

SISTEMA MODELLISTICO SPARTA

SIMULAZIONE DELL'ANNO 2020

Maggio 2021

Relazione finale:

Sistema modellistico SPARTA - simulazione dell'anno 2020

Autori:

Caterina Busillo

Francesca Calastrini

Francesca Guarnieri

Per la sintesi climatica:

Giulio Betti

Indice

Introduzione	4
1 Struttura del sistema di modelli SPARTA	5
2 Sintesi delle condizioni climatiche - anno 2020	7
3 – Simulazione anno 2020 – Risultati	22
3.1 Concentrazioni medie	23
3.3 Serie storiche	27
3.3 Scatter-plot	34
3.4 Diagrammi di Taylor	37
3.5 Indicatori statistici	38
3.6 Polvere desertica	41
3.7 Spray marino	45
Conclusioni	52

Introduzione

In questo lavoro sono presentati i risultati ottenuti applicando il sistema modellistico SPARTA (Sistema Integrato di Previsioni e Analisi della Qualità dell'Aria per la Regione Toscana) all'anno 2020. Il sistema SPARTA viene utilizzato per simulare le concentrazioni dei principali inquinanti atmosferici a supporto della Regione Toscana nell'elaborazione annuale del Programma di Valutazione della Qualità dell'Aria, ed è stato applicato con continuità dall'anno 2014.

La struttura del report è costituita da tre capitoli, il primo che sintetizza le principali caratteristiche della catena di modelli – per approfondimenti si rimanda all'appendice 2 – il secondo relativo alle condizioni meteorologiche che hanno caratterizzato l'anno in esame, il terzo in cui sono presentati i risultati della simulazione relativa al 2020.

In appendice 1 sono riportati tutti gli elaborati grafici e le analisi statistiche, in modo da fornire un quadro completo delle informazioni ottenibili attraverso l'approccio modellistico.

1 Struttura del sistema di modelli SPARTA

In questo paragrafo si presentano brevemente le principali caratteristiche del sistema modellistico SPARTA: per approfondimenti si rimanda al documento in appendice 2, in cui è descritta in dettaglio la struttura del sistema modellistico sviluppato dal Consorzio LaMMA.

Il sistema integrato di previsione e analisi della qualità dell'aria SPARTA è basato sul modello chimico CAMx e sul modello meteo WRF-ARW, e consente di ottenere due tipi di prodotti, previsioni e analisi dei principali inquinanti atmosferici, NO₂, PM₁₀, PM_{2.5}, O₃, SO₂, polvere desertica. Recentemente è stato introdotto un modulo per la stima dello spray marino, che è stato utilizzato per le stime di questa componente del PM₁₀ per l'anno 2020.

Modello meteorologico: l'input meteorologico è fornito dal modello WRF-ARW a 3 Km di risoluzione, inizializzato da dati di analisi/previsione ECMWF.

Modello chimico: il modello CAMx, con cui vengono simulati il trasporto, la dispersione, le trasformazioni chimiche e la deposizione secca e umida di inquinanti aeriformi ed aerosol, è configurato su un dominio di calcolo che copre il territorio toscano, con una risoluzione orizzontale di 2km e con livelli verticali che variano da 10 a 10500 m.

Condizioni iniziali e al contorno: come condizioni iniziali e al contorno sono utilizzati i dati di analisi forniti dal modello CHIMERE (PREV'AIR).

Input emissivo: i dati di emissione derivano dall'inventario regionale IRSE, disaggregate su base spaziale, temporale e con speciazione chimica dei VOC e del PM. Si segnala che anche per l'anno 2020 sono stati utilizzati come dati di input le emissioni derivanti dall'inventario IRSE aggiornato all'anno 2010, senza nessuna variazione rispetto agli anni precedenti: relativamente all'input emissivo, quindi, non sono state fatte modifiche per tener conto del diverso carico emissivo che ha caratterizzato l'anno 2020 a causa del lockdown imposto dalla pandemia.

Nella seguente figura è riportato lo schema a blocchi che rappresenta la struttura del sistema integrato, e il dominio di calcolo.

SPARTA
Sistema Integrato di Previsione e Analisi della Qualità dell'Aria per la Regione Toscana
Integrated Analysis and Forecast System for Air Quality in Tuscany Region

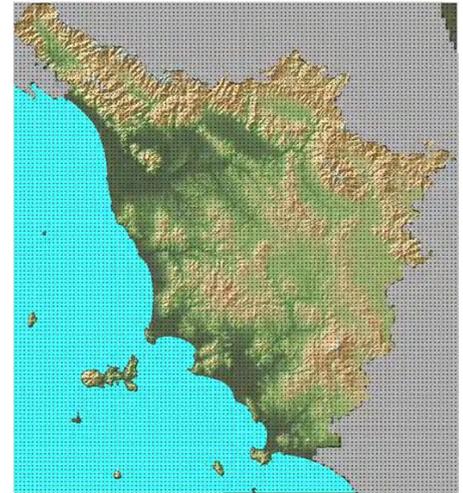
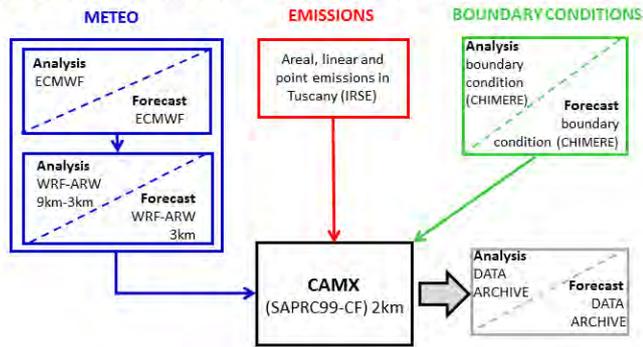


Fig. 1 – Schema a blocchi del sistema integrato SPARTA e dominio di calcolo.

2 Sintesi delle condizioni climatiche - anno 2020

TEMPERATURE

Il 2020 in Toscana è stato, insieme al 2019, il quinto anno più caldo dal 1955 con una temperatura media di 15,5 °C e uno scarto di +0,8 °C rispetto alla climatologia di riferimento 1981-2010 e di +0.4 °C rispetto al trentennio 1991-2020. L'anomalia si discosta di pochi decimi di grado dagli anni più caldi della serie storica i quali, eccezion fatta per il 2003, si concentrano tutti nel decennio appena concluso (2014-2015-2018). La prima immagine mostra la distribuzione delle anomalie di temperatura media nel 2020 in Toscana, queste risultano concentrarsi soprattutto nelle zone più interne e sui rilievi, in particolare Apuane, Pratomagno, Appennino Tosco-Emiliano e senese. L'andamento termico regionale rispecchia quello continentale dove anche nel 2020 hanno prevalso scarti nettamente positivi (immagine 3). Per quanto riguarda l'Europa l'anno appena trascorso è risultato il più caldo della serie sia per Copernicus (+1.6 °C sulla climatologia 1981-2010), sia per la NOAA (+2.16 °C sul periodo 1910-2000).

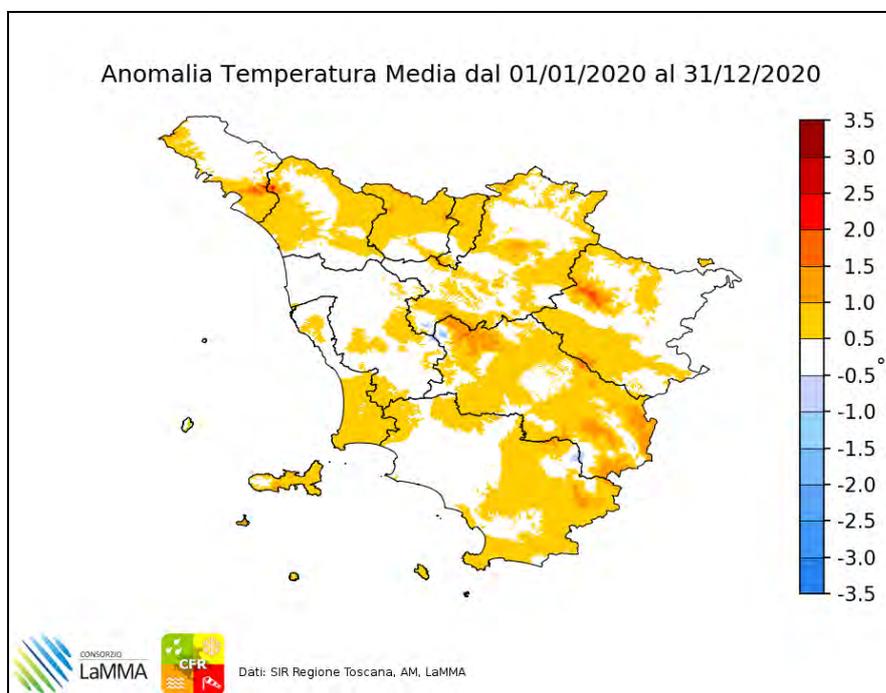


Immagine 2: distribuzione dell'anomalia della temperatura media in Toscana nel 2020, periodo di riferimento 1995-2014.

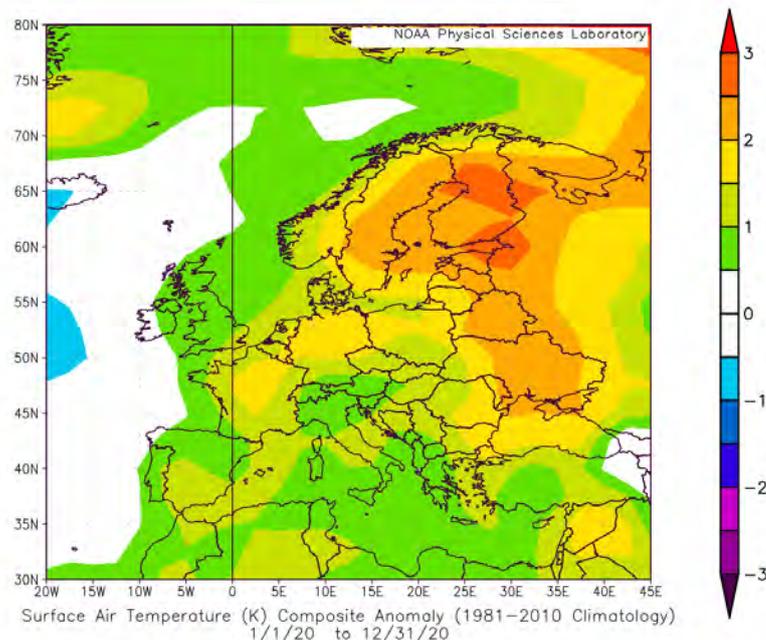


Immagine 3: distribuzione delle anomalie termiche in Europa nel 2020 (PLS/NOAA)

Nel dettaglio, in Toscana su 12 mesi ben 7 hanno registrato uno scarto superiore ad 1 °C rispetto alla normale climatica 1981-2010 (immagine 4), con picchi a febbraio (+1.6 °C), agosto (+1.4 °C), novembre (+1.4 °C) e maggio (+1.3 °C). Gli unici mesi con anomalia negativa sono stati giugno (-0.2 °C) e ottobre (-1.2 °C). A differenza del 2019, con ben 3 mesi più caldi di tutta la serie storica (giugno, novembre e dicembre), nel 2020 non si sono osservati record assoluti di temperatura media. La stagione che ha avuto, complessivamente, lo scarto più contenuto è stata l'estate, con due mesi su tre termicamente in media (giugno e luglio). Il bimestre gennaio-febbraio, invece, è stato il più anomalo, con uno scostamento rispetto alla climatologia di riferimento di +1.4 °C, a seguire quelli di agosto-settembre (+1.3 °C) e novembre-dicembre (+1.2 °C)

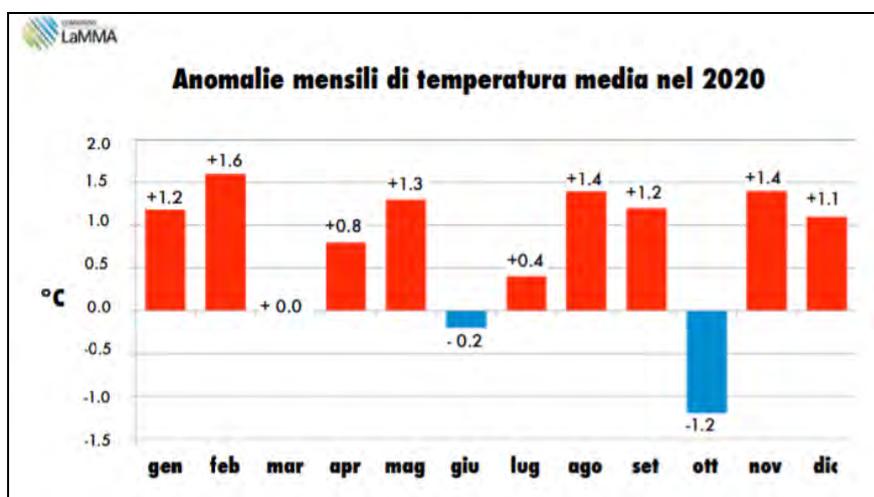


Immagine 4: anomalie mensili di temperatura media nel 2020 in Toscana, periodo di riferimento 1981-2010

Per quanto riguarda gennaio e febbraio, le marcate anomalie termiche osservate (immagine 5) sono il prodotto di configurazioni meteorologiche sfavorevoli ad ingressi d'aria fredda. Sul Mediterraneo, infatti, hanno prevalso figure anticicloniche cui si sono alternati rapidi passaggi perturbati di origine atlantica che hanno coinvolto soprattutto i settori nord della regione. Una situazione scarsamente evolutiva che ha favorito alcune fasi di stagnazione atmosferica e scarso rimescolamento.

Il mese di febbraio è stato il più caldo dell'intera serie storica (1955-2020) all'Abetone (PT), località che ha fatto registrare anche la temperatura più alta per il mese in oggetto degli ultimi 65 anni: +16.4 °C in data 23 febbraio. Sempre a febbraio caduti alcuni record decadal a Grosseto (+20.4 °C l'11 e +22.8 °C il 27).

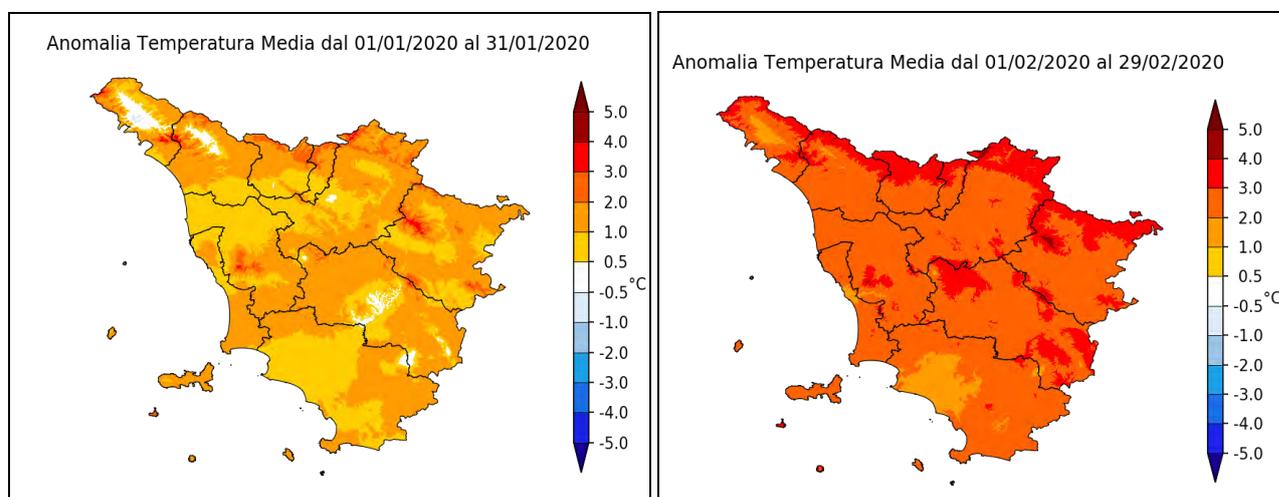
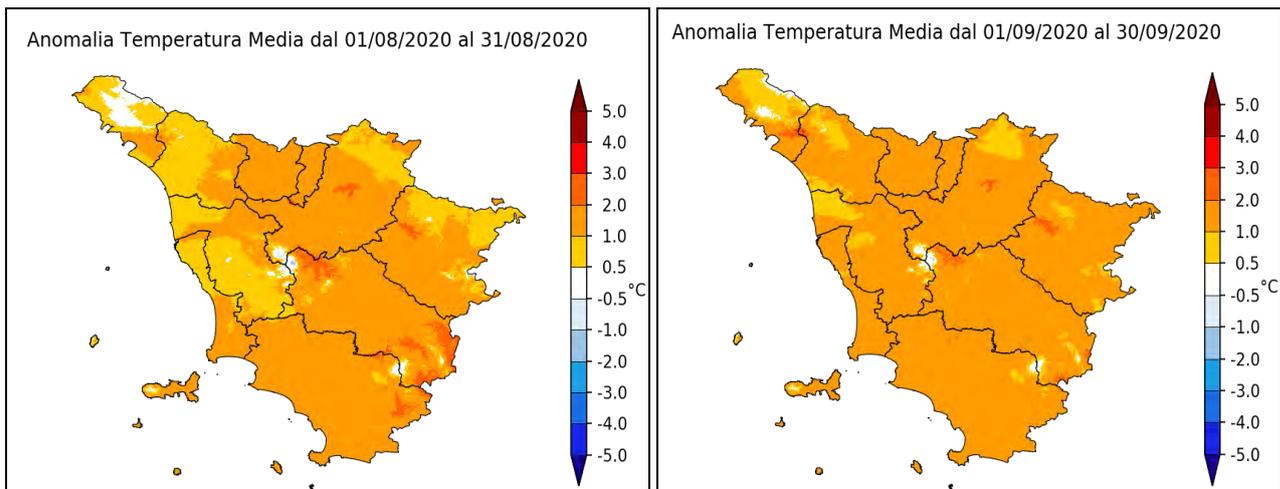


Immagine -5: anomalie termiche a gennaio (sx) e febbraio (dx); periodo di riferimento 1995-2014.

Relativamente ai mesi di agosto, settembre e novembre è sempre l'anticiclone subtropicale ad aver prevalso, favorendo temperature ben superiori alla media (immagini 6-7-8), mentre a dicembre l'anomalia positiva (+1.1 °C) è stata causata da un insistente flusso perturbato cui si sono associate precipitazioni estremamente abbondanti. Nei mesi estivi osservate due brevi ondate di calore: la prima tra fine luglio e i primi giorni di agosto, la seconda a metà agosto. Picco termico di +38.6 °C registrato il 1° agosto a Firenze Peretola, nessun record termico assoluto osservato.

Infine, per quanto riguarda aprile e maggio, entrambi più caldi della norma (rispettivamente +0.8 °C e +1.3 °C), gli scarti positivi sono da ascrivere a precoci ingressi d'aria calda, sebbene in un contesto meteorologico più variabile rispetto ai mesi precedentemente descritti. L'unico mese con temperature significativamente inferiori alla norma (immagine 9) è stato ottobre (-1.2 °C), caratterizzato dall'ingresso di numerosi fronti di origine nord atlantica e quindi da frequenti precipitazioni. A marzo l'unica, breve, ondata di freddo con nevicate anche a bassa quota (fine mese).



Immagini 6-7: anomalie termiche di agosto (sx) e settembre (dx) 2020; periodo di riferimento 1995-2014.

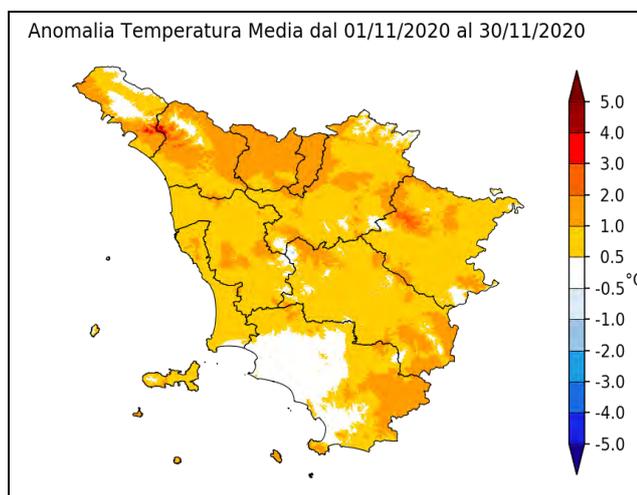


Immagine 8: anomalie termiche del mese di novembre 2020; periodo di riferimento 1995-2014

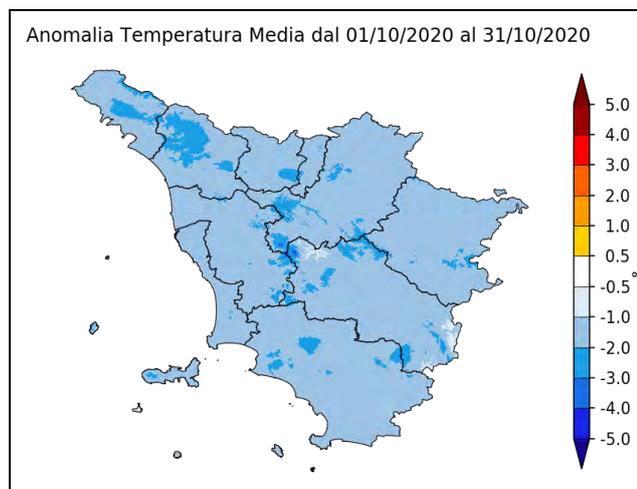


Immagine 9: anomalia della temperatura media a ottobre 2020; periodo di riferimento 1995-2014

PRECIPITAZIONI

Il 2020 ha registrato precipitazioni nel complesso normali (-2% rispetto alla climatologia di riferimento 1981-2010), ma con forti variazioni mensili e stagionali. Dall'osservazione della mappa spazializzata di anomalia (immagine 10) si nota come in nessuna porzione del territorio regionale si siano verificati surplus annuali significativi; modesti scostamenti in senso positivo hanno interessato l'amiatino, la costa centrale e l'alta Lunigiana (120-140% della pioggia attesa). Per quanto riguarda, invece, gli scarti negativi, questi hanno interessato una buona porzione del grossetano, dove è caduto tra il 60 e l'80% delle precipitazioni previste.

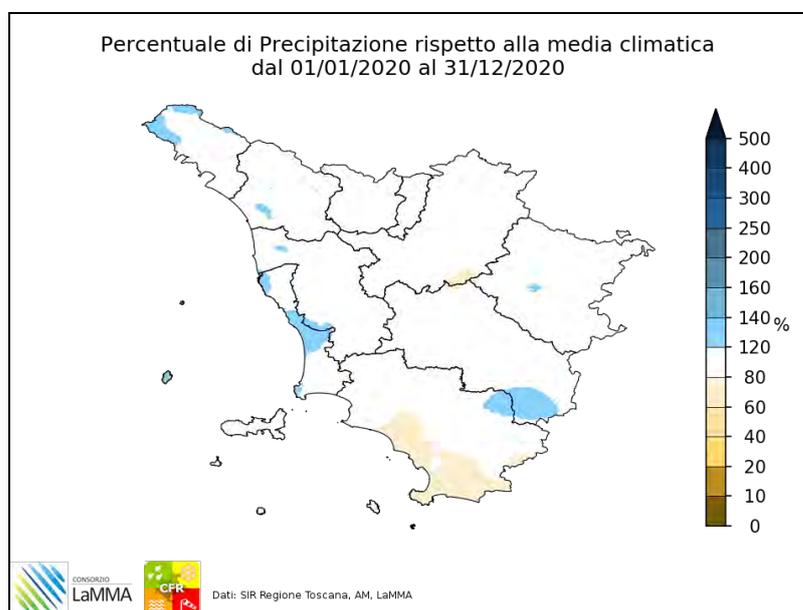


Immagine 10: percentuale di precipitazione rispetto alla media climatica di riferimento (1995-2014).

Analizzando il dato a livello mensile e stagionale si osserva una distribuzione delle precipitazioni estremamente variabile, con mesi molto secchi alternati a mesi molto piovosi (immagine 11). I primi, tuttavia, prevalgono sui secondi nelle zone centro-meridionali ed in particolare nel sud della regione, dove in 10 mesi su 12 si sono osservate piogge inferiori alla norma. I mesi con il maggior deficit a livello regionale sono stati febbraio, aprile, luglio e novembre, mentre surplus significativi sono stati registrati a giugno, agosto, ottobre e dicembre (sebbene quasi esclusivamente sulle zone centrali e settentrionali). Relativamente a dicembre, questo è stato il più piovoso dal 1955, con un surplus del +120% (immagine 12), anomalia in gran parte ascrivibile alle province settentrionali (+145%) e centrali (+150%). Ad ottobre l'eccesso di precipitazioni si è attestato intorno al 40%, mentre a giugno ha raggiunto il 30%, ma soltanto sulle zone settentrionali (+60%) e centrali (+80%) della Toscana (al sud -

50%). Viceversa, i mesi più secchi a livello regionale sono stati novembre (immagine 13), con un deficit superiore al 60% (immagine 13), aprile (-48%), luglio (-50%) e febbraio (-30%). I periodi meno piovosi e più miti del 2020 hanno spesso coinciso con durature e anomale fasi anticicloniche, come ad esempio febbraio, luglio, aprile e novembre, al contrario ottobre, giugno e dicembre hanno registrato un numero superiore alla norma di passaggi perturbati di origine atlantica, nord atlantica e nord europea (masse d'aria artica marittima).

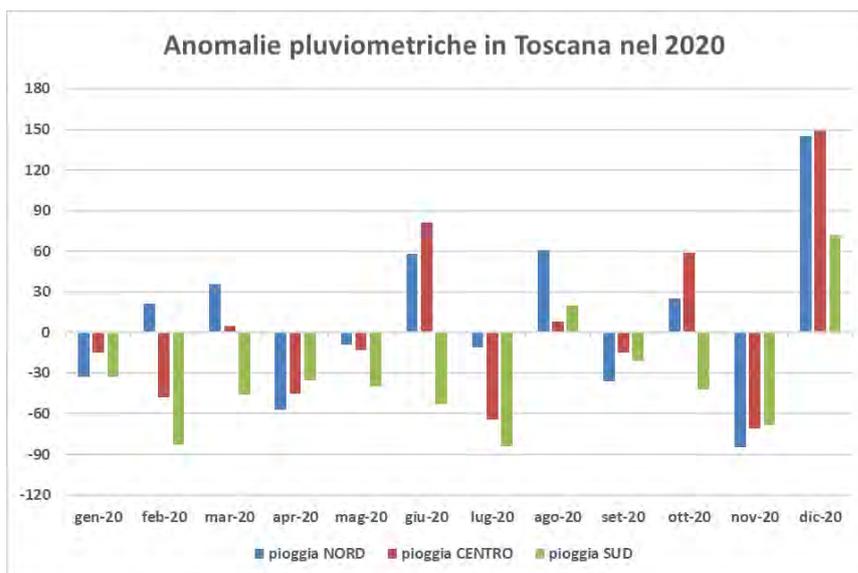
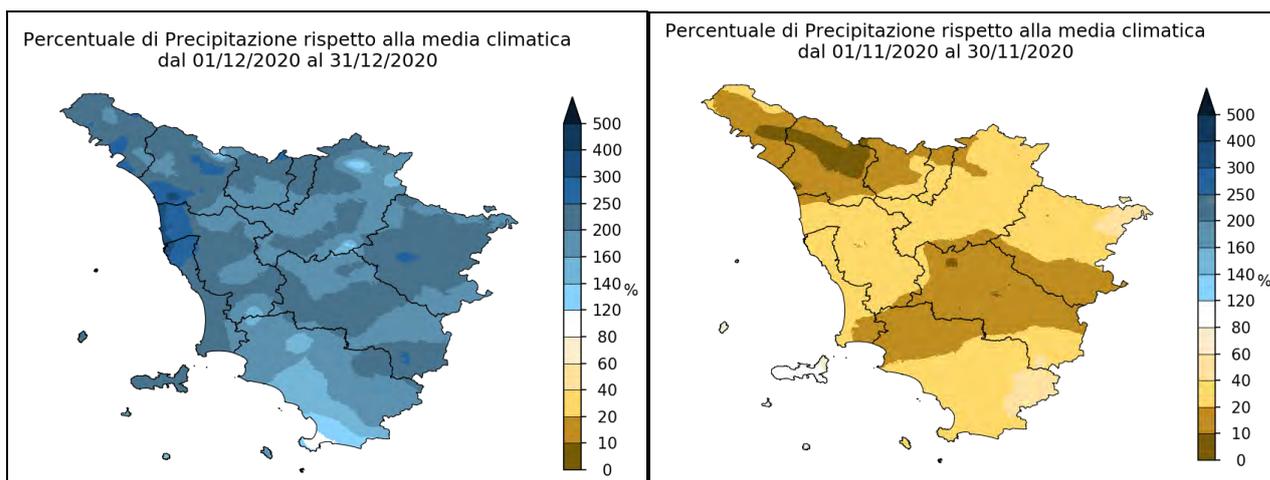


Immagine 11: anomalie di precipitazione (%) mensile divise per macroaree.



Immagini 12-13: percentuale di precipitazione a dicembre (sx) e a novembre (dx) rispetto alla media 1995-2014.

CIRCOLAZIONE ATMOSFERICA E EPISODI DI POLVERE DESERTICA

Da un punto di vista circolatorio il 2020 in Europa è stato un anno caratterizzato da pressioni mediamente più alte della norma, in particolare sugli stati centro-meridionali ed orientali (immagine 14); geopotenziali più bassi nel normale, invece, sul comparto nord atlantico. La distribuzione delle anomalie indica una circolazione "zonale alta", vale a dire passaggi perturbati più frequenti del normale sul comparto settentrionale del continente e anticicloni prevalenti sul settore centrale e meridionale. Una configurazione influenzata, soprattutto nei primi mesi dell'anno, da una corrente a getto più forte del normale, a sua volta legata ad un anomalo rinforzo del vortice polare. Fenomeno che si è ripresentato, sebbene in forma più attenuata, anche nel mese di novembre.

In generale, a differenza di un 2019 estremamente dinamico, il 2020 è stato piuttosto statico da un punto di vista meteorologico: pattern anticiclonici prevalenti e correnti occidentali, alternati a periodi più brevi caratterizzati da scambi meridiani (Nord-Sud) come nel caso di giugno, ottobre e dicembre. La scarsa dinamicità meteorologica osservata durante l'anno ha avuto conseguenze anche nella concentrazione degli inquinanti di origine antropica, favorendone spesso aumenti significativi. Da riportare alcune intrusioni di **polvere desertica**, in particolare tra fine marzo e metà maggio e tra fine novembre e metà dicembre (vedi paragrafo dedicato).

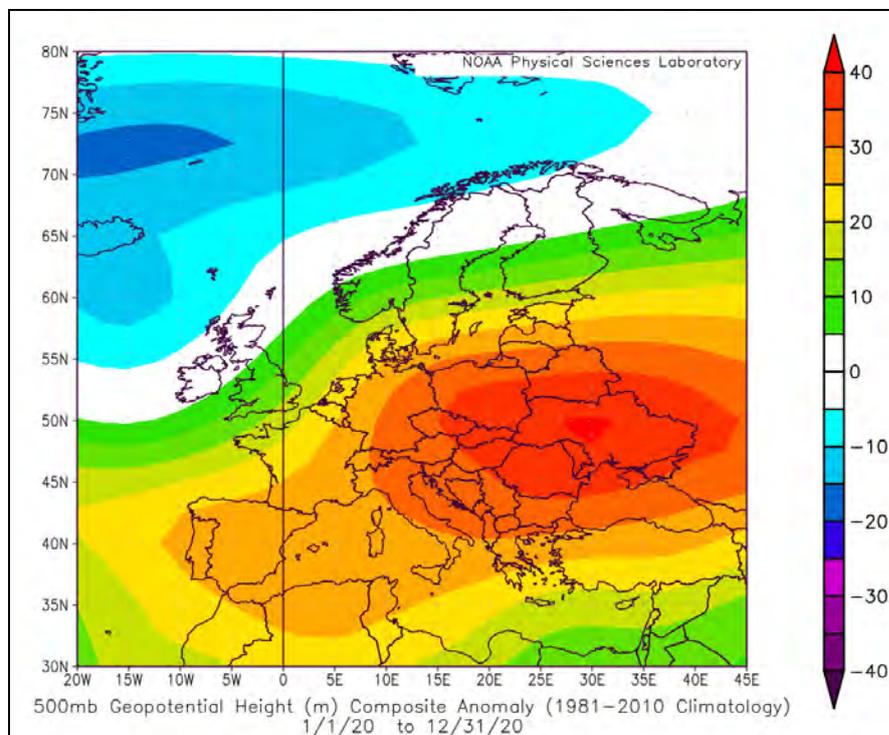
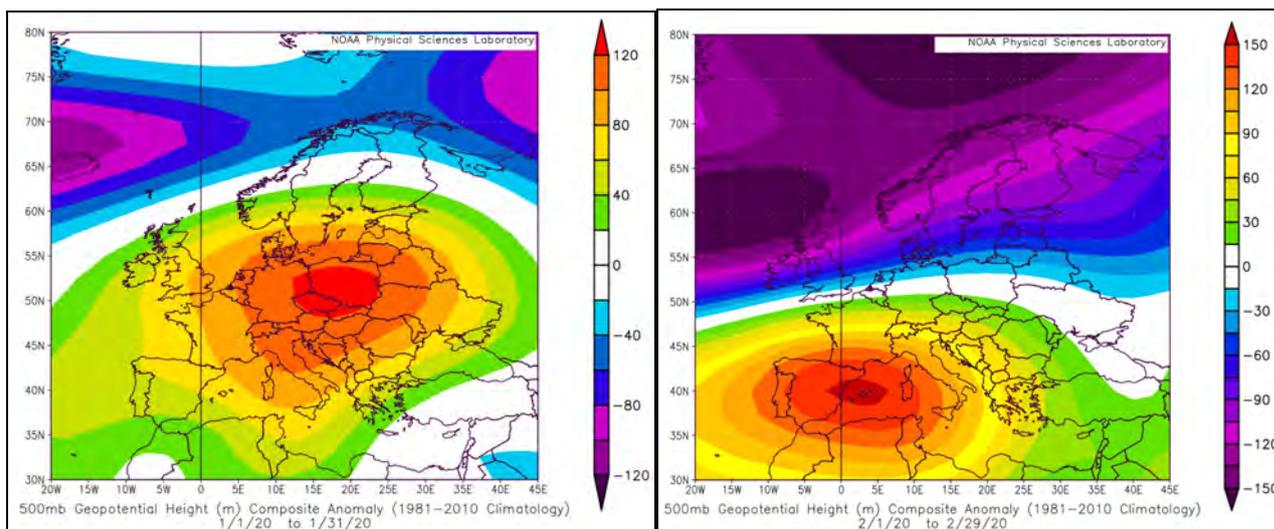


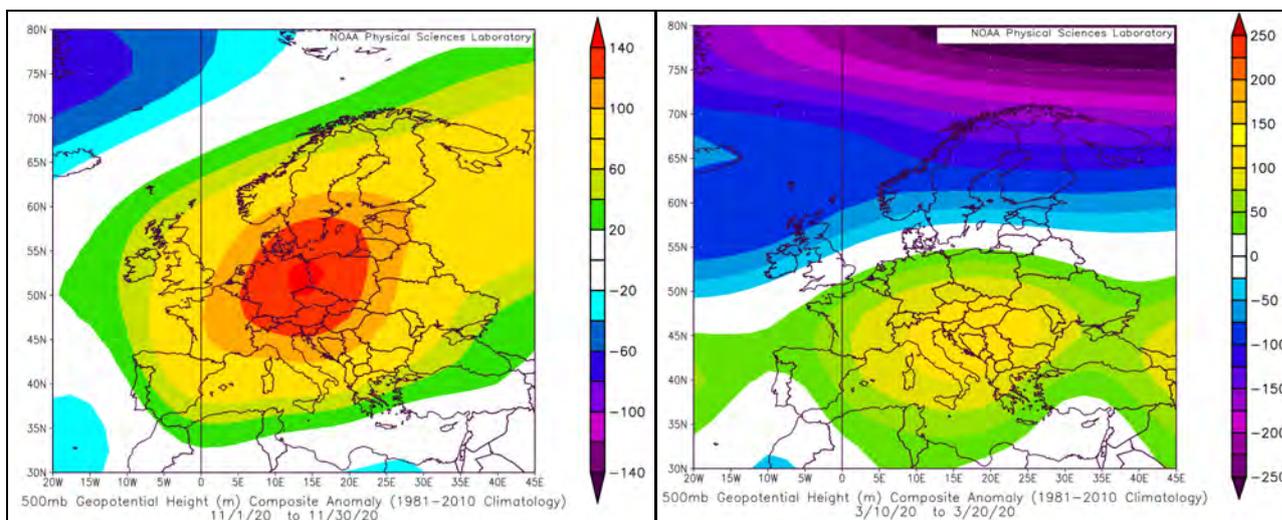
Immagine 14: mappa di anomalia dell'altezza del geopotenziale dell'isobara a 500 mb per l'anno 2020 sul comparto euro-atlantico.

I mesi durante i quali sono state registrate le anomalie di pressione più marcate, in senso anticiclonico, sono stati: **gennaio, febbraio e novembre** (immagini 15-16-17);

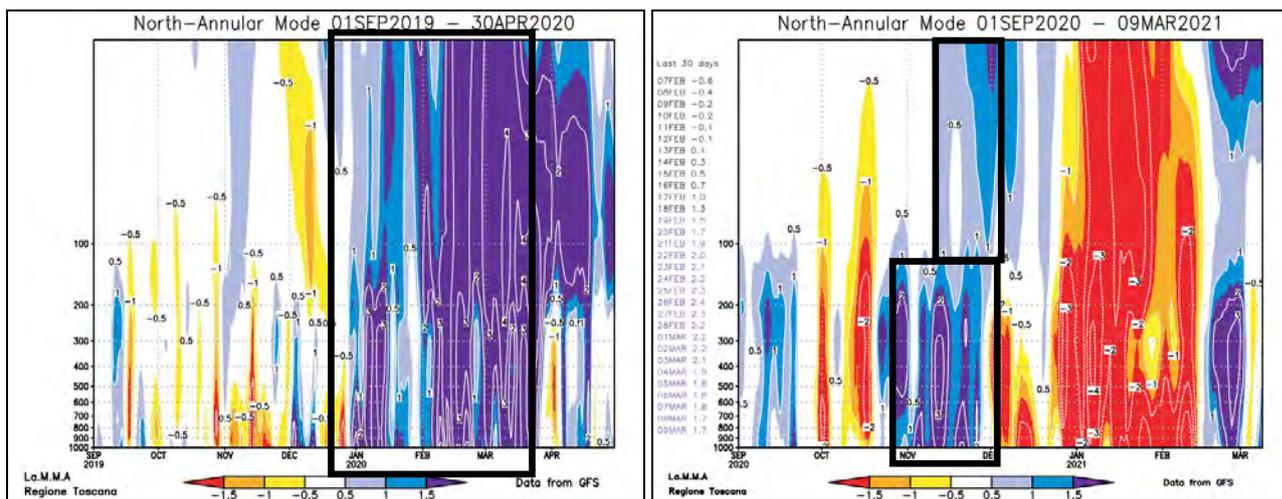
degni di menzione anche la **seconda decade di marzo** (immagine 18). In tutti e quattro i casi la circolazione è stata nettamente influenzata da un vortice polare molto forte a tutti i livelli (immagini 19-20), cui si sono associate frequenti fasi anticicloniche intervallate da brevi ingressi d'aria più umida di origine atlantica (correnti occidentali). Condizioni in gran parte caratterizzate da debole turbolenza e quindi da scarso rimescolamento della massa d'aria, condizioni favorevoli all'accumulo di inquinanti.



Immagini 15-16: mappe di anomalia dell'altezza del geopotenziale dell'isobara a 500 mb sul comparto euro-atlantico a gennaio (sx) e febbraio (dx).

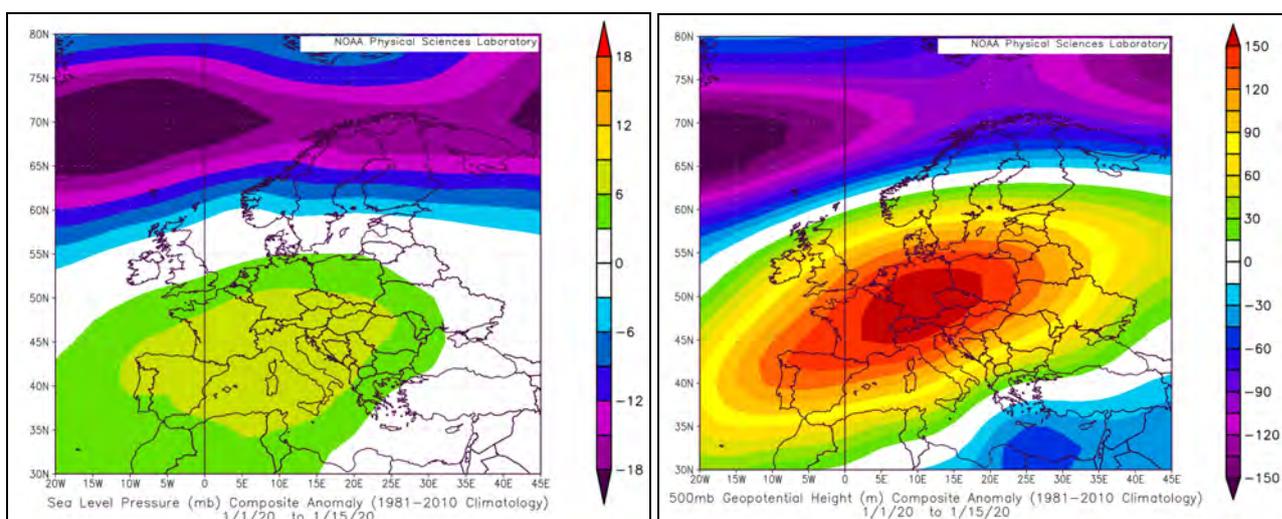


Immagini 17-18: mappe di anomalia dell'altezza del geopotenziale dell'isobara a 500 mb sul comparto euro-atlantico a novembre (sx) e nella seconda decade di marzo (dx).



Immagini 19-20: mappe dell'indice emisferico NAM; in blu vortice polare forte, in rosso vortice polare debole. Nei riquadri neri: sinistra gennaio-febbraio-marzo 2020, destra novembre 2020.

Nella prima metà del mese di **gennaio** un robusto anticiclone sull'Europa centro-meridionale (immagini 21-22) ha garantito condizioni di stabilità con marcata inversione termica e alte concentrazioni di polveri sottili e gas nelle aree pianeggianti della Toscana. I massimi assoluti di inquinamento del 2020 sono stati registrati proprio in questo periodo dell'anno. Altre fasi caratterizzate da bassa, o scarsa qualità dell'aria si sono osservate a **febbraio** (specie nella prima quindicina), in alcuni giorni di **marzo** e nel mese di **novembre**. Per quanto riguarda **dicembre**, gli unici picchi osservati sono da attribuire in gran parte alla fase anticiclonica occorsa tra il 13 e il 20 (immagine 23). Durante il resto del mese, come già accennato, hanno prevalso condizioni di forte instabilità.



Immagini 21-22: mappe di anomalia della pressione al suolo nei primi 15 giorni di gennaio (sx) e dell'altezza del geopotenziale 500 mb nella prima quindicina di gennaio (dx).

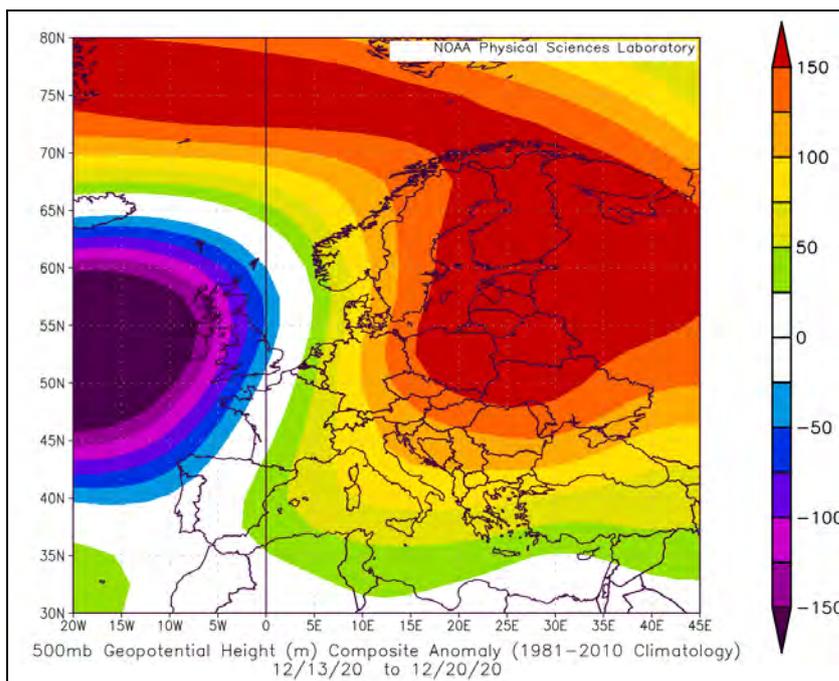
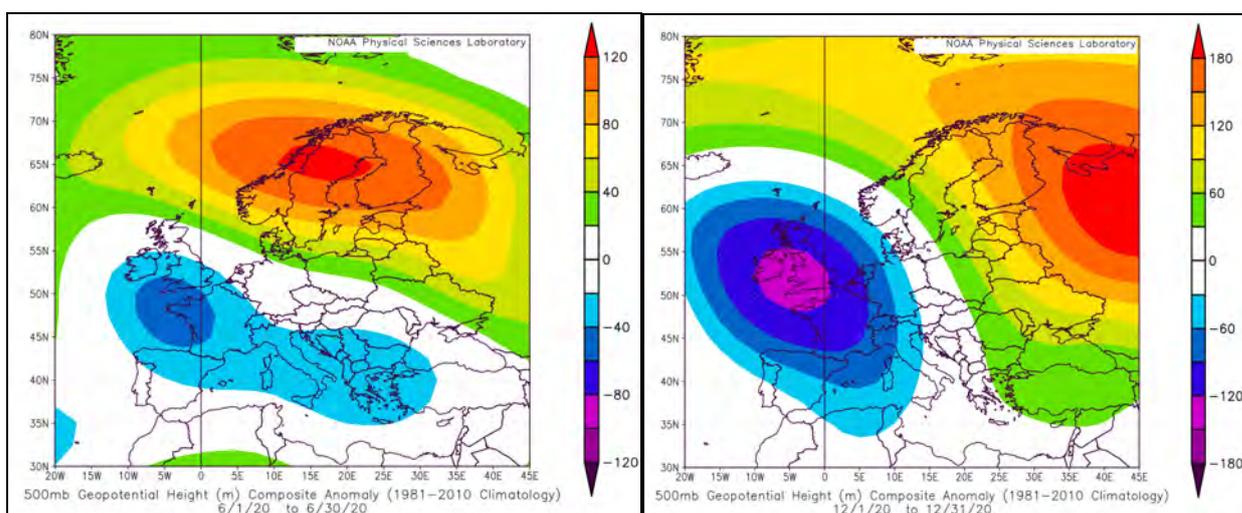


Immagine 23: mappa di anomalia dell'altezza del geopotenziale 500 mb tra il 13 e il 20 dicembre.

Gli unici mesi durante in cui hanno prevalso condizioni di instabilità (immagini 24-25) sono stati **dicembre, ottobre e giugno** durante i quali la qualità dell'aria di è mantenuta nel complesso buona. Anche nei mesi di **aprile e maggio**, al netto di intrusioni desertiche legate al transito di alcune perturbazioni atlantiche e mediterranee, il rimescolamento è stato adeguato grazie a configurazioni bariche favorevoli (blocco anticiclonico più occidentale e ingressi più frequenti di masse d'aria da nord e nord/est - immagine 26).



Immagini 24-25: mappe di anomalia dell'altezza del geopotenziale 500 mb a giugno (sx) e a dicembre (dx).

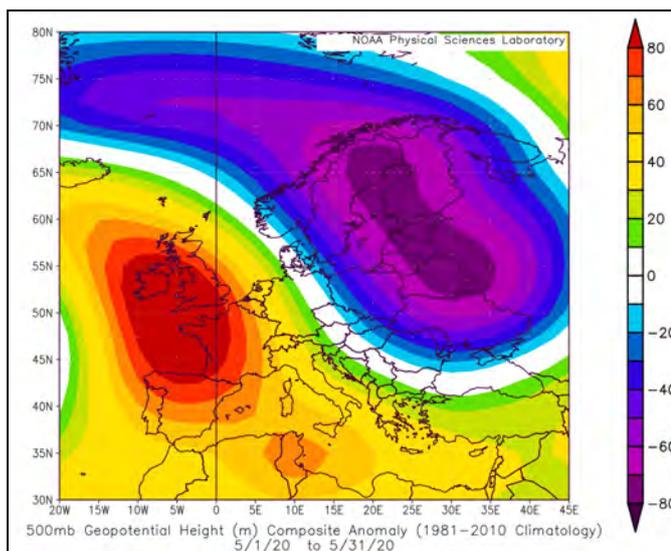
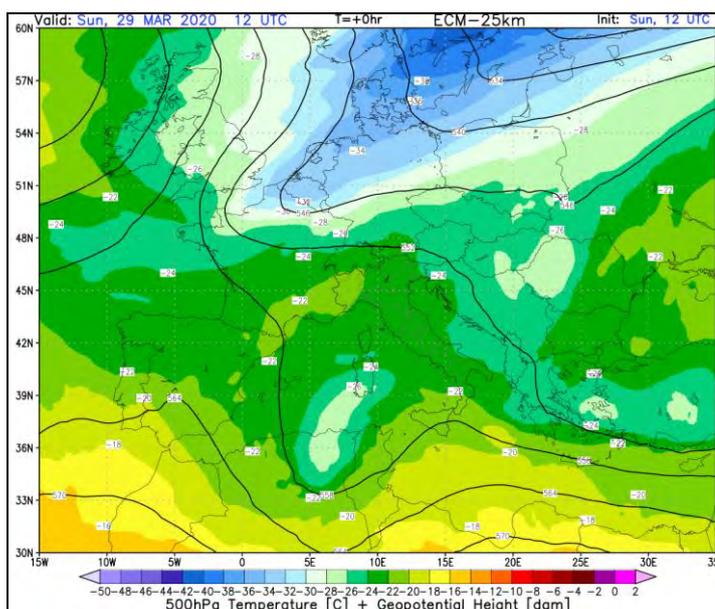


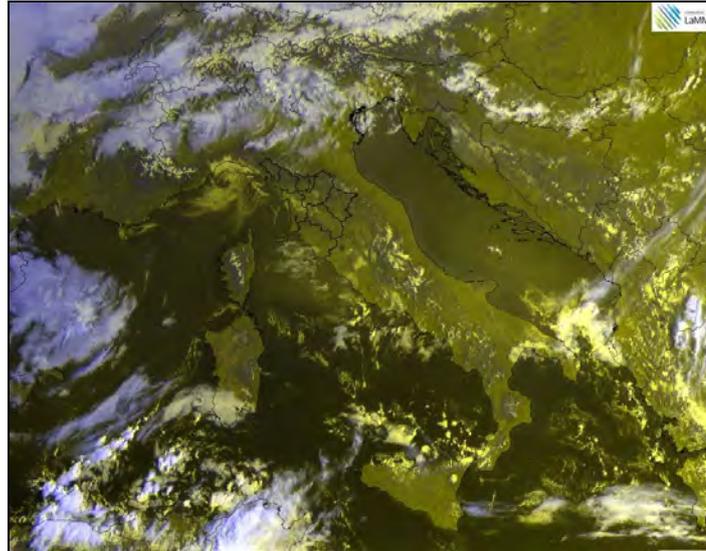
Immagine 26: anomalia dell'altezza del geopotenziale 500 mb a maggio (configurazione simile anche ad aprile)

Per quanto riguarda l'estate da segnalare i massimi di concentrazione di ozono osservati nel corso della breve **ondata di calore del 28 luglio-2 agosto**, durante la quale alcune stazioni di rilevamento della regione hanno superato, seppur di poco, i **150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$** (150-155). Si tratta comunque di valori non estremi e lontani dai picchi dell'estate 2019 (fino a 180 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). Massimi secondari rilevati intorno al 10-14 agosto.

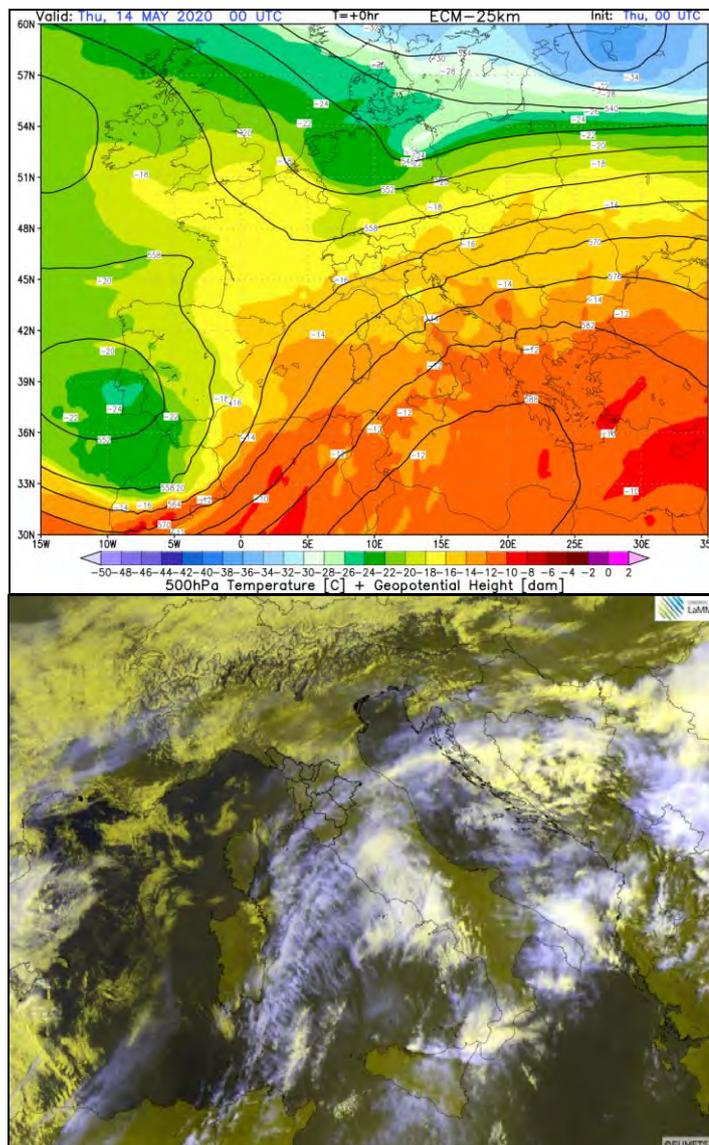
POLVERE DESERTICA

Relativamente agli eventi di intrusione di polveri desertiche, questi si sono verificati soprattutto tra **fine marzo** e **metà maggio** e a **fine novembre**. Di seguito i più significativi (immagini 27-28-29-30).





Immagini 27-28: mappa barica (500 hPa) e satellite relative all'intrusione desertica del 29 marzo.



Immagini 29: mappa barica (500 hPa) e satellite relative all'intrusione sahariana del 14 maggio

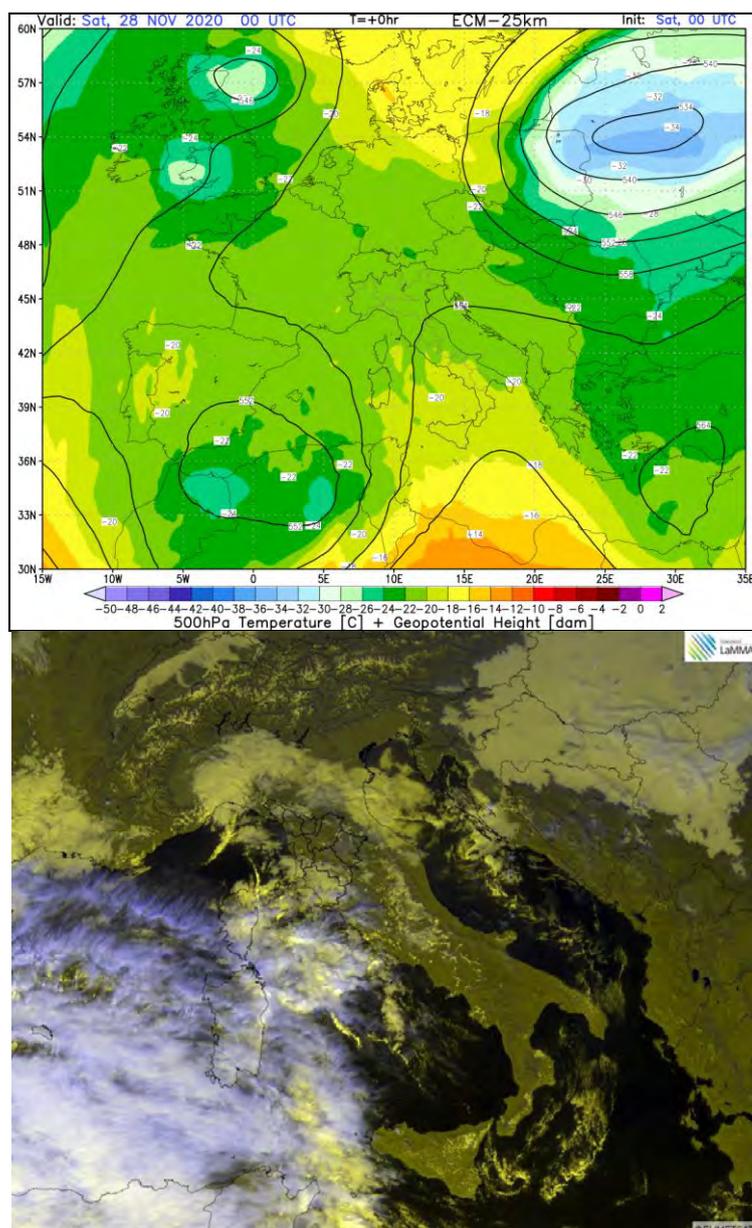


Immagine 30: mappa barica (500 hPa) e satellite relative all'intrusione sahariana del 27-28 novembre

Per quanto riguarda l'episodio di trasporto di polvere desertica non sahariana avvenuto il 28 e 29 marzo 2020, si riporta una sintesi della news dedicata (<http://www.lamma.rete.toscana.it/news/picco-di-pm10-cosa-e-dovuto>).

Nel fine settimana **28 -29 marzo 2020** gran parte della penisola Italiana è stata interessata da un anomalo innalzamento dei valori di concentrazione di PM10, situazione inattesa in considerazione della riduzione delle emissioni antropiche conseguente alle misure messe in atto per contrastare l'epidemia da COVID-19. Anche in Toscana, nelle giornate del 28 e del 29 marzo sono state misurate dalle stazioni di monitoraggio della rete regionale valori molto elevati di PM10, attribuiti prevalentemente a polvere di origine desertica, quindi a trasporto long-range. Tuttavia, la circolazione atmosferica di questo periodo non è stata favorevole al trasporto di

polvere sahariana fino alla nostra penisola. L'ipotesi più accreditata è che l'anomalo aumento del PM10 sia legato alle polveri provenienti dalle aree desertiche prossime all'area del Mar Caspio o da aree desertiche ancora più orientali.

Un'analisi della situazione meteo evidenzia che nella terza decade di marzo il vortice polare ha subito un forte indebolimento, cosa praticamente mai avvenuta nel corso dell'intero inverno 2019-2020. Sin dal 20 marzo un vasto campo di alta pressione si è consolidato sull'Europa settentrionale con massimi di oltre 1035 hPa sulla Penisola Scandinava e fortemente esteso lungo i paralleli fino a raggiungere la Siberia. Nei giorni successivi quest'alta pressione si è andata ulteriormente consolidando richiamando verso la nostra penisola masse d'aria estremamente fredde e secche di origine continentale (Fig.32 sx). A partire dal 23 marzo il massimo barico si è abbassato in latitudine richiamando comunque sulla nostra penisola ancora aria molto fredda continentale sospinta da venti molto forti da nord est evidenziati anche dal marcato gradiente barico. Anche nei giorni successivi la configurazione a grande scala si è mostrata scarsamente evolutiva con sostenuto afflusso di aria fredda proveniente dall'Europa dell'Est (Fig. 31). La circolazione a scala sinottica è mutata in maniera apprezzabile a partire dal 28 marzo con una generale attenuazione del gradiente barico (differenza di pressione tra due zone contigue) nelle aree ad est della penisola italiana (Fig.32 dx). In corrispondenza dell'attenuazione del gradiente barico e della conseguente riduzione dell'intensità del vento superficiale, si è riscontrato l'anomalo innalzamento dei livelli di concentrazione di PM10

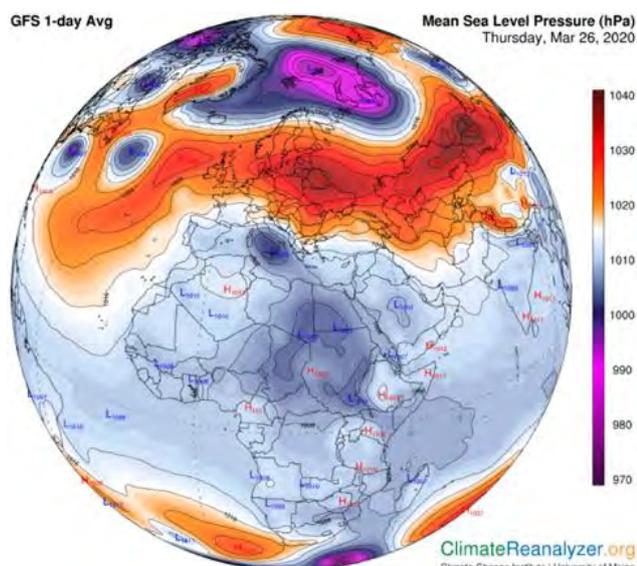


Fig. 31. Pressione media giornaliera sul livello del mare (hPa) relativa 26 marzo 2020 (GFS)

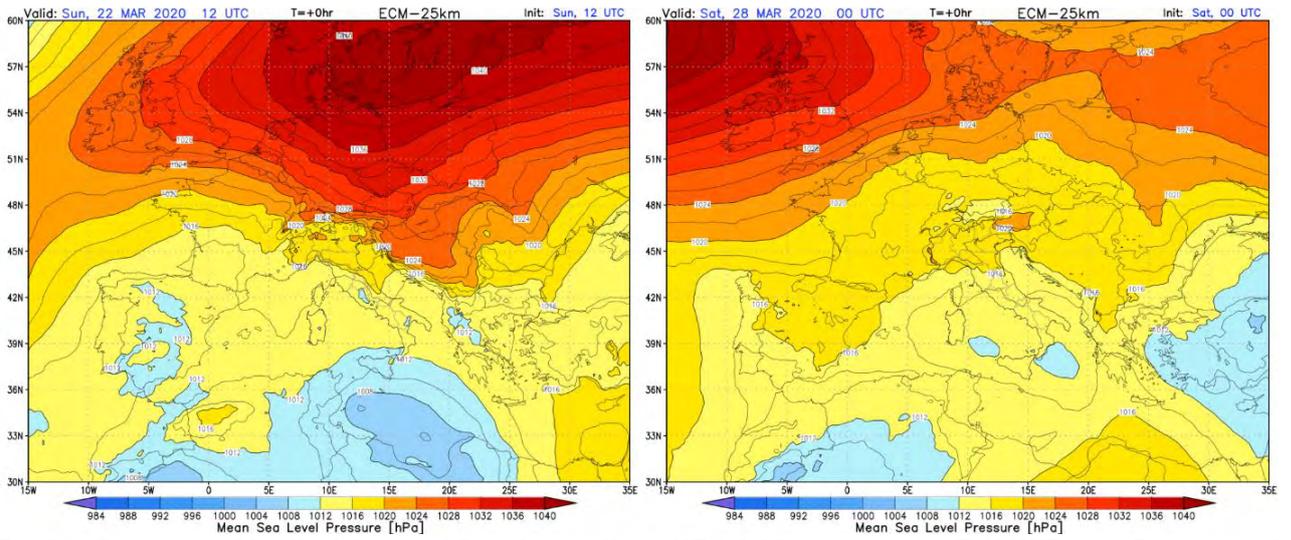


Fig. 32 - Pressione sul livello del mare (hPa) relativa alle 00 UTC del 22 marzo 2020 (ECMWF) (sx). Pressione sul livello del mare (hPa) relativa alle 00 UTC del 29 marzo 2020 (ECMWF) (dx) .

3 – Simulazione anno 2020 – Risultati

In questo capitolo sono riportati i risultati ottenuti dalla simulazione modellistica per l'anno 2020: nella seguente tabella sono elencati tutti gli elaborati grafici, che sono riportati in forma completa in appendice 1.

Tabella 1. Elaborati grafici ottenuti dalla simulazione 2019.

Mappe: concentrazione media annua degli inquinanti PM10, PM2.5, NO2, SO2, O3
Mappe: concentrazione media mensile degli inquinanti PM10, PM2.5, NO2, SO2, O3
Mappe: concentrazione media stagionale degli inquinanti PM10, PM2.5, NO2, SO2, O3
Grafici della serie temporale della concentrazione media giornaliera stime-misure di PM10, PM2.5, NO2, SO2 e di MAXMM8(O3), in corrispondenza delle centraline di monitoraggio
Grafici della serie temporale della concentrazione media oraria stime-misure di O3 in corrispondenza delle centraline di monitoraggio (maggio-settembre)
Scatter-plot: concentrazioni medie annue stime-misure di PM10, PM2.5, NO2, SO2, O3, MAXMM8(O3)
Diagrammi di Taylor: medie annue stime-misure di PM10, PM2.5, NO2, MAXMM8(O3)
Mappe: concentrazione media mensile di spray marino
Mappe: concentrazione media mensile di polvere desertica
Grafici della serie temporale della concentrazione media giornaliera stime-misure di dust sahariano, contrapposto a PM10, in corrispondenza di alcune centraline di monitoraggio

Sono state elaborate mappe medie su base mensile, stagionale e annuale per gli inquinanti PM10, PM2.5, NO2, SO2, O3.

La validazione dei risultati modellistici viene effettuata confrontando le stime con le misure di concentrazione dei principali inquinanti, ottenute dalla rete di monitoraggio della qualità dell'aria gestita da ARPAT. In particolare, sono stati elaborati i grafici delle serie storiche di concentrazione medie giornaliera, in cui sono riportati stime e misure in corrispondenza delle stazioni di monitoraggio. Per l'ozono sono stati considerati anche i grafici della concentrazione media oraria nei mesi maggio-settembre. Sono stati elaborati scatter-plot stime-misure dei valori di concentrazione media annua per ciascuno dei principali inquinanti, mentre per l'ozono sono stati elaborati gli scatter-plot del massimo della media mobile su otto ore (MAXMM8), per ciascuna stazione di monitoraggio. Sono riportati anche i diagrammi di Taylor, che considerano contemporaneamente il coefficiente di correlazione e la deviazione standard.

Per quanto riguarda la polvere desertica, sono state elaborate le serie temporali della concentrazione media giornaliera stime-misure, in contrapposizione a PM10, in

corrispondenza di alcune centraline di monitoraggio. Inoltre sono riportate alcune mappe della concentrazione media mensile, come pure per la concentrazione di spray marino.

3.1 Concentrazioni medie

In questo paragrafo sono riportate le mappe di concentrazione media per i principali inquinanti, su base annua (Fig. 33) e stagionale (Fig. 34), mentre le mappe mensili sono riportate in appendice 1.

Come già segnalato, in attesa di dati aggiornati dell'inventario regionale delle emissioni, anche per la simulazione dell'anno 2020 sono stati utilizzati i dati IRSE aggiornati all'anno di riferimento 2010. Inoltre, non si è tenuto conto del diverso carico emissivo conseguente al lockdown, quindi l'analisi delle mappe evidenzia solo il diverso impatto dovuto alle condizioni meteorologiche e l'apporto dovuto alle concentrazioni al contorno.

PM10 – PM2.5 –Le mappe mostrano che i valori di concentrazione più alti di PM10 e PM2.5 si hanno nei mesi di gennaio-marzo e ottobre-dicembre, nelle aree pianeggianti come la piana Firenze-Prato-Pistoia, la pianura del Val d'Arno inferiore, il Val d'Arno superiore, la Valle del Serchio, che sono caratterizzate da maggiori pressioni antropiche.

Dal confronto con le mappe dell'anno precedente, si può notare che a livello annuo il PM10 è minore, mentre nel semestre invernale è decisamente maggiore, come pure il PM2.5. Nel semestre estivo si nota una diminuzione del PM10 rispetto all'anno precedente: i valori maggiori riscontrati nel 2019 sono presumibilmente imputabili al contributo desertico, che è stato molto scarso da giugno a dicembre 2020.

Osservando le mappe relative alle medie mensili, riportate in appendice 1, si può notare che nei mesi di gennaio, febbraio, novembre e dicembre si hanno livelli di concentrazione di PM10 e PM2.5 molto alti; soprattutto nel mese di novembre si hanno concentrazioni particolarmente elevate, in accordo con il quadro climatico.

NO₂ – La concentrazione di biossido di azoto è maggiore nelle aree pianeggianti più antropizzate, lungo le tratte autostradali e nelle principali città portuali, Livorno e Piombino. Nel semestre caldo, con condizioni meteorologiche favorevoli alla dispersione degli inquinanti, si ha una riduzione delle concentrazioni: a livello mensile si hanno concentrazioni elevate a gennaio, febbraio, novembre e dicembre. Nelle aree di Livorno e Piombino si evidenzia un significativo aumento della concentrazione di NO₂ nei mesi

giugno, luglio e agosto, probabilmente a causa dell'aumento del carico emissivo legato alle attività portuali nel periodo estivo (traghetti).

O₃ – Le concentrazioni di ozono maggiori riguardano il semestre aprile-settembre: i valori più alti, in accordo con l'analisi climatica, sono relativi ai mesi di luglio e agosto (ondata di calore di fine luglio, inizio agosto), mentre giugno è stato caratterizzato da concentrazioni inferiori, anche rispetto all'anno precedente. Concentrazioni significative di ozono sono presenti nei mesi primaverili di aprile e maggio, in corrispondenza di temperature superiori alla media climatica.

SO₂ – Come riscontrato negli anni precedenti, il biossido di zolfo è presente in modo significativo solo in prossimità di Livorno e Piombino, in relazione alle attività portuali e industriali: non si evidenziano significative variazioni stagionali nei livelli di concentrazione stimati.

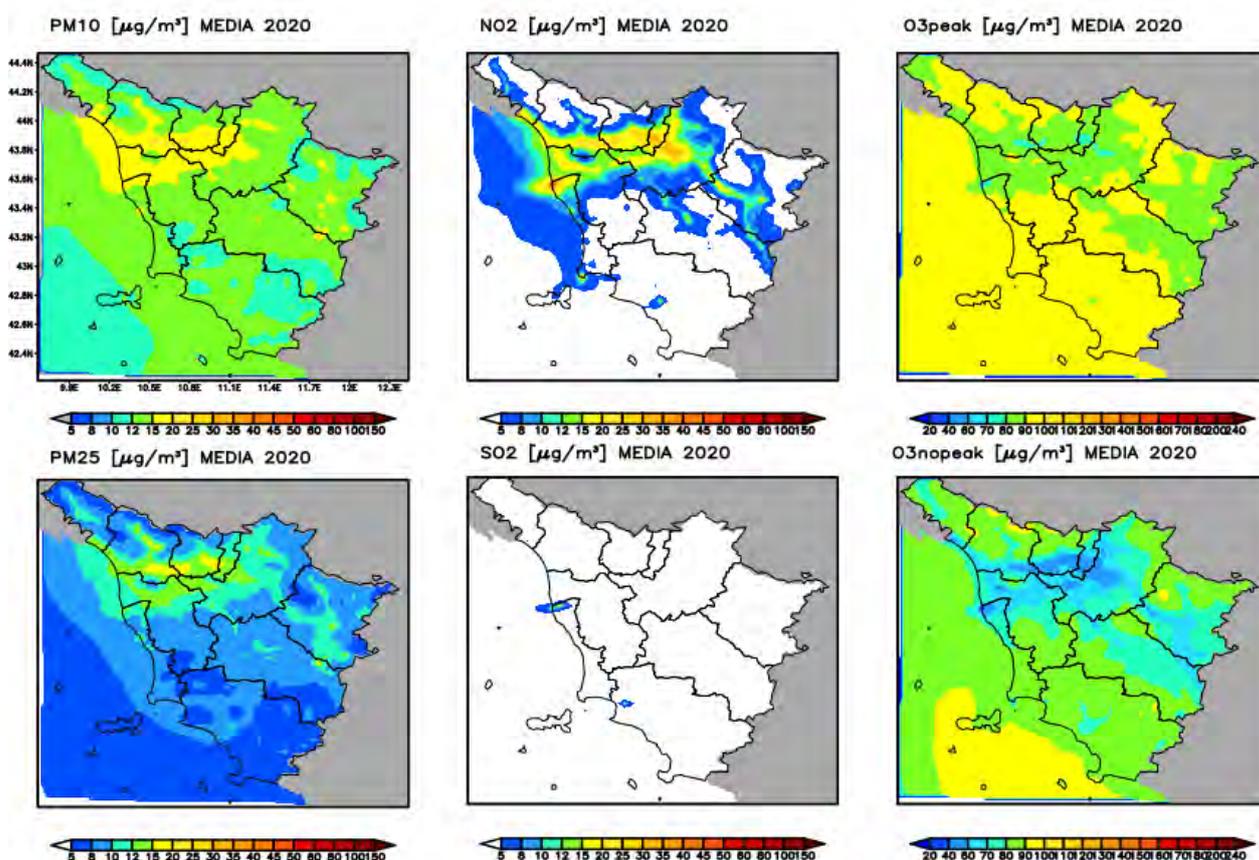


Figura 33. Mappe delle concentrazioni medie (µg/m³) di NO₂, PM₁₀, PM_{2.5}, O₃ (come media nelle ore diurne e notturne) e SO₂ nell'anno 2020.

