

SISTEMA MODELLISTICO SPARTA

SIMULAZIONE DELL'ANNO 2019

GIUGNO 2020

Relazione finale:

Sistema modellistico SPARTA - simulazione dell'anno 2019

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 2019	7
3 – Simulazione anno 2019 – Risultati	20
3.1 Concentrazioni medie	21
3.3 Serie storiche	25
3.3 Scatter-plot	32
3.4 Diagrammi di Taylor	35
3.5 Indicatori statistici	36
3.6 Dust sahariano	39
Conclusioni	43
APPENDICE 1	46
APPENDICE 2	109

Introduzione

Il sistema modellistico SPARTA (Sistema Integrato di Previsioni e Analisi della Qualità dell'Aria per la Regione Toscana), utilizzato per simulare le concentrazioni degli inquinanti atmosferici a supporto della Regione Toscana nell'elaborazione annuale del Programma di Valutazione della Qualità dell'Aria, è stato applicato all'anno 2019.

In questo lavoro sono presentati i risultati ottenuti: dopo una breve sintesi delle caratteristiche della catena di modelli – per approfondimenti si rimanda all'appendice 2 - è riportato un capitolo relativo alle condizioni meteorologiche che hanno caratterizzato l'anno. Nel capitolo successivo sono commentate e validate le stime modellistiche di PM10, PM2.5, NO2, O3 e SO2, attraverso il confronto con i dati misurati dalle stazioni di monitoraggio della rete regionale; inoltre viene valutata anche la polvere desertica.

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

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. Il seguente schema a blocchi rappresenta la struttura del sistema integrato.

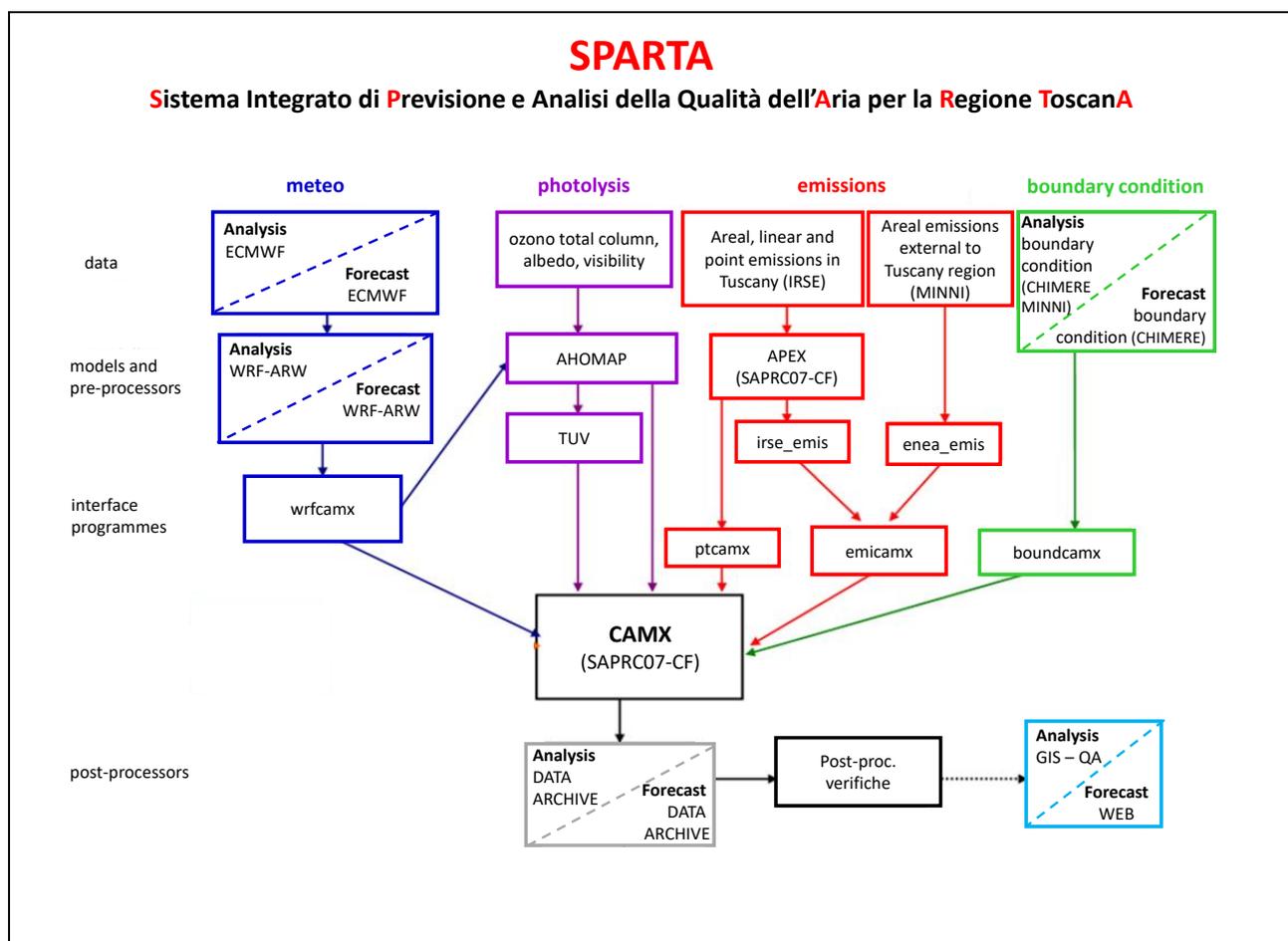


Fig. 1 – Schema a blocchi del sistema integrato SPARTA.

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

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.

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

I dati di emissione derivano dall'inventario regionale IRSE, disaggregate su base spaziale, temporale e con speciazione chimica dei VOC e del PM: i dati sono relativi all'ultimo aggiornamento disponibile, il 2010. Per maggiori dettagli sul sistema di modelli si rimanda al documento tecnico riportato in appendice 2.

2 Sintesi delle condizioni climatiche - anno 2019

TEMPERATURE:

Il 2019 in Toscana è stato 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. L'anomalia si discosta di pochi decimi di grado dagli anni più caldi della serie storica i quali, fatta eccezione per il solo 2003, si concentrano tutti nell'ultimo decennio (2014, 2015 e 2018). La figura 2 (sopra) mostra la distribuzione delle anomalie di temperatura media nel 2019, queste risultano particolarmente significative sulle zone interne e sui rilievi. L'andamento termico regionale risulta in linea con quello europeo (Fig. 2 - sotto).

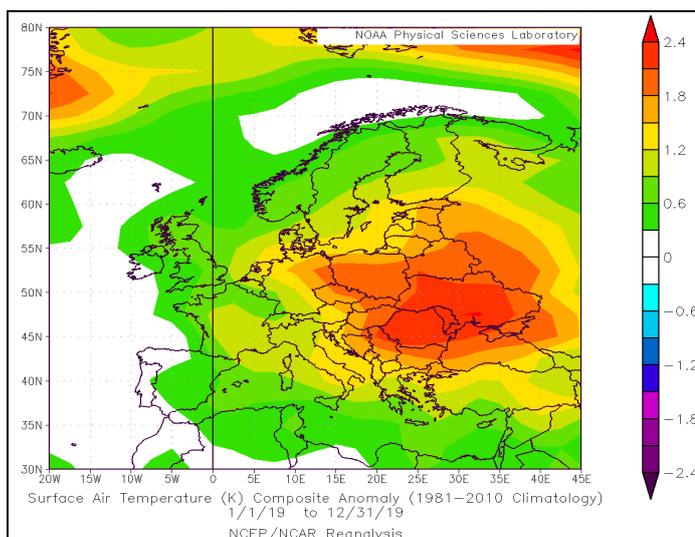
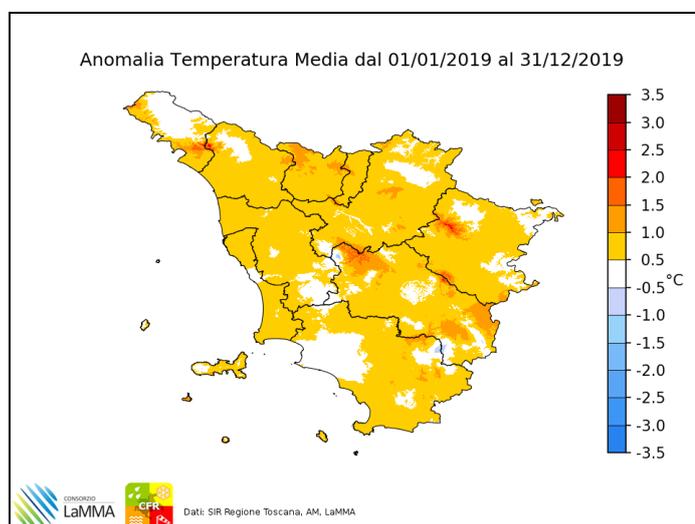


Fig. 2 - Distribuzione delle anomalie termiche in Toscana nel 2019 (sopra). Distribuzione delle anomalie termiche in Europa nel 2019 (sotto).

Nel dettaglio si sono registrate marcate anomalie positive nel trimestre estivo ed autunnale (Fig. 3), con scostamenti particolarmente significativi (+2,1 °C) a giugno e novembre; notevoli anche gli scarti relativi a febbraio (+1,7 °C) e a dicembre (+2,1 °C). Giugno, dicembre e novembre sono stati tra i più caldi dell'intera serie storica. Gli unici mesi con segno meno risultano essere gennaio (-1,4 °C) e maggio (-2,3 °C); quella di maggio è l'anomalia negativa più bassa dal 1991. I restanti mesi del 2019 si sono contraddistinti per scarti di poco superiori al grado (oscillanti tra 1,0 e 1,3 °C), con la sola eccezione di aprile, risultato termicamente in media (+0,2 °C).

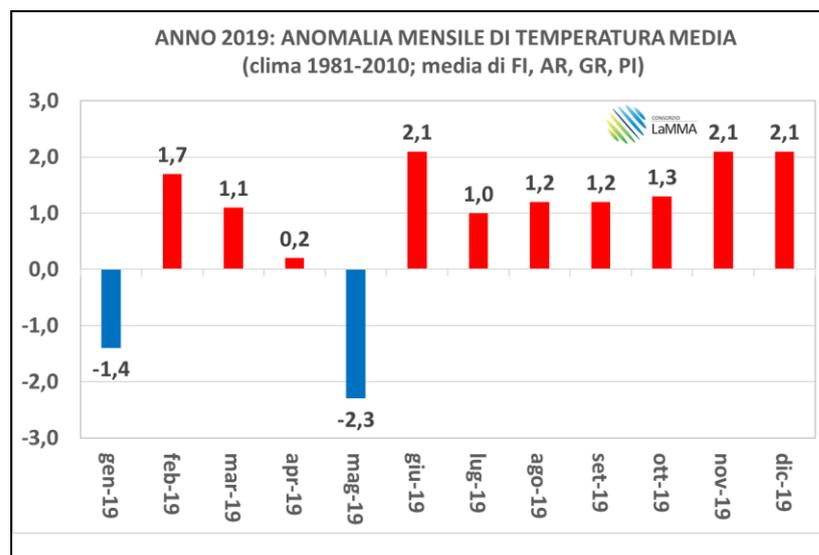


Fig. 3 - Anomalie termiche mensili in Toscana nel 2019.

Per quanto riguarda novembre e dicembre, le forti anomalie termiche osservate sono da ascrivere ad un continuo afflusso di correnti miti, umide ed instabili di origine atlantica e mediterranea e alla pressoché totale assenza di ingressi d'aria fredda (immagini 4-5). Febbraio, al contrario, ha visto prevalere condizioni anticicloniche con frequenti episodi di inversione termica (in montagna registrate temperature molto al di sopra delle medie – Fig. 6). Relativamente al mese di giugno da riportare un'ondata di calore molto intensa a fine mese che ha portato i termometri prossimi ai 40 °C; a Firenze Peretola il 27 la temperatura massima ha raggiunto i 39 °C, ritoccando di 0,4 °C il precedente record storico risalente al 14 giugno 2003. Il mese in generale è stato caratterizzato dalla prevalenza di strutture anticicloniche di matrice afro-mediterranea associate a forte compressione adiabatica e a intensi flussi di calore (Fig. 7). Da segnalare anche il picco di 40,2 °C registrato, sempre a Peretola, in data 25 luglio.

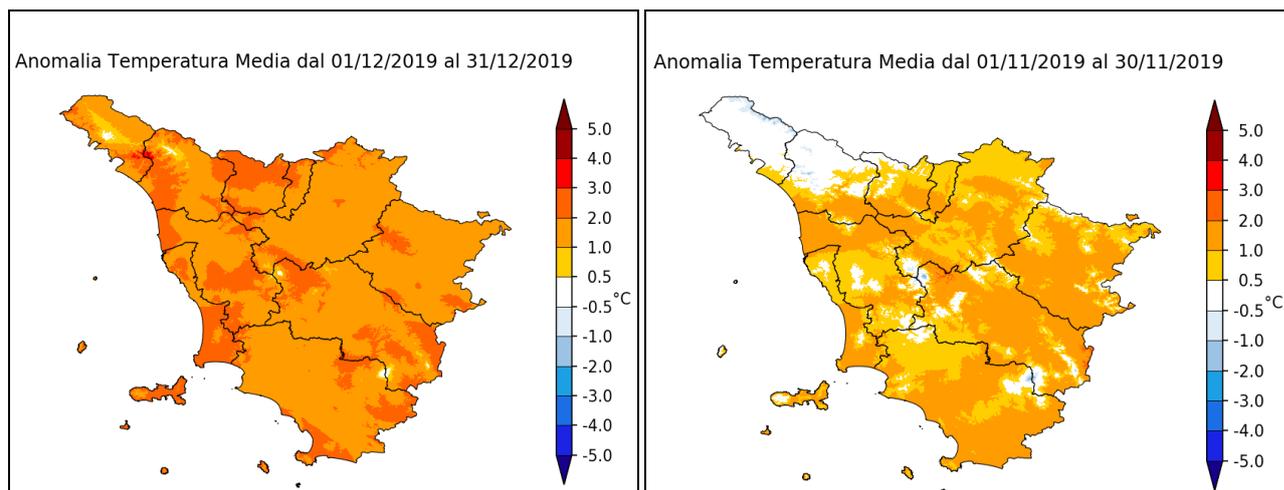


Fig. 4-5 - Anomalie termiche di dicembre (sx) e novembre (dx); periodo di riferimento 1995-2014.

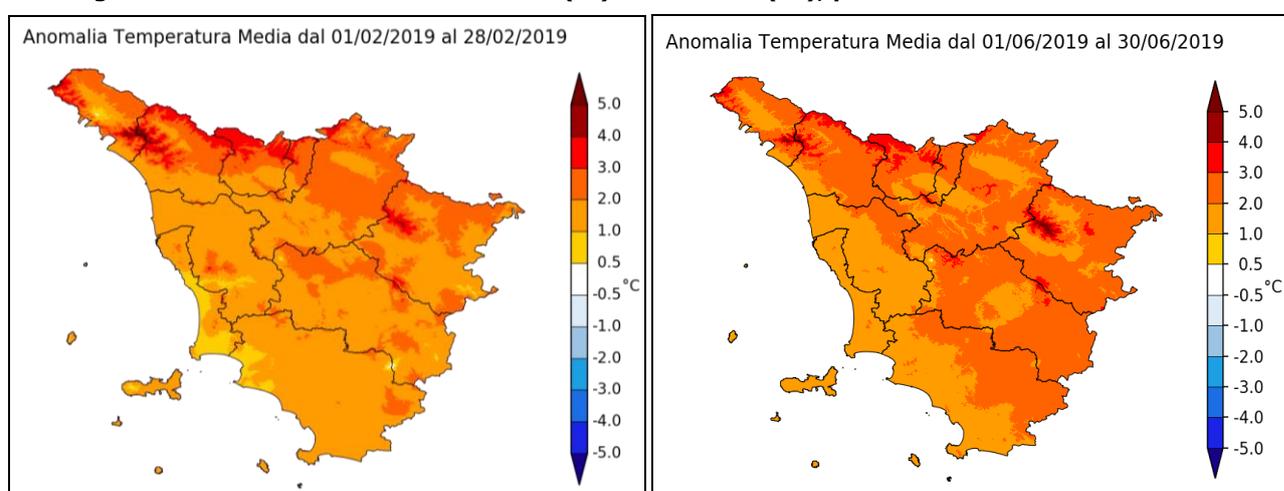


Fig. 6-7 - Anomalie termiche di febbraio (sx) e giugno (dx); periodo di riferimento 1995-2014.

Relativamente agli unici due mesi più freddi del normale, gennaio e maggio, le anomalie sono state causate, rispettivamente, dall'alternanza di ingressi d'aria fredda e secca di origine balcanica con temporanee rimonte anticicloniche e da frequenti irruzioni d'aria umida e instabile di origine artica marittima e nord atlantica.

A gennaio si sono contati molti giorni con temperature inferiori a zero gradi in pianura (Fig. 8), in taluni giorni intensificate dalle inversioni termiche; nella prima metà del mese, a Firenze, le minime sono sempre scese sottozero con punte di $-7,7$ °C il 4 e di $-6,5$ °C il 12 gennaio. Per quanto riguarda maggio, il continuo afflusso di correnti fredde e instabili ha prodotto non soltanto anomalie fortemente negative, in particolare nei valori massimi (Fig. 9), ma anche precipitazioni anomale, talvolta anche nevose a bassa quota. Nota: a Firenze Peretola la temperatura massima media di maggio è stata soli 6 decimi di grado più calda di quella di aprile ($20,7$ °C contro $20,1$ °C).

