



**REGIONE AUTÒNOMA DE SARDIGNA**

**REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA**

**AGENZIA REGIONALE PRO S'AMPARU DE S'AMBIENTE DE SARDIGNA  
AGENZIA REGIONALE PER LA PROTEZIONE DELL'AMBIENTE DELLA SARDEGNA**

**ARPAS**

Dipartimento Meteoclimatico

Servizio Meteorologico, Agrometeorologico ed Ecosistemi

**RELAZIONE TECNICA  
SUL SERVIZIO DI PREVISIONE AEROBIOLOGICA DI ARPAS  
Valutazione relativa al periodo Novembre 2019 – Ottobre 2020**

**Dicembre 2020**

## SOMMARIO

1. INTRODUZIONE	3
2. IL MODELLO PREVISIONALE SARMA	5
3. PRINCIPALI CONDIZIONI METEOROLOGICHE RELATIVE AL PERIODO NOVEMBRE 2019- OTTOBRE 2020	7
4. VALUTAZIONE DEL PRIMO ANNO DI PREVISIONE	9
4.1. EFFICACIA DELLA PREVISIONE PER I PRINCIPALI TAXA ALLERGENICI	9
4.1.1 <i>Andamento previsto-osservato della serie storica</i>	9
4.1.2 <i>Indicatori di accuratezza per gli ultimi tre periodi della serie storica</i>	12
4.1.3 <i>Indice di attendibilità e analisi di varianza per il periodo in esame</i>	15
4.2. EFFICACIA DELLA PREVISIONE PER GLI ALTRI TAXA MONITORATI	15
4.1.4 <i>Andamento previsto-osservato della serie storica</i>	15
4.1.5 <i>Indicatori di accuratezza per gli ultimi tre periodi della serie storica</i>	20
4.1.6 <i>Indice di attendibilità e analisi di varianza per il periodo in esame</i>	24
5. CONCLUSIONI	25

*Si ringraziano i colleghi dell'ARPA FVG per il supporto scientifico*

ARPAS – Dipartimento Meteorologico

Servizio Meteorologico, Agrometeorologico ed Ecosistemi

Viale Porto Torres 119,

07100 Sassari

tel. +39 079 258600 fax +39 079 262681

dipartimento.imc@arpa.sardegna.it dipartimento.imc@pec.arpa.sardegna.it

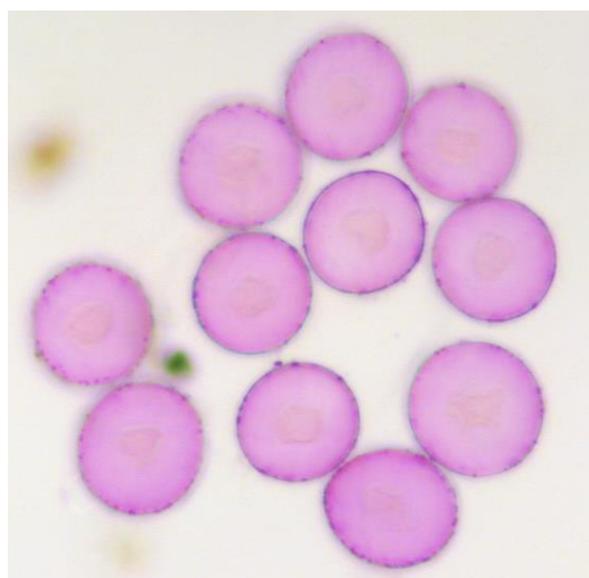
## 1. INTRODUZIONE

Nel mese di novembre 2019 è stato attivato il servizio di previsione aerobiologica associato al Bollettino Aerobiologico Settimanale ARPAS dei dati misurati, operativo dal gennaio 2015 e consultabile all'indirizzo [www.sar.sardegna.it/servizi/bio/polline.asp](http://www.sar.sardegna.it/servizi/bio/polline.asp). La previsione pubblicata sul sito Web riguarda fondamentalmente i principali *taxa* pollinici allergenici presenti nel territorio regionale e nazionale e la spora fungina *Alternaria*; sono incluse, inoltre, alcune famiglie botaniche che, sebbene non rilevanti dal punto di vista allergologico, rivestono un'importanza legata alla diffusione sul territorio. La previsione è espressa sia come classe di abbondanza (irrilevante, bassa, media ed alta definita da specifici colori) che come tendenza in aumento, in diminuzione o stazionaria rispetto a quanto misurato la settimana precedente (**Figura 1**). Nel Bollettino Settimanale l'informazione sulla previsione è, inoltre, affiancata da un indice di attendibilità espresso in percentuale che stima, per ciascun *taxon* analizzato, quanto si avvicina il dato di previsione a quello corrispondente che si misurerà la settimana successiva.

Tale attività previsionale è stata impostata per entrambi i Centri di Monitoraggio attivi a Sassari di cui erano disponibili serie storiche di dati: il Centro periferico di pertinenza ARPAS, situato in viale Porto Torres e quello urbano gestito dall'Istituto per la BioEconomia (IBE) del CNR, ubicato in viale Mancini. Tuttavia, a causa dell'emergenza sanitaria legata all'epidemia CoViD-19 il Centro CNR ha dovuto interrompere l'attività per il periodo marzo-ottobre 2020 e conseguentemente anche le elaborazioni previsionali che, si alimentano sul pregresso dei dati misurati, hanno subito un arresto per il periodo di sospensione del monitoraggio.

L'analisi dei dati previsionali oggetto della relazione riguarderà esclusivamente il centro di monitoraggio di Sassari ARPAS, che ha proseguito costantemente l'attività anche durante i mesi di chiusura relativi alla prima ondata epidemica, e sarà riferita al periodo Novembre 2019-Ottobre 2020.

E' da precisare che i *taxa* botanici interessati dalla previsione sono quelli per i quali si dispone di una classificazione in termini di abbondanza pollinica in quanto il modello fornisce un output basandosi esattamente su tali livelli di abbondanza. Stesso discorso per le spore fungine per le quali la previsione riguarda esclusivamente la spora *Alternaria*, in quanto unica spora di cui è stata studiata una classificazione dei livelli di abbondanza. Per il centro Aerobiologico di Sassari la previsione viene elaborata in tutto su 39 *taxa* botanici tra famiglie, specie e generi (**Figura 1**).



*Pollini di Cupressaceae-Taxaceae al microscopio ottico – ingrandimento 400x*



*Spore di Alternaria al microscopio ottico – ingrandimento 400x*

Pollini	2	3	4	5	6	7	8	M.S.	Prev.	Att.
<b>Betulaceae</b>	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-	87%
<i>Alnus</i> (Ontano)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-	89%
<i>Betula</i> (Betulla)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-	95%
<b>Compositae</b>	0,0	0,0	0,0	0,4	0,0	0,0	0,4	0,1	-	82%
Ambrosia	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-	91%
Artemisia	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-	78%
Altre Compositae	0,0	0,0	0,0	0,4	0,0	0,0	0,4	0,1	-	81%
<b>Corylaceae</b>	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-	85%
<i>Corylus</i> (Nocciolo)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-	94%
<i>Carpinus</i> (Carpino bianco)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-	-
<i>Ostrya</i> (Carpino nero)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-	89%
<b>Fagaceae</b>	0,0	0,0	1,8	1,3	2,2	2,2	0,9	1,2	▼	81%
<i>Fagus</i> (Faggio)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-	100%
<i>Quercus</i> (Quercia)	0,0	0,0	1,8	1,3	2,2	2,2	0,9	1,2	▼	83%
<i>Castanea</i> (Castagno)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-	92%
<b>Graminaceae</b>	0,0	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	-	81%
<b>Oleaceae</b>	1,3	0,0	0,0	0,4	0,0	0,4	0,0	0,3	-	66%
<i>Fraxinus</i> (Frassino)	1,3	0,0	0,0	0,4	0,0	0,4	0,0	0,3	-	80%
<i>Olea</i> (Olivio)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-	79%
<i>Ligustrum</i> (Ligustro)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-	99%
Altre Oleaceae	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-	97%
<b>Plantaginaceae</b>	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-	74%
<b>Urticaceae</b>	4,0	4,0	6,2	11,9	9,3	8,0	27,0	10,0	-	71%
Parietaria/Altre Urticaceae	4,0	3,5	6,2	10,2	8,8	8,0	23,9	9,2	-	62%
<i>Urtica membranacea</i>	0,0	0,4	0,0	1,8	0,4	0,0	3,1	0,8	-	87%
<b>Cupressaceae/Taxaceae</b>	0,4	0,9	1,3	1,3	1,3	4,4	20,3	4,3	▼	59%
<b>Amaranthaceae</b>	0,0	0,0	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	▼	79%
<b>Polygonaceae</b>	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-	86%
<b>Euphorbiaceae</b>	0,9	0,4	0,4	1,8	0,0	0,4	0,4	0,6	-	78%
<b>Myrtaceae</b>	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,4	0,1	-	78%
<b>Ulmaceae</b>	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-	89%
<b>Platanaceae</b>	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-	94%
<b>Aceraceae</b>	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-	100%
<b>Pinaceae</b>	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,9	0,1	-	91%
<b>Salicaceae</b>	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-	93%
<i>Populus</i> (Ploppo)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-	95%
<i>Salix</i> (Salice)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-	97%
<b>Anacardiaceae</b>	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-	-
<b>Araliaceae</b>	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-	-
<b>Buxaceae</b>	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-	-
<b>Cyperaceae</b>	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-	100%
<b>Cannabaceae</b>	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-	97%
<b>Caprifoliaceae</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>Ericaceae</b>	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-	-
<b>Ginkgoaceae</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>Hippocastanaceae</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>Juglandaceae</b>	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-	-
<b>Juncaceae</b>	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-	-
<b>Lauraceae</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>Fabaceae</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>Mimosaceae</b>	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-	-
<b>Moraceae</b>	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-	95%
<b>Palmae</b>	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-	-
<b>Papaveraceae</b>	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-	-
<b>Ranunculaceae</b>	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-	-
<b>Rosaceae</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>Rubiaceae</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>Saxifragaceae</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>Simaroubaceae</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>Tiliaceae</b>	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-	-
<b>Umbelliferae</b>	0,0	0,0	0,0	0,0	0,4	0,0	0,0	0,1	-	-
<b>Vitaceae</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>ALTRI POLLINI (1)</b>	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-	-
(1) Pollini non riportati in elenco										
<b>Spore</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>M.S.</b>	<b>Prev.</b>	<b>Att.</b>
<b>Alternaria</b>	6,6	6,6	15,9	27,8	26,1	20,8	34,5	19,8	▼	77%

Figura 1. Tabella settimanale di dati misurati, media settimanale (M.S.), previsione (Prev.) per la settimana in corso espressa come tendenza e classe di abbondanza e attendibilità (Att.) della stessa

## 2. IL MODELLO PREVISIONALE SARMA<sup>1</sup>

Le elaborazioni della previsione si basano sul modello statistico SARMA sviluppato da ARPA FVG e realizzato sulla base di un modello autoregressivo a media mobile che lavora sulle concentrazioni medie settimanali. Tale modello fornisce per ciascun *taxon* analizzato dati previsti di abbondanza, a livello settimanale, partendo da una serie storica di dati giornalieri misurati con caratteristiche di stagionalità. I dati di concentrazione settimanale previsti e misurati vengono poi rapportati alle classi di abbondanza di riferimento per la rete POLLnet, la rete di monitoraggio del Sistema Nazionale per la Protezione dell'Ambiente (SNPA, [www.ilpolline.it](http://www.ilpolline.it)). Tali classi sono specifiche per ciascun *taxon* secondo quanto riportato in **tabella 1**.

Pollini (famiglie)	Irrilevante	Bassa	Media	Alta
Aceraceae	<1	1-19,9	20-39,9	≥40
Betulaceae	<0,6	0,6-15,9	16-49,9	≥50
Cannabaceae	<1	1 - 19,9	20 - 39,9	≥ 40
Amaranthaceae	<0,1	0,1-4,9	5-24,9	≥25
Compositae	<0,1	0,1-4,9	5-24,9	≥25
Corylaceae	<0,6	0,6-15,9	16-49,9	≥50
Cupr./Taxaceae	<4	4-29,9	30-89,9	≥90
Cyperaceae	<1	1 - 2,9	3 - 4,9	≥ 5
Euphorbiaceae	<1	1-4,9	5-9,9	≥10
Fagaceae	<1	1-19,9	20-39,9	≥40
Graminaceae	<0,6	0,6-9,9	10-29,9	≥30
Moraceae	<2	2-19,9	20-69,9	≥70
Myrtaceae	<1	1-4,9	5 - 29,9	≥30
Oleaceae	<0,6	0,6-4,9	5-24,9	≥25
Pinaceae	<1	0,9-14,9	15-49,9	≥50
Plantaginaceae	<0,1	0,1-0,4	0,5-1,9	≥2
Platanaceae	<0,1	1-19,9	20-39,9	≥40
Polygonaceae	<1	1-4,9	5-9,9	≥10
Salicaceae	<1	1-19,9	20-39,9	≥40
Ulmaceae	<1	1-19,9	20-39,9	≥40
Urticaceae	<2	2-19,9	20-69,9	≥70
Spore fungine (generi)	Irrilevante	Bassa	Media	Alta
Alternaria	<1	1-9,9	10-99,9	≥100

**Tabella 1.** Classi di abbondanza pollinica di alcuni taxa botanici e della spora *Alternaria* – Rete POLLnet

Le differenze tra le classi di abbondanza previste settimanalmente dal modello e quelle dei dati misurati fornisce l'indicazione della tendenza complessiva del modello.

Il modello lineare SARMA utilizzato si basa sul seguente logaritmo:

$$\ln X_{t,c} = \sum_{i=1}^p \varphi_i \cdot \ln X_{t-D-i} + \theta_i \cdot \varepsilon_{t-D-i}$$

<sup>1</sup>Prediction of wind-carried Gramineae and Urticaceae pollen occurrence in the Friuli Venezia Giulia region (Italy)" F. Tassan-Mazzocco, A. Felluga, P. Verardo - Aerobiologia, 2015 – Springer.

dove:

$X_{t,c}$  è la media settimanale delle concentrazioni previste in funzione del tempo;  $X_t$  è la media settimanale delle concentrazioni misurate;  $\varphi_i$  e  $\theta_i$  sono rispettivamente i  $p$  coefficienti di autoregressione e i  $p$  coefficienti della media mobile;  $D$  è la settimana di ritardo e  $\epsilon_i$  è l'errore inteso come lo scarto tra il dato previsto  $X_{t,c}$  e quello misurato  $X_t$ .