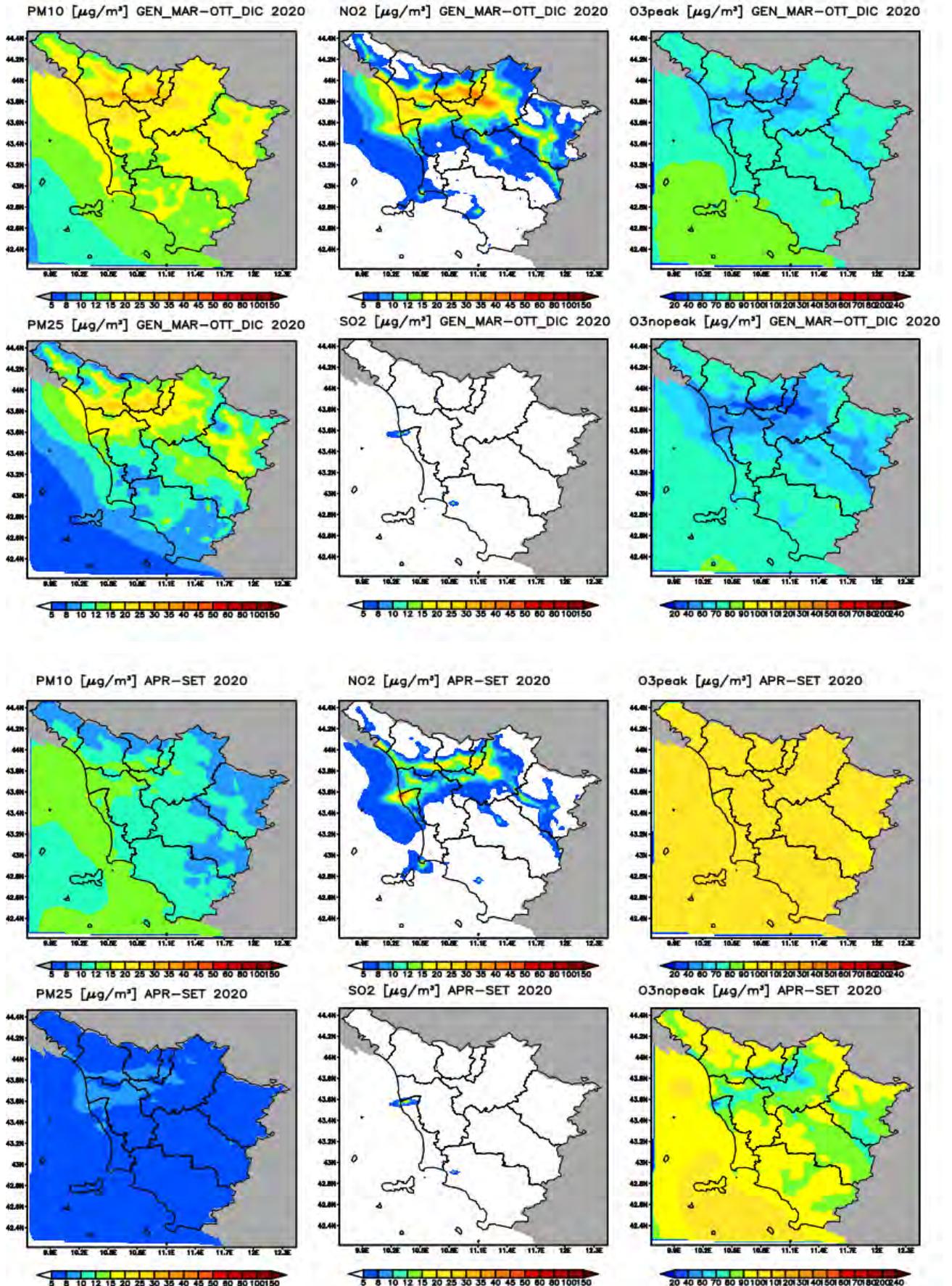


Figura 34. Mappe delle concentrazioni medie ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) di NO₂, PM₁₀, PM_{2.5}, O₃ (come media nelle ore diurne e notturne) e SO₂ nei semestri invernale (sopra) ed estivo (sotto) del 2020.

3.2 Il dataset utilizzato per la validazione

Le stime ottenute da SPARTA vengono confrontate con i dati misurati nelle centraline della rete regionale di monitoraggio di qualità dell'aria, per valutare la capacità del sistema modellistico di riprodurre correttamente le concentrazioni degli inquinanti. Allo scopo, vengono utilizzati i dati di tutte le centraline della rete regionale (fondo, traffico, industriali). Per avere un ulteriore sito costiero, distante dalle aree urbane, è stata presa in esame anche la centralina LI-Poggio San Rocco, appartenente alla Provincia di Livorno.

Nella Fig. 35 sono riportate la mappa con la collocazione delle stazioni e la tabella con le principali caratteristiche di queste: il codice identificativo (codice Lamma), il nome e la provincia, il tipo di stazione (fondo, traffico, industriale), il tipo di zona (urbana, periferica, rurale), le coordinate geografiche, la percentuale di dati validi, per ogni inquinante misurato.

Il data-set utilizzato nel 2020, analogo a quello degli anni precedenti (2017-2018-2019), è costituito dalle misure effettuate in 38 stazioni, di cui 27 di fondo, 10 di traffico, una industriale. In particolare, 37 stazioni misurano NO₂ (26 di fondo, 10 di traffico, 1 industriale); 34 stazioni misurano PM₁₀ (23 di fondo, 10 di traffico, 1 industriale), 16 stazioni misurano PM_{2.5} (11 di fondo, 5 di traffico); le 11 stazioni che misurano O₃ sono di fondo, come le 3 stazioni che misurano SO₂.

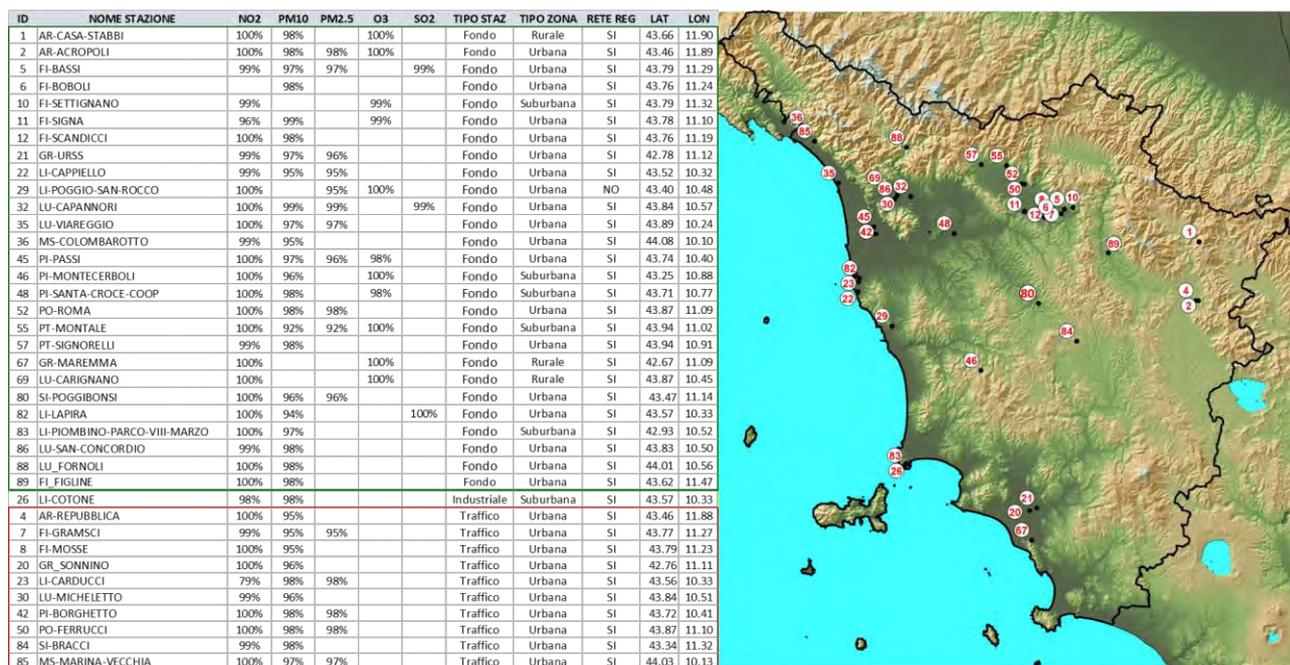


Figura 35. Mappa e tabella delle stazioni di monitoraggio della rete regionale e percentuale dei dati validi disponibili nell'anno 2020: in verde le stazioni di fondo, in rosso le traffico, in giallo le industriali.

3.3 Serie storiche

Per gli inquinanti in esame, PM10, PM2.5, O3, SO2, sono state elaborate le serie storiche annuali delle concentrazioni medie giornaliere. Per l'ozono è stato elaborato l'andamento annuale del massimo della media mobile su otto ore (MAXMM8O3); inoltre per questo inquinante sono stati considerati anche i grafici della concentrazione media oraria nei mesi maggio-settembre, in modo da evidenziare l'andamento giornaliero. In questo paragrafo sono riportati alcuni dei grafici in cui sono confrontati gli andamenti delle stime e delle misure, in corrispondenza di alcune stazioni della rete regionale della qualità dell'aria, mentre in appendice 1 si trovano i grafici di tutte le stazioni.

PM10 – Osservando le serie storiche relative al PM10, in generale, si riscontra un buon accordo stime-misure, sia in termini di andamento temporale che in termini quantitativi. In tutte le stazioni è stato rilevato l'episodio di polvere desertica non sahariana relativo al 28-29 marzo, che ha raggiunto valori di concentrazione maggiori di 100-120 mg/m³; di minore intensità si è verificata un'intrusione di polvere sahariana a metà maggio, con valori prossimi a 40 mg/m³. Il modello ha individuato correttamente entrambe gli episodi, ma, in termini quantitativi, nel primo caso ha sottostimato (circa un terzo del valore misurato), nel secondo ha sovrastimato (circa il doppio del valore misurato): è possibile che questo diverso comportamento dipenda dall'origine della polvere desertica, nel primo caso derivante da aree desertiche orientali (Mar Caspio), nel secondo dal nord Africa.

Si segnala inoltre a metà di settembre un evento caratterizzato da concentrazione più alta rispetto ai giorni precedenti e successivi, identificabile in tutte le stazioni, che però non è stato individuato dal modello. Questo episodio è riscontrabile anche nelle serie storiche relative al PM2.5, e anche in questo caso il modello non ha riprodotto correttamente i valori misurati, sottostimando. Ad ogni modo, in gran parte delle stazioni, soprattutto quelle di traffico e quelle in aree costiere, il modello riproduce molto bene l'andamento temporale e i valori quantitativi. In un gruppo di stazioni, costituito per lo più da stazioni di fondo in aree urbane, l'accordo stime-misure è buono a eccezione del periodo che va da metà ottobre a metà novembre, in cui il modello sovrastima rispetto alle misure. Infine, nelle stazioni di Capannori, Montale e Figline dalla seconda metà di novembre a fine anno il modello, pur riproducendo correttamente il trend temporale, durante gli episodi caratterizzati da concentrazioni molto alte sottostima i valori di picco. Questa criticità negli anni precedenti era stata riscontrata in molte stazioni, soprattutto nelle aree urbane.

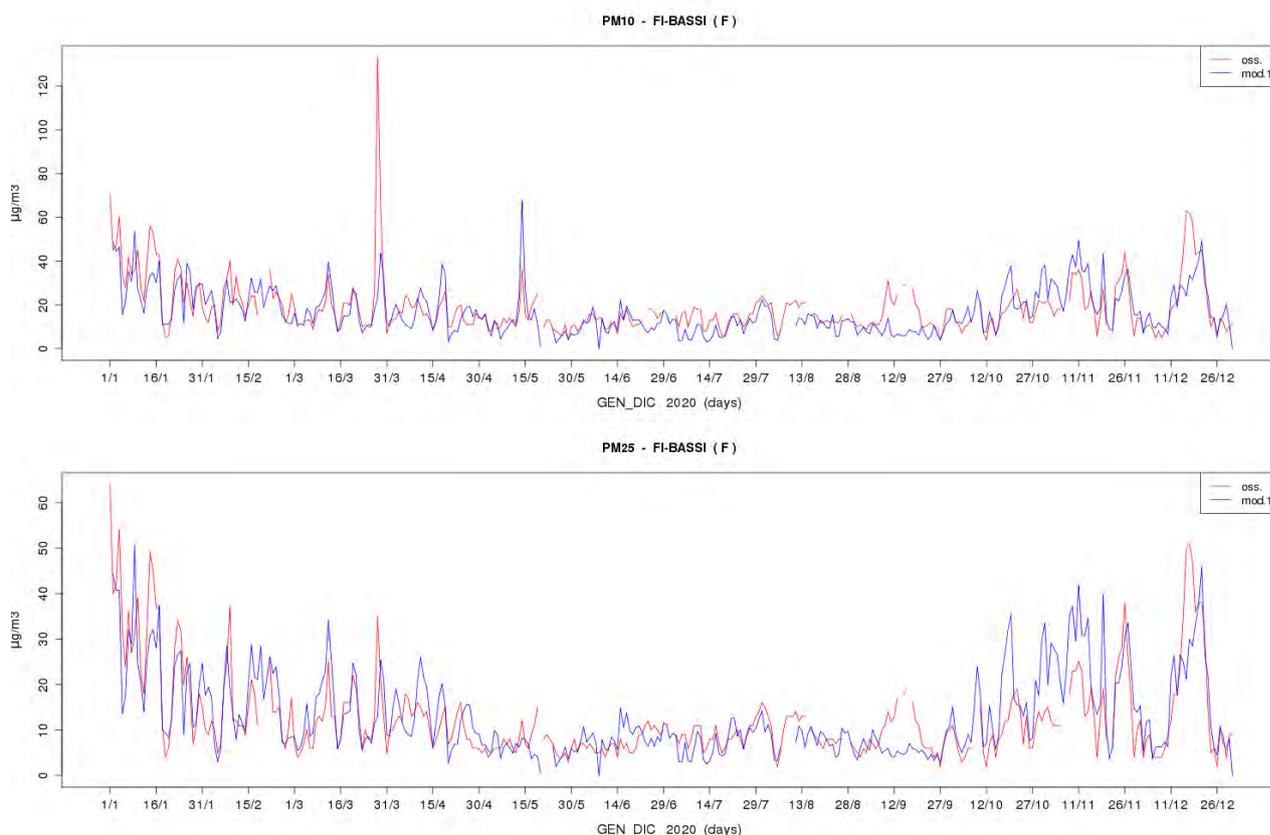


Figura 36. Serie storiche di confronto tra i dati di PM10 (sopra) e PM2.5 (sotto) da stazione (rosso) e da modello (blu) relative alla stazione di FI-Bassi.

PM2.5 – Anche nel 2020, come negli anni precedenti, i risultati ottenuti per il PM2.5 sono molto buoni sia in termini di andamento temporale che in termini quantitativi, migliori di quelli ottenuti per il PM10. A differenza del PM10, non sono evidenti gli episodi di polvere desertica, che il modello stima nella sola frazione grossa, mentre si individua chiaramente l’episodio di metà settembre, non riprodotto dal modello. L’accordo stime-misure è ottimo nelle stazioni di LU-Viareggio, PI-Passi, PI-Borghetto, mentre nelle stazioni di Capannori e Montale, come per il PM10, resta significativa la sottostima relativa agli episodi acuti invernali (da metà novembre a fine anno). Nelle restanti stazioni, sia di fondo che di traffico, l’accordo è buono, a eccezione della sovrastima del modello nel periodo che va da metà ottobre a metà novembre, come per il PM10.

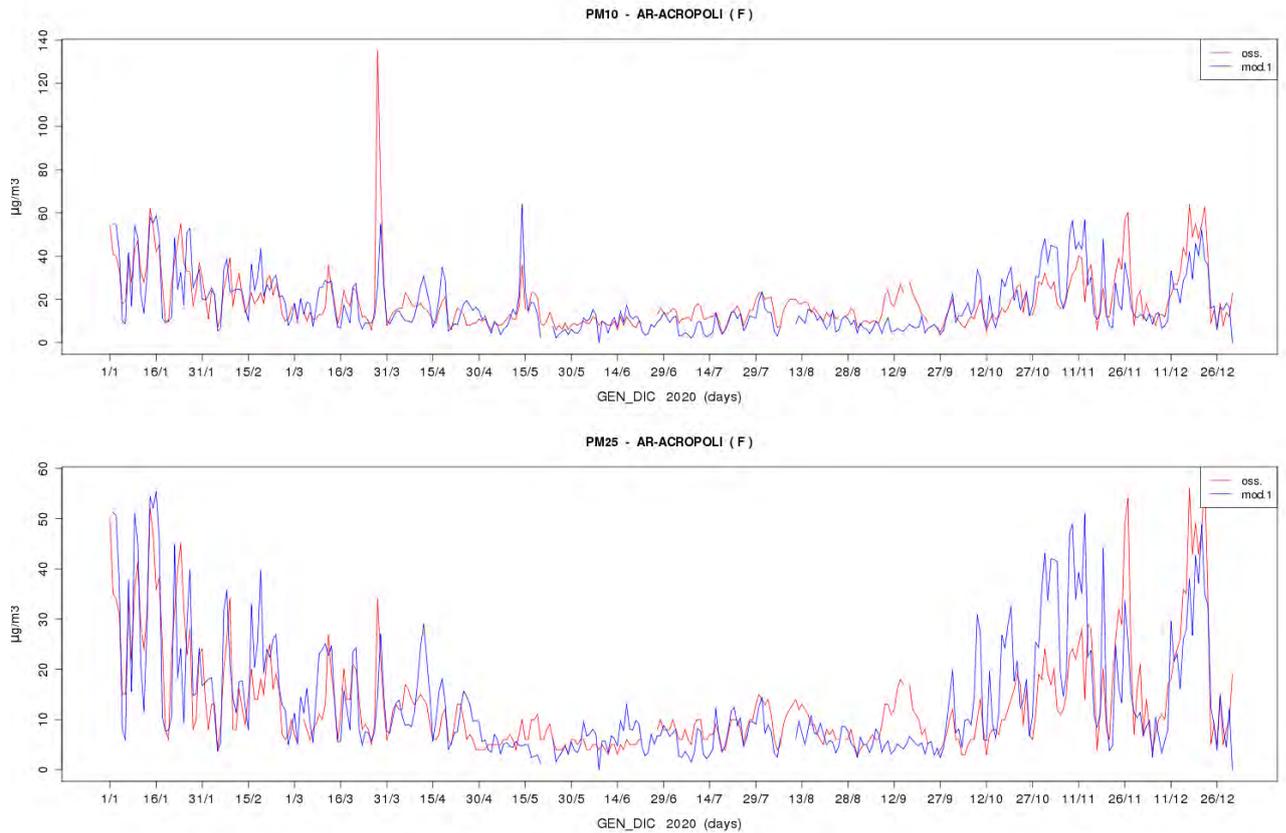


Figura 37. Serie storiche di confronto tra i dati di PM10 (sopra) e PM2.5 (sotto) da stazione (rosso) e da modello (blu) relative alla stazione di AR-Acropoli.

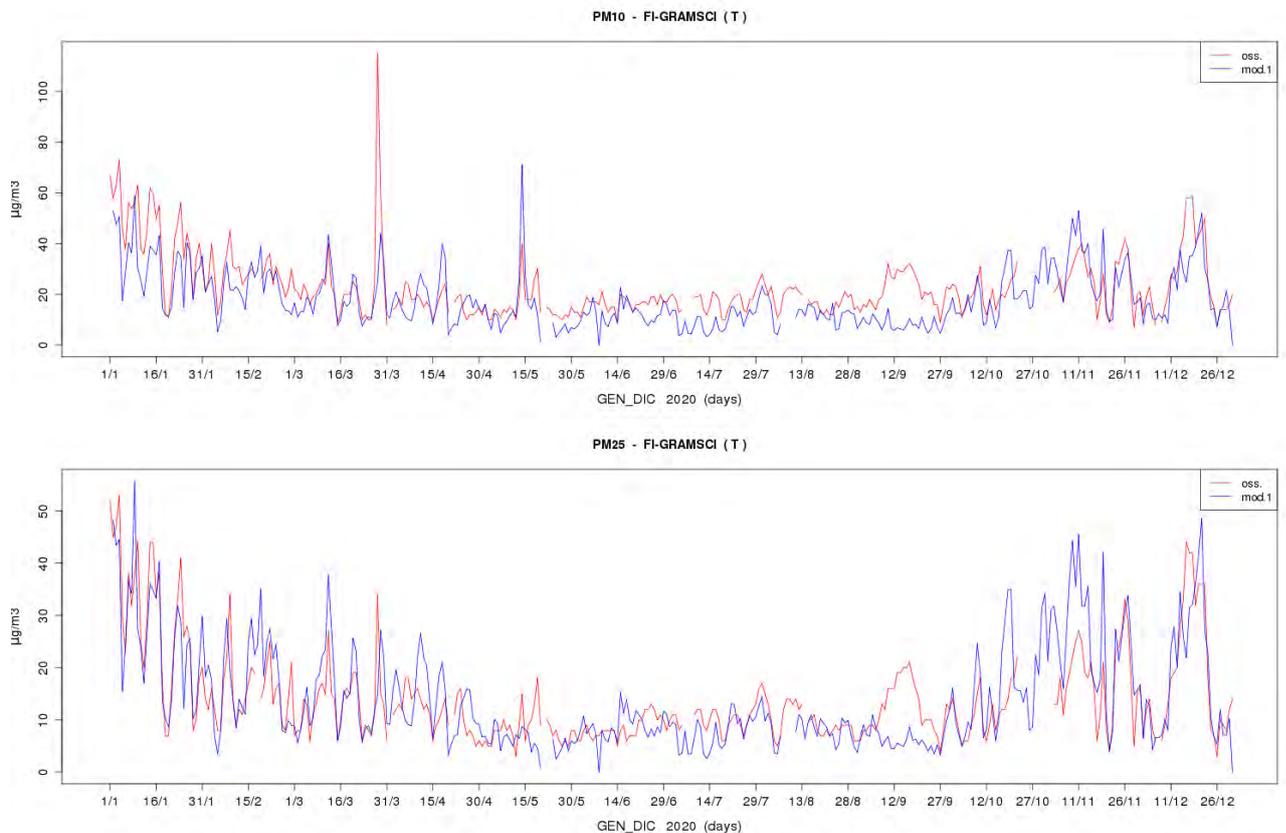


Figura 38. Serie storiche di confronto tra i dati di PM10 (sopra) e PM2.5 (sotto) da stazione (rosso) e da modello (blu) relative alla stazione di FI-Gramsci (traffico).

NO₂ – Il biossido di azoto dovrebbe aver risentito maggiormente degli effetti dovuti al lockdown, con una conseguente riduzione della concentrazione. Le stime modellistiche, come già riferito, non tengono degli effetti legati alle limitazioni imposte dalla pandemia, le variazioni di concentrazione rispetto alle stime degli anni precedenti dipendono solo dal meteo e dalle condizioni al contorno. In questo caso il confronto stime-misure potrebbe evidenziare delle differenze rispetto agli anni precedenti.

Negli anni precedenti era stato evidenziato che il modello forniva risultati molto diversi a seconda delle centraline di monitoraggio: in molti casi, considerando stazioni di fondo in aree interne o sulla costa, si otteneva un buon accordo stime-misure; per un altro gruppo di stazioni di fondo, sempre afferenti alle stesse aree, si aveva un discreto accordo nel periodo invernale, ma una sensibile sovrastima nel periodo maggio-ottobre, mentre per le stazioni di traffico, in generale si aveva una significativa sottostima. Risultati nettamente peggiori si ottenevano nelle stazioni delle città portuali, Livorno e Piombino, con valori stimati molto maggiori rispetto a quelli misurati, soprattutto nel periodo estivo.

Nel 2020 si evidenzia una generalizzata sovrastima del modello a partire da marzo fino alla fine dell'anno, principalmente nelle stazioni di fondo urbano (es. FI-Bassi), ma anche in alcune stazioni di traffico (es. FI-Mosse); nelle altre stazioni di traffico si ha un buon accordo stime-misure (PI-Borghetto), mentre, come si è visto, negli anni precedenti si aveva una significativa sottostima. Nelle stazioni di Livorno e Piombino invece la situazione non è cambiata, il modello sovrastima di molto rispetto alle misure, presumibilmente in relazione alla non corretta stima delle emissioni derivanti sia dalle attività portuali, sia dalle attività industriali. Queste differenze riscontrate tra stime e misure rispetto agli anni precedenti sono presumibilmente imputabili al diverso carico emissivo conseguente al lockdown.

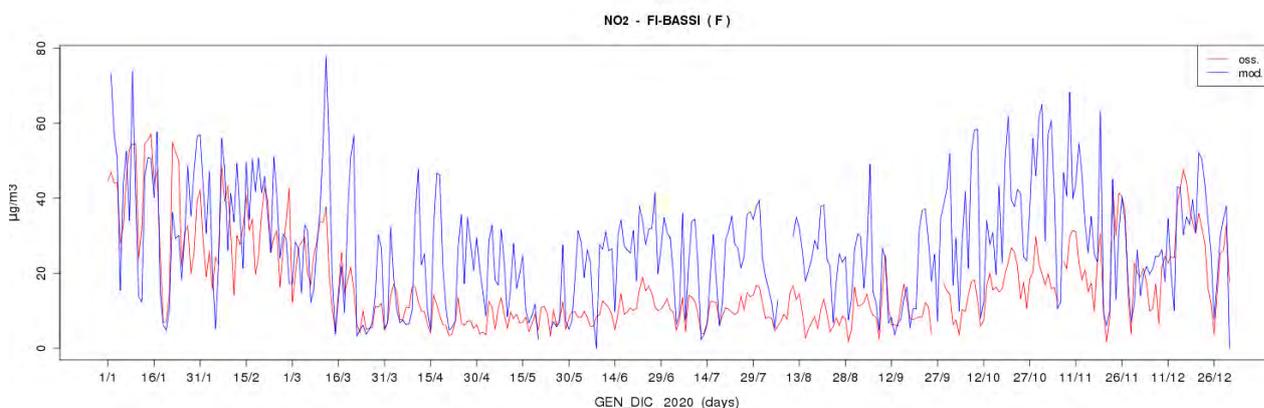


Figura 39. Serie storiche di confronto tra i dati di NO₂ da stazione (rosso) e da modello (blu) relative alla stazione di FI-Bassi.

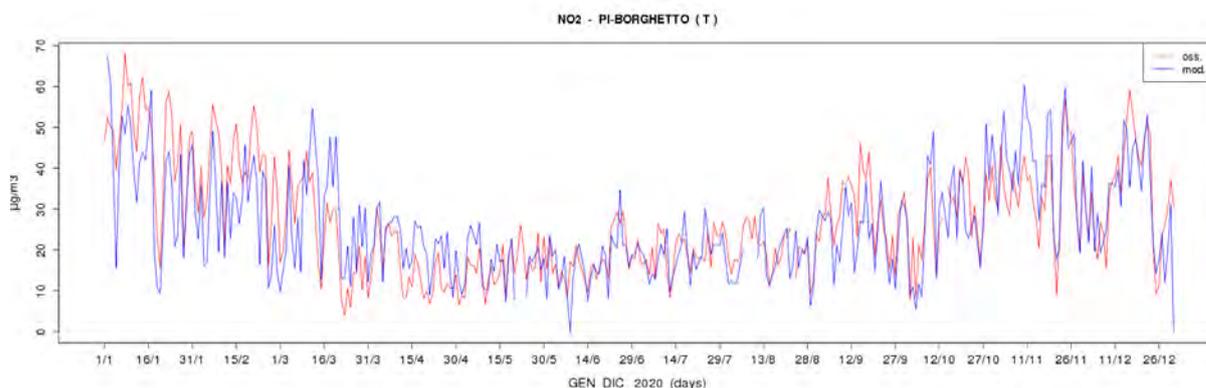


Figura 40. Serie storiche di confronto tra i dati di NO₂ da stazione (rosso) e da modello (blu) relative alla stazione di PI-Borghetto.

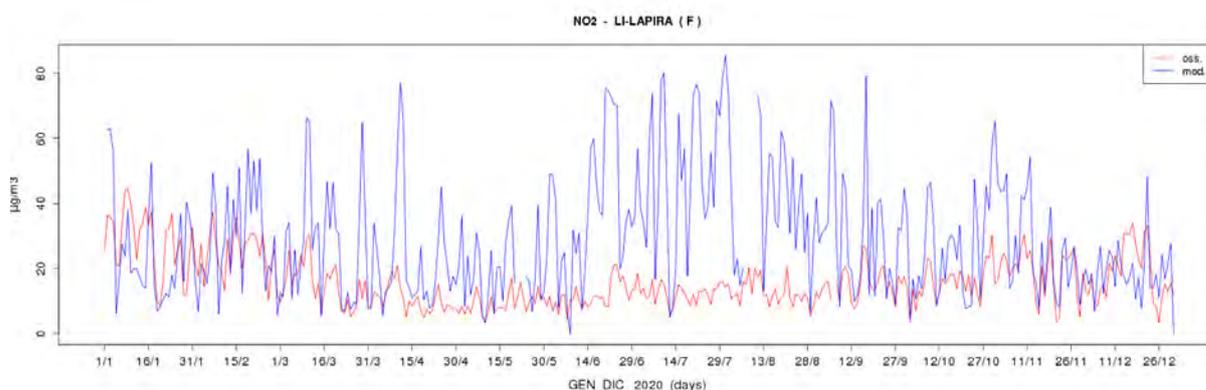


Figura 41. Serie storiche di confronto tra i dati di NO₂ da stazione (rosso) e da modello (blu) relative alla stazione di LI-La Pira.

SO₂ – Il modello non riproduce correttamente il biossido di zolfo, come si può osservare dal confronto stime-misure, nelle tre stazioni della rete regionale (FI-Bassi, LU-Capannori, LI-La Pira). Nelle stazioni di FI-Bassi e di LU-Capannori la sovrastima è inferiore rispetto a quanto avviene nella stazione di LI-La Pira, in cui le stime sono oltre un ordine di grandezza maggiori rispetto alle misure. Nelle tre stazioni si evidenzia un episodio significativo nei primi giorni di aprile, che non trova riscontro nelle misure. Come negli anni precedenti, questa discrepanza tra stime e misure è presumibilmente imputabile all’input emissivo, in particolare, per l’area di Livorno, alle attività portuali e industriali.

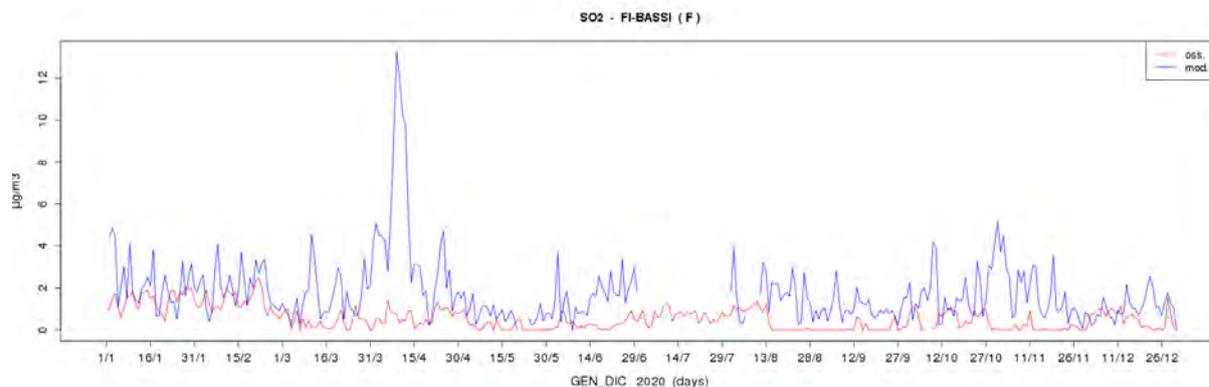


Figura 42. Serie storiche di confronto tra i dati di SO₂ da stazione (rosso) e da modello (blu) relative alla stazione di FI-Bassi.

O₃ – Rispetto all’anno precedente, il quadro complessivo dell’ozono non è cambiato in modo significativo. Considerando le serie storiche relative al massimo della media mobile su 8 ore (MAXMM8O3), si può notare un buon accordo stime-misure, in particolare nella stazione LI-Poggio San Rocco, FI-Settignano, mentre nelle stazioni PI-Passi e soprattutto PI-Santa-Croce si evidenzia una sovrastima. Come negli anni precedenti, i grafici mensili della concentrazione media oraria per il periodo maggio-settembre (vedi appendice1) mostrano che nella maggior parte delle stazioni il modello riproduce correttamente i valori di picco, in accordo con i grafici relativi al MAXMM8, ma tende a sovrastimare molto i valori notturni. Nei mesi di maggio e giugno le concentrazioni sono generalmente sovrastimate, mentre c’è un maggior accordo stime-misure nei mesi di luglio e agosto. Le stazioni che presenta risultati migliori anche nelle ore notturne è LI-PoggioS.Rocco, ma anche FI-Settignano e LU-Carignano mostrano risultati buoni. I risultati peggiori si hanno per PI-Santa-Croce e PI-Passi, in cui il modello tende a sovrastimare di molto i valori di concentrazione sia nelle ore più calde del giorno che durante la notte. Nelle altre stazioni, sebbene si riscontri un discreto accordo nei valori di picco, prevale una significativa tendenza alla sovrastima dell’ozono nelle ore notturne, che comporta una non corretta riproduzione del ciclo giornaliero: tuttavia, questo aspetto non si ripercuote sulla stima dell’indicatore MAXMM8O3.

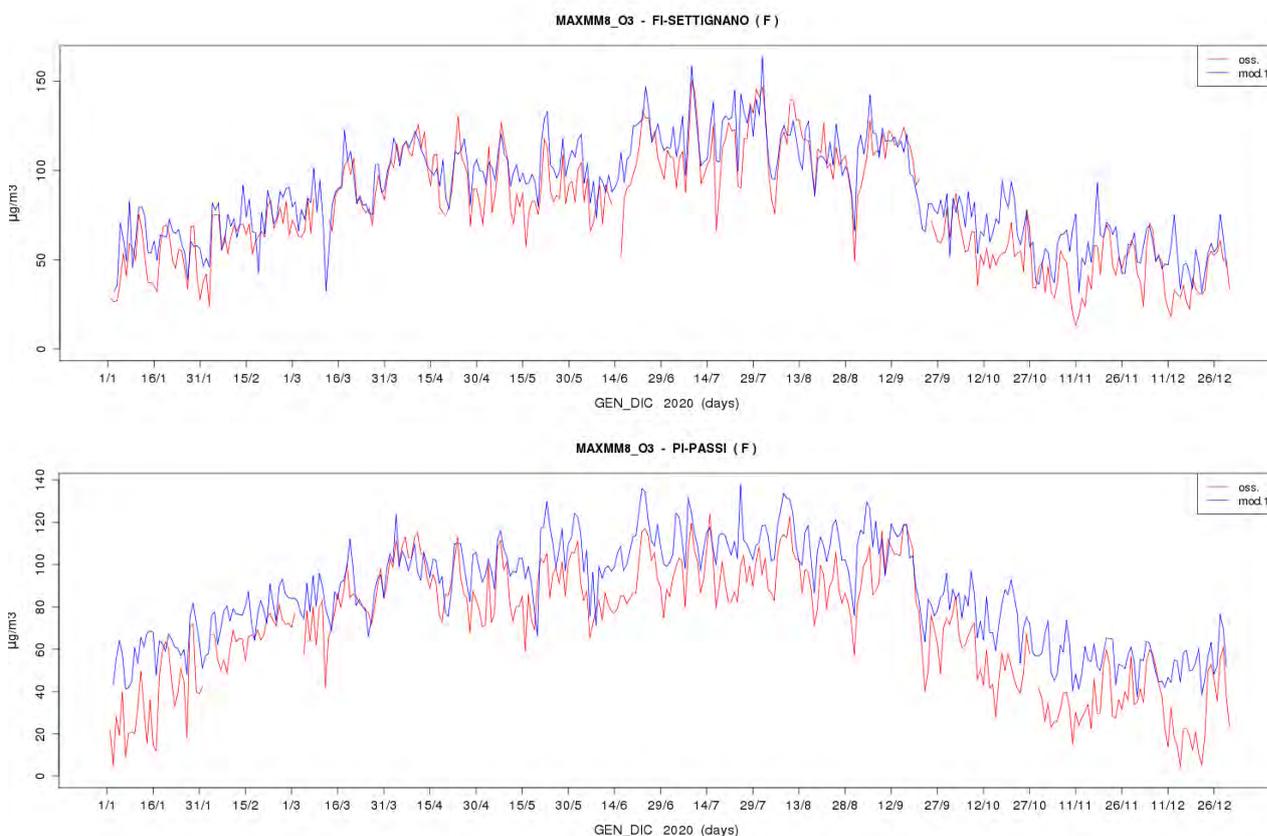


Figura 43. Serie storiche di confronto tra i dati di MAXMM8(O3) da stazione (rosso) e da modello (blu) relative alle stazioni di FI-Settignano e PI-Passi.

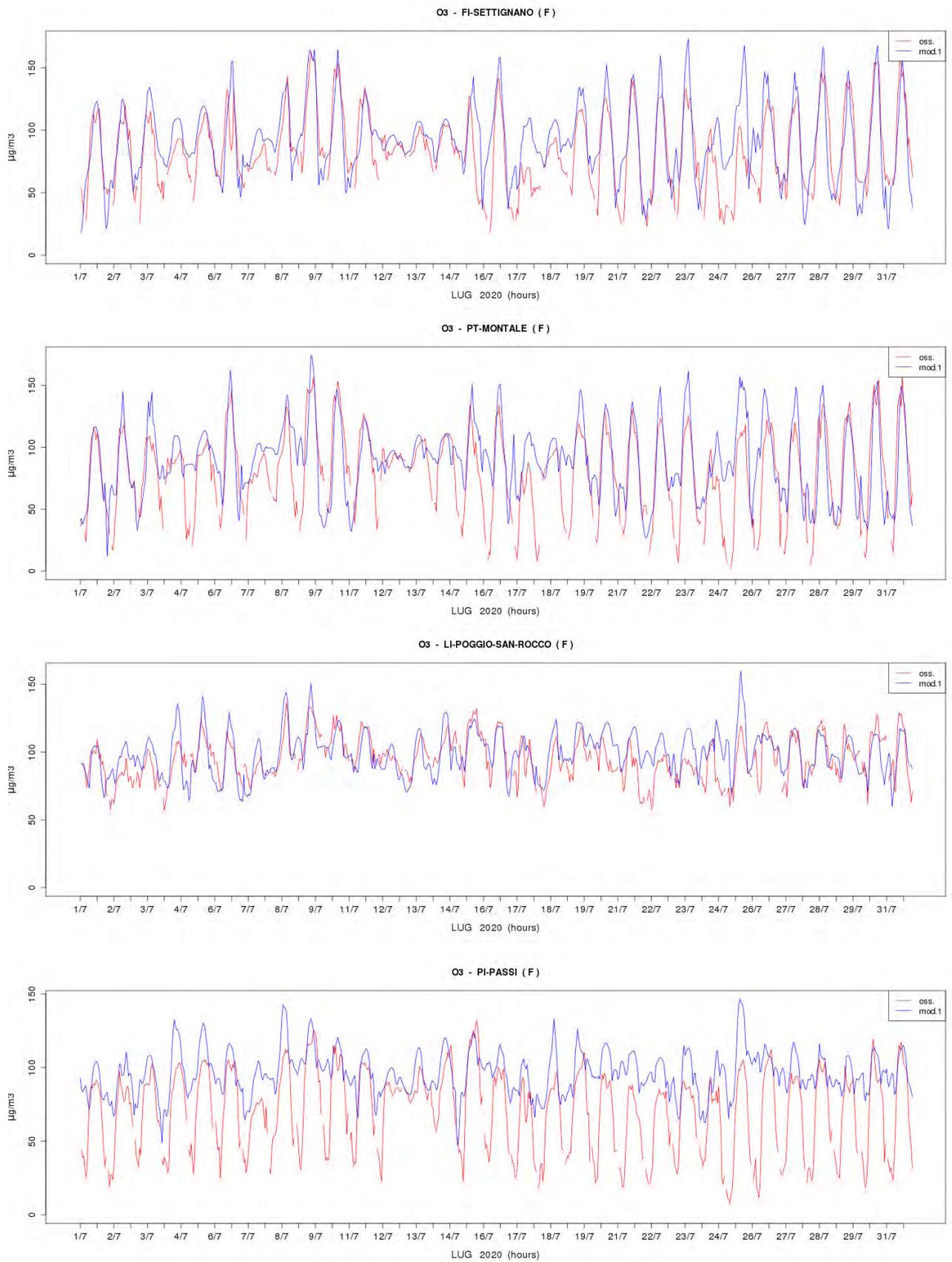


Figura 44. Serie storiche di confronto tra i dati di O3 da stazione (rosso) e da modello (blu), presso le stazioni di FI-Settignano, PT-Montale, LI-Poggio San Rocco e PI-Passi, nel mese di luglio 2019.

3.3 Scatter-plot

In questa sezione sono riportati gli scatter-plot dei valori medi annui per PM10, PM2.5, NO2 per tutte le stazioni e per le sole stazioni di fondo, per SO2 e O3 (solo fondo); per quest'ultimo inquinante è riportato anche il grafico relativo alla media annua del massimo della media mobile su otto ore (MAXMM8).

In questa rappresentazione grafica i valori di concentrazione misurati sono riportati sull'asse delle ascisse e i corrispondenti valori stimati sull'asse delle ordinate. Nei grafici viene definita un'area di confidenza, delimitata da due rette con coefficienti angolari stabiliti, all'interno della quale i punti rappresentano una simulazione numerica adeguata. Se i punti ricadono nell'area sopra la retta rossa tratteggiata con coefficiente angolare maggiore si ha una sovrastima, mentre al di sotto della retta rossa tratteggiata con coefficiente minore si evidenzia una sottostima; nel caso ideale i punti si distribuiscono lungo la bisettrice, indicata con la retta blu.

PM10-PM2.5 – Anche per la simulazione dell'anno 2020, i valori di concentrazione di PM10 e PM2.5 di tutte le stazioni cadono nell'area di confidenza (100%): la maggior parte dei punti si trovano nel settore che indica sottostima, comunque vicini alla bisettrice. Basandosi sulla vicinanza alla bisettrice, si ha un risultato migliore per il PM2.5 rispetto al PM10. Rispetto al 2019 si nota un generalizzato spostamento verso la bisettrice o nel settore di confidenza superiore, indice di sovrastima.

NO2- Lo scatter-plot relativo al biossido di azoto risulta migliore rispetto all'anno precedente: considerando tutte le stazioni, 81% di queste cade nell'area di confidenza, mentre si mantiene a 85% per le sole stazioni di fondo, evidenziando un miglior accordo stime-misure nelle stazioni di traffico. In generale, aumenta la sovrastima, 14% dei casi per tutte le stazioni, 15% per le sole fondo, mentre resta un 5% di sottostima per stazioni di traffico, SI-Bracci e GR-Sonnino.

O3 – Per quanto riguarda l'ozono, gli scatter-plot relativi alla media annua e al MAXMM8 evidenziano buoni risultati anche per l'anno 2020, con il 100% delle stazioni cadono nell'area di confidenza, anche se la maggior parte sono nel settore superiore, indicando una sovrastima del modello. Rispetto all'anno precedente si può notare una leggera sovrastima, anche se si conferma un ottimo accordo stime-misure per la maggior parte delle stazioni, sia come media annua che come MAXMM8O3.

Lo scatter-plot relativo al biossido di zolfo mostra che la sovrastima del modello è molto alta non solo per la stazione LI-La Pira, ma anche per le altre due: nessuna stazione cade all'interno dell'area di confidenza.

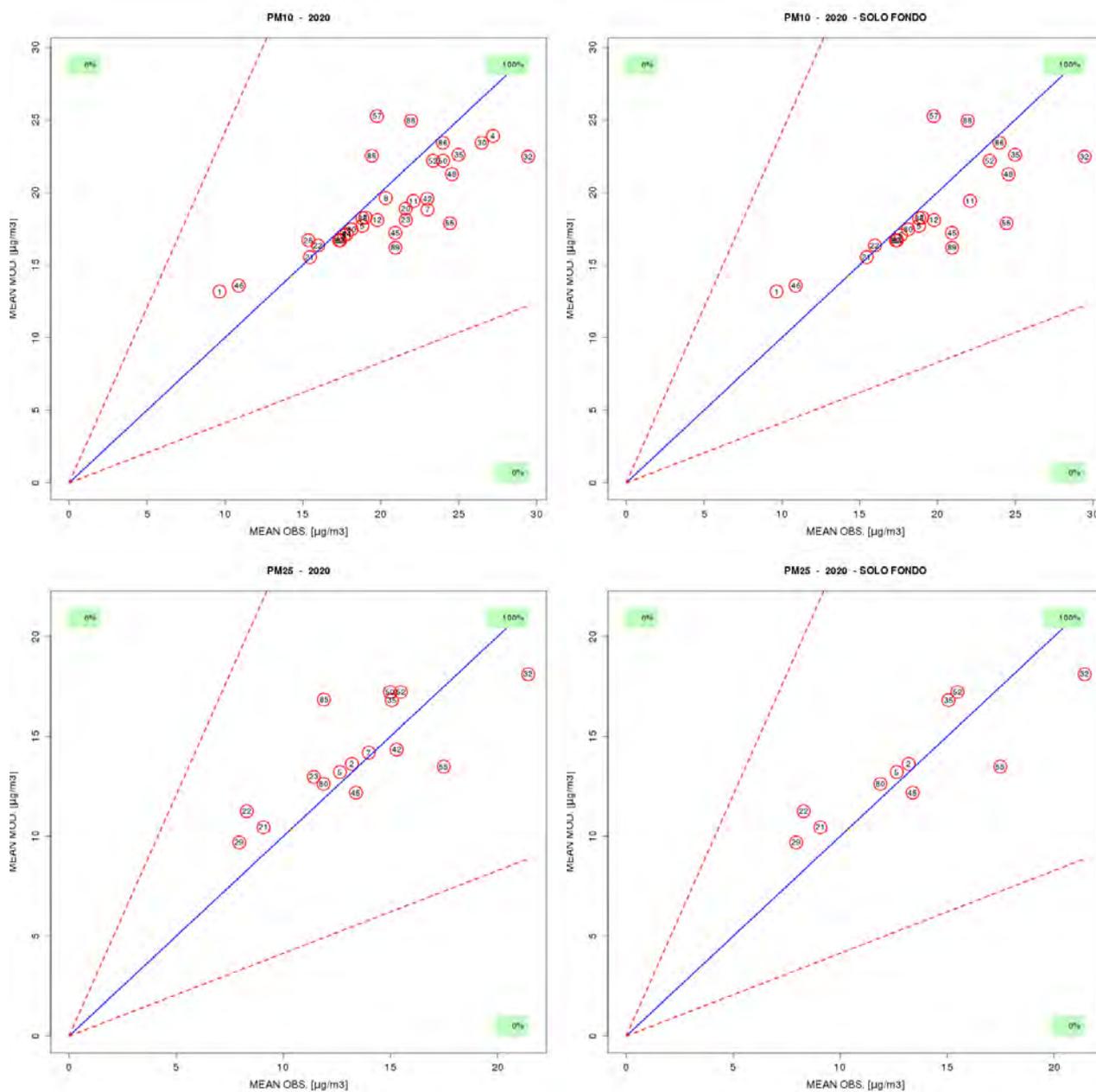


Figura 45. Scatter-plot relativi alla media annua stime-misure di PM10, PM2.5, per tutte le stazioni (sinistra) e per le sole stazioni di fondo (destra).

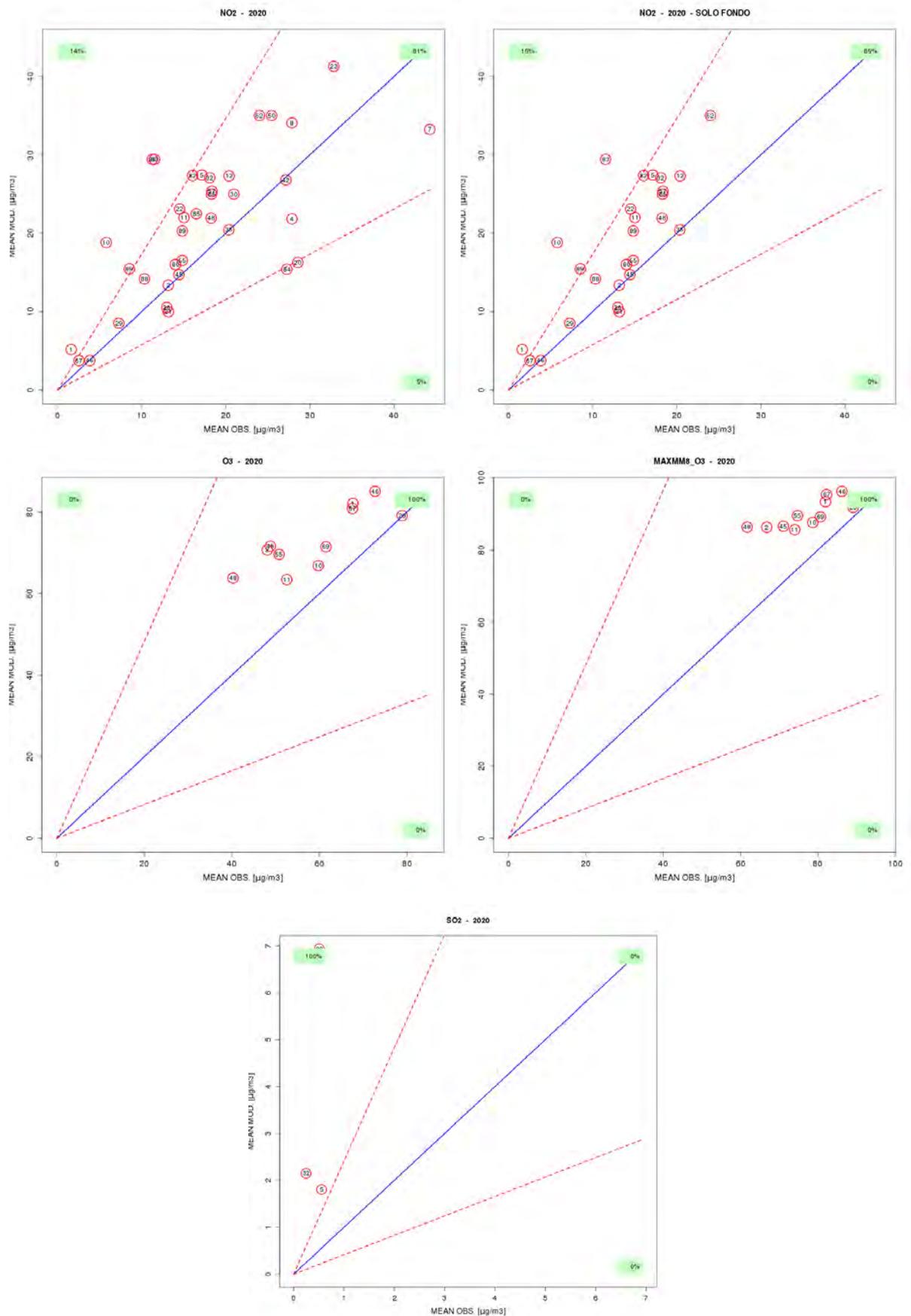


Figura 46. Scatter-plot relativi alla media annua stime-misure di NO2, O3, per tutte le stazioni (sinistra) e per le sole stazioni di fondo (destra), di O3 come media annua (sinistra) e come MAXMM8 (destra), di SO2 come media annua.

3.4 Diagrammi di Taylor

In questo paragrafo sono riportati i diagrammi di Taylor, che evidenziano la corrispondenza stime-misure, considerando contemporaneamente il coefficiente di correlazione e la deviazione standard, per ogni stazione. Questi diagrammi sono stati elaborati considerando i valori di concentrazione media giornaliera per PM10, PM2.5, NO2, mentre per l'ozono è stato preso in esame il massimo della media mobile su 8 ore (MAXMM8O3).

PM10 – Il diagramma relativo al PM10 evidenzia dei discreti risultati, dato che la maggior parte delle stazioni (28 su 36) è compresa tra le linee corrispondenti ai coefficienti di correlazione 0.60 e 0.80, con una distanza dal punto ideale inferiore a una deviazione standard. I risultati, tuttavia, sono peggiori rispetto all'anno precedente, in cui le stazioni fuori dall'area ottimale erano solo due.

PM2.5 – La distribuzione delle stazioni si colloca nell'area compresa tra le linee dei coefficienti di correlazione 0.75 e 0.85, con una distanza inferiore a una deviazione standard dal punto ideale: fuori da questa area si trovano le stazioni costiere LI-PoggioS.Rocco, LI-Cappiello e GR-URSS. Le prestazioni del modello nel simulare questo inquinante si confermano buone, migliori rispetto ai risultati dell'anno precedente.

NO2 – Questo inquinante, come già evidenziato, mostra una notevole differenza nella risposta modellistica a seconda della stazione: circa due terzi delle stazioni ricadono nell'area compresa tra le linee corrispondenti ai coefficienti di correlazione 0.60 e 0.80, con una distanza dal punto ideale inferiore a una deviazione standard. Per le rimanenti i risultati sono meno buoni: per quattro di queste il simbolo corrispondente alla stazione non rientra nell'area del grafico.

Per PM10, PM2.5 e NO2 non si riscontrano particolari differenze tra stazioni di fondo (simboli blu) e stazioni di traffico (simboli rossi).

O3 - Per quanto riguarda l'ozono, sono stati riportati i risultati per il massimo della media mobile su 8 ore (MAXMM8). Anche per il 2020 i risultati sono molto buoni, con valori di correlazione compresi tra 0.5 e 0.95 e distanza dall'ottimo inferiore a mezza deviazione standard per tutte le stazioni, a eccezione di AR-Casa Stabbi, che ha comunque un indice di correlazione dell'ordine di 0.8.

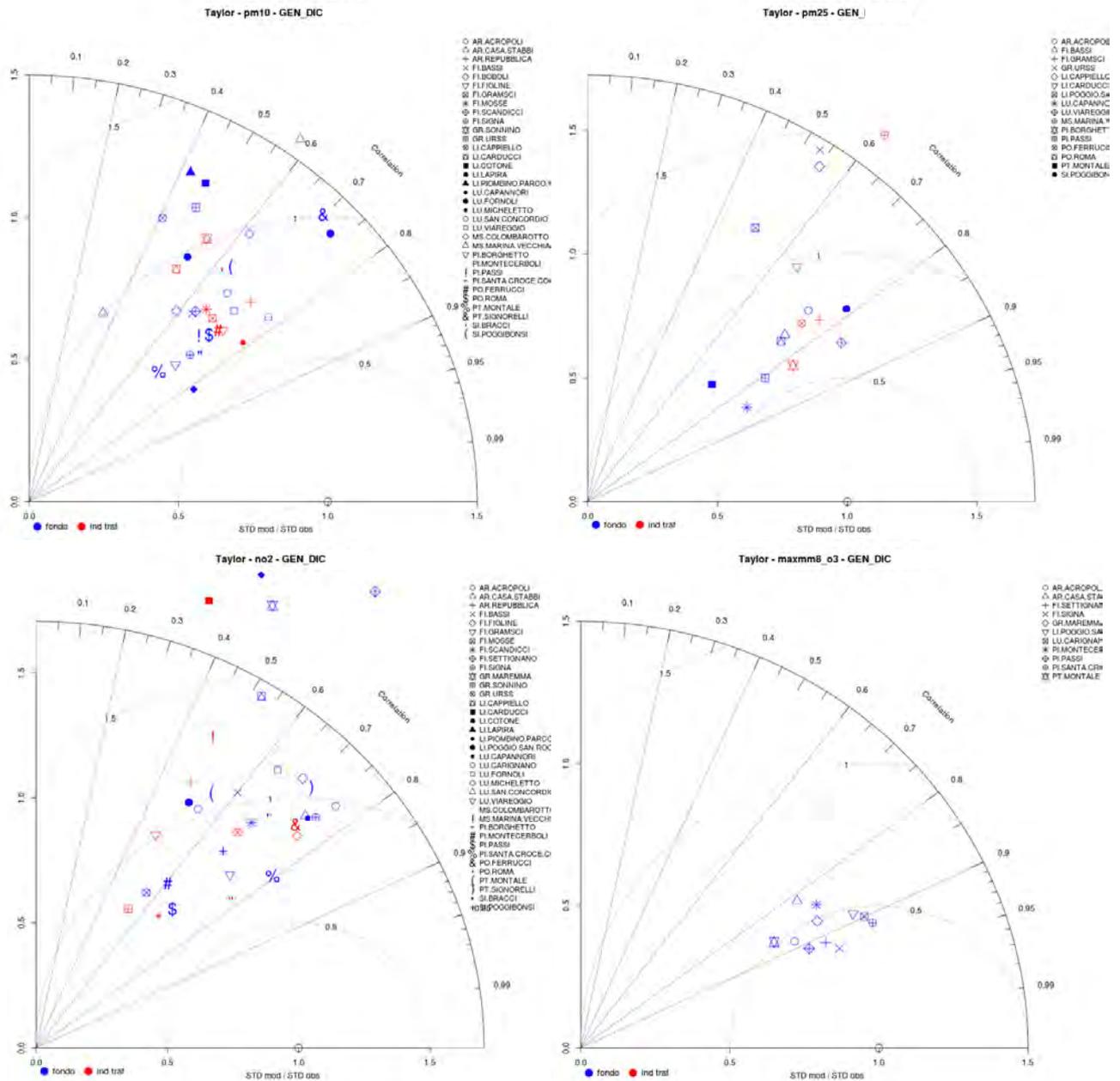


Figura 47. Diagrammi di Taylor di PM10, PM2.5, NO2, O3 (MAXMM8): in rosso le stazioni di traffico, in blu di fondo- Anno 2020.

3.5 Indicatori statistici

Come negli anni precedenti, per effettuare una valutazione quantitativa dei risultati ottenuti dalla simulazione modellistica dell'anno 2020 sono stati utilizzati gli indicatori statistici riportati nella tabella 6 in appendice 1. Gli scatter-plot e i diagrammi di Taylor descritti nei precedenti paragrafi sono stati elaborati utilizzando alcuni di questi indicatori come la media annua, i coefficienti di correlazione, la deviazione standard. In appendice 1 sono riportate le tabelle con i valori degli indicatori per le singole stazioni di monitoraggio, per NO₂, PM10, PM2.5, O₃, SO₂, su base annuale e stagionale; per l'ozono gli indicatori sono stati elaborati anche per i valori orari e per il MAXMM8O₃. Di

seguito, nella tabella 4, sono riportati indicatori statistici accorpate, ottenuti considerando le sole stazioni di fondo o tutte le stazioni, per ciascuno degli inquinanti, su base annua e stagionale.

PM10 – Per questo inquinante gli indici delle singole stazioni non presentano una forte variabilità, per cui gli indici accorpate sono attendibili e rappresentativi della situazione generale. I risultati sono buoni, con indici di correlazione e IOA su base annuale rispettivamente 0.62 e 0.75 per le sole stazioni fondo, di poco superiori se si considerano tutte le stazioni (0.63, 0.76). Rispetto all'anno precedente la correlazione è variata di poco, mentre si è ridotta notevolmente la sottostima del modello, passando da -18% a livello annuale nel 2019 a -8% nel 2020 per le stazioni fondo; considerando tutte le stazioni, il divario è ancora maggiore, da -20% nel 2019 a -9% nel 2020.

PM2.5 – Per il PM2.5 si hanno risultati migliori rispetto al PM10: gli indici statistici correlazione e IOA sono rispettivamente 0.71 e 0.81, sia considerando le sole stazioni di fondo che tutte le stazioni. Per questi indici statistici si ha un netto miglioramento rispetto all'anno precedente (correlazione 0.60, IOA 0.72 per le sole fondo), miglioramento che si conferma anche considerando lo scarto su base annuale che passa da -11% nel 2019 a una modesta sovrastima pari al 3% per le sole fondo nel 2020, con un ulteriore aumento al 6% considerando tutte le stazioni.

NO₂ – I valori accorpate, pur avendo un significato limitato data la notevole differenza tra le stazioni, mostrano un miglioramento rispetto al 2019 in termini di correlazione e IOA, rispettivamente 0.59 e 0.67 (2019 - correlazione 0.55 e IOA 0.65). La sostanziale differenza rispetto all'anno precedente è il notevole aumento della sovrastima del modello rispetto alle misure, sovrastima che si riscontra non solo nei valori accorpate, ma anche in tutte le stazioni (eccetto LI-Poggio San Rocco), sia di fondo che di traffico: i dati accorpate su base annua per le sole stazioni di fondo mostrano una sovrastima pari al 36% contro il 4% del 2019, per tutte le stazioni si passa dal -7% del 2019 al 22% del 2020. Considerando invece i dati per singola stazione, l'aumento della sovrastima rispetto all'anno precedente è molto significativo per tutte le stazioni (eccetto LI-Poggio San Rocco), sia di fondo che di traffico. Questa significativa differenza rispetto al 2019 rappresenta un segnale che conferma una riduzione del carico emissivo durante il periodo del lockdown, che, indipendentemente dalla variabilità meteo interannuale, ha avuto importanti ripercussioni sulla concentrazione di NO₂.

O₃ – Per l’ozono sono stati elaborati skill su base giornaliera e per il MAXMM8O3: come negli anni precedenti, i risultati migliori si ottengono per gli indicatori del MAXMM8O3, con valori di correlazione e IOA molto buoni, rispettivamente 0.88 e 0.89 su base annua. Si ha una sovrastima rispetto ai dati misurati del 16% su base annua, con un leggero aumento rispetto all’anno precedente. Anche in questo caso si presentano variazioni significative da stazione a stazione, in particolare rispetto al 2019 si ha un aumento significativo della sovrastima nelle stazioni di AR-Acropoli e GR-Maremma.

SO₂- Per questo inquinante, misurato in sole tre stazioni, si rimanda alle tabelle in appendice 1, i dati di sintesi sono riportati solo per completezza: nelle tre stazioni le stime sono maggiori di un fattore 5 rispetto alle misure, con risultati ancora peggiori rispetto ai valori stimati, già molto alti, degli anni precedenti.

VAR	PERIODO	MEDIA STAZ	MEDIA MOD	STD STAZ	STD MOD	FB	FE	RMSE	NMSE	BIAS	CORR	IOA	ER
DAILY SKILL - SOLO STAZIONI FONDO													
pm10	JAN_DEC	19.7	18.2	12.45	11.43	-0.07	0.38	10.6	0.34	-1.54	0.62	0.75	-8%
	EST	15.1	12.1	5.69	7.39	-0.22	0.42	7.69	0.33	-2.96	0.45	0.64	-20%
	INV	24.1	23.9	14.82	11.25	0.02	0.36	12.58	0.32	-0.21	0.62	0.73	-1%
pm25	JAN_DEC	13.2	13.6	9.84	9.81	0.06	0.4	7.58	0.33	0.43	0.71	0.81	3%
	EST	8.7	8.0	3.79	4.03	-0.09	0.39	4.37	0.28	-0.75	0.41	0.64	-9%
	INV	17.4	18.9	11.48	10.59	0.14	0.4	9.62	0.31	1.56	0.71	0.78	9%
DAILY SKILL - TUTTE LE STAZIONI													
pm10	JAN_DEC	20.4	18.5	12.35	11.68	-0.08	0.37	10.6	0.32	-1.84	0.63	0.76	-9%
	EST	15.8	12.3	5.79	7.43	-0.24	0.43	8.15	0.35	-3.49	0.42	0.62	-22%
	INV	24.7	24.5	14.73	11.54	0.01	0.34	12.3	0.29	-0.28	0.63	0.74	-1%
pm25	JAN_DEC	13.2	14.1	9.56	10.16	0.08	0.4	7.72	0.34	0.83	0.71	0.81	6%
	EST	9.1	8.3	3.8	4.14	-0.09	0.39	4.53	0.28	-0.78	0.39	0.62	-9%
	INV	17.2	19.6	11.3	11.04	0.17	0.4	9.77	0.31	2.39	0.71	0.78	14%
DAILY SKILL - SOLO STAZIONI FONDO													
no2	JAN_DEC	13.5	18.4	8	10.67	0.3	0.52	10.5	0.59	4.89	0.59	0.67	36%
	EST	8.6	14.6	3.34	6.78	0.45	0.58	8.88	0.76	5.99	0.49	0.49	69%
	INV	18.2	22.0	8.28	11.51	0.21	0.48	11.36	0.47	3.84	0.54	0.64	21%
DAILY SKILL - TUTTE LE STAZIONI													
no2	JAN_DEC	17.3	21.1	9.14	11.72	0.22	0.51	12.08	0.54	3.74	0.59	0.66	22%
	EST	12.2	17.3	4.68	7.82	0.35	0.57	10.79	0.7	5.11	0.47	0.50	42%
	INV	22.3	24.7	9.35	12.49	0.14	0.46	12.65	0.43	2.4	0.55	0.65	11%
DAILY SKILL - SOLO STAZIONI FONDO													
o3	JAN_DEC	58.4	73.1	22.68	21.24	0.24	0.28	20.74	0.12	14.71	0.80	0.79	25%
	EST	74.7	88.2	14.66	13.59	0.17	0.22	20.25	0.07	13.54	0.51	0.59	18%
	INV	42.4	58.3	16.76	16.21	0.35	0.38	20.93	0.27	15.84	0.68	0.69	37%
MM8 SKILL - SOLO STAZIONI FONDO													
o3	JAN_DEC	77.2	89.9	26.64	24.36	0.16	0.18	18.09	0.05	12.68	0.88	0.88	16%
	EST	96.6	108.1	16.41	14.93	0.11	0.14	16.35	0.03	11.5	0.76	0.76	12%
	INV	57.0	71.0	19.01	16.5	0.23	0.26	19.44	0.12	13.92	0.73	0.75	24%
DAILY SKILL - SOLO STAZIONI FONDO													
so2	JAN_DEC	0.41	3.63	0.62	3.03	1.47	1.53	4.47	13.84	3.22	0.04	0.17	785%
	EST	0.32	3.95	0.46	3.32	1.68	1.7	4.92	34.54	3.62	0.12	0.11	1134%
	INV	0.48	3.38	0.6	2.68	1.32	1.42	4.06	15.52	2.89	-0.04	0.22	604%

Tabella 4. Skill-scores medi su tutte le stazioni/solo fondo, relative a PM10, PM2.5, NO2, O3 (anno, stagione estiva e stagione invernale). Anno2020.

3.6 Polvere desertica

Nell'ambito del progetto PATOS3, è stato messo a punto un sistema per prevedere l'ingresso di polvere desertica per il giorno stesso e i tre successivi (96 ore). Si tratta di previsioni ottenute dal modello CHIMERE, estratte in corrispondenza di alcune stazioni ARPAT (Bassi, Figline, Capannori, Viareggio, Casastabbi, Montecerboli). Sono state scelte soglie di allerta e di preallerta, sulla base di uno studio sulle stime dei modelli CAMx e CHIMERE nel biennio 2017-2018. Durante la campagna di misura svolta per PATOS3, nel caso di superamento delle soglie, era previsto l'invio di una mail ai partners di progetto, con le previsioni per le successive 96 ore, in modo da permettere di effettuare un campionamento quotidiano. Il sistema, entrato in funzione da aprile 2019, ha continuato ad essere operativo per fornire un supporto ad ARPAT e Università di Firenze. Di seguito sono riportati i giorni con previsione "alert dust" nell'anno 2020.

23/01/2020	alert dust
24/01/2020	alert dust
25/01/2020	alert dust
26/01/2020	alert dust
27/01/2020	alert dust
04/02/2020	alert dust
27/03/2020	alert dust
28/03/2020	alert dust
29/03/2020	alert dust
30/03/2020	alert dust
17/04/2020	alert dust
18/04/2020	alert dust
19/04/2020	alert dust
10/05/2020	alert dust
11/05/2020	alert dust
13/05/2020	alert dust
14/05/2020	alert dust
15/05/2020	alert dust
16/05/2020	alert dust
17/05/2020	alert dust
18/05/2020	alert dust
19/05/2020	alert dust
30/07/2020	alert dust
31/07/2020	alert dust
01/08/2020	alert dust
02/08/2020	alert dust
14/08/2020	alert dust
22/08/2020	alert dust
23/08/2020	alert dust
10/09/2020	alert dust

Tabella 5. Episodi in cui sono state previste intrusioni di polvere desertica con il sistema "Alert dust".

Come negli anni precedenti, vengono di seguito riportate le stime del contributo desertico al PM10, ottenute dal sistema SPARTA applicato all'anno 2020. Queste stime ottenute dal sistema in modalità analisi, ad una risoluzione maggiore rispetto al modello CHIMERE (che fornisce le condizioni al contorno), dovrebbero individuare gli episodi desertici con maggior precisione, anche in termini quantitativi, tenendo conto dell'effettiva intrusione della polvere nei livelli più bassi grazie al meteo ad alta risoluzione. In ogni caso, per la valutazione quantitativa del contributo desertico al PM10, si rimanda alla metodica proposta nelle linee guida europee, adottata da ARPAT.

Sono state elaborate le serie storiche della concentrazione media giornaliera della componente di origine naturale del particolato, in corrispondenza di 16 stazioni di monitoraggio che coprono il territorio regionale (tab. 6). La componente di origine naturale, non essendo presente nell'inventario delle emissioni, deriva unicamente dalle condizioni al contorno (polvere desertica).

1	AR-CASA-STABBI
5	FI-BASSI
6	FI-BOBOLI
89	FI_FIGLINE
21	GR-URSS
82	LI-LAPIRA
83	LI-PIOMBINO-PARCO-VIII-MARZO
88	LU_FORNOLI
86	LU-SAN-CONCORDIO
35	LU-VIAREGGIO
36	MS-COLOMBAROTTO
46	PI-MONTECERBOLI
45	PI-PASSI
52	PO-ROMA
55	PT-MONTALE
80	SI-POGGIBONSI

Tabella 6. Elenco delle stazioni selezionate per la stima della polvere desertica.

Le serie storiche sono state utilizzate per individuare le date dei principali episodi di intrusione desertica: in tabella 7, in corrispondenza delle date, sono stati riportati i valori di concentrazione massimi, medi e minimi delle 16 stazioni, in modo da rappresentare in modo sintetico la variabilità sul territorio. Confrontando le tabelle 5 e 7, si può notare che gli episodi individuati sulla base delle previsioni (Alert dust) e sulla base delle analisi di SPARTA, sono gli stessi a meno di un episodio di debole intensità a metà novembre, non identificato dal metodo previsionale.

data	max	media	min
24/01/2020	5.7	3.8	1.7
25/01/2020	15.3	3.5	0.7
26/01/2020	16.7	11.7	7.9
27/01/2020	14.6	10.1	8.1
28/01/2020	5.5	3.0	1.6
03/02/2020	6.2	3.8	2.0
04/02/2020	13.1	8.1	5.6
27/03/2020	6.5	4.4	2.7
28/03/2020	14.1	9.9	5.6
29/03/2020	23.0	14.9	11.2
30/03/2020	13.2	10.2	7.8
17/04/2020	14.1	6.4	2.6
18/04/2020	26.4	19.5	14.1
19/04/2020	22.8	17.1	12.7
10/05/2020	13.2	5.7	2.9
11/05/2020	7.0	3.8	2.2
13/05/2020	31.8	14.0	7.8
14/05/2020	95.4	44.7	23.4
15/05/2020	14.2	10.2	3.7
16/05/2020	9.8	5.6	3.9
17/05/2020	15.6	11.9	7.7
18/05/2020	19.9	13.6	8.5
19/05/2020	11.6	7.0	4.9
30/07/2020	9.0	5.5	3.0
31/07/2020	12.9	9.4	4.1
01/08/2020	16.0	11.2	6.6
02/08/2020	12.5	8.5	5.3
14/08/2020	6.0	4.1	3.1
15/08/2020	6.5	5.2	3.3
16/08/2020	5.2	2.8	1.5
17/08/2020	9.2	5.1	3.9
23/08/2020	9.3	7.3	5.7
10/09/2020	8.4	6.5	4.6
10/11/2020	7.1	5.5	4.1
11/11/2020	6.7	5.0	3.4
12/11/2020	7.5	4.5	2.5

Tabella 6. Elenco degli episodi di intrusioni desertiche e relative concentrazioni ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) minime, medie e massime stimate dal sistema SPARTA.

Di seguito sono riportati i grafici relativi alla serie storica della media giornaliera misurata di PM10, contrapposta alla serie storica della frazione di origine naturale del PM10 stimata da modello (ccrs), per le stazioni di AR-CasaStabbi e di PI-Montecerboli (Fig. 48). La scelta di queste stazioni è motivata dal fatto che si tratta di due stazioni rurale/suburbana di fondo, in cui i contributi desertici si distinguono in modo più netto

rispetto a quanto accade nelle stazioni urbane di fondo; le serie storiche relative alle 16 stazioni sono riportate in appendice 1.

Osservando i grafici e le date individuate con i due metodi (Tab. 5, Tab. 7), si può notare che gli episodi di intrusione di polvere desertica corrispondono effettivamente a picchi di concentrazione di PM10 misurati. Come già discusso, nel 2020 l'episodio più significativo è stato quello di fine marzo, seguito da un episodio a metà maggio, di minore intensità: gli altri episodi - fine gennaio, metà aprile, luglio-agosto, settembre e metà novembre - hanno un impatto inferiore. Osservando i grafici delle stazioni rurali/periferiche, si evidenzia quanto anticipato nel paragrafo 3.3, in relazione alle due principali intrusioni desertiche del 28-29 marzo e della metà di maggio: il modello ha individuato correttamente entrambe gli episodi, ma in termini quantitativi, nel primo caso ha sottostimato, nel secondo ha sovrastimato. Questo diverso comportamento potrebbe dipendere dall'origine della polvere desertica, nel primo caso derivante da aree desertiche orientali (Mar Caspio), nel secondo dal nord Africa.