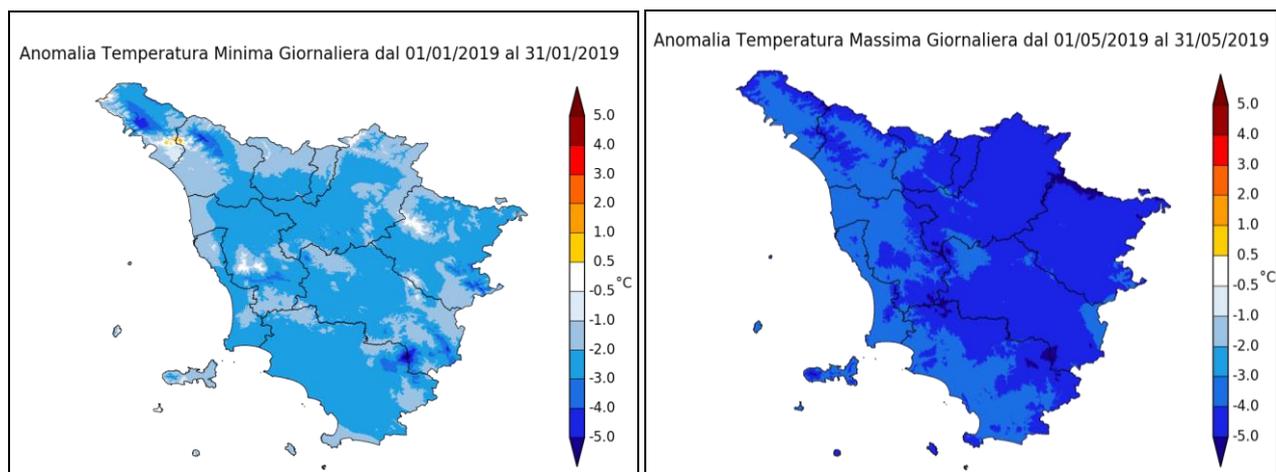


Fig. 8-9 - Anomalia T Min gennaio (sx) e T Max maggio (dx); periodo di riferimento 1995-2014.

PRECIPITAZIONI:

Il 2019 è risultato più piovoso del normale con un surplus del 20%, che lo pone al 10° posto fra gli anni più piovosi dal 1955 (Fig. 10). Dall'osservazione della mappa spazializzata di anomalia (Fig. 11) si nota come in nessuna porzione del territorio si siano verificati deficit di precipitazione, mentre il surplus risulta più marcato sulle zone meridionali e sul livornese. Particolarmente significativo il dato dell'Amiata, dove è piovuto tra i 160 e il 200% della pioggia attesa.

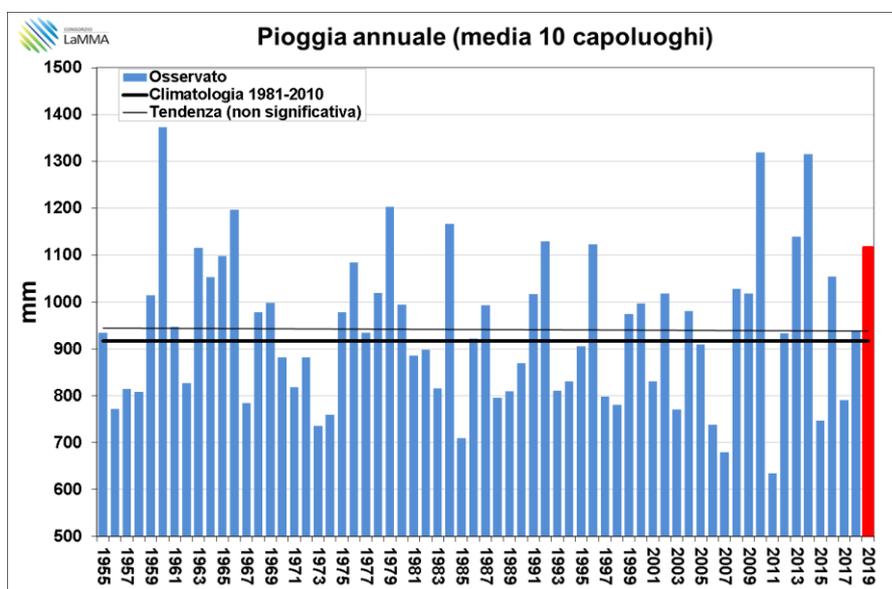


Fig. 10 - Pioggia cumulata annuale in Toscana dal 1955 al 2019.

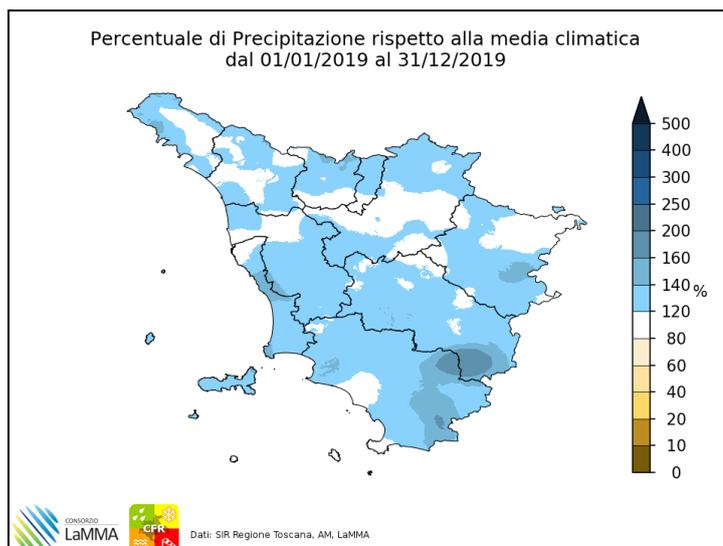


Fig. 11 - Percentuale di precipitazione rispetto alla media climatica di riferimento (1995-2014).

Se andiamo ad analizzare il dato a livello mensile e stagionale vediamo che la distribuzione delle precipitazioni è stata estremamente variabile, con mesi molto secchi alternati a mesi estremamente piovosi (Fig. 12). Il surplus annuale è da ascrivere principalmente a maggio, luglio e soprattutto a novembre, risultato essere il più piovoso dell'intera serie storica (Fig. 13). Di contro molto avari in fatto di precipitazioni marzo (-75%), agosto (-60%) e giugno (-90%); per quanto riguarda giugno si tratta del mese più secco dal 1955 (Fig. 14). I periodi meno piovosi del 2019 hanno spesso coinciso con durature e anomale fasi anticicloniche, come ad esempio a marzo e a giugno, viceversa novembre e maggio hanno registrato un numero superiore alla norma di passaggi perturbati.

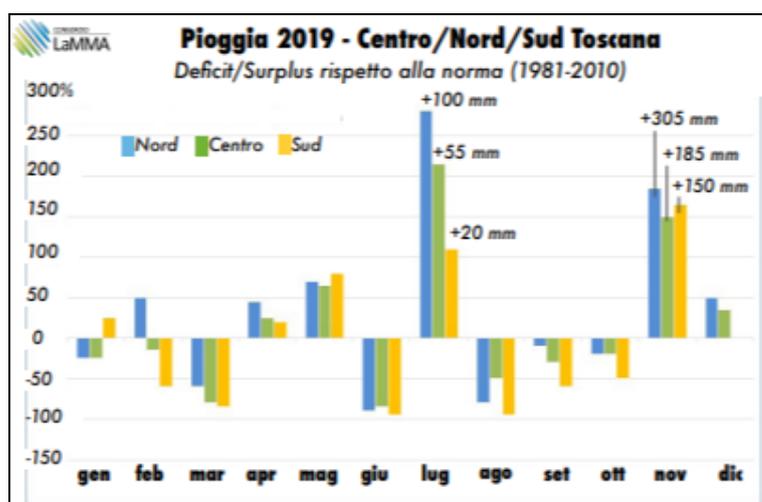


Fig. 12 - Anomalie di precipitazione (%) mensile divise per macroarea.

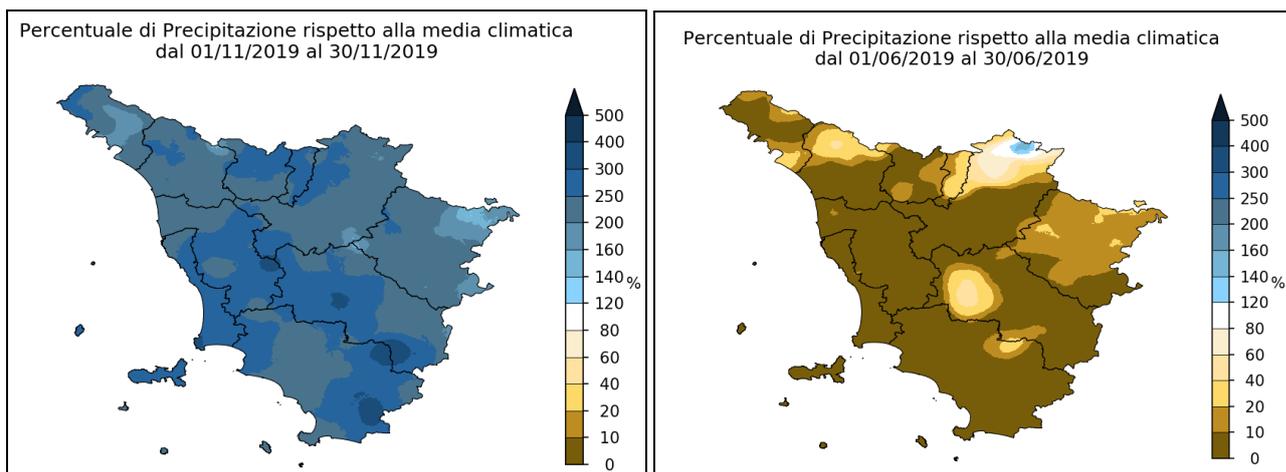


Fig. 13-14 - Anomalie pluviometriche a novembre (sx) e a giugno (dx) rispetto alla media 1995-2014.

CIRCOLAZIONE ATMOSFERICA E EPISODI DI DUST SAHARIANO

Da un punto di vista circolatorio il 2019 è classificabile come un anno "estremo" all'interno del quale si sono alternate, anche mensilmente, intense fasi anticicloniche con inconsueti periodi perturbati. La figura 15 mostra le anomalie dell'altezza geopotenziale a 500 hPa in Europa; come si può notare gli scarti sull'Italia centro-settentrionale sono positivi, ma non particolarmente significativi, segno quindi di una continua compensazione tra le diverse circolazioni che si sono succedute.

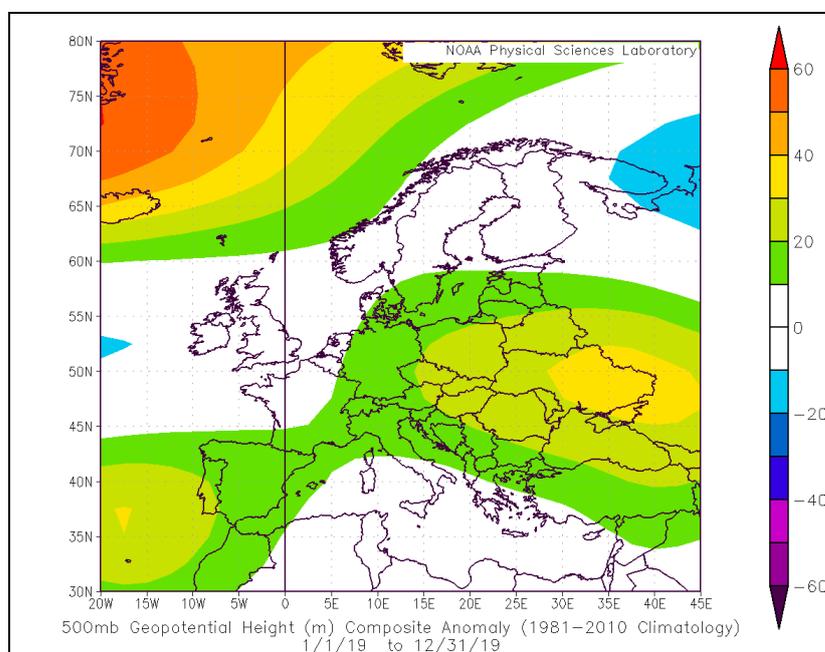


Fig. 15: mappa di anomalia dell'altezza del geopotenziale 500 mb per l'anno 2019 in Europa.

Particolarmente significativi, per descrivere l'andamento estremamente variabile del 2019, le anomalie di circolazione in quota di marzo, maggio, giugno e novembre (immagini 16-17-18-19).

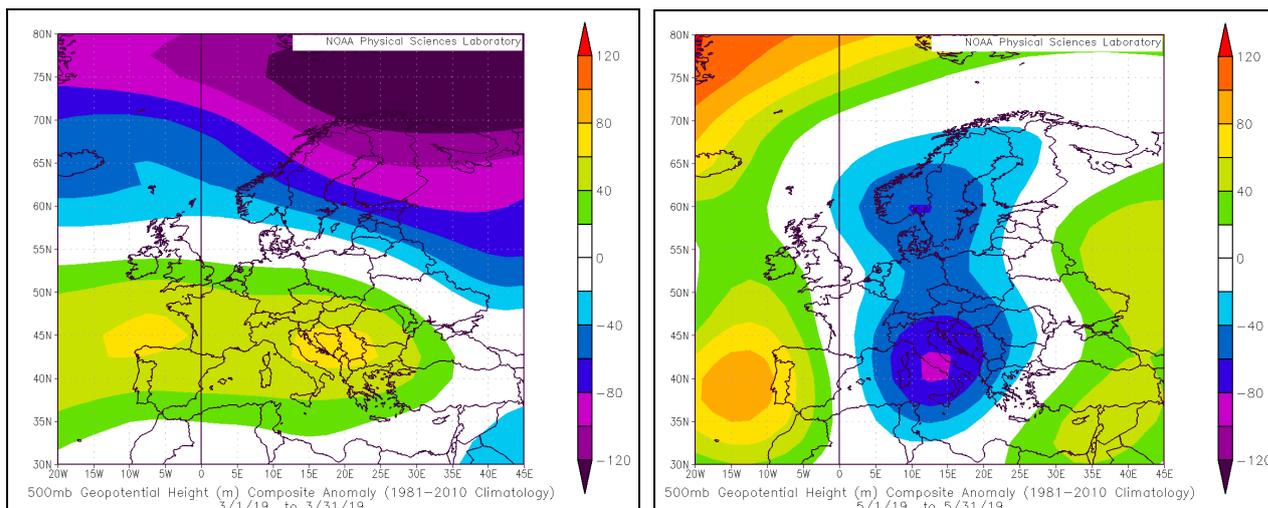


Fig. 16-17 - Mappa di anomalia dell'altezza del geopotenziale 500 mb a marzo (sx) e maggio (dx)

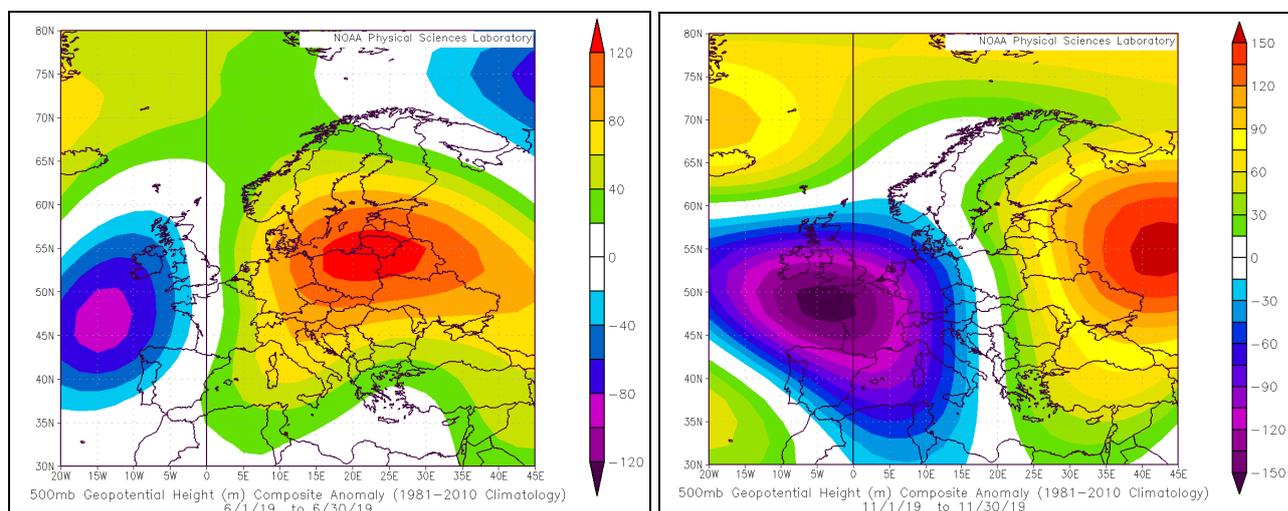


Fig. 18-19 - Mappa di anomalia dell'altezza del geopotenziale 500 mb a giugno (sx) e novembre (dx)

La notevole dinamicità meteorologica osservata durante l'anno ha avuto evidenti conseguenze anche nelle variazioni della concentrazione degli inquinanti di origine antropica e negli ingressi di polvere sahariana associati ad avvezioni calde (eventi di dust-sahariano).

Nel mese gennaio, a causa dell'alternanza tra ingressi d'aria moderatamente fredda e secca di origine continentale e pressioni medio-alte al suolo (immagini 20-21), si sono venute a creare le condizioni ideali per incrementi anche consistenti delle concentrazioni di inquinanti. Questo in particolare nelle prime due decadi del mese, caratterizzate da temperature inferiori alla norma (specie nei valori minimi), inversioni termiche e calma di vento (strato limite molto basso). I picchi assoluti di inquinamento del 2019 sono stati registrati proprio in questo periodo dell'anno.

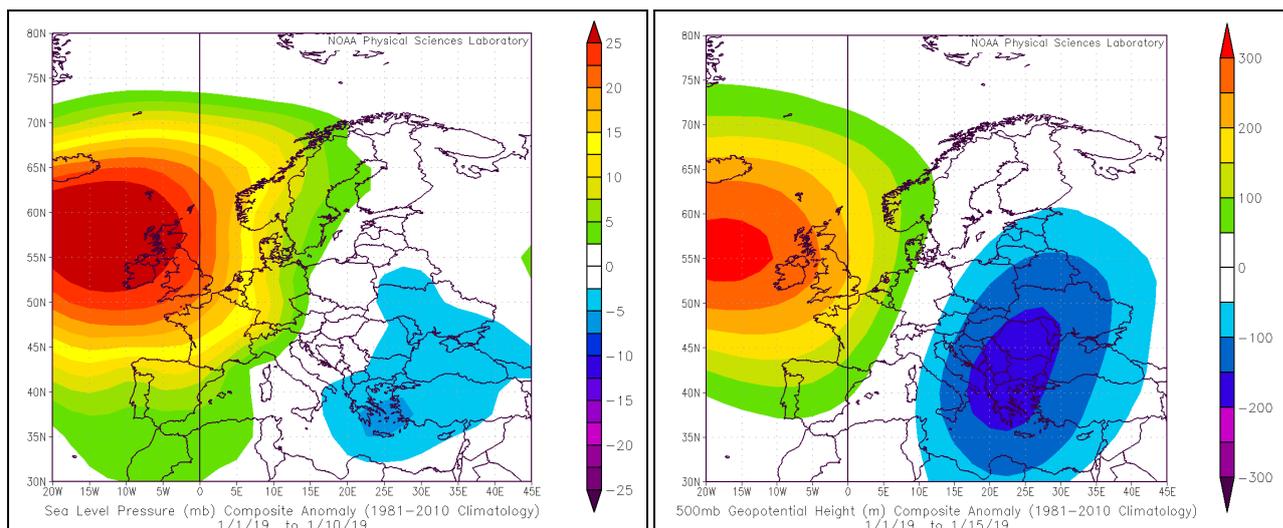


Fig. 20-21 - Mappa di anomalia della pressione al suolo nei primi 10 giorni di gennaio (sx) e dell'altezza del geopotenziale 500 mb nella prima quindicina di gennaio (dx). Pressione basse in quota e medio-alte al suolo.