I valori stimati di  $p$  e  $D$  sono ottenuti dal correlogramma di ciascuna serie storica analizzata. Tale correlogramma mostra tipicamente un'alternanza di valori positivi e negativi ad indicare che i valori di un dato istante o periodo dell'anno sono fortemente correlati con quelli dello stesso periodo degli anni precedenti, il che significa che il fenomeno varia in modo sostanzialmente simile da un anno all'altro (Figura 2).

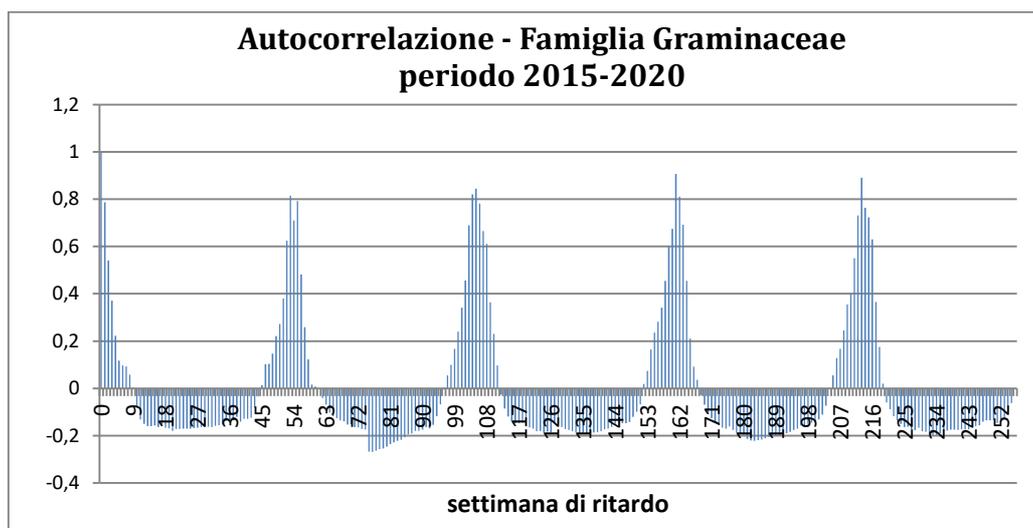


Figura 2. Esempio di correlogramma della serie storica delle Graminaceae – Periodo 2015-2020

Nel correlogramma il primo termine positivo dopo il primo set di termini negativi è rappresentato dal ritardo  $D$ , invece il valore  $p$  è dato dal conteggio di tutti i successivi termini positivi. Dal momento che il modello è applicato con un ritardo  $D$ , il primo dato di previsione corrisponde alla settimana del ritardo  $D$  che normalmente coincide con l'inizio del secondo anno di dati. Nel secondo e terzo anno le previsioni non sono ovviamente performanti, tuttavia l'affidabilità dovrebbe aumentare con l'incrementare della serie storica di dati disponibili a meno che non vi siano delle variazioni sostanziali nei trend annuali. Di norma il modello può essere utilizzato se si dispone di una serie con almeno tre anni di dati (Tassan *et al.*, 2015).

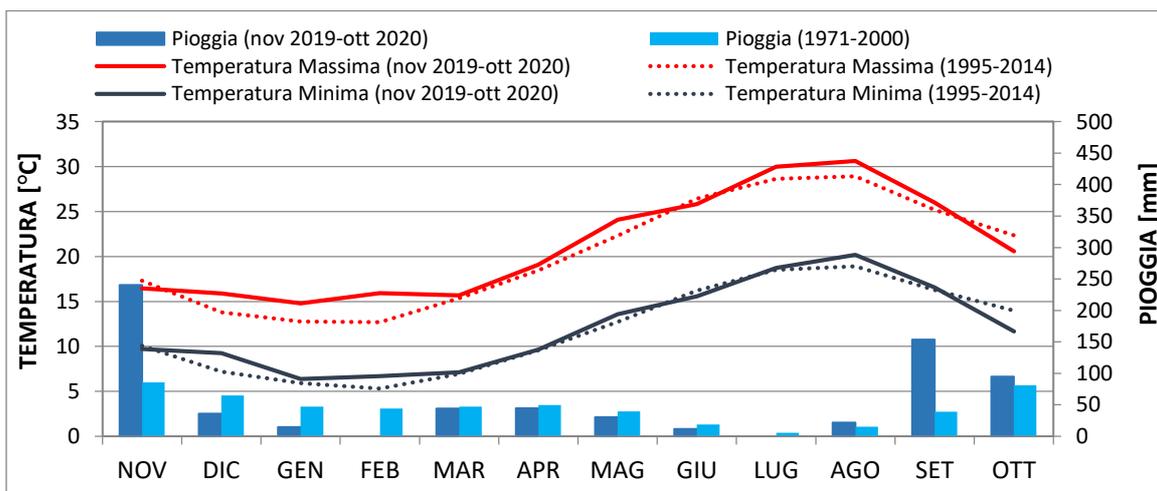
Essendo il metodo SARMA un modello puramente statistico non tiene conto di condizioni meteorologiche anomale che possono incidere sulla fisiologia e fenologia delle piante o sulla sporulazione dei funghi influenzando sia l'inizio che la fine della stagione pollinica o di sporulazione, che la stessa abbondanza della dispersione. Pertanto al fine di comprendere alcuni risultati dell'analisi verrà esaminato anche l'andamento delle condizioni meteorologiche del periodo Novembre 2019-Ottobre 2020 che in qualche modo possono spiegare alcuni possibili scostamenti tra osservato e previsto.

Si ricorda che i risultati del modello previsionale sono sempre sottoposti all'attenzione e interpretazione dell'esperto prima della pubblicazione, pertanto in caso di output non conformi con gli andamenti del periodo la tendenza pubblicata viene corretta manualmente dall'operatore.

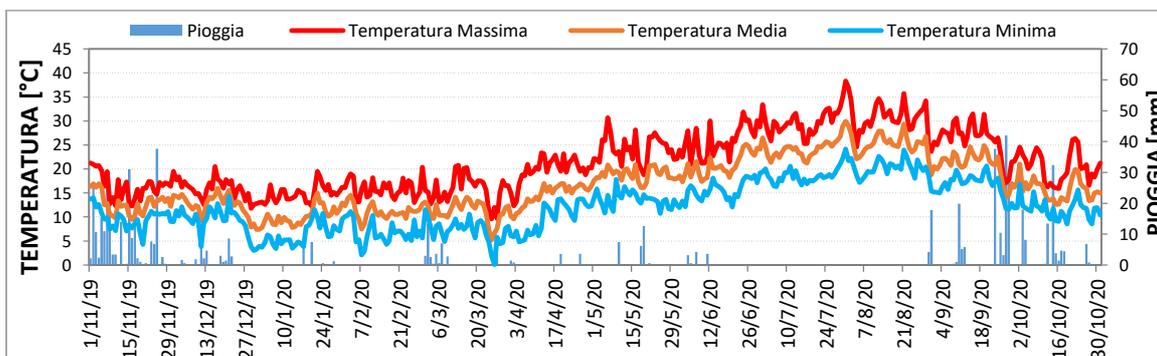
### 3. PRINCIPALI CONDIZIONI METEOROLOGICHE RELATIVE AL PERIODO NOVEMBRE 2019 – OTTOBRE 2020

Il periodo è stato caratterizzato da un mese di novembre particolarmente piovoso con cumulati 3 volte oltre la media, mentre le temperature sono state di poco sopra la media di riferimento (**Figura 3**). La stagione invernale (dicembre 2019 - marzo 2020) è stata secca con valori termici alti soprattutto nelle massime. In particolare, nel mese di febbraio è stato registrato un cumulo di precipitazione pari a zero con oltre 3 °C di anomalia per la temperatura massima. I successivi mesi primaverili (aprile-giugno 2020) hanno fatto registrare piogge sostanzialmente in linea, con alcuni eventi piovosi concentrati nella seconda decade di maggio in corrispondenza della fioritura di alcune importanti specie allergeniche come l'olivo (**Figura 4**). Le temperature sono state lievemente superiori alla media nel bimestre marzo-aprile e di poco inferiori a maggio. Il periodo estivo (luglio-settembre 2020) è stato caldo con precipitazioni esigue in linea con il periodo per i mesi di luglio e agosto, mentre settembre è stato molto perturbato e piovoso con cumulati 4 volte oltre la media. Infine, il mese di ottobre è stato fresco e piovoso con precipitazioni concentrate in particolare a metà mese.

Le anomale temperature del 2020 possono essere anche riassunte dalle mappe delle sommatorie termiche per il periodo gennaio-ottobre 2020 in base 0 °C e 10 °C (**Figure 5 e 6**) dalle quali si evince come quest'anno sia stato contraddistinto da un marcato anticipo termico rispetto al dato medio (oltre 160 GDD di anomalia su gran parte del territorio regionale) che può avere influenzato in vario modo la fenologia e, quindi, la fase di fioritura e l'emissione del polline delle diverse specie vegetali.



**Figura 3.** Temperature e piogge mensili per la stazione meteorologica di Sassari – Confronto tra periodo in esame novembre 2019 – ottobre 2020 e dato medio pluriennale corrispondente



**Figura 4.** Temperature e piogge giornaliere per la stazione meteorologica di Sassari – Periodo novembre 2019 – ottobre 2020

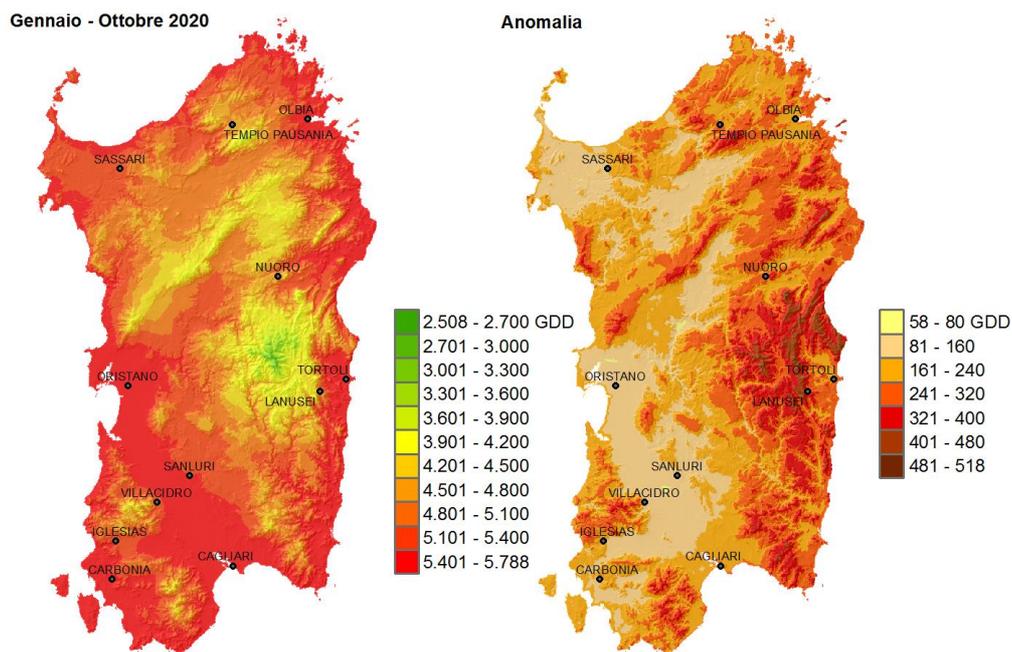


Figura 5. Sommatorie termiche in base 0 °C per gennaio – ottobre '20 e raffronto con i valori medi pluriennali

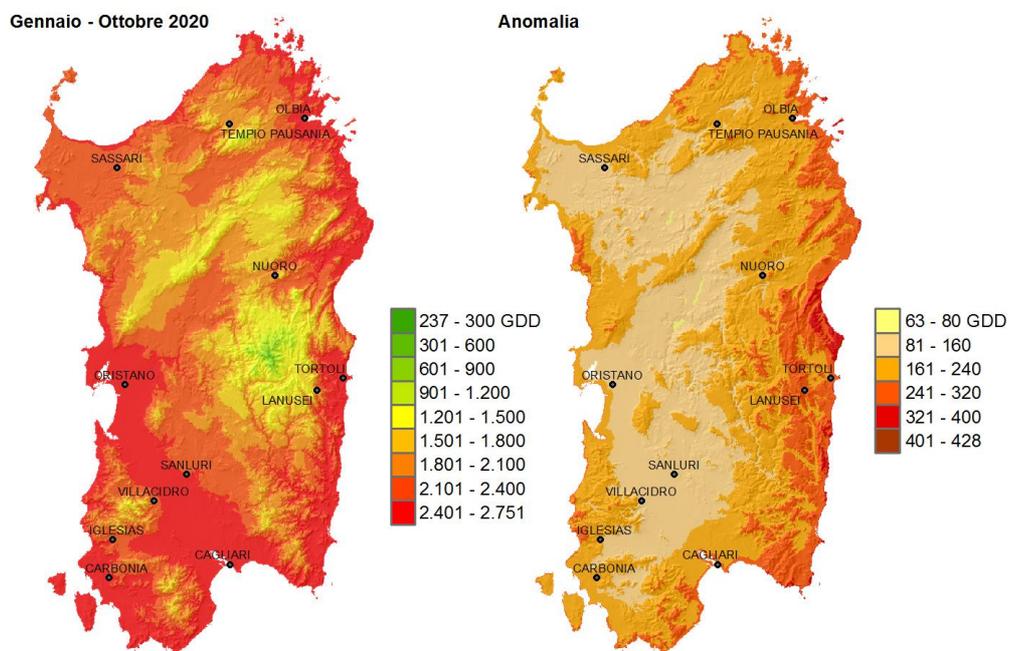


Figura 6. Sommatorie termiche in base 10 °C per gennaio – ottobre '20 e raffronto con i valori medi pluriennali

## 4. VALUTAZIONE DEL PRIMO ANNO DI PREVISIONE

In questo studio sono analizzati i dati di output del modello SARMA ottenuti adottando due approcci differenti. Un primo procedimento più rigoroso e complesso nella sua elaborazione per le 7 famiglie botaniche più allergeniche (Betulaceae, Compositae, Corylaceae, Cupressaceae-Taxaceae, Graminaceae, Oleaceae ed Urticaceae) e per la spora *Alternaria*. La seconda modalità ha riguardato le altre 14 famiglie e vede un approccio meno articolato per una valutazione della bontà complessiva del modello. Queste valutazioni, essendo particolarmente impegnative, si fermano a livello di famiglia e non contemplano l'indagine sui generi e le specie che potranno essere approfondite in lavori futuri.