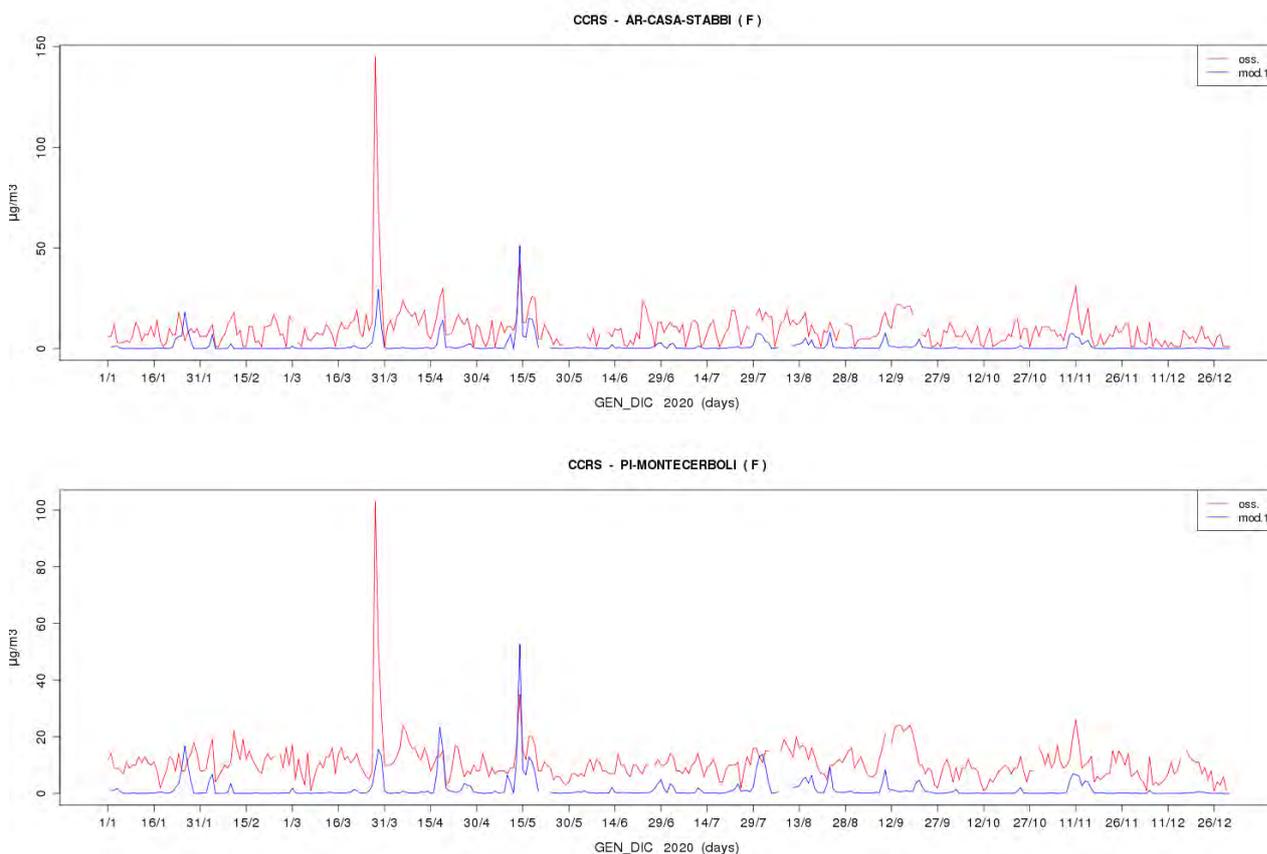


Figura 48. Serie storiche di confronto tra le medie giornaliere di dust sahariano stimato dal modello (blu) e PM10 osservato (rosso) relative alle stazioni di AR-CasaStabbi, PI-Montecerboli.

La distribuzione territoriale della polvere sahariana può essere visualizzata attraverso mappe della concentrazione media: nella seguente figura sono riportati, a titolo di esempio, le mappe mensili di gennaio, febbraio e marzo. A livello mensile c'è una forte variabilità, dipendente dal numero e dall'intensità degli episodi che si sono verificati.

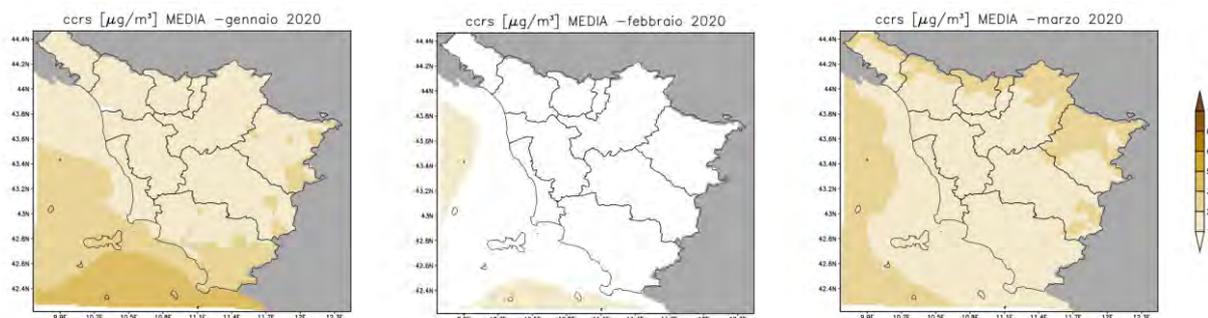


Figura 49. Media mensile delle concentrazioni di polvere desertica ($\mu\text{g}/\text{m}^3$), gennaio-marzo 2020.

Nell'ambito del progetto PATOS3, sono state effettuate verifiche confrontando le stime di SPARTA e le misure di polvere desertica, eseguite dall'Università di Firenze; i risultati ottenuti, relativi al periodo aprile 2019-marzo 2020, confermano le buone prestazioni del sistema modellistico nel riprodurre questa frazione del PM10. Per maggiori dettagli, è disponibile il report finale relativo alle attività svolte da LaMMA per il progetto (<http://www.lamma.rete.toscana.it/pubblicazioni/patos-3-report-di-progetto>)

3.7 Spray marino

Nel sistema SPARTA è stata recentemente implementata una nuova versione del modulo per la stima dell'aerosol marino (oceanic.v4.2), che permette una migliore e più dettagliata definizione di questo contributo soprattutto nelle aree costiere, tenendo conto dell'impatto della surf-zone nella formazione dello spray marino: nell'ambito del progetto PATOS3 è stata svolta la prima applicazione e verifica delle prestazioni per il periodo aprile 2019-marzo 2020.

Nella seguente figura sono riportate le mappe della media mensile di spray marino per l'anno 2020. I mesi con le concentrazioni maggiori sono febbraio, ottobre e dicembre, ma anche gennaio, maggio e giugno mostrano valori significativi; i valori più bassi sono nei mesi di luglio e settembre.

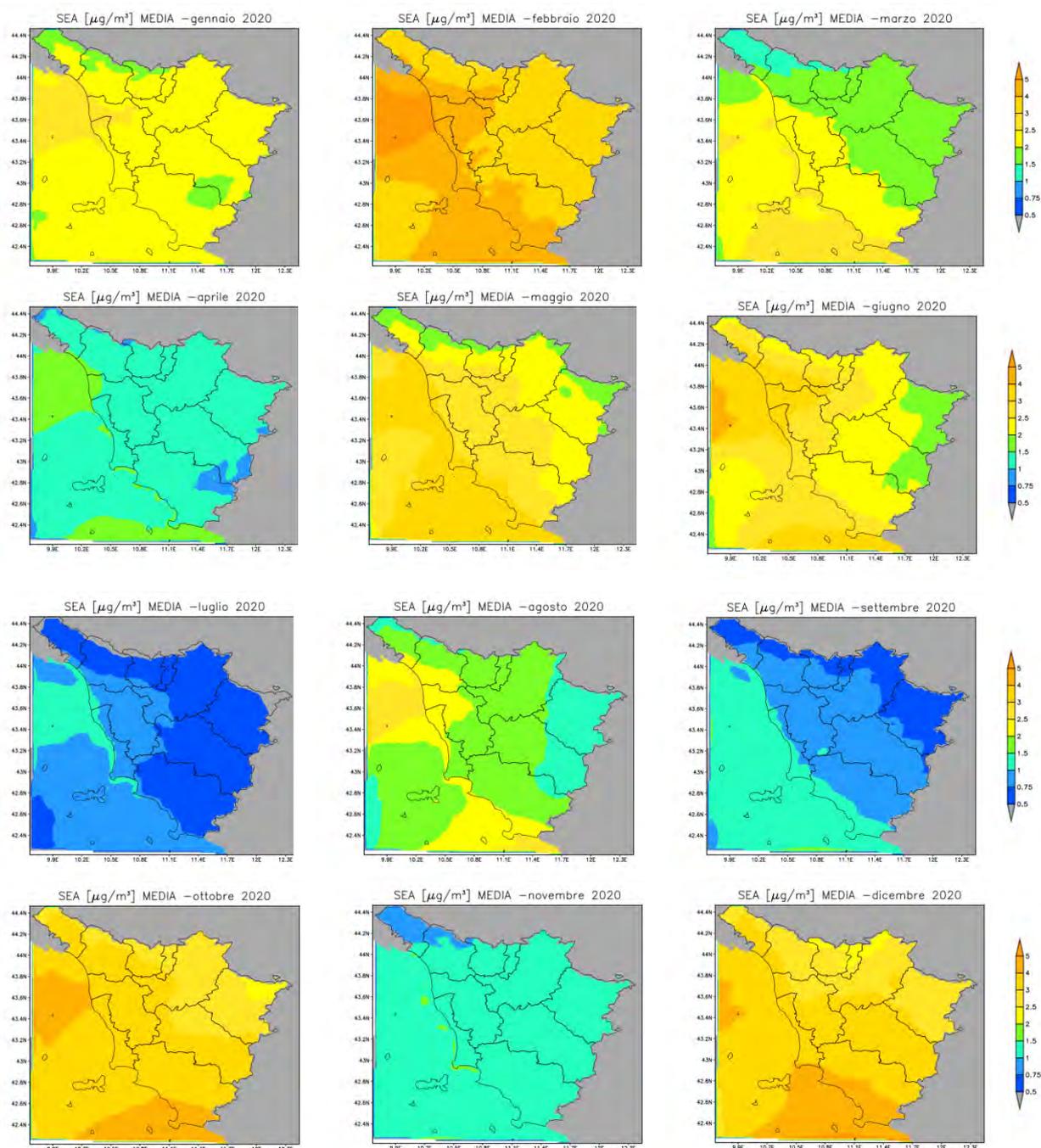


Figura 50. Media giornaliera delle concentrazioni di spray marino ($\mu\text{g}/\text{m}^3$), relativa ai mesi gennaio-dicembre 2020.

Uno dei risultati ottenuti nel progetto PATOS3 ha riguardato la messa a punto di un metodo per individuare gli episodi significativi di spray marino.

Tale metodo si basa su dati di vento misurati, in particolare nella stazione meteo Comma di Livorno, dal momento che il fenomeno in esame ha effetti significativi non solo sulla costa in prossimità della stazione meteo, ma anche nelle aree interne. Sulla base dei dati di vento rilevati nel periodo di interesse e della scelta di valori soglia ($VV > 4 \text{ m/s}$ e DV proveniente dai settori occidentali) è stato possibile individuare, durante la

campagna di misura prevista da PATOS3, i giorni in cui il contributo dello spray marino al PM10 è significativo, sia sulla costa sia nelle aree interne (<http://www.lamma.rete.toscana.it/pubblicazioni/patos-3-report-di-progetto>).

Applicando lo stesso metodo all'anno 2020, sono stati individuati i giorni caratterizzati da un contributo significativo di spray marino (tab.8).

date	max	media	min
28/01/2020	13.1	7.4	4.5
29/01/2020	17.0	14.0	9.5
04/02/2020	6.4	5.0	4.5
10/02/2020	16.8	8.2	5.0
11/02/2020	19.4	14.7	7.9
12/02/2020	7.6	5.5	2.7
14/02/2020	7.3	4.9	2.4
26/02/2020	14.2	8.8	6.3
27/02/2020	10.8	7.5	4.7
01/03/2020	8.8	6.6	4.9
02/03/2020	11.7	7.8	4.8
03/03/2020	10.1	6.6	2.8
06/03/2020	8.9	6.6	3.9
29/04/2020	12.2	8.4	3.4
30/04/2020	6.2	4.9	3.5
01/05/2020	13.0	8.1	3.7
02/05/2020	11.1	8.2	5.6
11/05/2020	5.5	3.9	3.0
12/05/2020	10.6	5.2	3.3
15/05/2020	9.2	8.1	7.4
04/06/2020	7.2	4.3	2.7
05/06/2020	6.3	4.5	2.7
06/06/2020	11.3	8.8	4.3
14/06/2020	6.3	3.3	1.4
15/06/2020	7.9	6.3	1.1
17/06/2020	7.6	5.4	3.0
18/06/2020	9.7	6.5	2.2
03/08/2020	7.1	4.9	3.0
18/08/2020	4.2	2.2	1.1
29/08/2020	10.0	6.7	2.6
30/08/2020	7.4	6.1	4.2
25/09/2020	8.3	7.1	4.5
02/10/2020	8.9	4.7	1.5
03/10/2020	10.2	7.4	3.0
04/10/2020	8.8	7.1	5.8
05/10/2020	10.8	8.3	5.6
06/10/2020	13.4	10.4	7.4
07/10/2020	6.1	4.8	3.3
11/10/2020	6.2	2.4	0.9
15/10/2020	0.8	0.5	0.3
24/10/2020	5.8	4.7	2.9
26/10/2020	7.8	6.0	4.7
27/10/2020	6.9	6.1	5.3
29/10/2020	7.2	5.3	3.6
05/12/2020	13.4	6.1	1.9
06/12/2020	7.5	4.4	2.1
07/12/2020	8.3	5.6	3.5
24/12/2020	7.9	4.8	3.1
25/12/2020	9.3	8.3	7.1
28/12/2020	12.7	8.8	5.8
29/12/2020	19.9	13.7	8.9

Tabella 8. Elenco degli episodi di spray marino e relative concentrazioni ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) minime, medie e massime stimate dal sistema SPARTA.

Per rappresentare in modo sintetico la variabilità sul territorio, in corrispondenza delle date che individuano gli episodi significativi di spray marino, in tabella 8 sono riportati i valori di concentrazione massimi, medi e minimi delle 16 stazioni. Gli episodi intensi, pur raggiungendo valori maggiori sulla costa, interessano tutto il territorio.

A titolo di esempio sono riportati tre coppie di grafici, rispettivamente di LI-La Pira (fig. 51), LU-Viareggio (fig. 52) e FI-Bassi (fig. 53), in cui alle stime di spray marino sono contrapposti i valori di velocità del vento misurato nella stazione meteo di Livorno; nel grafico superiore sono riportati tutti i valori di velocità media giornaliera misurati, nel grafico sotto sono riportati solo i valori di velocità sopra soglia, cioè con $VV > 4$ m/s e direzione del vento proveniente dai settori occidentali. Nelle tre stazioni si può osservare una buona corrispondenza tra gli episodi di spray marino stimati e le misure di vento sopra soglia. La sola indicazione della velocità del vento non è sufficiente, in quanto solo il vento forte proveniente dai settori occidentali è correlato all'aumento dello spray marino: ad esempio, il vento di forte intensità proveniente da nord-est rilevato nella seconda metà di marzo è evidentemente anticorrelato con l'aerosol marino.

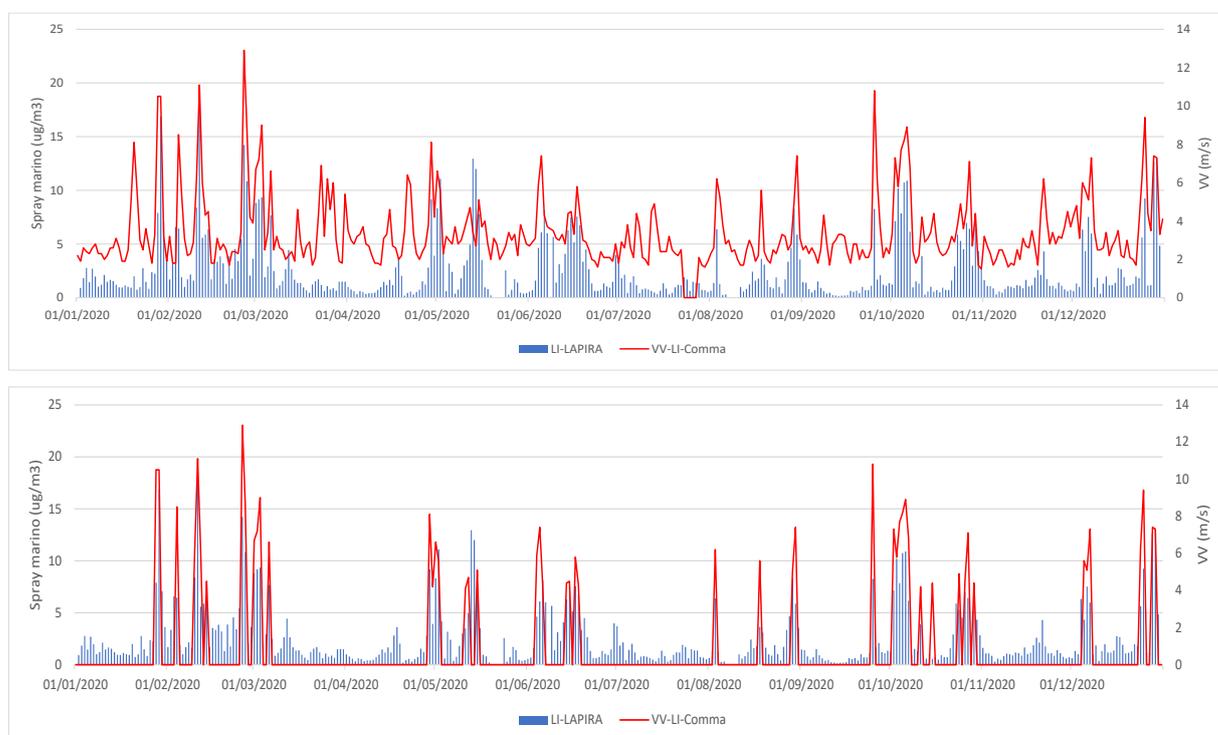


Figura 51. Media giornaliera delle concentrazioni di spray marino stimato nella stazione LI-La Pira e velocità del vento misurato Comma di Livorno (sopra), nel grafico sotto sono riportati solo i valori di velocità del vento sopra soglia.

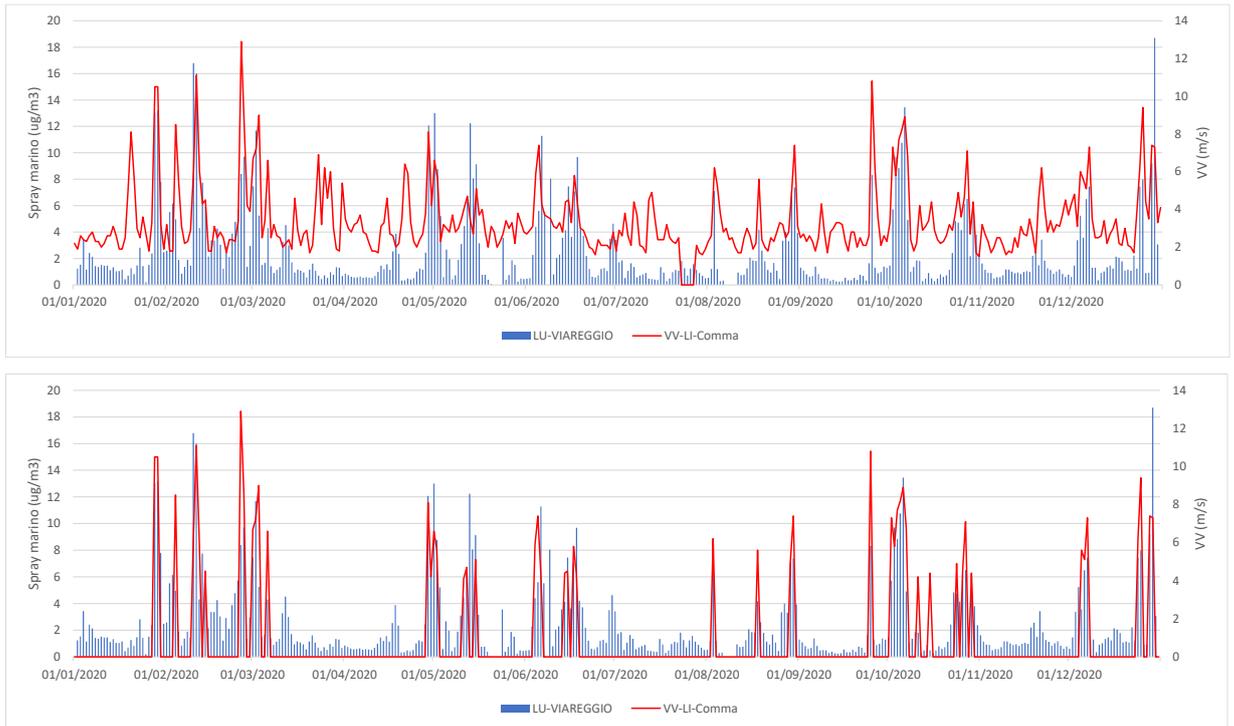


Figura 52. Media giornaliera delle concentrazioni di spray marino stimato nella stazione Lu-Viareggio e velocità del vento misurato Comma di Livorno (sopra), nel grafico sotto sono riportati solo i valori di velocità del vento sopra soglia.

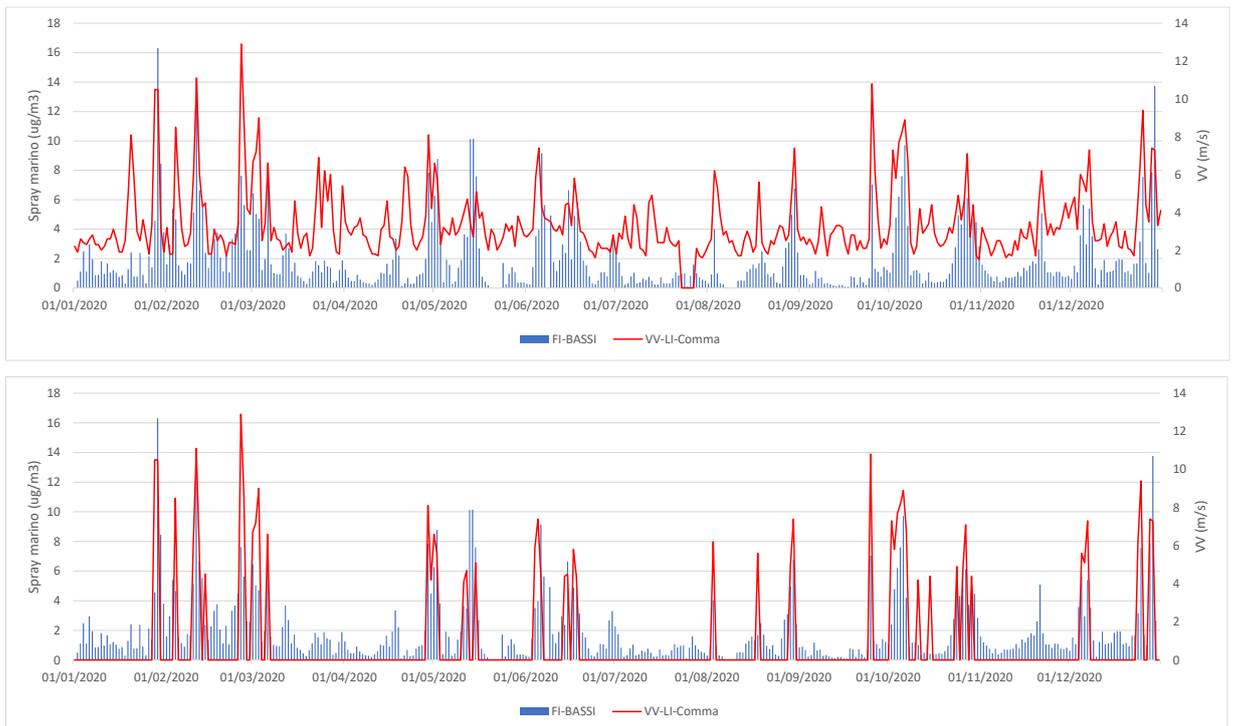


Figura 53. Media giornaliera delle concentrazioni di spray marino stimato nella stazione FI-Bassi e velocità del vento misurato Comma di Livorno (sopra), nel grafico sotto sono riportati solo i valori di velocità del vento sopra soglia.

Le condizioni meteo favorevoli allo spray marino sono sfavorevoli all'accumulo degli inquinanti: se si considerano i valori di concentrazione di PM10 misurati nelle 34 stazioni di monitoraggio della rete regionale in corrispondenza degli episodi di spray

marino (tab. 9), si può notare che i valori medi sono molto bassi (10-20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) e i valori massimi sono inferiori a 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Solo Viareggio fa eccezione, con 5 giorni di gennaio e febbraio, in cui la concentrazione di PM10 supera il valore soglia; durante questi episodi, tuttavia, non c'è un corrispondente aumento del PM2.5, che diminuisce rispetto ai giorni precedenti. Analizzando i dati relativi ai giorni di superamento della soglia di 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, si trova che il rapporto tra le concentrazioni di PM2.5/PM10 è dell'ordine di 0.80, mentre nei 5 giorni con forte vento da ovest il rapporto è dell'ordine di 0.25, evidenziando in questo caso che il contributo maggiore al PM10 deriva dalla frazione grossa.

STAZIONE -PM10	max	media	min
AR-ACROPOLI	32	13	6
AR-CASA-STABBI	18	7	1
AR-REPUBBLICA	47	19	9
FI-BASSI	33	14	5
FI-BOBOLI	31	13	5
FI-FIGLINE	32	13	6
FI-GRAMSCI	34	18	8
FI-MOSSE	30	15	5
FI-SCANDICCI	30	14	3
FI-SIGNA	33	15	5
GR-SONNINO	37	21	9
GR-URSS	32	15	6
LI-CAPPIELLO	48	21	6
LI-CARDUCCI	45	21	8
LI-COTONE	30	16	4
LI-LAPIRA	36	17	7
LI-PIOMBINO	33	19	8
LU-CAPANNORI	40	19	7
LU-FORNOLI	38	17	5
LU-MICHELETTO	45	19	7
LU-SAN-CONCORDIO	38	17	5
LU-VIAREGGIO	94	29	8
MS-COLOMBAROTTO	40	16	6
MS-MARINA-VECCHIA	44	19	7
PI-BORGHETTO	41	19	7
PI-MONTECERBOLI	22	10	3
PI-PASSI	39	17	6
PI-SANTA-CROCE	39	18	7
PO-FERRUCCI	46	19	7
PO-ROMA	41	18	6
PT-MONTALE	39	17	8
PT-SIGNORELLI	39	15	5
SI-BRACCI	25	13	4
SI-POGGIBONSI	31	14	5

Tabella 9. Elenco degli episodi di spray marino e relative concentrazioni ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) minime, medie e massime stimate dal sistema SPARTA.

Di seguito, in tabella 10, sono riportati i valori di concentrazione di PM10 e PM2.5 misurati presso la centralina LU-Viareggio, il loro rapporto (PM2.5/PM10), il vento misurato presso la stazione meteo Comma di Livorno, nei giorni di superamento della soglia di 50 µg/m³ per il PM10. Si può notare che il rapporto PM2.5/PM10 è molto basso in corrispondenza di venti provenienti dai settori occidentali, soprattutto se di forte intensità, mentre è decisamente alto con vento debole proveniente dalle altre direzioni (Est).

superamenti	PM10	PM2.5	PM2.5/PM10	VV	DV
01/01/2020	94	80	0.85	2.2	E
02/01/2020	72	62	0.86	1.9	E
03/01/2020	78	66	0.85	2.6	E
04/01/2020	65	55	0.85	2.4	N
05/01/2020	51	42	0.82	2.3	E
07/01/2020	67	53	0.79	2.8	E
08/01/2020	71	57	0.80	2.3	E
09/01/2020	63	48	0.76	2.3	E
23/01/2020	61	45	0.74	2.5	E
29/01/2020	67	14	0.21	10.5	NW
04/02/2020	56	17	0.30	8.5	NW
10/02/2020	55	13	0.24	6.1	W
11/02/2020	94	17	0.18	11.1	NW
26/02/2020	61	12	0.20	12.9	NW
28/03/2020	75	26	0.35	3	N
29/03/2020	58	18	0.31	1.9	NW
10/11/2020	54	39	0.72	1.8	E
23/11/2020	51	39	0.76	2.8	E
24/11/2020	65	54	0.83	3.4	E
25/11/2020	51	41	0.80	2.8	E
14/12/2020	65	47	0.72	2.7	E
15/12/2020	62	46	0.74	3	E

Tabella 10. Valori di concentrazione di PM10 e PM2.5 misurati presso la centralina LU-Viareggio (µg/m³), il loro rapporto (PM2.5/PM10), il vento misurato presso la stazione meteo Comma di Livorno (VV m/s), nei giorni di superamento.

In conclusione, lo spray marino apporta un contributo al PM10 che può essere anche significativo durante alcuni episodi, ma questi si verificano in corrispondenza di condizioni meteo sfavorevoli all'accumulo degli inquinanti. A differenza della polvere desertica che invece può portare a superamenti del valore soglia per il PM10, questa componente naturale non sembra contribuire ai superamenti, neanche in aree costiere. Fa eccezione Viareggio, che invece registra alcuni superamenti in corrispondenza di forte vento dai settori occidentali.

Conclusioni

In questo lavoro sono stati presentati i risultati ottenuti applicando il sistema modellistico SPARTA al 2020. Anche per questo anno sono stati utilizzati come dati di input le emissioni derivanti dall'inventario IRSE aggiornato all'anno 2010, senza nessuna variazione rispetto agli anni precedenti: in particolare, non sono state fatte modifiche per tener conto del diverso carico emissivo che ha caratterizzato il 2020, a causa del lockdown imposto dalla pandemia. L'analisi dei risultati evidenzia quindi, a parità di carico emissivo sul territorio regionale, il diverso impatto dovuto alle condizioni meteorologiche e l'apporto di inquinanti esterni al dominio.

L'analisi climatica evidenzia che il 2020 in Toscana è stato, insieme al 2019, il quinto anno più caldo dal 1955 con una temperatura media di 15,5 °C e uno scarto di +0,8 °C rispetto alla climatologia di riferimento 1981-2010. I mesi caratterizzati da marcate anomalie positive sono stati febbraio, maggio, agosto e novembre, mentre gli unici mesi con anomalia negativa sono stati giugno e ottobre. Il 2020 ha registrato precipitazioni nel complesso normali, ma con forti variazioni mensili: si osserva una distribuzione delle precipitazioni estremamente variabile, con mesi molto secchi alternati a mesi molto piovosi. I mesi con il maggior deficit a livello regionale sono stati febbraio, aprile, luglio e novembre, mentre surplus significativi sono stati registrati a giugno, agosto, ottobre e dicembre. In generale, a differenza di un 2019 estremamente dinamico, il 2020 è stato piuttosto statico: la scarsa dinamicità meteorologica ha avuto conseguenze anche nella concentrazione degli inquinanti, favorendo le condizioni di accumulo. Da segnalare alcune intrusioni di polvere desertica, in particolare tra fine marzo (origine orientale, mar Caspio) e metà maggio (origine sahariana).

I risultati ottenuti da modello, confrontati con i dati misurati nelle stazioni di monitoraggio della rete regionale, sono di seguito riassunti.

PM10 – Si riscontra un buon accordo stime-misure, sia in termini di andamento temporale che in termini quantitativi. In tutte le stazioni è stato rilevato l'episodio di polvere desertica non sahariana relativo al 28-29 marzo, che ha raggiunto valori di concentrazione maggiori di 100-120 mg/m³; di minore intensità si è verificata un'intrusione di polvere sahariana a metà maggio, con valori prossimi a 40 mg/m³. Il modello ha individuato correttamente entrambe gli episodi, ma nel primo caso ha sottostimato, nel secondo ha sovrastimato. In generale, in gran parte delle stazioni, soprattutto quelle di traffico e quelle in aree costiere, il modello riproduce molto bene l'andamento temporale e i valori quantitativi. In un gruppo di stazioni, costituito per lo più da stazioni di fondo in aree urbane, l'accordo stime-misure è buono a eccezione del

periodo che va da metà ottobre a metà novembre, in cui il modello sovrastima rispetto alle misure. Infine, nelle stazioni di Capannori, Montale e Figline dalla seconda metà di novembre a fine anno il modello, pur riproducendo correttamente il trend temporale, durante gli episodi caratterizzati da concentrazioni molto alte sottostima i valori di picco. Questa criticità negli anni precedenti era stata riscontrata in molte stazioni, soprattutto nelle aree urbane. Considerando gli indicatori statistici accorpati, rispetto all'anno precedente si è ridotta notevolmente la sottostima del modello: considerando tutte le stazioni, lo scarto passa da -20% nel 2019 a -9% nel 2020.

PM2.5 – Come negli anni precedenti, i risultati ottenuti per il PM2.5 sono molto buoni sia in termini di andamento temporale che in termini quantitativi, migliori di quelli ottenuti per il PM10. A differenza del PM10, non sono evidenti gli episodi di polvere desertica, che il modello stima nella sola frazione grossa. L'accordo stime-misure è ottimo nelle stazioni di LU-Viareggio, PI-Passi, PI-Borghetto, mentre nelle stazioni di Capannori e Montale, come per il PM10, resta significativa la sottostima relativa agli episodi acuti invernali. Nelle restanti stazioni, sia di fondo che di traffico, l'accordo è buono, a eccezione della sovrastima del modello nel periodo che va da metà ottobre a metà novembre, come per il PM10. Gli indici statistici accorpati mostrano un netto miglioramento rispetto all'anno precedente, che si conferma anche considerando lo scarto su base annuale che passa da -11% nel 2019 a una sovrastima pari al 6% nel 2020.

NO₂ – Nel 2020 si evidenzia una generalizzata sovrastima del modello a partire da marzo fino alla fine dell'anno, principalmente nelle stazioni di fondo urbano, ma anche in alcune stazioni di traffico; nelle altre stazioni di traffico si ha un buon accordo stime-misure, mentre, come si è visto, negli anni precedenti si aveva una significativa sottostima. Nelle stazioni di Livorno e Piombino invece la situazione non è cambiata, il modello sovrastima di molto rispetto alle misure, presumibilmente in relazione alla non corretta stima delle emissioni derivanti sia dalle attività portuali, sia dalle attività industriali. La sostanziale differenza rispetto all'anno precedente è il notevole aumento della sovrastima del modello rispetto alle misure, sovrastima che si riscontra non solo nei valori degli indicatori statistici accorpati, ma anche nei valori di tutte le stazioni, sia di fondo che di traffico: i dati accorpati su base annua per le sole stazioni di fondo mostrano una sovrastima pari al 36% contro il 4% del 2019, per tutte le stazioni si passa dal -7% del 2019 al 22% del 2020. Considerando invece i dati per singola stazione, l'aumento della sovrastima rispetto all'anno precedente è molto significativo per tutte le stazioni (eccetto LI-Poggio San Rocco), sia di fondo che di traffico. Questa significativa differenza rispetto al 2019 rappresenta un segnale che conferma una

riduzione del carico emissivo durante il periodo del lockdown: questa riduzione ha avuto importanti ripercussioni sulla concentrazione di NO₂, indipendentemente dalla variabilità meteo interannuale.

SO₂ – Il modello non riproduce correttamente il biossido di zolfo, come si può osservare dal confronto stime-misure, nelle tre stazioni della rete regionale. Nelle stazioni di FI-Bassi e di LU-Capannori la sovrastima è inferiore rispetto a quanto avviene nella stazione di LI-La Pira, in cui le stime sono oltre un ordine di grandezza maggiori rispetto alle misure. Come negli anni precedenti, questa discrepanza tra stime e misure è presumibilmente imputabile all'input emissivo, in particolare, per l'area di Livorno, alle attività portuali e industriali.

O₃ – Rispetto all'anno precedente il quadro complessivo dell'ozono non è cambiato in modo significativo. Considerando le serie storiche relative al massimo della media mobile su 8 ore (MAXMM8O3), si può notare un buon accordo stime-misure, in particolare nella stazione LI-Poggio San Rocco, FI-Settignano, mentre nelle stazioni PI-Passi e soprattutto PI-Santa-Croce si evidenzia una sovrastima. Come negli anni precedenti, i grafici mensili della concentrazione media oraria per il periodo maggio-settembre mostrano che nella maggior parte delle stazioni il modello riproduce correttamente i valori di picco, in accordo con i grafici relativi al MAXMM8, ma tende a sovrastimare molto i valori notturni. Considerando gli indicatori statistici accorpati, pur confermando buoni risultati, si ha una sovrastima rispetto ai dati misurati del 16% su base annua, con un leggero aumento rispetto all'anno precedente.

Contributi di origine naturale al PM₁₀ – I principali episodi di intrusioni di polvere desertica e di trasporto di spray marino nel corso del 2020 sono stati individuati applicando metodi specifici messi a punto nell'ambito del progetto PATOS3.

Per quanto riguarda lo spray marino, il contributo al PM₁₀ può essere anche significativo durante alcuni episodi, ma questi si verificano in corrispondenza di condizioni meteo sfavorevoli all'accumulo degli inquinanti. A differenza della polvere desertica che invece può portare a superamenti del valore soglia per il PM₁₀, questa componente naturale non sembra contribuire ai superamenti, neanche in aree costiere. Fa eccezione Viareggio, che invece registra alcuni superamenti in corrispondenza di forte vento dai settori occidentali.

Le stime modellistiche hanno individuato correttamente gli episodi di intrusione di polvere desertica, che corrispondono effettivamente a picchi di concentrazione di PM₁₀ misurati. Come già discusso, nel 2020 l'episodio più significativo è stato quello di fine marzo, seguito da un episodio a metà maggio, di minore intensità: gli altri episodi - fine gennaio, metà aprile, luglio-agosto, settembre e metà novembre - hanno un

impatto inferiore. In relazione alle due principali intrusioni desertiche del 28-29 marzo e della metà di maggio, si evidenzia che il modello, pur individuando correttamente entrambe gli episodi, nel primo caso ha sottostimato, nel secondo ha sovrastimato. Questo diverso comportamento potrebbe dipendere dall'origine della polvere desertica, nel primo caso derivante da aree desertiche orientali (Mar Caspio), nel secondo dal nord Africa.

APPENDICE 1

In questa appendice sono riportati gli elaborati grafici relativi alla simulazione dell'anno 2020, ottenuta attraverso il sistema modellistico SPARTA.

Mappe medie della concentrazione di inquinanti

- Mappe delle concentrazioni medie mensili degli inquinanti PM10, NO2, PM2.5, SO2, O3 (mediato sulle ore centrali) e O3 (mediato nelle ore serali/notturne).
- Mappe delle concentrazioni medie relative alla stagione calda e alla stagione fredda, degli inquinanti PM10, NO2, PM2.5, SO2, O3 (mediato sulle ore centrali) e O3 (mediato nelle ore serali/notturne).
- Mappa delle concentrazioni medie annuali degli inquinanti PM10, NO2, PM2.5, SO2, O3 (mediato sulle ore centrali) e O3 (mediato nelle ore serali/notturne).

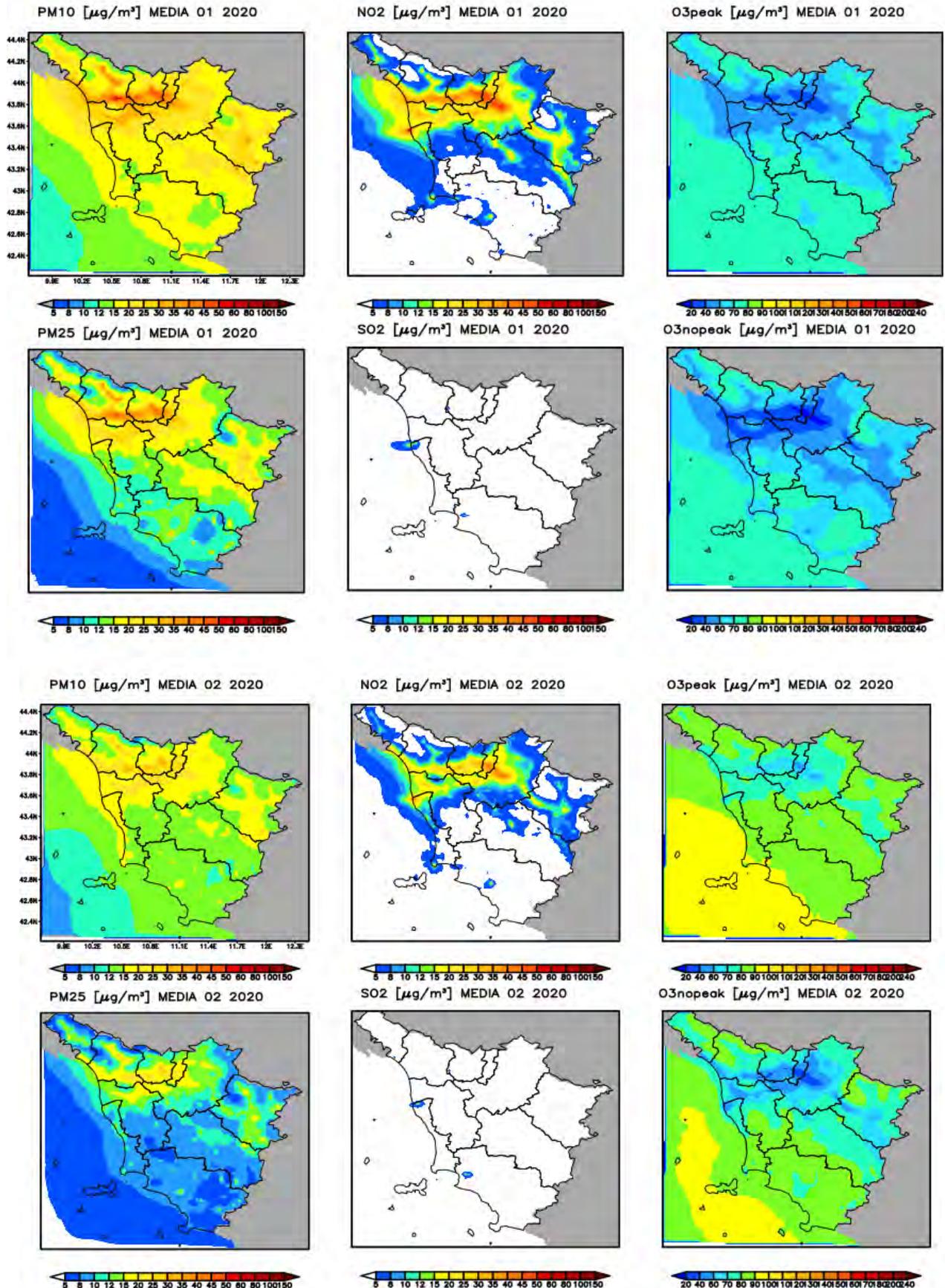
Serie Storiche

Vengono riportati i grafici degli inquinanti PM10, PM2.5, NO2, SO2 e O3, dust sahariano, relativi alle serie storiche simulate ed osservate a livello medio giornaliero; per l'O3 sono riportati anche i grafici orari da maggio a settembre, per le stazioni disponibili. Con la linea rossa sono indicate le osservazioni e con la linea blu le simulazioni del modello 2020 corrispondenti ad ciascun punto stazione (il dust è confrontato con il PM10 osservato).

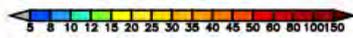
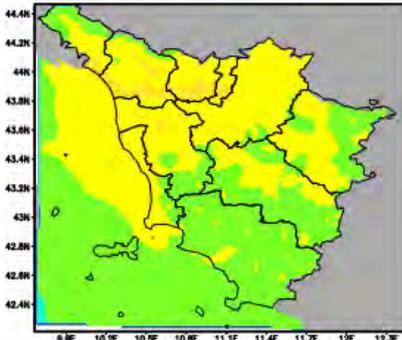
Skill

Sono fornite le tabelle di skill, calcolati su base giornaliera, tra osservazioni e dati modellistici, per tutti gli inquinanti per i periodi annuale, semestre caldo e semestre freddo.

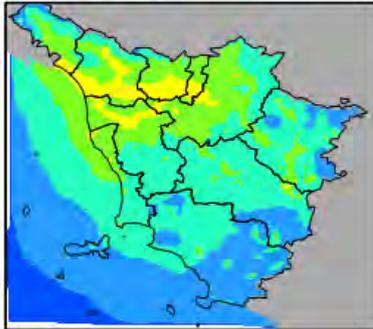
Mappe medie 2020



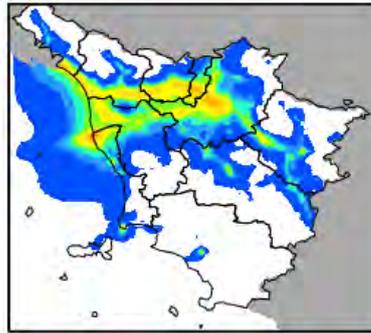
PM10 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] MEDIA 03 2020



PM25 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] MEDIA 03 2020



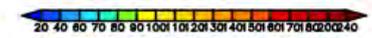
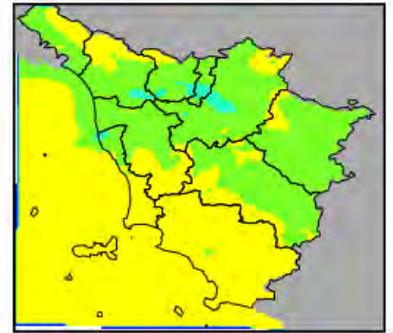
NO2 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] MEDIA 03 2020



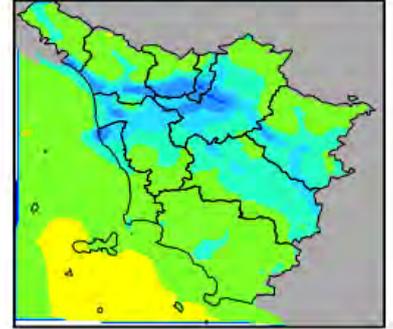
SO2 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] MEDIA 03 2020



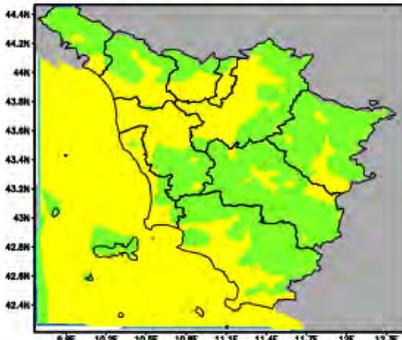
O3peak [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] MEDIA 03 2020



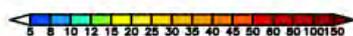
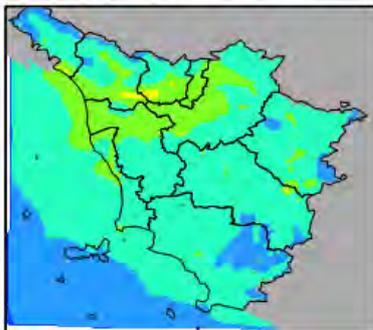
O3nopeak [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] MEDIA 03 2020



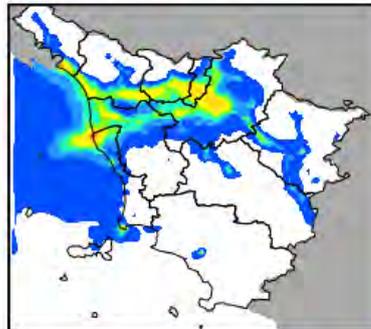
PM10 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] MEDIA 04 2020



PM25 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] MEDIA 04 2020



NO2 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] MEDIA 04 2020



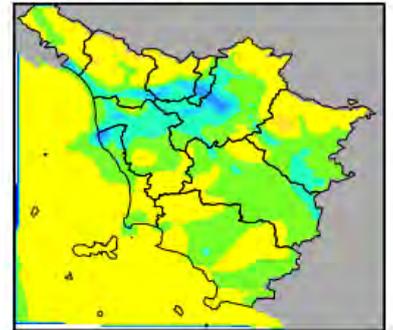
SO2 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] MEDIA 04 2020

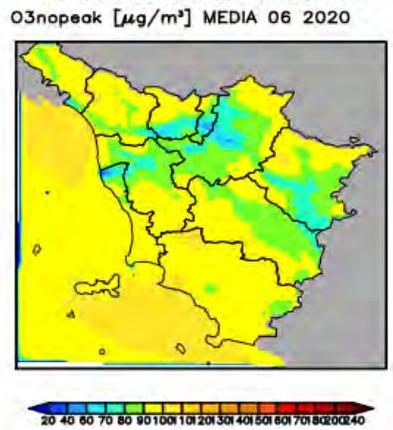
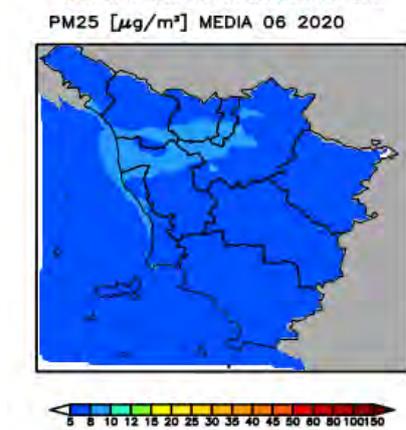
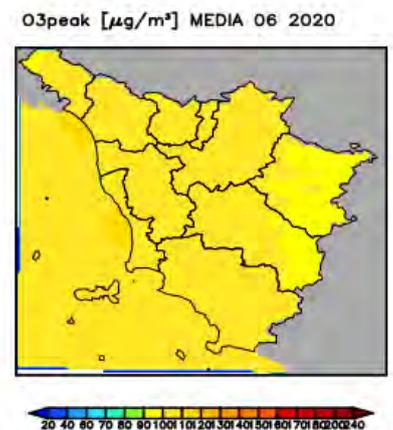
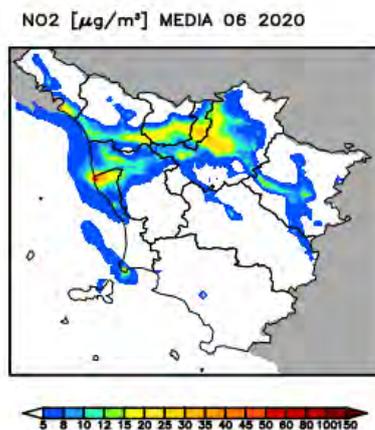
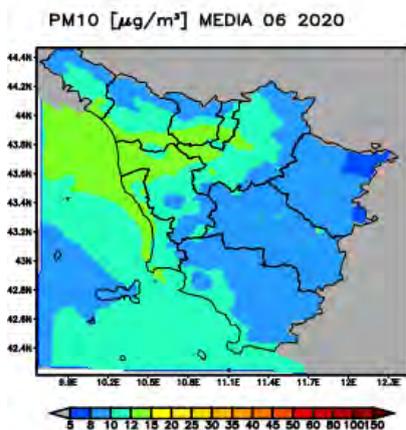
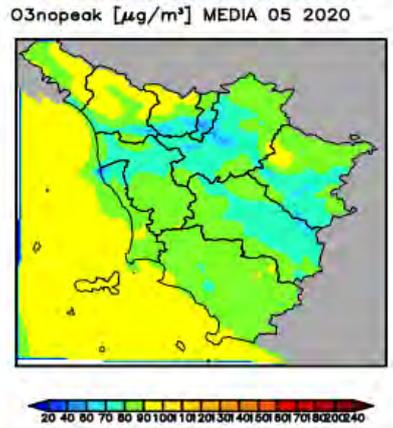
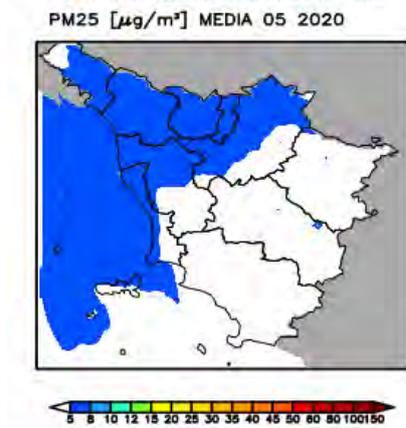
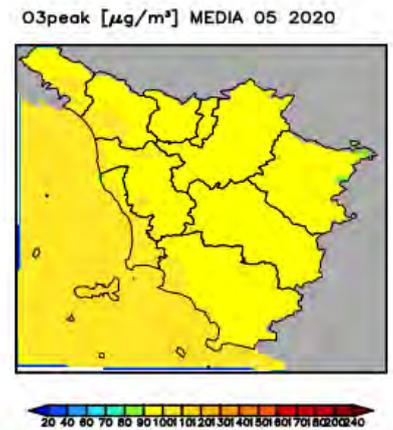
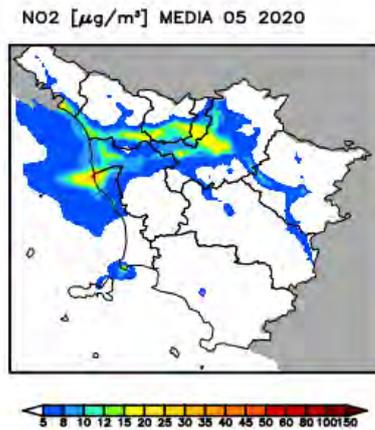
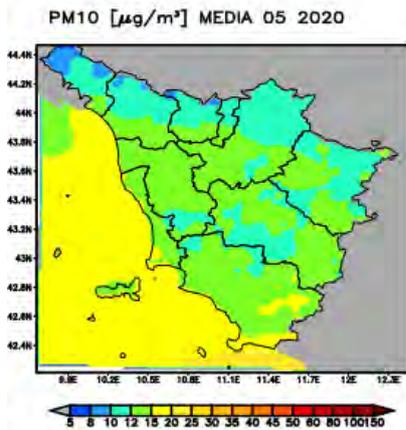


O3peak [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] MEDIA 04 2020

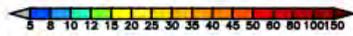
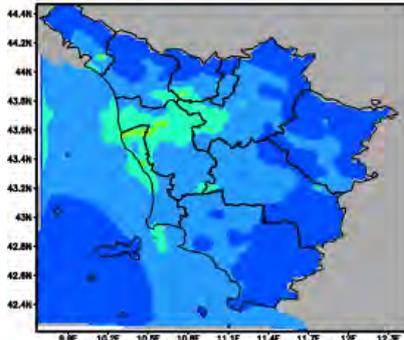


O3nopeak [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] MEDIA 04 2020

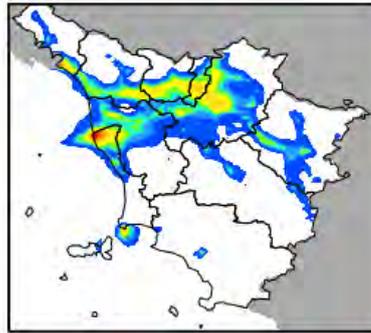




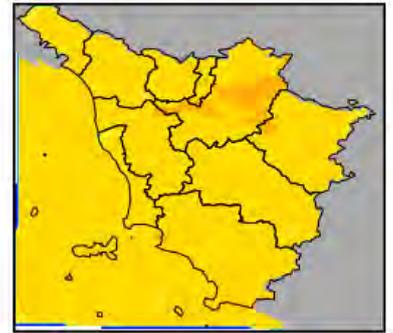
PM10 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] MEDIA 07 2020



NO2 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] MEDIA 07 2020



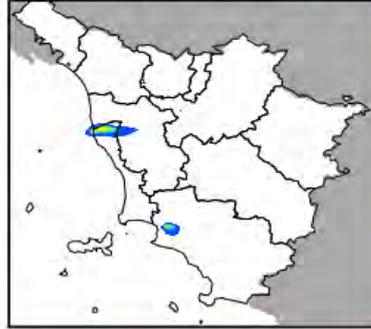
O3peak [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] MEDIA 07 2020



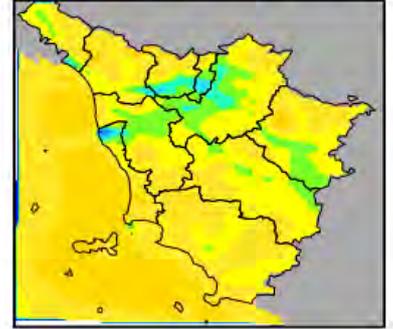
PM25 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] MEDIA 07 2020



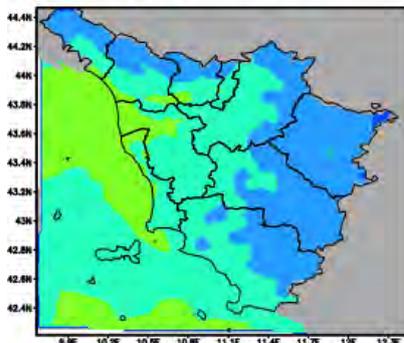
SO2 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] MEDIA 07 2020



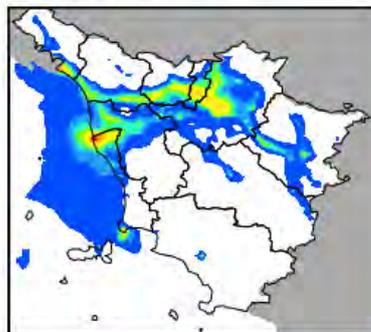
O3nopeak [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] MEDIA 07 2020



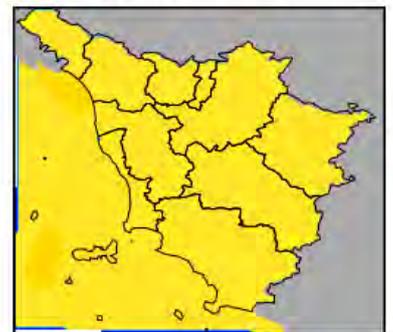
PM10 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] MEDIA 08 2020



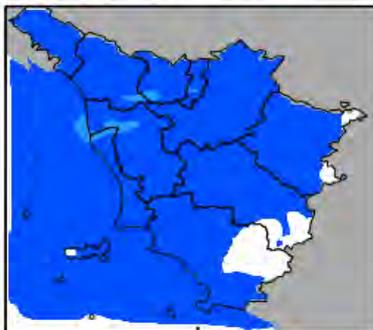
NO2 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] MEDIA 08 2020



O3peak [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] MEDIA 08 2020



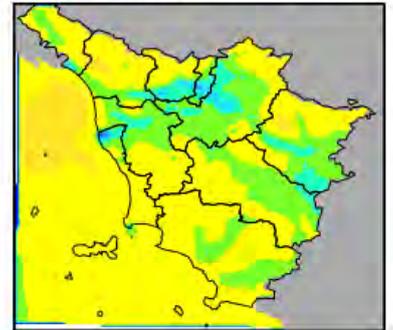
PM25 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] MEDIA 08 2020



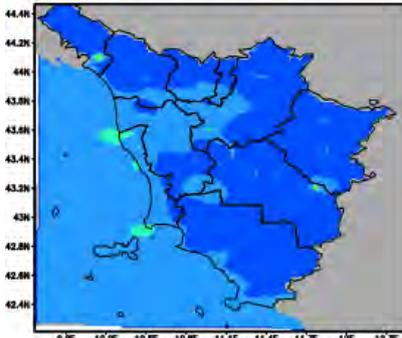
SO2 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] MEDIA 08 2020



O3nopeak [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] MEDIA 08 2020



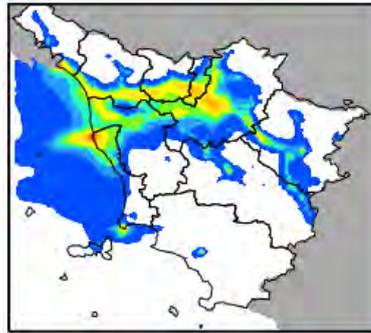
PM10 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] MEDIA 09 2020



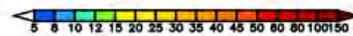
PM25 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] MEDIA 09 2020



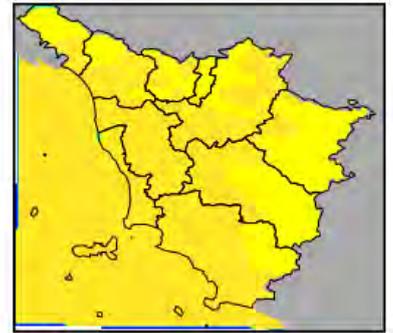
NO2 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] MEDIA 09 2020



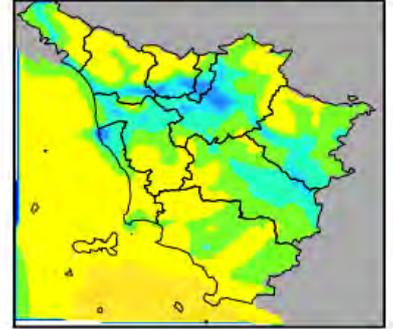
SO2 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] MEDIA 09 2020



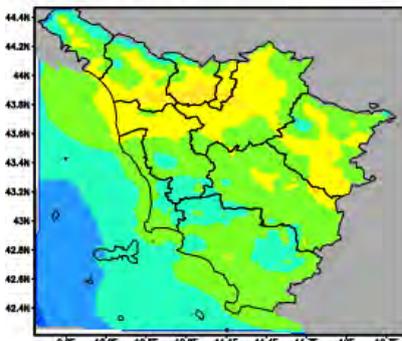
O3peak [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] MEDIA 09 2020



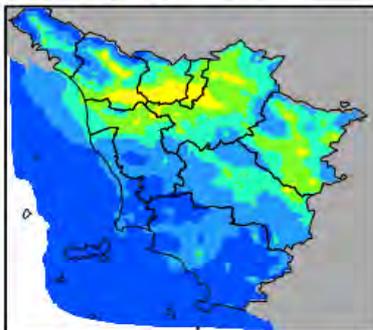
O3nopeak [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] MEDIA 09 2020



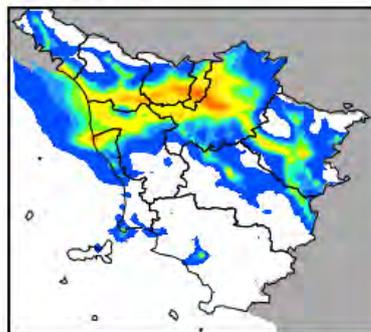
PM10 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] MEDIA 10 2020



PM25 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] MEDIA 10 2020



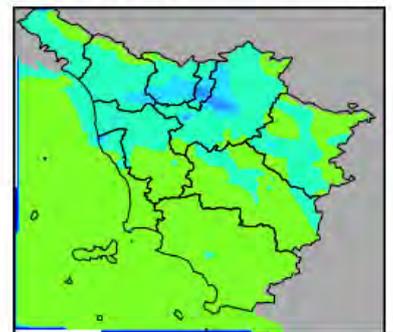
NO2 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] MEDIA 10 2020



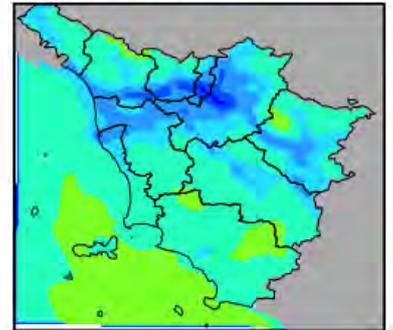
SO2 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] MEDIA 10 2020



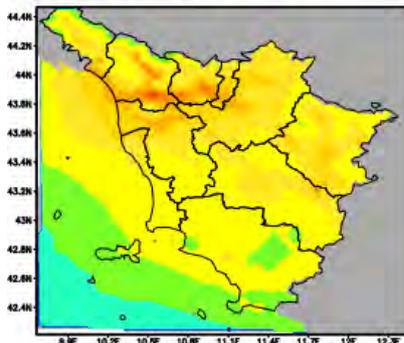
O3peak [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] MEDIA 10 2020



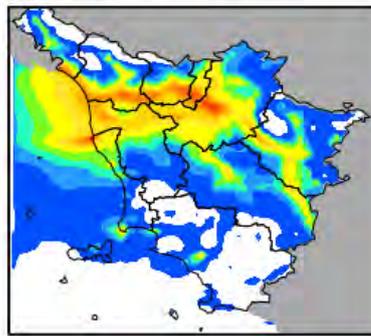
O3nopeak [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] MEDIA 10 2020



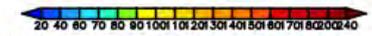
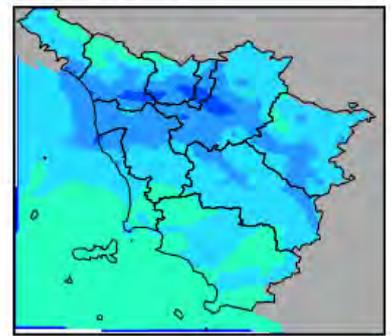
PM10 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] MEDIA 11 2020



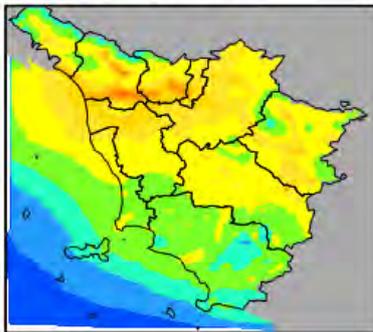
NO2 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] MEDIA 11 2020



O3peak [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] MEDIA 11 2020



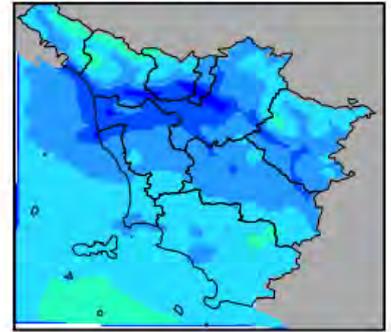
PM25 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] MEDIA 11 2020



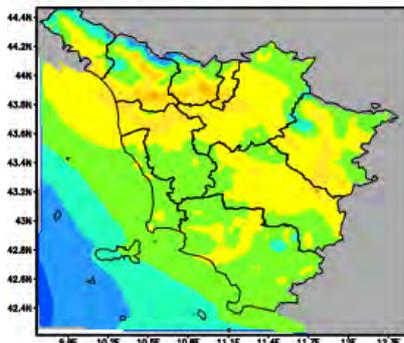
SO2 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] MEDIA 11 2020



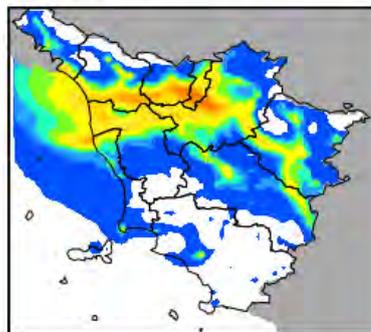
O3nopeak [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] MEDIA 11 2020



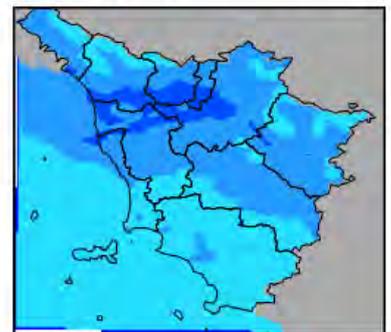
PM10 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] MEDIA 12 2020



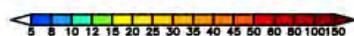
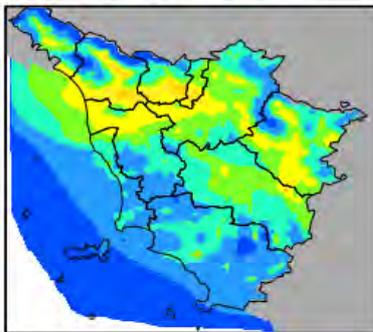
NO2 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] MEDIA 12 2020



O3peak [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] MEDIA 12 2020



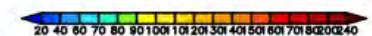
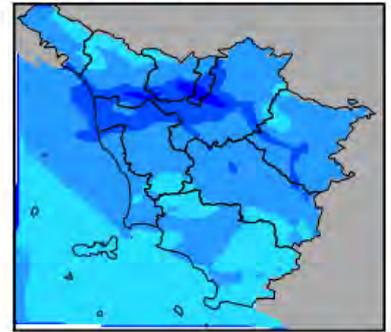
PM25 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] MEDIA 12 2020



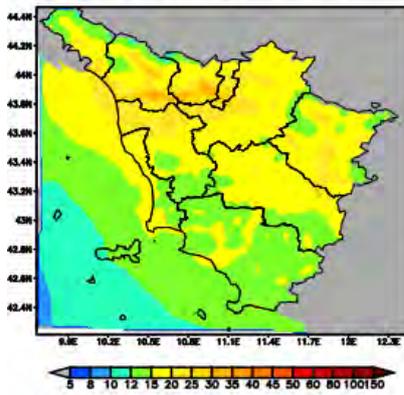
SO2 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] MEDIA 12 2020



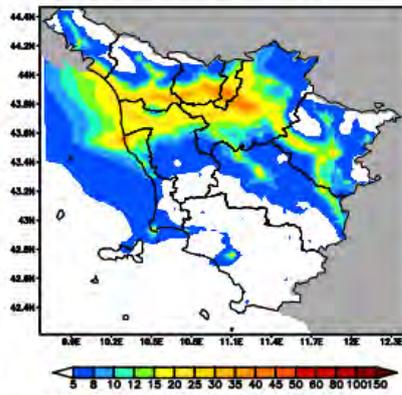
O3nopeak [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] MEDIA 12 2020



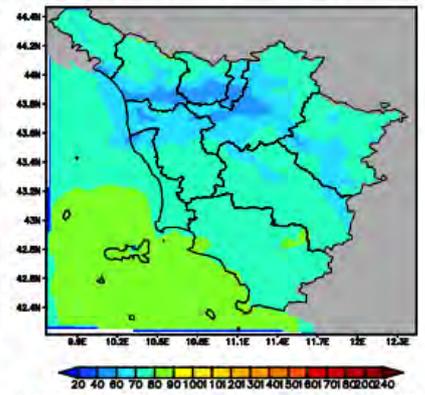
PM10 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] GEN_MAR-OTT_DIC 2020



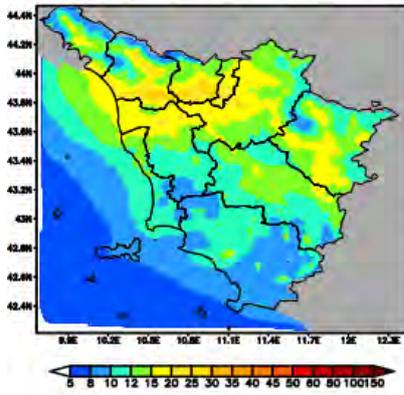
NO2 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] GEN_MAR-OTT_DIC 2020



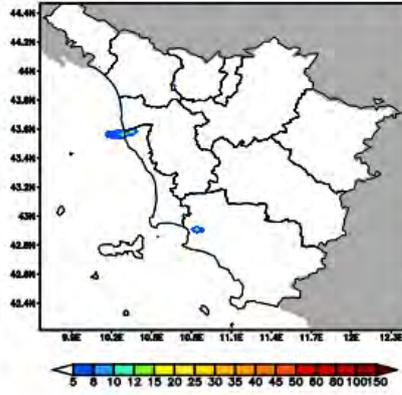
O3peak [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] GEN_MAR-OTT_DIC 2020



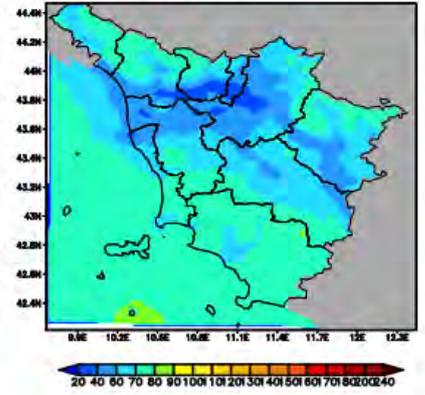
PM25 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] GEN_MAR-OTT_DIC 2020



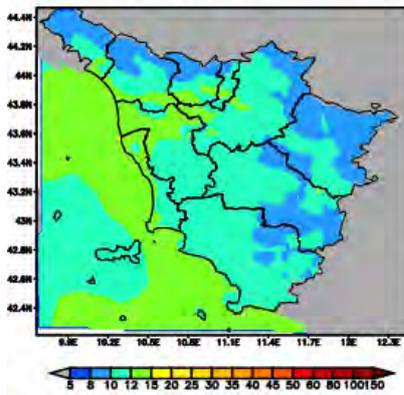
SO2 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] GEN_MAR-OTT_DIC 2020



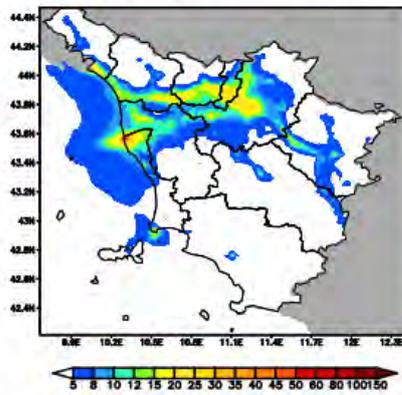
O3nopeak [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] GEN_MAR-OTT_DIC 2020



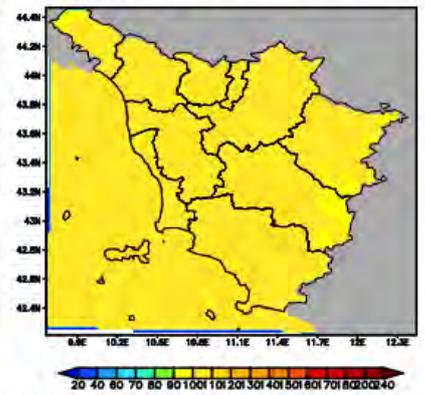
PM10 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] APR-SET 2020



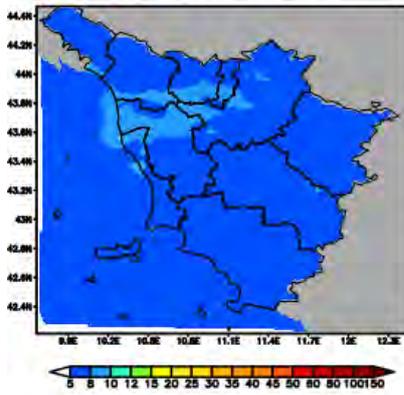
NO2 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] APR-SET 2020



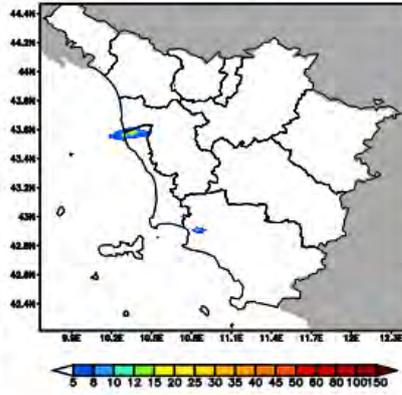
O3peak [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] APR-SET 2020



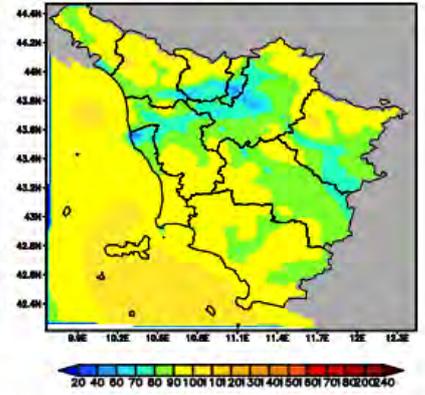
PM25 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] APR-SET 2020