Altre fasi caratterizzate da bassa, o scarsa qualità dell'aria si sono osservate a febbraio e nella prima decade di marzo; periodi caratterizzati da prevalenti figure anticicloniche e quindi da scarso rimescolamento. A seguire, al contrario, condizioni di frequente instabilità si sono susseguite raggiungendo il picco nel mese di maggio; in questa fase la concentrazione di inquinanti è sempre stata molto bassa, fatta eccezione per un importante ingresso di dust sahariano in data 25 aprile (Fig. 22).

Osservando l'immagine satellitare sottostante si può notare la polvere che dal deserto algerino e tunisino si spinge fin sulle regioni centro meridionali e sulla Toscana; un episodio causato dal lento avvicinamento di una profonda saccatura nord atlantica cui si associano intensi venti meridionali (Fig. 23).

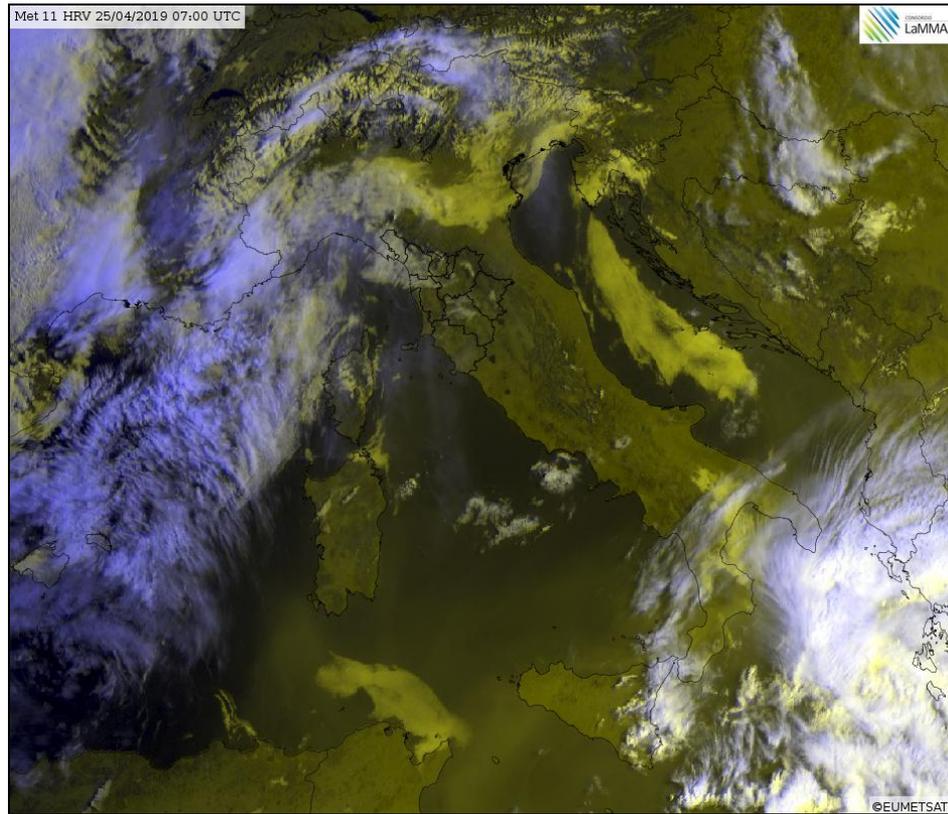


Fig. 22 - Immagine satellitare canale visibile delle ore 7.00 UTC del 25 aprile 2019.

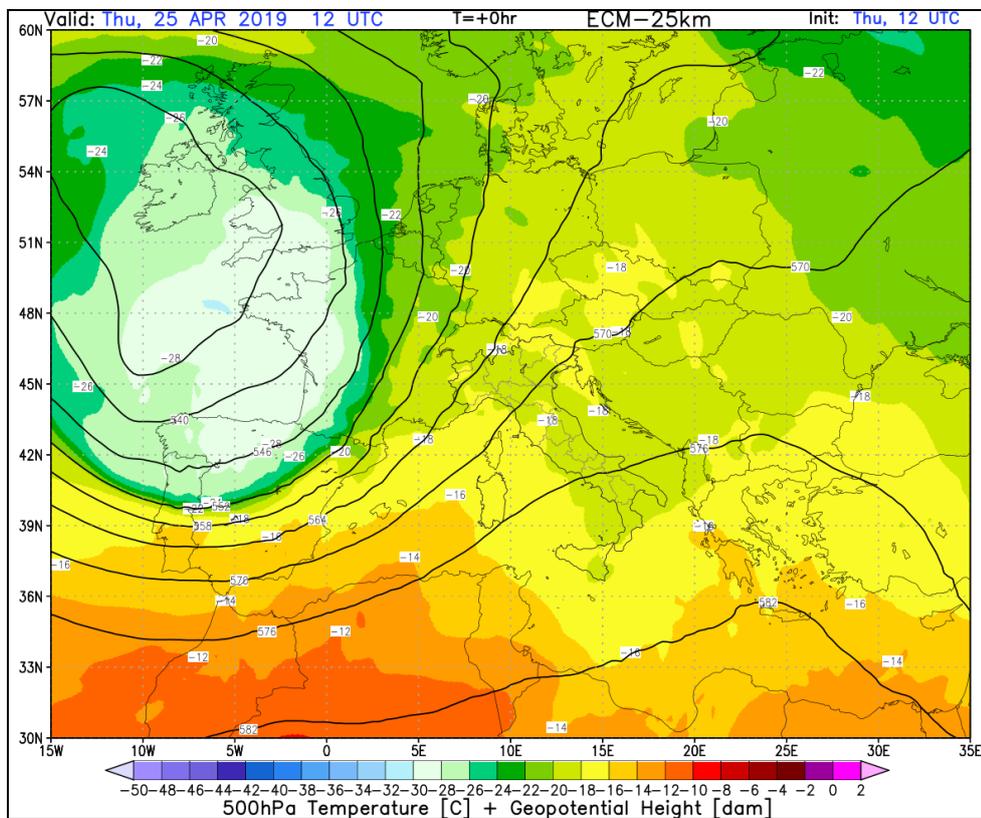
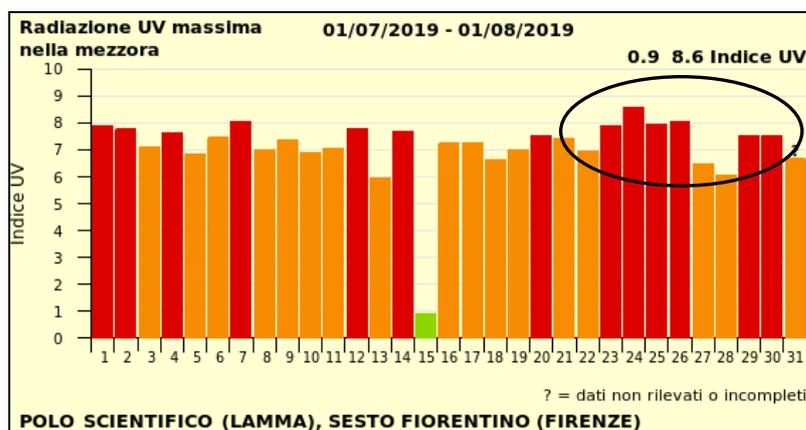
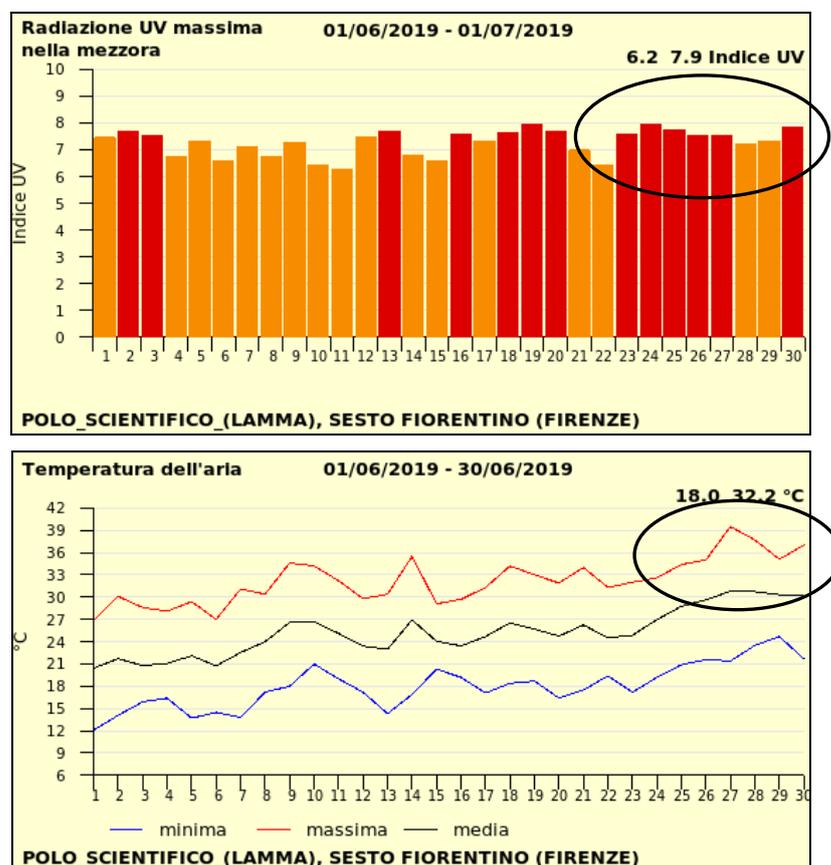


Fig. 23 - Altezza geopotenziale e temperature alla quota isobarica di 500 hPa.

Per quanto riguarda il trimestre estivo da segnalare i picchi di concentrazione di ozono osservati durante l'ondata di calore del 25 giugno-5 luglio (immagini 24-25-26), durante la quale alcune stazioni di rilevamento della regione hanno superato la soglia critica di $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Degni di menzione anche i valori rilevati tra il 22 e il 26 luglio (Fig. 26), coincidenti con una seconda, seppur breve, ondata di calore.



Sempre nel trimestre estivo si riportano alcuni episodi di dust sahariano, i più significativi dei quali occorsi in data 11 e 15 giugno (immagini 27-28). Anche in questo

caso responsabili del richiamo di polvere desertica, due profonde saccature nord atlantiche cui si associava un sostenuto flusso di correnti meridionali.

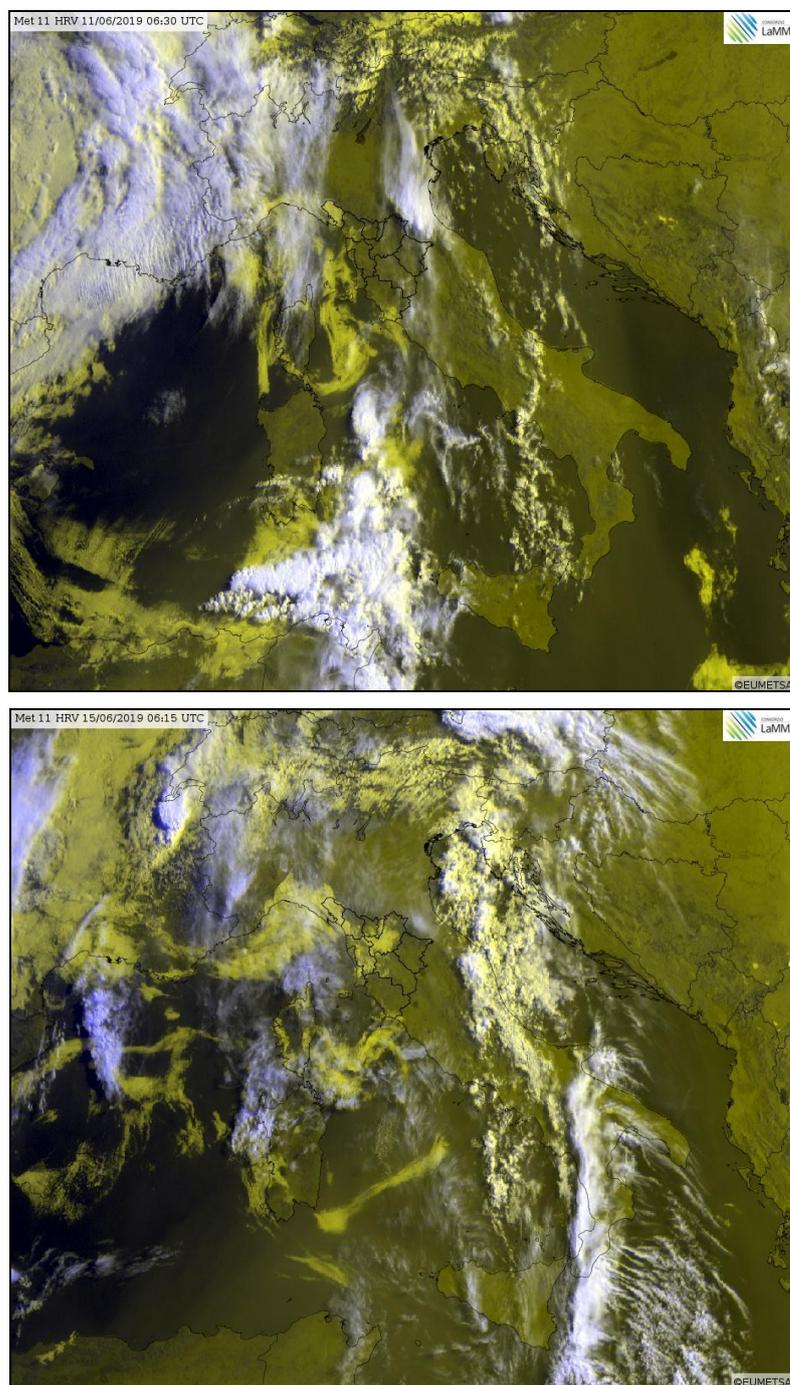


Fig. 27-28 - Immagini satellite visibile del 11 giugno (sopra) e del 15 giugno (sotto).

Per quanto riguarda il bimestre settembre-ottobre da segnalare un aumento della concentrazione degli inquinanti a fine ottobre per la presenza di alte pressioni (Fig. 29) e una modesta intrusione di polveri desertiche in data 18 settembre.

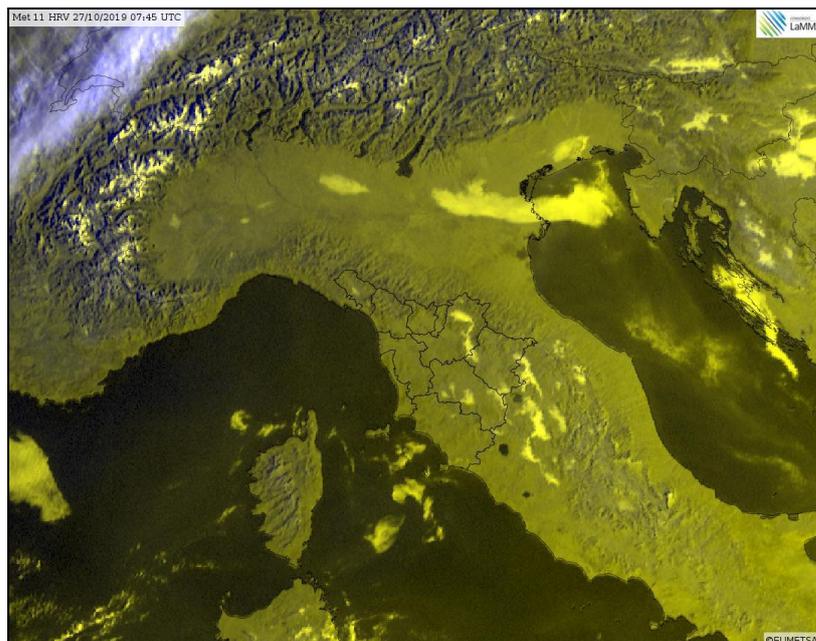


Fig. 29 - Immagine satellitare nel visibile del 27 ottobre 2019, si notino le nebbie da inversione nelle valli interne.

Infine il bimestre novembre-dicembre può essere suddiviso in due parti:

- i primi 20 giorni di novembre, caratterizzati da livelli di inquinamento dell'aria molto bassi causati da un'estrema instabilità atmosferica e frequenti precipitazioni (immagini 14 e 19);
- l'ultima decade di novembre e il mese di dicembre, contraddistinti dall'alternanza tra fasi anticicloniche, coincidenti con picchi significativi di inquinamento, e parentesi molto perturbate responsabili di repentini abbattimenti;

Da segnalare, infine, un importante evento di dust-sahariano unito a PM10 di origine antropica in data 20 dicembre, seguito da un repentino abbattimento di tutte le polveri. In questo caso la saccatura nord atlantica, seppur molto profonda, si è spostata rapidamente verso est recando precipitazioni diffuse e molto abbondanti su tutta la regione tra il 21 e il 22 dicembre. (immagini 30-31-32).