Il primo procedimento implica la ricostruzione del dato di previsione settimanale partendo dalla prima settimana di valutazione del modello (novembre 2019) e la rielaborazione di volta in volta delle settimane successive fino ad ottobre 2020. In questo modo si è ottenuto per ogni settimana il valore della previsione effettivamente pubblicato sul Web e si potuto in questo caso valutarne l'accuratezza nel dettaglio. Essendo SARMA un modello autoregressivo a media mobile si autoalimenta con i dati di ogni settimana aggiuntiva e necessariamente i dati previsionali cambiano e si allineano con la nuova serie storica.

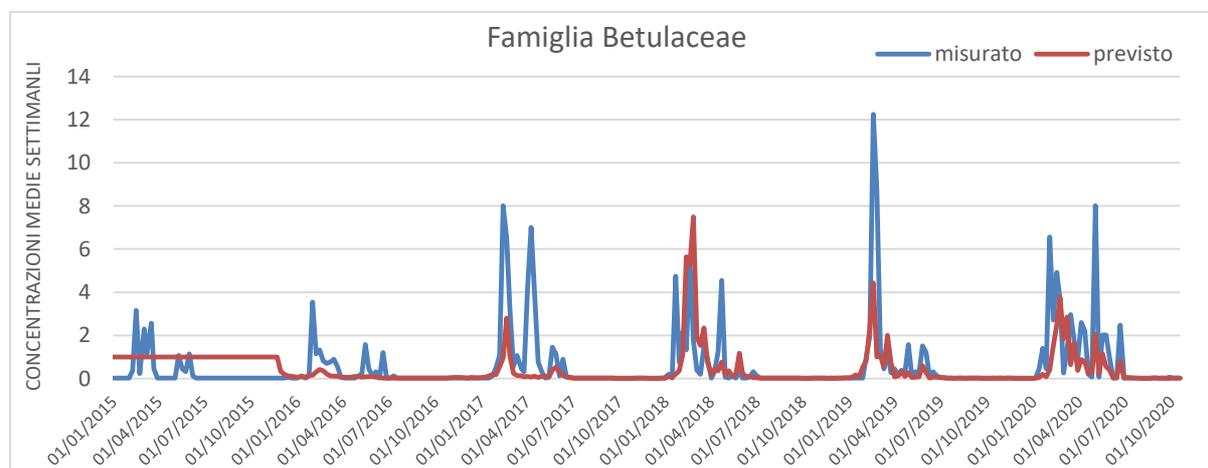
Nel secondo approccio sono stati utilizzati, invece, i dati di previsione complessivi all'ultima data utile di valutazione, pertanto fine ottobre 2020. Tale analisi ha consentito comunque di dare un'indicazione complessiva degli andamenti previsto-misurato e di valutare globalmente l'efficacia predittiva del modello.

Per ciascuno di questi *dataset* sono stati analizzati degli indicatori di accuratezza della previsione per gli ultimi tre periodi della serie storica in modo da determinare tra essi quello meglio performante. Inoltre, i dati del periodo in esame (Novembre 2019-Ottobre 2020) sono stati valutati in termini di percentuali di attendibilità ed anche con un'analisi di varianza previsto-rilevato considerando sia le concentrazioni medie settimanali che le classi di abbondanza.

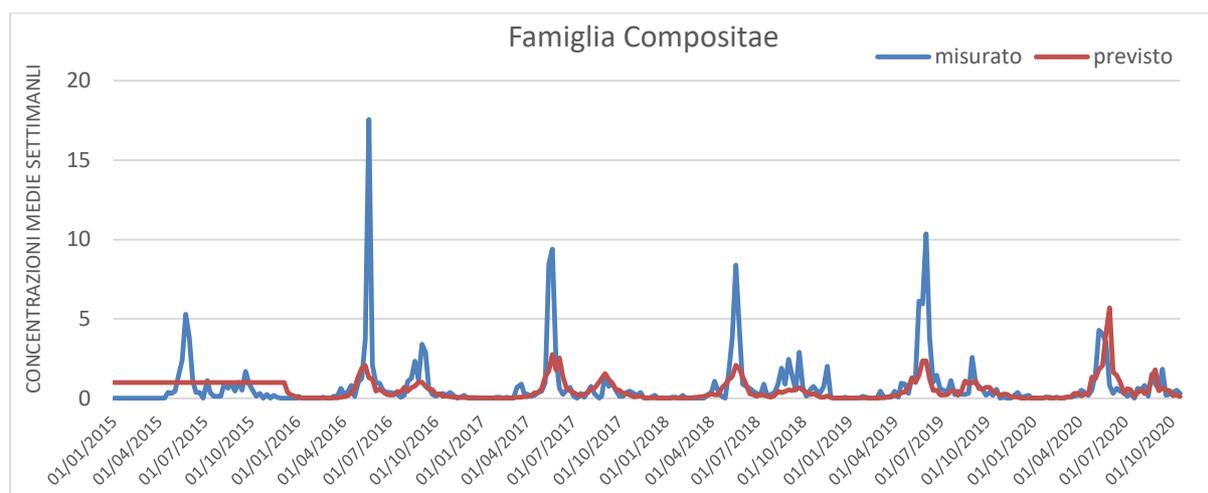
### 4.1. EFFICACIA DELLA PREVISIONE PER I PRINCIPALI TAXA ALLERGENICI

#### 4.1.1. Andamento previsto-osservato della serie storica

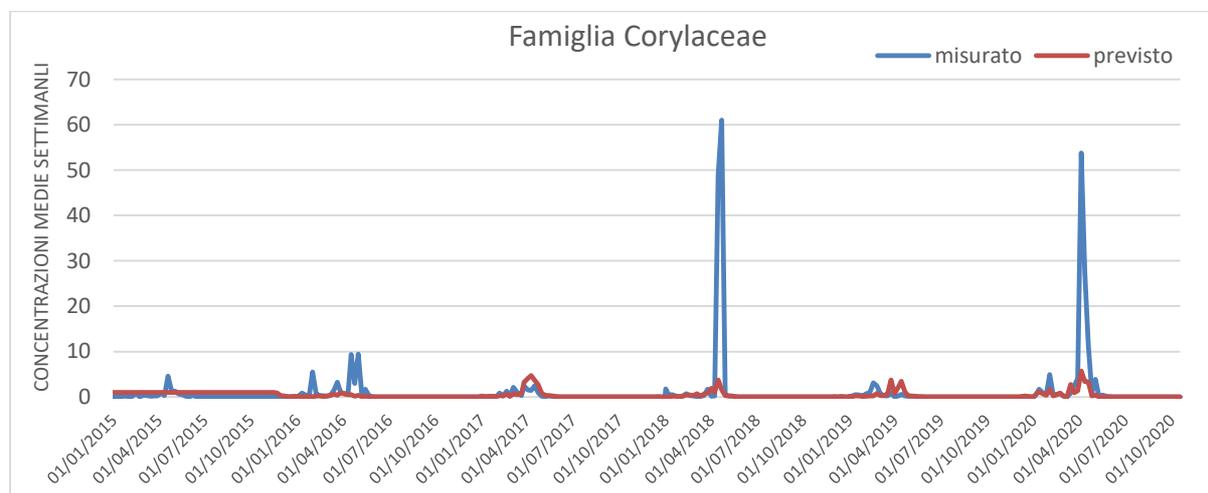
Nelle **figure 7-14** sono rappresentati gli andamenti delle medie settimanali previste e misurate relative alle 7 famiglie botaniche più allergeniche e alla spora *Alternaria*. L'ultimo anno di dati (in questo studio Novembre 2019-Ottobre 2020) è rappresentato dalla ricostruzione dei dati settimanali così come citato in precedenza. A una prima valutazione visiva gli andamenti mostrano tendenzialmente un miglioramento della previsione nell'ultimo periodo analizzato rispetto ai precedenti per buona parte dei *taxa* esaminati quali le Betulaceae, le Compositae, le Cupressaceae-Taxaceae, le Oleaceae, le Urticaceae e la spora *Alternaria*. Dati meno coincidenti riguardano, invece, le famiglie delle Corylaceae e Graminaceae.



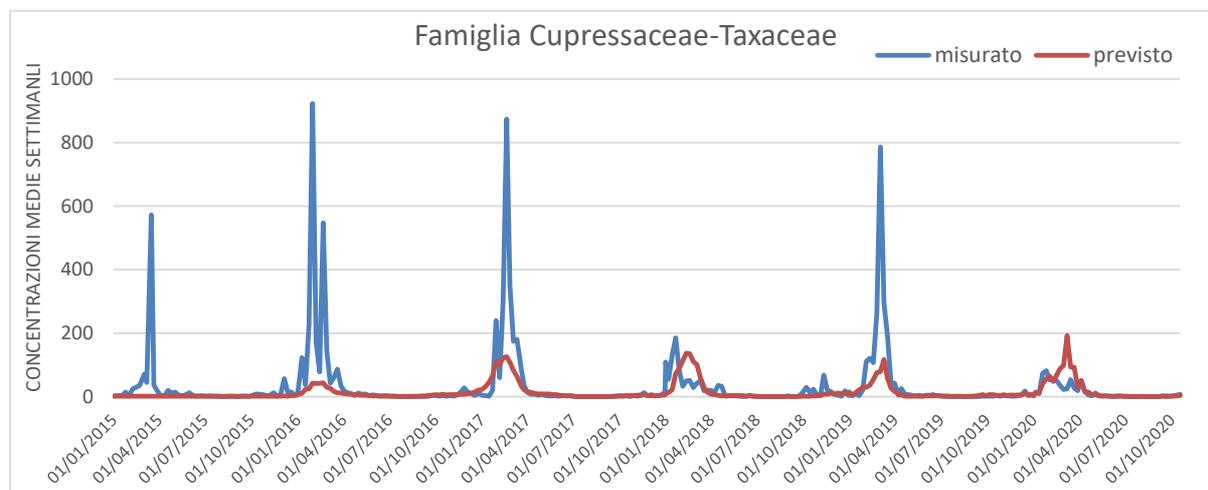
**Figura 7.** Sovrapposizione dei valori di concentrazione settimanali misurati e previsti tramite il modello SARMA per il periodo 2015-2020 - Famiglia delle Compositae



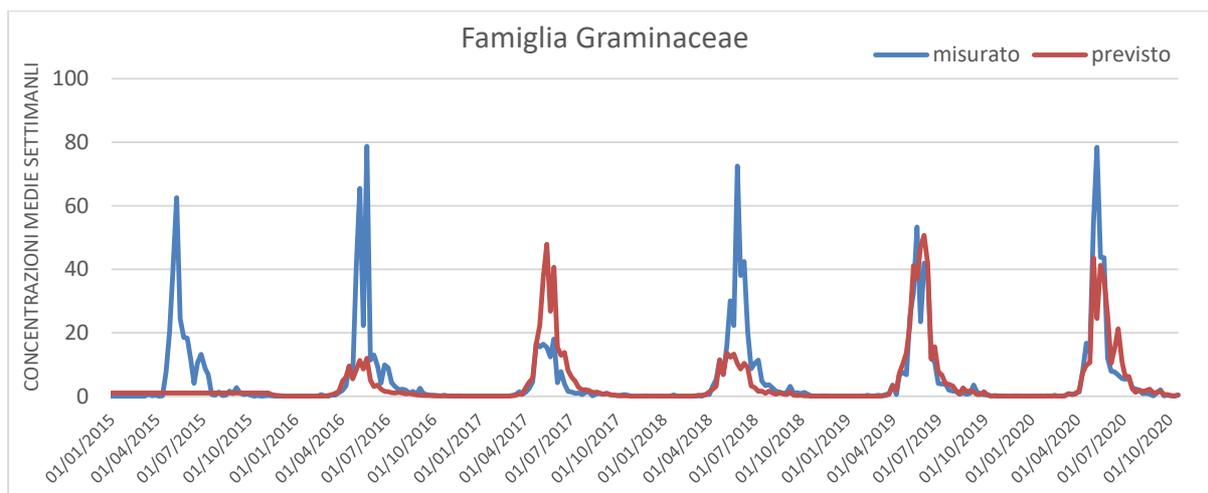
**Figura 8.** Sovrapposizione dei valori di concentrazione settimanali misurati e previsti tramite il modello SARMA per il periodo 2015-2020 - Famiglia delle Compositae



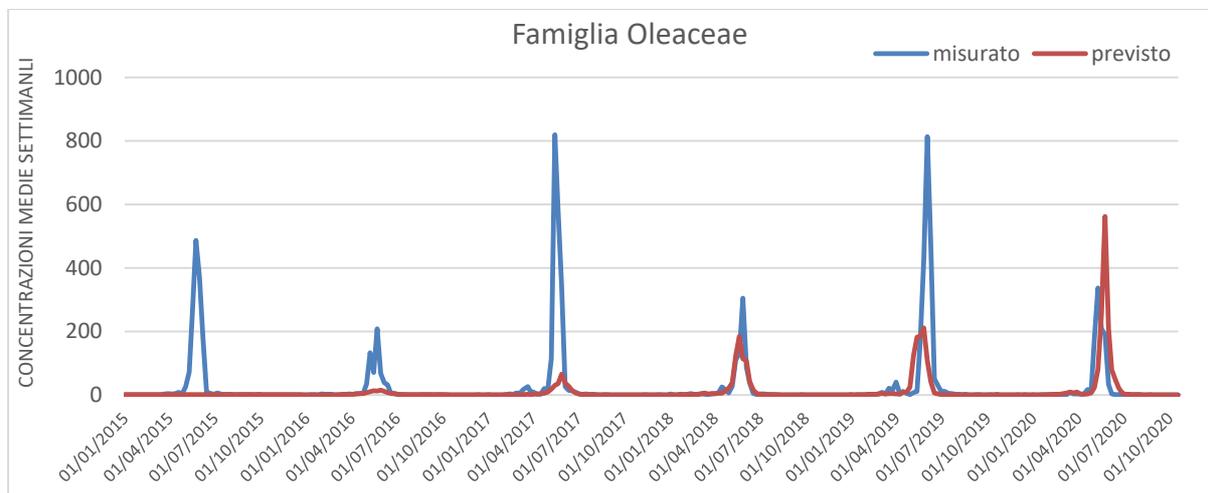
**Figura 9.** Sovrapposizione dei valori di concentrazione settimanali misurati e previsti tramite il modello SARMA per il periodo 2015-2020 - Famiglia delle Corylaceae