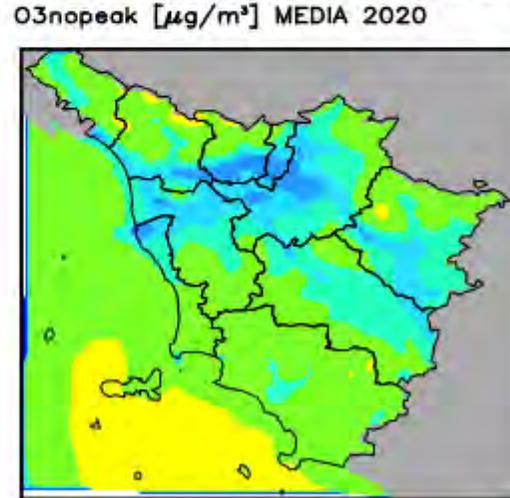
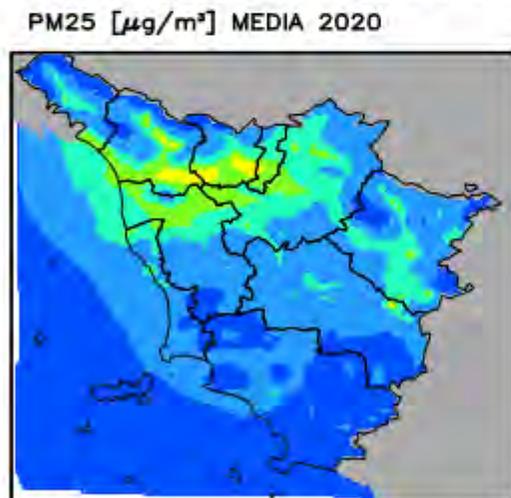
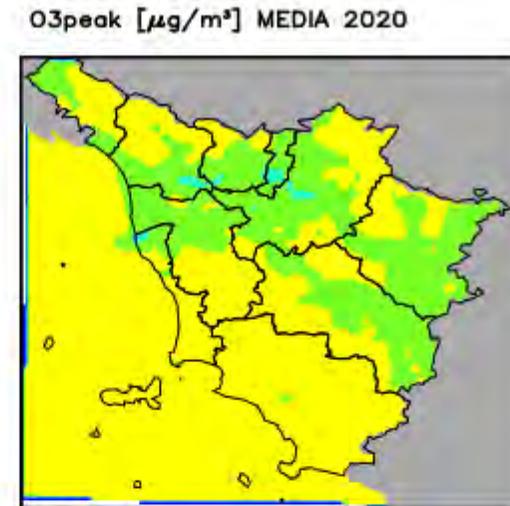
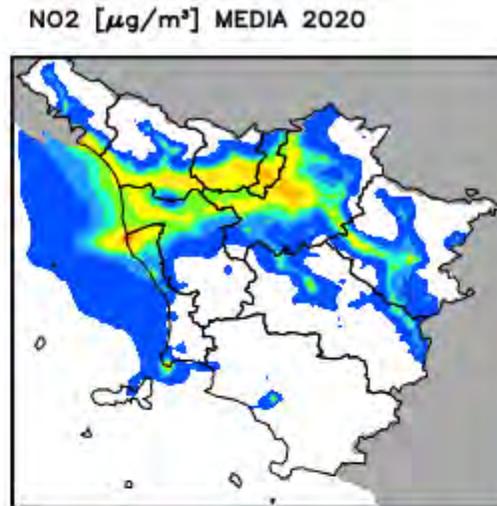
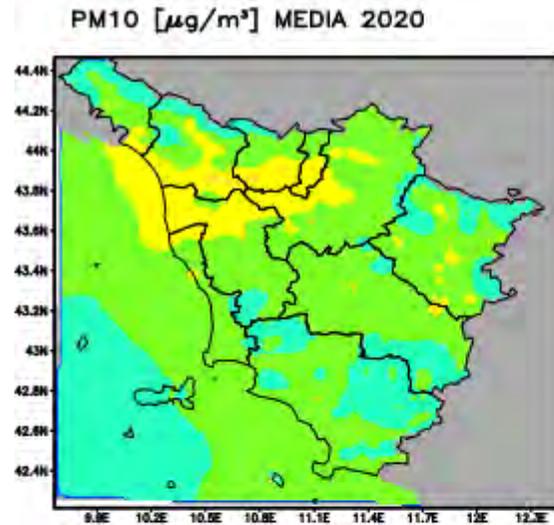


SO2 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] APR-SET 2020



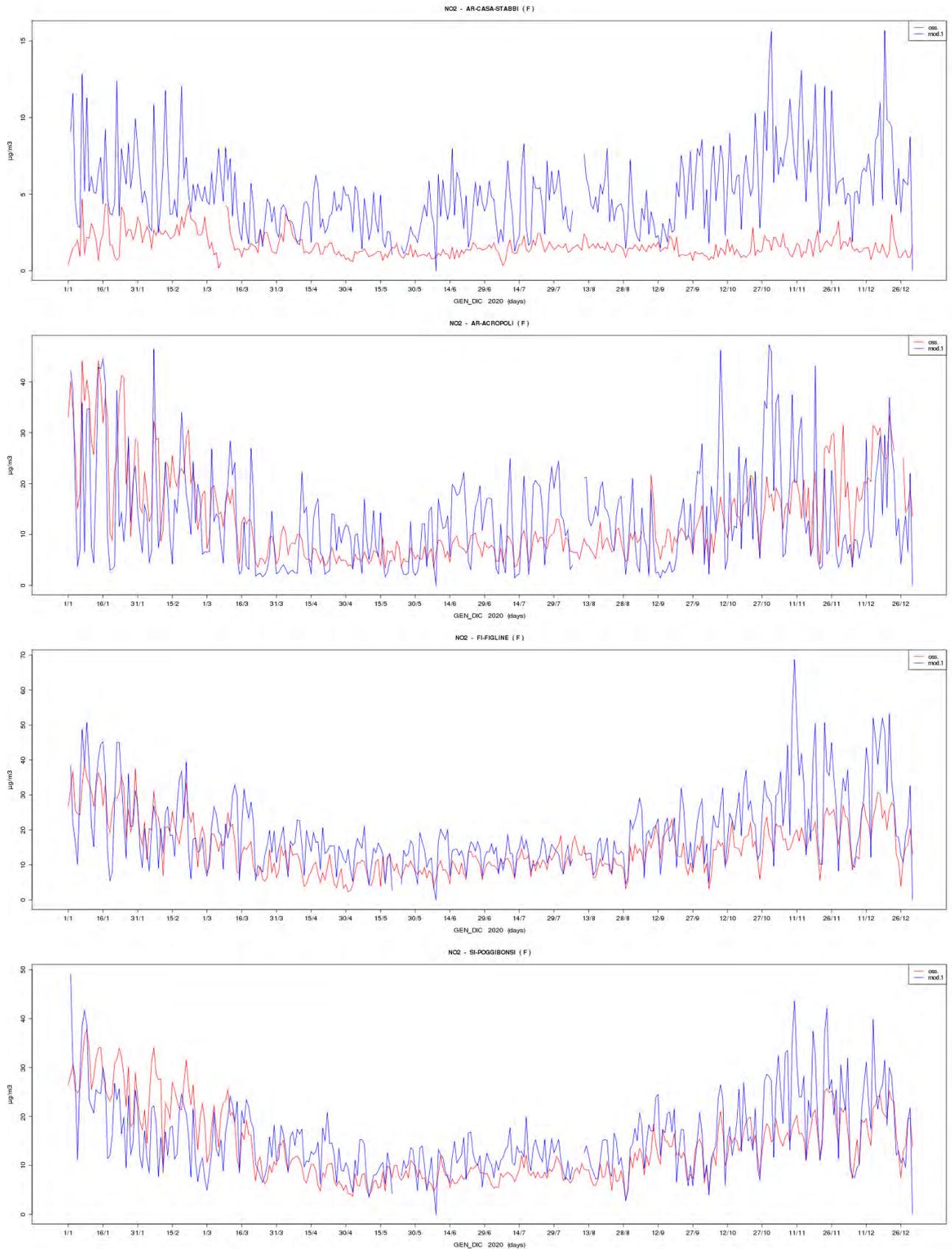
O3nopeak [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] APR-SET 2020

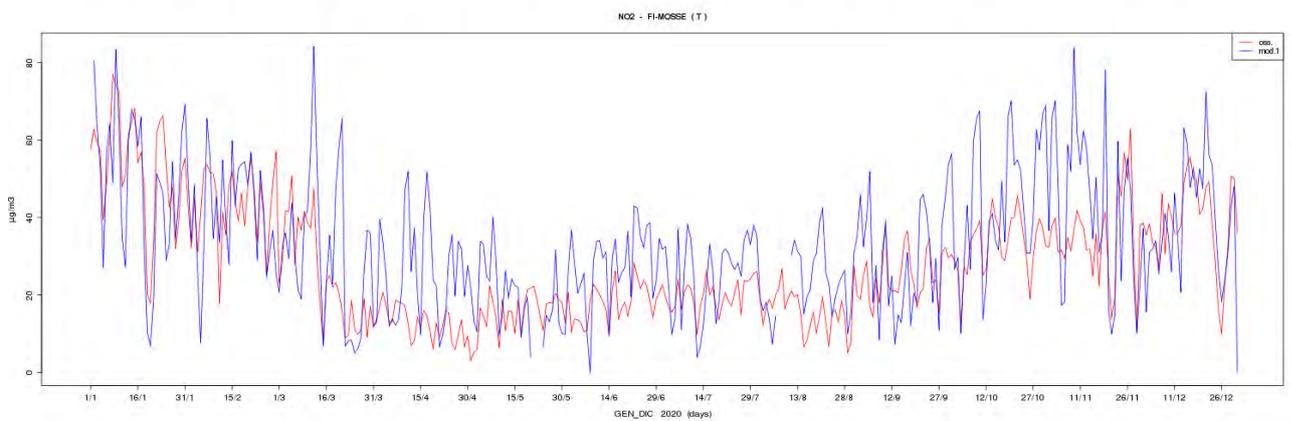
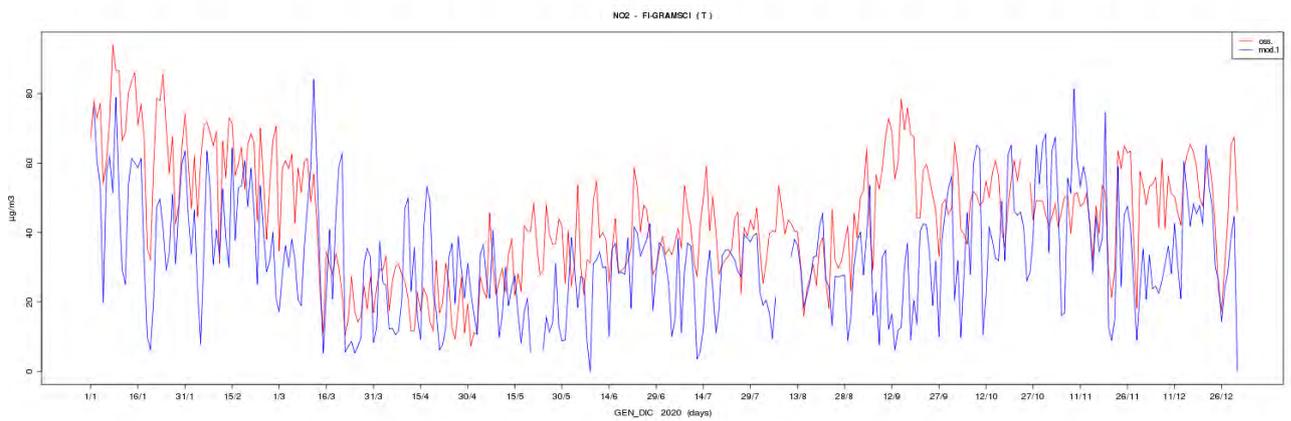
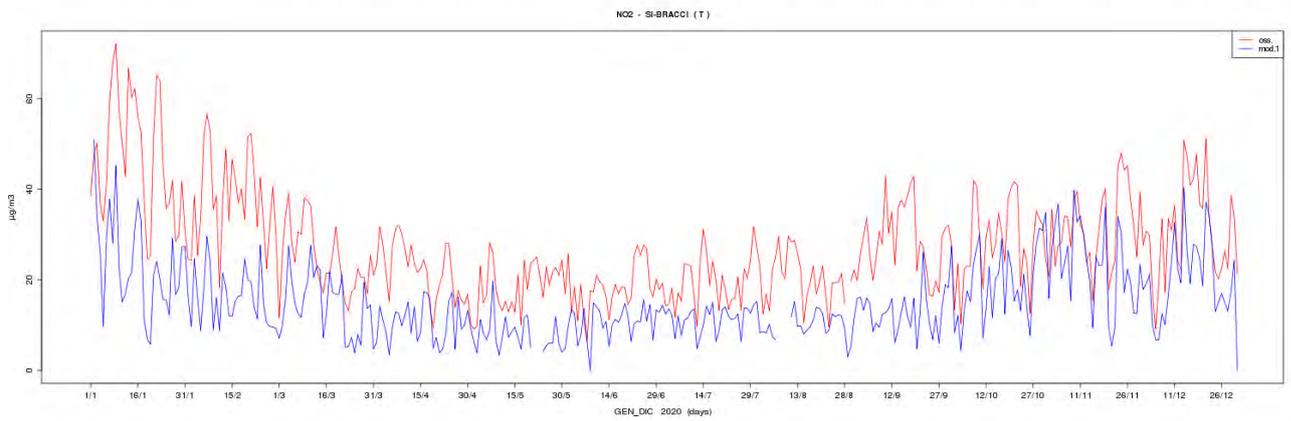
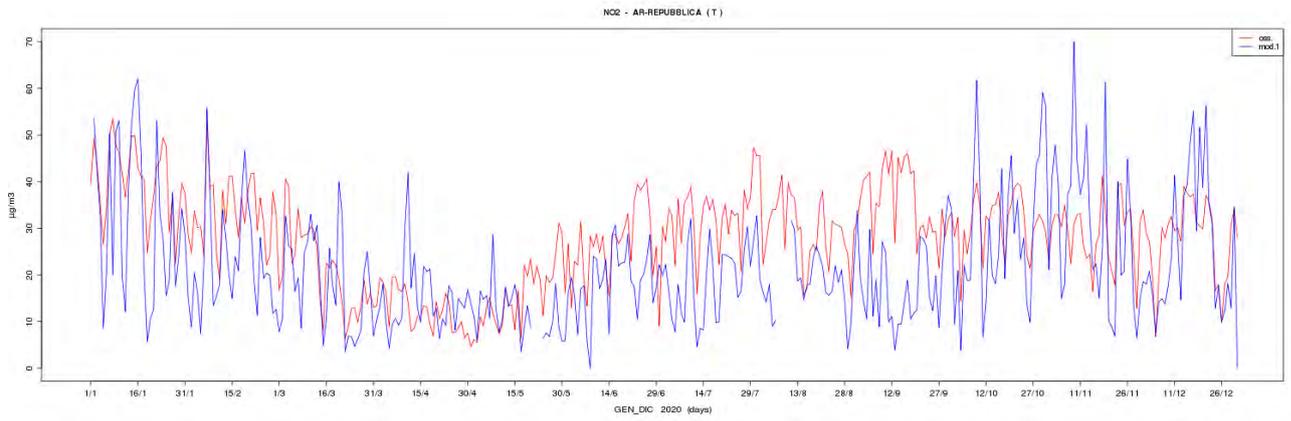


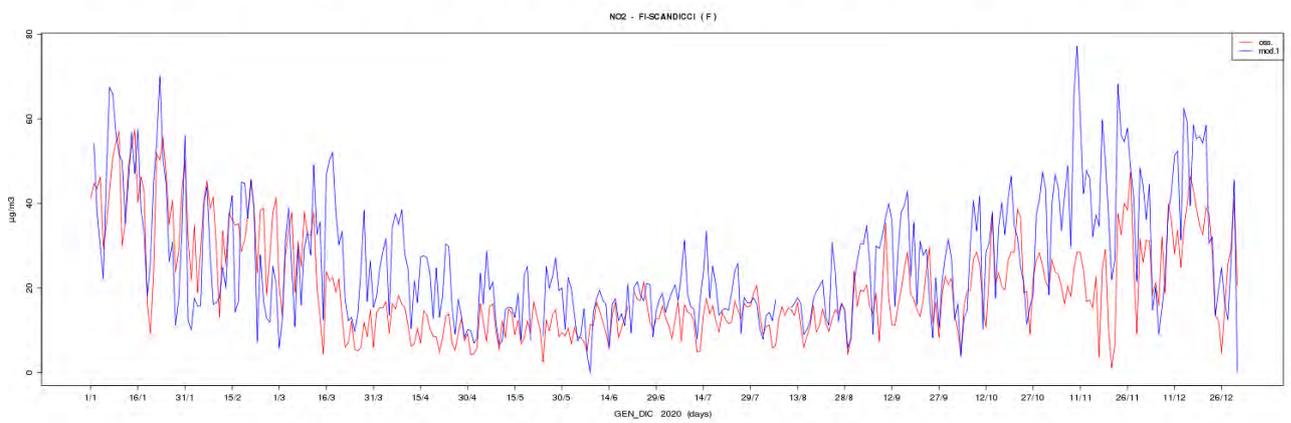
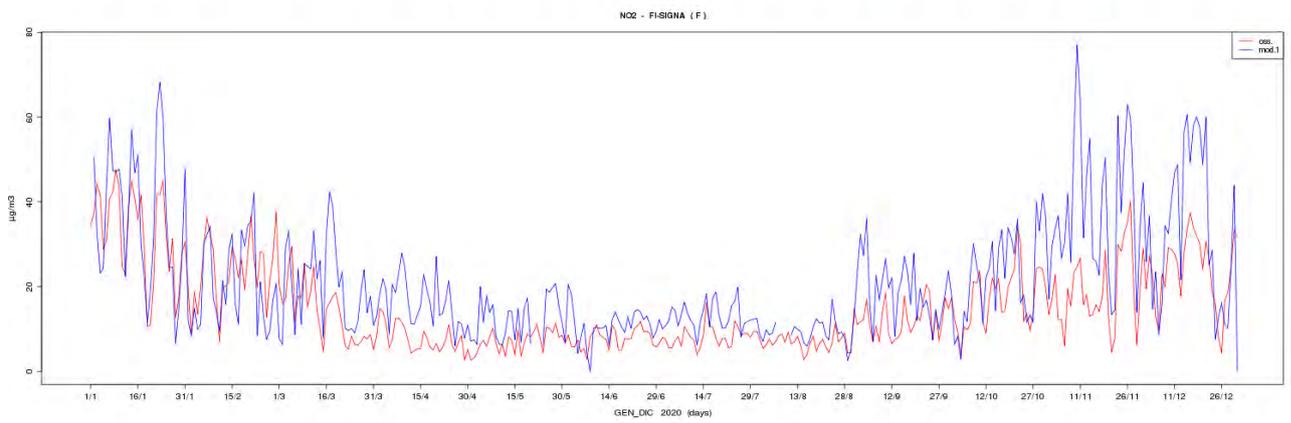
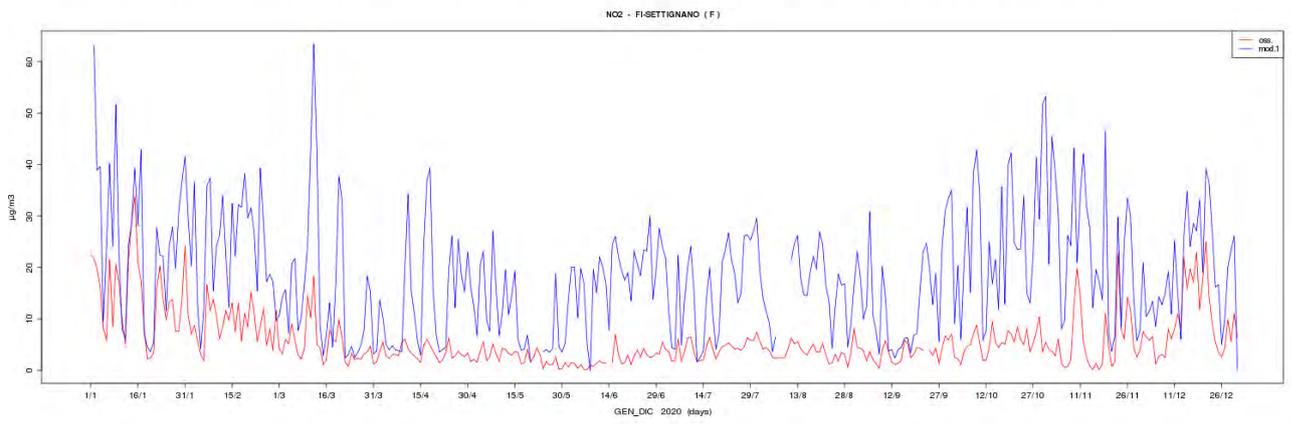
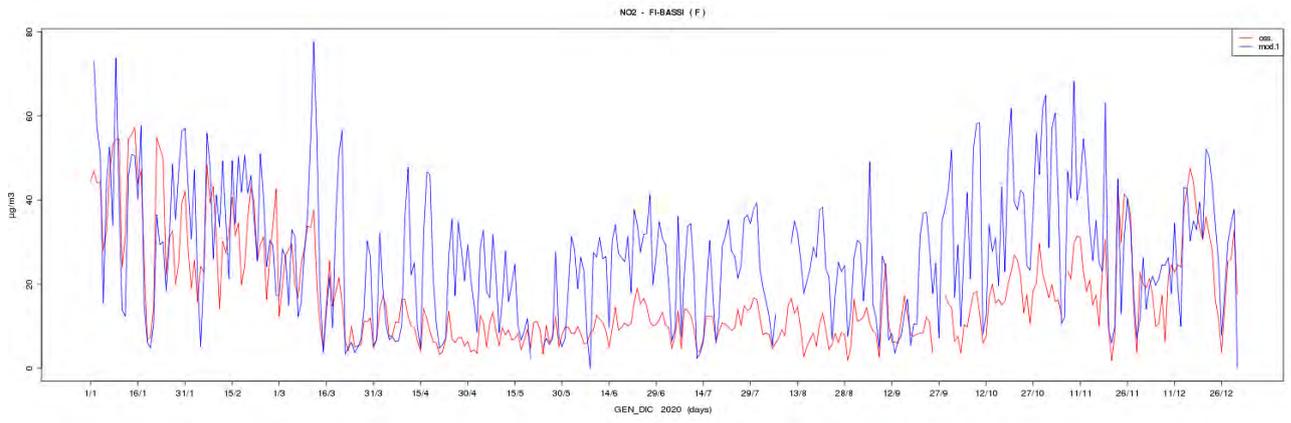


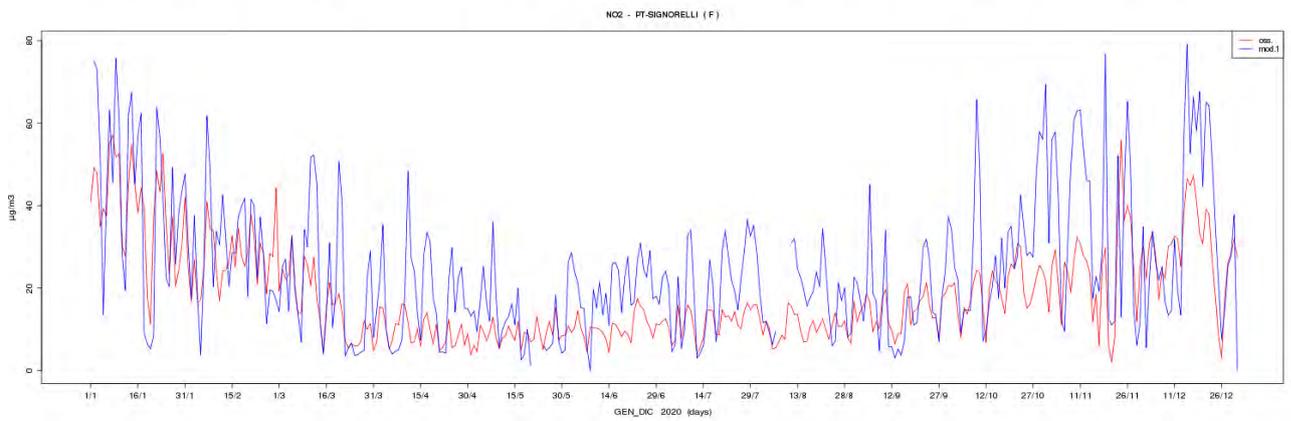
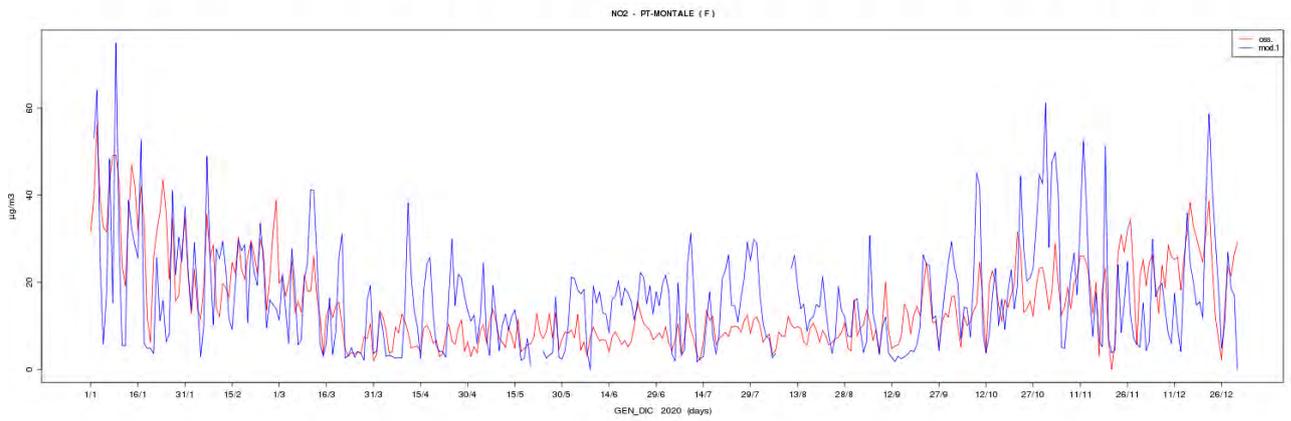
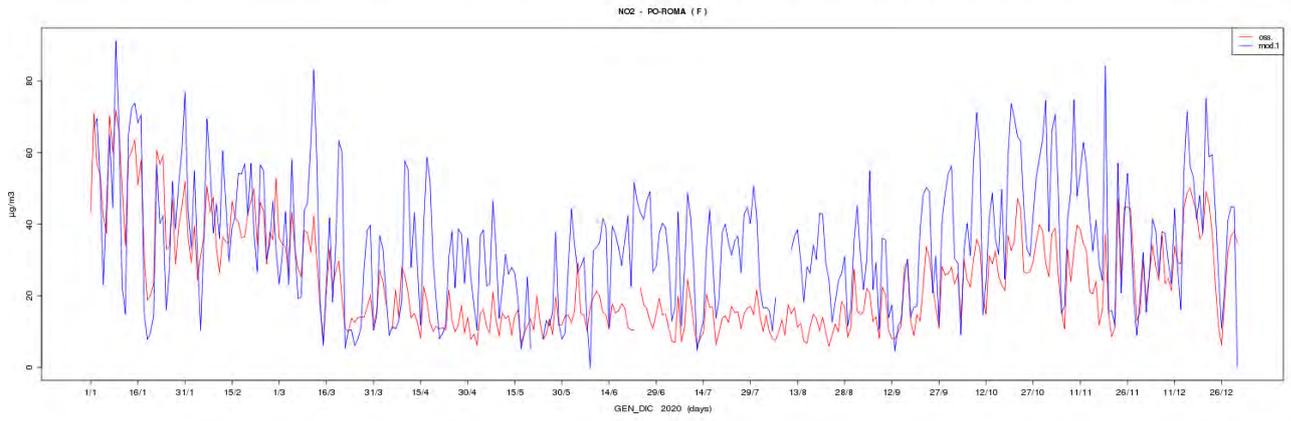
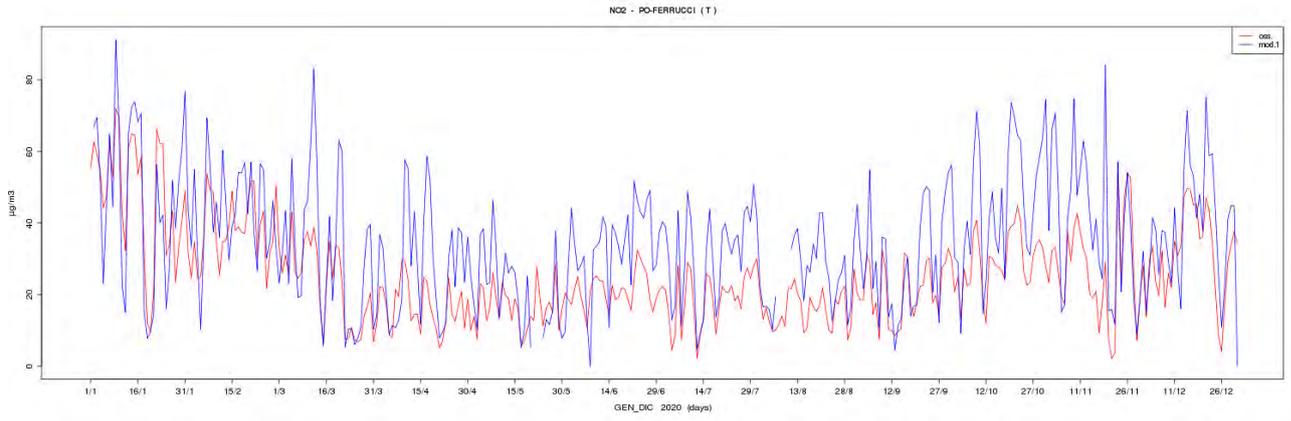
Serie storiche 2020

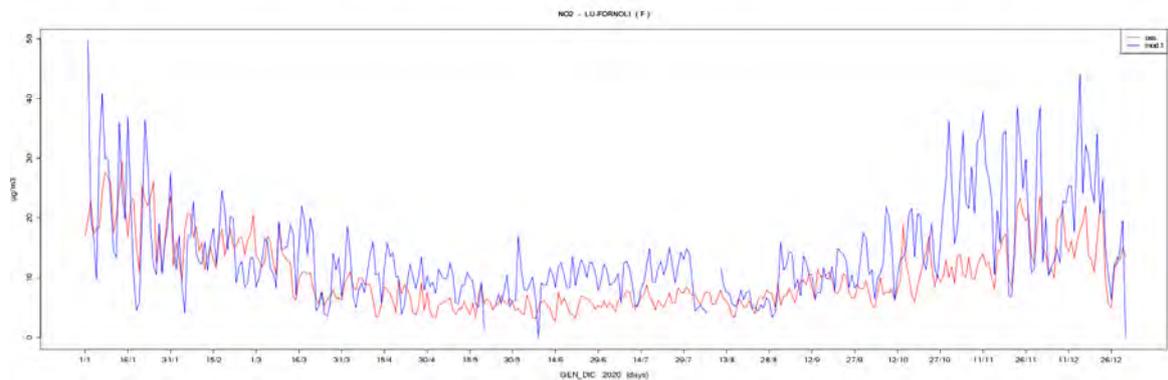
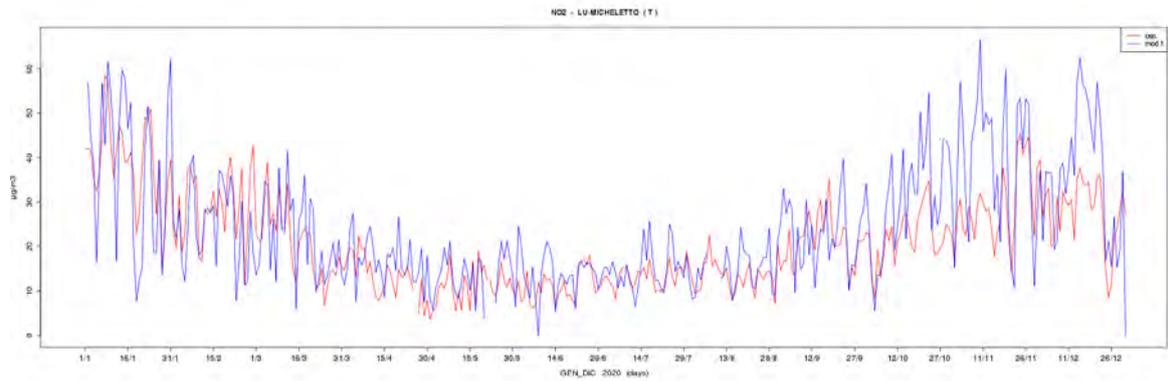
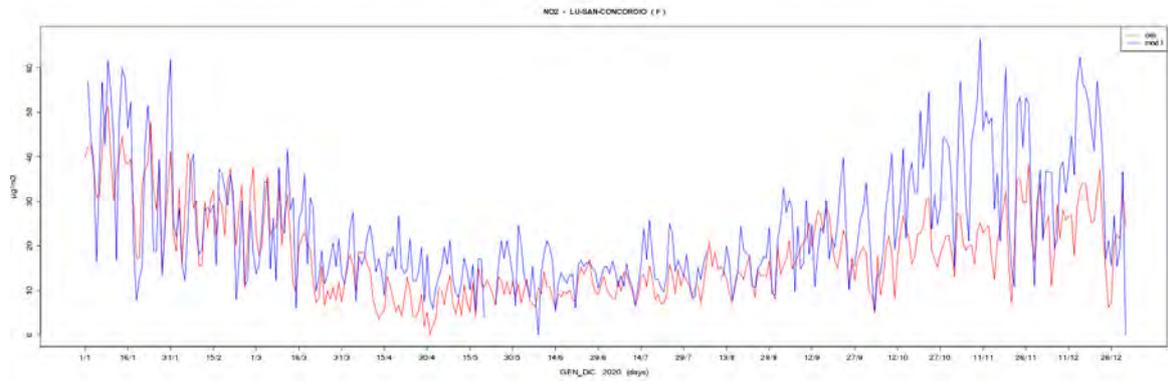
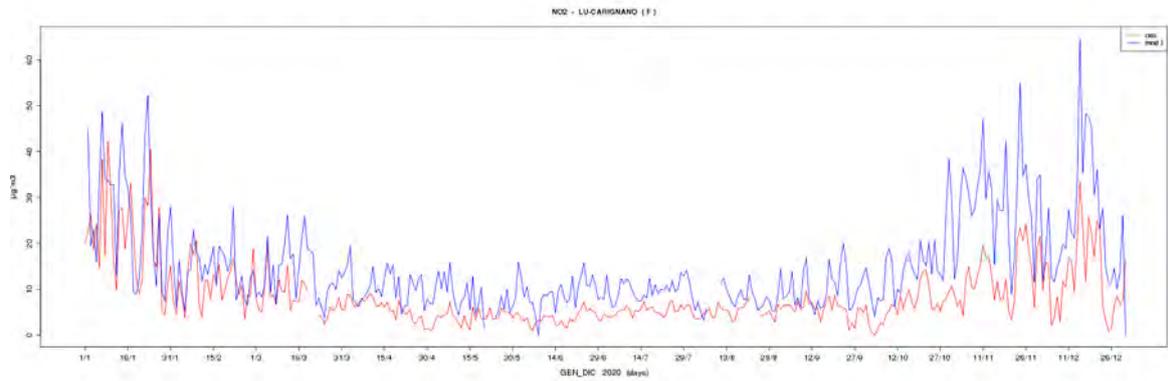
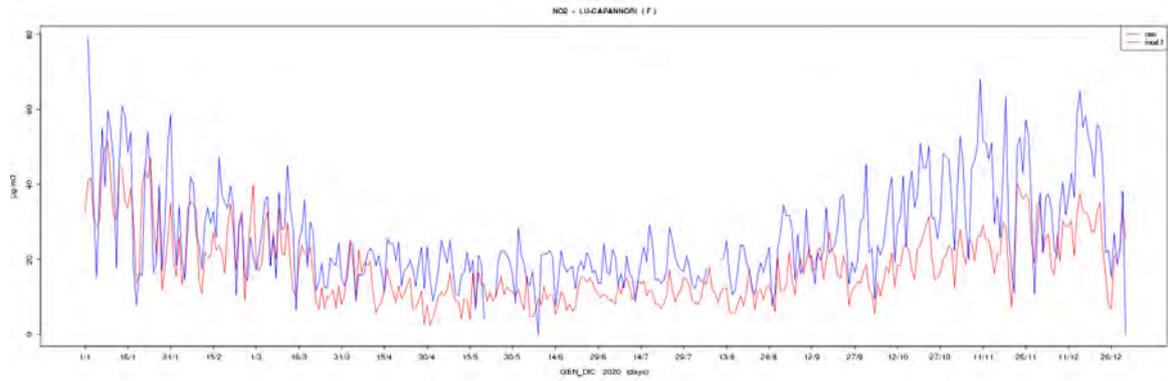
NO2

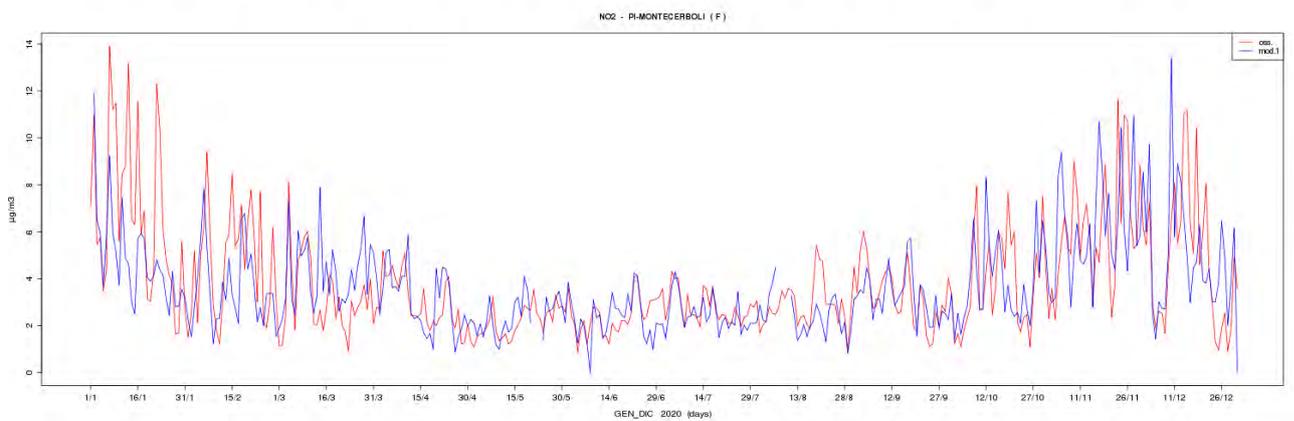
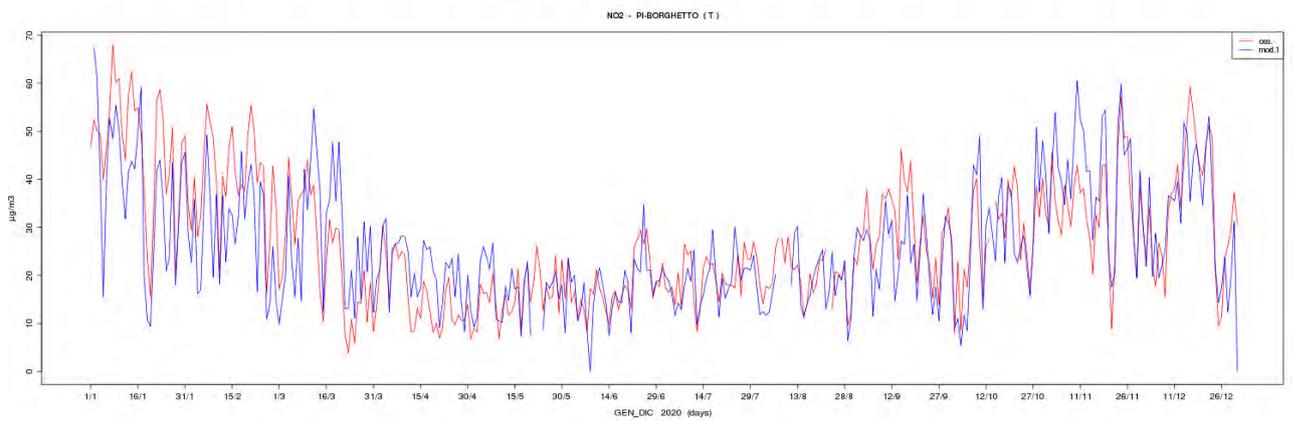
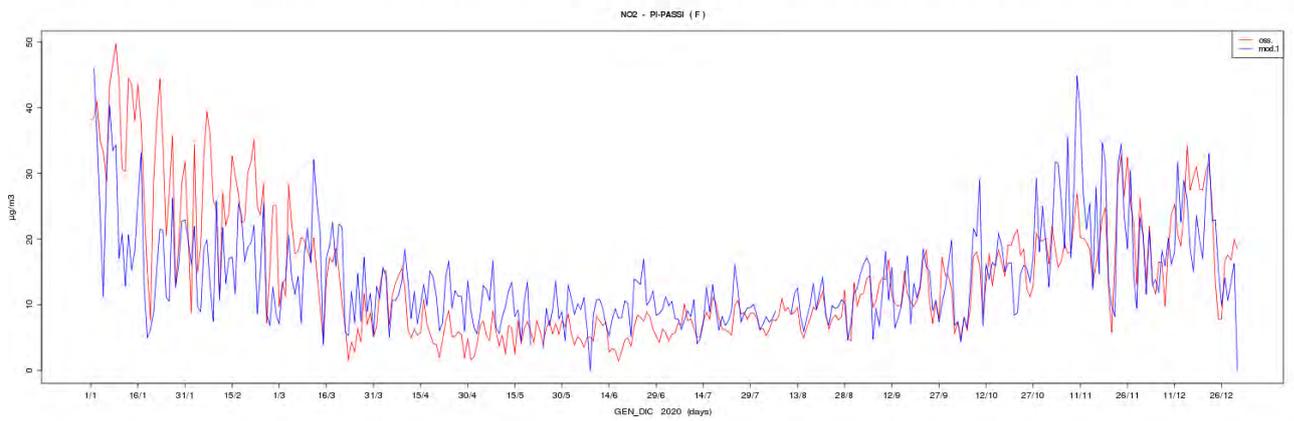
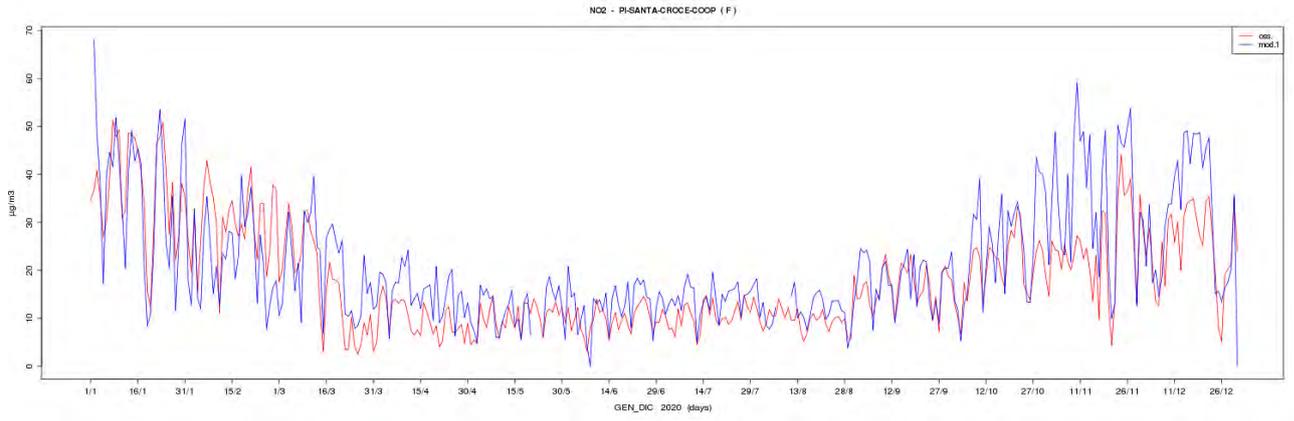


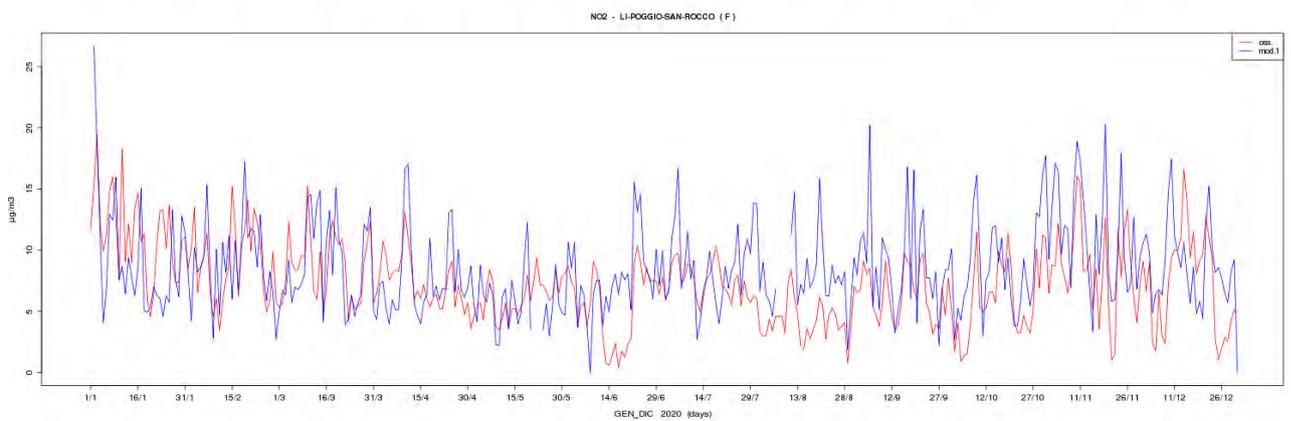
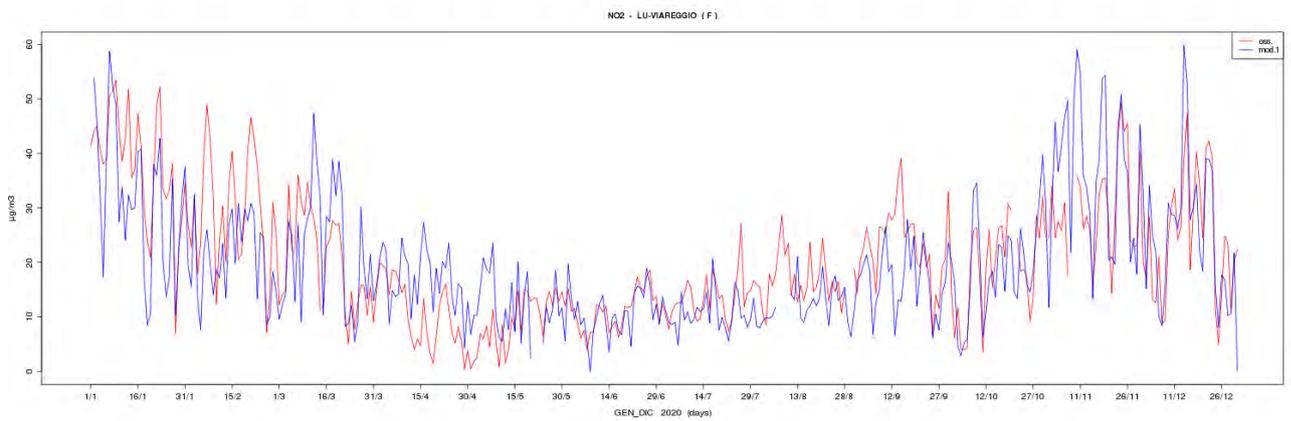
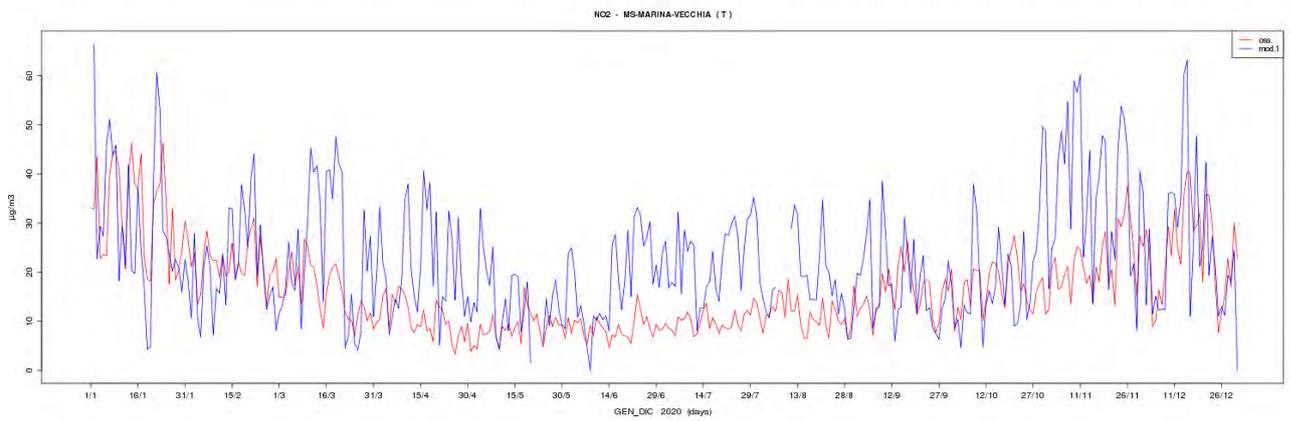
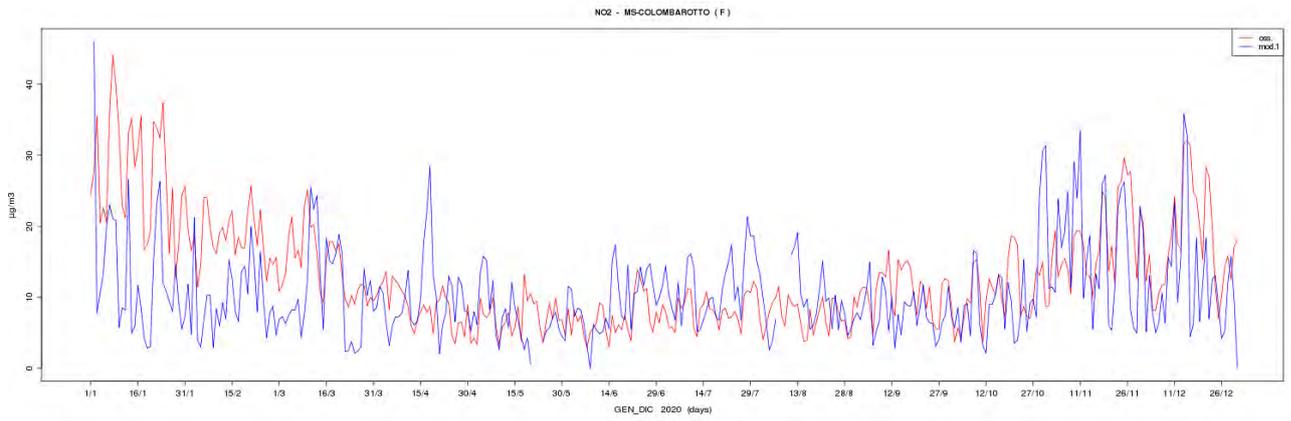


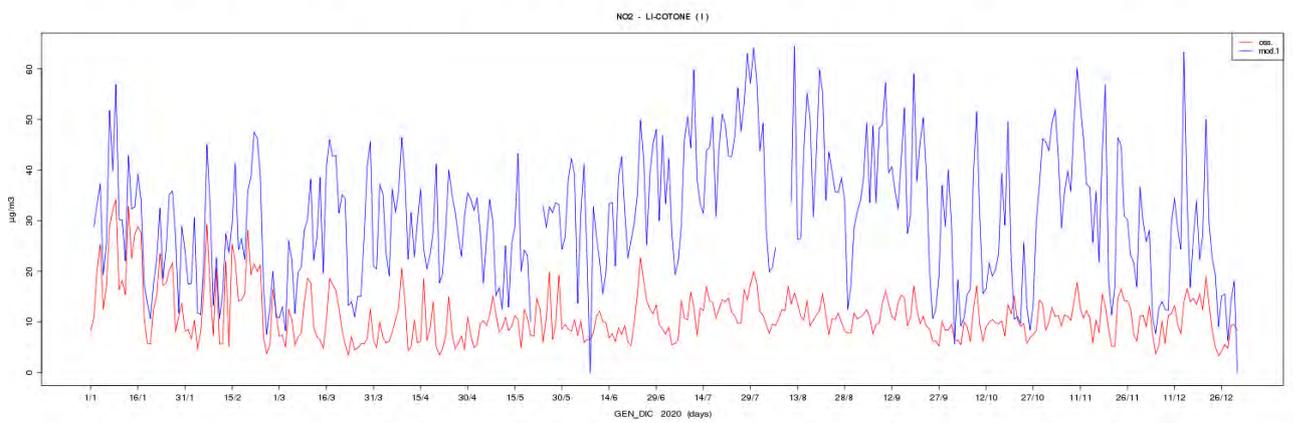
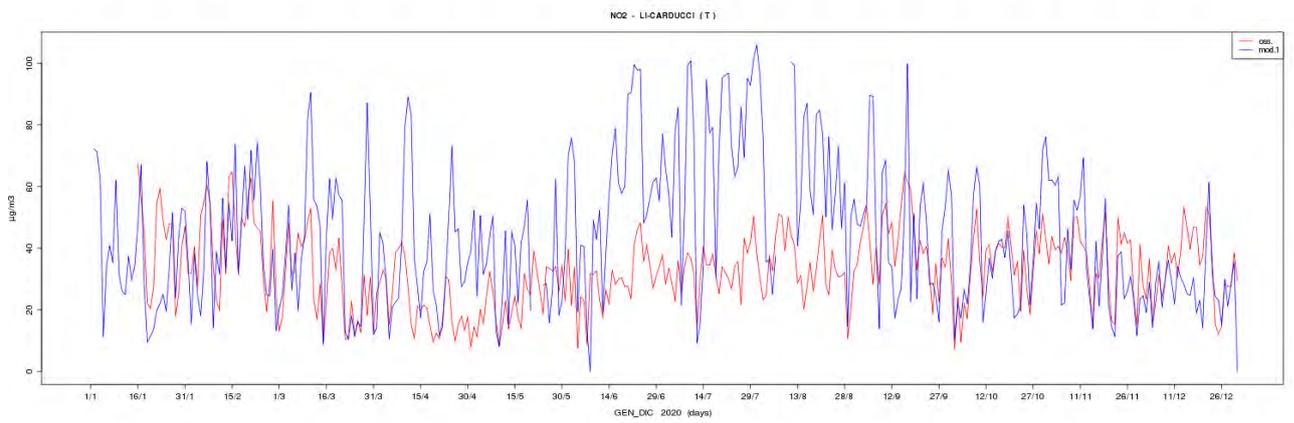
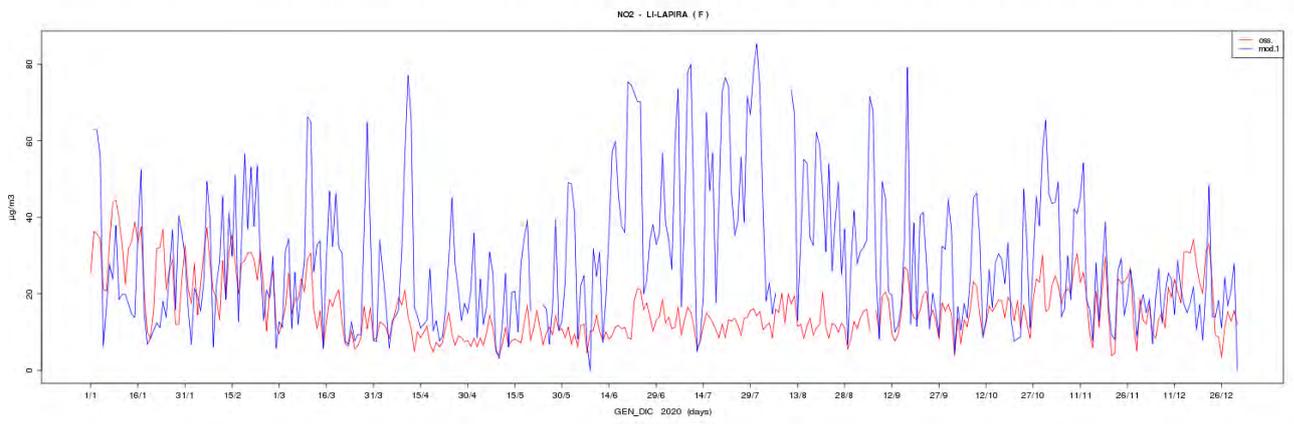
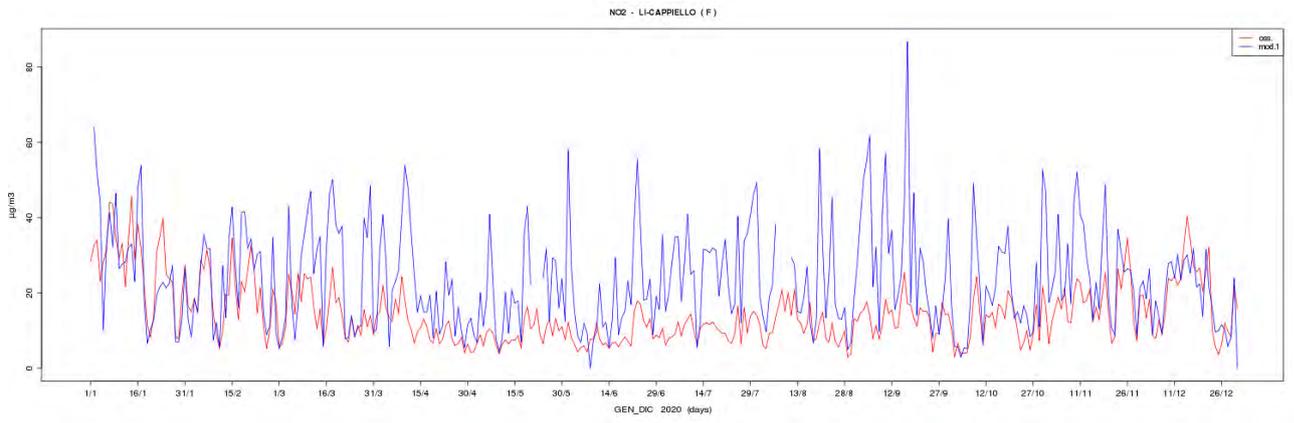


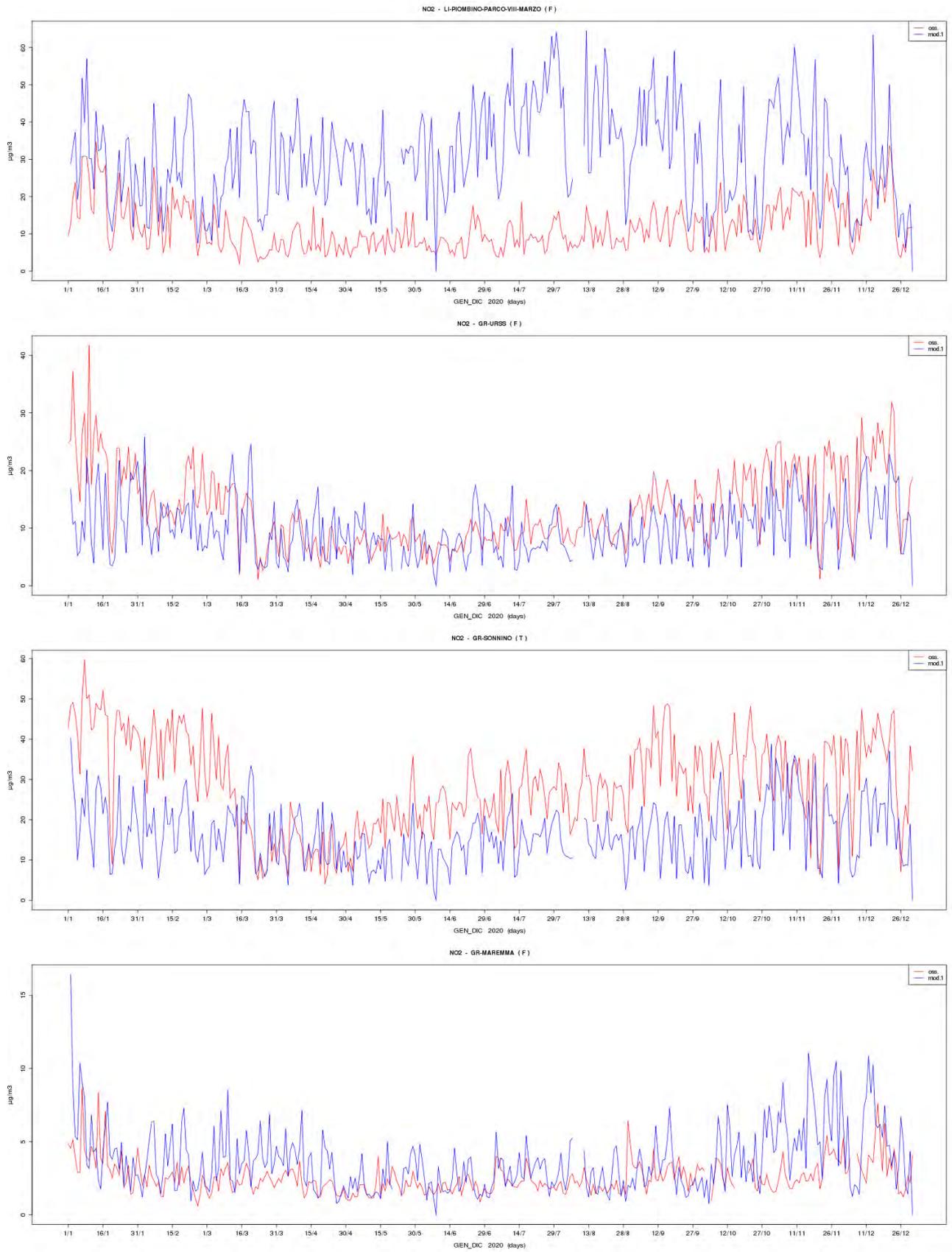






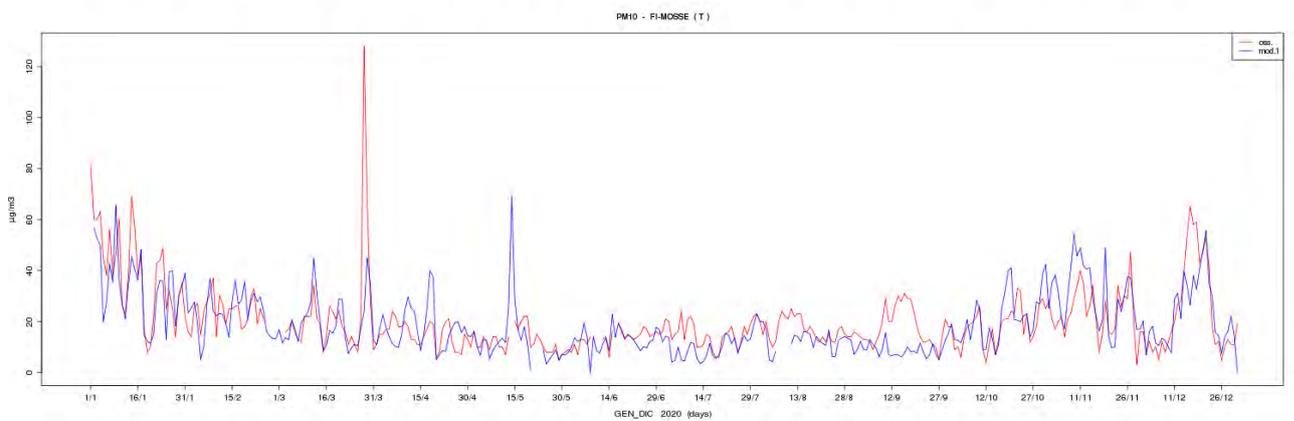
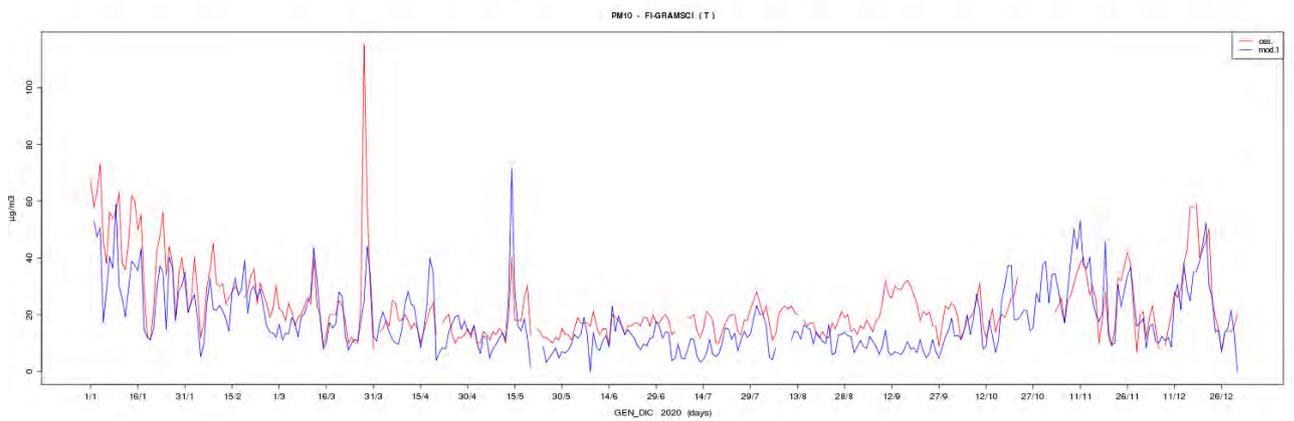
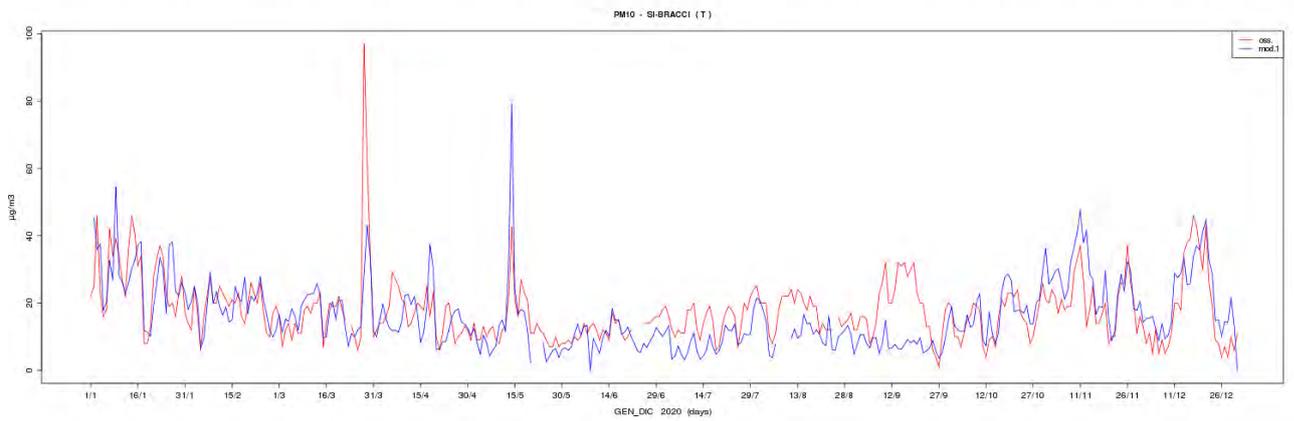
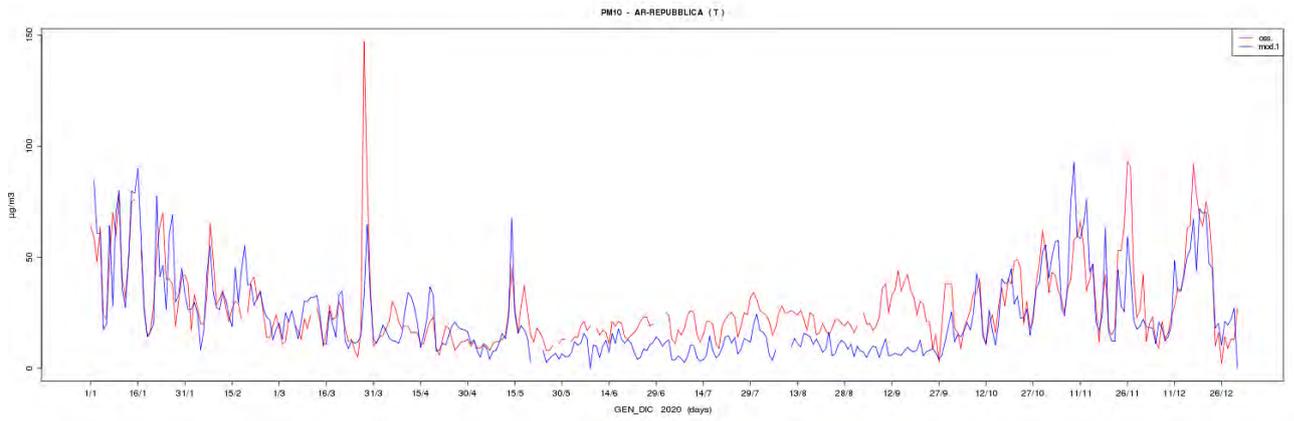


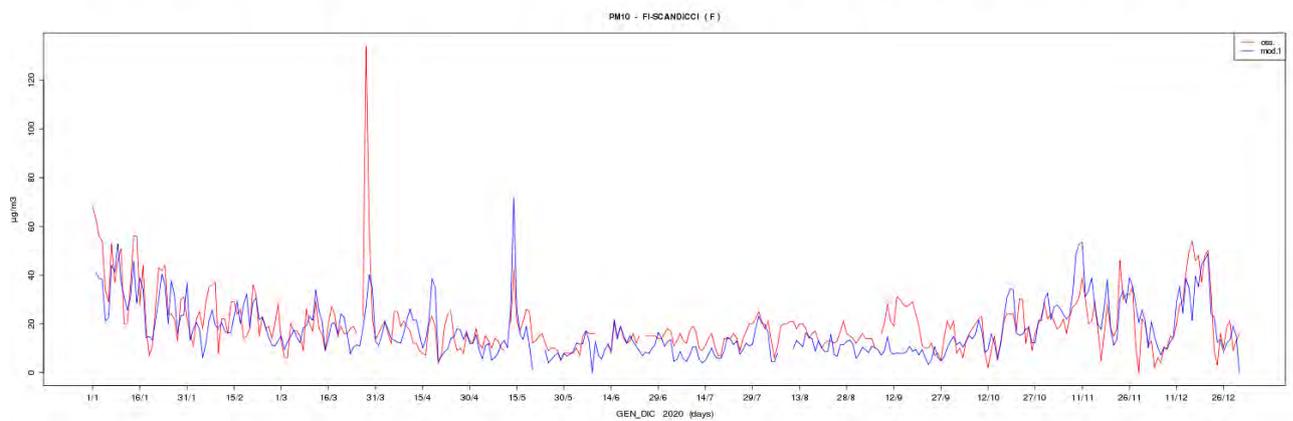
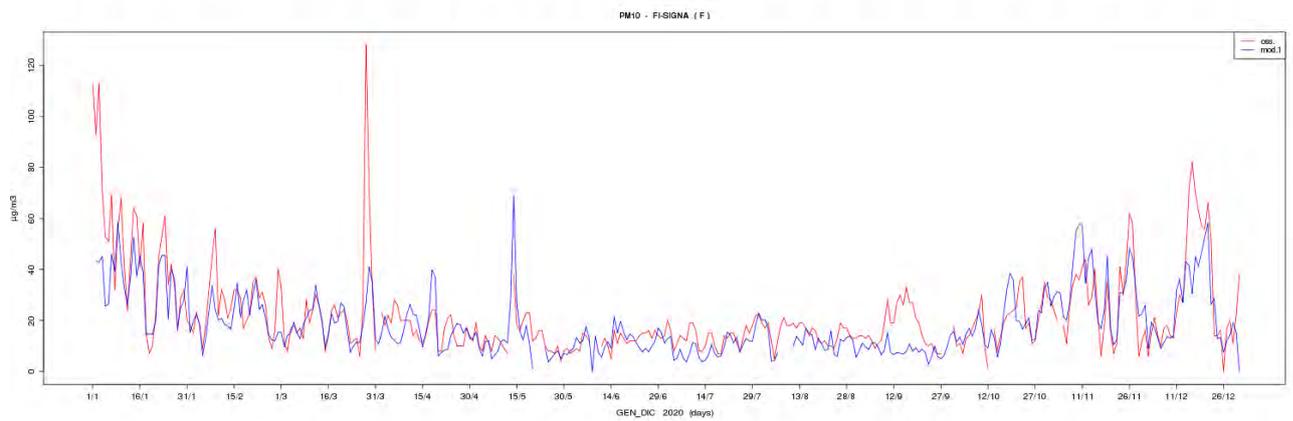
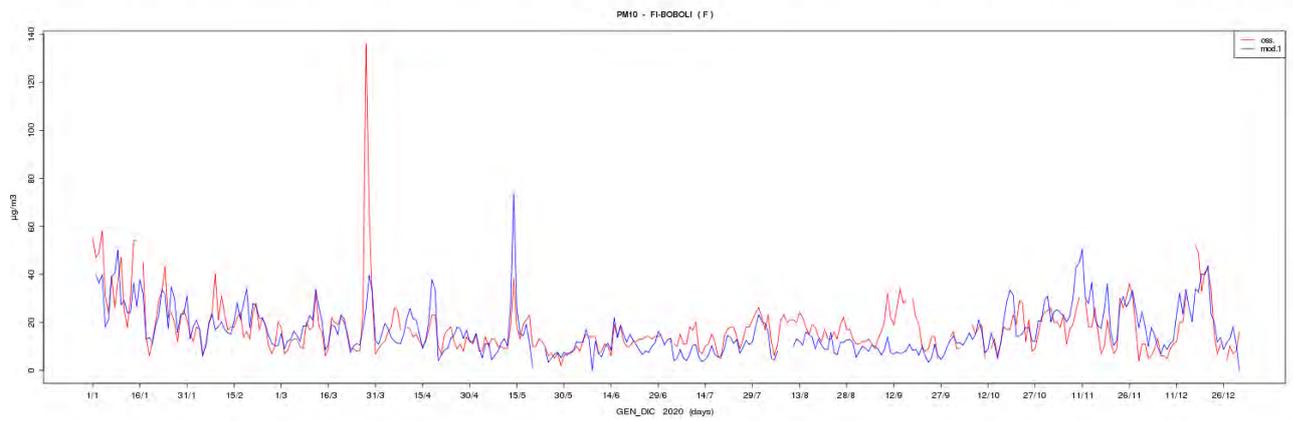
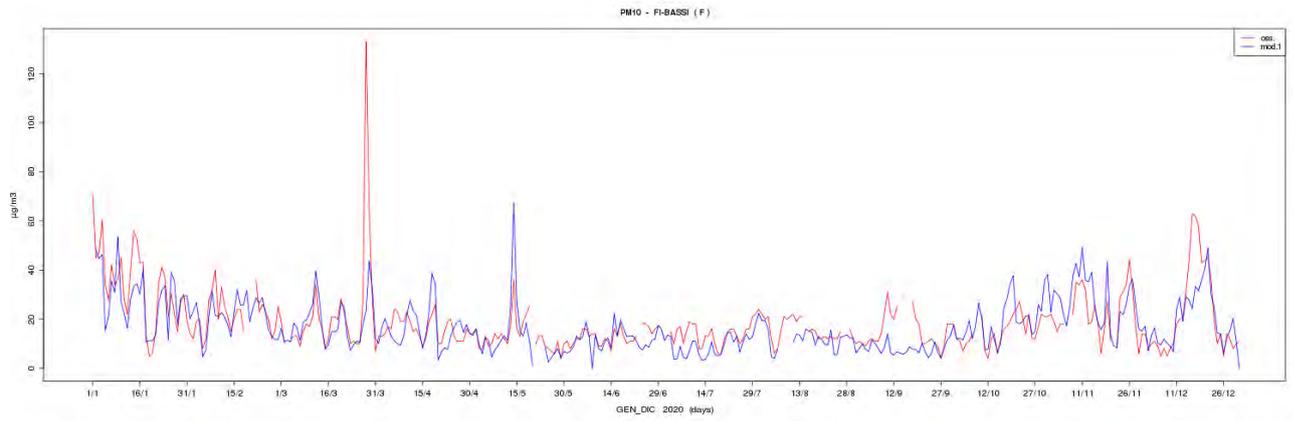