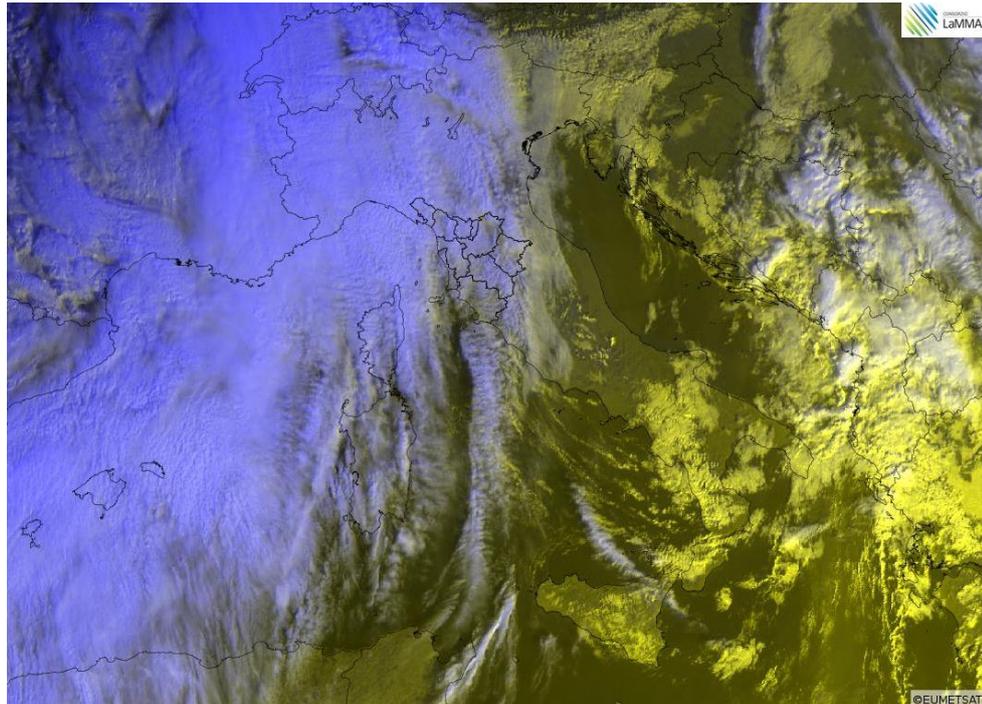


Fig. 30 – Immagine satellitare nel visibile del 20 dicembre 2019; nuvolosità associata a polvere desertica.

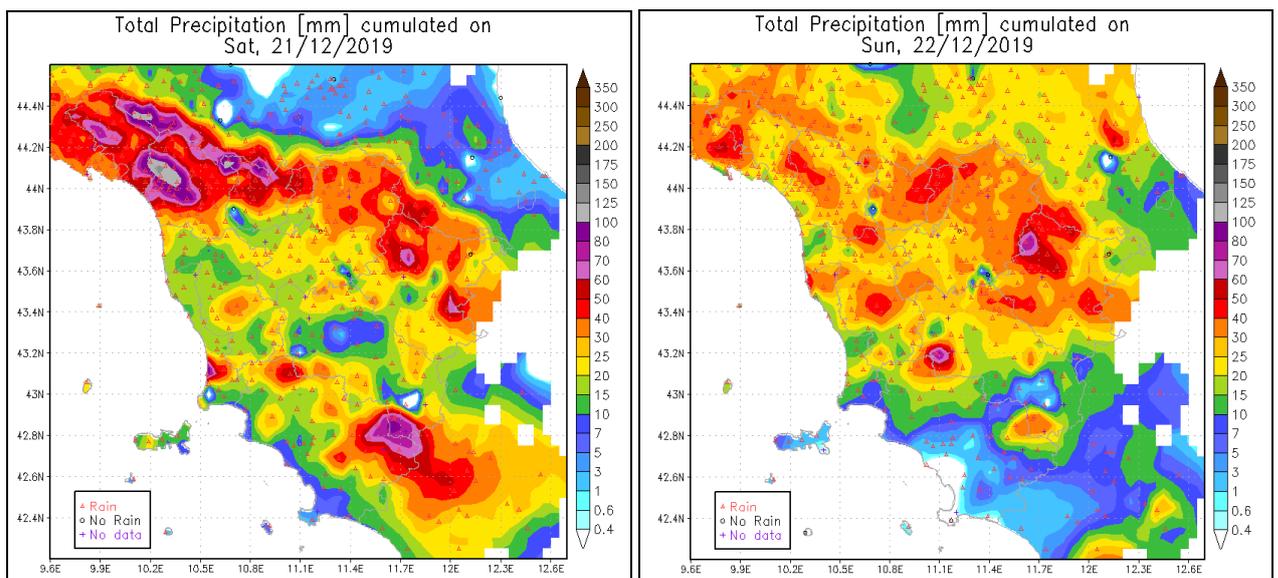


Fig. 31-32 - Precipitazioni totali cumulate nelle giornate del 21 e del 22 dicembre 2019.

3 – Simulazione anno 2019 – Risultati

In questo capitolo sono riportati i risultati ottenuti dalla simulazione modellistica per l'anno 2019. L'analisi dei risultati ha previsto l'elaborazione di mappe medie su base mensile, stagionale e annuale per gli inquinanti PM10, PM2.5, NO2, SO2, O3. Le stime modellistiche sono state validate attraverso il confronto con dati misurati nelle stazioni della rete di monitoraggio della qualità dell'aria gestita da ARPAT. In particolare sono state elaborate le serie storiche annuali delle concentrazioni medie giornaliere: nei grafici sono riportati le stime modellistiche e i dati misurati nelle stazioni di monitoraggio. Per l'ozono sono stati considerati anche i grafici della concentrazione media oraria nei mesi maggio-settembre. Per quanto riguarda il dust sahariano, sono state elaborate le serie temporali della concentrazione media giornaliera stime-misure, in contrapposizione a PM10, in corrispondenza di alcune centraline di monitoraggio. 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: tali diagrammi facilitano la comprensione del grado di corrispondenza del modello rispetto ai dati osservati, considerando contemporaneamente il coefficiente di correlazione e la deviazione standard. Nella seguente tabella sono elencati tutti gli elaborati grafici, riportati in forma completa in appendice 1.

Tabella 1. Elaborati grafici ottenuti dalla simulazione 2019.

Concentrazione media annua degli inquinanti PM10, PM2.5, NO2, SO2, O3
Concentrazione media mensile degli inquinanti PM10, PM2.5, NO2, SO2, O3
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, 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)
Concentrazione media giornaliera di dust sahariano per alcuni episodi significativi
Grafici della serie temporale della concentrazione media giornaliera stime-misure di dust sahariano, contrapposto a PM10, in corrispondenza di alcune centraline di monitoraggio

3.1 Concentrazioni medie

Le mappe di concentrazione media visualizzano efficacemente la distribuzione spaziale di dei principali inquinanti atmosferici sul territorio della regione Toscana. Come per gli anni precedenti, in attesa dell'aggiornamento dell'inventario regionale delle emissioni, anche per la simulazione dell'anno 2019 sono stati utilizzati i dati IRSE aggiornati all'anno di riferimento 2010. In conseguenza a questo mancato aggiornamento, quindi a parità di carico emissivo, l'analisi delle mappe evidenzia solo il diverso impatto dovuto alle condizioni meteorologiche, e l'apporto di inquinanti esterni al dominio dovuto alle concentrazioni al contorno. Per quanto riguarda la configurazione del sistema di modelli, per la simulazione dell'anno 2019, come per l'anno precedente, è stata adottata la nuova configurazione aggiornata (vedi appendice 2).

Nelle seguenti figure sono riportati le concentrazioni medie stagionali, (gennaio-marzo, ottobre-dicembre; aprile-settembre) e la media annua, mentre in appendice 1 sono riportate anche le medie mensili.

PM10 – PM2.5 – Come negli anni precedenti, i valori di concentrazione più alti di PM10 e PM2.5 si hanno nei mesi di gennaio-marzo e ottobre-dicembre, nelle aree pianeggianti caratterizzate da maggiori pressioni antropiche (la piana Firenze-Prato-Pistoia, la pianura del Val d'Arno inferiore, il Val d'Arno superiore, la Valle del Serchio). Confrontando le simulazioni del 2018, 2019 con quelle degli anni precedenti, si riscontra un generalizzato aumento del PM10, ma non del PM2.5, che risente meno del contributo della componente naturale, in particolare del dust e del sale marino. Osservando le mappe relative alle medie mensili, in appendice 1, si riscontra che solo nei mesi di gennaio, febbraio e dicembre si hanno livelli di concentrazione elevati per PM10 e PM2.5 soprattutto nelle aree più antropizzate, mentre nei mesi di aprile e giugno si ha una distribuzione piuttosto uniforme di PM10, a fronte di livelli molto bassi di PM2.5. In accordo con quanto riportato nel capitolo dedicato all'analisi meteo-climatica, le mappe mensili evidenziano maggiori concentrazioni di inquinanti antropici soprattutto a gennaio, febbraio, dicembre, mentre a novembre le abbondanti piogge hanno ridotto il livello di concentrazione degli inquinanti. Aprile e giugno sono stati invece caratterizzati da importanti eventi di intrusioni sahariane, compatibili con le mappe mensili di PM10-PM2.5.

NO₂ – Anche la concentrazione di biossido di azoto è maggiore nelle aree più antropizzate, nelle principali città portuali, Livorno e Piombino, e lungo le tratte

autostradali. Nel semestre caldo si nota una riduzione del carico inquinante, e quindi una sensibile variabilità stagionale: a livello mensile si nota che le concentrazioni più alte si evidenziano a gennaio e dicembre, leggermente minori a febbraio, ottobre e novembre, decisamente inferiori da marzo a settembre. Da notare un significativo aumento della concentrazione di NO₂ in corrispondenza dell'area di Livorno nei mesi giugno, luglio e agosto, in relazione alle attività portuali.

O₃ – Le concentrazioni di ozono interessano i mesi maggio-settembre. in accordo con l'analisi climatica, i mesi che hanno presentato i valori più alti sono stati giugno e luglio, in corrispondenza delle ondate di calore, che hanno portato a condizioni critiche.

SO₂ – Il biossido di zolfo, come riscontrato nelle simulazioni degli anni precedenti, è presente in maniera consistente solo in prossimità di Livorno e Piombino, in conseguenza alle emissioni delle attività portuali e degli impianti industriali presenti nelle due aree. Tali valori non subiscono significative variazioni stagionali.

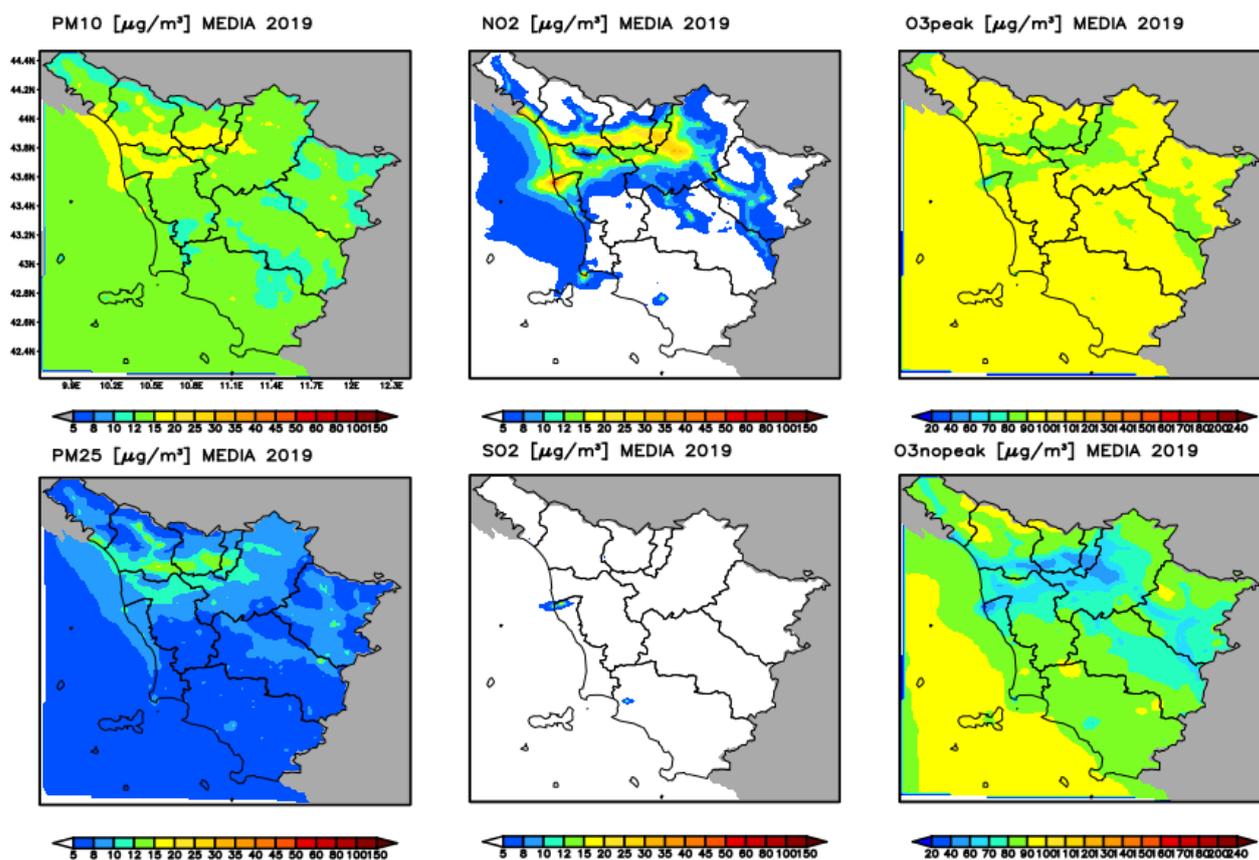


Figura 33. Mappe delle concentrazioni medie ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) di NO₂, PM10, PM2.5, O₃ (come media nelle ore diurne e notturne) e SO₂ nell'anno 2019.

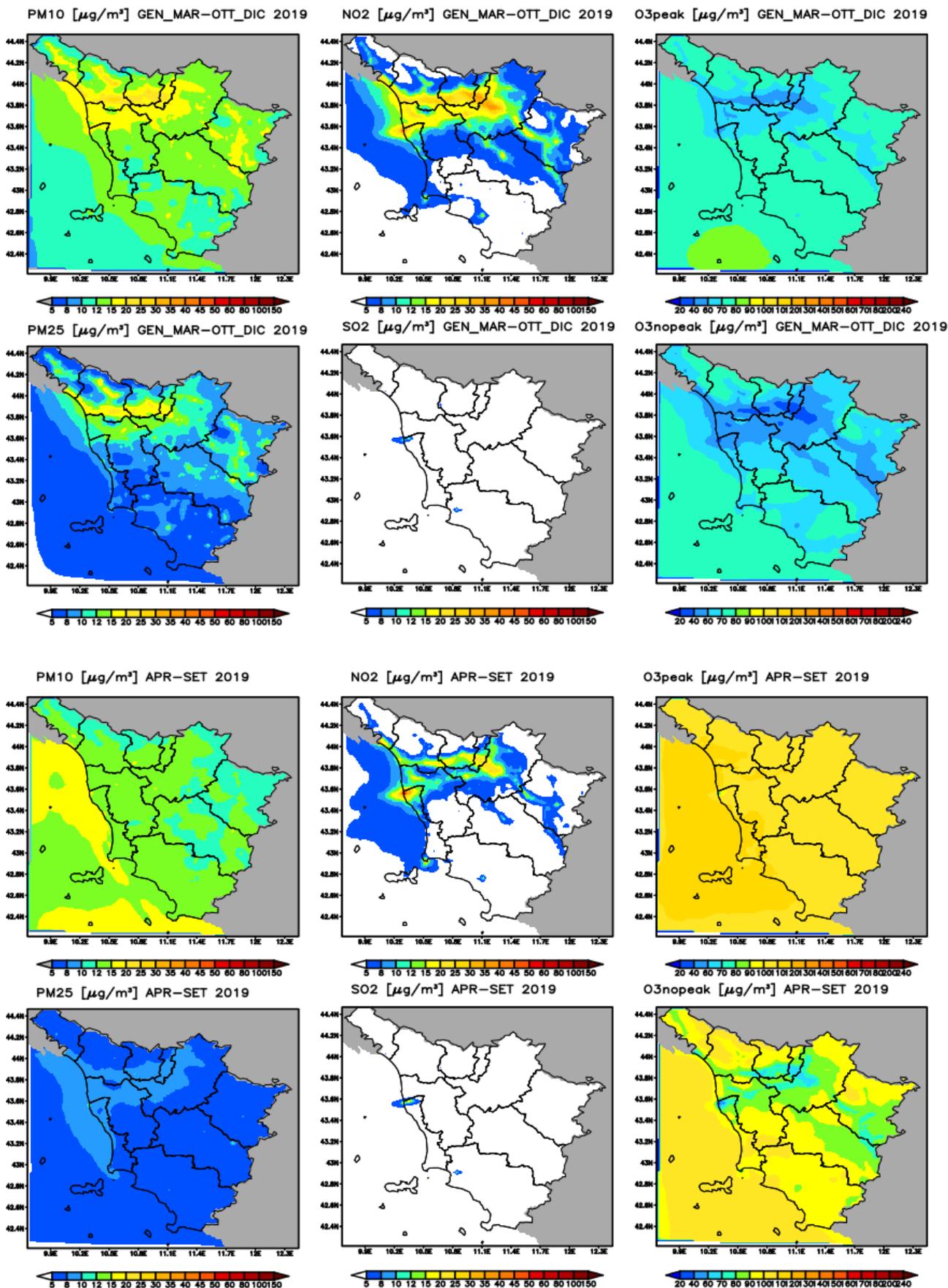


Figura 34. Mappe delle concentrazioni medie ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) di NO₂, PM₁₀, PM_{2.5}, O₃ (come media nelle ore diurne e notturne) e SO₂ nei semestri invernale (sopra) ed estivo (sotto) del 2019.

3.2 Il dataset utilizzato per la validazione

Per valutare la capacità del sistema modellistico di riprodurre correttamente le concentrazioni degli inquinanti, le stime ottenute vengono confrontate con i dati misurati nelle centraline della rete regionale di monitoraggio di qualità dell'aria, gestita da ARPAT. Vengono utilizzati i dati di tutte le centraline, di fondo, di traffico, industriali, se la percentuale di dati raccolti è superiore al 75% nell'anno in esame. Alle stazioni della rete regionale ne viene aggiunta una, LI-Poggio San Rocco, appartenente alla Provincia di Livorno, per avere un ulteriore sito costiero, distante dalle aree urbane.

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 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.