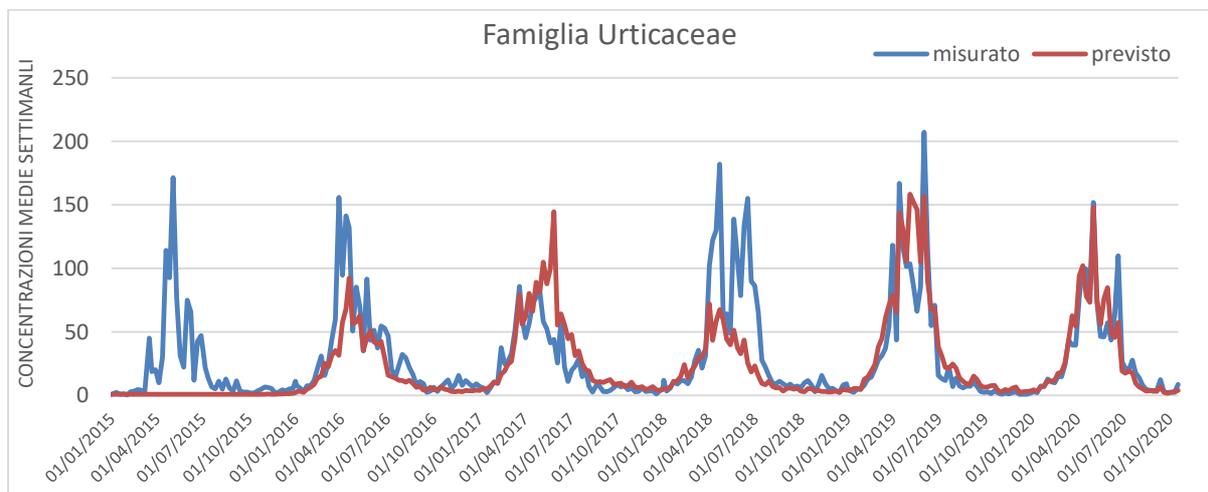
**Figura 10.** Sovrapposizione dei valori di concentrazione settimanali misurati e previsti tramite il modello SARMA per il periodo 2015-2020 - Famiglia delle Cupressaceae-Taxaceae



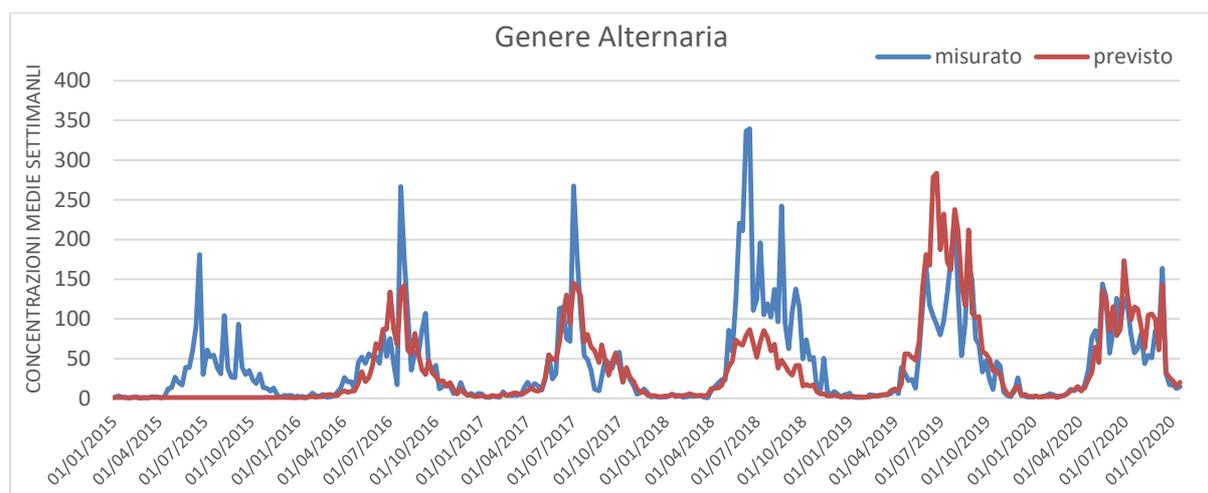
**Figura 11.** Sovrapposizione dei valori di concentrazione settimanali misurati e previsti tramite il modello SARMA per il periodo 2015-2020 - Famiglia delle Graminaceae



**Figura 12.** Sovrapposizione dei valori di concentrazione settimanali misurati e previsti tramite il modello SARMA per il periodo 2015-2020 - Famiglia delle Oleaceae



**Figura 13.** Sovrapposizione dei valori di concentrazione settimanali misurati e previsti tramite il modello SARMA per il periodo 2015-2020 - Famiglia delle Urticaceae



**Figura 14.** Sovrapposizione dei valori di concentrazione settimanali misurati e previsti tramite il modello SARMA per il periodo 2015-2020 – Genere *Alternaria*

#### 4.1.2. Indicatori di accuratezza per gli ultimi tre periodi della serie storica

Per quantificare statisticamente l'accuratezza del dato previsionale rispetto all'osservazione sono stati calcolati due indicatori tra i più utilizzati nel campo della valutazione della performance previsionale: il MAE e il RMSE per gli ultimi tre periodi della serie storica (Novembre 2017-Ottobre 2018, Novembre 2018-Ottobre 2019, Novembre 2019-Ottobre 2020). Gli indicatori vanno valutati entro ciascun *taxon* per confrontare i tre periodi esaminati e non per un raffronto tra i vari *taxa* perché il loro valore è fortemente legato all'ordine di grandezza dei dati di concentrazione che varia notevolmente tra i *taxa*. Tali indicatori sono stati determinati nel modo seguente:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - Y_i)^2}$$

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_i - Y_i|$$

dove:

$y_i$  = è il valore misurato della concentrazione media settimanale

$Y_i$  = è il valore atteso della concentrazione media settimanale.

I risultati dell'elaborazione sono riportati in **tabella 2** e confermano quanto osservato nei grafici degli andamenti misurato-previsto ovvero una accuratezza migliore evidenziata nell'ultimo periodo analizzato per le famiglie delle Compositae, delle Cupressaceae-Taxaceae, delle Urticaceae e per la spora *Alternaria*. Per quanto riguarda, invece, le Graminaceae e le Corylaceae la performance previsionale migliore è stata nel secondo periodo esaminato e quindi Novembre 2018-Ottobre 2019, mentre nelle Oleaceae e nelle Betulaceae è stata nel primo periodo (Novembre 2017-Ottobre 2018). Questa minore performance della previsione nell'ultimo anno evidenziata per alcuni *taxa* può essere spiegata da alcune pollinazioni anomale che hanno contraddistinto alcune famiglie in questo periodo. Nel caso delle Corylaceae quest'anno si è verificata una fioritura anticipata rispetto al dato medio, con particolare riferimento al genere *Ostrya* che ha mostrato una produzione di polline decisamente sopra la media degli

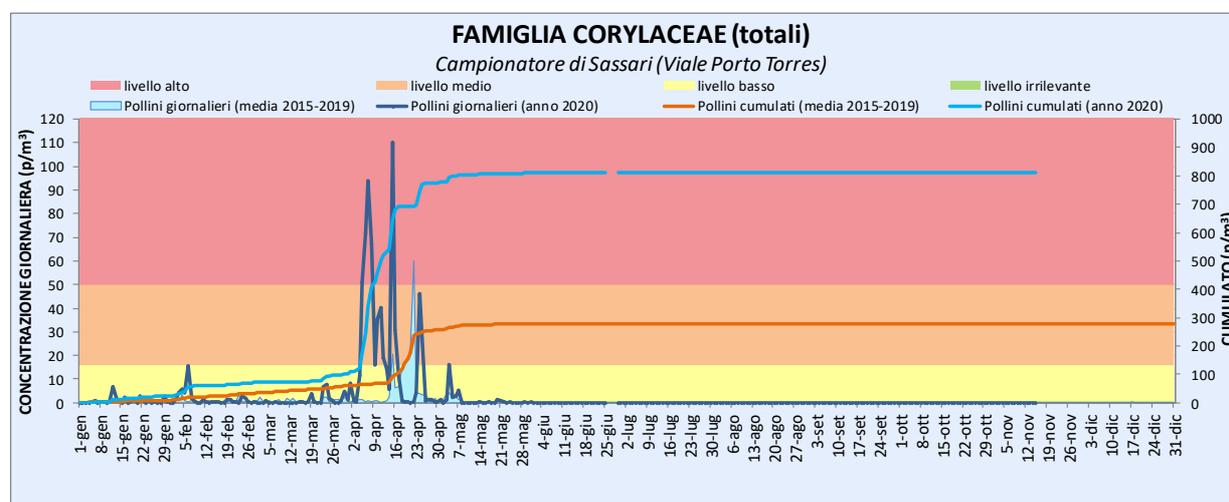
ultimi cinque anni (**Figura 15**). Tale fenomeno potrebbe essere spiegato dalle alte temperature che hanno contraddistinto il periodo invernale che hanno favorito la fioritura primaverile di questa pianta arborea. Anche per le Graminaceae (**Figura 16**) è stato registrato un anticipo delle pollinazioni con emissione di polline nel periodo aprile-maggio 2020 decisamente sopra media, probabilmente per effetto delle alte temperature e della buona riserva idrica dei terreni in quel periodo. Nel caso delle Oleaceae, e in particolar modo per la specie *Olea europaea*, che è la maggior rappresentante della famiglia per emissione di polline, si è verificato un anticipo della fioritura a partire da fine aprile-inizio di maggio 2020 (**Figura 17**). Inoltre, in corrispondenza del periodo di picco, intorno alla seconda decade di maggio, si sono verificate piogge abbondanti che hanno limitato la dispersione del polline contribuendo all'incongruenza con il rispettivo dato di previsione. Anche la famiglia delle Betulaceae ha presentato delle concentrazioni anomale, sia del genere *Alnus* in inverno che, soprattutto, del genere *Betula* in primavera, su valori ben oltre la media di riferimento (**Figura 18**).

Taxa	Indicatori di accuratezza della previsione			
		Nov 2017- Ott 2018	Nov 2018- Ott 2019	Nov 2019- Ott 2020
Betulaceae	MAE	0,5	0,4	0,6
	RMSE	1,3	1,5	1,4
Compositae	MAE	0,5	0,6	0,4
	RMSE	1,1	1,5	0,8
Corylaceae	MAE	2,1	0,3	2
	RMSE	10,3	0,8	8,2
Cupressaceae/Taxaceae	MAE	18,7	32,1	11,7
	RMSE	36,7	107,1	31,6
Graminaceae	MAE	3,9	1,8	3,2
	RMSE	11,1	4,5	8,6
Oleaceae	MAE	7,1	35,1	15,5
	RMSE	27,8	120,6	43,8
Urticaceae	MAE	20,8	12,5	8,1
	RMSE	38,4	21	15
Spora Alternaria	MAE	40,2	27	14,6
	RMSE	73	49,6	25,1

MAE=Mean Absolute Error (Errore Medio Assoluto)

RMSE= Root Mean Square Error (Radice dell'Errore Quadratico Medio)

**Tabella 2.** Indicatori di accuratezza della previsione per i taxa analizzati relativamente agli ultimi tre periodi della serie storica



**Figura 15.** Concentrazioni medie giornaliere anno 2020 e rapporto con le medie pluriennali - Famiglia delle Corylaceae

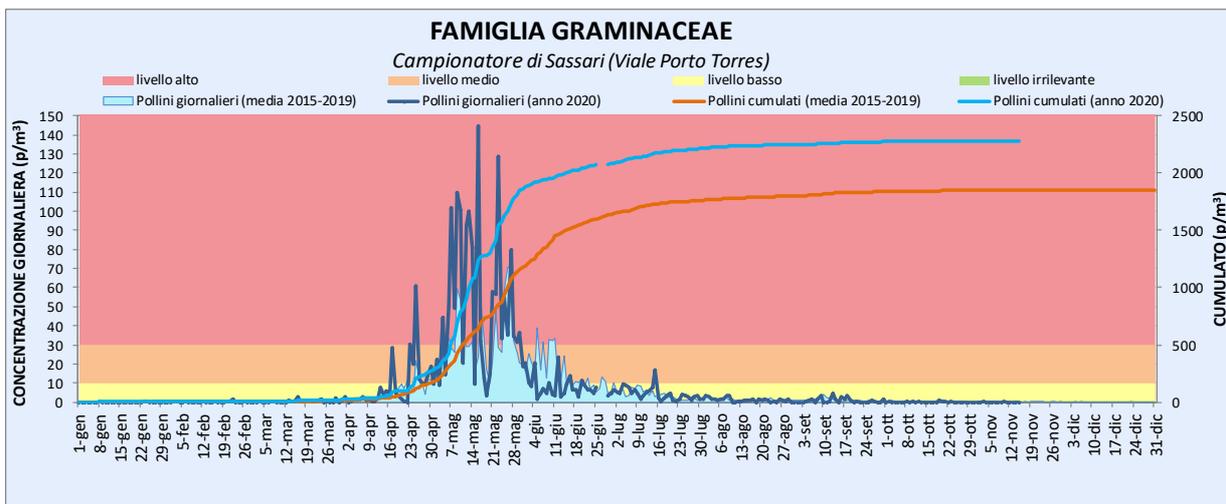


Figura 16. Concentrazioni medie giornaliere anno 2020 e rapporto con le medie pluriennali - Famiglia delle Graminaceae

