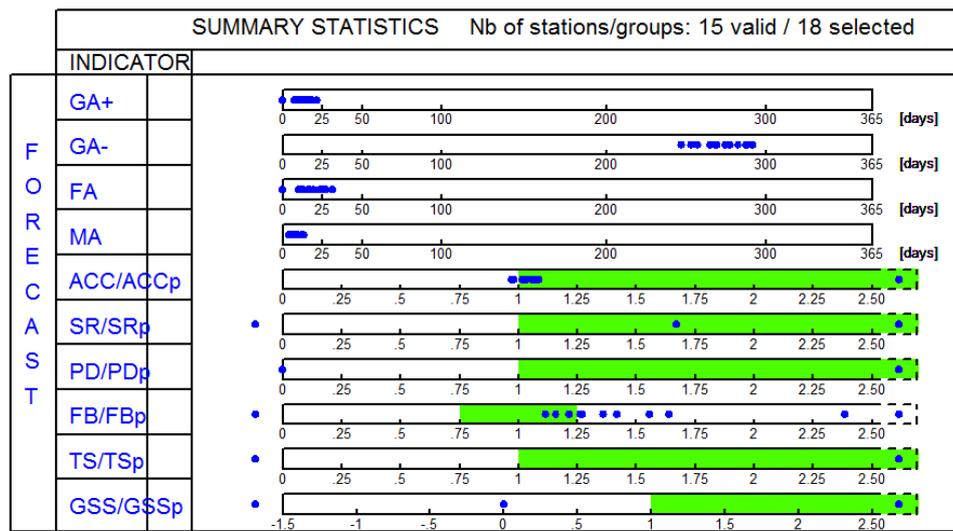


Figura 15: Sommario degli indicatori di qualità, massimo giornaliero della media mobile su otto ore dell'ozono, modello FARM

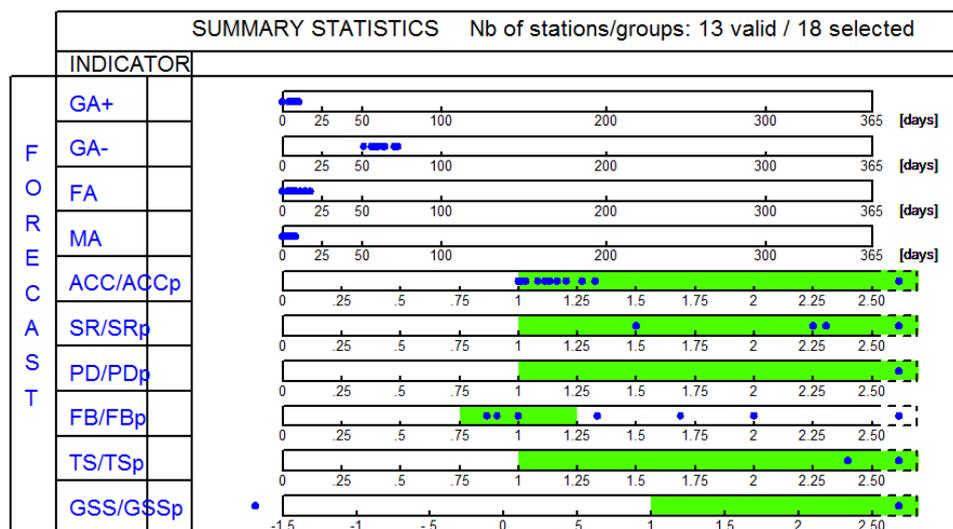


Figura 16: Sommario degli indicatori di qualità, massimo giornaliero della media mobile su otto ore dell'ozono, modello FARMK

3. Conclusioni e prospettive

Gli indicatori calcolati e i diagrammi prodotti da *DeltaTool*, conformi alle indicazioni del forum europeo di modellistica della qualità dell'aria FAIRMODE, evidenziano la necessità del modulo di correzione dinamica per raggiungere gli obiettivi di qualità della previsione. Solo nella previsione dei massimi giornalieri di biossido di azoto la catena modellistica FARM-FVG non raggiunge l'obiettivo fissato da FAIRMODE. Le previsioni di ozono e di PM10 raggiungono invece l'obiettivo di qualità.

Considerati i miglioramenti apportati nell'autunno 2020, ci possiamo aspettare miglioramenti anche negli indicatori FAIRMODE per gli anni successivi, come già visto per altri indicatori [2].

Ulteriori miglioramenti sono probabili per il 2022 come conseguenza dell'aggiornamento³ dell'*input* emissivo per la catena modellistica *QualeAria* che fornisce le condizioni al contorno a FARM-FVG. In particolare, la previsione di PM10 nella pianura friulana meridionale e occidentale e nella pianura veneta potrebbe ereditare qualche beneficio dall'incremento delle emissioni di particolato in *QualeAria*.

Sono già state avviate alcune attività per migliorare ulteriormente la previsione di FARM-FVG:

- ricalibrazione dei coefficienti del filtro di Kalman (questa modifica deve essere ancora implementata dagli sviluppatori di *AriaNet*);
- aggiornamento dell'*input* emissivo, includendo i dati delle rotte navali nell'Alto Adriatico (l'aggiornamento verrà testato su corse *offline* prima dell'implementazione operativa);
- stima delle emissioni dei fuochi epifanici;
- confronto delle prestazioni dei modelli meteo WRF e COSMO, per identificare punti deboli di WRF e possibili interventi migliorativi.

Si raccomandano i seguenti ulteriori interventi:

- 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;
- confronto dei coefficienti di dispersione verticale K_z calcolati da SURFPRO e da WRF;
- revisione delle modulazioni temporali delle emissioni da attività agricole.

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.).

³realizzato da *AriaNet* a dicembre 2021

Riferimenti bibliografici

- [1] Giovanni Bonafè. Verifica delle previsioni di qualità dell'aria – 12/2020. Technical report, ARPA-FVG, 2020. http://www.arpa.fvg.it/export/sites/default/tema/aria/utilita/Documenti_e_presentazioni/tecnico_scientifiche_docs/verifica_previsioni_FARM_2016_2020.pdf.
- [2] Giovanni Bonafè. Verifica delle previsioni di qualità dell'aria – 09/2021. Technical report, ARPA-FVG, 2021. http://www.arpa.fvg.it/export/sites/default/tema/aria/utilita/Documenti_e_presentazioni/tecnico_scientifiche_docs/verifica_previsioni_FARM_2017_2021.pdf.
- [3] 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.
- [4] C Silibello, S Finardi, and G Calori. SURFPRO (SURrface-atmosphere interFace PROcessor) User's guide. Technical report, ARIANET, 2006.
- [5] 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.
- [6] S Janssen, P Thunis, C Carnevale, C Cuvelier, P Durka, E Georgieva, C Guerreiro, L Malherbe, B Maiheu, F Meleux, et al. FAIRMODE Guidance Document on Modelling Quality Objectives and Benchmarking – Version 3.2. Technical report, 2020.