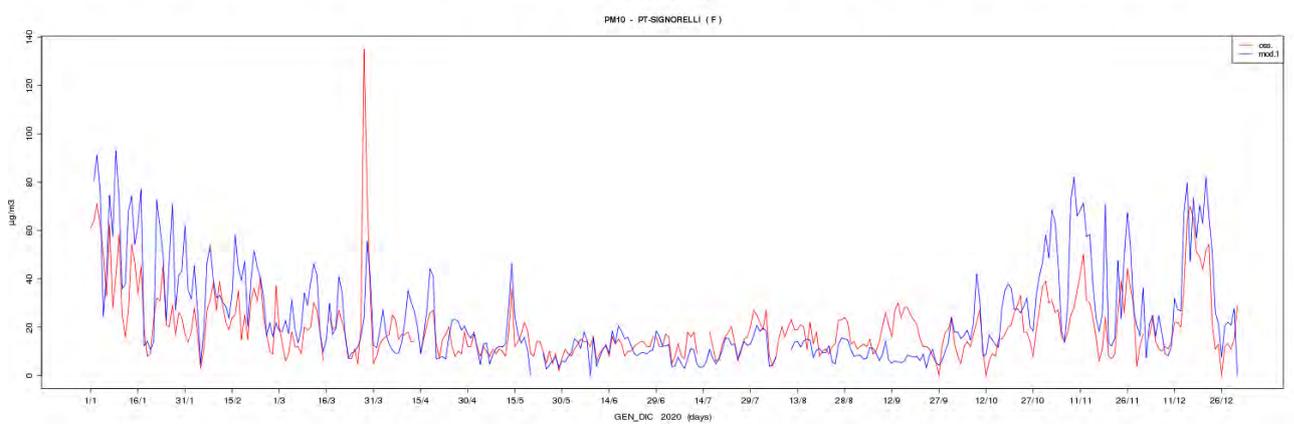
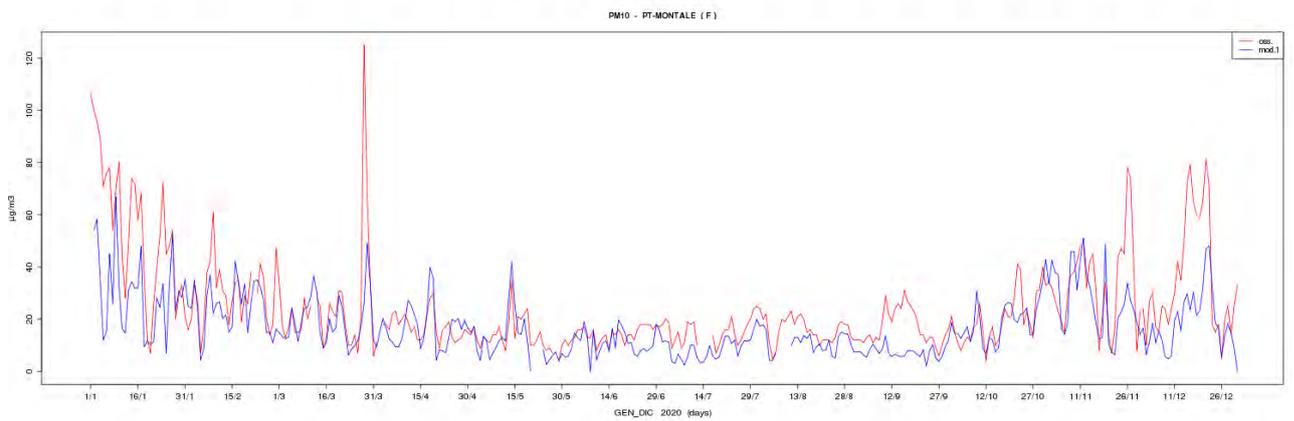
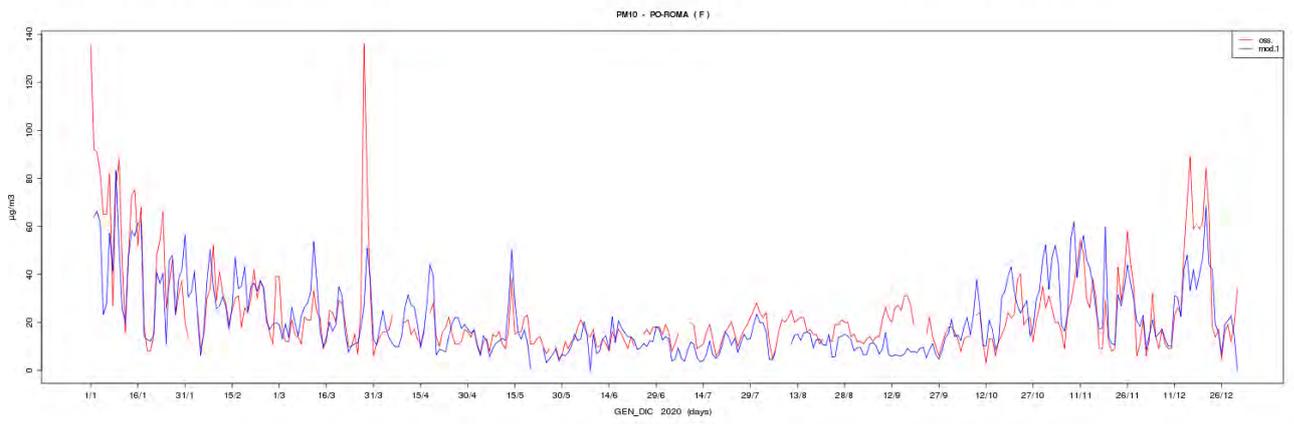
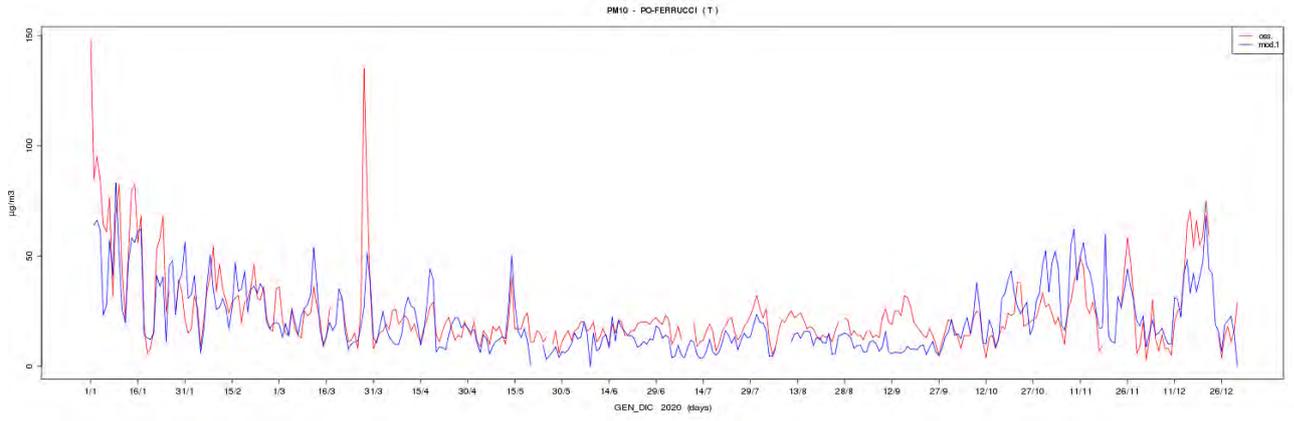


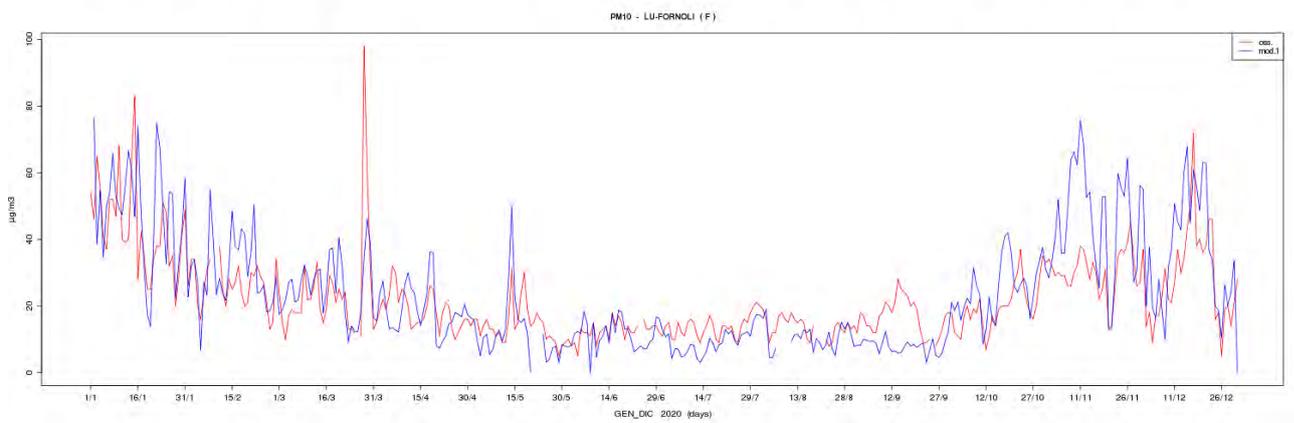
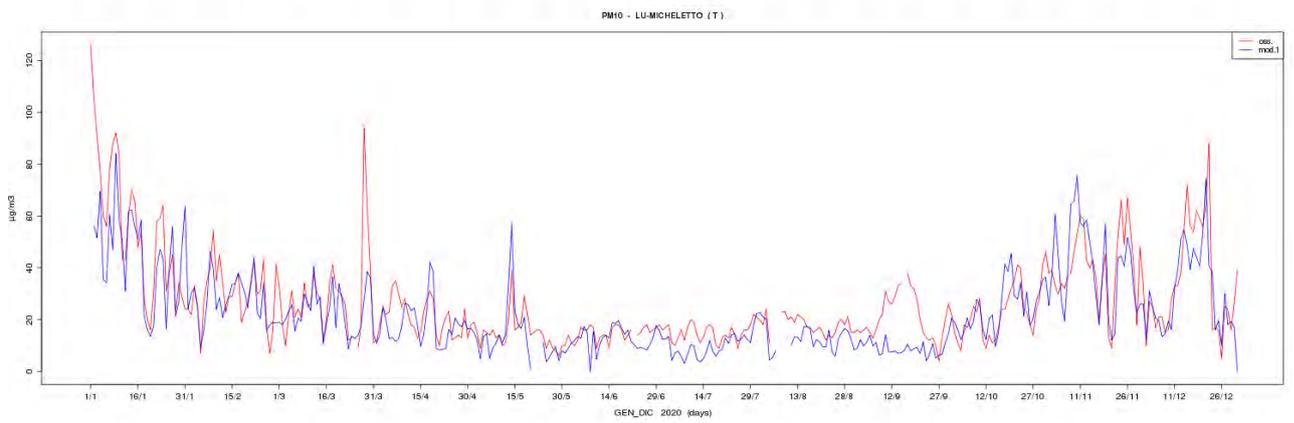
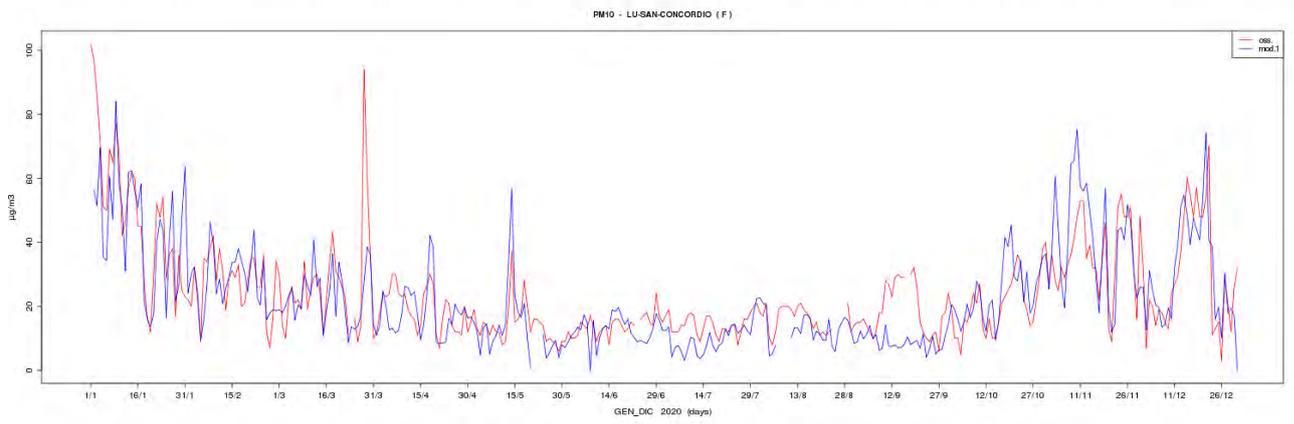
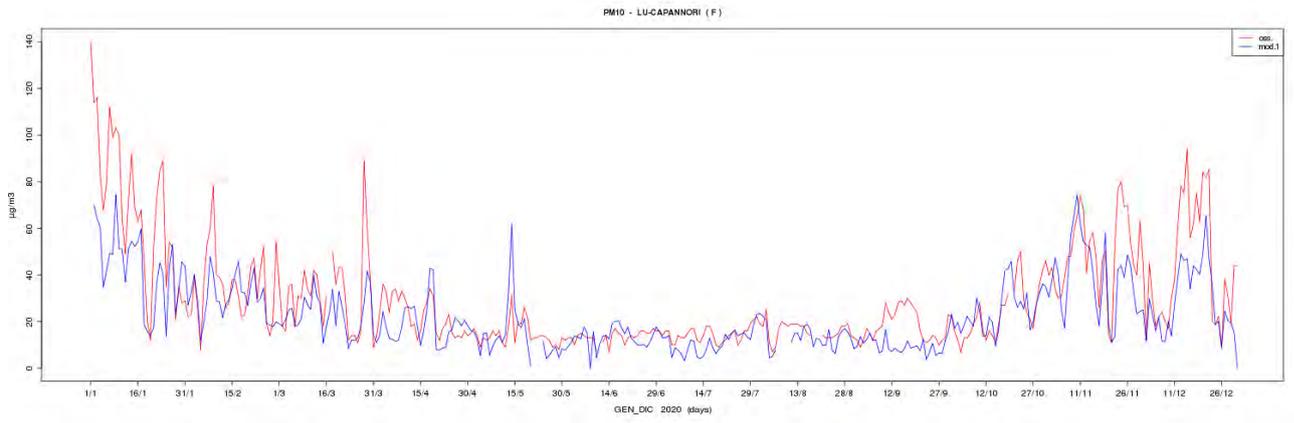
PM10

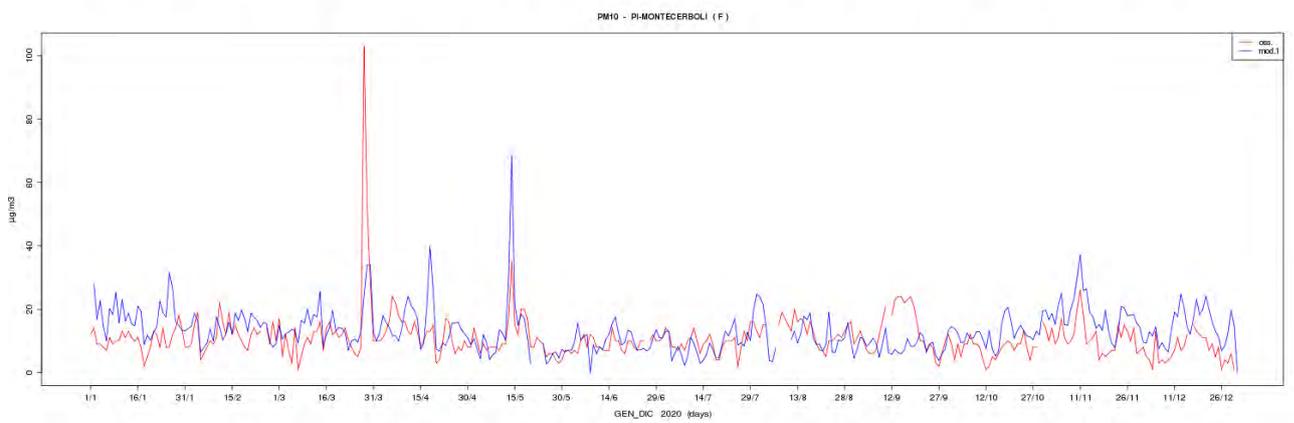
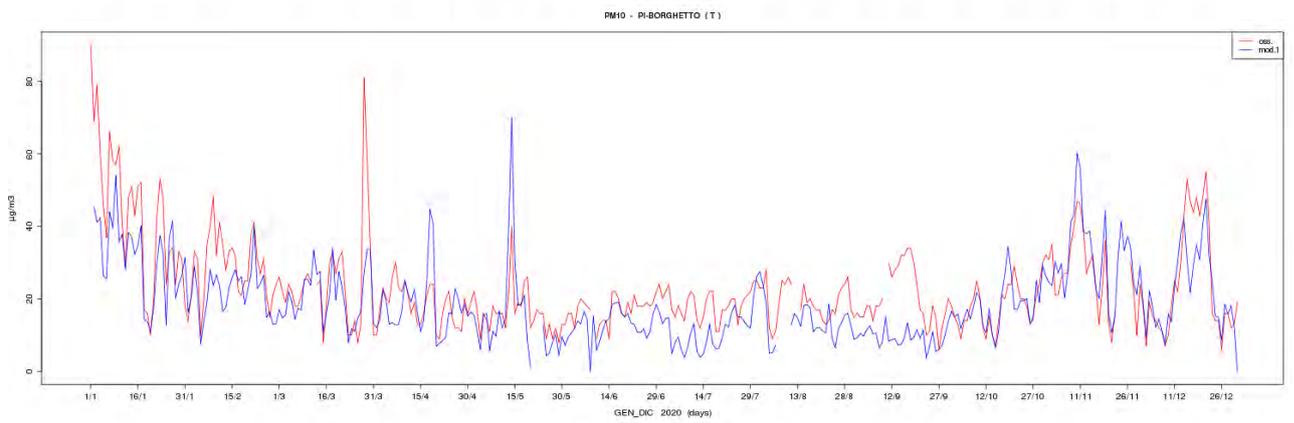
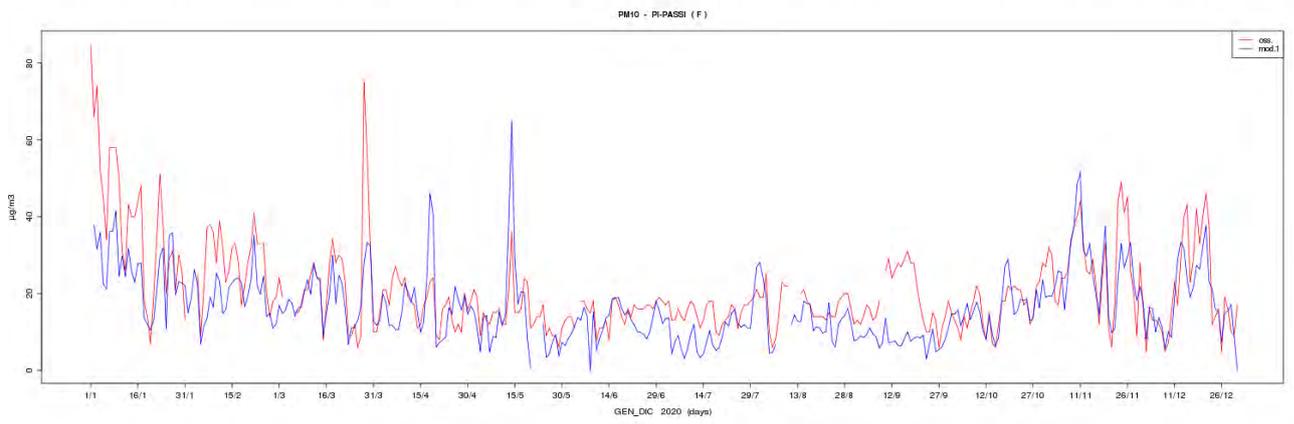
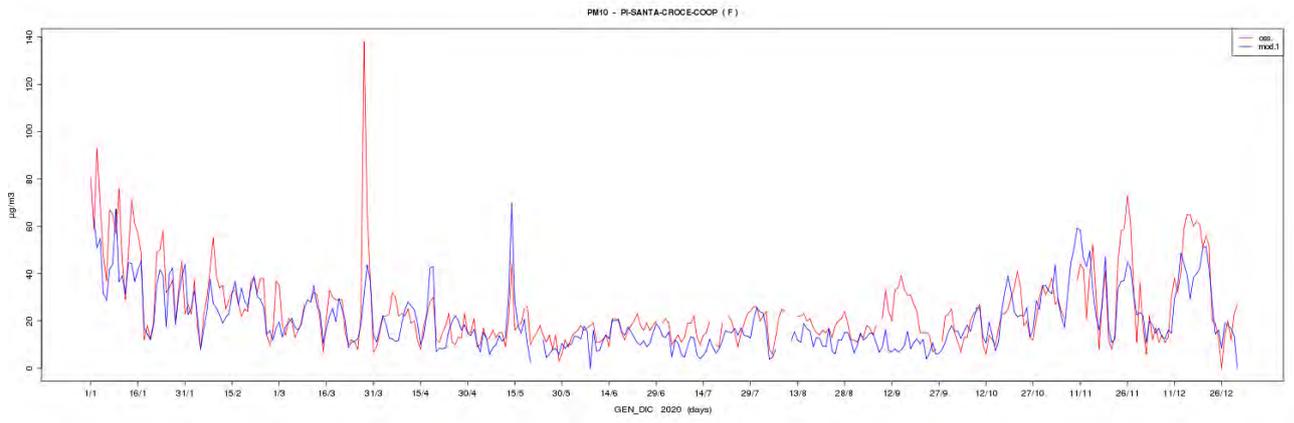


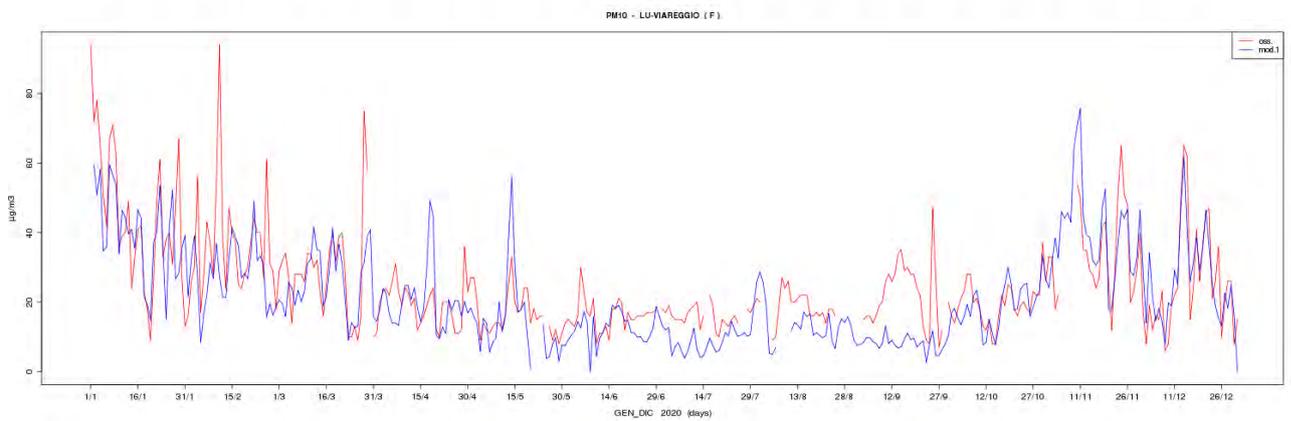
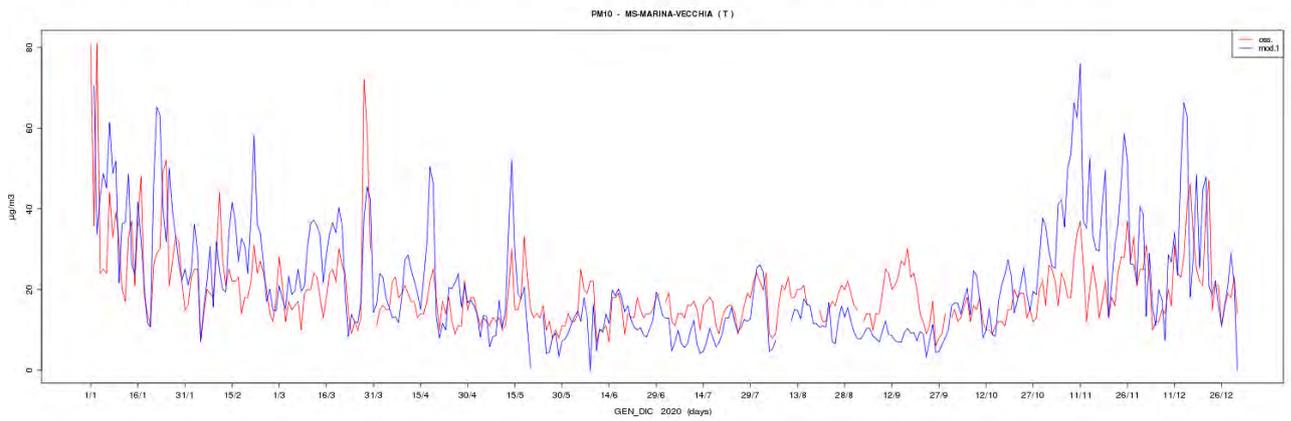
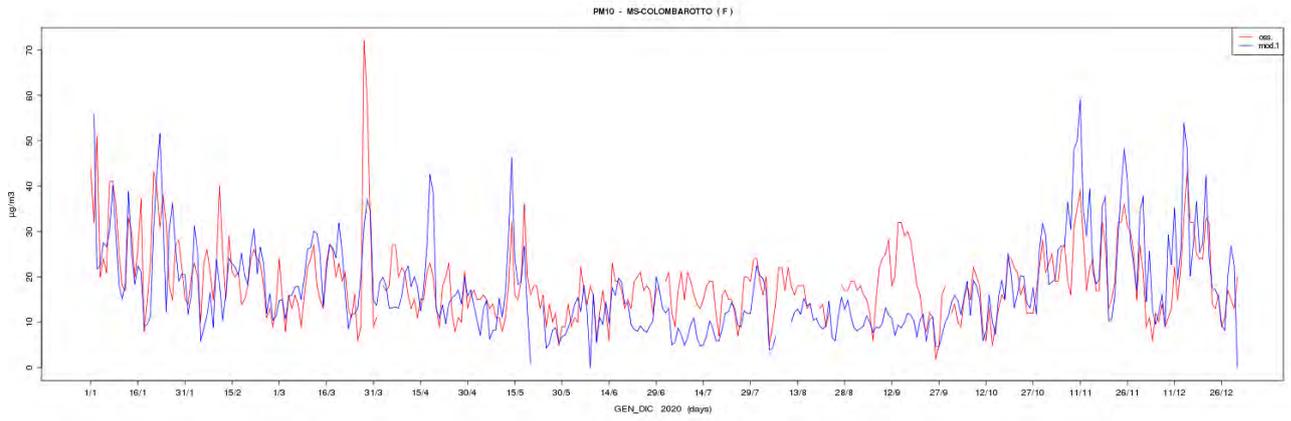


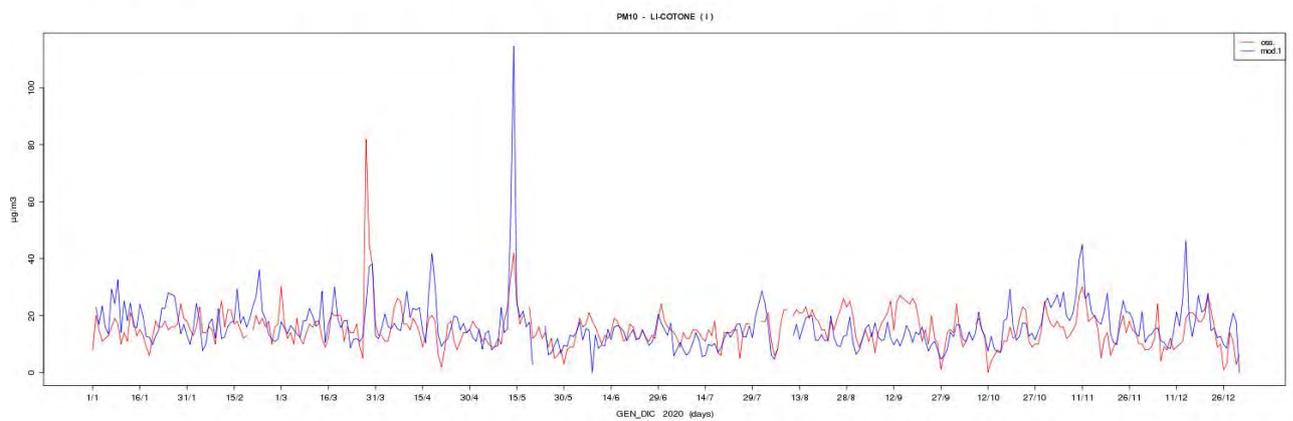
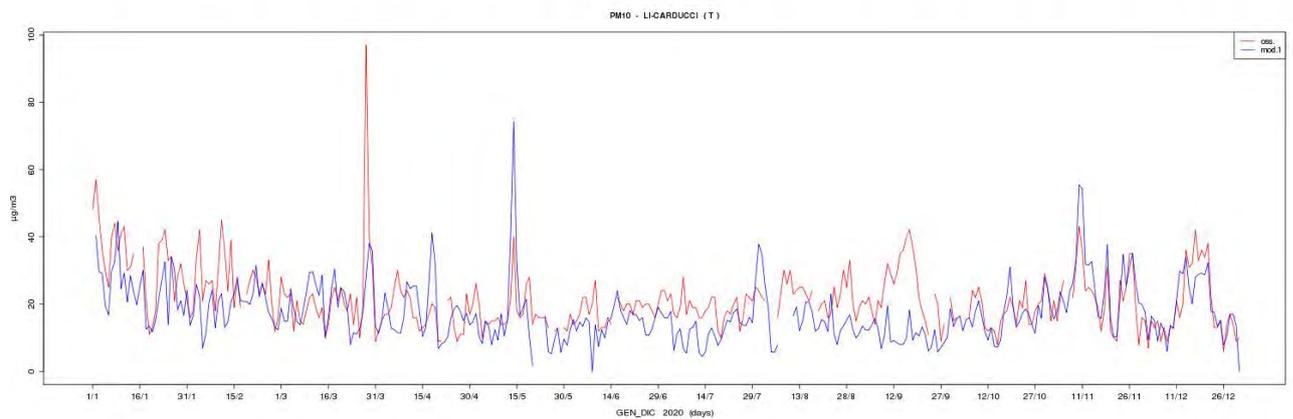
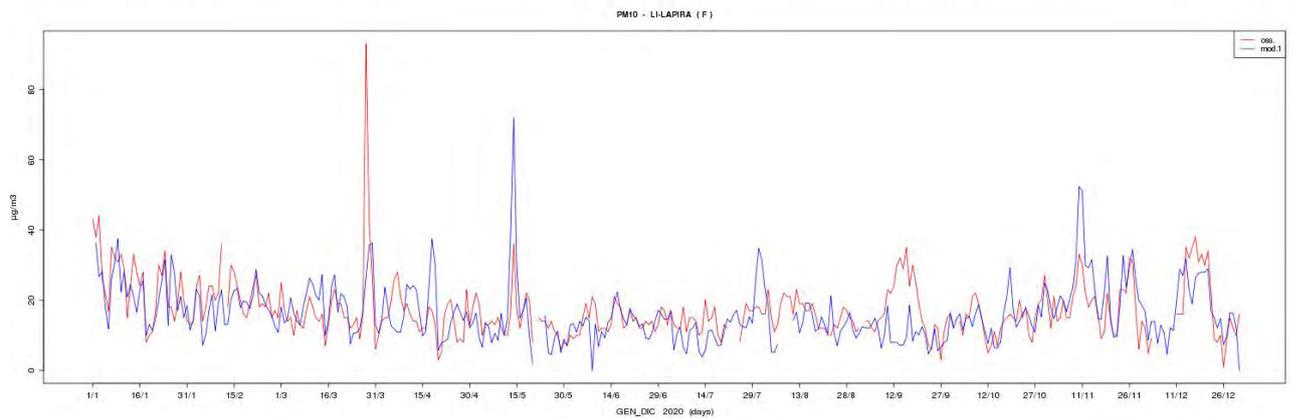
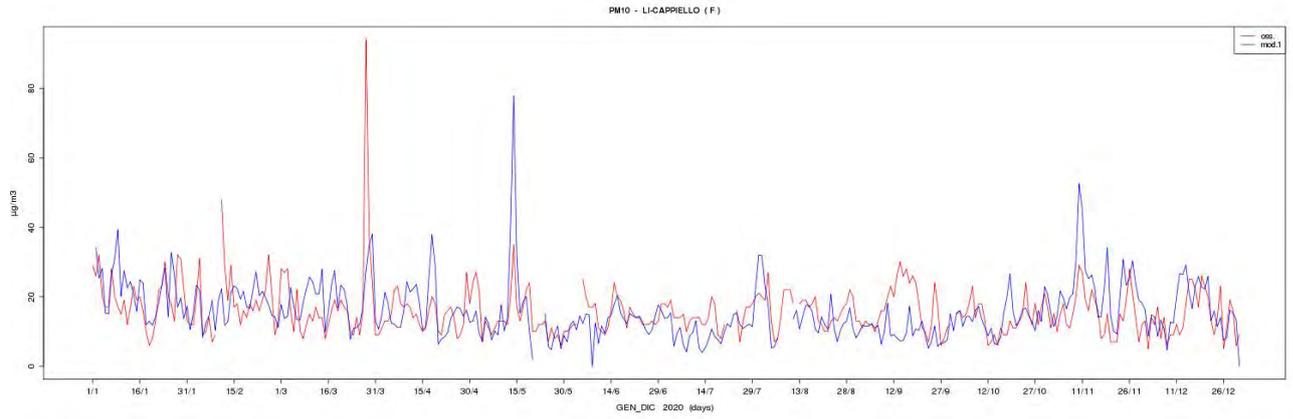


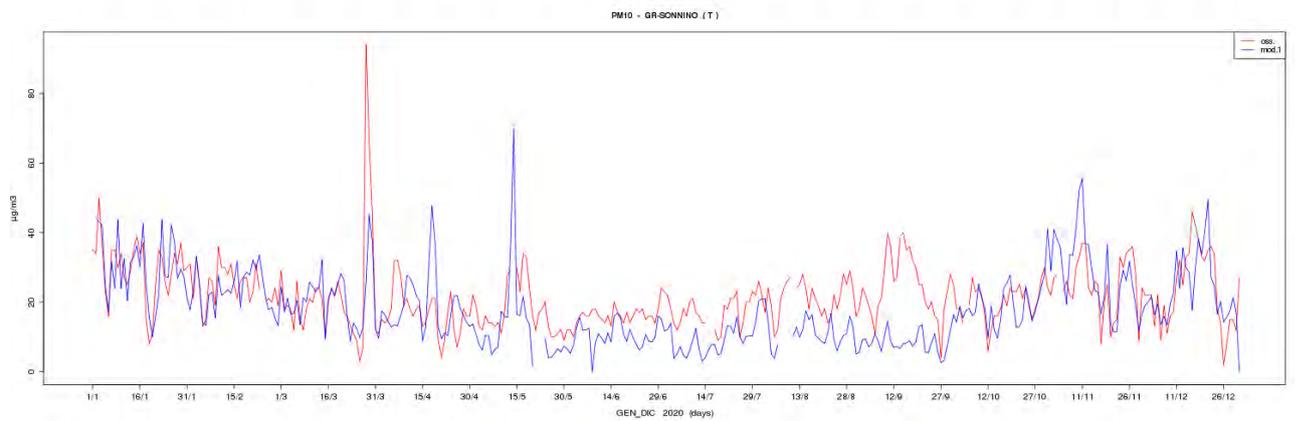
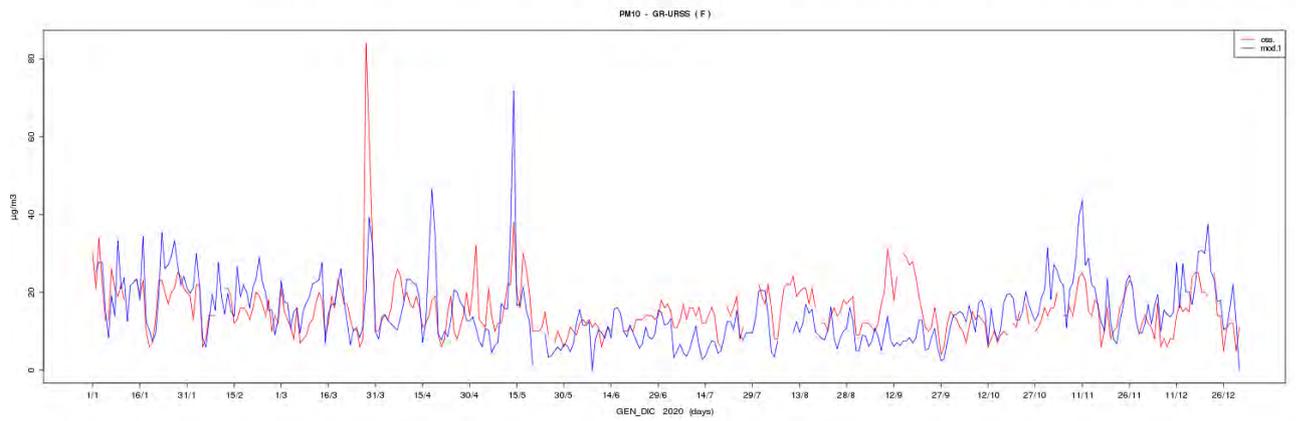
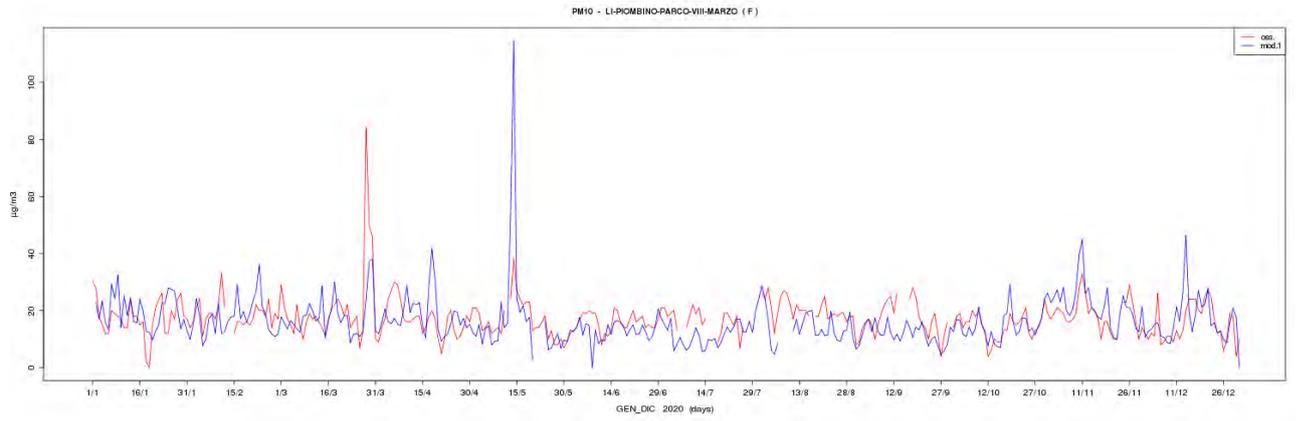




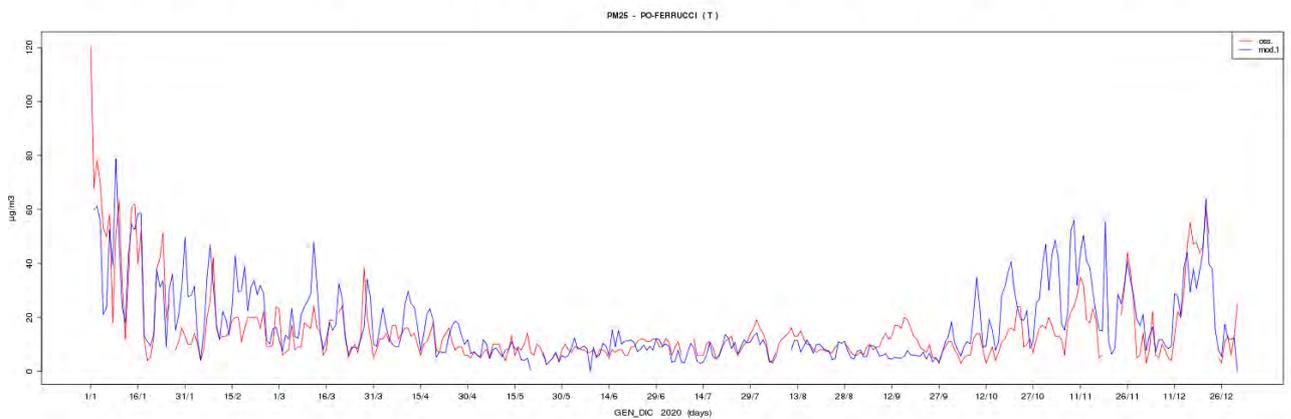
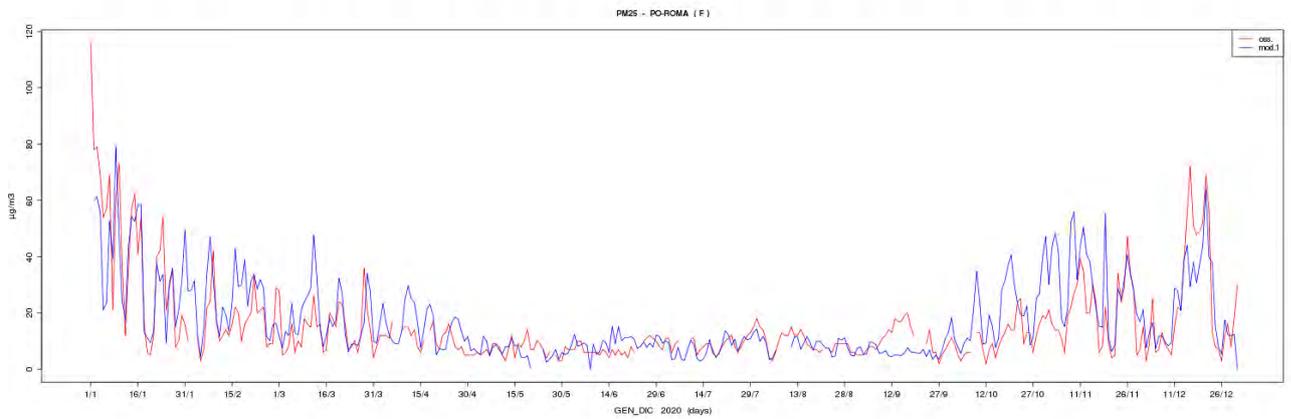
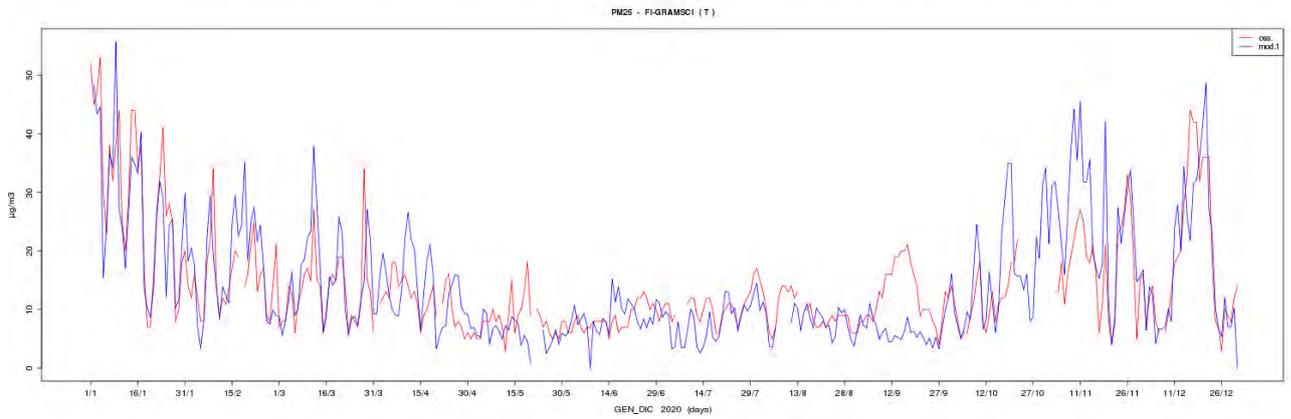
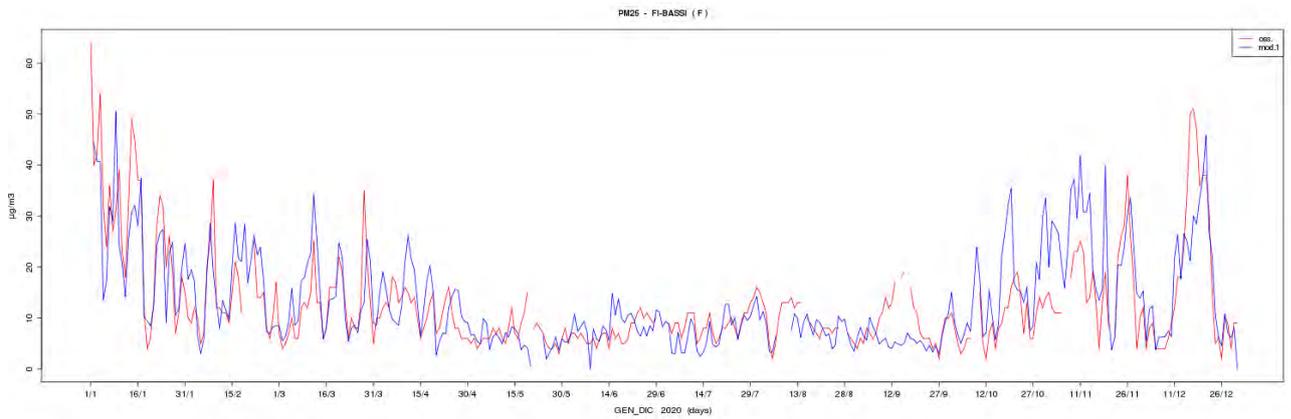


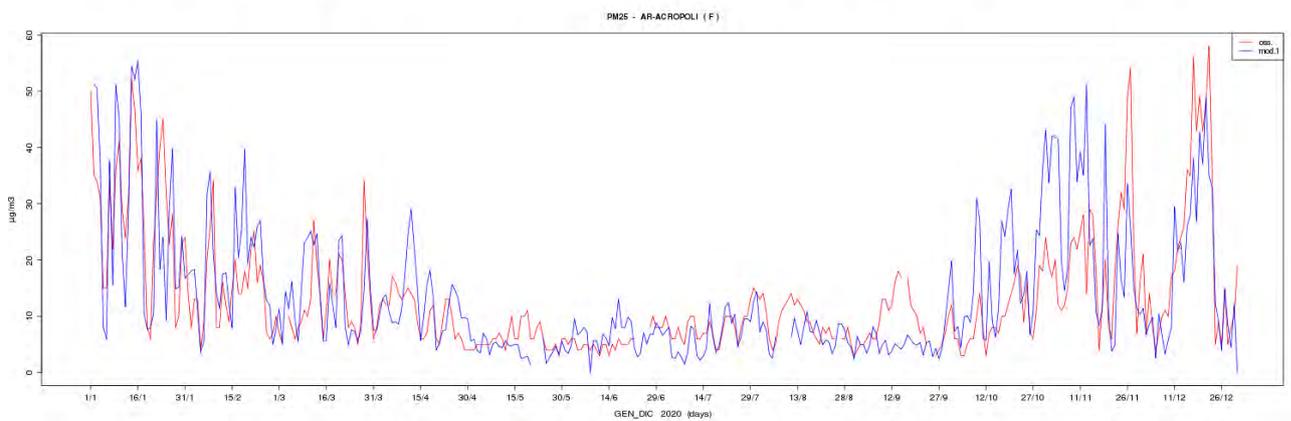
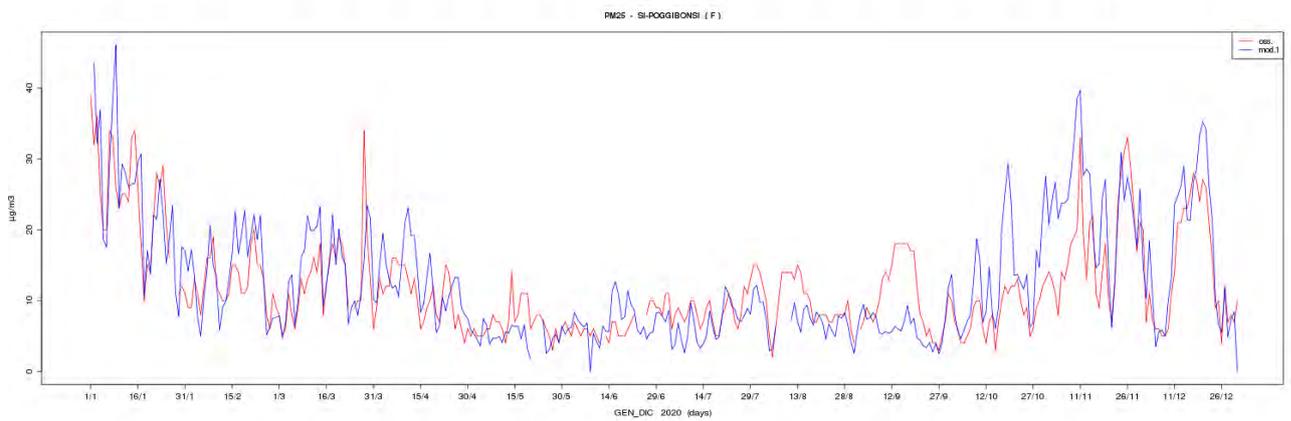
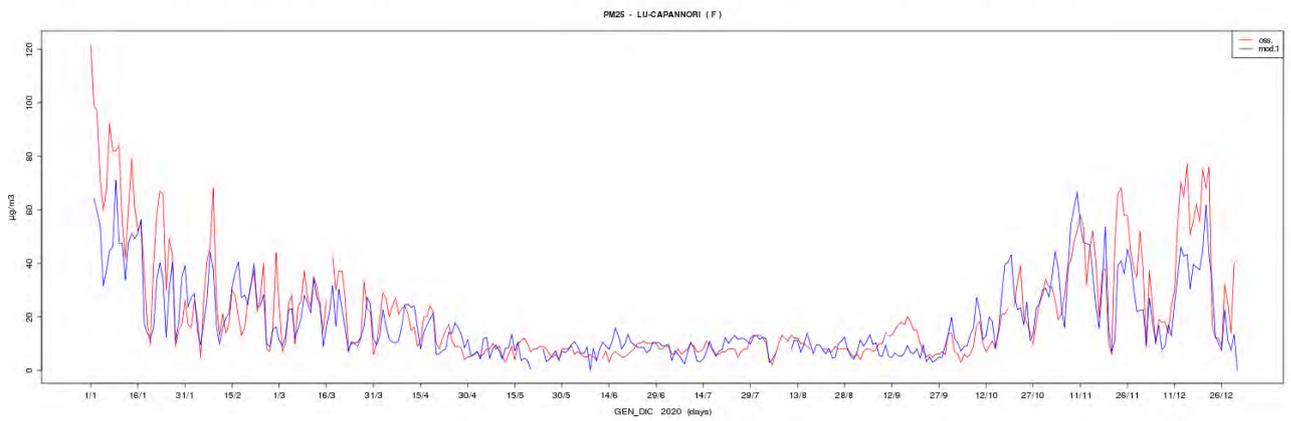
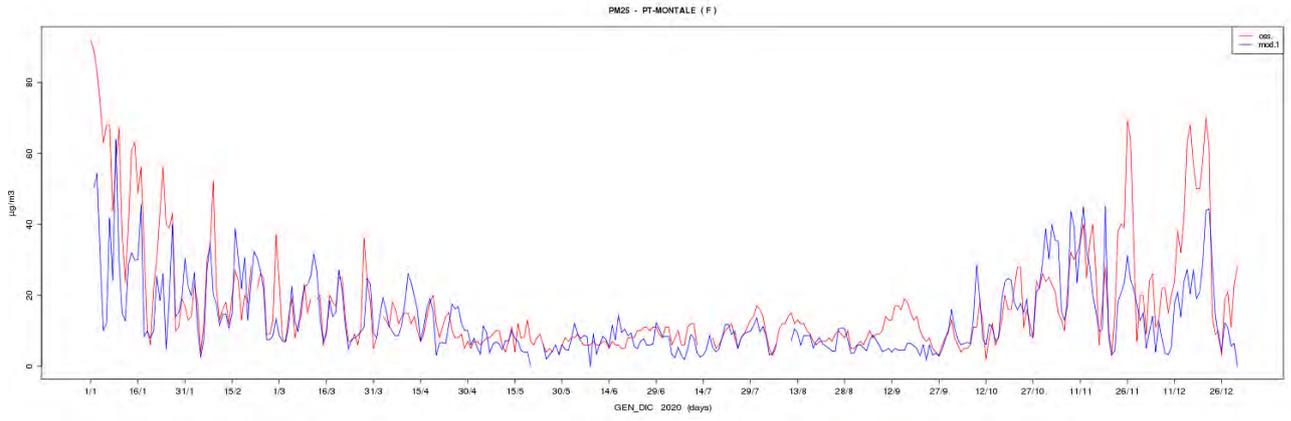


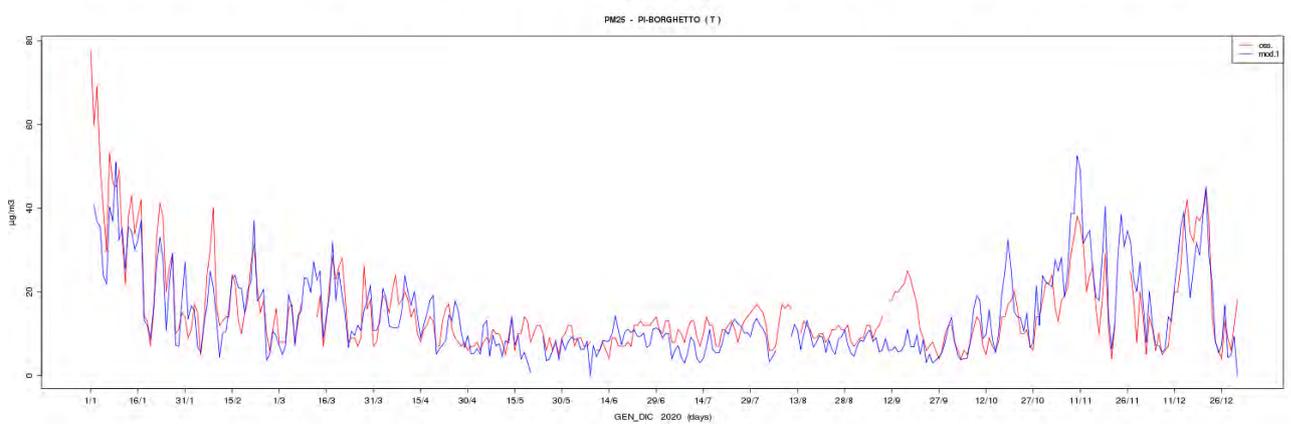
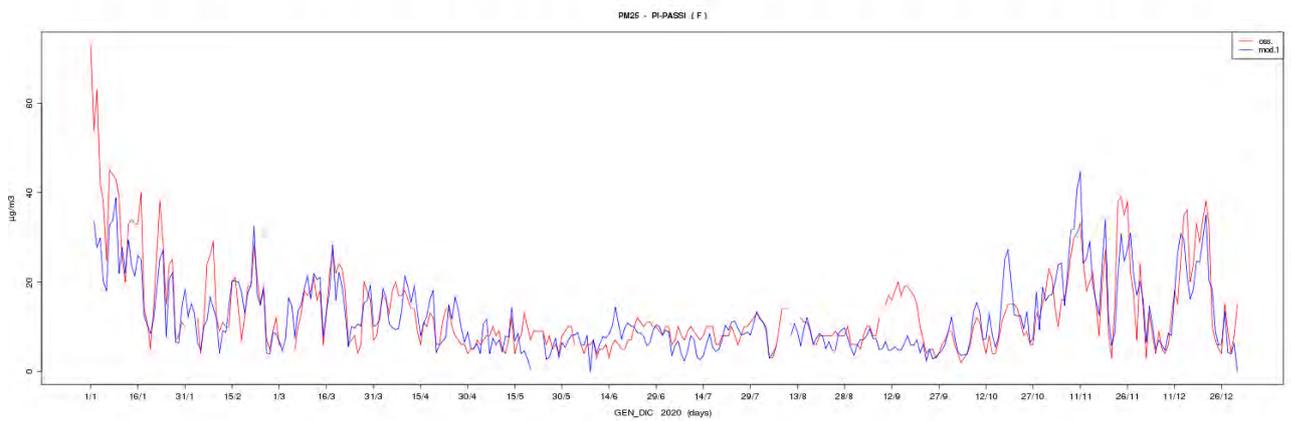
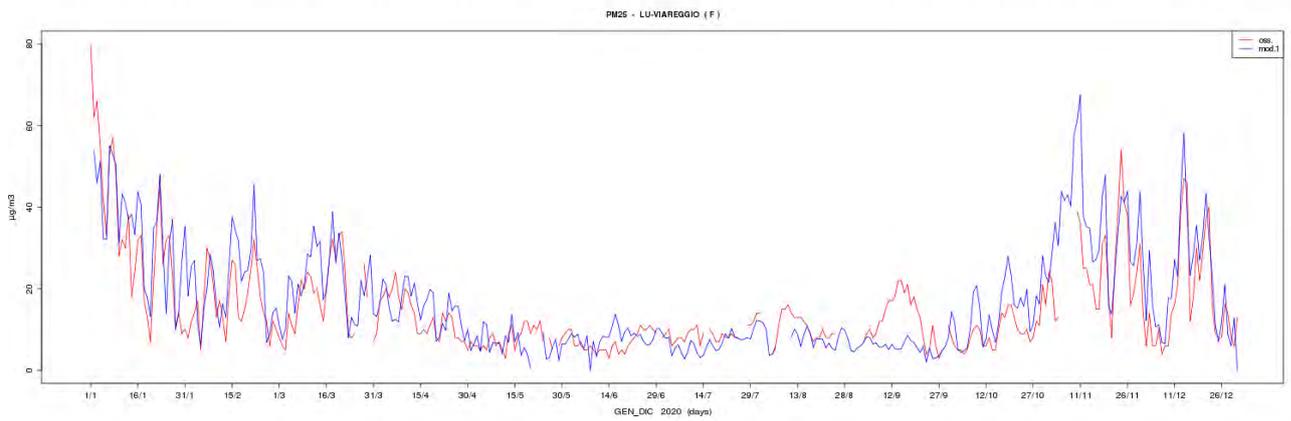
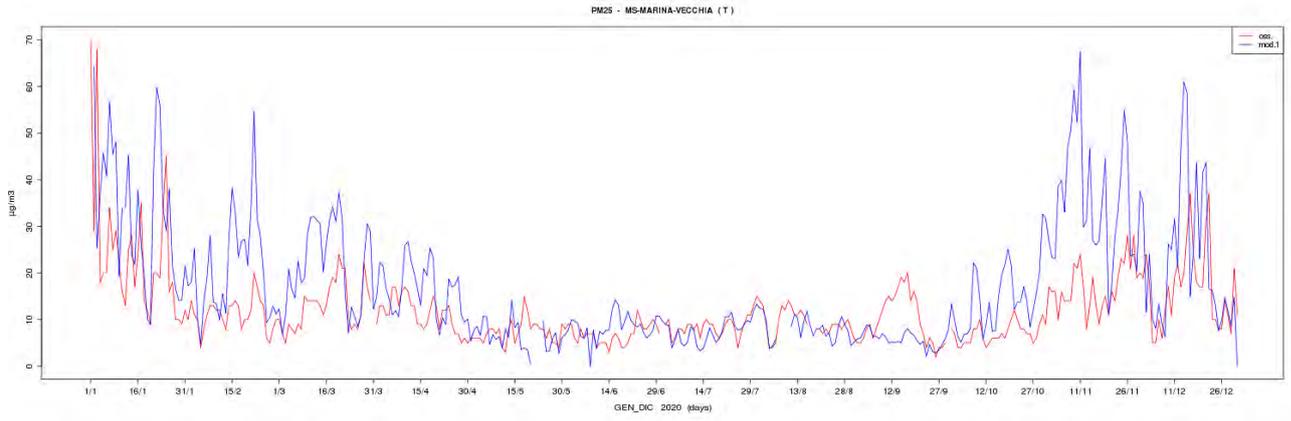


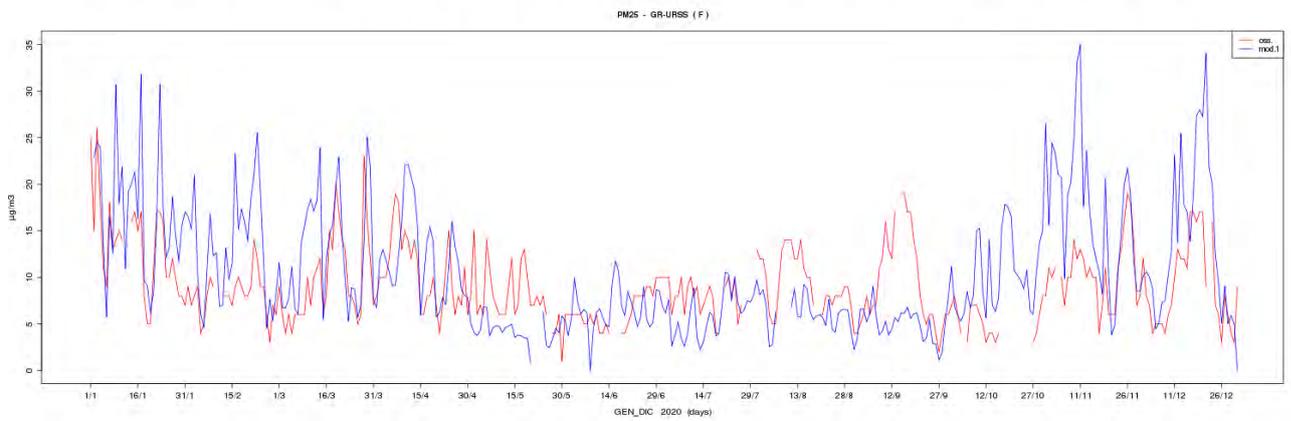
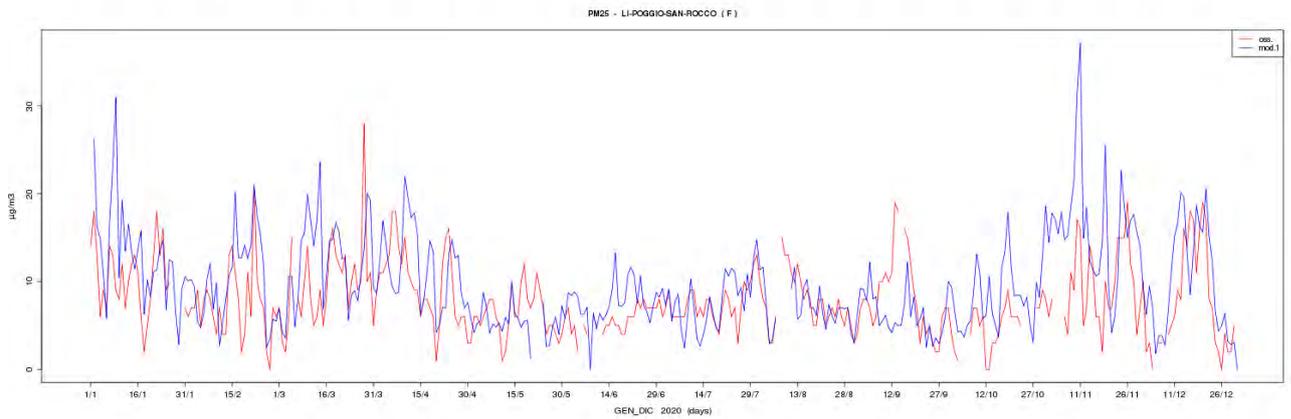
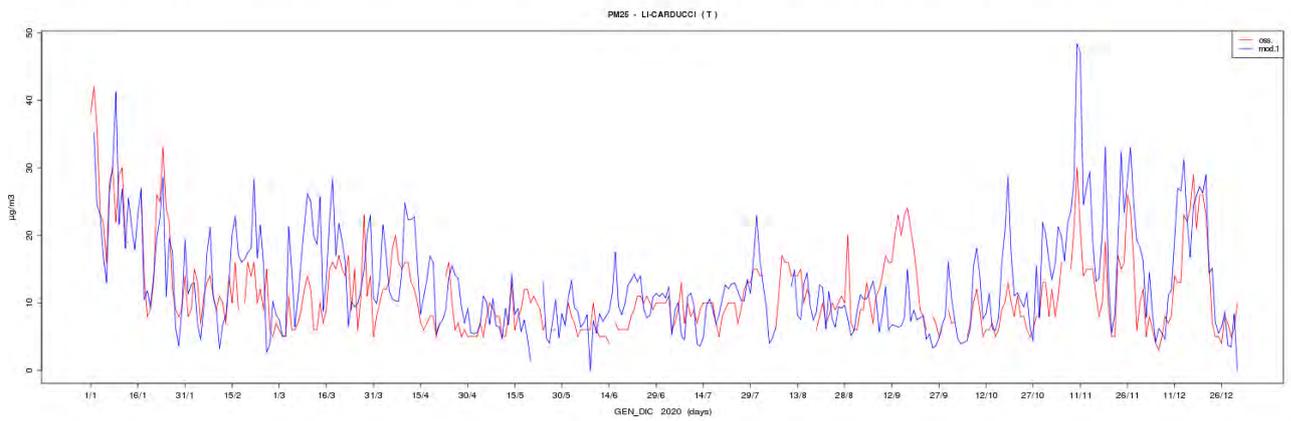
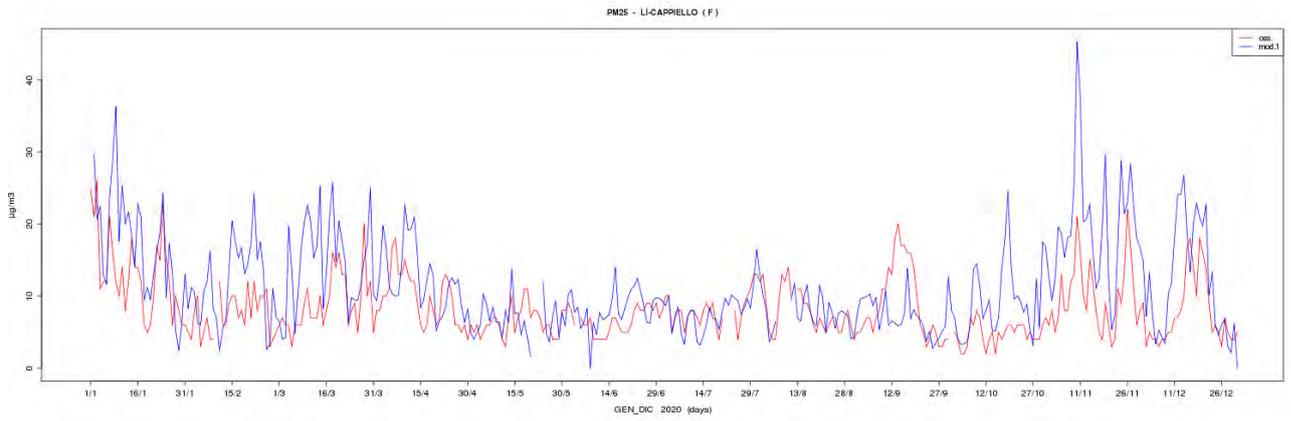