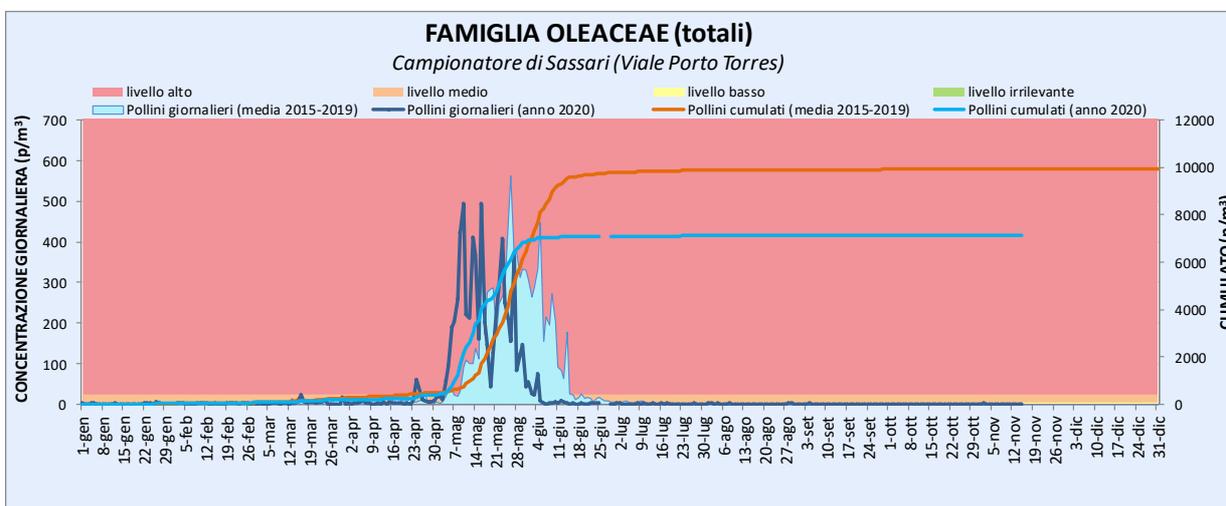


Figura 17. Concentrazioni medie giornaliere anno 2020 e rapporto con le medie pluriennali - Famiglia delle Oleaceae

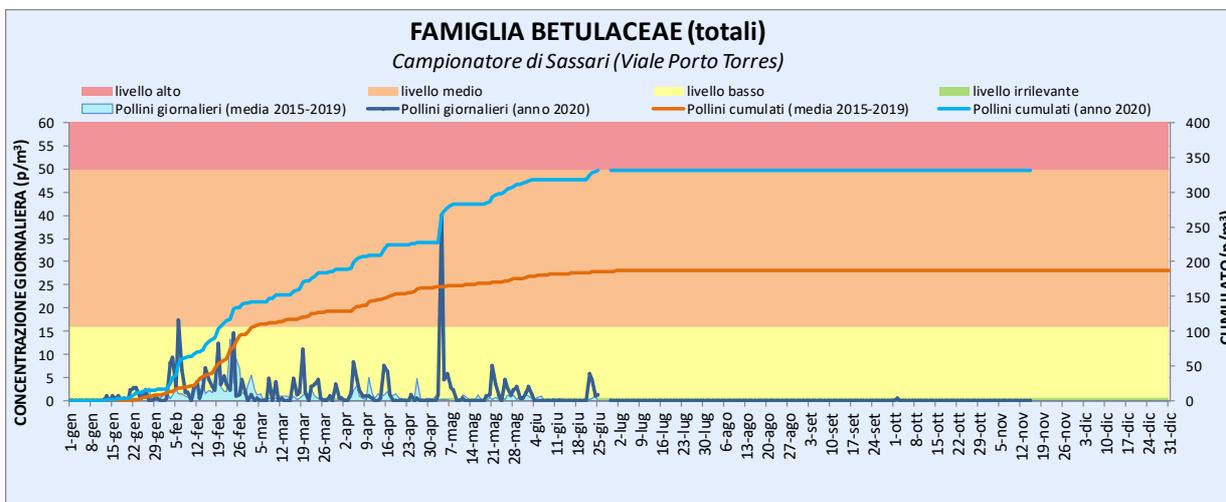


Figura 18. Concentrazioni medie giornaliere anno 2020 e rapporto con le medie pluriennali - Famiglia delle Betulaceae

#### 4.1.3. Indice di attendibilità e analisi di varianza per il periodo in esame

Il risultato di questo primo anno di attività previsionale (Novembre 2019-Ottobre 2020) è stato ulteriormente analizzato attraverso il confronto tra l'indice di *attendibilità atteso*, ovvero la percentuale di coincidenza tra le classi misurato-previsto stimata complessivamente dal modello a fine ottobre 2019 per l'anno successivo e l'indice di *attendibilità rilevato*, ovvero la percentuale di coincidenza tra le classi di abbondanza rilevate nel corso del periodo in esame e quelle previste.

E' stata, inoltre, effettuata un'analisi di varianza con la procedura GLM di SAS (versione 8.2; SAS Institute, Cary, NC) per valutare se nel periodo in esame le differenze tra misurato e previsto fossero statisticamente significative, sia in termini di concentrazioni settimanali che di classi di abbondanza.

Dai dati riportati in **tabella 3** è possibile osservare come il modello utilizzato risulti più che attendibile. Nella maggior parte dei casi infatti l'attendibilità rilevata è risultata superiore a quella attesa. Solo in un caso quello relativo alla famiglia delle Compositae è risultata uguale a quella attesa (83%). Le attendibilità effettivamente misurate sono risultate comprese tra il 70% delle Oleaceae e il 92% delle Corylaceae. In tutti i casi le differenze tra dato misurato e previsto derivanti dall'analisi di varianza sono risultate non statisticamente significative, sia in termini di concentrazioni che di classi, ad ulteriore riprova della efficacia del modello predittivo.

Taxa	Attendibilità		Significatività	
	Attesa (%)	Rilevata (%)	Concentrazioni settimanali	Classi abbondanza
Betulaceae	87	89	NS	NS
Compositae	83	83	NS	NS
Corylaceae	89	92	NS	NS
Cupressaceae/Taxaceae	62	81	NS	NS
Graminaceae	79	87	NS	NS
Oleaceae	66	70	NS	NS
Urticaceae	72	74	NS	NS
Spora Alternaria	75	79	NS	NS

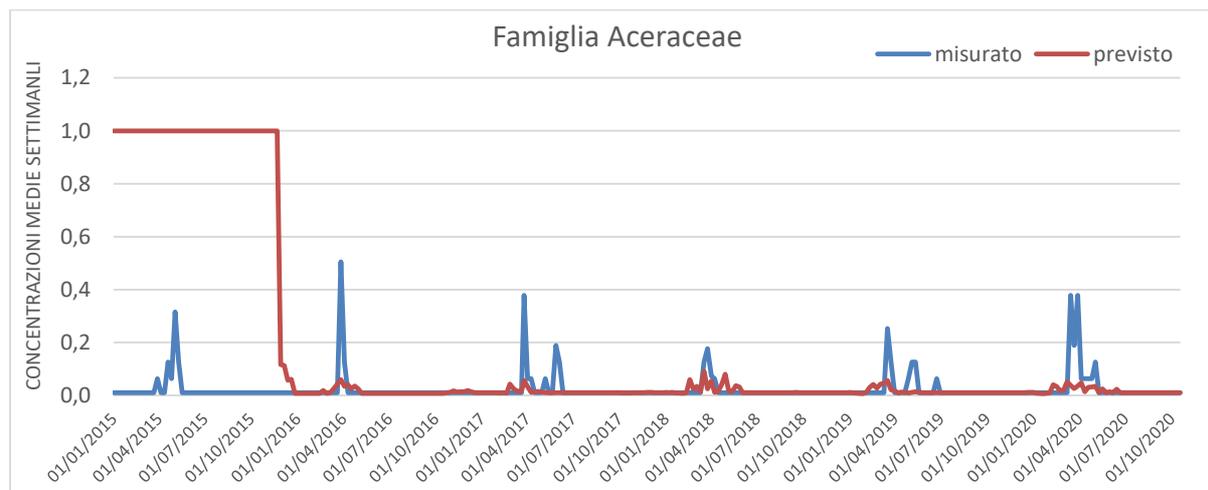
\*P < 0.05; \*\*\* P < 0.001; NS = differenze non significative

**Tabella 3.** Percentuali di attendibilità attesa e rilevata per i taxa analizzati e significatività tra valore atteso e rilevato sia in termini di concentrazioni medie settimanali che di classi di abbondanza per il periodo Novembre 2019 – Ottobre 2020

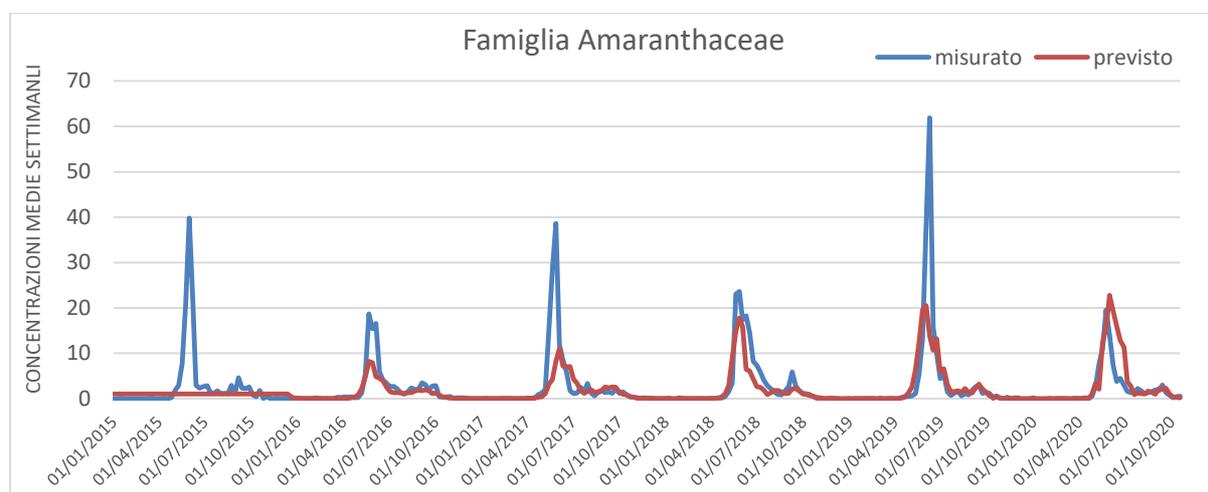
## 4.2. EFFICACIA DELLA PREVISIONE PER GLI ALTRI TAXA MONITORATI

### 4.2.1. Andamento previsto-osservato della serie storica

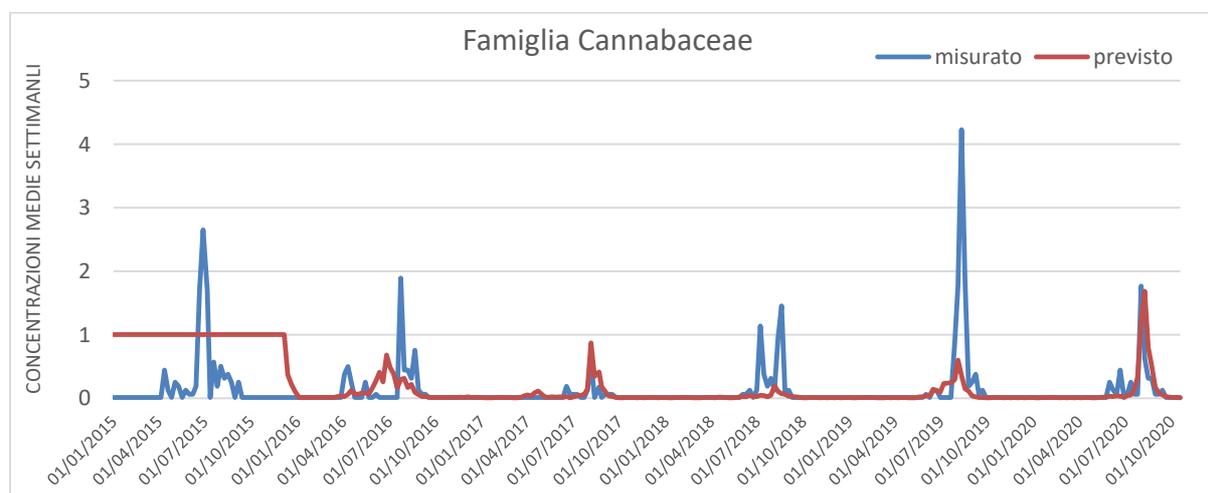
Le **figure 19-32** relative agli andamenti delle medie settimanali misurate e previste per gli altri 14 *taxon* indagati mostrano un evidente miglior performance della previsione nell'ultimo periodo considerato (Novembre 2019-Ottobre 2020) per la metà delle famiglie analizzate. In particolare questo risultato ha riguardato le famiglie delle Cannabaceae, Euphorbiaceae, Pinaceae, Plantaginaceae, Platanaceae, Polygonaceae e Salicaceae. Il modello, infatti, basandosi sul *best-fit* dei dati, si autoalimenta settimanalmente, acquisendo le nuove informazioni e rafforzando la previsione a meno di andamenti anomali rispetto al periodo considerato.



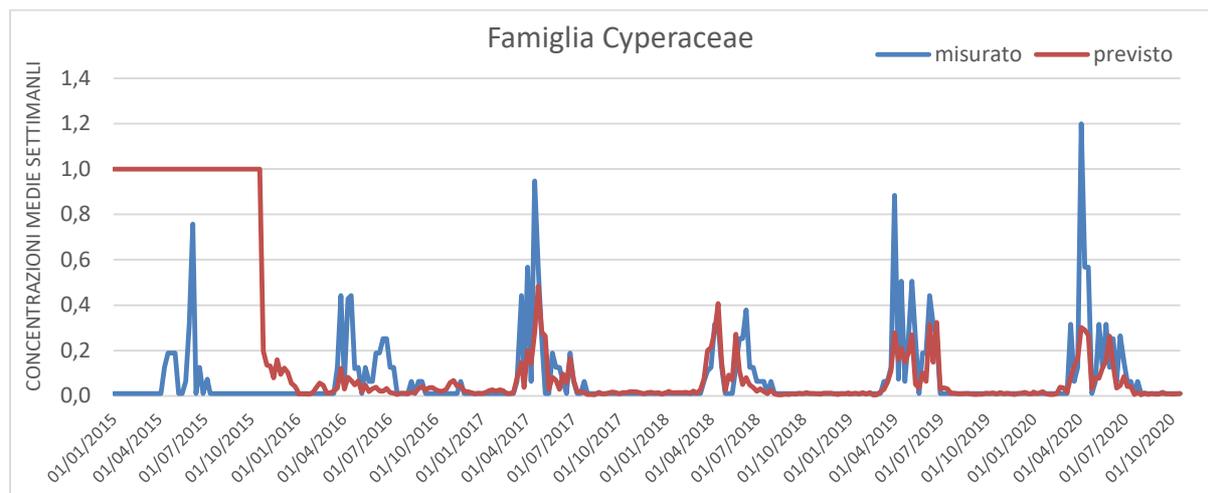
**Figura 19.** Sovrapposizione dei valori di concentrazione settimanali misurati e previsti tramite il modello SARMA per il periodo 2015-2020 - Famiglia delle Aceraceae