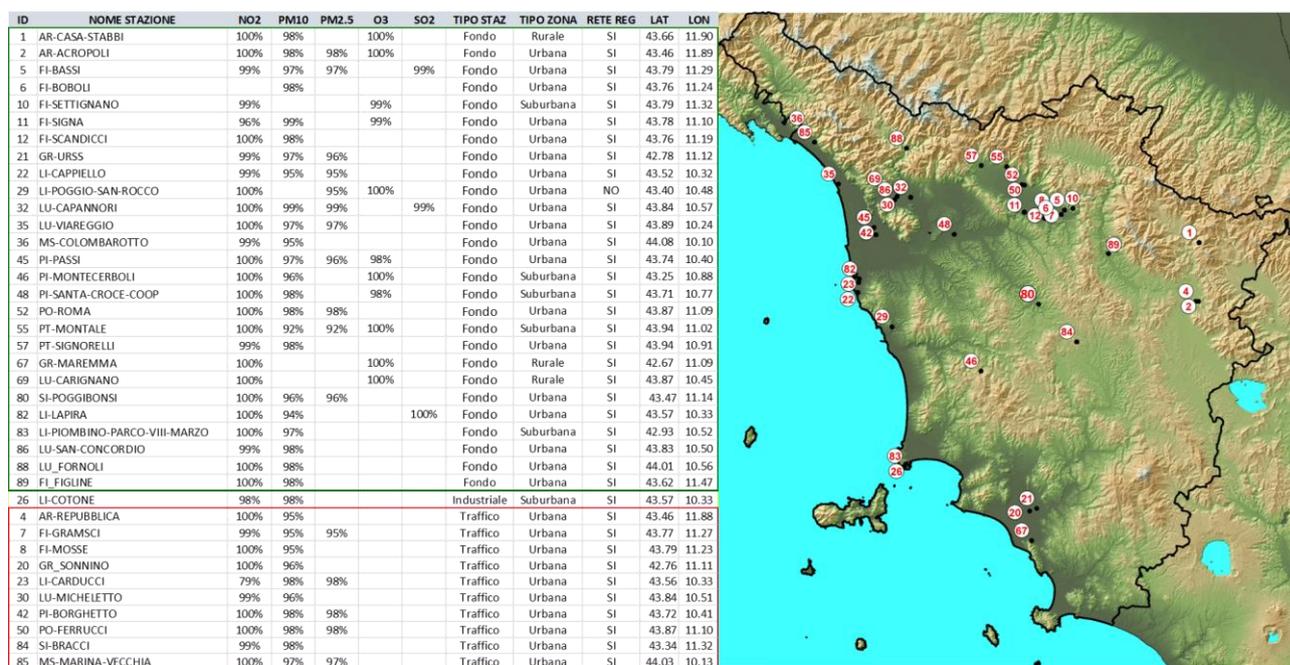


Figura 35. Mappa e tabella delle stazioni di monitoraggio della rete regionale e percentuale dei dati validi disponibili nell'anno 2018: in verde le stazioni di fondo, in rosso le traffico, in giallo le industriali.

3.3 Serie storiche

Per gli inquinanti in esame sono state elaborate le serie storiche annuali delle concentrazioni medie giornaliere, mentre per l'ozono è stato riportato l'andamento annuale del massimo della media mobile su otto ore (MAXMM8); inoltre per questo inquinante sono stati considerati anche i grafici della concentrazione media oraria nei mesi maggio-settembre. Nei grafici sono riportati i dati misurati e le stime modellistiche in corrispondenza delle stazioni di monitoraggio della rete regionale della qualità dell'aria, riportati in appendice per tutte le stazioni.

PM10 – Il confronto delle serie temporali stime-misure conferma anche per la simulazione del 2019 che il modello riproduce molto bene i valori di concentrazione di PM10, sia in termini di andamento temporale che in termini quantitativi.

Rimangono delle criticità nelle aree urbane relative alla stima della concentrazione durante gli episodi invernali: il modello, pur riproducendo correttamente il trend temporale, durante gli episodi caratterizzati da concentrazioni molto alte sottostima i valori di picco. Questo scostamento dalle misure risulta evidente nei mesi di gennaio e febbraio, in cui si sono verificate condizioni critiche per l'inquinamento, con conseguente aumento delle concentrazioni di PM10; nel mese di novembre le piogge frequenti hanno avuto un effetto di riduzione del carico emissivo, mentre a dicembre, caratterizzato dall'alternarsi di periodi perturbati a periodi stabili, i picchi di concentrazione sono stati limitati. Queste discrepanze nel periodo invernale potrebbero in parte essere attribuite ad una non corretta stima, a livello locale, delle emissioni IRSE, in particolare alla stima del fattore riconducibile alla combustione di biomasse. Una possibile causa riguarda anche la sottostima da parte del modello della componente secondaria.

Per quanto riguarda il periodo primaverile-estivo, i valori di concentrazione sono ben riprodotti nelle stazioni di fondo, sottostimati nelle stazioni di traffico. Nella maggior parte delle stazioni il modello sottostima un episodio, forse dovuto a polvere desertica, nella seconda metà di agosto, mentre sovrastima il picco di concentrazione dovuto all'intrusione sahariana il 25 aprile.

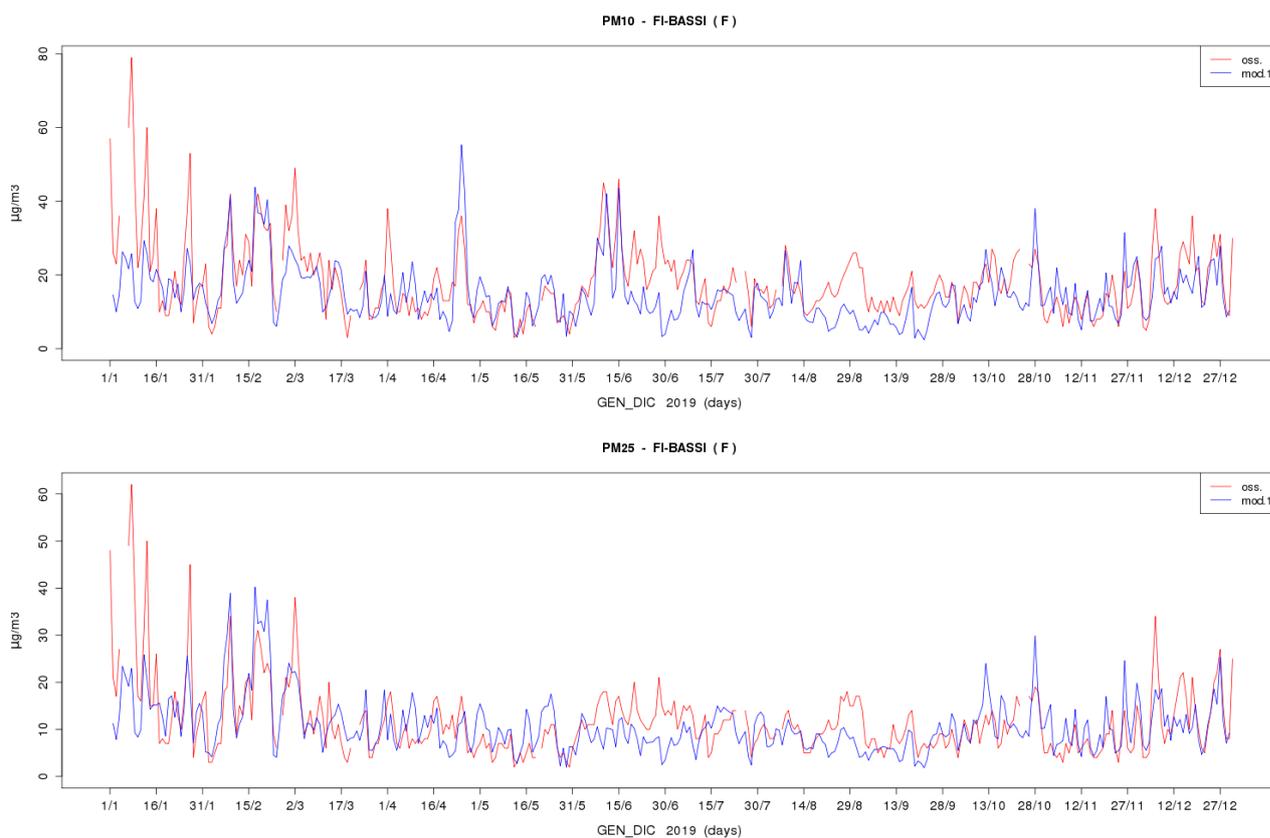


Figura 36. Serie storiche di confronto tra i dati di PM10 (sopra) e PM2.5 (sotto) da stazione (rosso) e da modello (blu) relative alla stazione di FI-Bassi.

PM2.5 – 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. Come per il PM10, resta significativa la sottostima relativa agli episodi acuti invernali in alcune stazioni, e una generalizzata sottostima nelle stazioni di traffico. In generale, come nel 2018, si riscontra un miglioramento rispetto agli anni precedenti: è possibile che questo miglioramento sia attribuibile all'aggiornamento del sistema modellistico, applicato a partire dal 2018. Nelle figure 36, 37, 38 sono riportate le serie storiche di PM10 e PM2.5 di alcune stazioni di fondo di Firenze (FI-Bassi), di Arezzo (AR-Acropoli), dell'area costiera (LI-Cappiello).

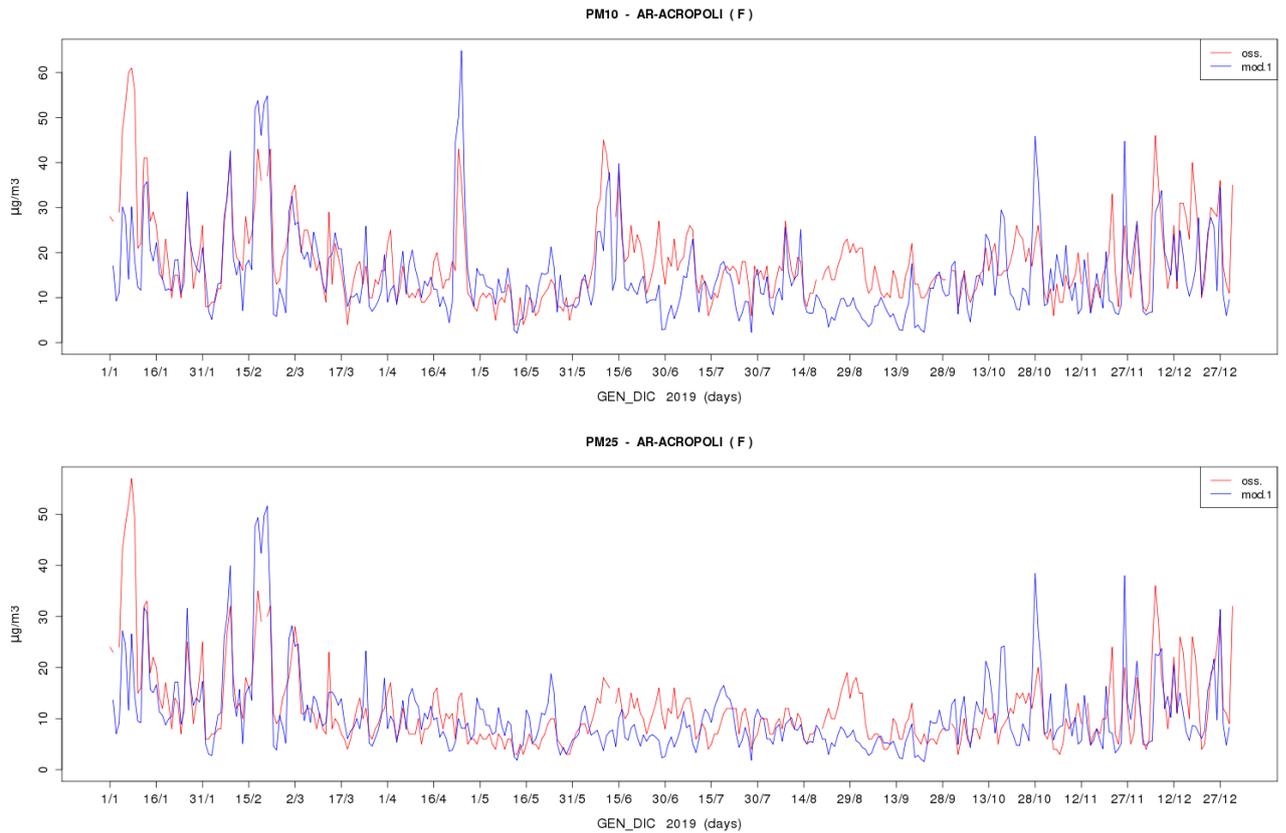


Figura 37. Serie storiche di confronto tra i dati di PM10 (sopra) e PM2.5 (sotto) da stazione (rosso) e da modello (blu) relative alla stazione di AR-Acropolis.

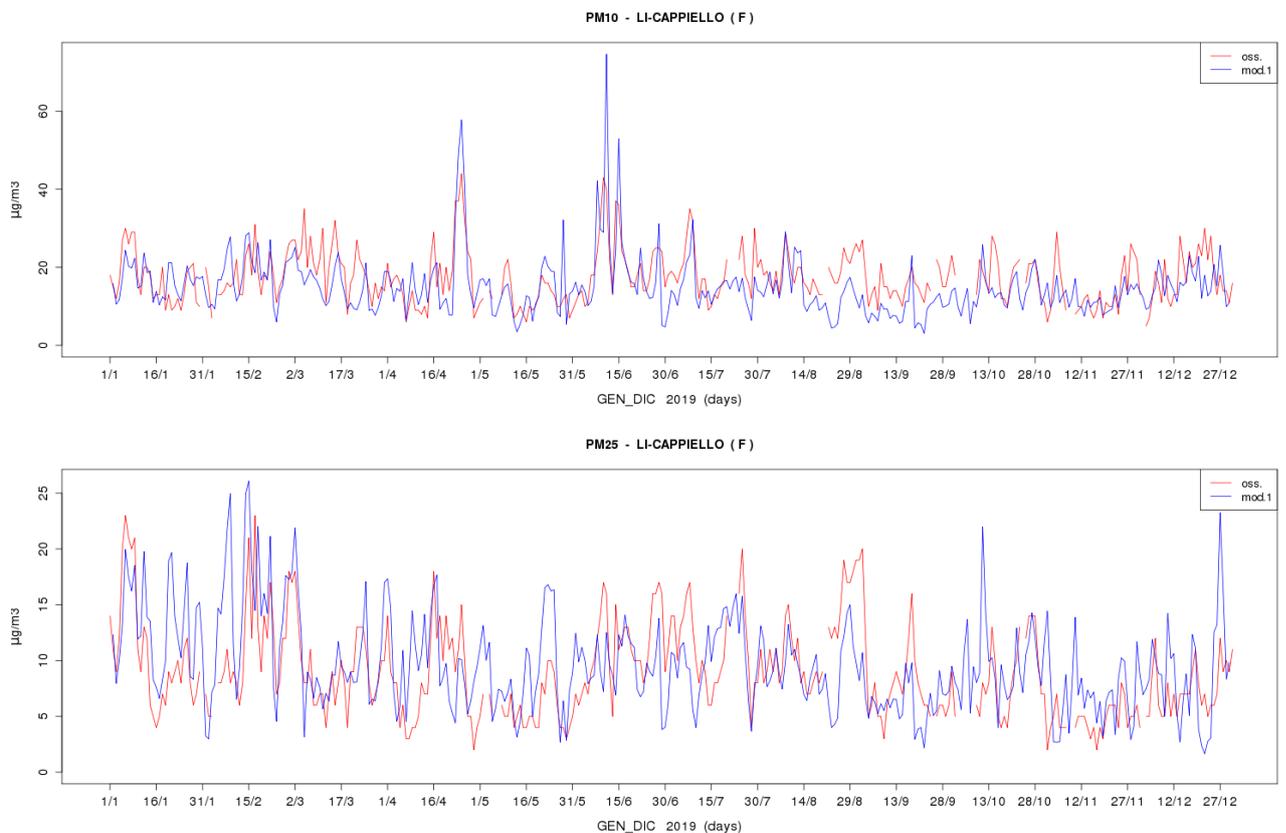


Figura 38. Serie storiche di confronto tra i dati di PM10 (sopra) e PM2.5 (sotto) da stazione (rosso) e da modello (blu) relative alla stazione di LI-Cappiello.

NO₂ – Per quanto riguarda questo inquinante, il confronto stime-misure evidenzia risultati molto diversi a seconda delle centraline di monitoraggio. Nella maggior parte dei casi, considerando stazioni di fondo collocate sia nelle pianure interne che sulla costa, si ha un buon accordo stime-misure nell’arco dell’anno; per un altro gruppo di stazioni, sempre afferenti alle stesse aree, si ha un discreto accordo nel periodo invernale, ma una sensibile sovrastima nel periodo maggio-ottobre (es. FI- Bassi, PO-Roma, PT-Signorelli, AR-Acropoli). Nell’area fiorentina fa eccezione la stazione FI-Settignano, in cui il modello supera di molto i valori misurati durante tutto l’anno; in questo caso si tratta probabilmente di una sovrastima del carico emissivo, visto che la sovrastima è una costante nel corso degli anni. Anche la stazione di AR-Casa Stabbi, rurale-fondo, mostra una importante sovrastima, dovuta probabilmente all’effetto delle condizioni al contorno, vista la vicinanza della stazione al confine del dominio di calcolo. Per quanto riguarda le stazioni di traffico, in generale si ha una significativa sottostima (FI-Gramsci, AR-Repubblica, SI-Bracci), mentre in due casi si ha un buon accordo (LU-Micheletto, FI-Mosse). Risultati nettamente peggiori si hanno nelle stazioni delle città portuali, Livorno e Piombino, in cui i valori stimati sono molto maggiori rispetto a quelli misurati, soprattutto nel periodo estivo. A fronte di un generalizzato miglioramento della stima di questo inquinante rispetto agli anni precedenti, nelle aree portuali si ottengono sempre valori molto sovrastimati: è ipotizzabile quindi che si tratti di una non corretta stima delle emissioni derivanti sia dalle attività portuali, sia dalle attività industriali. Di seguito sono riportati alcuni esempi di serie storiche, rappresentative dei diversi gruppi descritti.