PM2.5

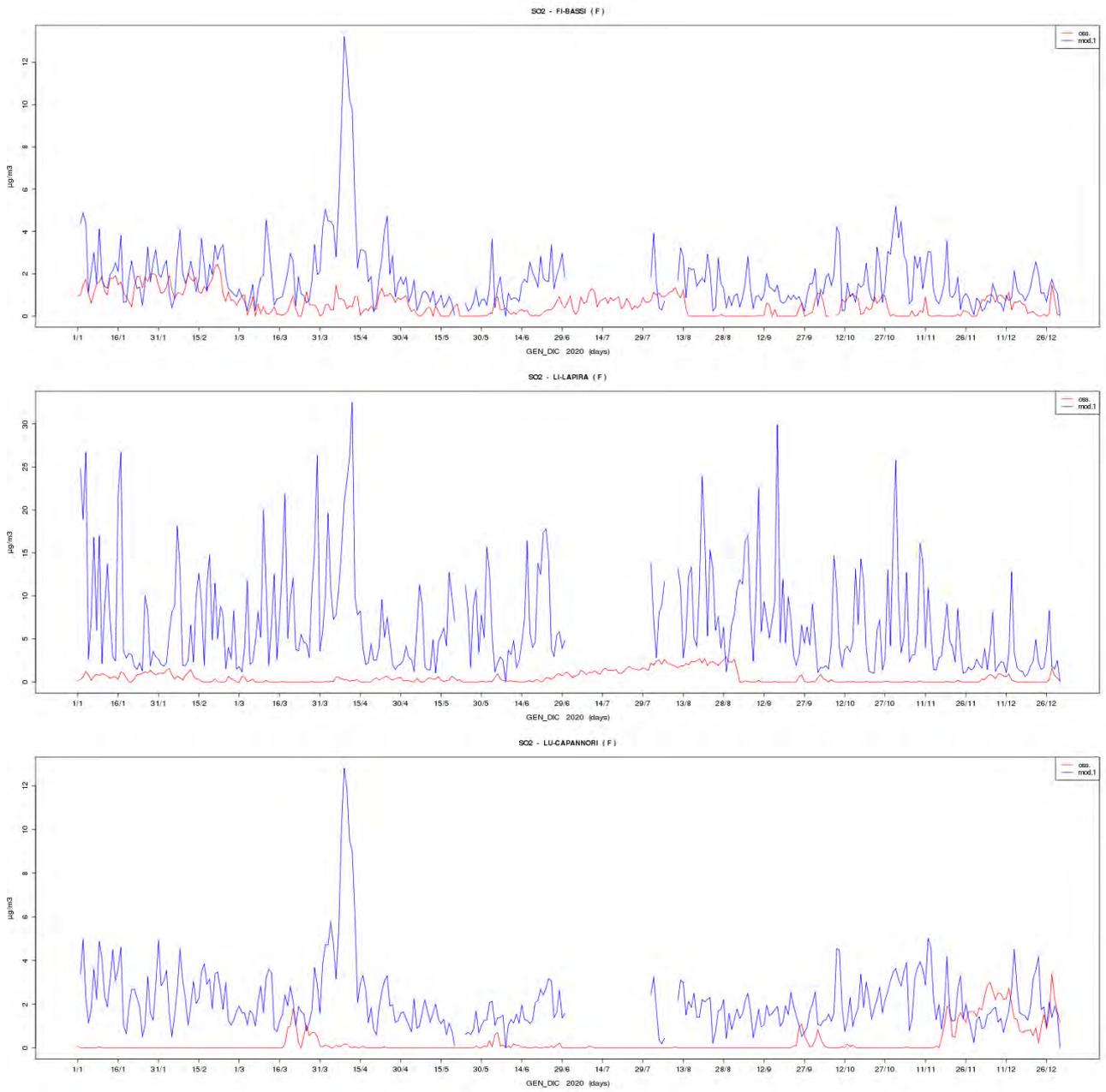




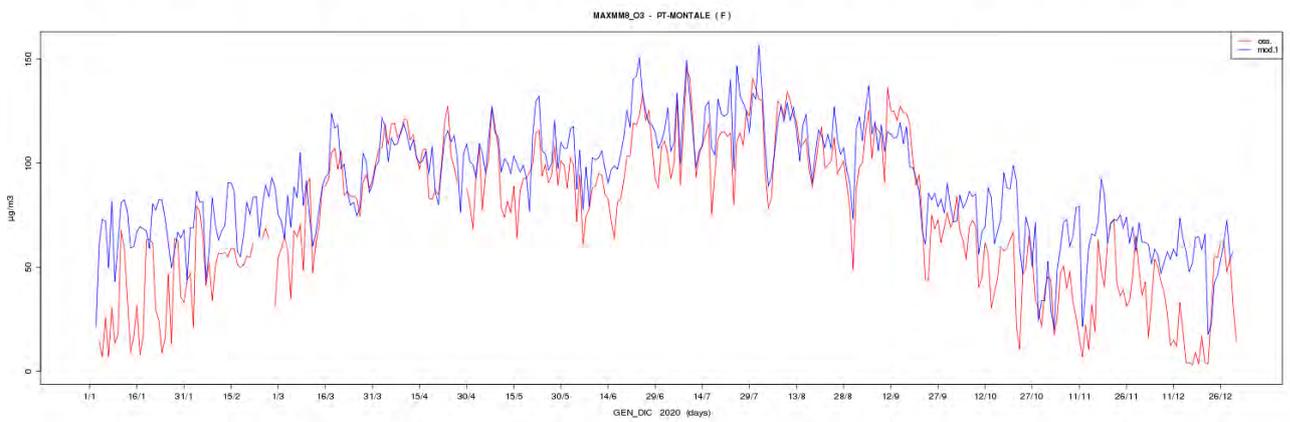
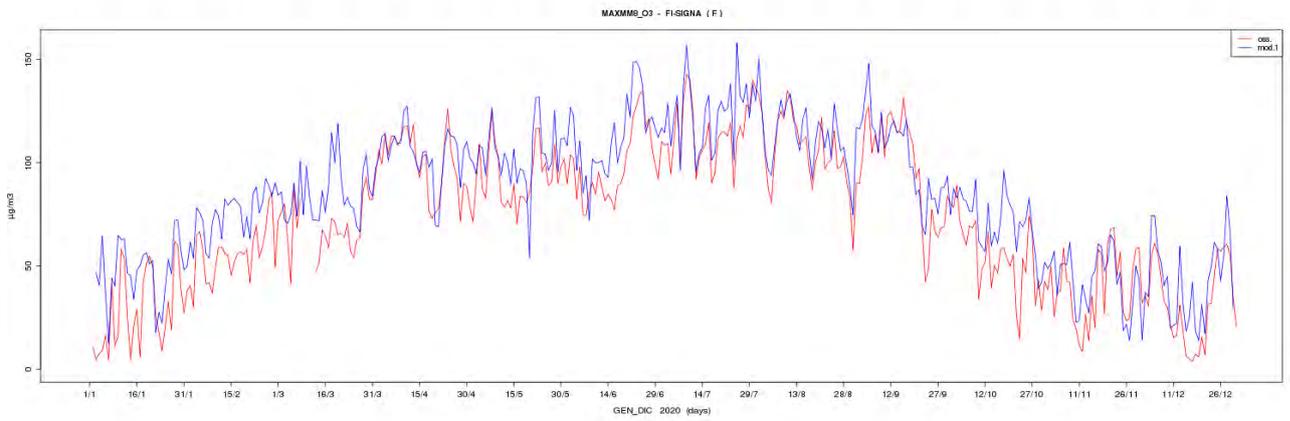
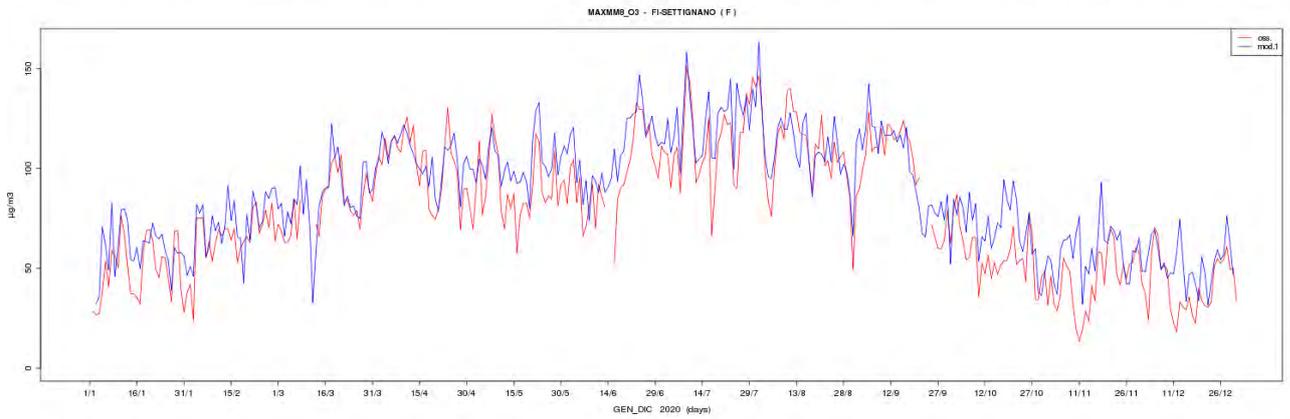
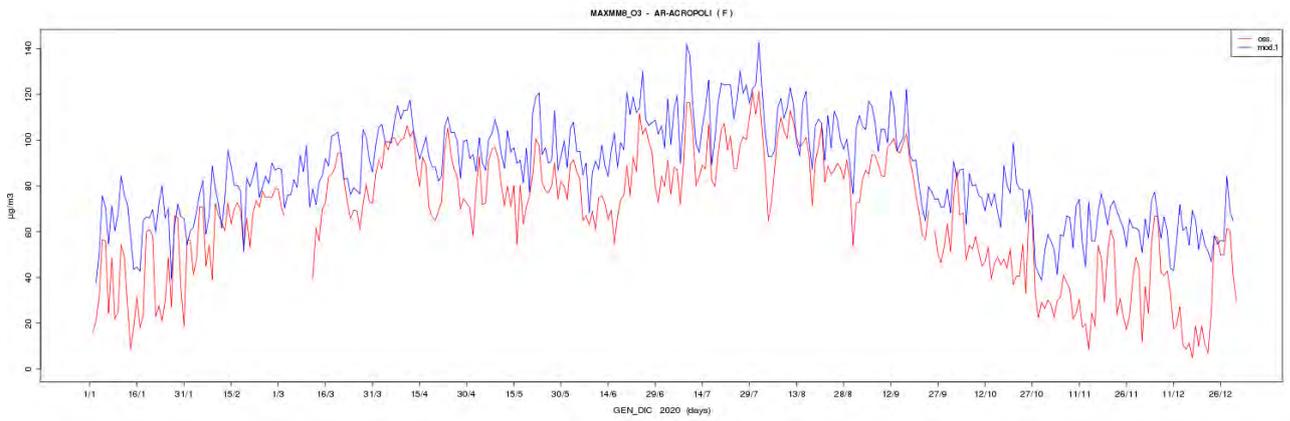


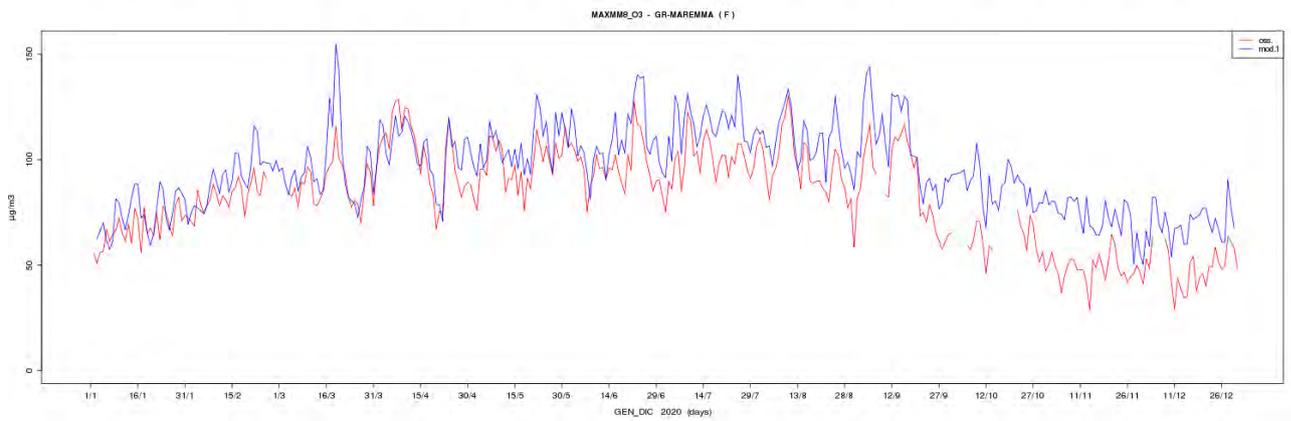
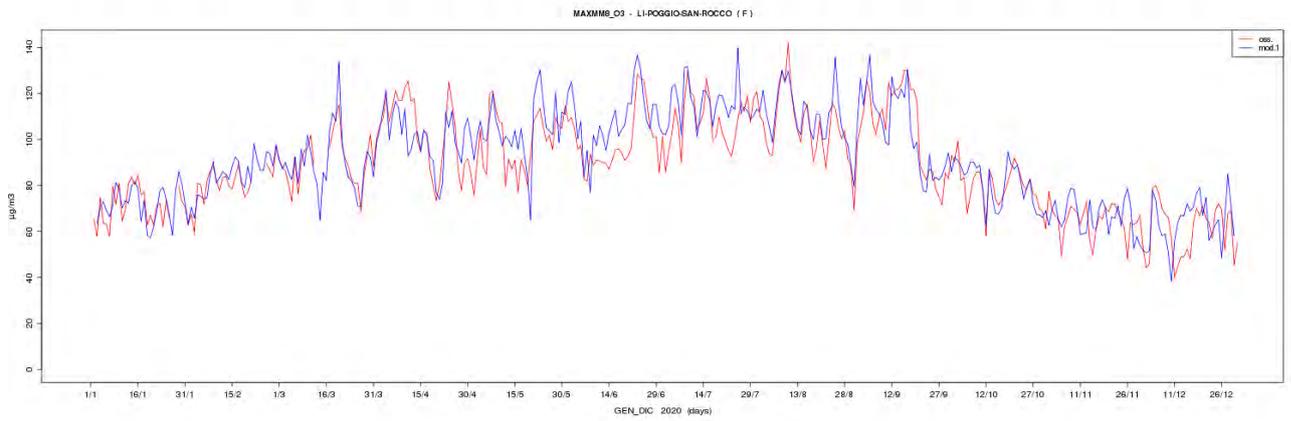
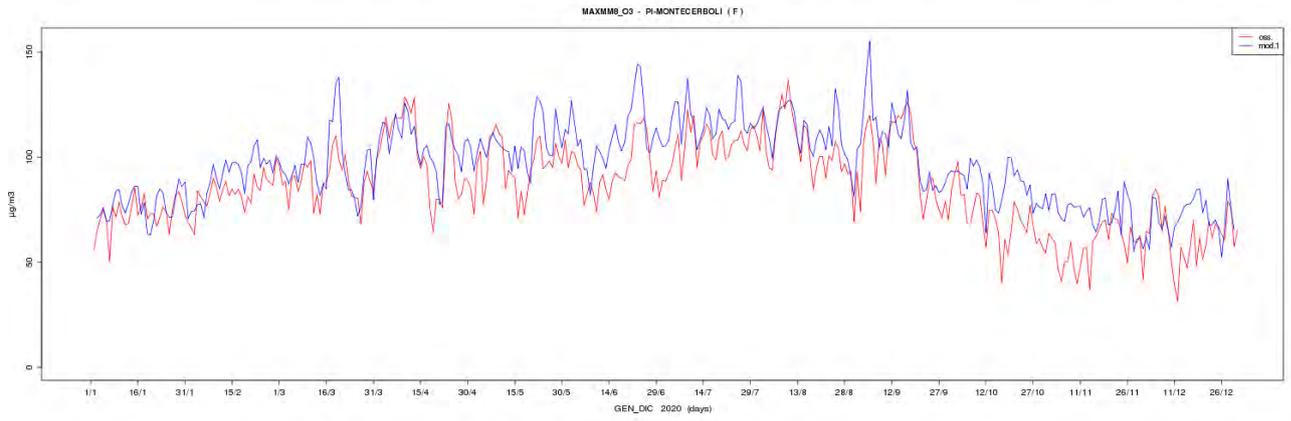
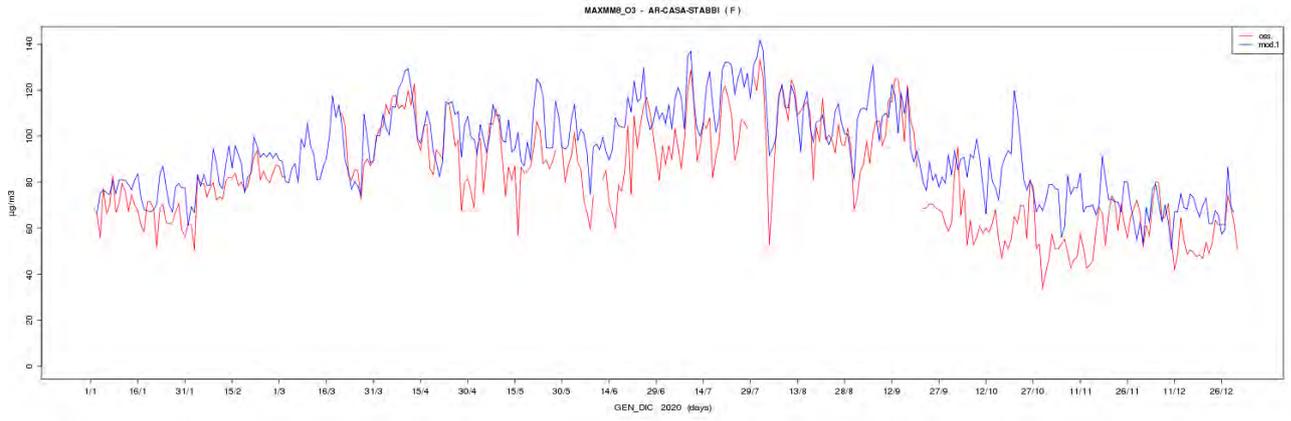


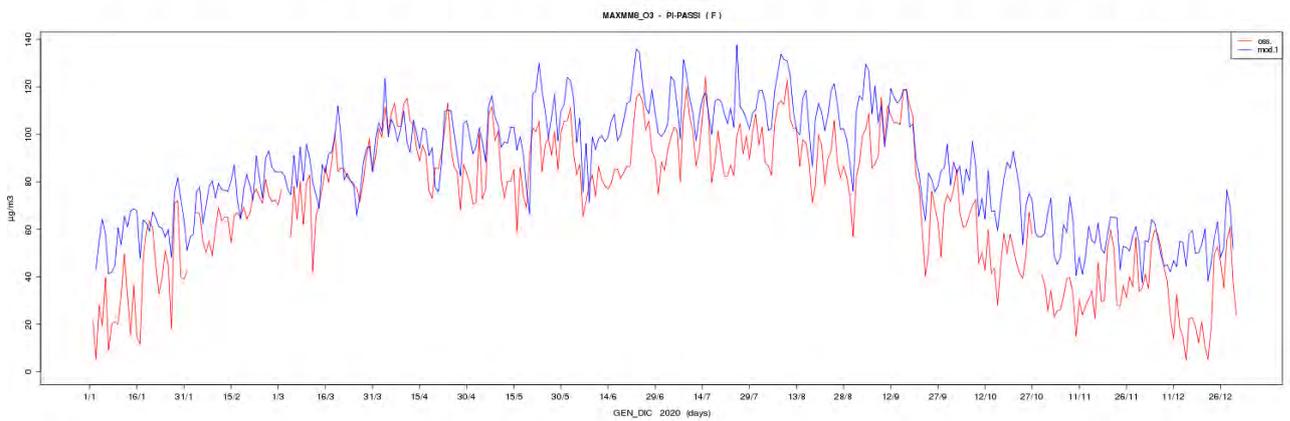
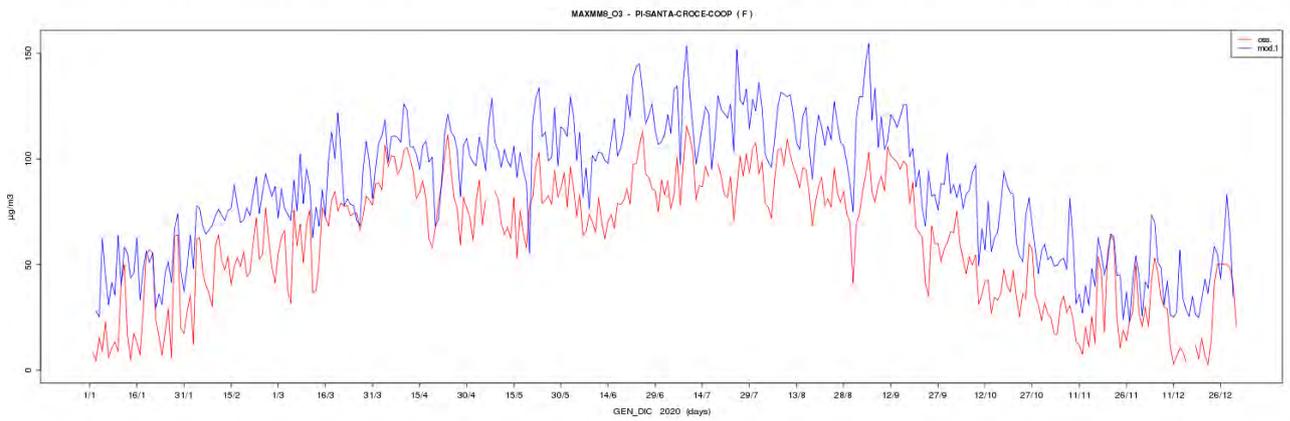
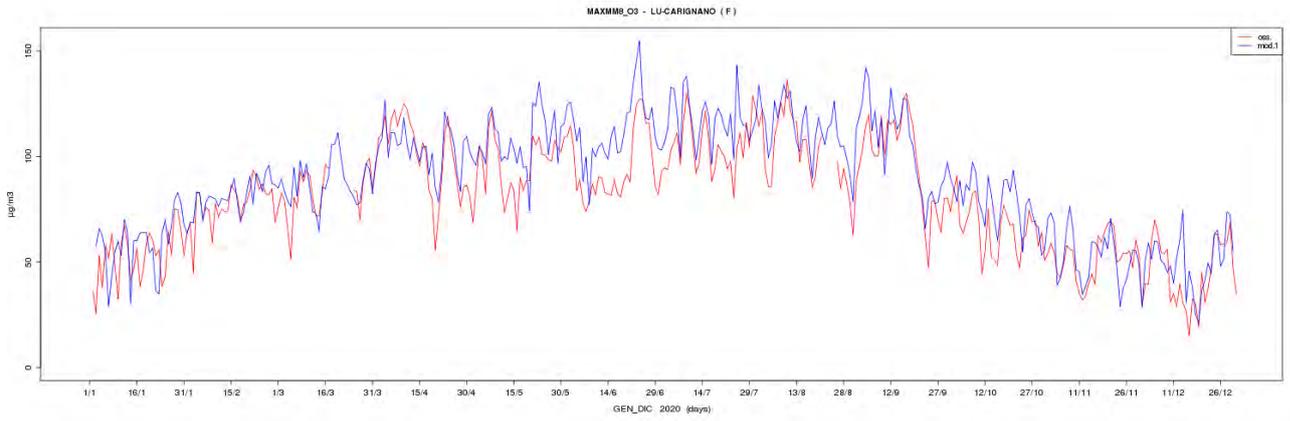
SO₂



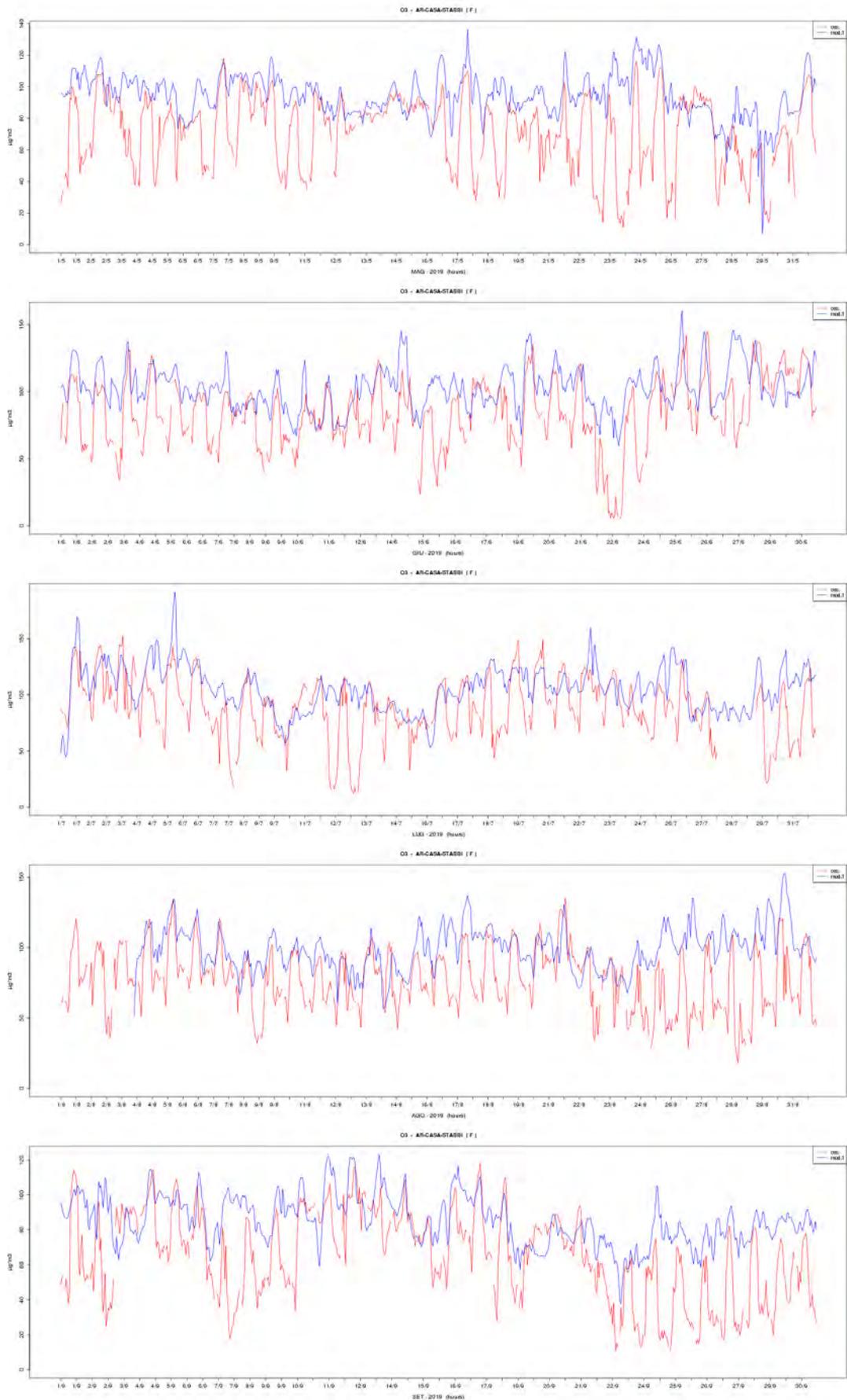
O3

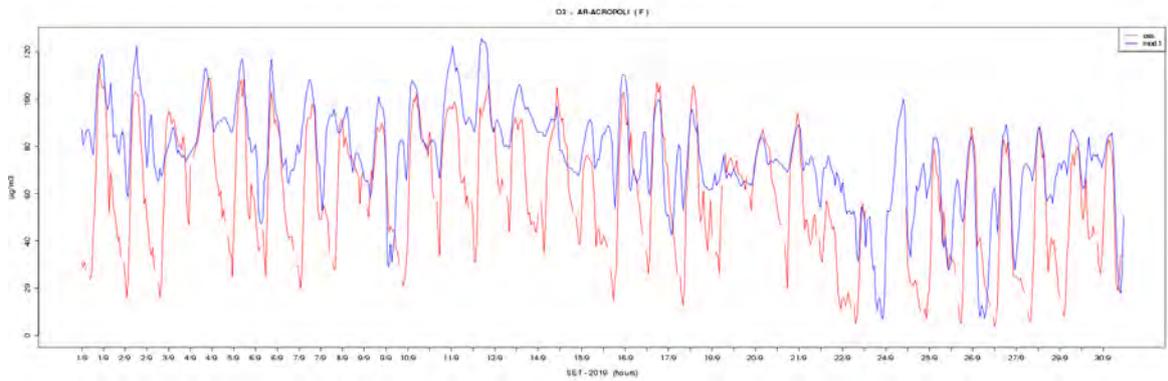
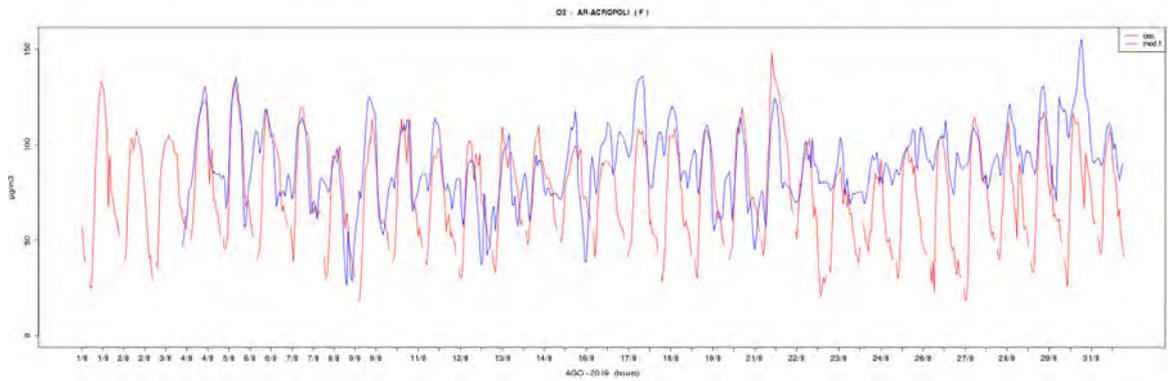
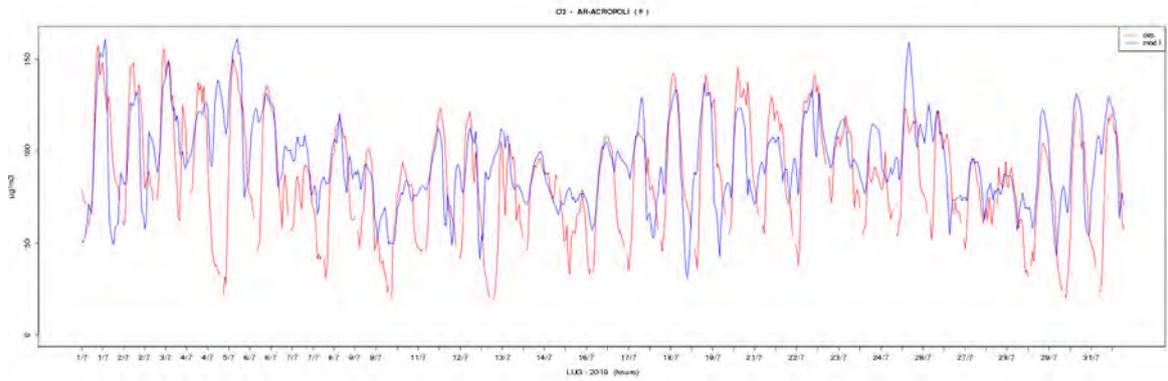
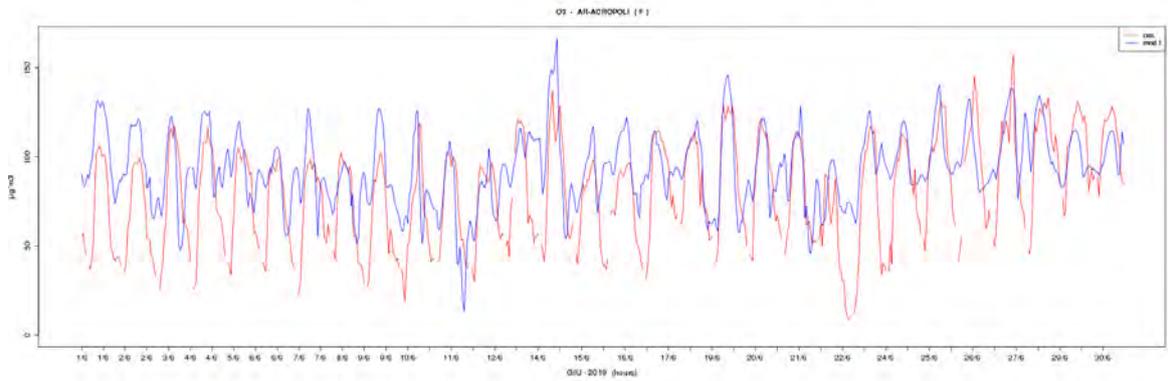
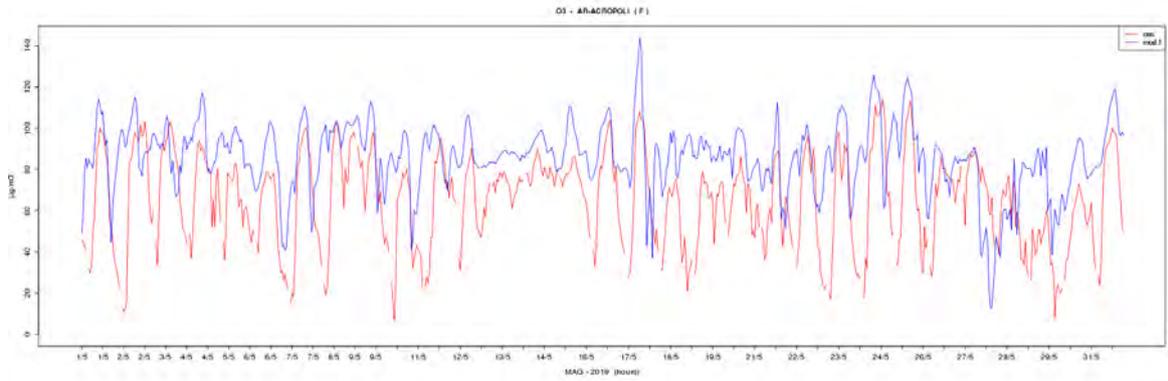


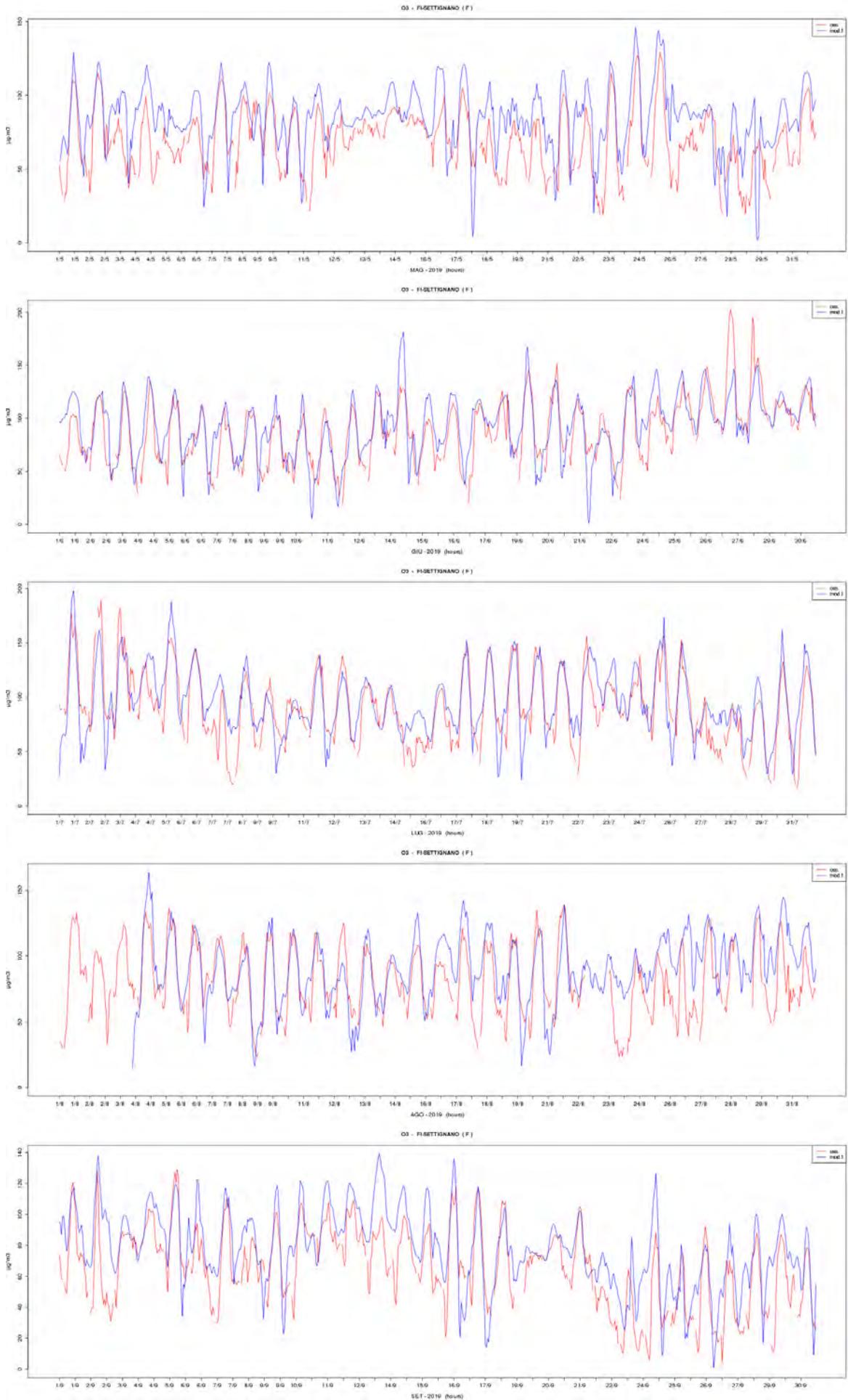


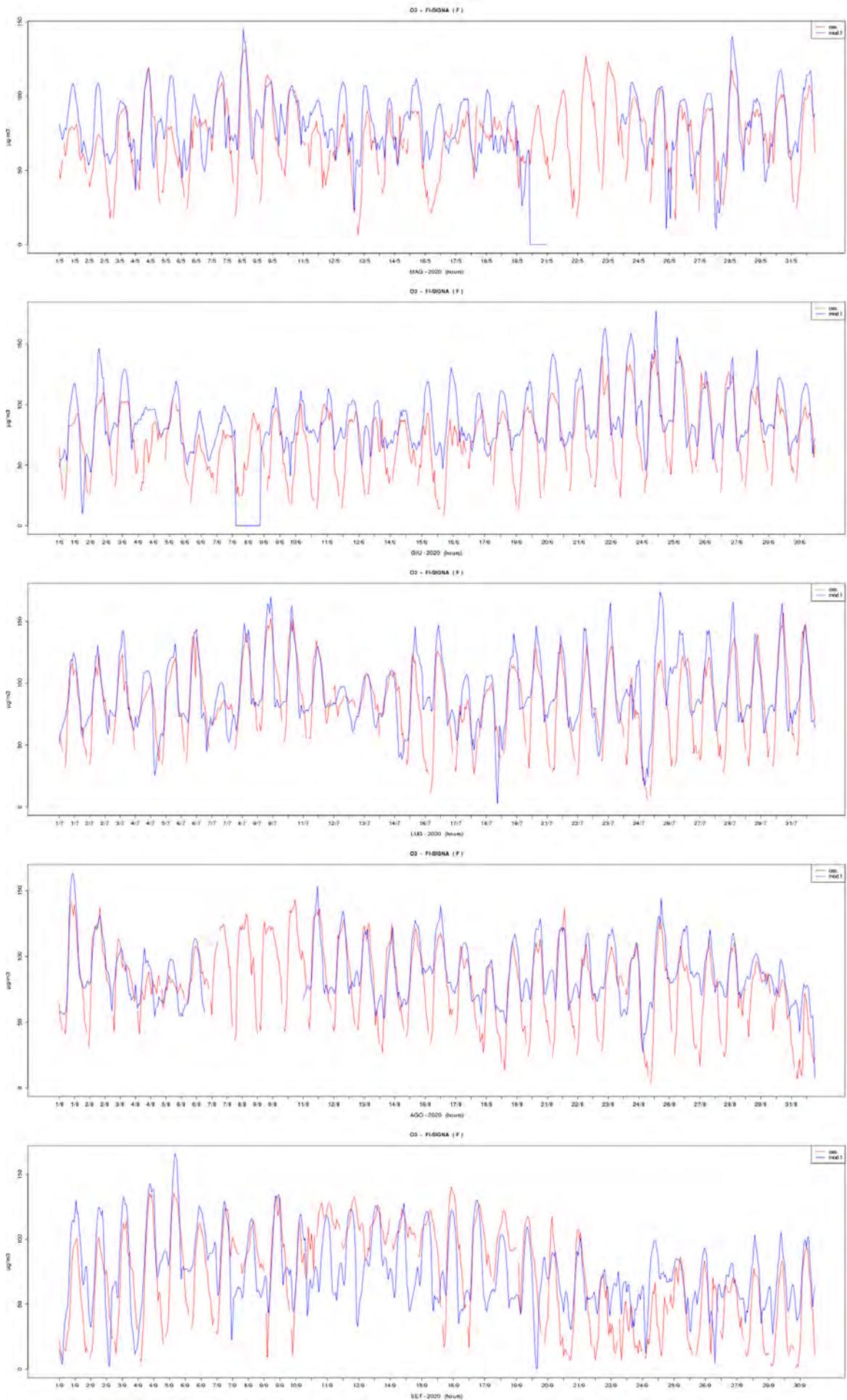


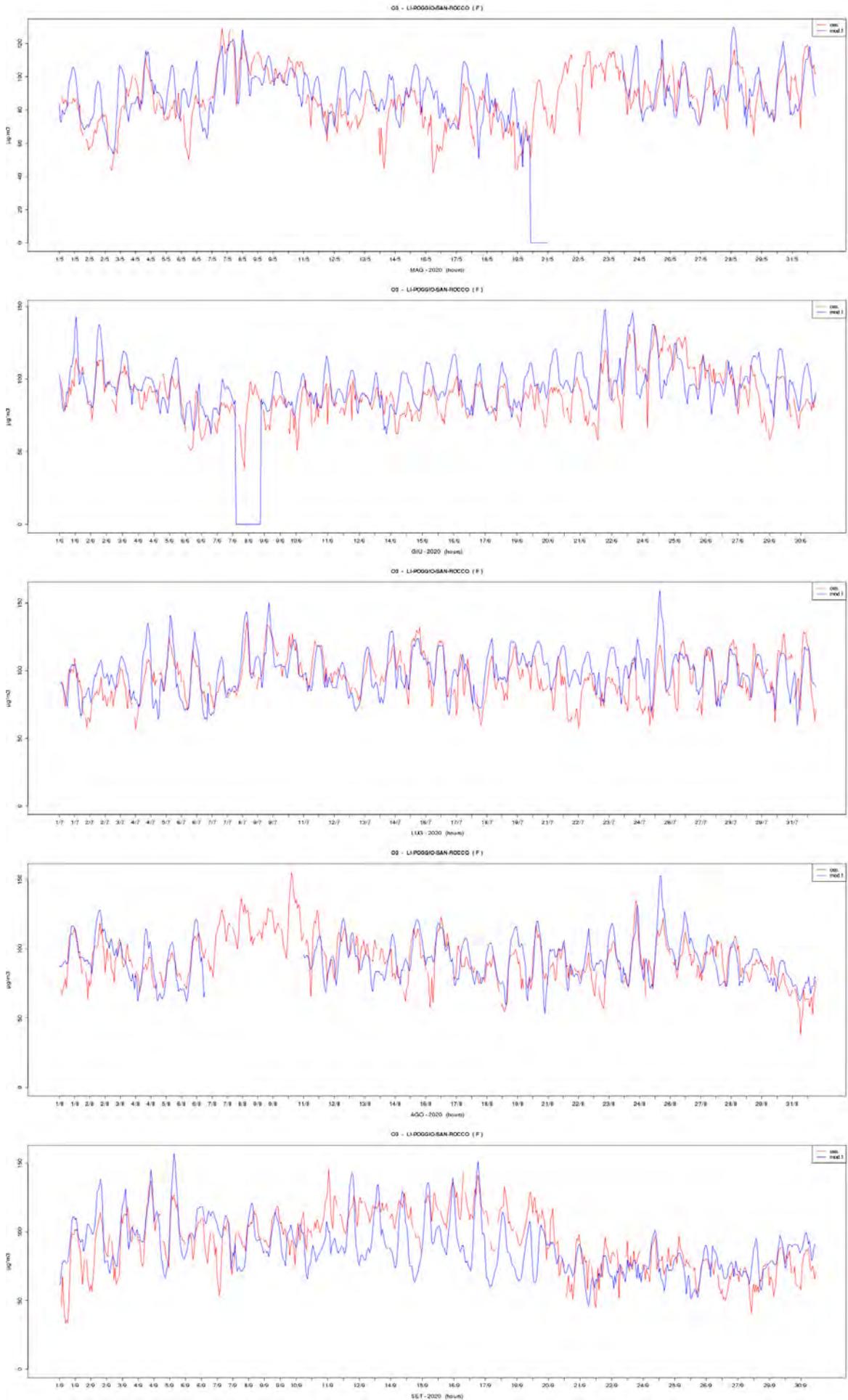
O3 orarie mensili

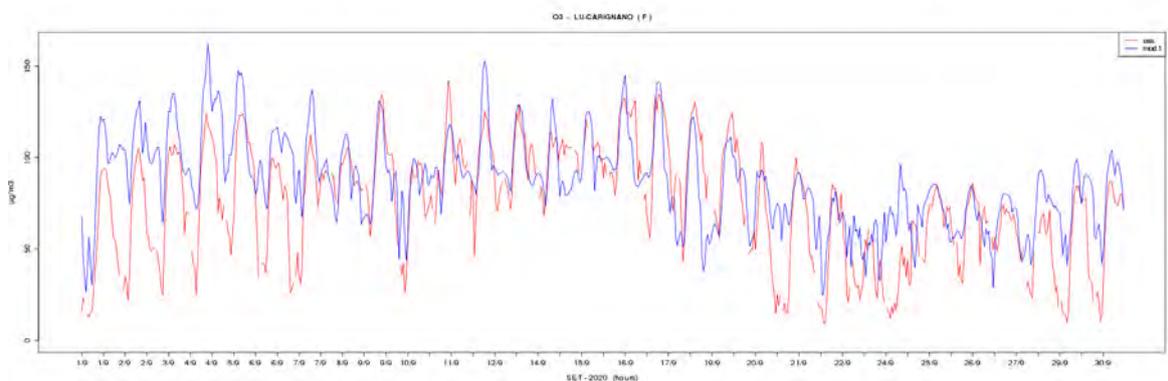
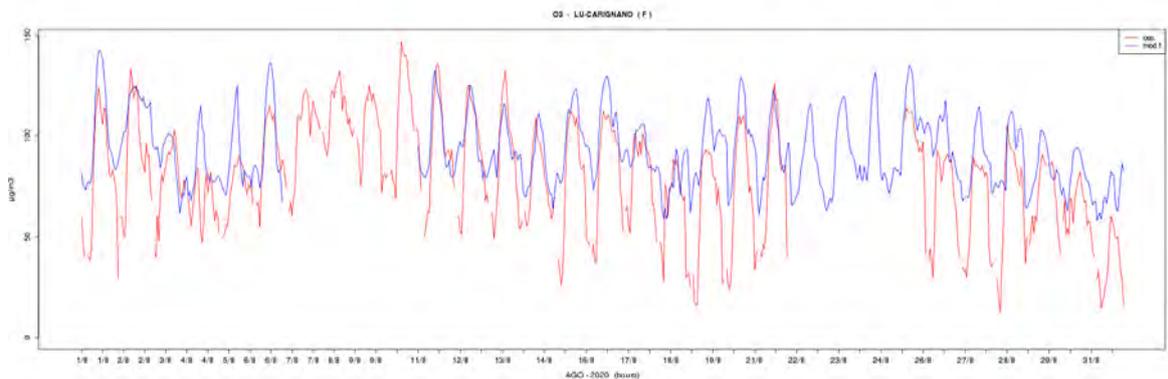
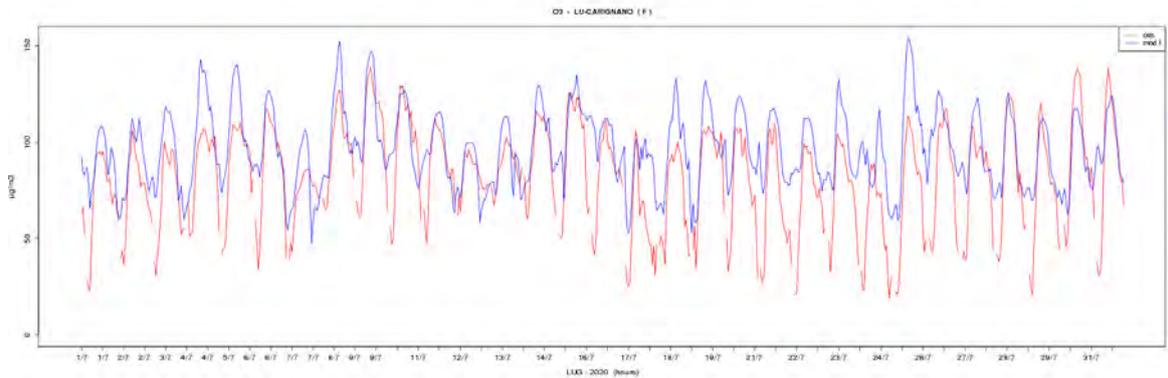
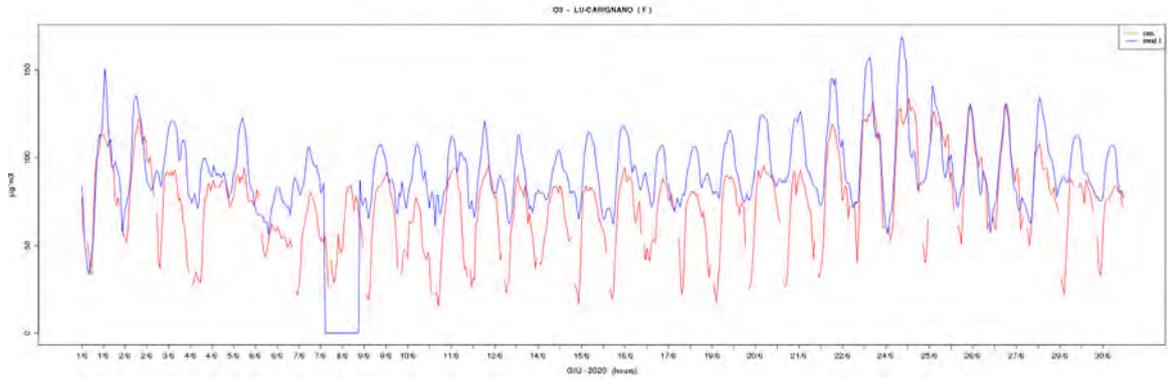
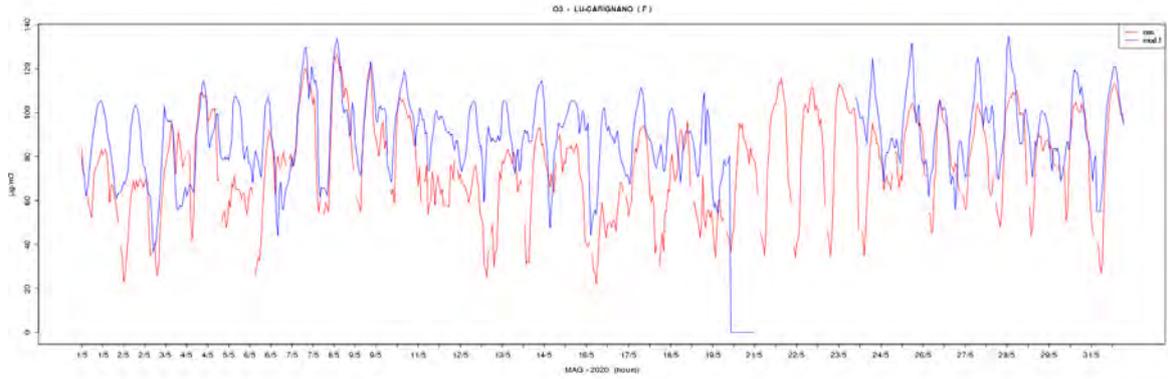


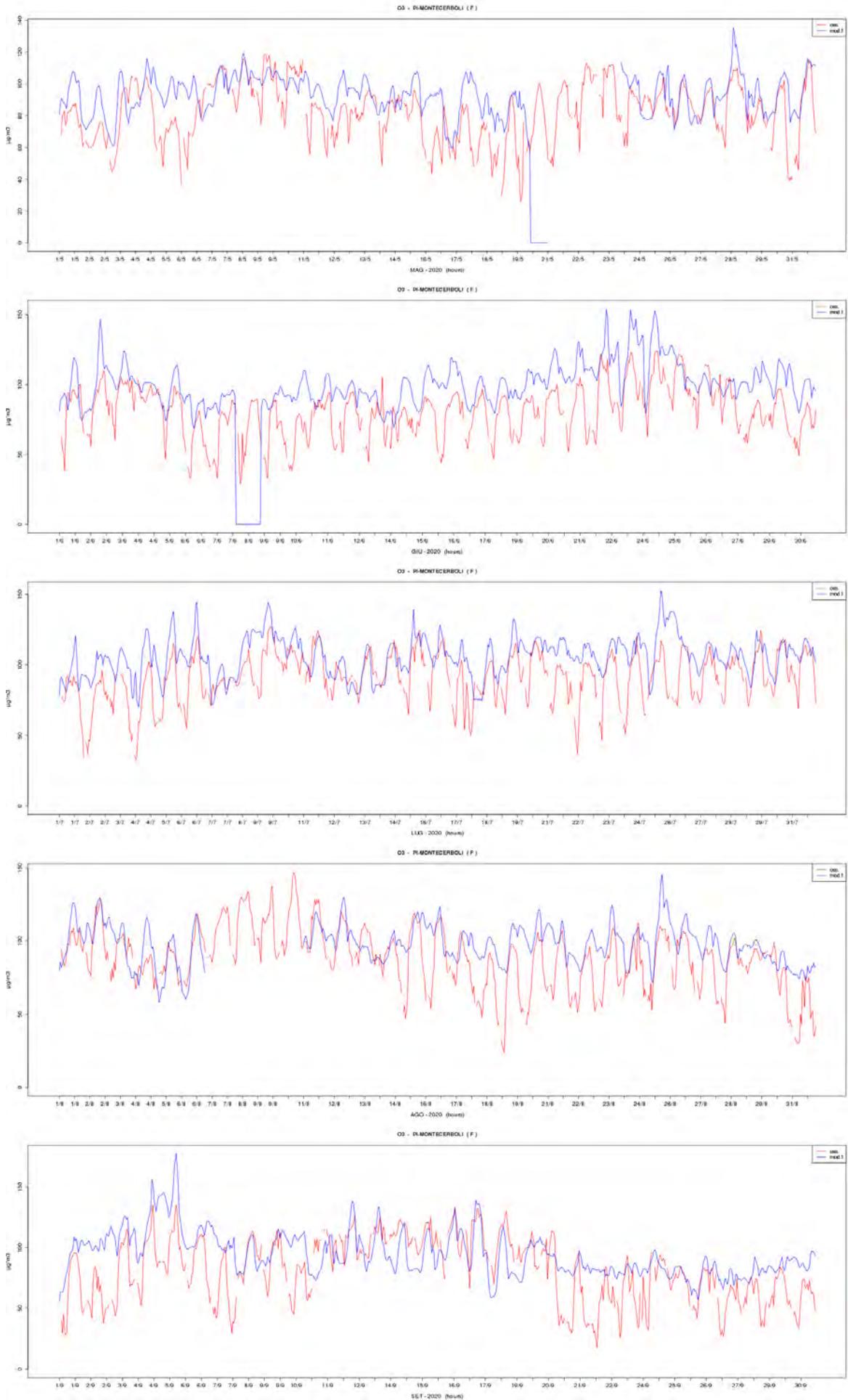


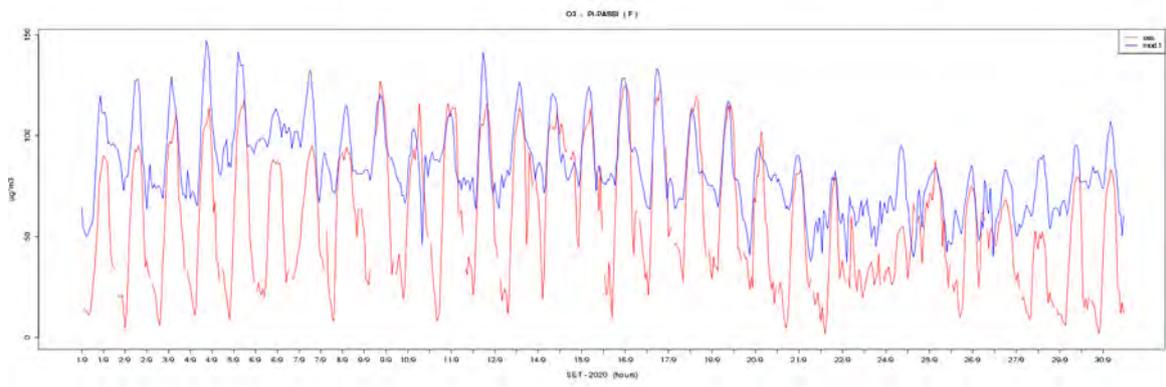
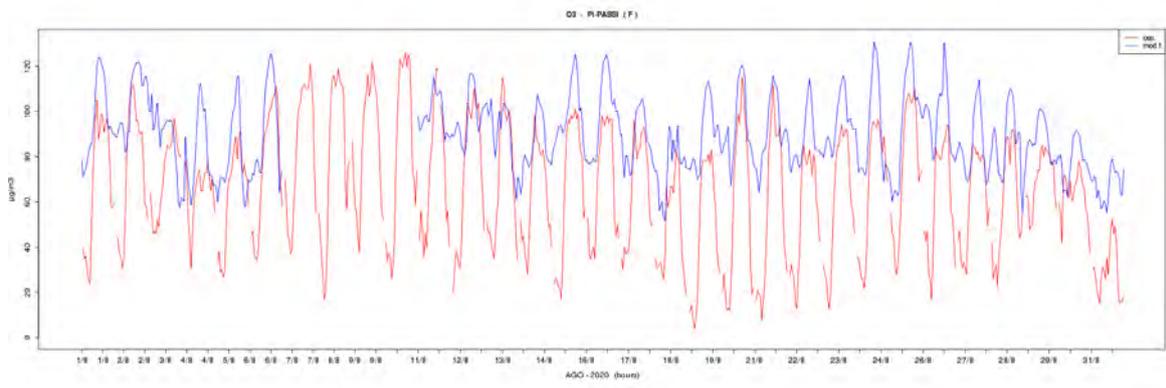
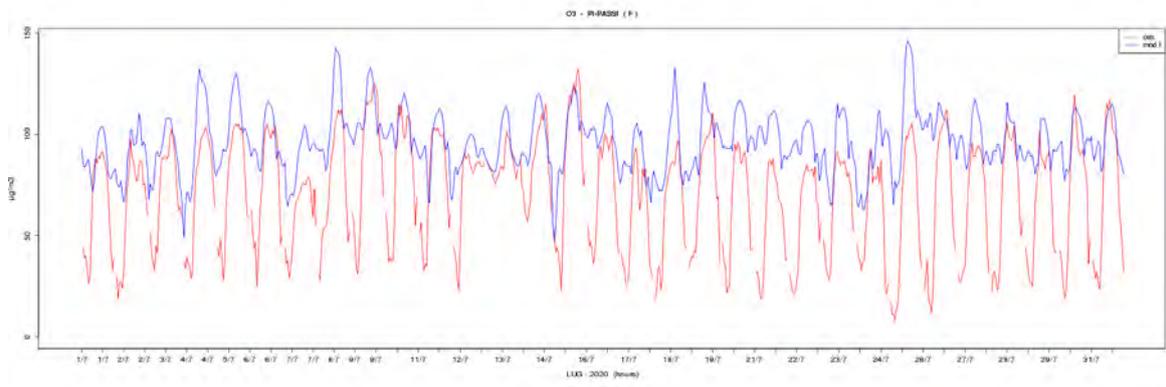
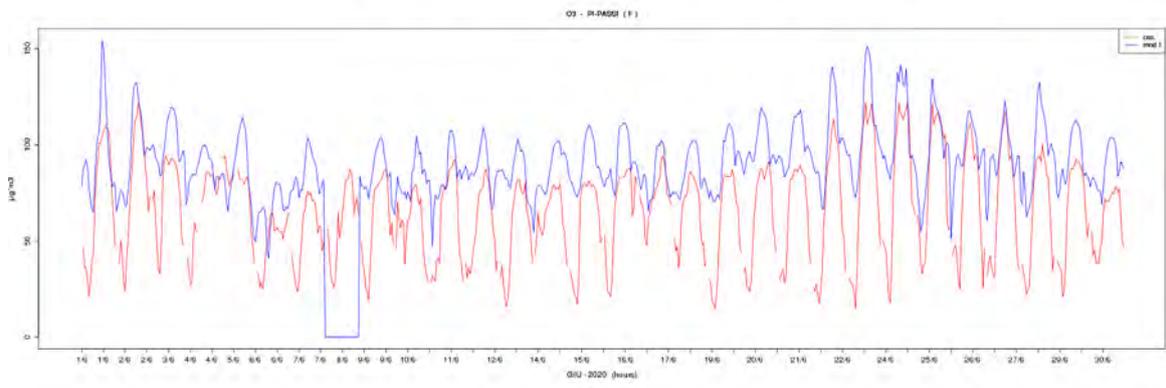
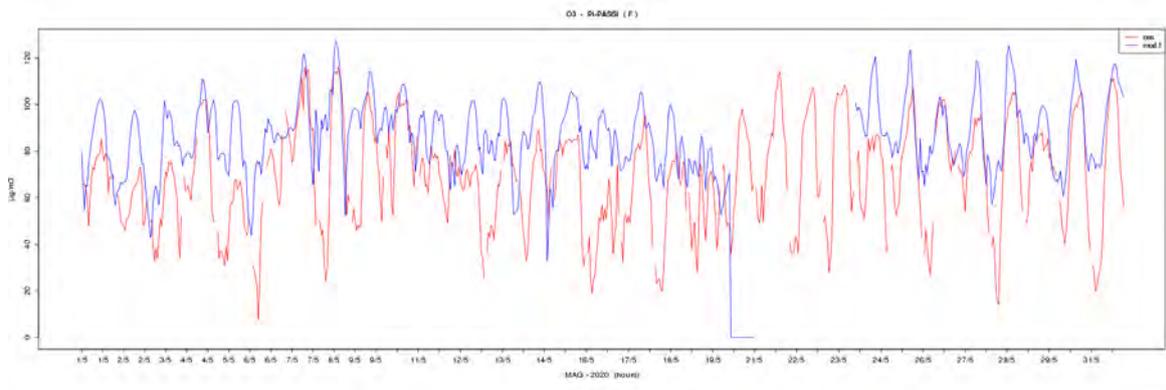


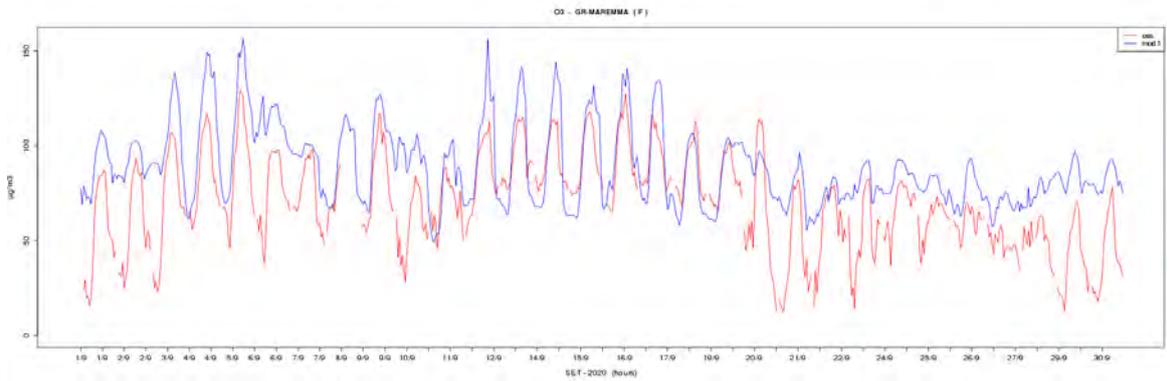
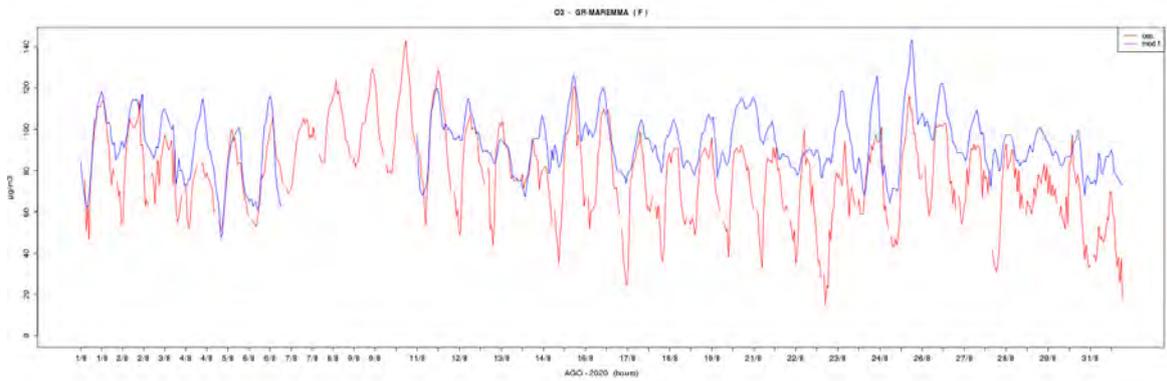
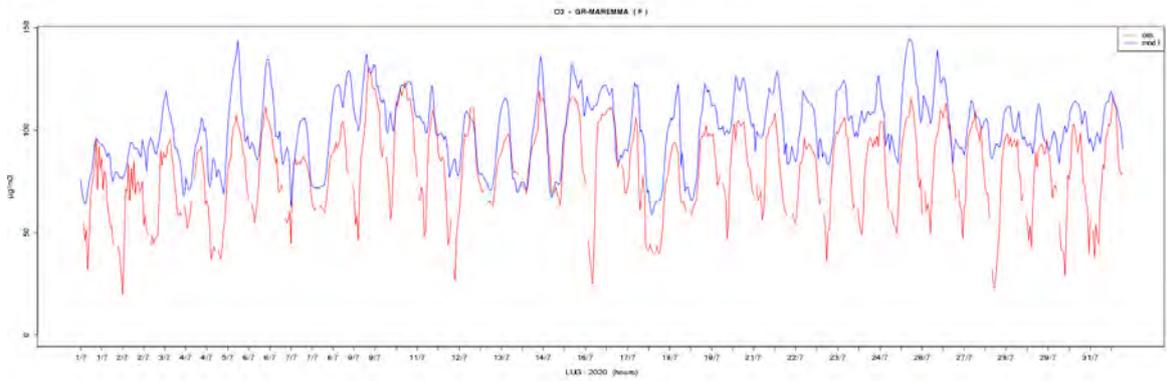
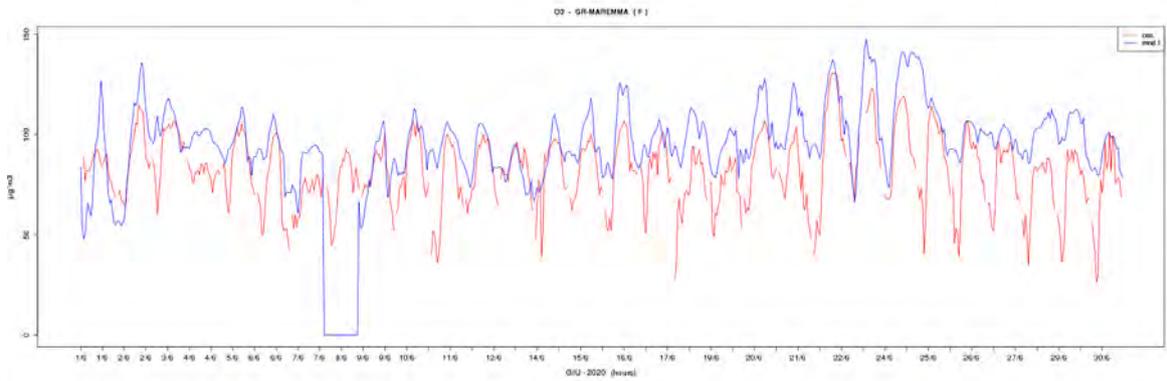
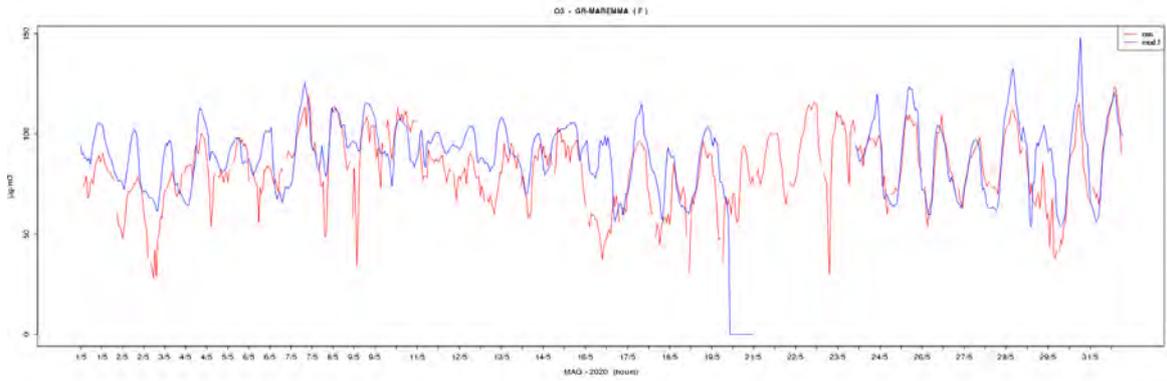


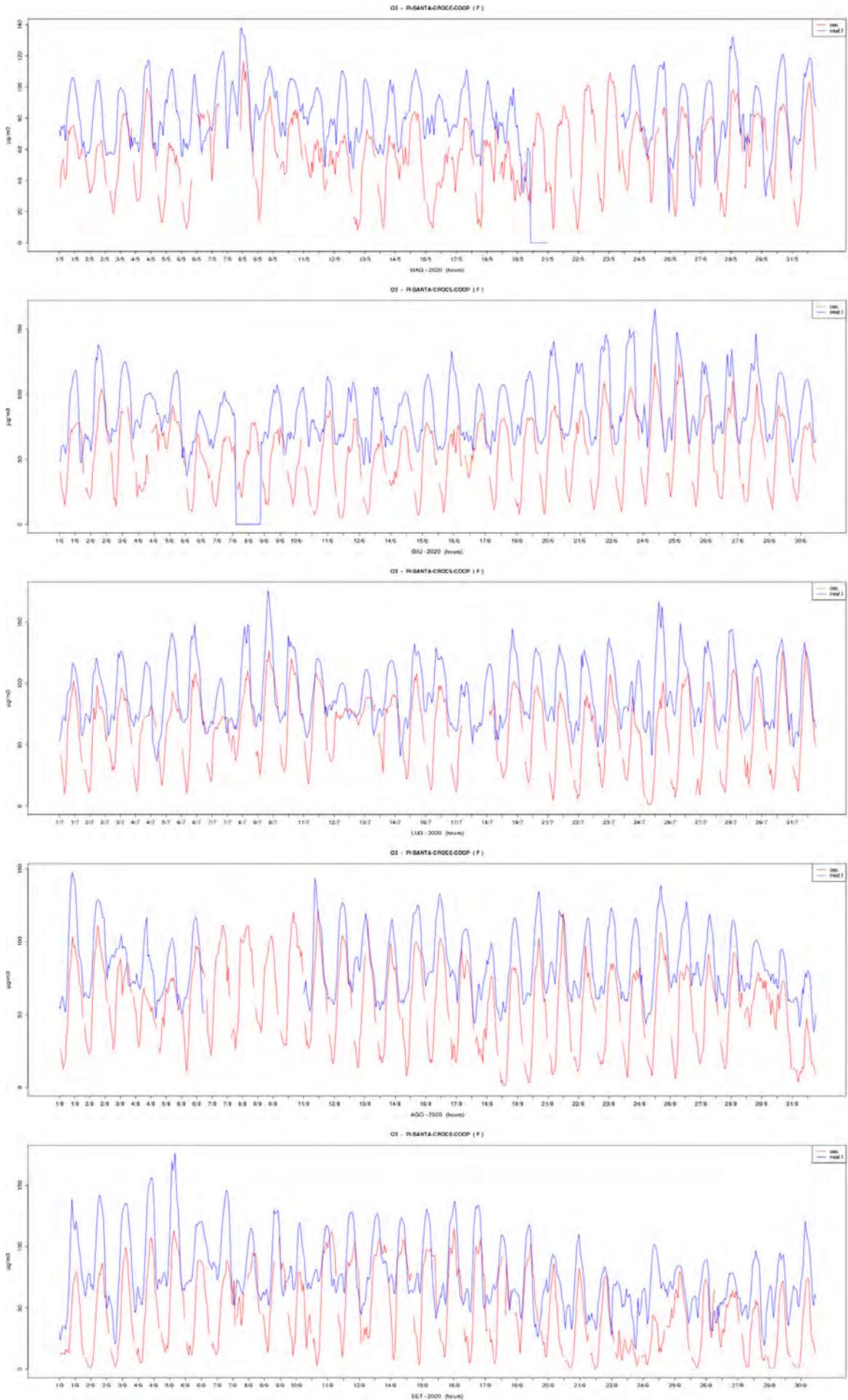


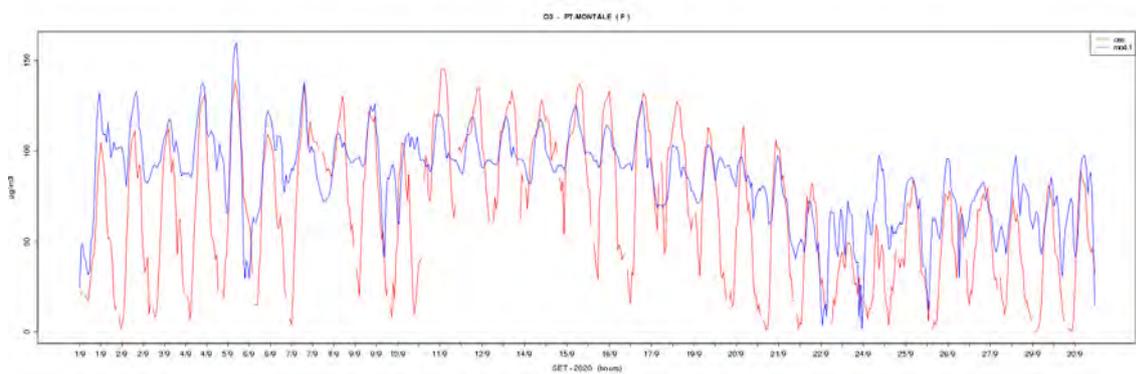
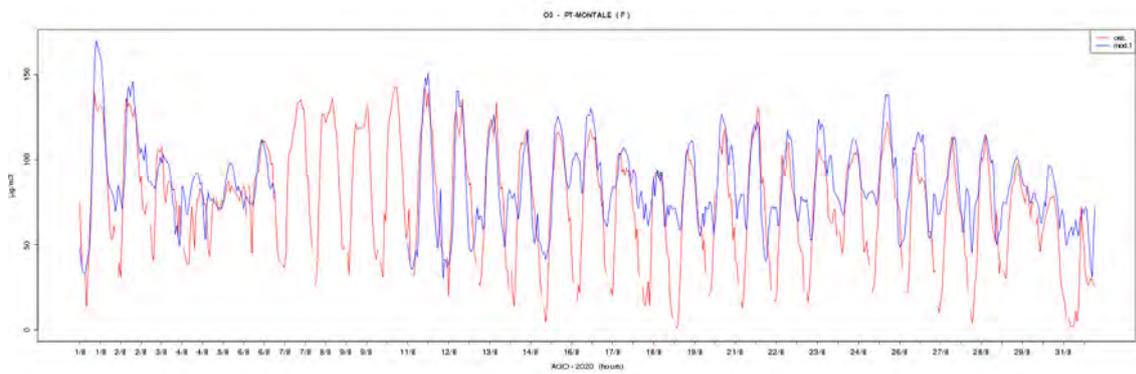
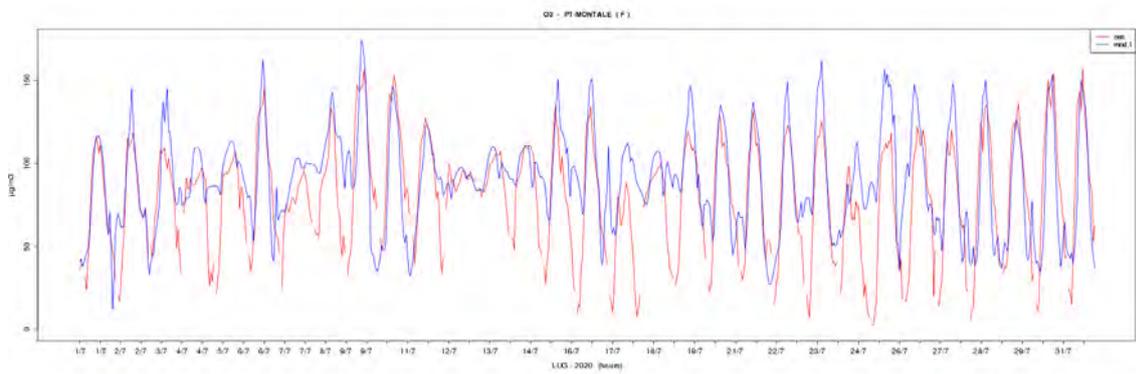
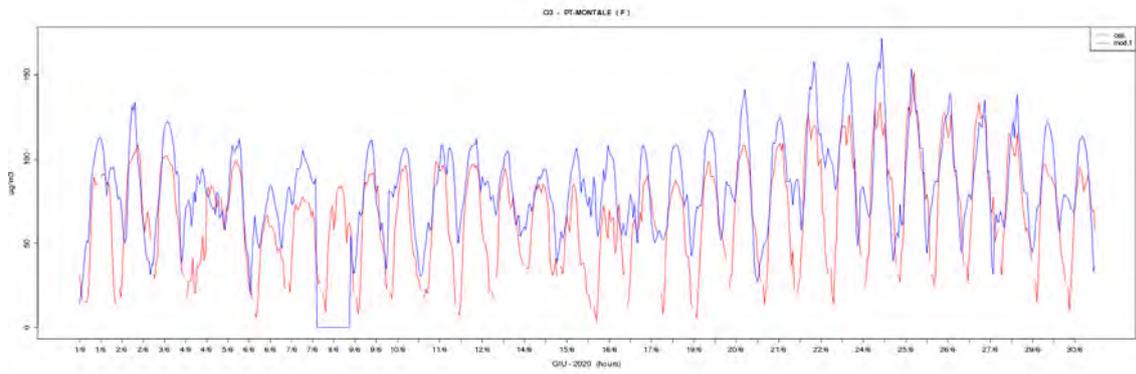
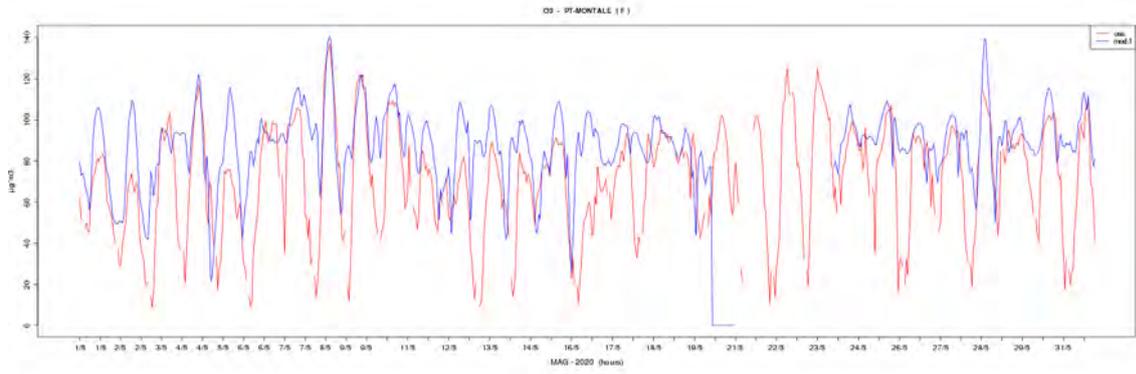