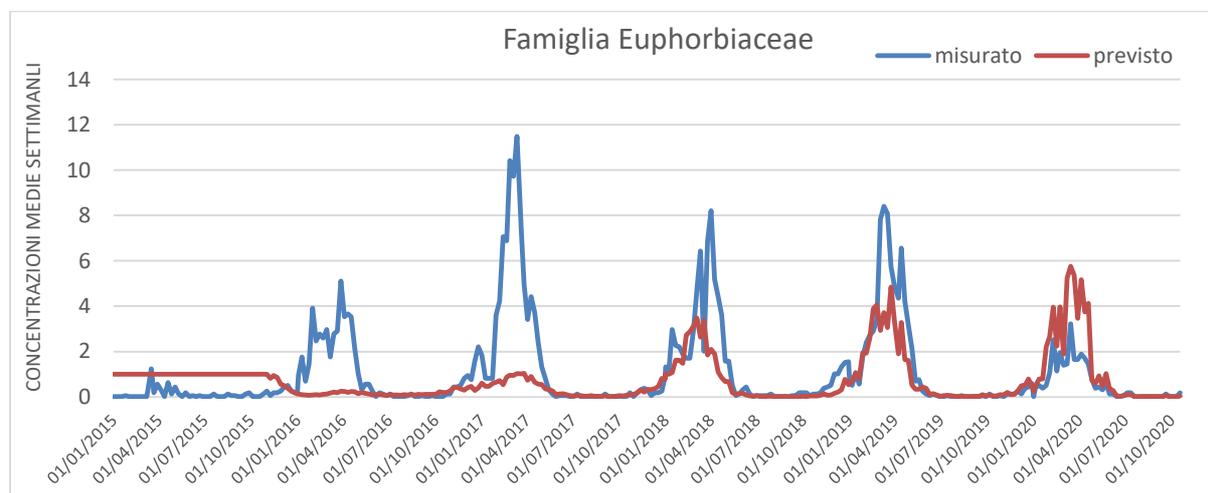
**Figura 20.** Sovrapposizione dei valori di concentrazione settimanali misurati e previsti tramite il modello SARMA per il periodo 2015-2020 - Famiglia delle Amaranthaceae



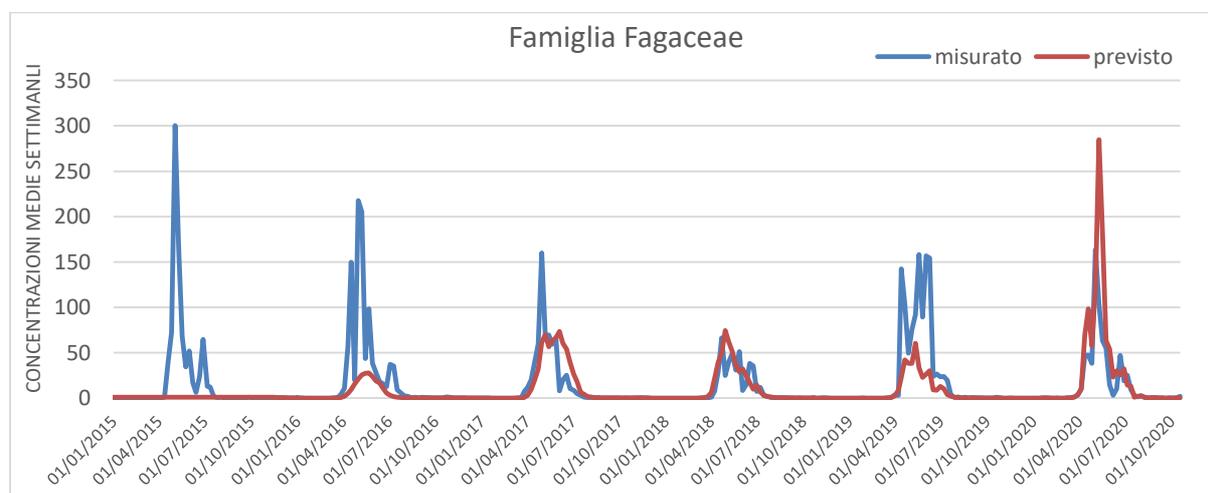
**Figura 21.** Sovrapposizione dei valori di concentrazione settimanali misurati e previsti tramite il modello SARMA per il periodo 2015-2020 - Famiglia delle Cannabaceae



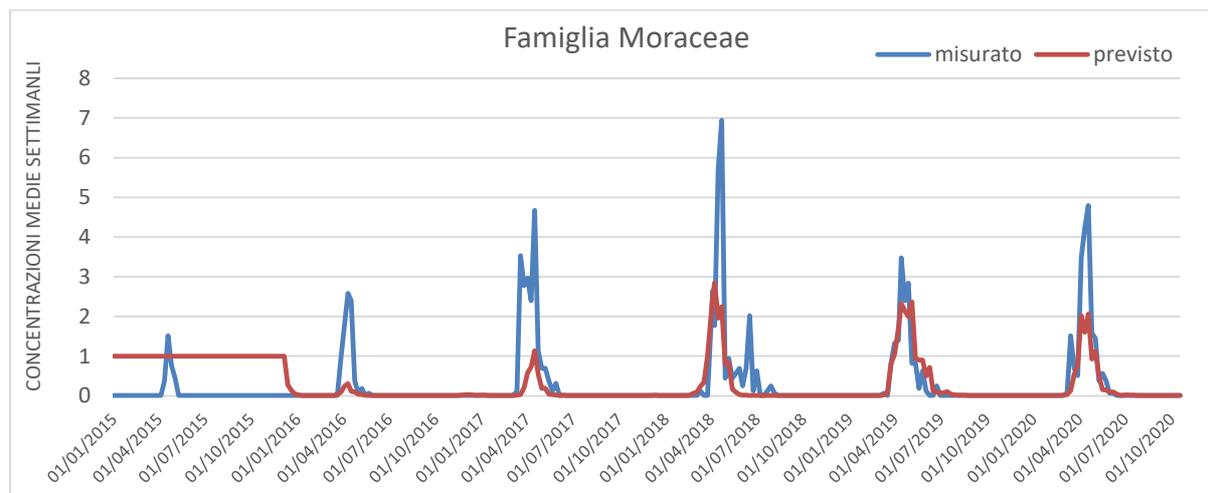
**Figura 22.** Sovrapposizione dei valori di concentrazione settimanali misurati e previsti tramite il modello SARMA per il periodo 2015-2020 - Famiglia delle Cyperaceae



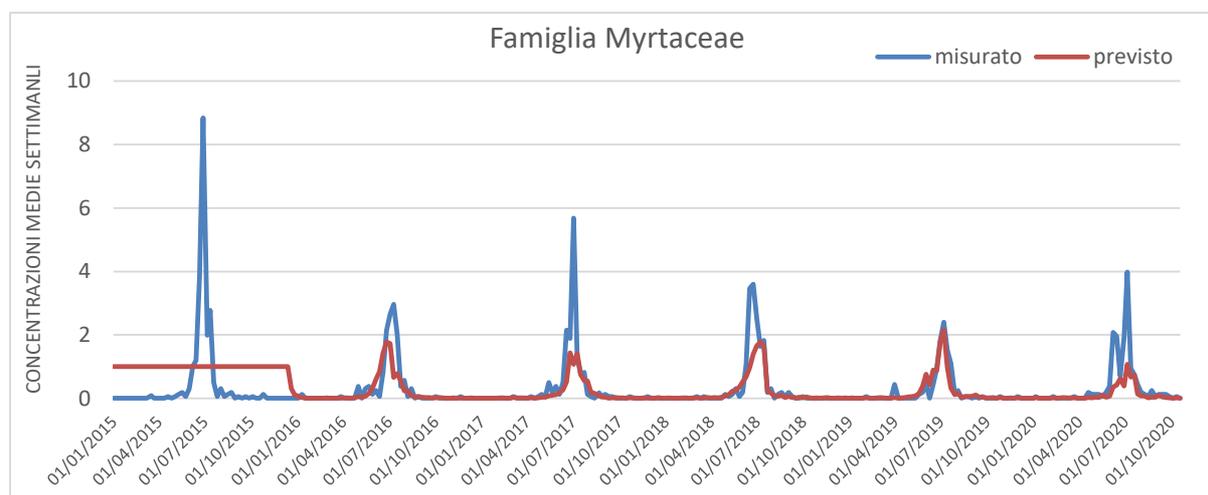
**Figura 23.** Sovrapposizione dei valori di concentrazione settimanali misurati e previsti tramite il modello SARMA per il periodo 2015-2020 - Famiglia delle Euphorbiaceae



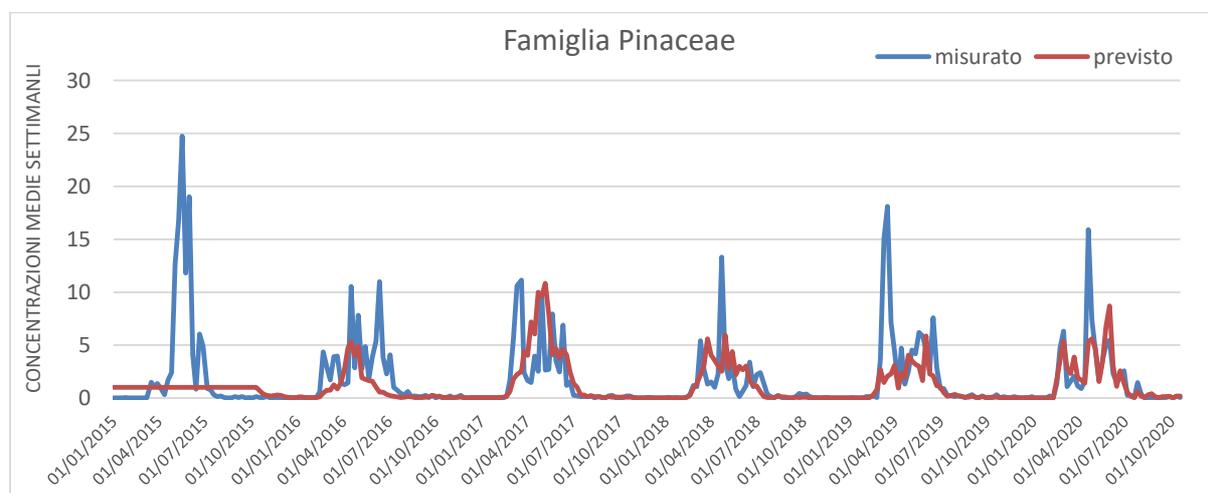
**Figura 24.** Sovrapposizione dei valori di concentrazione settimanali misurati e previsti tramite il modello SARMA per il periodo 2015-2020 - Famiglia delle Fagaceae



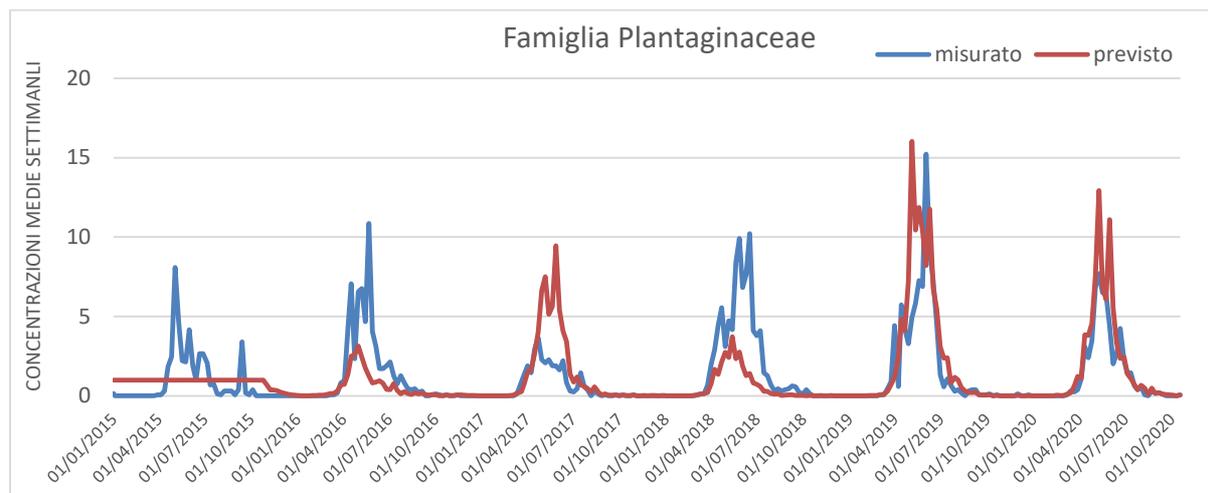
**Figura 25.** Sovrapposizione dei valori di concentrazione settimanali misurati e previsti tramite il modello SARMA per il periodo 2015-2020 - Famiglia delle Moraceae



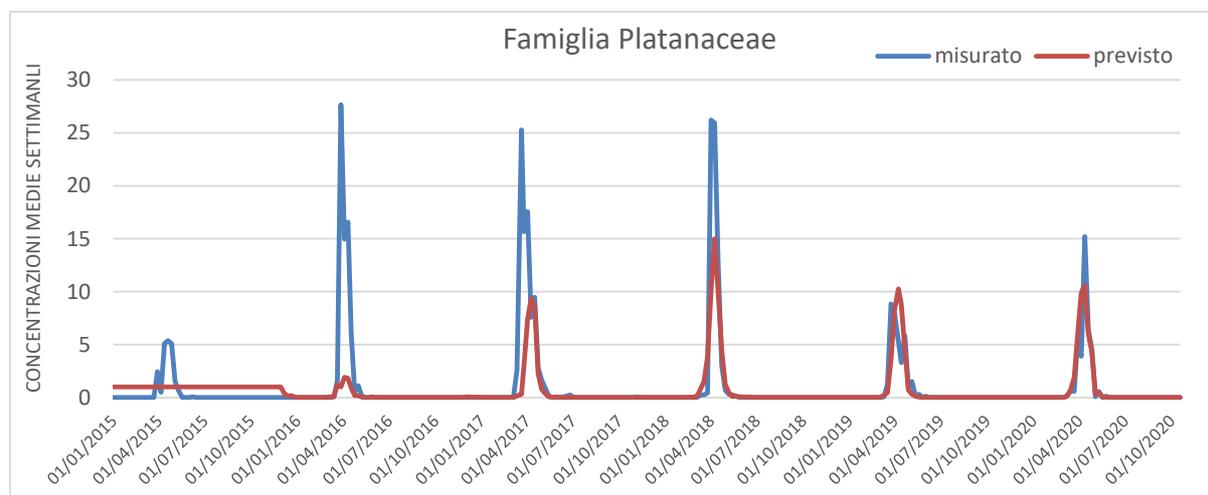
**Figura 26.** Sovrapposizione dei valori di concentrazione settimanali misurati e previsti tramite il modello SARMA per il periodo 2015-2020 - Famiglia delle Myrtaceae