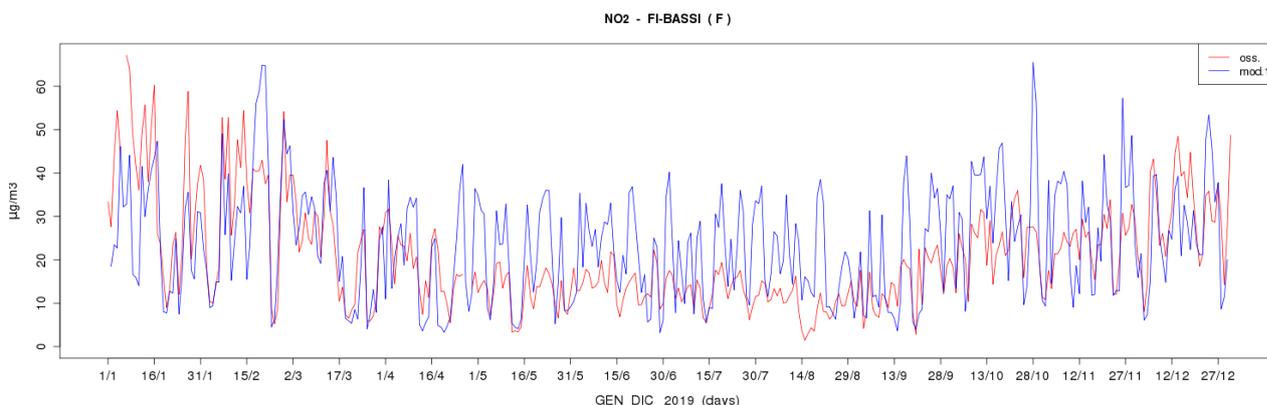


Figura 39. Serie storiche di confronto tra i dati di NO₂ da stazione (rosso) e da modello (blu) relative alla stazione di FI-Bassi.

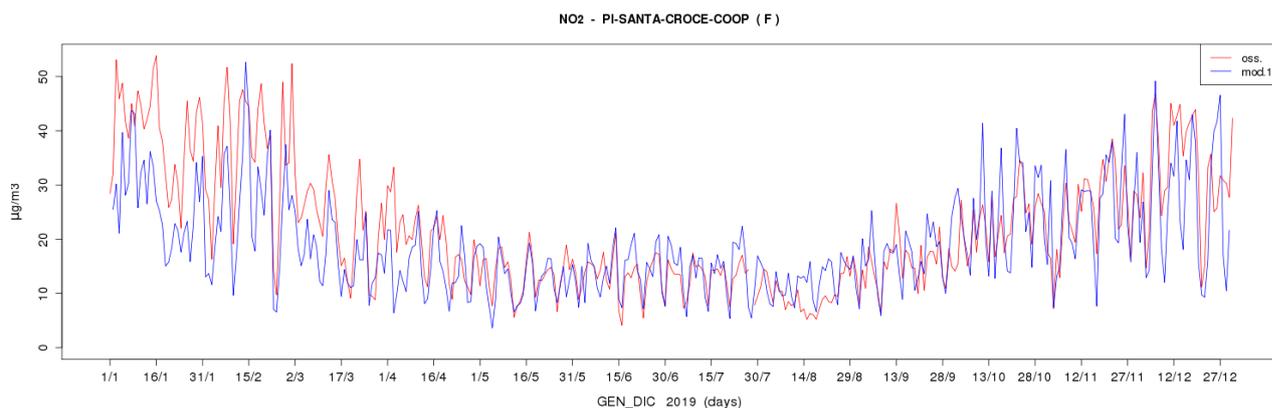


Figura 40. Serie storiche di confronto tra i dati di NO₂ da stazione (rosso) e da modello (blu) relative alla stazione di PI-Santa Croce.

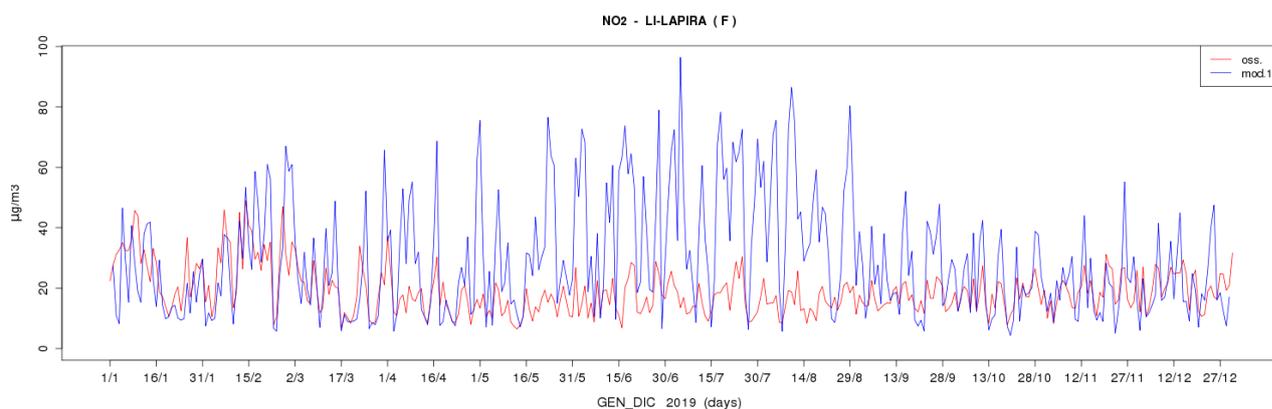


Figura 41. Serie storiche di confronto tra i dati di NO₂ da stazione (rosso) e da modello (blu) relative alla stazione di LI-La Pira.

SO₂ – La rete regionale prevede tre stazioni di fondo per la misura di biossido di zolfo (FI-Bassi, LU-Capannori, LI-LaPira). Nelle stazioni di FI-Bassi e di LU-Capannori il modello riproduce parzialmente i valori misurati come ordine di grandezza, ma non come trend temporale; nella stazione di Livorno la sovrastima è significativa. Anche in questo caso, come per gli ossidi di azoto, sarebbe opportuno rivedere l’input emissivo in questa area, in particolare le emissioni legate alle attività portuali e industriali.

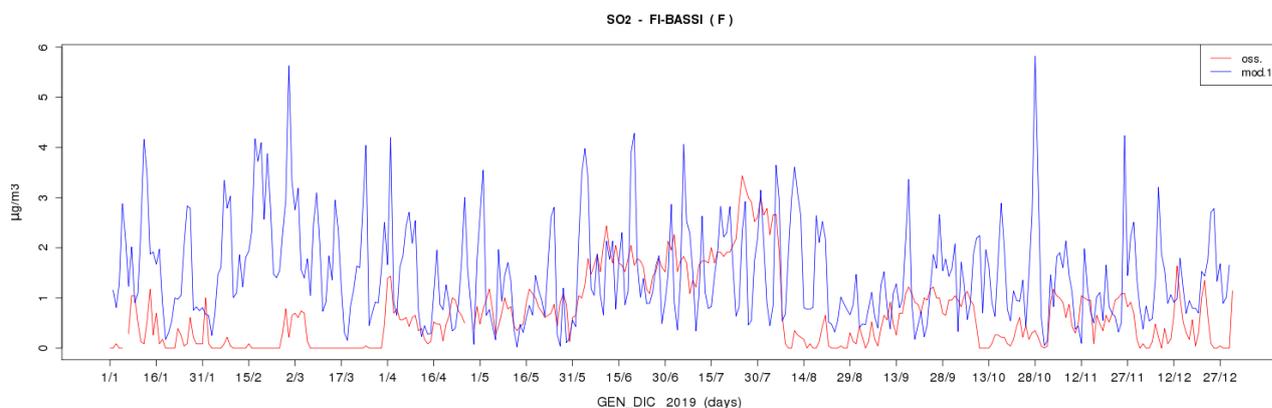


Figura 42. Serie storiche di confronto tra i dati di SO₂ da stazione (rosso) e da modello (blu) relative alla stazione di FI-Bassi.

O₃ – Per quanto riguarda l’ozono, sono riportate le serie storiche relative al massimo della media mobile su 8 ore (MAXMM8): si può notare un buon accordo stime-misure, in particolare nella stazione FI-Settignano, LU-Carignano e LI-Poggio San Rocco, mentre nelle stazioni PI-Passi e soprattutto PI-Santa-Croce si evidenzia una notevole sovrastima.

Considerando i grafici mensili della concentrazione media oraria per il periodo maggio-settembre (vedi appendice1), nella maggior parte delle stazioni si può notare una discreta capacità di riprodurre i valori di picco, in accordo con i grafici relativi al MAXMM8, ma una generalizzata tendenza a sovrastimare molto i valori notturni. Nei mesi di maggio e settembre le concentrazioni sono generalmente sovrastimate, mentre c’è un maggior accordo stime-misure nei mesi di giugno, luglio e agosto. Le stazioni che presentano risultati migliori anche a livello orario FI-Settignano, LU-Carignano e LI-PoggioS.Rocco. Nelle stazioni di PI-Passi, PI-Santa-Croce il modello tende a sovrastimare di molto i valori di concentrazione sia nelle ore più calde del giorno che durante la notte. In generale, sebbene si riscontri un discreto accordo nei valori di picco, prevale una tendenza alla sovrastima dell’ozono nelle ore notturne, che comporta una non corretta riproduzione del ciclo giornaliero..

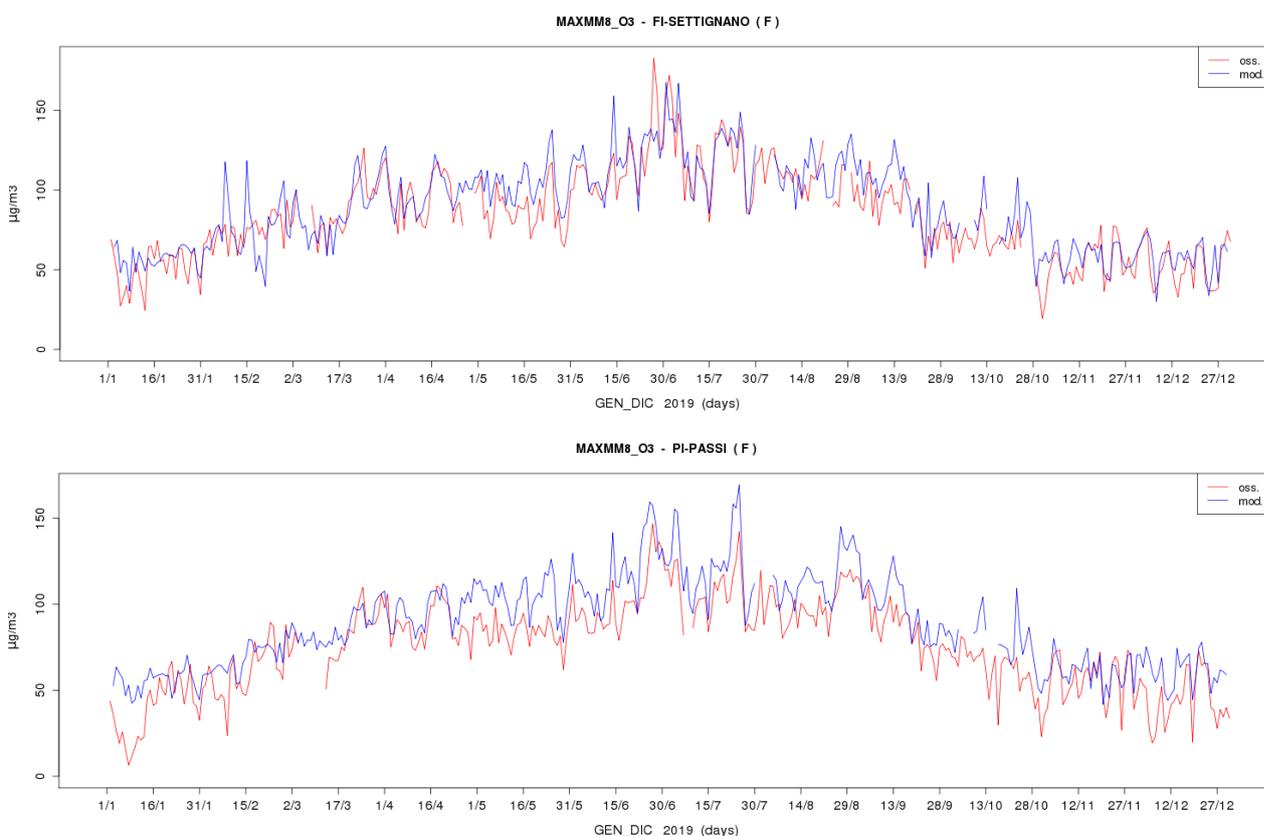


Figura 43. Serie storiche di confronto tra i dati di MAXMM8(O3) da stazione (rosso) e da modello (blu) relative alle stazioni di FI-Settignano e PI-Passi.

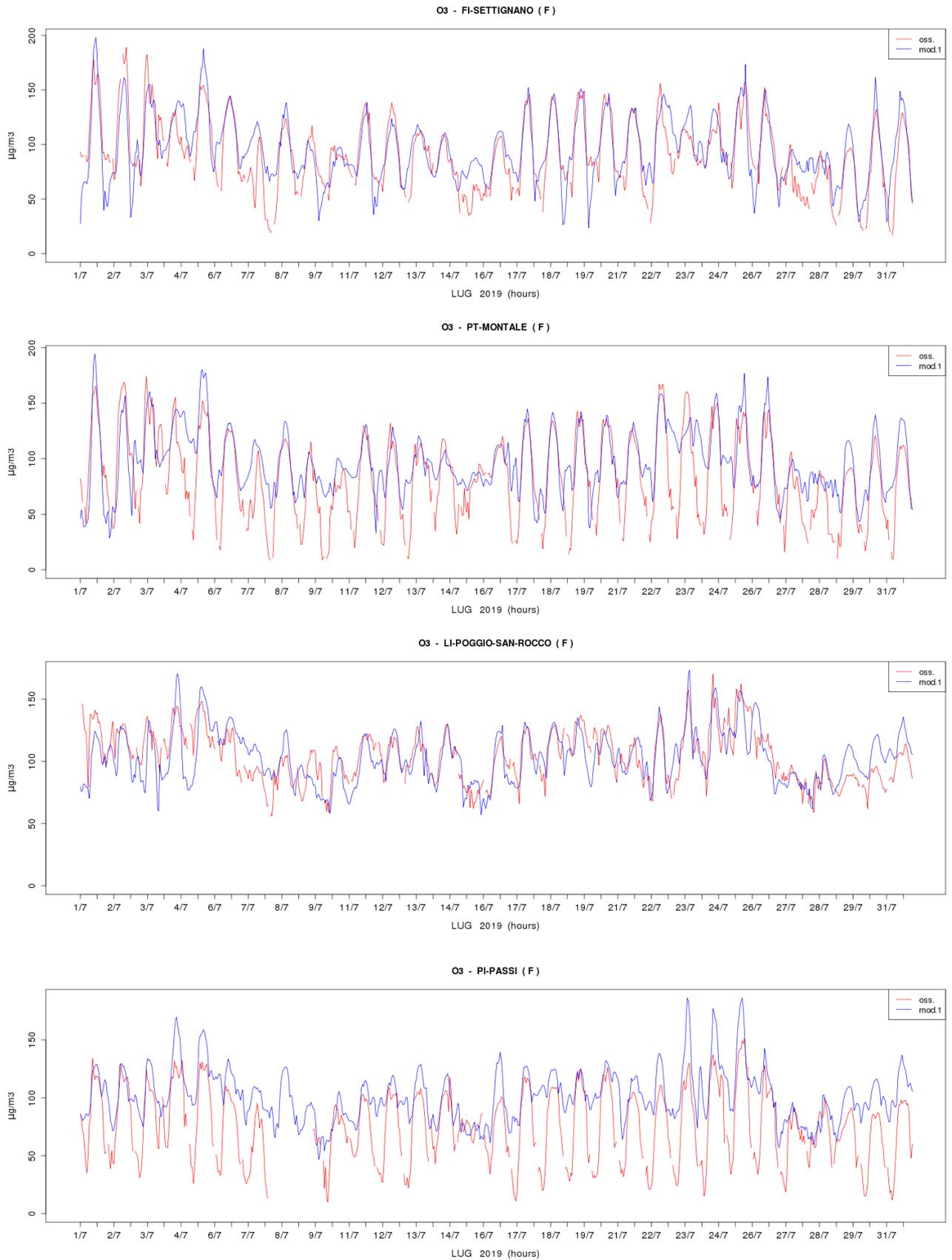


Figura 44. Serie storiche di confronto tra i dati di O₃ da stazione (rosso) e da modello (blu), presso le stazioni di FI-Settignano, PT-Montale, LI-Poggio San Rocco e PI-Passi, nel mese di luglio 2019.

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 - Per quanto riguarda il PM10 e il PM2.5, i valori di concentrazione 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: in particolare si hanno ottimi risultati per le stazioni nell'area costiera.

NO2- Per quanto riguarda il valore medio annuo, il biossido di azoto presenta risultati discreti: il 78% delle stazioni cade nell'area di confidenza, percentuale che sale a 85% per le sole stazioni di fondo, evidenziando una sottostima del modello dei valori registrati nelle stazioni di traffico. Nel 11% dei casi si ha una sovrastima, legata in particolare alle stazioni di Livorno, FI-Settignano e AR-Casastabbi.

O3 - Per quanto riguarda l'ozono, gli scatter-plot relativi alla media annua e al MAXMM8 evidenziano buoni risultati, considerando che il 100% delle stazioni cadono nell'area di confidenza, anche se la maggior parte sono nel settore superiore, indicando una sovrastima del modello. In particolare, lo scatter-plot relativo al MAXMM8 evidenzia un ottimo accordo stime-misure per le stazioni di LI-PoggioS.Rocco, LU-Carignano, FI-Settignano e GR-Maremma.

Lo scatter-plot relativo al biossido di zolfo è stato riportato solo per completezza: si evidenzia una notevole sovrastima nella stazione di LI-La Pira, mentre le altre due stazioni sono all'interno dell'area di confidenza, nel settore superiore.