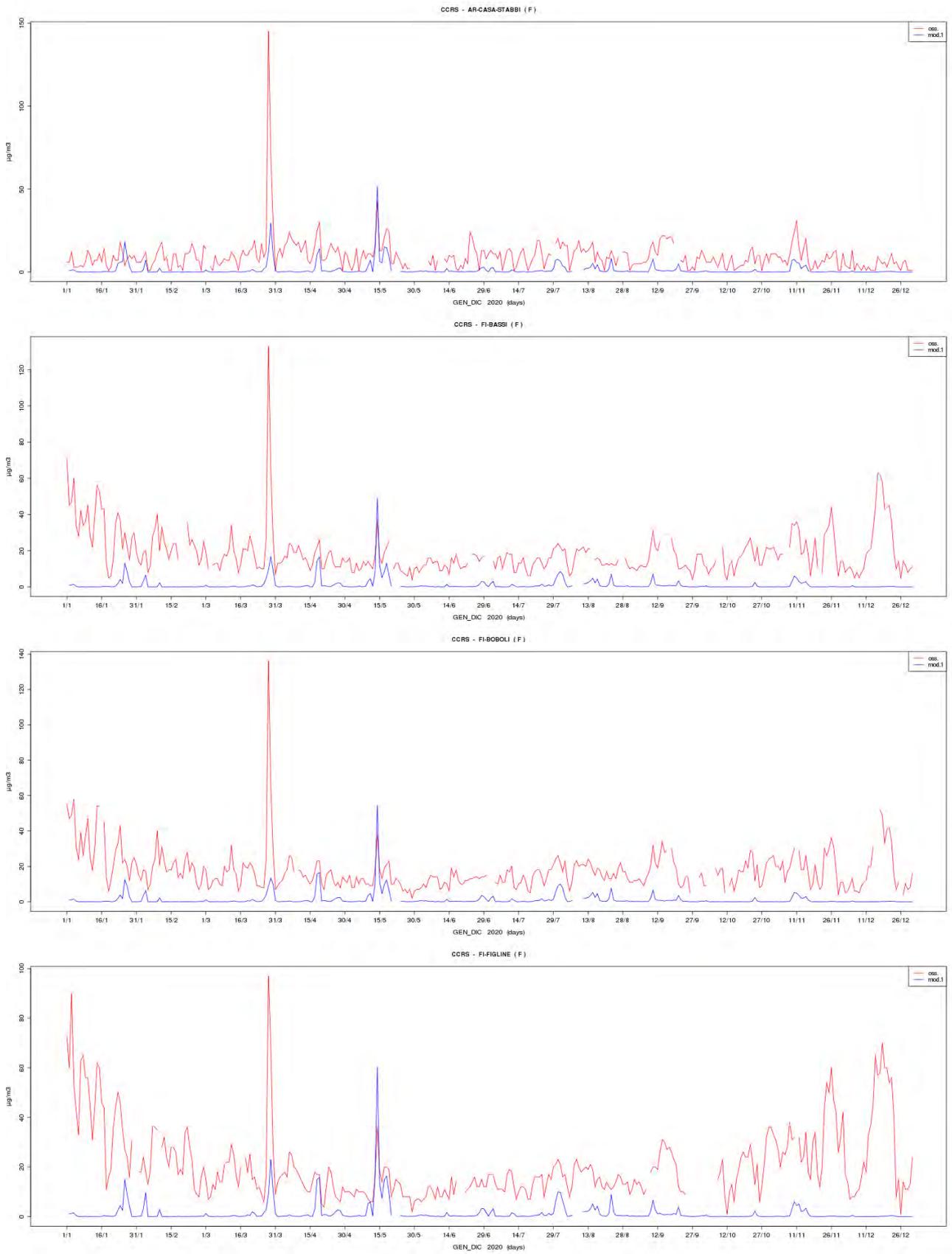


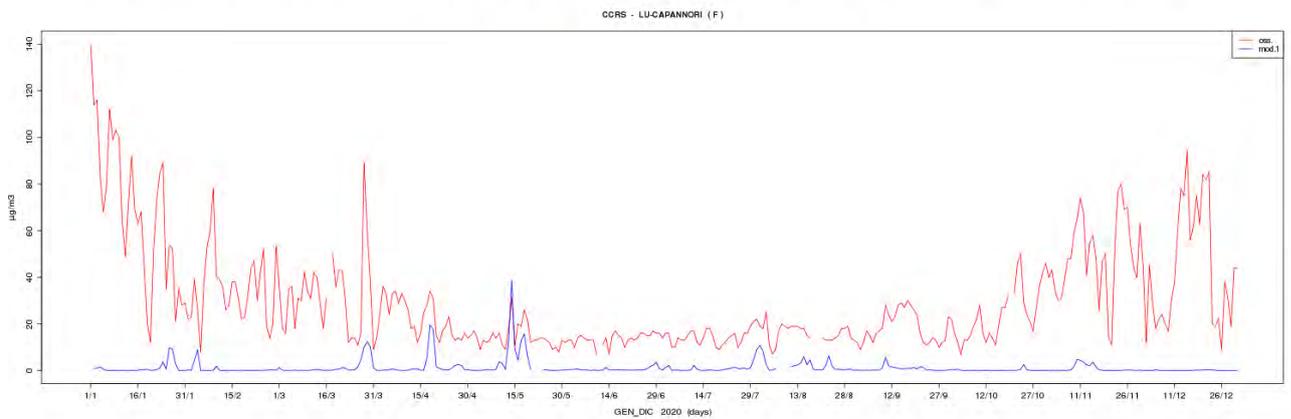
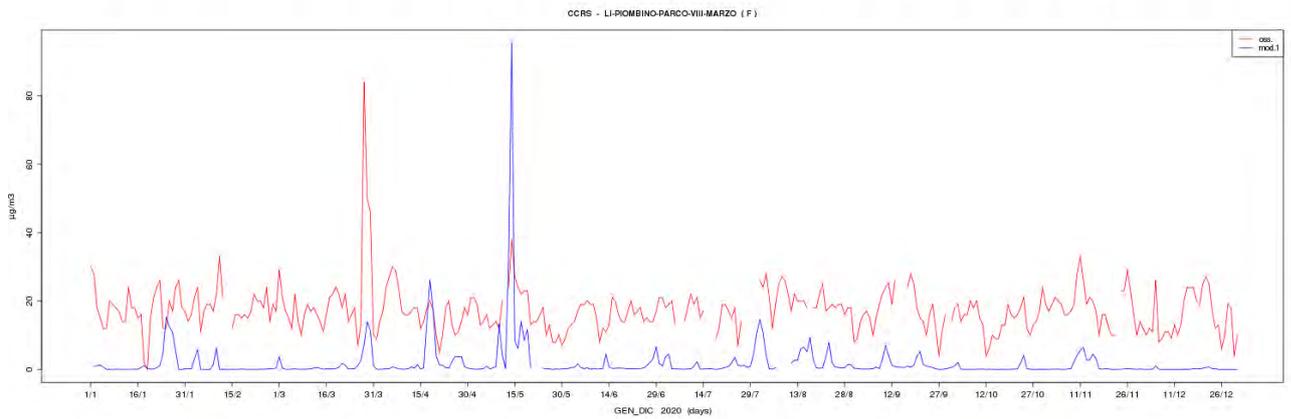
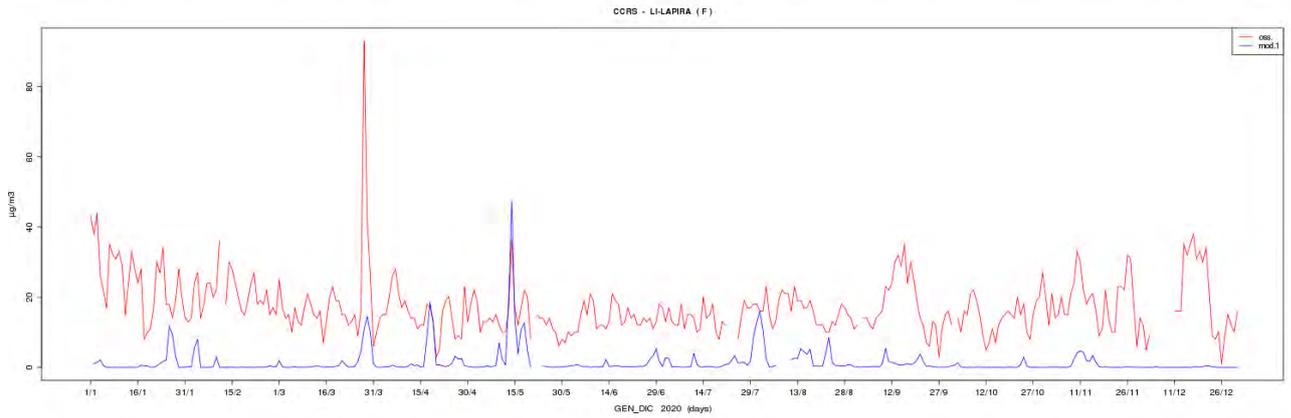
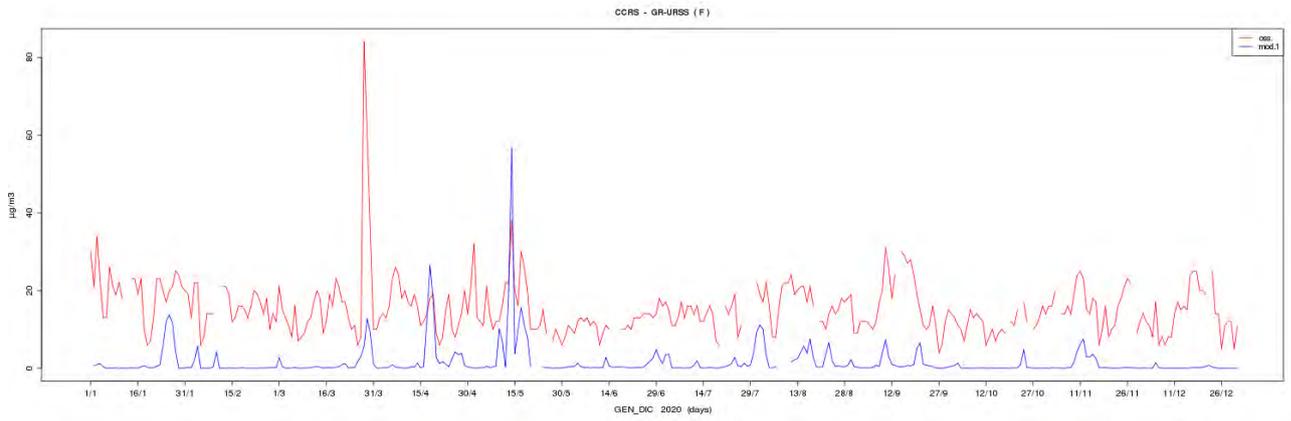


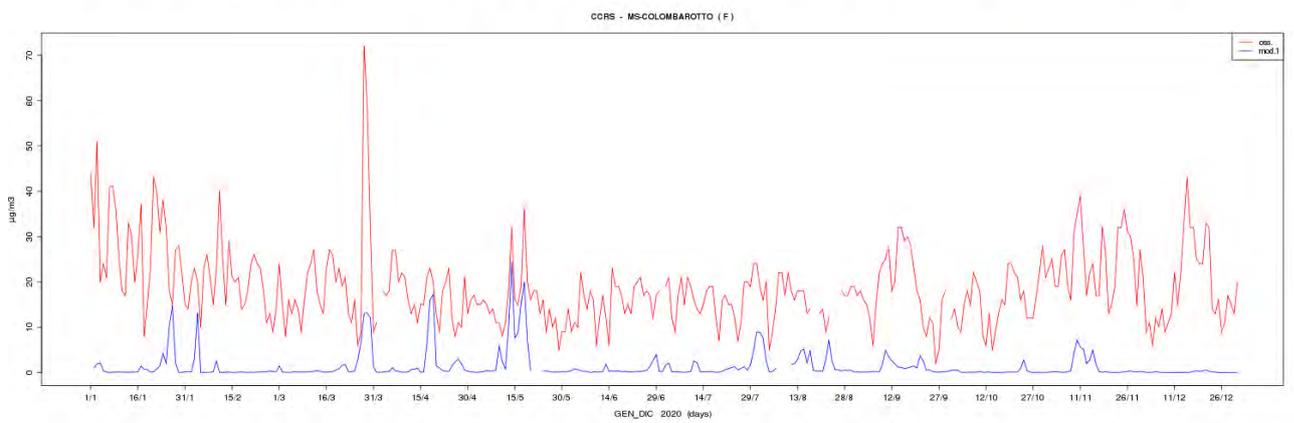
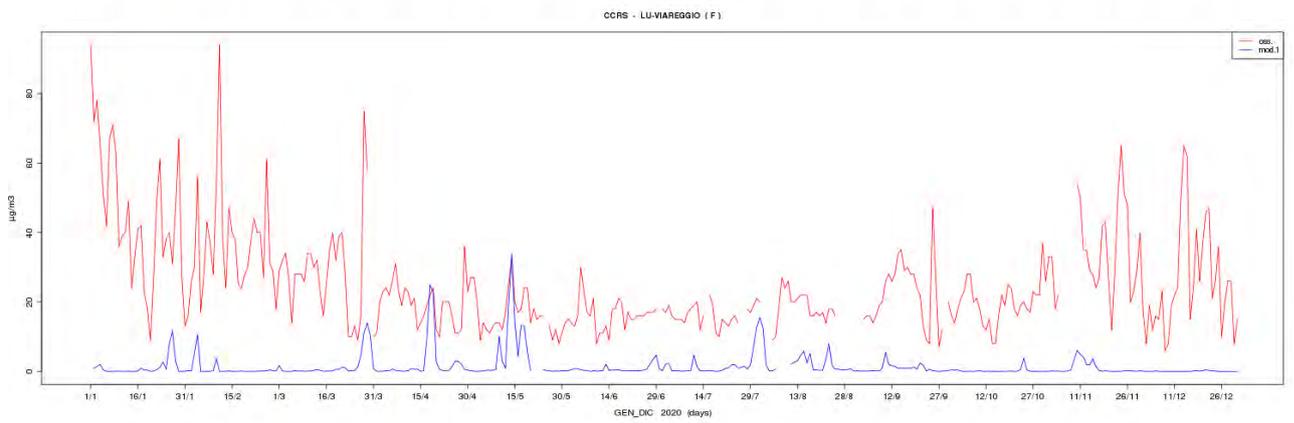
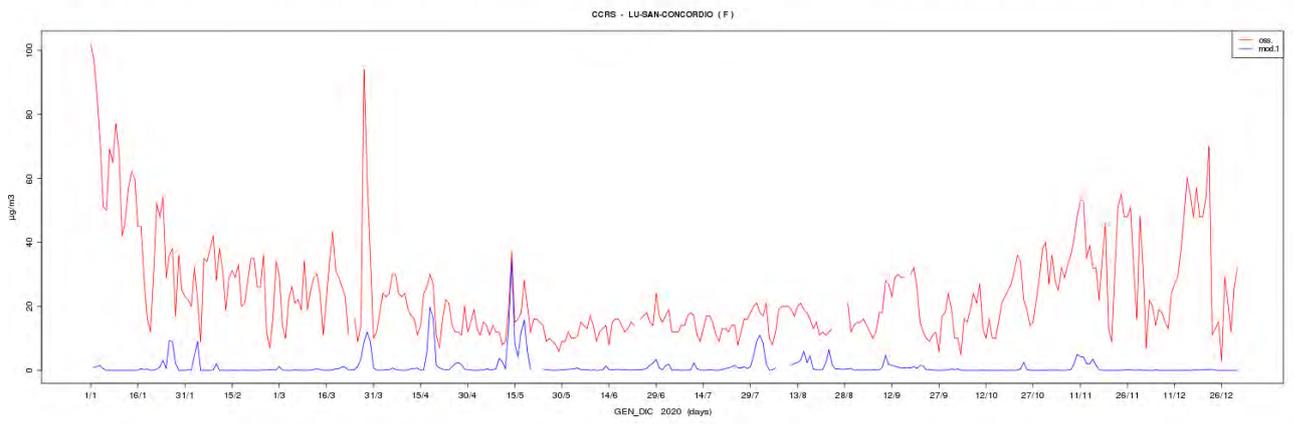
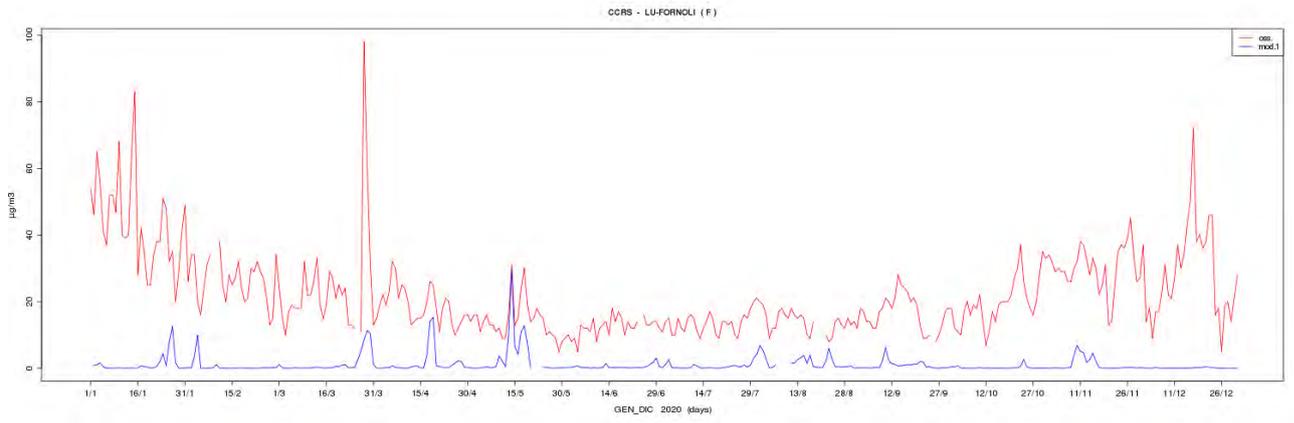


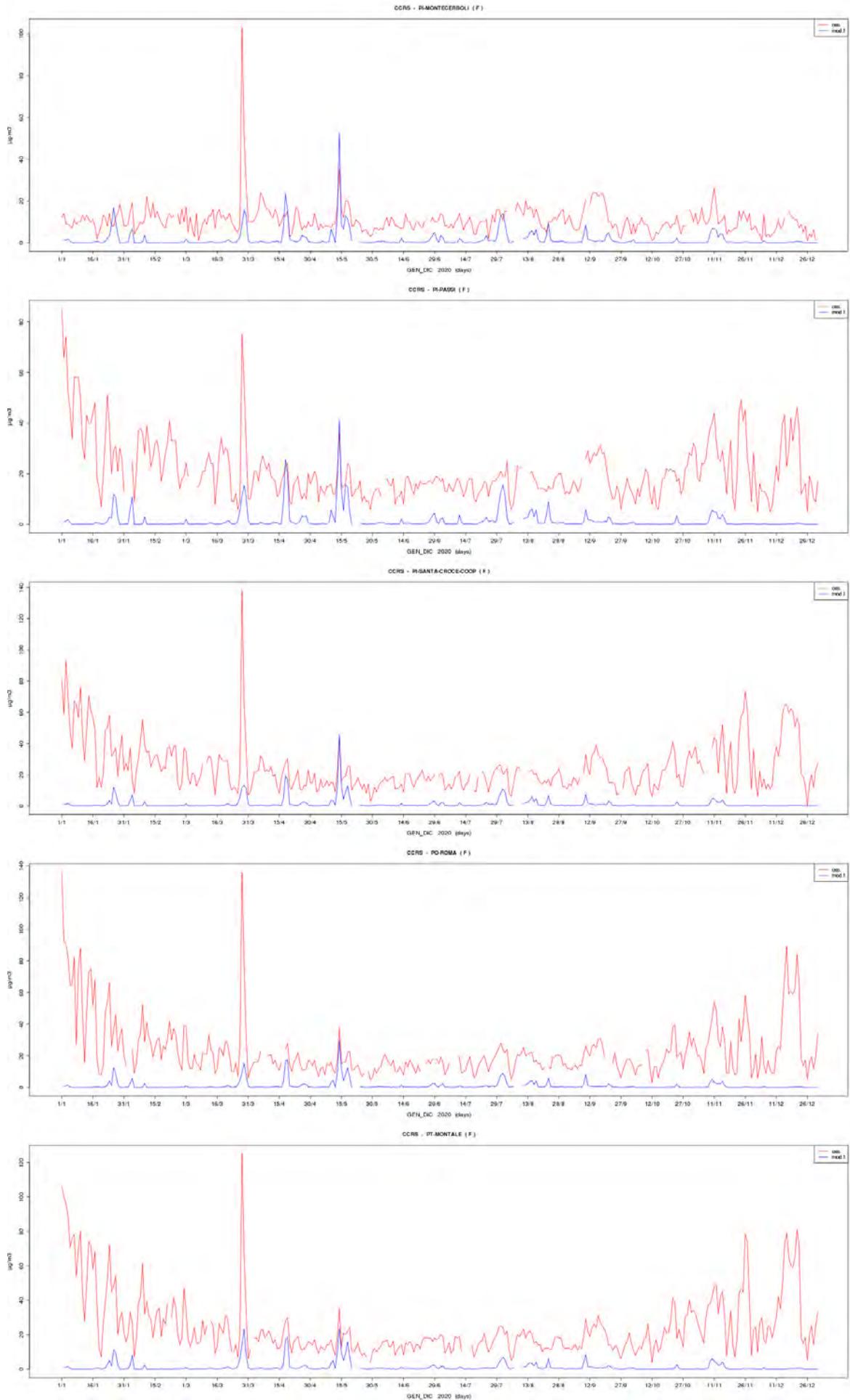


DUST









SKILL giornalieri simulazione 2019

Tabella SKILL

NOME	FORMULA	NOTE
MEDIA OSSERVAZIONI	$\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N X_i$	
MEDIA MODELLO	$\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N Y_i$	
STANDARD DEVIATION OSSERVAZIONI	$\sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X})^2}$	
STANDARD DEVIATION MODELLO	$\sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (Y_i - \bar{Y})^2}$	
FRACTIONAL BIAS (FB)	$\frac{\sum_{i=1}^N (Y_i - X_i)}{\sum_{i=1}^N \frac{(Y_i + X_i)}{2}}$	Valori fra -2 e +2 Valore ottimo=0
FRACTIONAL ERROR (FE)	$\frac{\sum_{i=1}^N Y_i - X_i }{\sum_{i=1}^N \frac{(Y_i + X_i)}{2}}$	Valori fra 0 e 2 Valore ottimo 0
ROOT MEAN SQUARE ERROR (RMSE)	$\sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (Y_i - X_i)^2}$	Valore ottimo = 0
NORMALIZED MEAN SQUARE ERROR (NMSE)	$\frac{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (Y_i - X_i)^2}{XY}$	Valori tra 0 e inf. Valore ottimo = 0
BIAS	$\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (Y_i - X_i)$	Valore ottimo = 0
CORRELATION (CORR)	$\frac{\sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^N (Y_i - \bar{Y})^2}}$	Valori tra -1 e 1 Valore ottimo = 1
INDEX OF AGREEMENT di WILLMOTT (IOA)	$1 - \frac{\sum_{i=1}^N (Y_i - X_i)^2}{\sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X} + Y_i - \bar{Y})^2}$	Valori fra 0 e 1 Valore ottimo =1

N = numero osservazioni presenti
 X_i = dati osservati \bar{X} = media dei dati osservati
 Y_i = dati simulati \bar{Y} = media dei dati simulati

NO2- SKILL DAY (2020)

ID	TIPO	NOME STAZIONE	DATI STAZ	DATI MOD	MEDIA STAZ	MEDIA MOD	STD STAZ	STD MOD	FB	FE	RMSE	NMSE	BIAS	CORR	IOA	ER
2	F	AR-ACROPOLI	99	98	13.24	13.39	8.81	10.02	0.01	0.52	9.06	0.46	0.15	0.54	0.73	1%
1	F	AR-CASA-STABBI	100	98	1.64	5.11	0.74	2.58	1.03	1.04	4.3	2.21	3.47	0.21	0.21	212%
4	T	AR-REPUBBLICA	100	98	27.82	21.61	10.59	12.87	-0.25	0.44	13.56	0.31	-6.21	0.48	0.66	-22%
5	F	FI-BASSI	99	98	17.21	27.17	12.21	15.61	0.45	0.58	16.21	0.56	9.96	0.6	0.68	58%
89	F	FI-FIGLINE	100	98	14.85	19.67	7.48	11.09	0.28	0.4	9.39	0.3	4.83	0.69	0.73	32%
7	T	FI-GRAMSCI	99	98	44.23	32.73	17.27	16.69	-0.3	0.44	20.9	0.3	-11.49	0.47	0.64	-26%
8	T	FI-MOSSE	100	98	27.94	33.36	14.97	17.27	0.18	0.37	14.4	0.22	5.42	0.66	0.79	19%
12	F	FI-SCANDICCI	100	98	20.46	26.6	12.13	14.78	0.26	0.42	12.71	0.3	6.14	0.67	0.77	30%
10	F	FI-SETTIGNANO	99	98	5.8	18.6	5.26	11.76	1.05	1.06	16.07	2.4	12.8	0.58	0.43	221%
11	F	FI-SIGNA	100	98	15.09	21.22	10.14	14.29	0.34	0.46	11.2	0.39	6.13	0.76	0.79	41%
67	F	GR-MAREMMA	98	98	2.55	3.7	1.12	2.22	0.37	0.52	2.29	0.55	1.14	0.45	0.52	45%
20	T	GR-SONNINO	100	98	28.64	16.23	11.59	7.62	-0.55	0.6	15.87	0.54	-12.41	0.53	0.58	-43%
21	F	GR-URSS	100	98	13.23	9.82	6.63	4.97	-0.3	0.43	6.58	0.33	-3.41	0.56	0.69	-26%
22	F	LI-CAPPIELLO	100	98	14.45	23.52	8.18	13.48	0.48	0.57	14.68	0.63	9.07	0.52	0.56	63%
23	T	LI-CARDUCCI	96	98	32.67	44.01	12.48	23.79	0.3	0.49	25.37	0.45	11.35	0.35	0.49	35%
26	I	LI-COTONE	100	98	11.26	30.7	5.27	13.1	0.93	0.93	22.6	1.48	19.44	0.48	0.3	173%
82	F	LI-LAPIRA	100	98	16.04	29.22	8.1	18.69	0.58	0.72	22.76	1.1	13.17	0.23	0.34	82%
83	F	LI-PIOMBINO-PARCO-VIII-MARZO	100	98	11.61	30.7	6.3	13.1	0.9	0.91	22.53	1.42	19.09	0.41	0.35	164%
29	F	LI-POGGIO-SAN-ROCCO	100	98	7.29	8.54	3.32	3.79	0.16	0.38	3.75	0.23	1.26	0.51	0.68	17%
32	F	LU-CAPANNORI	100	98	18.19	26.33	9.72	13.45	0.37	0.44	12.08	0.3	8.14	0.75	0.74	45%
69	F	LU-CARIGNANO	98	98	8.59	15.06	6.88	10.3	0.55	0.6	9.33	0.67	6.47	0.76	0.73	75%
88	F	LU-FORNOLI	100	98	10.39	13.9	5.59	8.07	0.29	0.43	7.14	0.35	3.5	0.64	0.71	34%
30	T	LU-MICHELETTO	100	98	21.02	24.15	10.57	13.81	0.14	0.31	9.49	0.18	3.14	0.76	0.84	15%
86	F	LU-SAN-CONCORDIO	100	98	18.32	24.12	9.98	13.8	0.27	0.39	10.92	0.27	5.8	0.74	0.78	32%
35	F	LU-VIAREGGIO	99	98	20.33	19.58	11.58	11.72	-0.04	0.33	8.6	0.19	-0.75	0.73	0.85	-4%
36	F	MS-COLOMBAROTTO	100	98	13.04	10.63	7.54	6.5	-0.2	0.5	8.12	0.48	-2.41	0.4	0.63	-18%
85	T	MS-MARINA-VECCHIA	100	98	16.52	22.53	8.85	12.49	0.31	0.51	12.84	0.44	6.01	0.48	0.62	36%
42	T	PI-BORGHETTO	99	98	27.14	26.14	13.24	12.63	-0.04	0.25	8.68	0.11	-1	0.78	0.88	-4%
46	F	PI-MONTECERBOLI	100	98	3.83	3.64	2.38	1.97	-0.05	0.36	1.97	0.28	-0.19	0.61	0.76	-5%
45	F	PI-PASSI	100	98	14.49	14.22	9.99	7.59	-0.02	0.37	7.34	0.26	-0.27	0.68	0.8	-2%
48	F	PI-SANTA-CROCE-COOP	100	98	18.34	21.27	10.93	12.37	0.15	0.3	8.12	0.17	2.93	0.8	0.87	16%
50	T	PO-FERRUCCI	100	98	25.54	34.69	13.45	17.9	0.3	0.4	15.08	0.26	9.15	0.74	0.77	36%
52	F	PO-ROMA	99	98	24.16	34.73	13.96	17.89	0.36	0.46	16.79	0.34	10.57	0.69	0.74	44%
55	F	PT-MONTALE	100	98	14.9	16.44	10.11	12.31	0.1	0.53	10.92	0.49	1.54	0.55	0.73	10%
57	F	PT-SIGNORELLI	100	98	18.47	24.92	11.57	17.1	0.3	0.48	13.67	0.41	6.45	0.71	0.77	35%
84	T	SI-BRACCI	100	98	27.28	15.1	11.74	8.27	-0.57	0.59	15.03	0.55	-12.18	0.66	0.62	-45%
80	F	SI-POGGIBONSI	100	98	14.06	15.69	7.44	7.89	0.11	0.33	6.43	0.19	1.63	0.67	0.8	10%

NO2- SKILL DAY (EST) 2020

ID	TIPO	NOME STAZIONE	DATI STAZ	DATI MOD	MEDIA STAZ	MEDIA MOD	STD STAZ	STD MOD	FB	FE	RMSE	NMSE	BIAS	CORR	IOA	ER
2	F	AR-ACROPOLI	99	96	7.5	10.34	2.64	6.58	0.32	0.6	6.44	0.53	2.84	0.48	0.5	38%
1	F	AR-CASA-STABBI	100	96	1.42	3.98	0.48	1.69	0.95	0.96	3.06	1.66	2.56	0.17	0.18	180%
4	T	AR-REPUBBLICA	100	96	25.29	16.8	11.01	7.64	-0.4	0.53	13.95	0.46	-8.49	0.33	0.56	-34%
5	F	FI-BASSI	98	96	9.6	21.38	3.87	11.44	0.76	0.81	15.32	1.14	11.79	0.56	0.36	123%
89	F	FI-FIGLINE	100	96	10.35	14.2	3.84	5.27	0.31	0.38	5.84	0.23	3.85	0.57	0.63	37%
7	T	FI-GRAMSCI	100	96	36.39	25.9	14.06	11.81	-0.34	0.5	20.38	0.44	-10.49	0.09	0.44	-29%
8	T	FI-MOSSE	100	96	17.67	25.29	6.42	11.23	0.35	0.49	13.12	0.39	7.61	0.36	0.49	43%
12	F	FI-SCANDICCI	99	96	12.92	19.23	5.05	8.4	0.39	0.44	9.2	0.34	6.31	0.6	0.6	49%
10	F	FI-SETTIGNANO	99	96	3.24	14.71	1.69	8.62	1.28	1.28	13.85	4.02	11.47	0.57	0.21	354%
11	F	FI-SIGNA	100	96	8.3	13.57	3.34	5.88	0.48	0.51	7.07	0.44	5.27	0.6	0.54	63%
67	F	GR-MAREMMA	100	96	2.2	2.76	0.8	1.33	0.23	0.41	1.37	0.31	0.56	0.4	0.54	25%
20	T	GR-SONNINO	100	96	23.93	13.76	9.29	5.55	-0.54	0.6	12.99	0.51	-10.17	0.5	0.54	-42%
21	F	GR-URSS	100	96	9.33	8.05	3.32	3.66	-0.15	0.39	4.17	0.23	-1.29	0.36	0.6	-14%
22	F	LI-CAPPIELLO	100	96	10.56	23.28	4.17	13.93	0.75	0.77	17.24	1.21	12.73	0.65	0.37	120%
23	T	LI-CARDUCCI	100	96	30.17	51.34	11.2	25.98	0.52	0.62	31.93	0.66	21.17	0.39	0.4	70%
26	I	LI-COTONE	100	96	10.39	34.44	3.66	12.18	1.07	1.08	26.29	1.93	24.04	0.54	0.22	231%
82	F	LI-LAPIRA	99	96	11.86	33.23	4.15	21.18	0.95	0.97	28.98	2.13	21.37	0.46	0.22	180%
83	F	LI-PIOMBINO-PARCO-VIII-MARZO	100	96	9.04	34.44	3.73	12.18	1.17	1.17	27.58	2.44	25.4	0.51	0.21	281%
29	F	LI-POGGIO-SAN-ROCCO	100	96	6.14	7.78	2.31	3.32	0.24	0.39	3.44	0.25	1.65	0.47	0.6	27%
32	F	LU-CAPANNORI	100	96	11.99	18.71	4.57	6.05	0.44	0.48	8.76	0.34	6.71	0.46	0.51	56%
69	F	LU-CARIGNANO	98	96	4.91	9.37	1.79	3.37	0.62	0.64	5.36	0.62	4.46	0.47	0.4	91%
88	F	LU-FORNOLI	100	96	6.48	9.51	1.89	3.26	0.38	0.47	4.48	0.32	3.02	0.27	0.42	47%
30	T	LU-MICHELETTO	99	96	13.85	16.15	5.28	6.25	0.15	0.29	5.66	0.14	2.3	0.61	0.73	17%
86	F	LU-SAN-CONCORDIO	100	96	11.98	16.13	5.26	6.24	0.3	0.38	6.68	0.23	4.15	0.59	0.68	35%
35	F	LU-VIAREGGIO	99	96	13.81	13.32	6.87	5.45	-0.04	0.37	6.79	0.25	-0.49	0.41	0.64	-4%
36	F	MS-COLOMBAROTTO	100	96	8.22	9.14	2.94	4.39	0.11	0.44	4.92	0.32	0.92	0.17	0.44	11%
85	T	MS-MARINA-VECCHIA	100	96	10.69	18.86	3.96	8.62	0.55	0.64	11.91	0.7	8.17	0.21	0.32	76%
42	T	PI-BORGHETTO	99	96	19.53	19.37	7.59	6.69	-0.01	0.23	6.03	0.1	-0.15	0.65	0.8	-1%
46	F	PI-MONTECERBOLI	100	96	2.74	2.66	1.01	1.01	-0.03	0.26	0.92	0.12	-0.08	0.58	0.76	-3%
45	F	PI-PASSI	100	96	7.78	10.09	3.43	3.34	0.26	0.36	3.97	0.2	2.31	0.54	0.67	30%
48	F	PI-SANTA-CROCE-COOP	100	96	11.02	13.92	3.99	4.74	0.23	0.3	4.67	0.14	2.9	0.66	0.73	26%
50	T	PO-FERRUCCI	100	96	18.32	28.2	6.77	13.23	0.42	0.48	13.66	0.36	9.88	0.73	0.61	54%
52	F	PO-ROMA	99	96	14.64	28.21	5.61	13.16	0.63	0.67	17.48	0.74	13.57	0.56	0.42	93%
55	F	PT-MONTALE	100	96	8.43	12.51	3.47	7.96	0.39	0.63	8.45	0.68	4.07	0.37	0.45	48%
57	F	PT-SIGNORELLI	100	96	10.91	17.42	3.82	9.69	0.46	0.59	10.52	0.58	6.52	0.54	0.48	60%
84	T	SI-BRACCI	99	96	21.12	10.63	6.93	3.89	-0.66	0.66	12.28	0.67	-10.48	0.41	0.47	-50%
80	F	SI-POGGIBONSI	100	96	8.78	11.98	2.83	4.24	0.31	0.35	4.39	0.18	3.19	0.7	0.67	36%

NO2- SKILL DAY (INV) 2020

ID	TIPO	NOME STAZIONE	DATI STAZ	DATI MOD	MEDIA STAZ	MEDIA MOD	STD STAZ	STD MOD	FB	FE	RMSE	NMSE	BIAS	CORR	IOA	ER
2	F	AR-ACROPOLI	98	99	18.81	16.35	9.13	11.77	-0.14	0.49	11.03	0.4	-2.46	0.49	0.69	-13%
1	F	AR-CASA-STABBI	99	99	1.85	6.21	0.87	2.82	1.08	1.09	5.23	2.38	4.36	0.06	0.2	236%
4	T	AR-REPUBBLICA	100	99	30.26	26.26	9.58	15.04	-0.14	0.37	13.18	0.22	-4	0.55	0.69	-13%
5	F	FI-BASSI	99	99	24.49	32.71	13.01	17.02	0.29	0.46	17.03	0.36	8.22	0.53	0.67	34%
89	F	FI-FIGLINE	100	99	19.2	24.97	7.58	12.58	0.26	0.41	11.86	0.29	5.77	0.57	0.64	30%
7	T	FI-GRAMSCI	99	99	51.89	39.41	16.69	18.03	-0.27	0.39	21.39	0.22	-12.48	0.5	0.64	-24%
8	T	FI-MOSSE	100	99	37.86	41.16	14.17	18.49	0.08	0.3	15.54	0.15	3.3	0.59	0.74	9%
12	F	FI-SCANDICCI	100	99	27.71	33.69	12.52	16.09	0.19	0.41	15.35	0.25	5.98	0.53	0.69	22%
10	F	FI-SETTIGNANO	100	99	8.23	22.31	6.27	13.11	0.92	0.93	17.93	1.75	14.08	0.53	0.44	171%
11	F	FI-SIGNA	100	99	21.66	28.62	10.19	16.04	0.28	0.44	14.08	0.32	6.96	0.64	0.7	32%
67	F	GR-MAREMMA	95	99	2.92	4.65	1.27	2.52	0.46	0.58	2.94	0.64	1.74	0.36	0.44	59%
20	T	GR-SONNINO	100	99	33.2	18.62	11.79	8.56	-0.56	0.61	18.23	0.54	-14.58	0.45	0.55	-44%
21	F	GR-URSS	99	99	17.02	11.55	6.84	5.44	-0.38	0.46	8.27	0.35	-5.47	0.51	0.63	-32%
22	F	LI-CAPPIELLO	100	99	18.22	23.76	9.28	13.05	0.26	0.4	11.69	0.32	5.54	0.62	0.71	30%
23	T	LI-CARDUCCI	92	100	35.29	36.34	13.21	18.43	0.03	0.33	15.82	0.2	1.05	0.54	0.72	3%
26	I	LI-COTONE	100	99	12.09	27.09	6.36	12.98	0.77	0.77	18.35	1.03	14.99	0.58	0.44	124%
82	F	LI-LAPIRA	100	99	20.07	25.36	8.91	15	0.23	0.48	14.42	0.41	5.29	0.46	0.6	26%
83	F	LI-PIOMBINO-PARCO-VIII-MARZO	100	99	14.09	27.09	7.23	12.98	0.63	0.64	16.21	0.69	13	0.67	0.54	92%
29	F	LI-POGGIO-SAN-ROCCO	100	99	8.4	9.28	3.74	4.06	0.1	0.37	4.03	0.21	0.88	0.49	0.69	10%
32	F	LU-CAPANNORI	100	99	24.19	33.71	9.63	14.5	0.33	0.42	14.6	0.26	9.52	0.64	0.66	39%
69	F	LU-CARIGNANO	98	99	12.15	20.56	8.03	11.67	0.51	0.58	11.97	0.57	8.41	0.68	0.67	69%
88	F	LU-FORNOLI	100	99	14.18	18.14	5.39	9.02	0.25	0.41	9	0.31	3.97	0.46	0.59	28%
30	T	LU-MICHELETTO	100	99	27.9	31.85	9.78	14.7	0.13	0.32	12.08	0.16	3.94	0.63	0.73	14%
86	F	LU-SAN-CONCORDIO	100	99	24.45	31.85	9.63	14.7	0.26	0.4	13.84	0.25	7.4	0.6	0.67	30%
35	F	LU-VIAREGGIO	98	99	26.66	25.67	11.73	12.93	-0.04	0.3	10.05	0.15	-0.99	0.67	0.81	-4%
36	F	MS-COLOMBAROTTO	100	99	17.7	12.07	7.71	7.77	-0.38	0.53	10.31	0.5	-5.63	0.37	0.59	-32%
85	T	MS-MARINA-VECCHIA	100	99	22.16	26.08	8.61	14.5	0.16	0.43	13.67	0.32	3.92	0.45	0.6	18%
42	T	PI-BORGHETTO	99	99	34.5	32.68	13.39	13.56	-0.05	0.26	10.64	0.1	-1.83	0.7	0.83	-5%
46	F	PI-MONTECERBOLI	100	99	4.89	4.6	2.81	2.18	-0.06	0.41	2.61	0.3	-0.29	0.48	0.67	-6%
45	F	PI-PASSI	100	99	20.97	18.21	9.98	8.38	-0.14	0.37	9.52	0.24	-2.76	0.52	0.7	-13%
48	F	PI-SANTA-CROCE-COOP	100	99	25.41	28.38	10.85	13.29	0.11	0.3	10.42	0.15	2.97	0.67	0.79	12%
50	T	PO-FERRUCCI	100	99	32.52	40.97	14.59	19.54	0.23	0.35	16.34	0.2	8.45	0.7	0.76	26%
52	F	PO-ROMA	100	99	33.27	40.97	13.47	19.54	0.21	0.34	16.11	0.19	7.69	0.69	0.75	23%
55	F	PT-MONTALE	100	99	21.15	20.23	10.5	14.42	-0.04	0.49	12.87	0.39	-0.91	0.5	0.7	-4%
57	F	PT-SIGNORELLI	100	99	25.78	32.17	11.87	19.46	0.22	0.42	16.15	0.31	6.39	0.65	0.72	25%
84	T	SI-BRACCI	100	99	33.21	19.4	12.36	9.07	-0.52	0.54	17.26	0.46	-13.81	0.57	0.59	-42%
80	F	SI-POGGIBONSI	100	99	19.17	19.29	6.94	8.89	0.01	0.32	7.92	0.17	0.12	0.52	0.71	11%

PM10 - SKILL DAY (2020)

ID	TIPO	NOME STAZIONE	DATI STAZ	DATI MOD	MEDIA STAZ	MEDIA MOD	STD STAZ	STD MOD	FB	FE	RMSE	NMSE	BIAS	CORR	IOA	ER
2	F	AR-ACROPOLI	98	98	18.99	17.68	13.21	13.06	-0.07	0.38	10.72	0.34	-1.31	0.67	0.81	-7%
1	F	AR-CASA-STABBI	96	98	9.62	12.84	10.16	7.2	0.29	0.62	10.68	0.92	3.23	0.35	0.55	33%
4	T	AR-REPUBBLICA	97	98	27.21	22.56	17.7	18.07	-0.19	0.39	14.01	0.32	-4.65	0.73	0.83	-17%
5	F	FI-BASSI	95	98	18.71	17.08	12.37	10.61	-0.09	0.34	10.05	0.32	-1.63	0.64	0.78	-9%
6	F	FI-BOBOLI	95	98	17.55	16.4	11.68	9.72	-0.07	0.36	9.87	0.34	-1.16	0.59	0.75	-7%
89	F	FI-FIGLINE	94	98	20.86	16.28	14.74	10.12	-0.25	0.41	11.29	0.38	-4.58	0.71	0.78	-22%
7	T	FI-GRAMSCI	95	98	22.93	17.96	12.69	11.3	-0.24	0.37	10.74	0.28	-4.97	0.69	0.78	-22%
8	T	FI-MOSSE	97	98	20.19	18.81	13.06	11.74	-0.07	0.34	10.39	0.28	-1.38	0.66	0.8	-7%
12	F	FI-SCANDICCI	98	98	19.68	17.53	12.35	10.75	-0.12	0.36	10.13	0.3	-2.15	0.64	0.78	-11%
11	F	FI-SIGNA	97	98	21.93	18.7	16.48	12.28	-0.16	0.35	11.84	0.34	-3.23	0.72	0.81	-15%
20	T	GR-SONNINO	98	98	21.57	17.87	9.31	10.24	-0.19	0.38	10.1	0.26	-3.7	0.54	0.7	-17%
21	F	GR-URSS	94	98	15.4	14.95	7.25	8.52	-0.03	0.38	8.15	0.29	-0.45	0.47	0.67	-3%
22	F	LI-CAPPIELLO	98	98	15.93	15.92	7.45	8.15	0	0.37	8.49	0.28	-0.01	0.41	0.63	0%
23	T	LI-CARDUCCI	95	98	21.51	17.87	9.24	8.83	-0.18	0.35	9.6	0.24	-3.64	0.52	0.69	-17%
26	I	LI-COTONE	98	98	15.34	16.27	6.92	8.76	0.06	0.35	8.3	0.28	0.92	0.47	0.65	6%
82	F	LI-LAPIRA	96	98	17.23	16.46	8.24	8.33	-0.05	0.32	8.1	0.23	-0.77	0.52	0.71	-4%
83	F	LI-PIOMBINO-PARCO-VIII-MARZO	95	98	17.3	16.37	6.94	8.87	-0.06	0.34	8.69	0.27	-0.93	0.42	0.62	-5%
32	F	LU-CAPANNORI	98	98	29.41	22.52	21.87	14.81	-0.27	0.38	14.77	0.33	-6.89	0.81	0.83	-23%
88	F	LU-FORNOLI	98	98	21.95	23.75	12.52	17.28	0.08	0.37	11.92	0.27	1.8	0.73	0.82	8%
30	T	LU-MICHELETTO	98	98	26.32	22.43	17.08	15.51	-0.16	0.32	11.39	0.22	-3.89	0.79	0.87	-15%
86	F	LU-SAN-CONCORDIO	98	98	23.88	22.45	15.11	15.56	-0.06	0.31	10.33	0.2	-1.43	0.78	0.88	-6%
35	F	LU-VIAREGGIO	94	98	24.87	21.47	14.05	13.49	-0.15	0.33	10.94	0.22	-3.4	0.71	0.83	-14%
36	F	MS-COLOMBAROTTO	98	98	18.75	17.64	8.49	10.15	-0.06	0.34	8.36	0.21	-1.11	0.62	0.77	-6%
85	T	MS-MARINA-VECCHIA	98	98	19.3	21.64	9.12	14.27	0.11	0.41	11.87	0.34	2.34	0.58	0.7	12%
42	T	PI-BORGHETTO	98	98	22.85	18.63	12.06	10.67	-0.2	0.33	9.4	0.21	-4.22	0.73	0.82	-18%
46	F	PI-MONTECERBOLI	98	98	10.83	13.36	7.26	6.69	0.21	0.45	8.12	0.46	2.53	0.39	0.59	23%
45	F	PI-PASSI	97	98	20.82	16.61	11.34	9.22	-0.22	0.35	9.24	0.25	-4.21	0.7	0.78	-20%
48	F	PI-SANTA-CROCE-COOP	97	98	24.49	20.38	16.01	12.43	-0.18	0.33	11.57	0.27	-4.11	0.74	0.82	-17%
50	T	PO-FERRUCCI	96	98	23.77	21.13	16.81	14.67	-0.12	0.37	12.16	0.29	-2.65	0.72	0.83	-11%
52	F	PO-ROMA	96	98	23.16	21.47	17.66	14.83	-0.08	0.36	12.63	0.32	-1.69	0.72	0.83	-7%
55	F	PT-MONTALE	98	98	24.37	17.14	18.01	11.35	-0.35	0.46	14.97	0.54	-7.23	0.69	0.73	-30%
57	F	PT-SIGNORELLI	98	98	19.72	24.13	13.98	19.73	0.2	0.46	14.78	0.46	4.41	0.7	0.78	22%
84	T	SI-BRACCI	99	98	17.81	16.55	9.68	10.06	-0.07	0.36	8.67	0.26	-1.26	0.62	0.78	-7%
80	F	SI-POGGIBONSI	98	98	18.06	16.87	9.21	9.8	-0.07	0.31	8.23	0.22	-1.19	0.63	0.78	-7%

PM10 - SKILL DAY (EST) 2020																
ID	TIPO	NOME STAZIONE	DATI STAZ	DATI MOD	MEDIA STAZ	MEDIA MOD	STD STAZ	STD MOD	FB	FE	RMSE	NMSE	BIAS	CORR	IOA	ER
2	F	AR-ACROPOLI	96	96	13.14	10.66	5.19	7.03	-0.21	0.41	6.69	0.32	-2.47	0.51	0.68	-19%
1	F	AR-CASA-STABBI	93	96	10.67	9.48	6.74	6.27	-0.12	0.43	5.99	0.35	-1.19	0.59	0.77	-11%
4	T	AR-REPUBBLICA	96	96	19.63	11.54	7.89	7.54	-0.52	0.65	12.41	0.68	-8.09	0.25	0.5	-41%
5	F	FI-BASSI	95	96	14.54	11.67	5.39	7.29	-0.22	0.38	7.17	0.3	-2.87	0.49	0.67	-20%
6	F	FI-BOBOLI	96	96	14.42	11.5	5.98	7.36	-0.23	0.42	7.52	0.34	-2.92	0.47	0.66	-20%
89	F	FI-FIGLINE	95	96	13.75	11	5.6	7.4	-0.22	0.45	7.66	0.39	-2.75	0.42	0.63	-20%
7	T	FI-GRAMSCI	96	97	17.46	12.23	5.23	7.42	-0.35	0.48	9.11	0.39	-5.23	0.34	0.55	-30%
8	T	FI-MOSSE	97	96	15.01	12.15	5.3	6.02	-0.21	0.41	7.58	0.31	-2.86	0.23	0.52	-19%
12	F	FI-SCANDICCI	97	96	15.31	11.79	5.84	7.22	-0.26	0.41	7.56	0.32	-3.51	0.49	0.66	-23%
11	F	FI-SIGNA	96	96	14.65	11.84	5.74	7.19	-0.21	0.4	7.23	0.3	-2.81	0.48	0.67	-19%
20	T	GR-SONNINO	98	96	18.83	11.5	6.75	6.45	-0.48	0.6	11.07	0.57	-7.33	0.2	0.47	-39%
21	F	GR-URSS	94	96	15.02	11.2	5.8	7.88	-0.29	0.47	8.3	0.41	-3.82	0.45	0.62	-25%
22	F	LI-CAPPIELLO	97	96	15.25	13.09	5.29	7.85	-0.15	0.38	7.71	0.3	-2.15	0.42	0.61	-14%
23	T	LI-CARDUCCI	95	96	19.63	14.79	6.11	7.95	-0.28	0.44	10	0.34	-4.84	0.24	0.51	-25%
26	I	LI-COTONE	97	97	15.28	14.35	5.85	9.85	-0.06	0.35	8.44	0.33	-0.94	0.52	0.66	-6%
82	F	LI-LAPIRA	97	97	15.07	13.38	5.43	7.6	-0.12	0.39	8.06	0.32	-1.69	0.3	0.55	-11%
83	F	LI-PIOMBINO-PARCO-VIII-MARZO	92	96	17.06	14.47	5.28	10.14	-0.16	0.39	9.44	0.36	-2.6	0.45	0.57	-15%
32	F	LU-CAPANNORI	98	96	16.54	13.29	6.15	7.42	-0.22	0.39	7.85	0.28	-3.25	0.45	0.65	-20%
88	F	LU-FORNOLI	97	96	14.85	11.72	4.97	6.7	-0.24	0.41	6.97	0.28	-3.14	0.46	0.63	-21%
30	T	LU-MICHELETTO	97	97	17.34	12.71	6.31	7.04	-0.31	0.42	8.54	0.33	-4.62	0.42	0.62	-27%
86	F	LU-SAN-CONCORDIO	97	96	15.98	12.64	5.91	7.09	-0.23	0.4	7.72	0.29	-3.34	0.44	0.64	-21%
35	F	LU-VIAREGGIO	91	96	18.06	13.1	6.25	7.91	-0.32	0.47	9.66	0.39	-4.96	0.33	0.55	-27%
36	F	MS-COLOMBAROTTO	96	96	16.17	12.43	5.7	6.4	-0.26	0.42	7.78	0.3	-3.75	0.37	0.59	-23%
85	T	MS-MARINA-VECCHIA	97	96	15.84	13.21	4.94	7.8	-0.18	0.41	7.73	0.29	-2.62	0.41	0.6	-17%
42	T	PI-BORGHETTO	98	96	18.19	13.25	5.63	7.8	-0.31	0.44	8.86	0.33	-4.94	0.43	0.6	-27%
46	F	PI-MONTECERBOLI	97	96	11.12	11.16	5.1	7.02	0	0.39	6.43	0.33	0.05	0.47	0.66	0%
45	F	PI-PASSI	97	96	16.19	12.37	5.17	7.74	-0.27	0.43	8.12	0.33	-3.83	0.44	0.61	-24%
48	F	PI-SANTA-CROCE-COOP	96	97	17.58	13.43	6.59	7.68	-0.27	0.41	8.46	0.3	-4.15	0.47	0.66	-24%
50	T	PO-FERRUCCI	97	96	17.2	12.62	5.43	7.14	-0.31	0.42	7.84	0.28	-4.58	0.51	0.65	-27%
52	F	PO-ROMA	93	96	15.77	12.73	5.58	7.16	-0.21	0.39	7.42	0.27	-3.03	0.45	0.65	-19%
55	F	PT-MONTALE	97	96	15.52	11.17	5.3	6.47	-0.33	0.45	7.4	0.32	-4.36	0.49	0.65	-28%
57	F	PT-SIGNORELLI	98	96	14.36	12.13	6.06	7.25	-0.17	0.43	7.55	0.33	-2.23	0.42	0.65	-16%
84	T	SI-BRACCI	98	96	15.56	11.08	6.49	7.57	-0.34	0.49	8.7	0.44	-4.48	0.44	0.63	-29%
80	F	SI-POGGIBONSI	97	96	15.08	11.69	5.72	7.88	-0.25	0.43	8.09	0.37	-3.4	0.45	0.63	-22%

PM10 - SKILL DAY (INV) 2020																
ID	TIPO	NOME STAZIONE	DATI STAZ	DATI MOD	MEDIA STAZ	MEDIA MOD	STD STAZ	STD MOD	FB	FE	RMSE	NMSE	BIAS	CORR	IOA	ER
2	F	AR-ACROPOLI	99	99	24.42	24.19	15.84	13.97	-0.01	0.36	13.42	0.3	-0.23	0.6	0.76	-1%
1	F	AR-CASA-STABBI	99	99	8.67	15.87	12.4	6.63	0.59	0.76	13.58	1.34	7.2	0.39	0.5	83%
4	T	AR-REPUBBLICA	98	99	34.41	33.03	21.14	18.93	-0.04	0.28	15.38	0.21	-1.39	0.71	0.83	-4%
5	F	FI-BASSI	95	99	22.72	22.27	15.49	10.72	-0.02	0.31	12.19	0.29	-0.45	0.62	0.74	-2%
6	F	FI-BOBOLI	95	99	20.59	21.15	14.7	9.39	0.03	0.32	11.71	0.31	0.56	0.6	0.72	3%
89	F	FI-FIGLINE	93	99	27.84	21.46	17.38	9.75	-0.26	0.39	13.96	0.33	-6.38	0.71	0.73	-23%
7	T	FI-GRAMSCI	93	99	28.4	23.69	15.35	11.62	-0.18	0.3	12.16	0.22	-4.71	0.68	0.78	-17%
8	T	FI-MOSSE	97	99	25.22	25.28	16.07	12.33	0	0.31	12.53	0.25	0.06	0.64	0.77	0%
12	F	FI-SCANDICCI	99	99	23.78	22.91	15.15	10.76	-0.04	0.32	12.05	0.27	-0.87	0.61	0.74	-4%
11	F	FI-SIGNA	99	99	28.73	25.11	19.99	12.6	-0.13	0.33	14.9	0.31	-3.62	0.69	0.77	-13%
20	T	GR-SONNINO	98	99	24.21	24	10.6	9.46	-0.01	0.25	9.06	0.14	-0.22	0.59	0.75	-1%
21	F	GR-URSS	95	99	15.76	18.54	8.41	7.52	0.16	0.31	8.01	0.22	2.78	0.56	0.7	18%
22	F	LI-CAPPIELLO	99	99	16.59	18.61	9.01	7.51	0.11	0.36	9.17	0.27	2.02	0.42	0.61	12%
23	T	LI-CARDUCCI	96	99	23.29	20.78	11.18	8.64	-0.11	0.28	9.22	0.18	-2.51	0.62	0.75	-11%
26	I	LI-COTONE	99	99	15.4	18.1	7.83	7.13	0.16	0.34	8.15	0.24	2.7	0.47	0.64	18%
82	F	LI-LAPIRA	95	99	19.38	19.52	9.86	7.9	0.01	0.27	8.15	0.18	0.14	0.6	0.75	1%
83	F	LI-PIOMBINO-PARCO-VIII-MARZO	98	99	17.51	18.08	8.16	7.16	0.03	0.3	7.95	0.2	0.57	0.47	0.66	3%
32	F	LU-CAPANNORI	99	99	41.7	31.35	24.3	14.75	-0.28	0.38	19.17	0.28	-10.35	0.76	0.76	-25%
88	F	LU-FORNOLI	98	99	28.74	35.25	13.74	16.45	0.2	0.35	15.22	0.23	6.51	0.6	0.71	23%
30	T	LU-MICHELETTO	99	99	34.86	31.67	19.56	15.73	-0.1	0.27	13.55	0.17	-3.18	0.74	0.84	-9%
86	F	LU-SAN-CONCORDIO	99	99	31.3	31.67	17.23	15.73	0.01	0.27	12.29	0.15	0.37	0.72	0.84	1%
35	F	LU-VIAREGGIO	97	99	31.06	29.08	16.18	13.01	-0.07	0.27	11.98	0.16	-1.99	0.69	0.81	-6%
36	F	MS-COLOMBAROTTO	100	99	21.12	22.44	9.86	10.6	0.06	0.29	8.87	0.17	1.32	0.63	0.78	6%
85	T	MS-MARINA-VECCHIA	99	99	22.55	29.55	10.81	14.45	0.27	0.42	14.74	0.33	7.01	0.5	0.62	31%
42	T	PI-BORGHETTO	97	99	27.37	23.86	14.66	10.5	-0.14	0.26	9.9	0.15	-3.51	0.78	0.83	-13%
46	F	PI-MONTECERBOLI	98	99	10.55	15.47	8.86	5.62	0.38	0.5	9.46	0.55	4.92	0.45	0.55	47%
45	F	PI-PASSI	97	99	25.31	20.73	13.68	8.68	-0.2	0.31	10.21	0.2	-4.57	0.75	0.78	-18%
48	F	PI-SANTA-CROCE-COOP	98	99	31.06	26.98	19.25	12.5	-0.14	0.3	13.89	0.23	-4.07	0.73	0.79	-13%
50	T	PO-FERRUCCI	95	99	30.26	29.53	21.19	15.36	-0.02	0.34	15.28	0.26	-0.73	0.69	0.8	-2%
52	F	PO-ROMA	98	99	29.89	29.42	21.77	15.54	-0.02	0.35	15.96	0.29	-0.47	0.68	0.79	-2%
55	F	PT-MONTALE	99	99	32.73	22.78	21.47	12.07	-0.36	0.46	19.6	0.52	-9.95	0.62	0.67	-30%
57	F	PT-SIGNORELLI	99	99	24.84	35.6	17.16	21.04	0.36	0.47	19.31	0.42	10.75	0.66	0.73	43%
84	T	SI-BRACCI	99	99	19.95	21.74	11.57	9.37	0.09	0.28	8.65	0.17	1.79	0.69	0.8	9%
80	F	SI-POGGIBONSI	98	99	20.9	21.82	10.88	8.87	0.04	0.24	8.37	0.15	0.92	0.66	0.79	4%

PM2.5 - SKILL DAY (2020)																
ID	TIPO	NOME STAZIONE	DATI STAZ	DATI MOD	MEDIA STAZ	MEDIA MOD	STD STAZ	STD MOD	FB	FE	RMSE	NMSE	BIAS	CORR	IOA	ER
2	F	AR-ACROPOLI	98	98	13.17	13.82	10.36	11.9	0.05	0.42	8.16	0.37	0.65	0.74	0.85	5%
5	F	FI-BASSI	95	98	12.54	13.23	9.28	9.42	0.05	0.36	6.66	0.27	0.7	0.75	0.86	6%
7	T	FI-GRAMSCI	95	98	13.91	14.12	8.83	10.19	0.01	0.33	6.54	0.22	0.2	0.77	0.87	2%
21	F	GR-URSS	93	98	9	10.45	4.05	6.8	0.15	0.45	5.94	0.37	1.45	0.53	0.66	16%
22	F	LI-CAPPIELLO	98	98	8.21	11.3	4.13	6.71	0.32	0.48	6.4	0.44	3.09	0.55	0.64	38%
23	T	LI-CARDUCCI	95	98	11.31	13.12	6.12	7.61	0.15	0.38	6.18	0.26	1.8	0.65	0.78	16%
29	F	LI-POGGIO-SAN-ROCCO	94	98	7.86	9.87	4.15	5.31	0.23	0.43	5.21	0.35	2.01	0.5	0.66	26%
32	F	LU-CAPANNORI	98	98	21.37	18.14	19.49	14.08	-0.16	0.37	11.04	0.31	-3.23	0.85	0.89	-15%
35	F	LU-VIAREGGIO	93	98	14.91	16.85	10.91	12.76	0.12	0.34	7.27	0.21	1.94	0.84	0.9	13%
85	T	MS-MARINA-VECCHIA	98	98	11.75	16.98	7.14	13.36	0.36	0.55	11.83	0.7	5.23	0.61	0.64	45%
42	T	PI-BORGHETTO	97	98	15.14	14.07	10.13	9.76	-0.07	0.3	6.04	0.17	-1.07	0.82	0.9	-7%
45	F	PI-PASSI	97	98	13.26	12.22	9.5	8.04	-0.08	0.31	5.71	0.2	-1.04	0.81	0.89	-8%
50	T	PO-FERRUCCI	96	98	14.76	17.19	12.57	13.76	0.15	0.41	9.61	0.36	2.44	0.75	0.85	16%
52	F	PO-ROMA	96	98	15.29	17.5	14.12	13.94	0.14	0.42	10.07	0.38	2.21	0.75	0.86	14%
55	F	PT-MONTALE	98	98	17.42	13.5	15.46	10.4	-0.25	0.46	11.56	0.57	-3.92	0.71	0.78	-23%
80	F	SI-POGGIBONSI	98	98	11.83	12.7	6.77	8.56	0.07	0.32	5.33	0.19	0.88	0.79	0.87	7%
PM2.5 - SKILL DAY (EST) 2020																
ID	TIPO	NOME STAZIONE	DATI STAZ	DATI MOD	MEDIA STAZ	MEDIA MOD	STD STAZ	STD MOD	FB	FE	RMSE	NMSE	BIAS	CORR	IOA	ER
2	F	AR-ACROPOLI	96	96	7.92	7.12	3.52	4.22	-0.11	0.42	4.26	0.32	-0.8	0.43	0.65	-10%
5	F	FI-BASSI	95	96	8.74	8.05	3.54	4.1	-0.08	0.37	4.16	0.25	-0.69	0.43	0.66	-8%
7	T	FI-GRAMSCI	96	97	9.99	8.49	3.6	4.15	-0.16	0.4	5.02	0.3	-1.5	0.24	0.53	-15%
21	F	GR-URSS	94	96	8.54	6.68	3.59	3.72	-0.24	0.45	4.47	0.35	-1.86	0.38	0.6	-22%
22	F	LI-CAPPIELLO	97	96	7.83	8.35	3.4	3.58	0.06	0.37	3.93	0.24	0.52	0.37	0.61	7%
23	T	LI-CARDUCCI	94	96	9.84	9.96	4.13	4.18	0.01	0.38	5.02	0.26	0.13	0.26	0.55	1%
29	F	LI-POGGIO-SAN-ROCCO	97	97	7.37	7.75	3.37	3.48	0.05	0.36	3.74	0.25	0.38	0.41	0.63	5%
32	F	LU-CAPANNORI	98	96	9.7	9.08	5.14	4.45	-0.07	0.38	4.75	0.26	-0.62	0.52	0.72	-6%
35	F	LU-VIAREGGIO	91	96	9.74	8.46	4.38	4.46	-0.14	0.41	4.97	0.3	-1.28	0.4	0.64	-13%
85	T	MS-MARINA-VECCHIA	97	96	8.81	8.82	3.58	4.89	0	0.41	4.88	0.31	0	0.37	0.6	0%
42	T	PI-BORGHETTO	98	96	11.03	8.77	4.16	3.92	-0.23	0.36	4.86	0.24	-2.26	0.43	0.63	-20%
45	F	PI-PASSI	97	96	9.1	7.84	3.86	3.69	-0.15	0.36	4.32	0.26	-1.25	0.4	0.64	-14%
50	T	PO-FERRUCCI	97	96	9.62	8.97	3.56	4.72	-0.07	0.36	4.64	0.25	-0.65	0.41	0.63	-7%
52	F	PO-ROMA	93	96	8.93	9.01	3.71	4.7	0.01	0.4	4.84	0.29	0.08	0.35	0.6	1%
55	F	PT-MONTALE	97	96	9.26	7.76	3.6	4.18	-0.18	0.4	4.52	0.28	-1.5	0.4	0.64	-16%
80	F	SI-POGGIBONSI	97	96	8.77	7.51	3.63	3.73	-0.15	0.37	4.1	0.26	-1.26	0.43	0.65	-14%
PM2.5 - SKILL DAY (INV) 2020																
ID	TIPO	NOME STAZIONE	DATI STAZ	DATI MOD	MEDIA STAZ	MEDIA MOD	STD STAZ	STD MOD	FB	FE	RMSE	NMSE	BIAS	CORR	IOA	ER
2	F	AR-ACROPOLI	99	99	18.04	20.05	12.09	13.27	0.11	0.41	10.57	0.31	2.01	0.67	0.8	11%
5	F	FI-BASSI	96	99	16.18	18.21	11.4	10.36	0.12	0.35	8.39	0.24	2.03	0.72	0.84	13%
7	T	FI-GRAMSCI	93	99	17.84	19.75	10.6	11.29	0.1	0.29	7.76	0.17	1.91	0.76	0.86	11%
21	F	GR-URSS	93	99	9.46	14.13	4.41	7.1	0.4	0.45	7.08	0.38	4.68	0.66	0.65	49%
22	F	LI-CAPPIELLO	99	99	8.57	14.1	4.71	7.72	0.49	0.56	8.08	0.54	5.53	0.64	0.63	65%
23	T	LI-CARDUCCI	96	99	12.71	16.11	7.28	8.85	0.24	0.38	7.11	0.25	3.4	0.71	0.8	27%
29	F	LI-POGGIO-SAN-ROCCO	91	99	8.38	12.09	4.78	5.96	0.36	0.49	6.4	0.4	3.71	0.55	0.65	44%
32	F	LU-CAPANNORI	99	99	32.52	26.81	21.53	14.68	-0.19	0.36	14.73	0.25	-5.72	0.78	0.83	-18%
35	F	LU-VIAREGGIO	96	99	19.64	24.52	12.8	13.05	0.22	0.32	8.86	0.16	4.88	0.84	0.88	25%
85	T	MS-MARINA-VECCHIA	99	99	14.52	24.7	8.45	14.23	0.52	0.61	15.81	0.7	10.17	0.53	0.54	70%
42	T	PI-BORGHETTO	96	99	19.2	19.31	12.41	10.91	0.01	0.26	7.02	0.13	0.11	0.83	0.9	1%
45	F	PI-PASSI	97	99	17.31	16.47	11.42	8.82	-0.05	0.28	6.78	0.16	-0.83	0.81	0.88	-5%
50	T	PO-FERRUCCI	95	99	19.83	25.32	15.82	14.89	0.24	0.43	12.75	0.32	5.49	0.72	0.82	28%
52	F	PO-ROMA	98	99	21.08	25.23	17.28	15.04	0.18	0.42	13.12	0.32	4.15	0.71	0.82	20%
55	F	PT-MONTALE	99	99	25.13	18.93	18.18	11.55	-0.28	0.48	15.5	0.51	-6.21	0.62	0.72	-25%
80	F	SI-POGGIBONSI	98	99	14.74	17.66	7.72	8.93	0.18	0.29	6.29	0.15	2.92	0.78	0.85	20%

O3 - SKILL MM8 (2020)																
ID	TIPO	NOME STAZIONE	DATI STAZ	DATI MOD	MEDIA STAZ	MEDIA MOD	STD STAZ	STD MOD	FB	FE	RMSE	NMSE	BIAS	CORR	IOA	ER
2	F	AR-ACROPOLI	97	99	67.01	86.42	26.72	21.62	0.25	0.25	23.1	0.09	19.41	0.89	0.8	29%
1	F	AR-CASA-STABBI	94	99	82.09	93.26	21.48	19.13	0.13	0.15	16.81	0.04	11.18	0.81	0.84	14%
10	F	FI-SETTIGNANO	97	99	78.93	87.95	30.36	27.36	0.11	0.14	15.39	0.03	9.02	0.91	0.93	11%
11	F	FI-SIGNA	99	99	74.34	85.66	34.36	32.15	0.14	0.17	17.11	0.05	11.32	0.93	0.93	15%
67	F	GR-MAREMMA	94	99	82.41	95.62	22.24	20.23	0.15	0.16	17.15	0.04	13.21	0.87	0.85	16%
29	F	LI-POGGIO-SAN-ROCCO	97	99	89.28	92.12	20.13	20.69	0.03	0.09	10.06	0.01	2.84	0.89	0.94	3%
69	F	LU-CARIGNANO	97	99	80.9	88.71	25.55	27.01	0.09	0.13	14.2	0.03	7.81	0.9	0.93	10%
46	F	PI-MONTECERBOLI	100	99	86.34	96.24	20.27	19	0.11	0.13	14.84	0.03	9.9	0.84	0.86	11%
45	F	PI-PASSI	98	99	71.35	86.96	28.29	23.83	0.2	0.21	19.63	0.06	15.62	0.91	0.87	22%
48	F	PI-SANTA-CROCE-COOP	98	99	61.96	86.36	28.82	30.92	0.33	0.33	27.49	0.14	24.39	0.91	0.82	39%
55	F	PT-MONTALE	98	99	75	89.8	34.87	26.07	0.18	0.21	23.17	0.08	14.79	0.87	0.86	20%
O3 - SKILL MM8 (EST) 2020																
ID	TIPO	NOME STAZIONE	DATI STAZ	DATI MOD	MEDIA STAZ	MEDIA MOD	STD STAZ	STD MOD	FB	FE	RMSE	NMSE	BIAS	CORR	IOA	ER
2	F	AR-ACROPOLI	99	100	85.85	102.15	15.01	14.29	0.17	0.17	18.51	0.04	16.29	0.82	0.71	19%
1	F	AR-CASA-STABBI	97	100	96.2	106.92	16.93	13.59	0.11	0.13	16.27	0.03	10.72	0.7	0.74	11%
10	F	FI-SETTIGNANO	97	100	101.84	109.39	20.23	16.5	0.07	0.11	14.54	0.02	7.55	0.79	0.84	7%
11	F	FI-SIGNA	100	100	101.59	110.21	18.63	17.68	0.08	0.11	14.03	0.02	8.62	0.81	0.85	8%
67	F	GR-MAREMMA	99	100	96.98	108.62	14.33	13.97	0.11	0.13	15.1	0.02	11.65	0.77	0.75	12%
29	F	LI-POGGIO-SAN-ROCCO	100	100	103.21	107.27	14.42	13.41	0.04	0.09	11.37	0.01	4.07	0.71	0.82	4%
69	F	LU-CARIGNANO	98	100	99.37	109.7	16.7	15.03	0.1	0.12	15.38	0.02	10.33	0.75	0.78	10%
46	F	PI-MONTECERBOLI	100	100	100.05	109.6	14.92	13.11	0.09	0.11	14.32	0.02	9.55	0.72	0.75	10%
45	F	PI-PASSI	100	100	91.93	105.21	15.13	13.84	0.13	0.15	16.99	0.03	13.28	0.73	0.72	14%
48	F	PI-SANTA-CROCE-COOP	98	100	83.81	110.49	14.77	16.8	0.27	0.28	29.24	0.09	26.68	0.72	0.54	32%
55	F	PT-MONTALE	99	100	101.54	109.3	19.42	16.04	0.07	0.11	14.08	0.02	7.76	0.8	0.84	8%
O3 - SKILL MM8 (INV) 2020																
ID	TIPO	NOME STAZIONE	DATI STAZ	DATI MOD	MEDIA STAZ	MEDIA MOD	STD STAZ	STD MOD	FB	FE	RMSE	NMSE	BIAS	CORR	IOA	ER
2	F	AR-ACROPOLI	95	99	47.07	69.77	21.39	14.38	0.39	0.39	27.13	0.22	22.71	0.72	0.64	48%
1	F	AR-CASA-STABBI	91	99	66.77	78.45	14.15	11.87	0.16	0.18	17.38	0.06	11.68	0.52	0.63	17%
10	F	FI-SETTIGNANO	97	99	55.77	66.27	19.27	17.14	0.17	0.21	16.2	0.07	10.5	0.78	0.81	19%
11	F	FI-SIGNA	97	99	46	60.12	21.69	22.43	0.27	0.3	19.81	0.14	14.12	0.8	0.81	31%
67	F	GR-MAREMMA	89	99	65.94	80.91	17.61	15.62	0.2	0.21	19.2	0.07	14.97	0.74	0.73	23%
29	F	LI-POGGIO-SAN-ROCCO	94	99	74.29	75.81	13.57	13.49	0.02	0.09	8.44	0.01	1.52	0.81	0.89	2%
69	F	LU-CARIGNANO	96	99	61.8	67	17.94	17.96	0.08	0.16	12.87	0.04	5.2	0.78	0.86	8%
46	F	PI-MONTECERBOLI	99	99	72.4	82.66	14.73	13.68	0.13	0.15	15.35	0.04	10.26	0.68	0.73	14%
45	F	PI-PASSI	96	99	49.71	67.78	22.07	15.64	0.31	0.31	22.06	0.14	18.08	0.83	0.74	36%
48	F	PI-SANTA-CROCE-COOP	98	99	39.99	62.09	21.99	21.4	0.43	0.44	25.61	0.26	22.09	0.82	0.73	55%
55	F	PT-MONTALE	97	99	47.71	69.74	24.65	17.89	0.38	0.4	29.75	0.27	22.03	0.6	0.65	46%