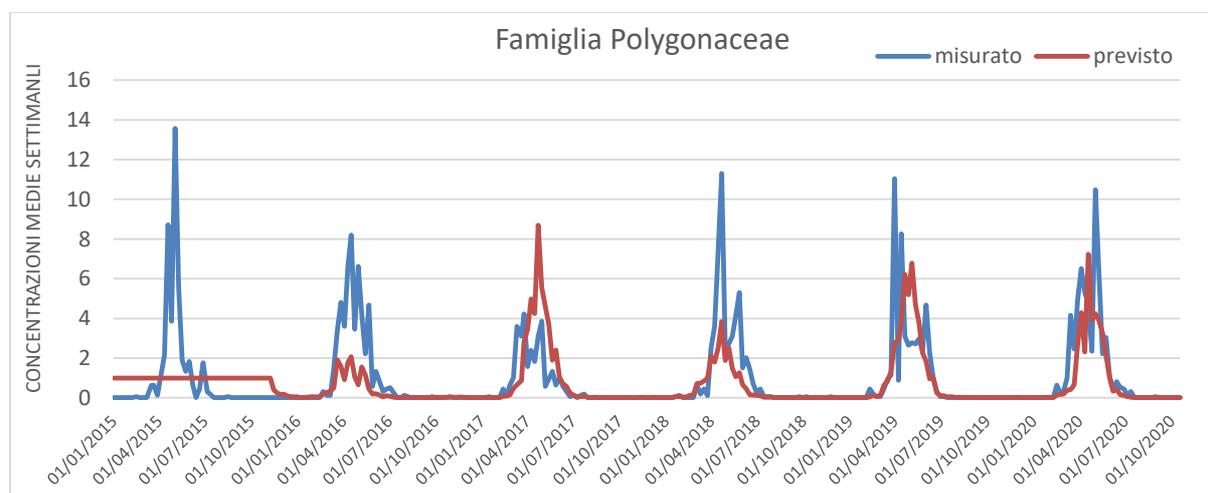
**Figura 27.** Sovrapposizione dei valori di concentrazione settimanali misurati e previsti tramite il modello SARMA per il periodo 2015-2020 - Famiglia delle Pinaceae



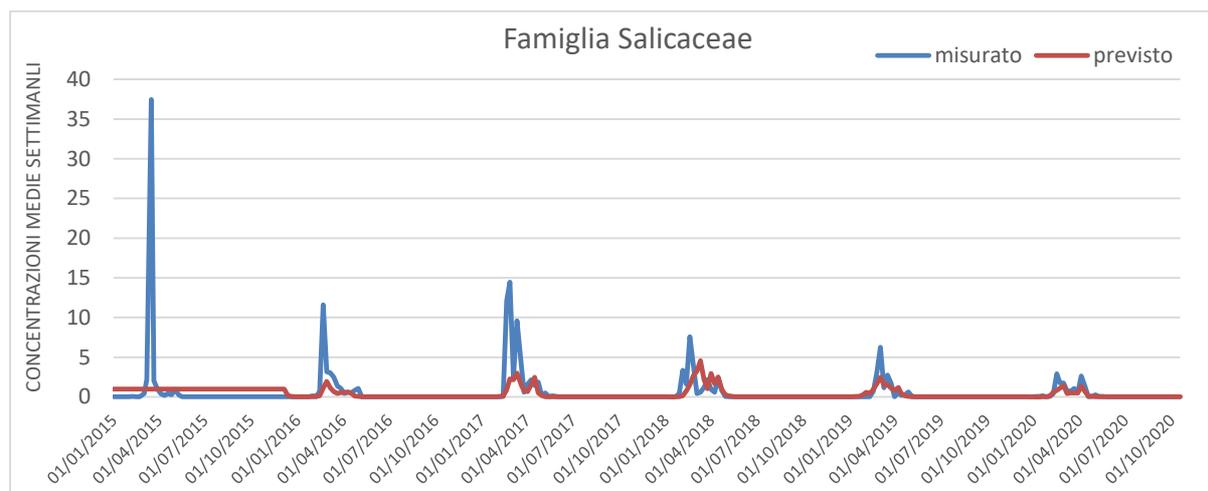
**Figura 28.** Sovrapposizione dei valori di concentrazione settimanali misurati e previsti tramite il modello SARMA per periodo 2015-2020 - Famiglia delle Plantaginaceae



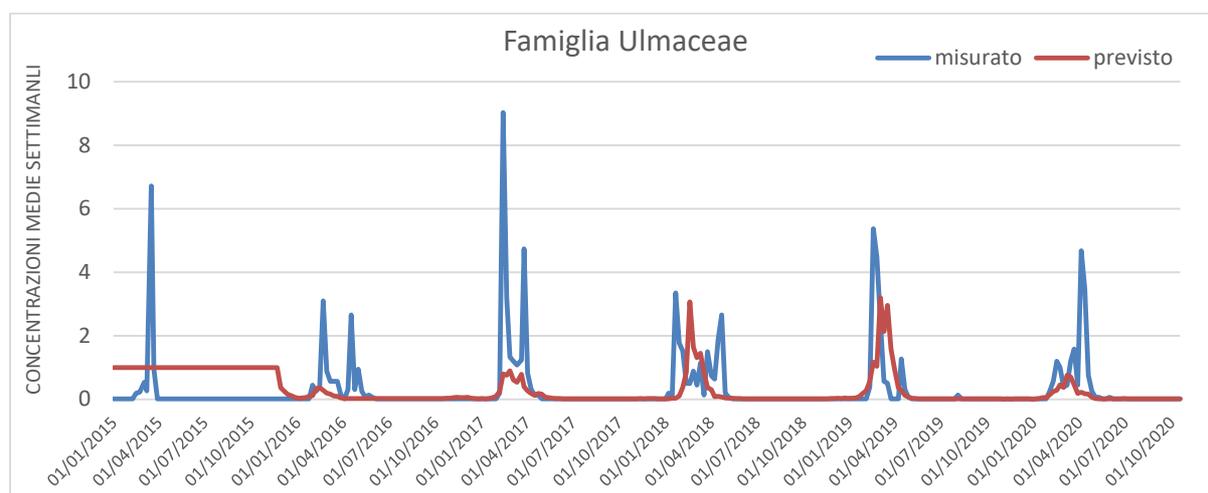
**Figura 29.** Sovrapposizione dei valori di concentrazione settimanali misurati e previsti tramite il modello SARMA per il periodo 2015-2020 - Famiglia delle Platanaceae



**Figura 30.** Sovrapposizione dei valori di concentrazione settimanali misurati e previsti tramite il modello SARMA per il periodo 2015-2020 - Famiglia delle Polygonaceae



**Figura 31.** Sovrapposizione dei valori di concentrazione settimanali misurati e previsti tramite il modello SARMA per il periodo 2015-2020 - Famiglia delle Salicaceae



**Figura 32.** Sovrapposizione dei valori di concentrazione settimanali misurati e previsti tramite il modello SARMA per il periodo 2015-2020 - Famiglia delle Ulmaceae

#### 4.2.2. Indicatori di accuratezza per gli ultimi tre periodi della serie storica

Le elaborazioni sugli indici di accuratezza della previsione riportati in **tabella 4** confermano quanto osservato negli andamenti previsto-misurato. Per le sette famiglie citate in precedenza i valori degli indicatori hanno mostrato una migliore performance nell'ultimo periodo analizzato (Novembre 2019-Ottobre 2020). A queste famiglie si aggiungono anche le Ulmaceae che comunque hanno registrato buone prestazioni in tutti e tre i periodi esaminati.

Per le altre 6 famiglie rimaste il disaccordo è prevalentemente nei dati di concentrazione, mentre la previsione delle classi è risultata molto più corrispondente in particolare nelle Aceraceae, Amaranthaceae e nelle Fagaceae. Le anomalie tra il dato misurato e previsto nell'ultimo periodo sono comunque da ricercarsi in una maggiore pollinazione nella primavera 2020 che ha interessato le famiglie delle Aceraceae, Cyperaceae e Moraceae e una maggiore dispersione pollinica nell'estate 2020 per la famiglia delle Myrtaceae (**Figure 33-36**). Nel caso delle Fagaceae, l'anomalia ha riguardato in particolare

l'emissione pollinica del genere *Quercus*, massimo rappresentante della famiglia in termini di abbondanza pollinica, con una dispersione di polline inferiore al dato medio pluriennale che ha riguardato in particolare i primi venti giorni di giugno 2020 (**Figura 37**). Stesso discorso per le *Amaranthaceae* che hanno mostrato tra maggio e giugno del 2020 concentrazioni polliniche sotto media (**Figura 38**).

Taxa	Indicatori di accuratezza della previsione			
		Nov 2017- Ott 2018	Nov 2018- Ott 2019	Nov 2019- Ott 2020
Aceraceae	MAE	0,01	0,02	0,02
	RMSE	0,03	0,04	0,07
Amaranthaceae	MAE	1,3	2	1,4
	RMSE	2,8	7,2	3,3
Cannabaceae	MAE	0,09	0,17	0,07
	RMSE	0,28	0,61	0,2
Cyperaceae	MAE	0,03	0,04	0,06
	RMSE	0,07	0,11	0,15
Euphorbiaceae	MAE	0,7	0,7	0,6
	RMSE	1,5	1,4	1,2
Fagaceae	MAE	4,7	15	10,9
	RMSE	10,6	37,4	32,4
Moraceae	MAE	0,3	0,1	0,2
	RMSE	0,9	0,3	0,6
Myrtaceae	MAE	0,16	0,08	0,2
	RMSE	0,48	0,18	0,56
Pinaceae	MAE	0,9	1,2	0,6
	RMSE	1,9	3,2	1,6
Plantaginaceae	MAE	1,2	1	0,5
	RMSE	2,4	2,3	1,3
Platanaceae	MAE	0,7	0,4	0,3
	RMSE	2,8	1,3	1,1
Polygonaceae	MAE	0,6	0,62	0,58
	RMSE	1,5	1,62	1,32
Salicaceae	MAE	0,5	0,2	0,1
	RMSE	1,2	0,6	0,4
Ulmaceae	MAE	0,4	0,3	0,2
	RMSE	0,8	0,9	0,8

MAE=Mean Absolute Error (Errore Medio Assoluto)

RMSE= Root Mean Square Error (Radice dell'Errore Quadratico Medio)

**Tabella 4.** Indicatori di accuratezza della previsione per i taxa analizzati relativamente agli ultimi tre periodi della serie storica

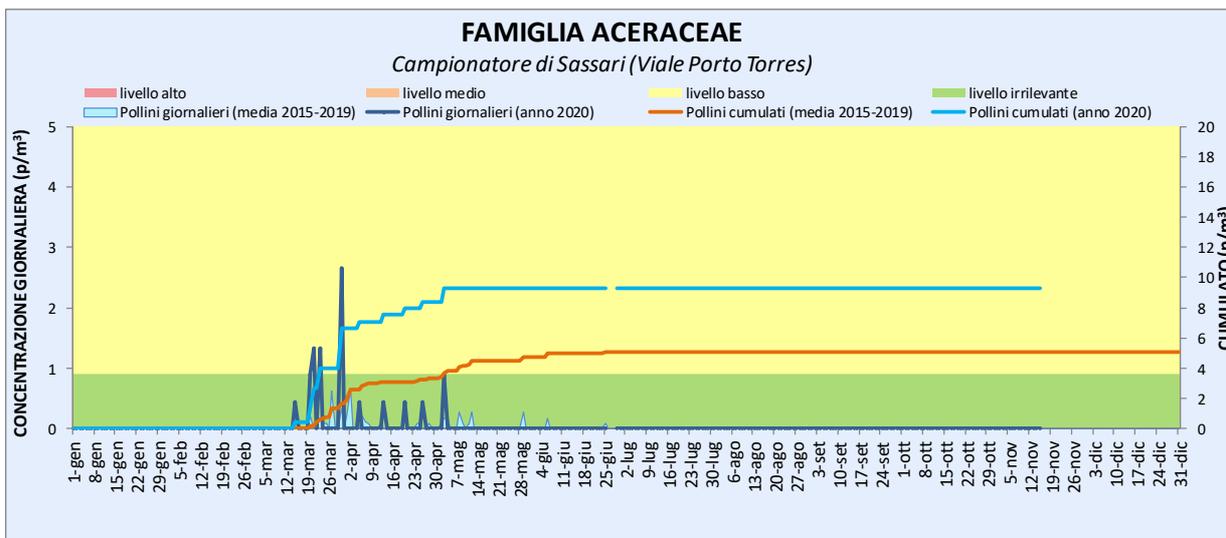


Figura 33. Concentrazioni medie giornaliere anno 2020 e rapporto con le medie pluriennali - Famiglia delle Aceraceae

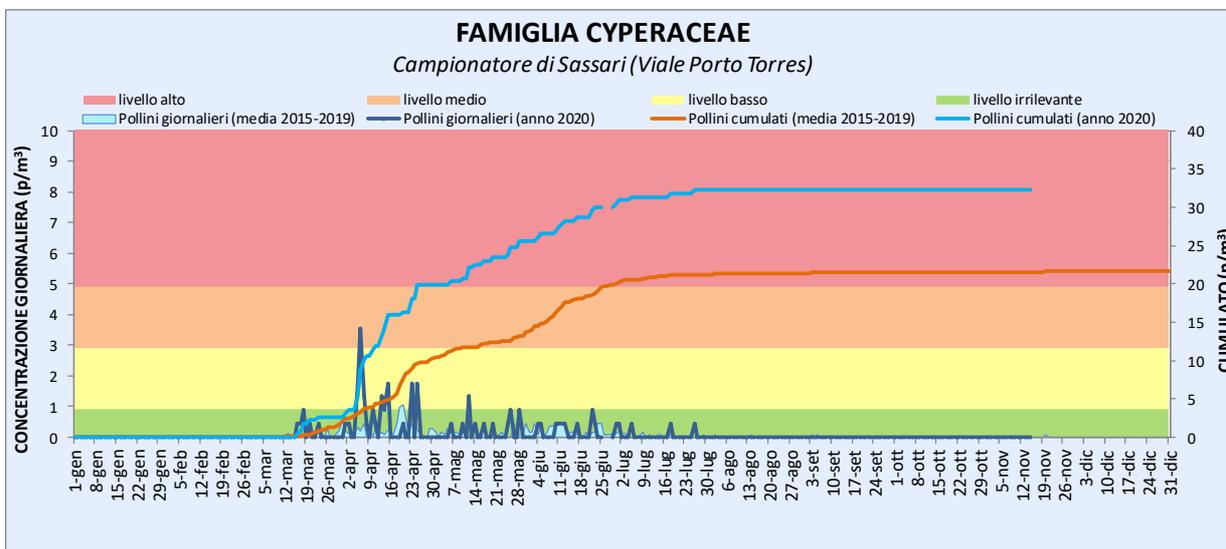


Figura 34. Concentrazioni medie giornaliere anno 2020 e rapporto con le medie pluriennali - Famiglia delle Cyperaceae