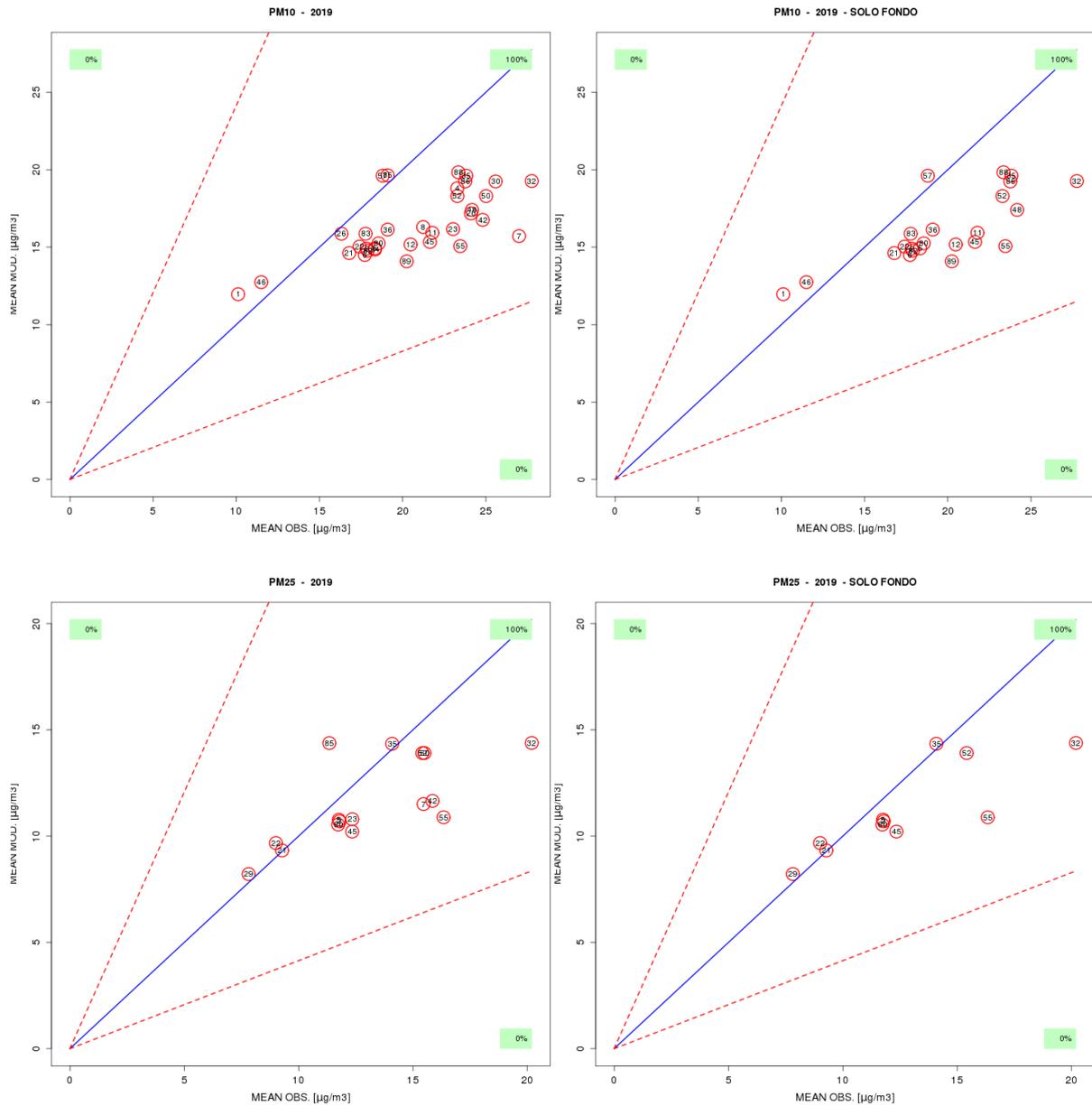


Figura 45. Scatter-plot relativi alla media annua stime-misure di PM10, PM2.5, per tutte le stazioni (sinistra) e per le sole stazioni di fondo (destra).

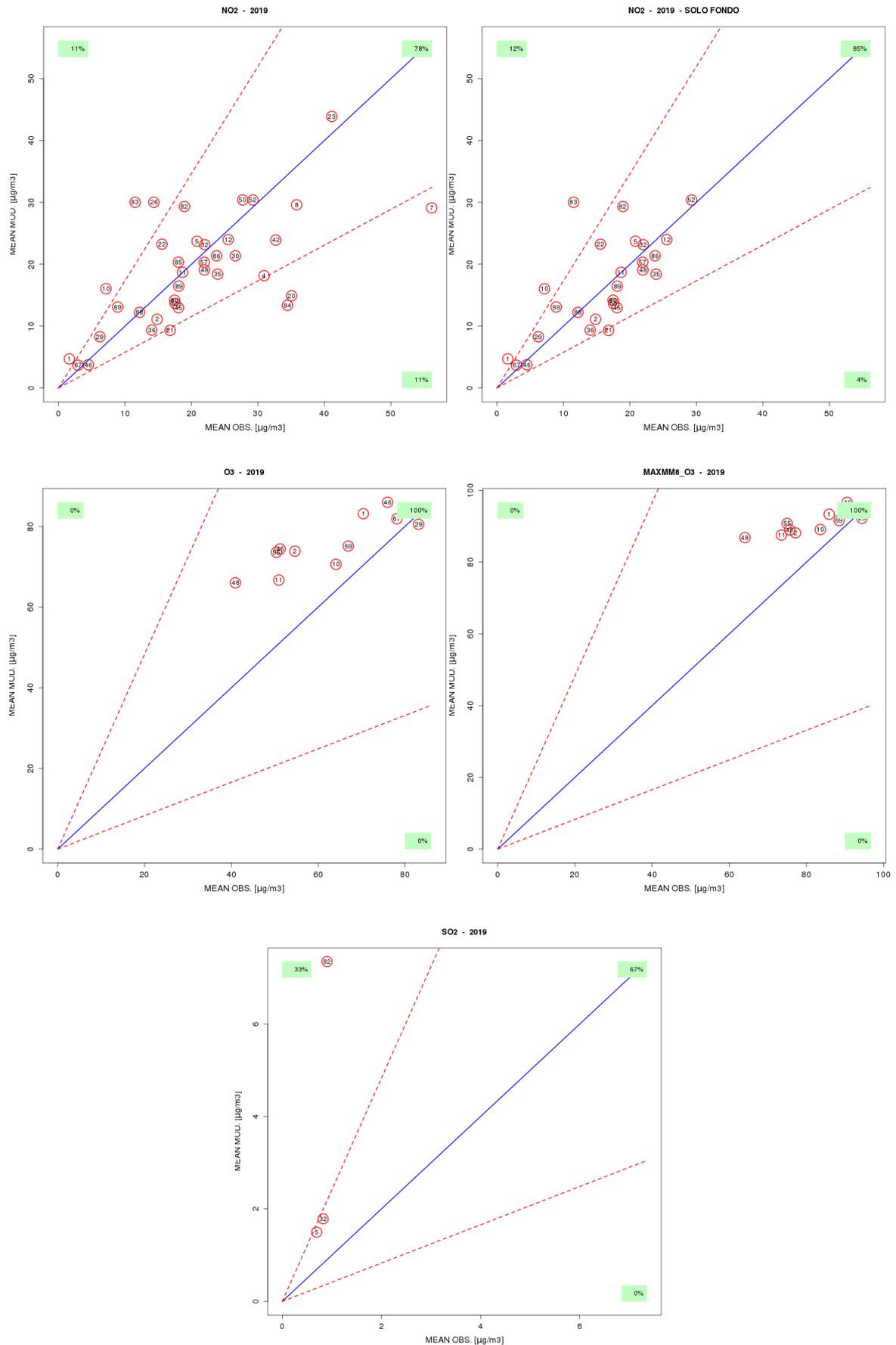


Figura 46. Scatter-plot relativi alla media annua stime-misure di NO2, O3, per tutte le stazioni (sinistra) e per le sole stazioni di fondo (destra), di O3 come media annua (sinistra) e come MAXMM8 (destra), di SO2 come media annua.

3.4 Diagrammi di Taylor

Per completare l'analisi attraverso grafici, sono stati elaborati i diagrammi di Taylor, che evidenziano la corrispondenza stime-misure, considerando contemporaneamente il coefficiente di correlazione e la deviazione standard, per ogni singolo punto di misura.

PM10 – Il diagramma relativo al PM10 mostra una distribuzione di punti compresa tra le linee corrispondenti ai coefficienti di correlazione 0.6 e 0.75, e distano dal punto ideale per meno di una deviazione standard. I risultati sono migliori rispetto agli anni precedenti.

PM2.5 – La distribuzione della maggior parte delle stazioni si colloca tra le linee relative ai coefficienti di correlazione 0.6 e 0.8, con una distanza inferiore a una deviazione standard dal punto ideale: si hanno risultati peggiori per le stazioni dell'area costiera (GR-URSS, LI-Cappiello e LI-PoggioSRocco) e la stazione di traffico PO-Ferrucci. Si confermano comunque le buone prestazioni del modello nel simulare questo inquinante.

NO2 – Il biossido di azoto, come già evidenziato, mostra una notevole differenza nella risposta modellistica a seconda della stazione: nel caso di 9 stazioni, in cui la sovrastima del modello è molto alta il simbolo corrispondente alla stazione non rientra nell'area del grafico (centraline di Livorno, FI-Settignano, Ar-Casastabbi). Per le altre stazioni invece i risultati sono buoni, in particolare per PI-Santa Croce, PI-Passi, LU-Viareggio. In generale i risultati sono migliori rispetto agli anni precedenti.

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

O3 - Nel diagramma di Taylor, per quanto riguarda l'ozono, sono stati riportati i risultati per il massimo della media mobile su 8 ore (MAXMM8). I risultati sono molto buoni con valori di correlazione prossimi o superiori a 0.9 e distanza dall'ottimo inferiore a mezza deviazione standard per tutte le stazioni, a eccezione di AR-Casa Stabbi (corr. 0.8), con un netto miglioramento rispetto agli anni precedenti.

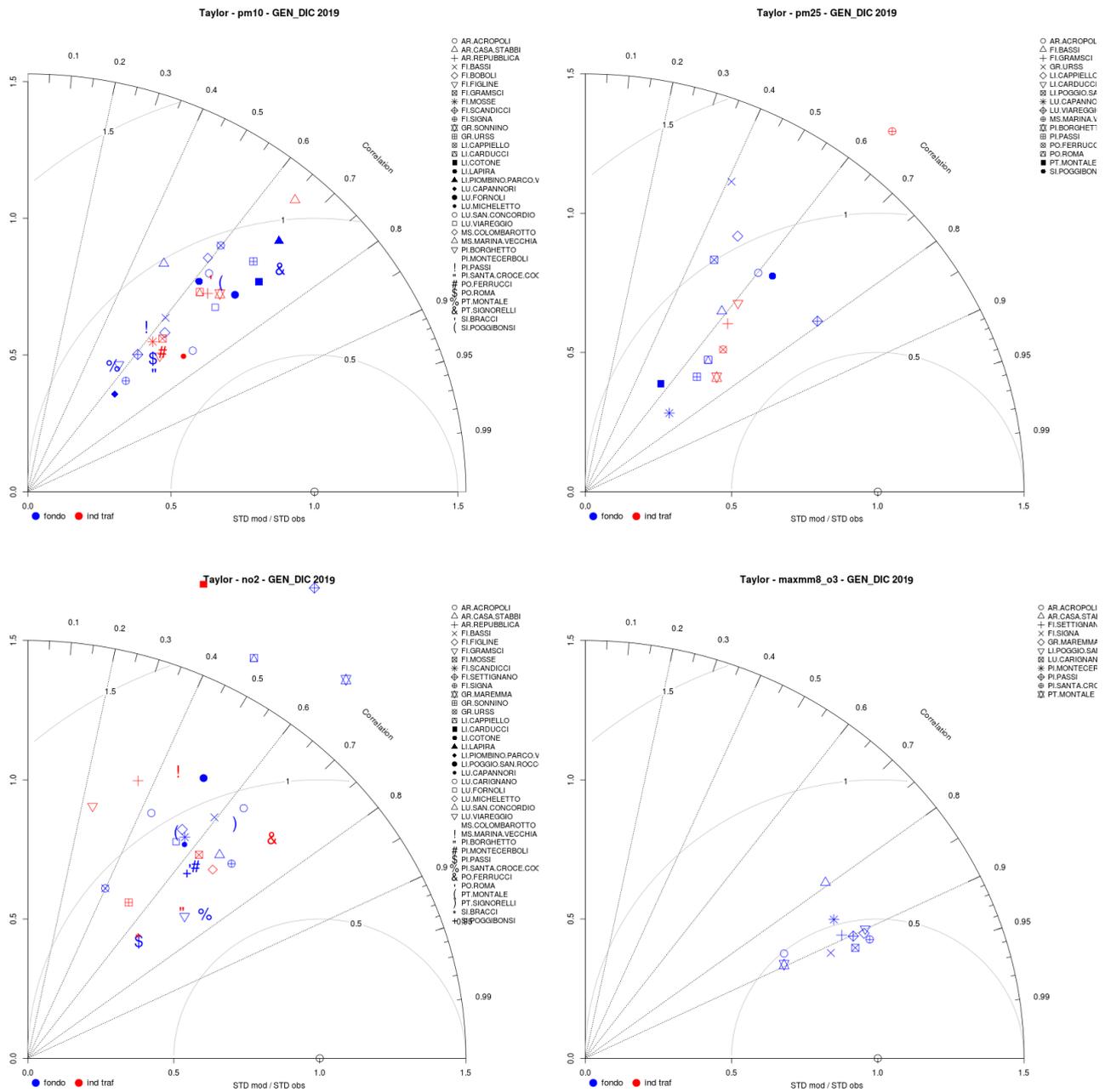


Figura 47. Diagrammi di Taylor di PM10, PM2.5, NO2, O3 (MAXMM8): in rosso le stazioni di traffico, in blu di fondo.

3.5 Indicatori statistici

Per effettuare una valutazione quantitativa dei risultati ottenuti dalla simulazione modellistica dell'anno 2019 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, PM_{2.5}, O₃, SO₂, su base annuale e stagionale; per l'ozono gli indicatori sono stati elaborati anche per i valori orari e per il MAXMM8. Di seguito, nella tabella 4, sono riportati indicatori di sintesi, vale a dire i valori degli indicatori statistici accorpati, ottenuti considerando le sole stazioni di fondo o tutte le stazioni, per ciascuno degli inquinanti, su base annua o stagionale.

PM₁₀ – Per questo inquinante gli indici delle singole stazioni non presentano una forte variabilità. Gli indici accorpati, ottenuti dalla media dei valori delle stazioni di fondo, mostrano che i risultati buoni, migliori degli anni precedenti: il modello sottostima di -18% a livello annuale, -19% in estate e addirittura sovrastima leggermente in inverno (-4%); gli indici di correlazione e IOA su base annuale sono rispettivamente 0.64 e 0.74, di poco inferiori se si considerano tutte le stazioni.

PM_{2.5} – Anche per il PM_{2.5} si hanno risultati migliori rispetto all'anno precedente: gli indici statistici correlazione e IOA sono buoni, sia considerando tutte le stazioni (rispettivamente 0.62 e 0.73), sia le sole stazioni di fondo (correlazione 0.60, IOA 0.72), inoltre lo scarto su base annuale è -11%, nel periodo invernale è presente una sovrastima (11%), mentre in estate il modello sottostima (-15).

NO₂ – Come già più volte segnalato, per questo inquinante si hanno notevoli differenze tra stazione e stazione, per cui è necessario valutare anche le prestazioni delle singole stazioni, riportate nelle tabelle in appendice 1. Le stazioni dell'area di Livorno e Piombino mostrano valori molto sovrastimati (emissioni attività portuali e industriali), come pure la stazione di AR-Casa-Stabbi (condizioni al contorno), e la stazione di FI-Settignano (possibile non corretta attribuzione del carico emissivo a livello locale), mentre per molte stazioni i risultati sono buoni (PI-SantaCroce, LU-SanConcordio, LU-Viareggio, etc.). I valori accorpati, pur avendo un significato limitato, mostrano un significativo miglioramento rispetto agli anni precedenti: considerando le sole stazioni di fondo si ha una sovrastima annua del 4%, estiva del 28%, invernale del 18%, a fronte di valori di correlazione di 0.55 e IOA pari a 0.67. Considerando tutte stazioni si ha una leggera sottostima dell'ordine del -7% su base annua, indice di correlazione di 0.55 e IOA pari a 0.65.

O₃ – Per l'ozono sono stati elaborati skill su base giornaliera, oraria, su MAXMM8: i risultati migliori si ottengono per gli indicatori del MAXMM8, con valori di correlazione e IOA molto buoni, rispettivamente 0.89 e 0.90 su base annua. Si ha una sovrastima rispetto ai dati misurati del 11% su base annua, del 9% estiva e una sottostima

invernale del -13%. Anche in questo caso si presentano variazioni significative da stazione a stazione.