O3 - SKILL DAY (2020)																
ID	TIPO	NOME STAZIONE	DATI STAZ	DATI MOD	MEDIA STAZ	MEDIA MOD	STD STAZ	STD MOD	FB	FE	RMSE	NMSE	BIAS	CORR	IOA	ER
2	F	AR-ACROPOLI	98	98	47.56	70.65	23.02	19.66	0.39	0.4	26.26	0.21	23.09	0.84	0.72	49%
1	F	AR-CASA-STABBI	96	98	67.14	82.01	19.65	18.25	0.2	0.23	21.43	0.08	14.87	0.67	0.72	22%
10	F	FI-SETTIGNANO	99	98	59.18	66.88	24.13	22.37	0.12	0.18	14.55	0.05	7.7	0.86	0.9	13%
11	F	FI-SIGNA	99	98	51.88	63.38	28.86	26.16	0.2	0.27	19.07	0.11	11.5	0.85	0.88	22%
67	F	GR-MAREMMA	96	98	66.99	80.95	19.04	17.78	0.19	0.22	19.76	0.07	13.96	0.71	0.73	21%
29	F	LI-POGGIO-SAN-ROCCO	99	98	78.32	79.16	18.79	17.88	0.01	0.1	11.35	0.02	0.84	0.81	0.89	1%
69	F	LU-CARIGNANO	98	98	60.9	71.15	23.29	24.42	0.16	0.21	16.66	0.06	10.25	0.85	0.88	17%
46	F	PI-MONTECERBOLI	100	98	72.19	85.03	19.16	18.24	0.16	0.2	18.87	0.06	12.84	0.73	0.76	18%
45	F	PI-PASSI	100	98	48.3	71.6	22.97	21.1	0.39	0.4	26.8	0.21	23.31	0.82	0.72	48%
48	F	PI-SANTA-CROCE-COOP	100	98	39.77	63.79	22.43	25.12	0.46	0.48	27.5	0.3	24.02	0.85	0.74	60%
55	F	PT-MONTALE	100	98	50.19	69.61	28.1	22.69	0.32	0.36	25.88	0.19	19.42	0.79	0.78	39%
O3 - SKILL DAY (EST) 2020																
ID	TIPO	NOME STAZIONE	DATI STAZ	DATI MOD	MEDIA STAZ	MEDIA MOD	STD STAZ	STD MOD	FB	FE	RMSE	NMSE	BIAS	CORR	IOA	ER
2	F	AR-ACROPOLI	100	96	64.17	84.22	13.3	12.83	0.27	0.28	22.85	0.1	20.05	0.65	0.55	31%
1	F	AR-CASA-STABBI	100	96	77.83	94.07	18.09	14.27	0.19	0.22	23.02	0.07	16.24	0.51	0.6	21%
10	F	FI-SETTIGNANO	99	96	76.55	83.26	17.02	13.9	0.08	0.15	15.27	0.04	6.71	0.62	0.74	9%
11	F	FI-SIGNA	100	96	75.54	83.04	15.95	13.82	0.09	0.17	16.48	0.04	7.5	0.52	0.66	10%
67	F	GR-MAREMMA	100	96	78.91	91.9	13.28	13.66	0.15	0.19	19.59	0.05	12.99	0.4	0.53	16%
29	F	LI-POGGIO-SAN-ROCCO	100	96	91.37	91.35	13.27	12.85	0	0.1	13.22	0.02	-0.02	0.49	0.68	0%
69	F	LU-CARIGNANO	98	96	77.47	89.59	15.67	13.79	0.15	0.19	18.55	0.05	12.12	0.55	0.65	16%
46	F	PI-MONTECERBOLI	100	96	84.72	96.85	14.56	14.36	0.13	0.17	19.16	0.04	12.13	0.47	0.6	14%
45	F	PI-PASSI	100	96	65.85	87.46	11.51	12.9	0.28	0.3	25.29	0.11	21.61	0.42	0.43	33%
48	F	PI-SANTA-CROCE-COOP	100	96	56.68	83.16	12.56	13.1	0.38	0.4	29.84	0.19	26.48	0.42	0.41	47%
55	F	PT-MONTALE	99	96	72.04	85.22	16.03	14.05	0.17	0.21	19.48	0.06	13.18	0.55	0.63	18%
O3 - SKILL DAY. (INV) 2020																
ID	TIPO	NOME STAZIONE	DATI STAZ	DATI MOD	MEDIA STAZ	MEDIA MOD	STD STAZ	STD MOD	FB	FE	RMSE	NMSE	BIAS	CORR	IOA	ER
2	F	AR-ACROPOLI	97	99	30.96	57.09	18.21	15.5	0.59	0.6	29.28	0.48	26.13	0.7	0.59	84%
1	F	AR-CASA-STABBI	92	99	55.95	69.39	14.29	12.55	0.21	0.25	19.63	0.1	13.44	0.43	0.59	24%
10	F	FI-SETTIGNANO	99	99	42.39	51.04	17.07	16.94	0.19	0.23	13.82	0.09	8.65	0.8	0.84	20%
11	F	FI-SIGNA	99	99	28.75	44.16	17.74	20.47	0.42	0.48	21.3	0.36	15.41	0.71	0.72	54%
67	F	GR-MAREMMA	93	99	54.57	69.54	15.96	14.0	0.24	0.26	19.93	0.1	14.96	0.62	0.66	27%
29	F	LI-POGGIO-SAN-ROCCO	97	99	65.34	67.03	13.85	13.36	0.03	0.1	9.13	0.02	1.69	0.78	0.88	3%
69	F	LU-CARIGNANO	97	99	44.71	53.14	17.38	18.33	0.17	0.24	14.58	0.09	8.43	0.78	0.83	19%
46	F	PI-MONTECERBOLI	100	99	60.07	73.59	14.8	13.77	0.2	0.22	18.59	0.08	13.52	0.6	0.66	23%
45	F	PI-PASSI	100	99	31.32	56.27	17.97	15.37	0.57	0.58	28.19	0.45	24.95	0.7	0.59	80%
48	F	PI-SANTA-CROCE-COOP	100	99	23.41	45.05	17.11	18.99	0.63	0.64	25.03	0.59	21.64	0.76	0.66	92%
55	F	PT-MONTALE	100	99	29.18	54.6	20.02	18.98	0.61	0.62	30.8	0.6	25.42	0.6	0.6	87%

O3 - SKILL hour. (2020)																
ID	TIPO	NOME STAZIONE	DATI STAZ	DATI MOD	MEDIA STAZ	MEDIA MOD	STD STAZ	STD MOD	FB	FE	RMSE	NMSE	BIAS	CORR	IOA	ER
2	F	AR-ACROPOLI	94	98	47.6	70.62	29.52	25.05	0.39	0.43	31.08	0.29	23.02	0.72	0.73	48%
1	F	AR-CASA-STABBI	91	98	67.12	82.1	24.44	20.78	0.2	0.26	25.79	0.12	14.98	0.58	0.7	22%
10	F	FI-SETTIGNANO	94	98	59.28	67.15	30.44	30.37	0.12	0.27	21.64	0.12	7.87	0.78	0.87	13%
11	F	FI-SIGNA	95	98	52.02	63.56	36.06	33.39	0.2	0.35	25.8	0.2	11.54	0.78	0.86	22%
67	F	GR-MAREMMA	91	98	67.07	81.21	24.03	22.1	0.19	0.24	23.21	0.1	14.14	0.68	0.76	21%
29	F	LI-POGGIO-SAN-ROCCO	94	98	78.33	79.4	21.42	21.26	0.01	0.15	15.68	0.04	1.07	0.73	0.85	1%
69	F	LU-CARIGNANO	93	98	60.82	71.41	29.86	29.18	0.16	0.27	23.2	0.12	10.58	0.76	0.84	17%
46	F	PI-MONTECERBOLI	95	98	72.21	85.14	23.36	20.72	0.16	0.22	22.8	0.08	12.93	0.64	0.74	18%
45	F	PI-PASSI	95	98	48.4	72.08	31.52	25.1	0.39	0.43	32.14	0.3	23.69	0.73	0.74	49%
48	F	PI-SANTA-CROCE-COOP	95	98	39.7	64.21	30.76	32.08	0.47	0.52	32.11	0.4	24.51	0.78	0.78	62%
55	F	PT-MONTALE	94	98	50.36	70.12	36.96	29.47	0.33	0.43	33.21	0.31	19.76	0.7	0.77	39%
O3 - SKILL hour. (EST) 2020																
ID	TIPO	NOME STAZIONE	DATI STAZ	DATI MOD	MEDIA STAZ	MEDIA MOD	STD STAZ	STD MOD	FB	FE	RMSE	NMSE	BIAS	CORR	IOA	ER
2	F	AR-ACROPOLI	95	96	64.24	84.41	24.24	20.96	0.27	0.31	28.32	0.15	20.17	0.62	0.68	31%
1	F	AR-CASA-STABBI	94	96	77.99	94.35	24.9	18.18	0.19	0.25	28.19	0.11	16.37	0.47	0.61	21%
10	F	FI-SETTIGNANO	94	96	76.8	84.04	28.17	27.42	0.09	0.21	21.95	0.07	7.24	0.72	0.83	9%
11	F	FI-SIGNA	96	96	75.56	83.58	29.86	27.07	0.1	0.24	24.68	0.1	8.02	0.67	0.8	11%
67	F	GR-MAREMMA	95	96	78.93	92.29	21.38	20.12	0.16	0.22	23.6	0.08	13.36	0.56	0.68	17%
29	F	LI-POGGIO-SAN-ROCCO	96	96	91.36	91.67	17.28	18.58	0	0.14	17.3	0.04	0.31	0.54	0.73	0%
69	F	LU-CARIGNANO	94	96	77.4	90.18	26.11	22.03	0.15	0.23	24.45	0.09	12.78	0.64	0.74	17%
46	F	PI-MONTECERBOLI	95	96	84.72	97.01	20.59	18.21	0.14	0.2	23.62	0.07	12.29	0.46	0.63	15%
45	F	PI-PASSI	95	96	65.85	87.89	27.23	19.68	0.29	0.33	31.5	0.17	22.04	0.58	0.65	33%
48	F	PI-SANTA-CROCE-COOP	94	96	56.63	83.89	28.07	26.01	0.39	0.43	34.87	0.26	27.26	0.68	0.68	48%
55	F	PT-MONTALE	95	96	72.06	85.92	32.74	26.11	0.18	0.28	29.24	0.14	13.86	0.64	0.75	19%
O3 - SKILL hour. (INV) 2020																
ID	TIPO	NOME STAZIONE	DATI STAZ	DATI MOD	MEDIA STAZ	MEDIA MOD	STD STAZ	STD MOD	FB	FE	RMSE	NMSE	BIAS	CORR	IOA	ER
2	F	AR-ACROPOLI	92	99	30.92	56.82	24.51	20.82	0.59	0.63	33.66	0.64	25.9	0.56	0.63	84%
1	F	AR-CASA-STABBI	88	99	55.85	69.4	17.99	14.85	0.22	0.28	23.18	0.14	13.55	0.36	0.58	24%
10	F	FI-SETTIGNANO	94	99	42.4	50.92	21.78	23.37	0.18	0.36	21.35	0.21	8.52	0.63	0.77	20%
11	F	FI-SIGNA	94	99	28.76	43.86	24.81	26.52	0.42	0.57	26.97	0.58	15.1	0.62	0.74	53%
67	F	GR-MAREMMA	87	99	54.47	69.43	19.93	17.56	0.24	0.29	22.82	0.14	14.97	0.58	0.68	27%
29	F	LI-POGGIO-SAN-ROCCO	92	99	65.17	67	16.63	15.93	0.03	0.16	13.88	0.04	1.83	0.64	0.8	3%
69	F	LU-CARIGNANO	92	99	44.55	53.02	23.75	22.92	0.17	0.35	21.89	0.2	8.47	0.63	0.77	19%
46	F	PI-MONTECERBOLI	95	99	60.09	73.63	19.11	15.98	0.2	0.25	22.07	0.11	13.55	0.52	0.65	23%
45	F	PI-PASSI	94	99	31.23	56.56	25.44	19.51	0.58	0.62	32.88	0.61	25.34	0.59	0.64	81%
48	F	PI-SANTA-CROCE-COOP	95	99	23.47	45.35	23.66	25.32	0.64	0.69	29.22	0.8	21.89	0.69	0.72	93%
55	F	PT-MONTALE	94	99	29.23	54.79	27.35	23.87	0.61	0.7	36.84	0.85	25.56	0.47	0.62	87%

SO2- SKILL DAY 2020

ID	TIPO	NOME STAZIONE	DATI STAZ	DATI MOD	MEDIA STAZ	MEDIA MOD	STD STAZ	STD MOD	FB	FE	RMSE	NMSE	BIAS	CORR	IOA	ER
5	F	FI-BASSI	99	89	0.54	1.81	0.57	1.61	1.08	1.16	2.05	4.34	1.27	0.16	0.27	235%
82	F	LI-LAPIRA	100	89	0.43	6.94	0.67	5.93	1.77	1.77	8.8	26.19	6.51	0.06	0.09	1514%
32	F	LU-CAPANNORI	100	89	0.27	2.15	0.62	1.54	1.55	1.65	2.55	10.99	1.88	-0.11	0.15	696%

SO2- SKILL DAY (EST) 2020

ID	TIPO	NOME STAZIONE	DATI STAZ	DATI MOD	MEDIA STAZ	MEDIA MOD	STD STAZ	STD MOD	FB	FE	RMSE	NMSE	BIAS	CORR	IOA	ER
5	F	FI-BASSI	100	79	0.31	1.9	0.37	2.07	1.43	1.47	2.54	10.8	1.58	0.31	0.19	513%
82	F	LI-LAPIRA	100	79	0.61	7.88	0.86	5.95	1.71	1.72	9.4	18.51	7.27	0.05	0.11	1192%
32	F	LU-CAPANNORI	100	79	0.05	2.07	0.15	1.95	1.9	1.91	2.81	74.31	2.02	0.01	0.03	4040%

SO2- SKILL DAY (INV) 2020

ID	TIPO	NOME STAZIONE	DATI STAZ	DATI MOD	MEDIA STAZ	MEDIA MOD	STD STAZ	STD MOD	FB	FE	RMSE	NMSE	BIAS	CORR	IOA	ER
5	F	FI-BASSI	99	99	0.72	1.73	0.63	1.1	0.83	0.94	1.56	1.96	1.01	0.14	0.39	140%
82	F	LI-LAPIRA	100	99	0.28	6.19	0.4	5.83	1.82	1.83	8.29	39.23	5.9	0	0.05	2111%
32	F	LU-CAPANNORI	100	99	0.45	2.22	0.78	1.11	1.32	1.48	2.32	5.37	1.76	-0.26	0.22	393%

VAR	PERIODO	MEDIA STAZ	MEDIA MOD	STD STAZ	STD MOD	FB	FE	RMSE	NMSE	BIAS	CORR	IOA	ER
DAILY SKILL - SOLO STAZIONI FONDO													
pm10	JAN_DEC	19.7	18.2	12.45	11.43	-0.07	0.38	10.6	0.34	-1.54	0.62	0.75	-8%
	EST	15.1	12.1	5.69	7.39	-0.22	0.42	7.69	0.33	-2.96	0.45	0.64	-20%
	INV	24.1	23.9	14.82	11.25	0.02	0.36	12.58	0.32	-0.21	0.62	0.73	-1%
pm25	JAN_DEC	13.2	13.6	9.84	9.81	0.06	0.4	7.58	0.33	0.43	0.71	0.81	3%
	EST	8.7	8.0	3.79	4.03	-0.09	0.39	4.37	0.28	-0.75	0.41	0.64	-9%
	INV	17.4	18.9	11.48	10.59	0.14	0.4	9.62	0.31	1.56	0.71	0.78	9%
DAILY SKILL - TUTTE LE STAZIONI													
pm10	JAN_DEC	20.4	18.5	12.35	11.68	-0.08	0.37	10.6	0.32	-1.84	0.63	0.76	-9%
	EST	15.8	12.3	5.79	7.43	-0.24	0.43	8.15	0.35	-3.49	0.42	0.62	-22%
	INV	24.7	24.5	14.73	11.54	0.01	0.34	12.3	0.29	-0.28	0.63	0.74	-1%
pm25	JAN_DEC	13.2	14.1	9.56	10.16	0.08	0.4	7.72	0.34	0.83	0.71	0.81	6%
	EST	9.1	8.3	3.8	4.14	-0.09	0.39	4.53	0.28	-0.78	0.39	0.62	-9%
	INV	17.2	19.6	11.3	11.04	0.17	0.4	9.77	0.31	2.39	0.71	0.78	14%
DAILY SKILL - SOLO STAZIONI FONDO													
no2	JAN_DEC	13.5	18.4	8	10.67	0.3	0.52	10.5	0.59	4.89	0.59	0.67	36%
	EST	8.6	14.6	3.34	6.78	0.45	0.58	8.88	0.76	5.99	0.49	0.49	69%
	INV	18.2	22.0	8.28	11.51	0.21	0.48	11.36	0.47	3.84	0.54	0.64	21%
DAILY SKILL - TUTTE LE STAZIONI													
no2	JAN_DEC	17.3	21.1	9.14	11.72	0.22	0.51	12.08	0.54	3.74	0.59	0.66	22%
	EST	12.2	17.3	4.68	7.82	0.35	0.57	10.79	0.7	5.11	0.47	0.50	42%
	INV	22.3	24.7	9.35	12.49	0.14	0.46	12.65	0.43	2.4	0.55	0.65	11%
DAILY SKILL - SOLO STAZIONI FONDO													
o3	JAN_DEC	58.4	73.1	22.68	21.24	0.24	0.28	20.74	0.12	14.71	0.80	0.79	25%
	EST	74.7	88.2	14.66	13.59	0.17	0.22	20.25	0.07	13.54	0.51	0.59	18%
	INV	42.4	58.3	16.76	16.21	0.35	0.38	20.93	0.27	15.84	0.68	0.69	37%
MM8 SKILL - SOLO STAZIONI FONDO													
o3	JAN_DEC	77.2	89.9	26.64	24.36	0.16	0.18	18.09	0.05	12.68	0.88	0.88	16%
	EST	96.6	108.1	16.41	14.93	0.11	0.14	16.35	0.03	11.5	0.76	0.76	12%
	INV	57.0	71.0	19.01	16.5	0.23	0.26	19.44	0.12	13.92	0.73	0.75	24%
HOURLY SKILL - SOLO STAZIONI FONDO													
o3	JAN_DEC	58.4	73.4	28.9	26.3	0.2	0.3	26.1	0.2	14.9	0.7	0.8	29%
	EST	74.7	88.7	25.5	22.2	0.2	0.3	26.2	0.1	14.0	0.6	0.7	20%
	INV	42.4	58.3	22.3	20.6	0.4	0.4	25.9	0.4	15.9	0.6	0.7	47%
DAILY SKILL - SOLO STAZIONI FONDO													
so2	JAN_DEC	0.41	3.63	0.62	3.03	1.47	1.53	4.47	13.84	3.22	0.04	0.17	785%
	EST	0.32	3.95	0.46	3.32	1.68	1.7	4.92	34.54	3.62	0.12	0.11	1134%
	INV	0.48	3.38	0.6	2.68	1.32	1.42	4.06	15.52	2.89	-0.04	0.22	604%

APPENDICE 2



SISTEMA MODELLISTICO SPARTA

APRILE 2021

*Report tecnico:
Sistema modellistico SPARTA*

Autori:

*Caterina Busillo
Francesca Calastrini
Francesca Guarnieri*

Indice

Introduzione	124
1 Il sistema modellistico SPARTA	127
2 Modello meteorologico WRF	130
3 Modello chimico CAMx	133
4 Emissioni	139
5 Condizioni iniziali e al contorno	141
6 Implementazione di pre/postprocessori per CAMx	143

Introduzione

Il sistema modellistico di qualità dell'aria, sviluppato dal Consorzio LaMMA per rispondere alle richieste previste dall'Accordo tra Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare, Regione Toscana e Comune di Firenze (ex. DM. 16/10/2006), dal 2015 è entrato formalmente a far parte del "Programma di Valutazione della Qualità dell'Aria" della Regione Toscana (Allegato B alla D.G.R. 964/2015).

La prima release risale al 2013, in cui il sistema WRF-CAMx, utilizzando come input i dati di analisi ECMWF, le emissioni dell'inventario regionale IRSE - aggiornamento 2007- e condizioni al contorno fornite da ENEA (modello di riferimento nazionale MINNI), è stato applicato all'anno di riferimento 2007. Il sistema modellistico è stato valutato positivamente, corrispondendo ai requisiti richiesti dal Ministero dell'Ambiente (*Il sistema modellistico WRF-CAMx. PROT: 22/2014-Consorzio LaMMA*).

Successivi aggiornamenti hanno riguardato l'introduzione nella catena di modelli dell'aggiornamento dell'inventario regionale IRSE - anno di riferimento 2010 - (*Sistema modellistico WRF-CAMX-Aggiornamento IRSE 2010 e Applicazione agli anni 2007 e 2010. Prot. 710/15 Consorzio Lamma*) e la possibilità di utilizzare le condizioni al contorno ottenute dal modello CHIMERE - PREV'AIR (*Sistema modellistico WRF-CAMX - Simulazione dell'anno 2014. Prot. 92/2016 Consorzio Lamma*).

Dal 2015 la catena modellistica viene utilizzata per effettuare stime di lungo periodo, come supporto alla Regione Toscana nella realizzazione del "Piano Annuale di Valutazione della Qualità dell'Aria", in ottemperanza ai compiti istituzionali previsti dalla normativa nazionale e comunitaria (*Applicazione agli anni 2014, 2015, 2016, 2017; Prot. 92/2016, Prot. 261/16, Prot. 543/2017, Prot. 536/2018 Consorzio Lamma*).

Con il sistema modellistico, inoltre, possono essere elaborate analisi di scenario, come supporto per la pianificazione di interventi di mitigazione degli effetti dell'inquinamento atmosferico (supporto a PRQA). In questo modo, a fronte delle mutazioni degli scenari emissivi, è possibile valutare l'efficacia delle misure di contenimento delle emissioni in atmosfera e quindi ottenere una stima ex-ante dei costi-benefici delle politiche di risanamento (*Sistema modellistico WRF-CAMx - simulazione scenario BAU 2020. Approfondimenti QC7 - QC9. - Prot. 231/17 Consorzio Lamma*).

Il sistema di modelli è stato utilizzato per la valutazione della rappresentatività spaziale delle stazioni di monitoraggio della rete regionale, in linea con il metodo basato su stime modellistiche indicato da ENEA, nell'ambito delle attività svolte dal gruppo di lavoro ARPAT-LaMMA, coordinato dalla Regione Toscana (*Rappresentatività spaziale delle*

stazioni della rete di monitoraggio di qualità dell'aria toscana - Contributo di ARPAT e LAMMA al gruppo di lavoro regionale gestito dalla Regione Toscana sulla rappresentatività spaziale delle stazioni di monitoraggio della qualità dell'aria della rete regionale).

I risultati ottenuti con il sistema modellistico sono stati sottoposti ad un processo di verifiche, sia attraverso il confronto con i dati di concentrazione dei principali inquinanti atmosferici misurati nella rete di monitoraggio gestita da ARPAT, sia nell'ambito di campagne di misura finalizzate ad individuare l'origine e la composizione del particolato atmosferico, (Progetto Regionale PATOS - *Verifica del sistema modellistico WRF-CAMX attraverso il confronto con le misure di speciazione chimica del particolato. Prot. 412/15 Consorzio Lamma*).

Successivamente alla catena di analisi, è stata implementata una configurazione finalizzata alla previsione giornaliera della concentrazione di PM10, PM2.5, NO2, O3, dust (polvere desertica) sul territorio regionale. Allo scopo, il modello CAMx viene inizializzato dalle previsioni prodotte dal modello WRF-ARW: tale modello è operativo presso il Consorzio LaMMA per il servizio delle previsioni meteo giornaliere e attualmente permette di effettuare una previsione a 72 ore (oggi, domani, dopodomani). Le condizioni iniziali e al contorno sono fornite da PREV'AIR, a partire dai dati di concentrazione del modello CHIMERE a scala continentale. Le mappe relative alle concentrazioni stimate dei principali inquinanti sono pubblicate quotidianamente sul sito del Consorzio Lamma (*Sistema previsionale wrf-camx Prot. 54/2017 Consorzio Lamma*).

Il sistema integrato di previsione e analisi della qualità dell'aria, denominato SPARTA (**S**istema Integrato di **P**revisioni e **A**nalisi della Qualità dell'**A**ria per la **R**egione **T**oscan**A**), è stato presentato nel 2017, nell'ambito della "Giornata di studio sull'inquinamento atmosferico", organizzata dal CNR-IBIMET, dal Dipartimento di Fisica dell'Università di Firenze, dalla Sezione Fiorentina dell'INFN (*Workshop "Giornata di studio sull'inquinamento atmosferico" - Area di Ricerca CNR, Sesto Fiorentino, 28 marzo 2017*).

Nel corso del 2018-2019 il sistema SPARTA è stato aggiornato, sia per quanto riguarda il modello meteo (aggiornamento della versione, nuova configurazione), sia per quanto riguarda il modello chimico (aggiornamento della versione, potenziamento con l'introduzione del modulo di source-apportionment), e successivamente è stato sottoposto a un processo di verifica dei risultati ottenuti. La configurazione aggiornata è stata applicata per la prima volta all'analisi dell'anno 2018, i cui risultati sono descritti nel report "*Sistema modellistico WRF-CAMX. Simulazione dell'anno 2018. Prot. 00000589 del 22-07-2019, Consorzio Lamma*".

NOTA: tutti i documenti citati, identificati da protocollo Consorzio LaMMA, sono scaricabili <http://www.lamma.rete.toscana.it/meteo/qualita-dellaria>

1 Il sistema modellistico SPARTA

Il sistema integrato di previsione e analisi della qualità dell'aria SPARTA, basato sul modello chimico CAMx e sul modello meteo WRF-ARW, consente di ottenere due tipi di prodotti, previsioni e analisi dei principali inquinanti atmosferici, su un dominio che copre la Toscana. Il seguente schema a blocchi rappresenta la struttura del sistema integrato.

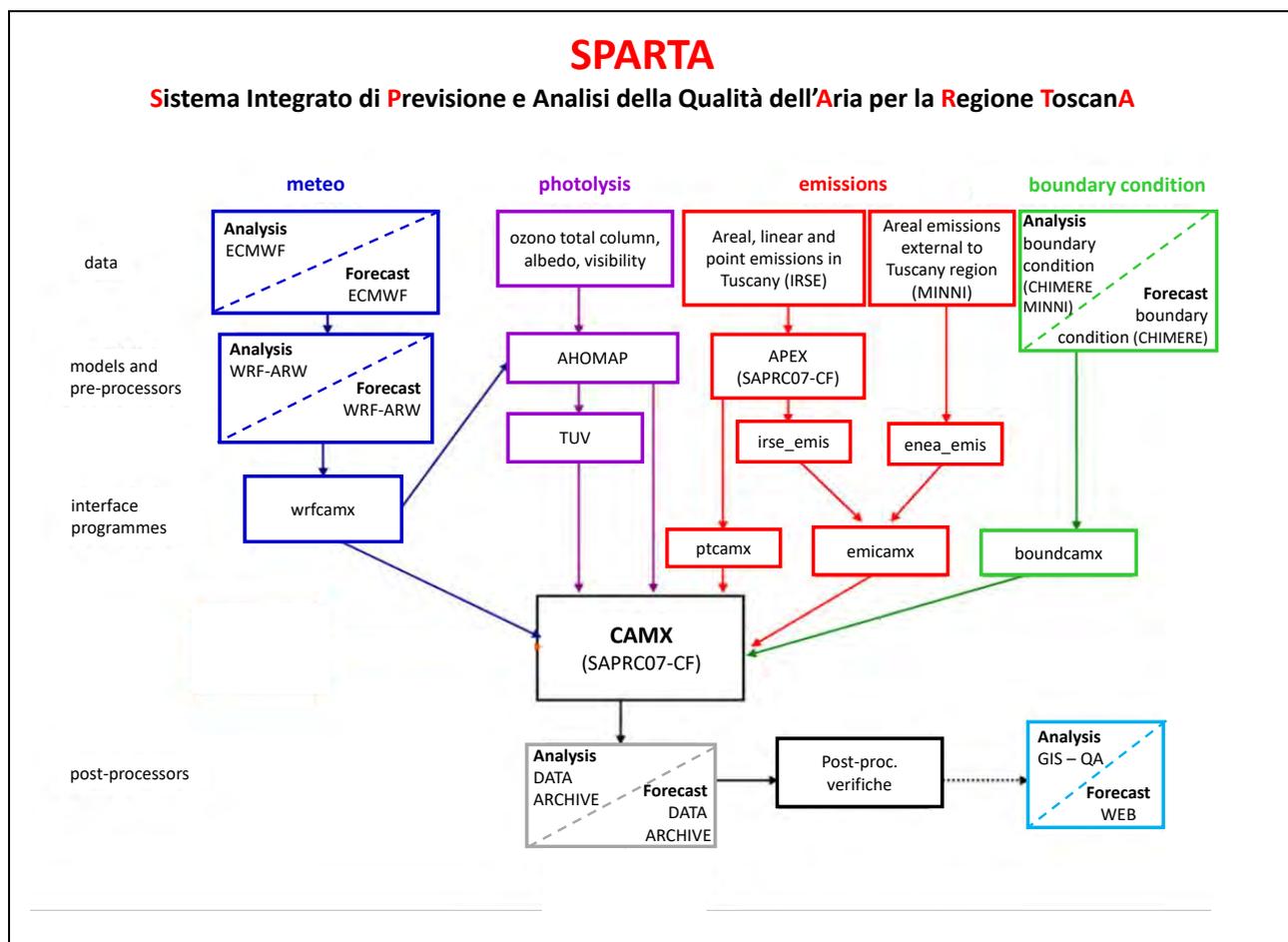


Figura 1 – Schema del sistema modellistico SPARTA.

La catena previsionale utilizza come input meteo le previsioni operative elaborate quotidianamente dal Consorzio Lamma per il servizio meteo regionale e come condizioni iniziale e al contorno le previsioni del modello chimico CHIMERE (fornite da PREV'AIR). Per quanto riguarda la catena modellistica di analisi, l'input meteorologico è fornito dal modello WRF-ARW a 3 Km di risoluzione, inizializzato da dati di analisi ECMWF: tali dati, oltre ad essere utilizzati per la modellistica della qualità dell'aria, vanno a popolare

l'archivio meteo del Consorzio Lamma (*Sistema previsionale wrf-camx - Sistema previsionale wrf-calmex - Archivio meteorologico ad alta risoluzione. Prot. 54/2017 Consorzio Lamma*).

L'aggiornamento della catena di modelli ha previsto l'allineamento del modello meteo utilizzato per le analisi al modello previsionale, sia in termini di versione (versione 3.9), sia come configurazione, adottando lo stesso dominio di calcolo.

La catena modellistica utilizza il modello CAMx, sviluppato da ENVIRON International Corporation, con cui vengono simulati il trasporto, la dispersione, le trasformazioni chimiche e la deposizione secca e umida di inquinanti aeriformi ed aerosol. Il dominio di calcolo copre il territorio toscano, con una risoluzione orizzontale di 2km e con livelli verticali che variano da 10 a 10500 m.

L'aggiornamento della versione (versione 6.5) ha previsto anche l'aggiornamento del modulo chimico (SAPRC07-CF) e la possibilità di utilizzare l'ultima versione del modulo per la stima del source-apportionment.

Come condizioni iniziali e al contorno possono essere utilizzati sia i dati di analisi forniti da PREV'AIR (modello CHIMERE a scala continentale), sia i dati di concentrazioni del modello di riferimento nazionale MINNI (ENEA): attualmente vengono utilizzate le analisi/previsioni fornite da PREV'AIR. Dal giugno 2017 il modello europeo CHIMERE è stato aggiornato e in particolare la risoluzione orizzontale del modello è stata aumentata passando da 0.5° a 0.25°.

Per entrambe le catene i dati di emissione derivano dall'inventario IRSE, disaggregate su base spaziale (1 Km come risoluzione massima), su base temporale oraria, con speciazione chimica dei VOC e del PM: i dati sono relativi all'ultimo aggiornamento disponibile, il 2010. Per utilizzare i dati IRSE si è resa necessaria l'acquisizione di una specifica interfaccia, che rappresenta un'applicazione mirata alle richieste della catena modellistica. Per la consultazione e l'elaborazione dei dati IRSE, sono stati sviluppati specifici processori per estrarre serie storiche puntuali, effettuare medie temporali su tutto il dominio; inoltre sono stati implementati moduli per la validazione e la verifica di congruenza tra i dataset relativi ad aggiornamenti successivi.

Dopo la fase di post-elaborazione, le stime modellistiche vengono validate attraverso il confronto con i dati misurati nelle stazioni di monitoraggio della qualità dell'aria della rete regionale.

Per la visualizzazione e la fruizione dei risultati ottenuti dal sistema modellistico (modalità analisi), in particolare per gli elaborati grafici, è stato sviluppato un modulo per il trasferimento in ambiente GIS, per fornire layer informativi alla piattaforma GIS-QA. Il sistema "GIS-QA", utilizzato anche per gli elaborati meteo, ha le caratteristiche di

un servizio client che si attiva a partire da una pagina web dedicata del sito del Consorzio LaMMA. Per quanto riguarda la modalità previsionale, le mappe relative alle concentrazioni stimate di PM10, PM2.5, NO2, O3 e dust sahariano sono pubblicate quotidianamente sul sito del Consorzio Lamma (<http://www.lamma.rete.toscana.it/modelli/modello-camx>).

2 Modello meteorologico WRF

Il modello WRF (Weather & Research Forecasting model, www.wrf-model.org,) è stato sviluppato dalla NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) e da NCEP (National Centre for Environmental Prediction).

Le caratteristiche principali del modello sono:

- equazioni di Navier-Stokes non idrostatiche (con opzione per ipotesi idrostatica) per fluido compressibile.
- Applicazioni regionali e globali (da pochi metri a centinaia di km di risoluzione).
- Inclusione completa di Coriolis e di tutti i termini di curvatura.
- Possibilità di utilizzare più griglie con multipli livelli di annidamento in modalità one-way o two-way.
- Griglie innestate in movimento per seguire il tragitto del vortice.
- Coordinate di tipo "terrain-following" con possibilità di variare la spaziatura con l'altezza.
- Diverse proiezioni geografiche (Stereografica Polare, Lambert, Mercatore, latitudine longitudine)
- Staggeraggio della griglia Arakawa.
- Opzioni di integrazione temporale Runge-Kutta di secondo e terzo ordine.
- Schemi di avvezione (sia orizzontale che verticale) dal secondo al sesto ordine.
- Usa "time-split" a piccoli passi per le onde acustiche e gravitazionali.
- Opzioni a fisica completa per radiazione superficiale, convezione cumuliforme, microfisica, ecc.

La configurazione adottata per il sistema integrato SPARTA prevede che il modello WRF-ARW.v3.9 venga inizializzato con i dati di previsione/analisi ECMWF, ad una risoluzione 12 km circa, (http://www.ecmwf.int/products/data/operational_system/), utilizzati anche come forcing ogni 6 ore. Il modello è configurato su una griglia di calcolo con una risoluzione orizzontale di circa 3 Km sull'intero territorio nazionale (400x440 celle) (Fig. 2).

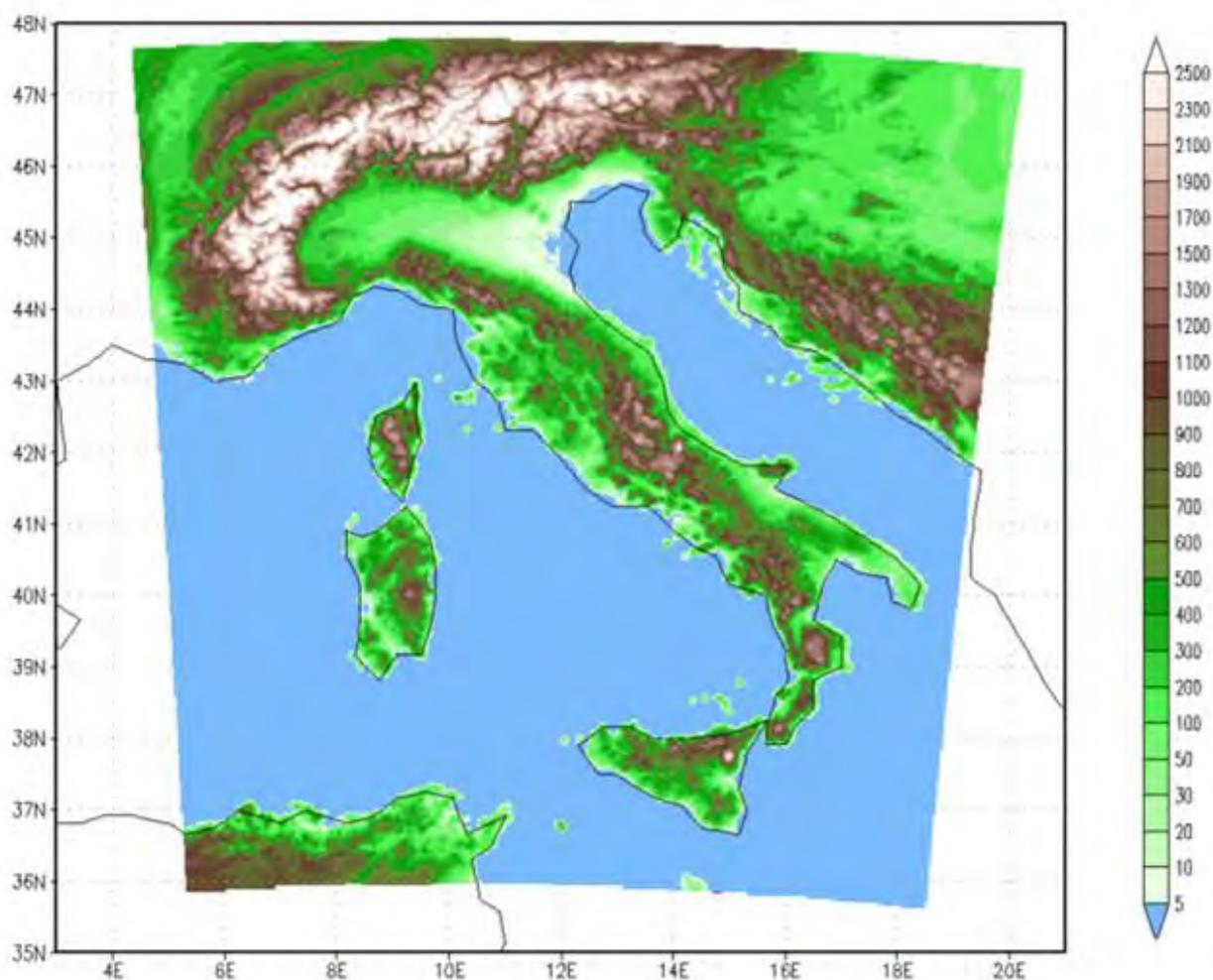


Figura 2 – Dominio di calcolo del modello WRF-ARW a 3 km di risoluzione orizzontale.

Per quanto riguarda la struttura dei livelli verticali, è stato scelto un sistema di coordinate verticali terrain-following, tale da migliorare la descrizione nei bassi strati, con il primo livello corrispondente a circa 20 metri. Il time-step è pari a 40 secondi.

Per quanto riguarda la parametrizzazione del PBL è stato adottato lo schema Yonsei University – YSU, schema non locale in cui la chiusura di ogni variabile non prognostica è ottenuta da relazioni semi-empiriche delle variabili prognostiche, relative a punti griglia distanti da quello in cui si vuole stimare la variabile non prognostica. Questo schema risulta generalmente più accurato degli schemi locali in quanto si basa sul principio che le proprietà di uno strato del PBL possano mescolarsi con quelle degli altri strati e non solo con quelle degli strati adiacenti, come avviene invece negli schemi locali. E' uno schema K di primo ordine, pertanto conserva le equazioni prognostiche solo per la variabile media e parametrizza i termini delle perturbazioni secondo la K-theory.

Di seguito le caratteristiche principali della configurazione adottata sono riportate in tabella 1.

Tab. 1 - Principali caratteristiche della configurazione adottata.

Numero griglie	1 (400x440)
Tipo di nesting	NO nesting
Risoluzione orizzontale	3km
Parametrizzazione convettiva	Kain-Fritsch
Livelli verticali	35 sigma
Time-step	40 s
Parametrizzazione PBL	Schema Yonsei University – YSU
Parametrizzazione superficiale	Unified Noah land-surface model : schema unificato NCEP/NCAR/AFWA di suolo, temperatura e umidità in quattro livelli, oltre che di copertura nevosa
Parametrizzazione radiativa (LW/SW)	LW: schema RRTM (modello di trasferimento radiativo rapido) SW: schema Dudhia.
Microfisica	New Thompson et al.: nuovo schema con processi di formazione ghiaccio, neve e graupel adatto per simulazioni ad alta risoluzione.

3 Modello chimico CAMx

Il modello di chimica e trasporto CAMx, Comprehensive Air quality Model with extensions, è stato sviluppato da ENVIRON International Corporation (<http://www.camx.com/>), e rappresenta uno dei modelli di riferimento a livello internazionale per lo studio dell'inquinamento atmosferico. Il modello si basa sull'equazione generale del trasporto, o di continuità, riferita ad un sistema di coordinate fisso o euleriano e in coordinate verticali terrain following.

La variazione nel tempo della concentrazione, in ogni punto griglia e per ogni specie considerata, è espressa come la somma dei contributi dovuti alla avvezione orizzontale, al trasporto verticale, alla diffusione turbolenta orizzontale e verticale, alla chimica, che dipende dal meccanismo scelto, alle emissioni delle sorgenti presenti, alla rimozione dovuta alla deposizione secca e umida. L'equazione di continuità è risolta con un metodo numerico che, separando i termini dell'equazione in moduli - tecnica dello splitting - ne computa in serie il singolo contributo ad ogni passo temporale. In prima battuta viene valutato il contributo alle emissioni da sorgente, poi il trasporto orizzontale, il trasporto verticale, la diffusione verticale, la diffusione orizzontale, la deposizione umida, la chimica. I processi di trasformazione chimica in fase gassosa sono effettuati sulla base di meccanismi chimici ridotti, che permettono una trattazione semplificata raggruppando i composti organici in classi omogenee. Inoltre è possibile includere la chimica del particolato sia organico che inorganico, che viene descritto attraverso 20 composti:

- aerosol secondario inorganico: solfato, nitrato, ammonio;
- aerosol marino: sodio, cloro;
- carbonio elementare e organico primario;
- aerosol cristallino (fine e grosso);
- altro aerosol primario inerte (fine e grosso);
- aerosol secondario organico.

Per alcuni composti, aerosol cristallino e altro aerosol primario, sono previste due frazioni granulometriche: fine inferiore a 2.5 μm e grosso, tra 2.5 e 10 μm . I composti secondari, il carbonio elementare e l'organico primario sono assegnati alla frazione fine, mentre l'aerosol marino alla frazione grossa.

La deposizione secca è trattata calcolando per ogni specie una velocità di deposizione, funzione del land use e delle condizioni meteorologiche locali, ed è inclusa nel calcolo

della diffusione verticale. In particolare, per quanto riguarda l'aerosol, la deposizione secca avviene per diffusione, impatto e deposizione gravitazionale e viene stimata utilizzando l'approccio di Slinn e Slinn (1980). Per quanto riguarda la deposizione umida, viene utilizzato l'approccio di Seinfeld e Pandis (1998).

L'input meteorologico, costituito da campi tridimensionali di vento, di temperatura, di pressione, dai coefficienti di diffusione verticale, dalla concentrazione media di vapore d'acqua, dalla copertura nuvolosa, dalla pioggia, può essere fornito da un modello prognostico.

Per il calcolo dei ratei delle reazioni fotochimiche sono necessari input relativi a albedo, spessore della colonna di ozono stratosferico, opacità dell'aria; in presenza di copertura nuvolosa il valore dei ratei viene corretto.

Il modello fornisce in uscita le stime di concentrazione media oraria e le quantità depositate al suolo, relative alla rimozione secca ed alla rimozione umida, per ogni specie inquinante simulata.

Nella configurazione adottata, CAMx.v6.5 è stato configurato su di un dominio di calcolo che copre l'intera regione Toscana, con una estensione di 220x248 Km². Il dominio, in coordinate UTM (32), è costituito da 110 per 124 celle quadrate di 2 Km di lato. Nella simulazione sono stati considerati 18 livelli verticali, da 20 m a 10500 m, con una risoluzione più alta in prossimità del suolo (Fig. 3).

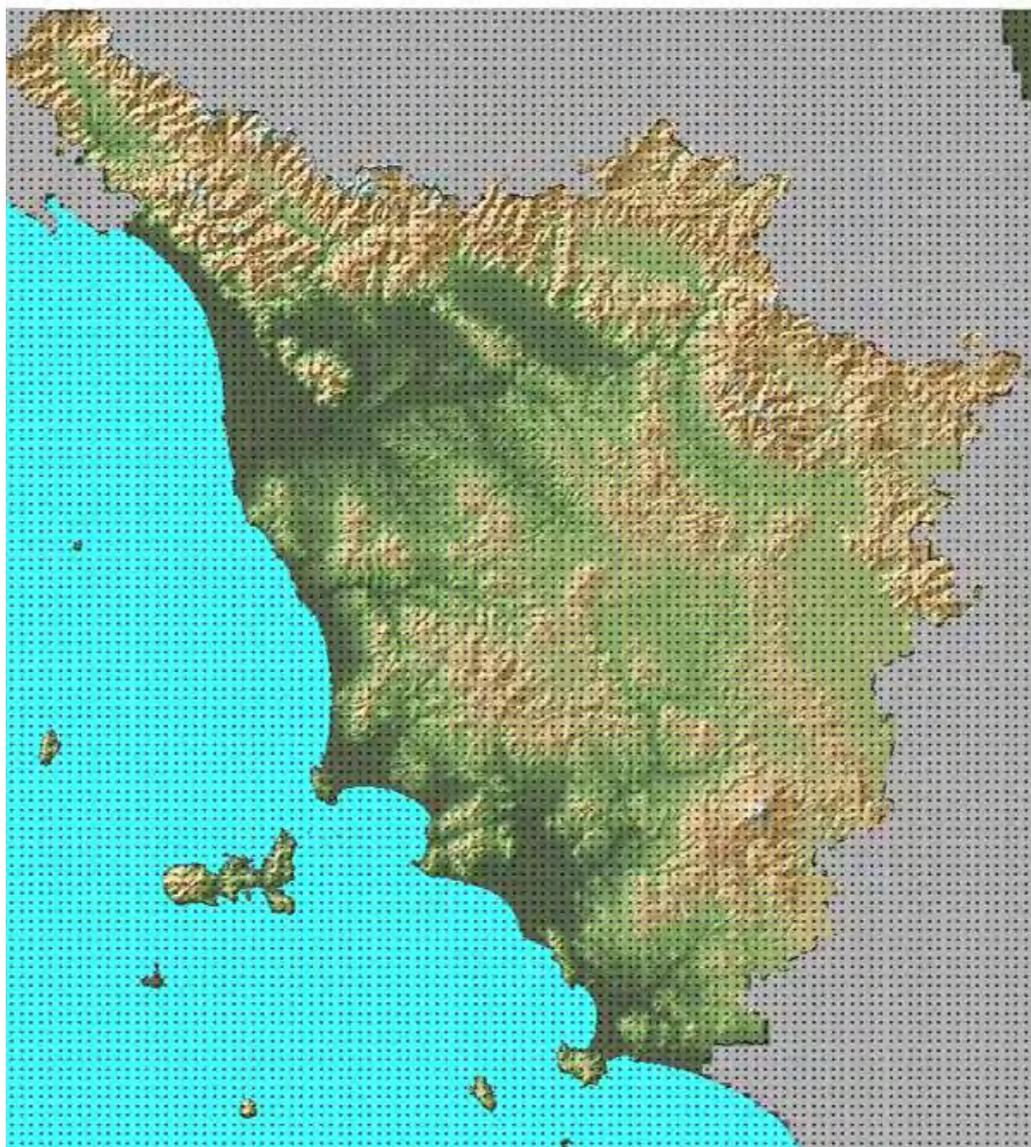


Fig. 3 – Dominio di calcolo del modello CAMx a 2 km di risoluzione orizzontale.

I file che costituiscono l'input meteorologico, forniti da WRF-ARW.v3.9, sono stati interpolati (da circa 3 Km a 2 Km), proiettati in coordinate UTM e opportunamente formattati. Ciascun file contiene le stime orarie delle variabili per ogni giorno della simulazione.

Il meccanismo chimico adottato è SAPRC07 più aerosol (SAPRC07+CF). Le emissioni areali, con disaggregazione temporale oraria e speciazione chimica, sono state ottenute dall'Inventario Regionale IRSE, alla risoluzione iniziale di 1Km in coordinate UTM, poi ricampionate a 2 Km. Sul territorio esterno alla regione Toscana, ma interno al dominio di calcolo, sono state utilizzate le emissioni del modello MINNI, a 4 Km di risoluzione e interpolate a 2 Km. Le emissioni puntuali disaggregate temporalmente su base oraria, sono anch'esse fornite da IRSE.

Come condizioni iniziali e al contorno sono attualmente utilizzati i dati forniti da PREV'AIR (modello CHIMERE a scala continentale) a 0.25° di risoluzione.

Tabella 2. Principali caratteristiche della configurazione adottata per l'anno 2018.

Modello	CAMx versione 6.5
Periodo	ANNO 2018
Risoluzione temporale	oraria
Dominio di calcolo	Dimensioni: 220x248 Km ² ; 110 x 124 celle Risoluzione spaziale: 2 Km Coordinate: UTM (32) 554 km E; 4677 Km N
Livelli verticali	18 livelli; da 10 m a 10500 m
Input meteo	WRF; variabili su base oraria, risoluzione 3 Km, con interpolazione 2 Km, anno 2018
Deposizione secca	Attivata - Slinn e Slinn (1980)
Deposizione umida	Attivata - Seinfeld e Pandis (1998)
Chimica	SAPRC07+CF
Concentrazioni iniziali e al contorno	CHIMERE (MELCHIOR), (day-1), anno 2018, risoluzione 0.25°.
Emissioni areali Simulazione 2018-2010	IRSE 2018-2010: database aggiornato al 2010 variabili su base oraria; risoluzione 1 Km, con interpolazione 2 Km, MINNI - area esterna alla Toscana: variabili su base oraria; risoluzione 4 Km, con interpolazione 2 Km
Emissioni puntuali	IRSE 2018-2010: database aggiornato al 2010 variabili su base oraria
Specie in output	23 specie: NO, NO ₂ , O ₃ , SO ₂ , HNO ₃ , NH ₃ , PNO ₃ , PSO ₄ , PNH ₄ , POA, PEC, FPRM, CPRM, CCRS, FCRS, SOA1, SOA2, SOA3, SOA4, SOPA, SOPB, NA, PCL

Le specie o composti chimici modellizzati sono 23: NO, NO₂, O₃, SO₂, HNO₃, NH₃, aerosol secondario inorganico (PNO₃, PSO₄, PNH₄) aerosol marino (NA, CL), carbonio elementare, (PEC), organico primario (POA), aerosol crostale (CCRS, FCRS), altro aerosol primario inerte (FPRM, CPRM), aerosol secondario organico (SOA1, SOA2, SOA3, SOA4, SOPA, SOPB). La stima di concentrazione di PM₁₀ è stata ottenuta come somma di tutte le classi di aerosol, mentre per ottenere le stime di PM_{2.5} sono stati

sommati solo i composti con granulometria fine (aerosol secondario organico e inorganico, PEC, POA, FCRS, FPRM). Nella tabella 2 sono riportate le principali caratteristiche dell'attuale configurazione, applicata all'anno 2018, prima applicazione dopo l'aggiornamento della catena di modelli.

Nella simulazione relativa all'anno 2020 è stata implementata la più recente versione del modulo per la stima dell'aerosol marino (oceanic.v4.2), che permette una migliore e più dettagliata definizione di questo contributo soprattutto nelle aree costiere, tenendo conto dell'impatto della surf-zone nella formazione dello spray marino.

Il modulo per la stima dell'aerosol marino oceanic.v4.2 (<http://www.camx.com/getmedia/bc24b0ef-fbc1-42c9-9486-0112ef606f86/oceanic-08oct19.tgz>) è capace di calcolare le emissioni, variabili nel tempo e nello spazio, non solo di aerosol di sale marino (NA, PCL e PSO₄), ma anche di aerosol di sodio, cloruro e solfato, cloro e bromo in fase gassosa associati al sale marino, alo-metani gassosi e dimetil solfuro (DMS). Una volta stimate, queste emissioni vengono integrate nei file di emissione preesistenti pronti per CAMx, in modo da avere gli input completi per la run. In questa applicazione, sono state stimate esclusivamente le emissioni di sale marino, con dimensioni variabili da sub-micrometriche a oltre 100 micron. Tali emissioni si originano dalla rottura delle onde che, inglobando aria nell'acqua, creano bolle successivamente trasportate dalla turbolenza e dalle circolazioni di Langmuir; sulla superficie del mare la pellicola interfacciale delle bolle si rompe rilasciando nell'aria sale marino, sottoforma di aerosol. Con velocità del vento superiori a 9 m/s vengono prodotte goccioline di grandi dimensioni con raggi maggiori di 4 µm.

La produzione di sale marino viene calcolata a un'umidità relativa dell'80%, che è tipica dei 10 metri sopra la superficie dell'acqua poiché, essendo il sale igroscopico, le dimensioni di un aerosol di sale marino cambiano con l'umidità relativa dell'ambiente, crescendo all'aumentare dell'umidità e restringendosi in aria più secca. La dimensione di tali particelle è circa il doppio di quella dell'aerosol secco (Fitzgerald 1975). Nella loro parametrizzazione modellistica, vengono fatte diverse ipotesi, le principali:

1. la dimensione dell'aerosol viene descritta attraverso una singola quantità quale il raggio a una data umidità relativa (80%);
2. tutti gli aerosol di sale marino si suppongono avere la stessa composizione relativa delle sostanze disciolte e le proprietà come la densità e l'indice di rifrazione sono considerate indipendenti dalla dimensione delle particelle;
3. le goccioline hanno un nucleo insolubile di puro cloruro di sodio (NaCl);

4. la massa di particelle secche emesse viene calcolata dal flusso integrato sulla dimensione dell'aerosol assumendo una geometria sferica delle particelle e una densità dell'aerosol secco di 2200 kg/m³ (Grini et al. 2002).

Il tool stima i flussi di aerosol marini sia nel mare aperto, sia dalle onde che si infrangono nella "surf zone".

La zona della frangenza o surf zone (m) è definita come quella parte di mare dove frangono le onde. Questa zona è confinata tra la costa e il punto di frangenza. Il suo confine è variabile e dipende dalle caratteristiche fisiche della batimetria e dall'altezza d'onda.

Il flusso di sale marino sul mare aperto utilizza parametrizzazioni sviluppate da Gong (2003), Sofiev et al. (2011) o Ovadnevaite et al. (2014). Il flusso di aerosol della "surf zone" può essere calcolato utilizzando la parametrizzazione di DeLeeuw et al. (2000) o l'approccio in mare aperto Gong (2003). Quest'ultimo è l'approccio predefinito ed è consigliato in quanto porta a un'emissione più realistica del flusso che è meno influenzato dalla velocità del vento.

Per calcolare le emissioni della "surf zone", è necessario specificare la larghezza e la lunghezza della linea costiera in ciascuna cella della griglia. La lunghezza della costa può essere impostata in due modi: uno pari alla lunghezza della cella, oppure è possibile fornire un file che riporta le lunghezze reali della costa in modo più dettagliato. La larghezza della "surf zone" può essere specificata per ciascuna cella della griglia costiera all'interno di un ulteriore file che definisce la distribuzione spaziale delle celle della griglia coperte dal mare (10, 20, 50 e 100 m).

4 Emissioni

Il modello CAMx può trattare emissioni diffuse (areali) e emissioni derivanti da sorgenti puntuali (camini). Le emissioni sono espresse dal flusso di massa per unità di tempo, in particolare come grammi moli/ora per i gas e grammi/ora per l'aerosol: di conseguenza è necessario che le emissioni in ingresso siano disaggregate sia su base temporale oraria, che su base spaziale (emissioni areali). Per la simulazione di inquinanti secondari, attivando la chimica, è necessario inoltre che le emissioni relative a VOC e al particolato siano disaggregate secondo la codifica SAROAD e poi riaggregate, in accordo con il meccanismo chimico scelto (SAPRC07 + CF).

Le emissioni, sia areali che puntuali, relative al territorio della regione Toscana sono fornite dall'inventario regionale IRSE, gestito dal software APEX (Techne Consulting, <http://www.techne-consulting.com/joomla/it/>).

Tale software non era predisposto per effettuare la disaggregazione spaziale, temporale e la "speciazione" chimica. Per questo motivo il Consorzio Lamma ha richiesto un upgrade alla società Techne Consulting, in base a queste specifiche esigenze. L'interfaccia sviluppata permette di estrarre file con disaggregazione temporale oraria, disaggregazione spaziale pari a 1 Km e speciazione chimica dei VOC e del particolato, in accordo con il meccanismo chimico SAPRC07 + CF. Le emissioni puntuali, anche queste disaggregate su base oraria e con speciazione chimica, sono fornite in due file distinti, uno relativo al rateo d'emissione di ciascun camino, l'altro con le caratteristiche dei camini presi in esame (coordinate geografiche, altezza e diametro del camino, velocità e temperatura dei fumi).

I dati emissivi sono relativi all'ultimo aggiornamento disponibile, anno di riferimento 2010, in attesa dell'aggiornamento dell'inventario regionale delle emissioni, previsto entro il 2020.

Il dominio di calcolo include anche delle aree che sono esterne alla regione Toscana e che tuttavia non possono essere trascurate nel computo delle emissioni: per questo sono state utilizzate le emissioni del modello MINNI, fornite da ENEA per l'anno di riferimento 2010. Si tratta di file relativi alle emissioni su base oraria di un'area maggiore rispetto al dominio di calcolo a una risoluzione di 4 Km, quindi è stato necessario interpolare i file per passare da 4 a 2 Km di risoluzione. Il meccanismo chimico adottato nell'applicazione del modello MINNI per l'anno 2010 è SAPRC07, analogo a quanto adottato per il modello CAMx.

A titolo di esempio, sono riportate le mappe relative al rateo emissivo, cumulato su 24 ore per NO, ENEA e IRSE.

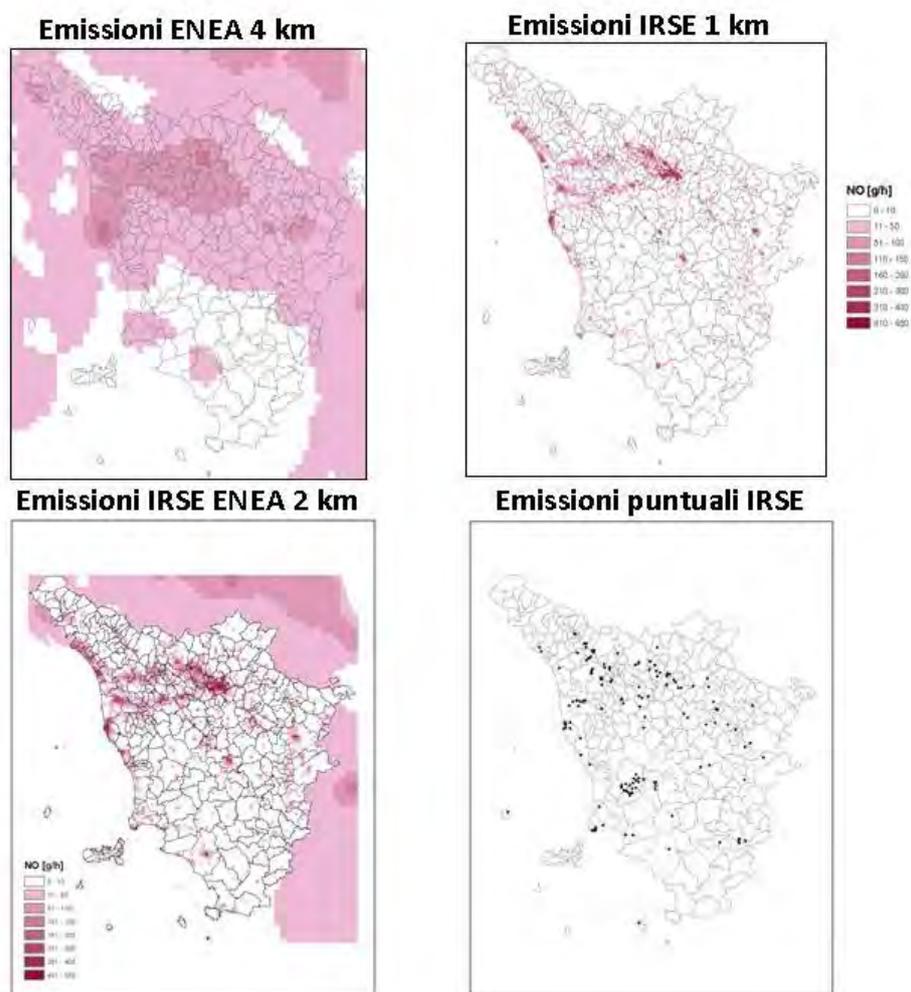


Fig.4 – Mappe relative al rateo emissivo, cumulato su 24 ore per NO (emissioni diffuse) e localizzazione dei camini (emissioni puntuali).

5 Condizioni iniziali e al contorno

Il modello CAMx richiede campi di concentrazione utilizzati come condizioni iniziali e al contorno: le condizioni iniziali sono fornite da un campo tridimensionale relativo a un tempo precedente all'inizio della simulazione, mentre le condizioni al contorno, che devono essere fornite per tutto il periodo della simulazione, sono relative ad una cornice intorno al dominio di calcolo. In entrambi i casi si considerano i livelli verticali e le specie chimiche modellizzate o un sottoinsieme di queste.

Inizialmente, la catena di modelli WRF-CAMx è stata applicata per gli anni 2007 e 2010 utilizzando come condizioni iniziali e al contorno le stime ottenute dal modello MINNI a 4 Km di risoluzione spaziale orizzontale, con 18 livelli verticali (da 20 a 10500 m) e risoluzione temporale oraria.

Nel caso in cui la simulazione si riferisca ad anni diversi da questi, dal 2014 e successivi, non è possibile utilizzare questo tipo di input. Si è reso necessario valutare altre opzioni, cioè la possibilità di utilizzare condizioni iniziali e al contorno ottenute da altri modelli sia nazionali che internazionali.

Sulla base di considerazioni di tipo tecnico e soprattutto economico, è stato scelto di utilizzare i campi di concentrazione stimati dal modello CHIMERE (<http://www.lmd.polytechnique.fr/chimere/>) a scala continentale, forniti gratuitamente attraverso il portale PREV'AIR (<http://www2.prevoir.org/>). Questo modello, oltre a essere riconosciuto a livello internazionale, fornisce le condizioni al contorno a numerosi modelli utilizzati presso centri di ricerca e istituzioni pubbliche. Inoltre la fornitura, sempre puntuale e completa, è a carattere non oneroso, fattore determinante per la scelta. Trattandosi di un modello che opera a scala continentale (il dominio copre gran parte dell'Europa), la risoluzione spaziale inizialmente era bassa, cioè 0.5° (circa 50 Km); tuttavia, dal giugno 2017 il modello CHIMERE è stato aggiornato e in particolare la risoluzione orizzontale è stata aumentata passando da 0.5° a 0.25°.

Per ottenere la fornitura dati è stata effettuata la procedura di registrazione al portale PREV'AIR, che prevede la formalizzazione della richiesta fornendo alcune specifiche tecniche come l'estensione del dominio e il formato dei dati: la scelta effettuata prevede il formato netcdf, sul dominio riportato in Fig. 4, che copre l'area compresa fra 7.5°E e 18.5°E e fra 38.5°N e 48.5°N, su 8 livelli verticali.

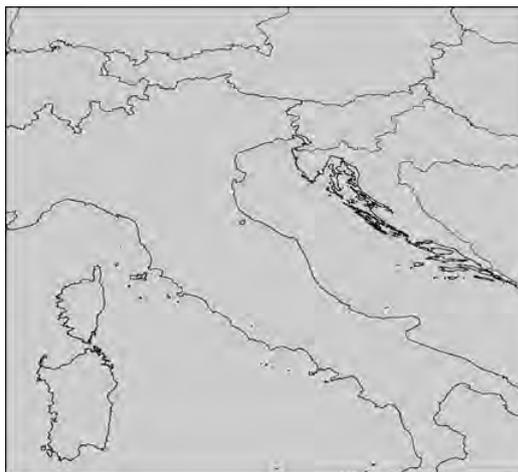


Figura 4. Dominio della fornitura dati CHIMERE

Nell'ottica di rendere operativa la catena modellistica, sono state predisposte varie procedure atte a automatizzare la run del modello a partire dallo scarico dei dati di input fino alla visualizzazione e valutazione dei risultati.

Quindi, giornalmente vengono scaricati, archiviati e processati i dati previsionali di CHIMERE da + 24h a +72h, oltre alle analisi relative al giorno precedente (day-1) con le quali si ricostruisce l'analisi di interi anni, costituendo un vero e proprio archivio. Infatti, dovendo effettuare simulazioni di anni passati, analogamente all'input meteorologico, anche per le condizioni al contorno vengono utilizzati i dati di analisi precedentemente archiviati.

Al fine di utilizzare come condizioni iniziali e al contorno i campi tridimensionali di concentrazione prodotti da CHIMERE, sono state messe a punto alcune procedure di conversione e formattazione. In particolare, dal momento che il meccanismo chimico su cui si basa il modello francese è MELCHIOR, i files relativi alle specie gassose e alle specie aerosol forniti come input sono stati convertiti al fine di associare le specie di CHIMERE (MELCHIOR) a quelle di CAMx (SAPRC07).

6 Implementazione di pre/postprocessori per CAMx

L'implementazione della catena modellistica ha richiesto non solo l'allineamento delle versioni dei modelli, dei preprocessori e dei moduli di interfaccia, ma anche la realizzazione di alcuni di questi. Infatti alcuni preprocessori sono forniti direttamente da ENVIRON International Corporation, altri sono stati appositamente implementati. In particolare, sono stati compilati e modificati il preprocessore wrfcamx, che produce gli input meteo, utilizzando i file netcdf in uscita dal modello ad alta risoluzione WRF-ARW, a 3 Km, e i preprocessori ahomap e tuv, che producono due file necessari per il calcolo dei ratei delle reazioni fotochimiche, utilizzando come input dati di ozono forniti da TOMS (<ftp://toms.gsfc.nasa.gov/pub/omi/data/>).

I moduli di interfaccia per la gestione delle emissioni e delle condizioni al contorno sono stati invece sviluppati appositamente. La messa a punto dei moduli per fornire dell'input emissivo al modello è stata realizzata attraverso numerosi passaggi. Il modulo di interfaccia per l'inventario IRSE, sviluppato da Techne Consulting in ambiente LINUX, fornisce in uscita, per le emissioni areali, file giornalieri in formato netcdf corrispondenti a matrici di flusso di massa per unità di tempo (g/h per le polveri e gmol/h per i gas) di 220x248 celle di 1km di lato per 24 ore, per specie e composti chimici considerati dal meccanismo chimico SAPRC07 + CF. Questi file giornalieri sono poi ricampionati (da 1 a 2 Km) e formattati sia nei formati richiesti dal modello che come file netcdf. Questo secondo formato è necessario nel caso in cui si vogliono considerare anche le emissioni su aree esterne alla regione Toscana: per queste aree infatti sono utilizzate le emissioni ottenute dal modello MINNI. Dopo aver effettuato un passaggio dalle specie modellate in MINNI a quelle utilizzate in CAMx, uniformato le unità di misura, interpolato per passare da 4 a 2 Km di risoluzione, i file netcdf ottenuti sono sovrapposti ai file elaborati da IRSE in modo da ottenere una copertura completa del dominio di calcolo; infine il file netcdf ottenuto viene formattato per CAMx.

Le emissioni puntuali, fornite da IRSE in due file distinti, uno relativo al rateo di emissione e l'altro alle caratteristiche dei camini, sono disaggregate su base oraria e con speciazione chimica. E' stata sviluppata una apposita interfaccia per formattare questi file in un unico file giornaliero nei formati di CAMx.

Anche per le condizioni al contorno fornite dal modello MINNI o dal modello CHIMERE è stata sviluppata una apposita interfaccia per il modello CAMx, con la funzione di

effettuare sia l'interpolazione alla risoluzione finale di 2 Km, sia, se necessario, la conversione delle specie chimiche.

Sono stati sviluppati dei post-processor in grado di elaborare i file di uscita del modello in modo da renderli fruibili per l'analisi delle performance modellistiche e per la visualizzazione del dato stesso. In particolare, sono state elaborate le mappe medie di concentrazione di PM10, PM2.5, NO2, SO2, O3, con periodi temporali variabili (medie giornaliere, mensili, stagionali, annue), e i campi meteorologici ottenuti da WRF. Per quanto riguarda la visualizzazione delle emissioni, è stato realizzato un apposito processore che permette di elaborare file relativi a emissioni areali IRSE, MINNI o all'unione dei due tipi. Inoltre, si possono estrarre le serie storiche di singoli punti, in corrispondenza delle stazioni di monitoraggio della rete regionale gestite da ARPAT, per la validazione del modello. Infatti è stato elaborato un post-processor per l'analisi e la valutazione modellistica. Per effettuare una valutazione quantitativa delle prestazioni della catena modellistica sono stati utilizzati alcuni indicatori statistici, comunemente utilizzati in letteratura. Nella seguente tabella sono elencati gli indicatori scelti.

Tabella 7. Indicatori statistici

NOME	FORMULA	NOTE
MEDIA OSSERVAZIONI	$\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N X_i$	
MEDIA MODELLO	$\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N Y_i$	
NORMALIZED MEAN BIAS	$\frac{\sum_{i=1}^N (Y_i - X_i)}{\sum_{i=1}^N X_i}$	Valori tra -1 e inf. Valore ottimo = 0
NORMALIZED MEAN ERROR	$\frac{\sum_{i=1}^N Y_i - X_i }{\sum_{i=1}^N X_i}$	Valori tra 0 e inf. Valore ottimo = 0
FRACTIONAL BIAS	$\frac{\sum_{i=1}^N (Y_i - X_i)}{\sum_{i=1}^N \frac{(Y_i + X_i)}{2}}$	Valori fra -2 e +2 Valore ottimo=0
FRACTIONAL ERROR	$\frac{\sum_{i=1}^N Y_i - X_i }{\sum_{i=1}^N \frac{(Y_i + X_i)}{2}}$	Valori fra 0 e 2 Valore ottimo 0
STANDARD DEVIATION MODELLO	$\sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (Y_i - \bar{Y})^2}$	
STANDARD DEVIATION OSSERVAZIONI	$\sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X})^2}$	
ROOT MEAN SQUARE ERROR	$\sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (Y_i - X_i)^2}$	Valore ottimo = 0
CORRELATION	$\frac{\sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^N (Y_i - \bar{Y})^2}}$	Valori tra -1 e 1 Valore ottimo = 1
BIAS	$\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (Y_i - X_i)$	Valore ottimo = 0
INDEX OF AGREEMENT (WILLMOTT)	$1 - \frac{\sum_{i=1}^N (Y_i - X_i)^2}{\sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X} + Y_i - \bar{X})^2}$	Valori fra 0 e 1 Valore ottimo =1

N = numero osservazioni presenti

X_i = dati osservati

Y_i = dati simulati

Infine, per la visualizzazione e la fruizione dei risultati ottenuti dalla simulazione modellistica, in particolare per gli elaborati grafici (mappe e grafici), è stato sviluppato un modulo per il trasferimento di questi in ambiente OpenGIS, per fornire layer informativi alla piattaforma GIS-QA. Il sistema "GIS-QA", già operativo per gli elaborati meteo, ha le caratteristiche di un servizio client che si attiva a partire da una pagina web dedicata del sito del Consorzio LaMMA. Attraverso tale pagina ogni utente, autorizzato previo rilascio di account, può accedere via web al servizio.