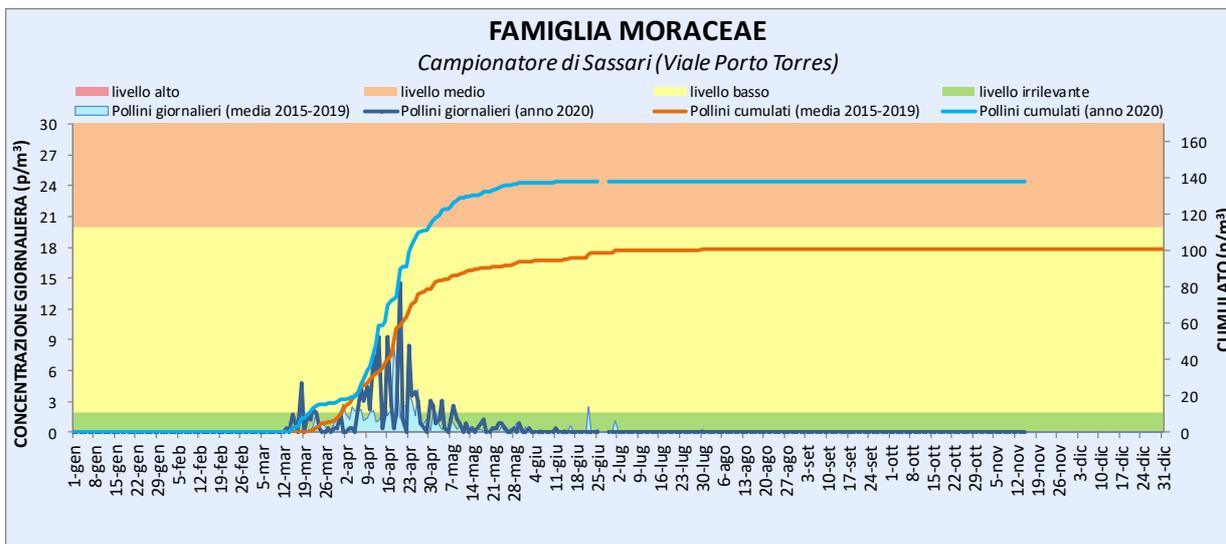


Figura 35. Concentrazioni medie giornaliere anno 2020 e rapporto con le medie pluriennali - Famiglia delle Moraceae

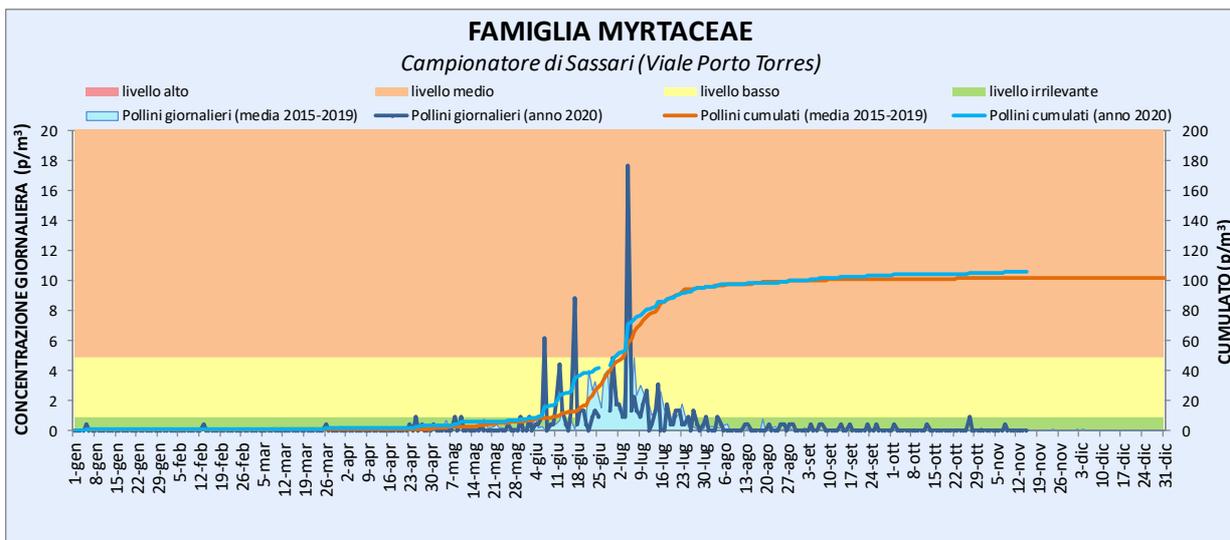


Figura 36. Concentrazioni medie giornaliere anno 2020 e rapporto con le medie pluriennali - Famiglia delle Myrtaceae

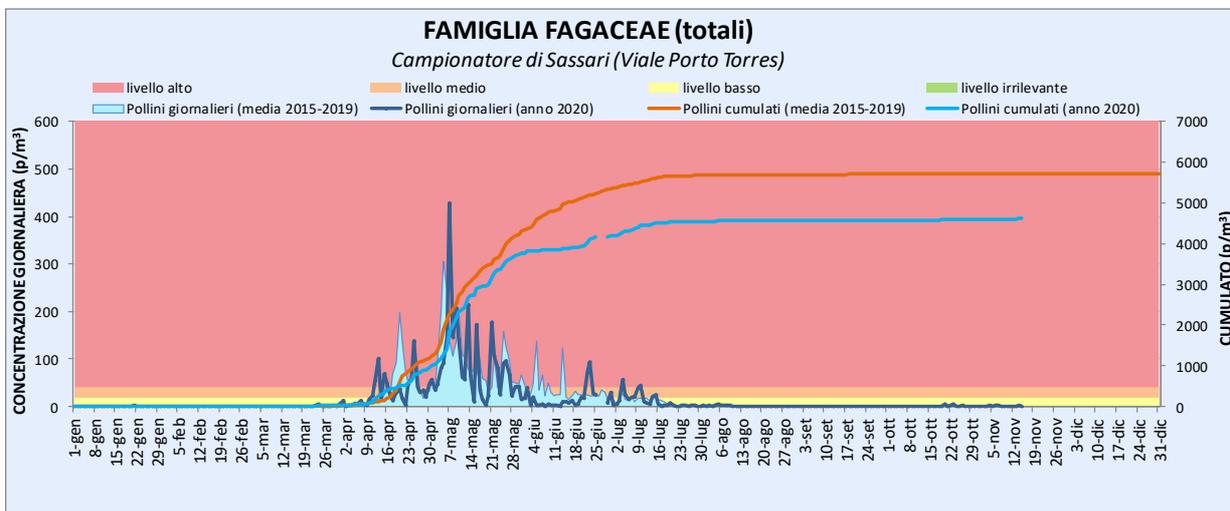


Figura 37. Concentrazioni medie giornaliere anno 2020 e rapporto con le medie pluriennali - Famiglia delle Fagaceae

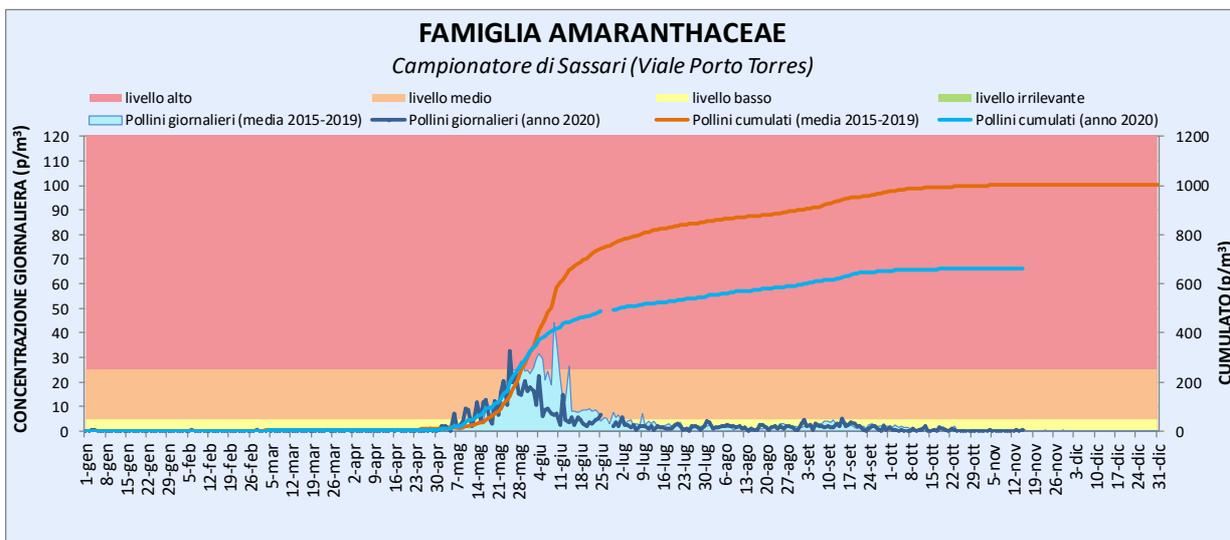


Figura 38. Concentrazioni medie giornaliere anno 2020 e rapporto con le medie pluriennali - Famiglia delle Amaranthaceae

#### 4.2.3. *Indice di attendibilità e analisi di varianza per il periodo in esame*

Il confronto tra l'*attendibilità attesa* complessivamente data dal modello a fine ottobre 2019 per l'anno successivo (Novembre 2019-Ottobre 2020) e quella effettivamente *rilevata* (cioè la percentuale di coincidenza delle concentrazioni settimanali previste con quelle misurate per il periodo in esame) mostra valori di attendibilità rilevata uguali o superiori a quella attesa per gran parte delle famiglie analizzate (**Tabella 5**). Le uniche eccezioni hanno riguardato le famiglie delle Cyperaceae, delle Myrtaceae e delle Polygonaceae con valori rilevati di poco inferiori rispetto all'atteso, ma comunque alti in valore assoluto (98%, 94% e 85% rispettivamente). I valori più alti di attendibilità rilevata, superiori al 90%, sono stati riscontrati nelle famiglie delle Aceraceae, Cannabaceae, Cyperaceae, Moraceae, Myrtaceae, Pinaceae, Plantaginaceae, Platanaceae e Salicaceae.

L'analisi di varianza effettuata tramite la procedura GLM di SAS tra previsto e rilevato, sia in termini di concentrazioni settimanali che di classi di abbondanza, ha mostrato valori quasi sempre non statisticamente significativi. Le uniche differenze sono state evidenziate nella famiglia delle Euphorbiaceae ( $P < 0.05$ ) per i dati di concentrazione media settimanale dove la previsione ha sovrastimato il dato reale e nella famiglia delle Ulmaceae ( $P < 0.05$ ) relativamente alle classi di abbondanza. In quest'ultimo caso i dati previsti dal modello hanno sottostimato il valore reale in termini di classi.

Taxa	Attendibilità		Significatività	
	Attesa (%)	Rilevata (%)	Concentrazioni settimanali	Classi abbondanza
Aceraceae	100	100	NS	NS
Amaranthaceae	80	81	NS	NS
Cannabaceae	97	98	NS	NS
Cyperaceae	100	98	NS	NS
Euphorbiaceae	79	89	*	NS
Fagaceae	80	81	NS	NS
Moraceae	96	98	NS	NS
Myrtaceae	96	94	NS	NS
Pinaceae	89	94	NS	NS
Plantaginaceae	70	91	NS	NS
Platanaceae	93	98	NS	NS
Polygonaceae	87	85	NS	NS
Salicaceae	92	94	NS	NS
Ulmaceae	89	89	NS	*

\* $P < 0.05$ ; \*\*\*  $P < 0.001$ ; NS = differenze non significative

**Tabella 5.** Percentuali di attendibilità attesa e rilevata per i taxa analizzati e significatività tra valore atteso e rilevato sia in termini di concentrazioni medie settimanali che di classi di abbondanza per il periodo Novembre 2019 – Ottobre 2020

## 5. CONCLUSIONI

Il modello previsionale adottato risulta complessivamente attendibile. Nella maggior parte delle famiglie monitorate è stato osservato un miglioramento della previsione con il procedere degli anni e il popolamento della serie storica. Questo è particolarmente evidente per le famiglie delle Compositae, Cupressaceae-Taxaceae, Urticaceae, Cannabaceae, Euphorbiaceae, Pinaceae, Plantaginaceae, Platanaceae, Polygonaceae, Salicaceae, Ulmaceae e per la spora Alternaria. Nelle altre 10 famiglie botaniche analizzate la minore performance nell'ultimo periodo è imputabile ad anomalie nelle pollinazioni non in linea con il dato medio pluriennale.

Analizzando più approfonditamente i dati dell'ultimo anno (periodo Novembre 2019-Ottobre 2020) è possibile osservare come l'attendibilità rilevata sia stata quasi sempre uguale o superiore a quella attesa. Le uniche eccezioni hanno riguardato le famiglie delle Cyperaceae, delle Myrtaceae e delle Polygonaceae con attendibilità rilevate di poco inferiori rispetto quella attesa, ma comunque su percentuali alte in valore assoluto. Le attendibilità rilevate sono risultate comprese tra il 70% delle Oleaceae e il 100% delle Aceraceae. I valori più alti, superiori al 90% sono stati registrati, oltre che per le Aceraceae, anche per le famiglie delle Corylaceae, Cannabaceae, Cyperaceae, Moraceae, Myrtaceae, Pinaceae, Plantaginaceae, Platanaceae e Salicaceae.

L'analisi di varianza tra dato misurato e previsto, sia in termini di concentrazioni che di classi, ha evidenziato differenze non statisticamente significative per quasi tutti i *taxa* analizzati ad ulteriore riprova della efficacia del modello predittivo. Se si considerano i *taxa* più allergenici le differenze tra atteso ed osservato in questo primo anno di previsione sono state sempre non statisticamente significative.