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: gli indicatori correlazione e IOA non sono buoni per nessuna stazione, inoltre per la stazione di LI-La Pira si evidenzia una notevole sovrastima, come discusso nei paragrafi 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	16.1	10.89	8.70	-0.19	0.38	9.72	0.31	-3.57	0.64	0.74	-18%
	EST	16.7	13.6	7.25	8.59	-0.20	0.40	7.55	0.26	-3.12	0.64	0.76	-19%
	INV	19.7	18.7	10.92	7.51	-0.05	0.43	16.36	0.75	-2.07	0.45	0.54	-5%
pm25	JAN_DEC	12.6	11.2	8.98	6.30	-0.10	0.41	7.60	0.42	-1.36	0.60	0.72	-11%
	EST	9.7	8.5	3.96	3.39	-0.14	0.41	4.69	0.27	-1.28	0.26	0.55	-13%
	INV	12.6	14.0	9.05	7.10	0.11	0.49	13.80	1.05	2.81	0.55	0.59	11%
DAILY SKILL - TUTTE LE STAZIONI													
pm10	JAN_DEC	20.6	16.5	10.82	8.88	-0.21	0.38	9.91	0.30	-4.10	0.65	0.74	-20%
	EST	17.7	13.8	7.51	8.70	-0.24	0.41	8.07	0.27	-3.90	0.65	0.75	-22%
	INV	20.6	19.1	10.86	7.70	-0.07	0.43	16.68	0.72	-2.91	0.44	0.54	-7%
pm25	JAN_DEC	13.0	11.6	8.76	6.52	-0.10	0.40	7.55	0.39	-1.40	0.62	0.73	-11%
	EST	10.3	8.7	4.06	3.46	-0.16	0.41	4.92	0.27	-1.60	0.26	0.55	-15%
	INV	13.0	14.5	8.82	7.36	0.10	0.49	13.85	1.01	2.90	0.55	0.59	11%
DAILY SKILL - SOLO STAZIONI FONDO													
no2	JAN_DEC	15.9	16.6	8.22	8.82	0.07	0.47	9.58	0.48	0.71	0.55	0.67	4%
	EST	11.3	14.4	4.00	6.75	0.20	0.49	8.12	0.54	3.13	0.44	0.54	28%
	INV	15.9	18.8	8.25	9.04	0.20	0.58	17.31	1.31	5.75	0.27	0.47	18%
DAILY SKILL - TUTTE LE STAZIONI													
no2	JAN_DEC	20.7	19.2	9.17	9.82	-0.02	0.49	12.01	0.48	-1.48	0.55	0.65	-7%
	EST	16.0	17.1	5.19	7.78	0.09	0.51	10.77	0.55	1.09	0.43	0.52	7%
	INV	20.7	21.1	9.20	9.84	0.10	0.57	19.86	1.19	0.94	0.28	0.47	2%
DAILY SKILL - SOLO STAZIONI FONDO													
o3	JAN_DEC	62.4	75.6	22.04	21.17	0.21	0.25	19.37	0.11	13.17	0.82	0.81	21%
	EST	77.3	91.5	15.19	13.41	0.18	0.20	19.40	0.06	14.28	0.66	0.66	18%
	INV	62.4	59.6	21.83	14.19	-0.03	0.36	36.92	0.43	-5.69	0.16	0.45	-4%
MM8 SKILL - SOLO STAZIONI FONDO													
o3	JAN_DEC	82.0	90.9	27.0	25.84	0.11	0.15	16.30	0.04	8.98	0.89	0.90	11%
	EST	100.9	110.1	17.7	17.48	0.09	0.12	15.03	0.02	9.24	0.80	0.82	9%
	INV	81.9	70.9	27.0	15.82	-0.14	0.33	45.14	0.38	-22.28	0.21	0.48	-13%
HOURLY SKILL - SOLO STAZIONI FONDO													
o3	JAN_DEC	62.4	75.9	29.4	26.38	0.21	0.30	25.34	0.17	13.42	0.73	0.80	21%
	EST	77.3	92.0	27.5	22.20	0.18	0.25	26.26	0.11	14.71	0.66	0.74	19%
	INV	62.1	66.2	30.6	22.80	0.07	0.47	51.15	0.77	7.93	0.25	0.49	7%
DAILY SKILL - SOLO STAZIONI FONDO													
so2	JAN_DEC	0.8	3.6	0.76	2.74	1.01	1.17	3.98	5.21	2.74	0.04	0.27	338%
	EST	1.1	4.0	0.76	2.82	0.71	0.97	4.15	4.52	2.89	0.18	0.34	263%
	INV	0.8	3.1	0.76	2.49	1.01	1.16	5	9.74	4.56	-0.09	0.24	280%

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

3.6 Dust sahariano

Il metodo modellistico proposto può essere di aiuto per l'individuazione degli episodi sahariani, in quanto tiene conto delle condizioni meteorologiche favorevoli al trasporto, del contributo di polvere minerale attraverso le condizioni al contorno, dell'effettiva intrusione nei livelli più bassi grazie al meteo ad alta risoluzione sul dominio di calcolo. In ogni caso, per la valutazione quantitativa del contributo sahariano al PM10, si rimanda alla metodica proposta nelle linee guida europee, adottata da ARPAT.

Seguendo l'approccio modellistico, per l'individuazione dei principali episodi di trasporto di polvere sahariana 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. 5). Dal momento che la componente crostale non è presente nell'inventario delle emissioni IRSE, questa frazione del PM10 deriva unicamente dalle condizioni al contorno relative alla polvere desertica (dust), fornite dal modello CHIMERE.

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 5. Elenco delle stazioni selezionate per la stima del dust sahariano.

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 sahariani si dovrebbero distinguere 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.

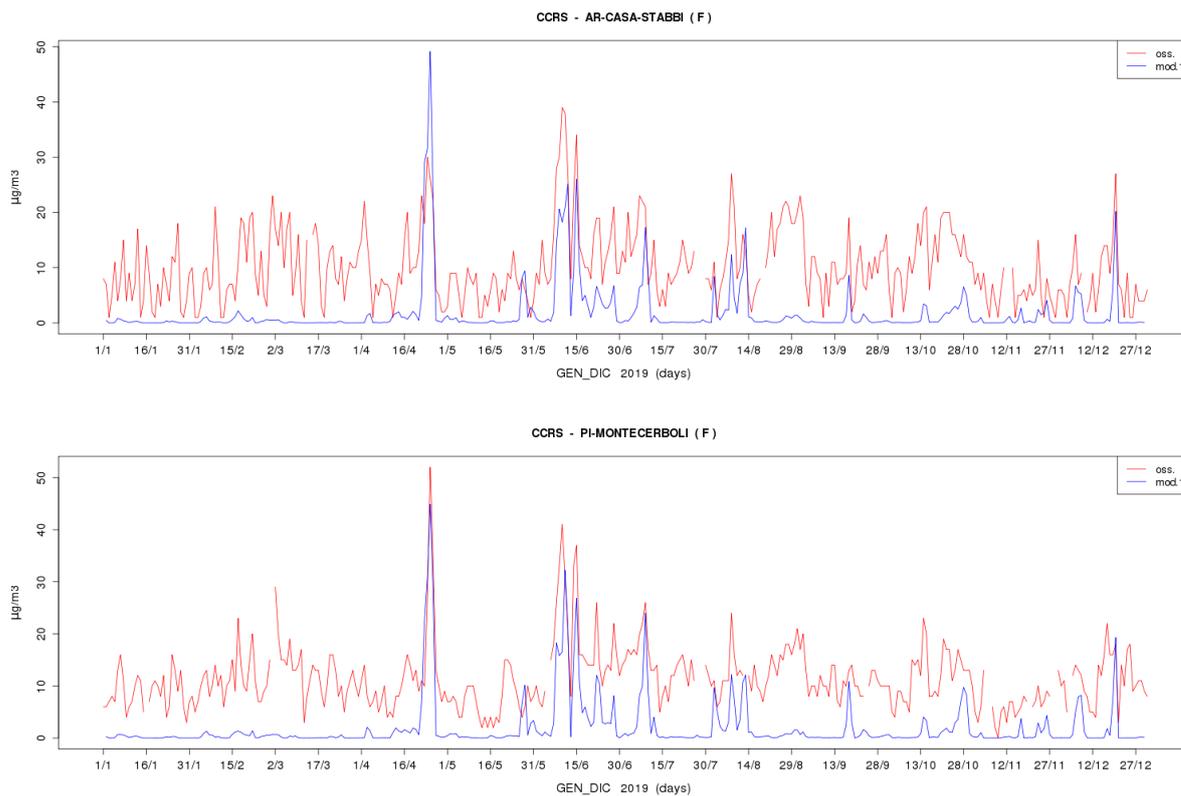


Figura 48. Serie storiche di confronto tra le medie giornaliere di dust sahariano stimato dal modello (blu) e PM10 osservato (rosso) relative alle stazioni di AR-CasaStabbi, PI-Montecerboli.

	max	min	media
22/04/2019	24.8	1.7	5.8
23/04/2019	48.1	11.3	23.1
24/04/2019	54.6	20.7	29.7
25/04/2019	67.4	40.1	46.6
26/04/2019	35.1	20.0	25.6
28/05/2019	19.6	6.7	10.2
08/06/2019	27.6	11.7	19.6
09/06/2019	25.9	15.8	20.2
10/06/2019	21.7	13.6	17.3
11/06/2019	59.5	20.8	37.4
12/06/2019	30.9	12.6	20.7
14/06/2019	27.9	8.0	11.7
15/06/2019	34.6	23.9	28.3
16/06/2019	11.8	7.8	9.8
22/06/2019	18.0	3.8	10.0
08/07/2019	13.6	6.0	8.1
09/07/2019	34.5	16.5	24.1
10/07/2019	13.8	2.9	9.3
02/08/2019	12.4	5.7	7.6
08/08/2019	16.7	10.3	12.6
12/08/2019	14.3	7.0	9.6
13/08/2019	17.2	7.2	12.3
18/09/2019	16.2	6.2	10.1
07/12/2019	10.4	5.0	7.1
20/12/2019	24.3	8.0	15.6

Tabella 6. Elenco degli episodi di intrusioni sahariane e relative concentrazioni ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) minime e massime sul territorio.

In tabella 6 sono riportate le date dei principali episodi di dust sahariano stimati da modello nel 2019, e i corrispondenti valori di concentrazione media giornaliera; si tratta dei valori di concentrazione massimi e minimi stimati nelle 16 stazioni, in modo da rappresentare la variabilità sul territorio. Osservando i grafici e la tabella, si può notare che gli episodi di intrusione di polvere sahariana corrispondono effettivamente a picchi di concentrazione di PM10 misurati.

Gli episodi di intrusione di polvere desertica si verificano generalmente con più frequenza nel periodo primaverile-estivo. Nel 2019 gli episodi più importanti si sono verificati effettivamente nel semestre aprile-settembre: in particolare uno molto intenso si è rilevato ad aprile (25 aprile), seguito da due episodi a giugno (11 e 15 giugno) e uno a luglio (9 luglio). E' possibile che questi episodi, in particolare quello del 25 aprile, siano sovrastimati dal modello. Da segnalare, in accordo con l'analisi climatica, l'episodio del 20 dicembre, che si è verificato in un periodo in cui in area urbana sono predominanti sorgenti antropiche: per questo nelle stazioni rurali, in particolare in quella di AR-Casa Stabbi, il picco di probabile origine naturale si può individuare più chiaramente.

La distribuzione territoriale della polvere sahariana può essere visualizzata attraverso mappe della concentrazione media: nella seguente figura sono riportati le mappe del mese di aprile e del mese di luglio, in cui si sono verificati episodi intensi.

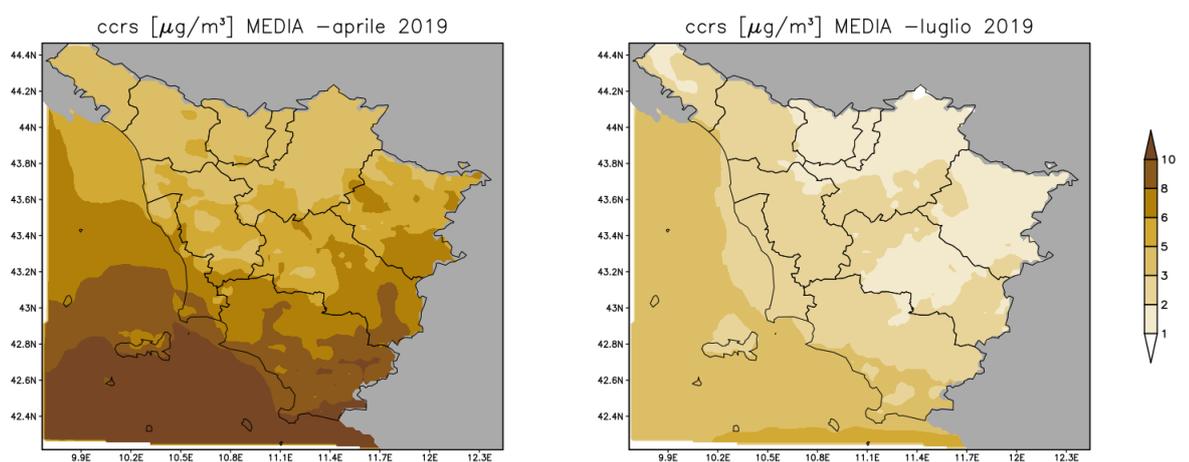


Figura 29. Media giornaliera delle concentrazioni di polvere sahariana ($\mu\text{g}/\text{m}^3$), relativa ai mesi di aprile e luglio 2018.

Per avvalorare i risultati ottenuti con l'approccio modellistico, sono state effettuate alcune verifiche confrontando le stime del modello e le misure di dust sahariano, eseguite dall'Università di Firenze e da INFN per l'anno 2014 nell'ambito del Progetto PATOS. I primi risultati dell'indagine sono stati incoraggianti; ulteriori analisi saranno

svolte nell'ambito della prosecuzione del progetto PATOS, che ha previsto una campagna di misure nel periodo marzo 2019 - marzo 2020. I nuovi dati analitici, non appena disponibili, permetteranno di proseguire le verifiche sul contributo desertico al PM10.

Conclusioni

I risultati ottenuti applicando il sistema modellistico SPARTA all'anno 2019 sono stati presentati in questo lavoro. Anche per questo anno, come per i precedenti, come input emissivo sono stati utilizzati i dati forniti dall'inventario IRSE aggiornato all'anno di riferimento 2010. 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.

Da un punto di vista climatologico, l'anno 2019 è stato il quinto anno più caldo a partire dal 1955, caratterizzato da marcate anomalie positive nel trimestre estivo ed autunnale, con temperature superiori alla media soprattutto a febbraio, giugno, novembre e dicembre. Si sono verificate due ondate di calore a fine giugno e a fine luglio, che hanno determinato innalzamenti significativi delle concentrazioni di ozono. Gli unici mesi anomalia negativa sono gennaio (-1,4 °C) e maggio (-2,3 °C): a gennaio si sono verificate temperature inferiori a zero gradi in pianura e inversioni termiche che hanno favorito l'accumulo degli inquinanti. Il 2019 è risultato più piovoso del normale con un surplus del 20%: a livello mensile la distribuzione delle precipitazioni è stata estremamente variabile, con mesi molto secchi alternati a mesi estremamente piovosi, in particolare maggio, luglio e soprattutto a novembre, risultato il più piovoso dell'intera serie storica. Da un punto di vista circolatorio il 2019 è classificabile come un anno "estremo" in cui si sono alternate intense fasi anticicloniche con inconsueti periodi perturbati.

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

PM10-PM2.5 - il modello riproduce molto bene i valori di concentrazione di PM10 e PM2.5, sia in termini di andamento temporale che in termini quantitativi. In alcune stazioni delle pianure interne si registrano valori più alti nel periodo invernale rispetto alle concentrazioni stimate: il modello, pur riproducendo correttamente il trend temporale, durante gli episodi caratterizzati da concentrazioni molto alte sottostima i valori di picco. Questo scostamento dalle misure risulta evidente nei mesi di gennaio e febbraio, in cui si sono verificate condizioni critiche per l'inquinamento, rispetto ai mesi di novembre (molto piovoso) e dicembre, in cui si sono alternati periodi perturbati a periodi stabili. Queste discrepanze, riscontrate anche negli anni precedenti, potrebbero essere attribuite ad una non corretta stima, a livello locale, delle emissioni IRSE, in particolare alla stima del fattore riconducibile alla combustione di biomasse. Una

possibile causa riguarda anche la sottostima da parte del modello della componente secondaria. Per quanto riguarda il periodo primaverile-estivo, i valori di concentrazione sono ben riprodotti nelle stazioni di fondo, sottostimati nelle stazioni di traffico.

NO₂ - Per quanto riguarda questo inquinante, si evidenziano risultati molto diversi a seconda delle centraline di monitoraggio. Nella maggior parte dei casi, considerando stazioni di fondo collocate sia nelle pianure interne che sulla costa, si ha un buon accordo stime-misure nell'arco dell'anno; per un altro gruppo di stazioni, sempre afferenti alle stesse aree, si ha un discreto accordo nel periodo invernale, ma una sensibile sovrastima nel periodo maggio-ottobre. Per quanto riguarda le stazioni di traffico, in generale si ha una significativa sottostima, mentre in due casi si ha un buon accordo. Risultati nettamente peggiori si hanno nelle stazioni delle città portuali, Livorno e Piombino, in cui i valori stimati, come negli anni precedenti, sono molto maggiori rispetto a quelli misurati, soprattutto nel periodo estivo: è ipotizzabile quindi che si tratti di una non corretta stima delle emissioni derivanti sia dalle attività portuali, sia dalle attività industriali. Anche le stazioni di FI-Settignano, nell'area fiorentina, e di AR-Casa Stabbi, rurale-fondo, mostrano una importante sovrastima. Sulla base di risultati così differenziati sul territorio è auspicabile una revisione dell'inventario delle emissioni, con particolare attenzione ai precursori di NO₂ e alle sorgenti potenzialmente più critiche come il traffico veicolare, le attività portuali, le principali sorgenti industriali.

SO₂ - La situazione è decisamente critica per il biossido di zolfo: nella stazione di Livorno (LI-La Pira) il modello registra una notevole sovrastima, mentre nelle altre stazioni le stime modellistiche riproducono come ordine di grandezza i valori misurati, ma non come andamento temporale. Anche in questo caso sarebbe necessario un aggiornamento dell'inventario delle emissioni, in particolare nelle aree portuali e in prossimità di grandi impianti industriali.

O₃ - L'analisi delle serie storiche della concentrazione media (media giornaliera, MAXMM8, media oraria per i mesi maggio-settembre) evidenzia nella maggior parte delle stazioni una discreta capacità di riprodurre i valori di picco, ma una generalizzata tendenza a sovrastimare i valori notturni. Nei mesi di maggio e di settembre le concentrazioni sono sovrastimate, mentre nei mesi di giugno luglio e agosto c'è un maggior accordo stime-misure anche come trend giornaliero, soprattutto in alcune stazioni di (FI-Settignano, LU-Carignano, LI-PoggioS.Rocco, GR-Maremma). Nelle stazioni di PI-Passi, PI-Santa-Croce il modello tende a sovrastimare i valori di concentrazione sia nelle ore più calde del giorno che durante la notte. Considerando gli

scatter-plot e il diagramma di Taylor, i risultati sono buoni, soprattutto per il MAXMM8 in termini di correlazione e standard deviation.

Dust sahariano - Le stime modellistiche hanno evidenziato, nel corso dell'anno 2019, alcuni importanti eventi di intrusioni sahariane, che possono aver contribuito ad aumentare in modo significativo i valori di concentrazione di PM10. Gli episodi si sono verificati con più frequenza nel semestre aprile-settembre: in particolare uno molto intenso si è rilevato ad aprile (25 aprile), seguito da due episodi a giugno (11 e 15 giugno) e uno a luglio (9 luglio). Da segnalare l'episodio del 20 dicembre, che si è verificato in un periodo in cui in area urbana sono predominanti sorgenti antropiche. Il metodo modellistico proposto può essere di supporto nell'individuazione degli episodi sahariani, ma per una valutazione quantitativa si rimanda alla metodica proposta nelle linee guida europee, adottata da ARPAT.

In generale, i risultati ottenuti dal sistema modellistico SPARTA, applicato all'anno 2019, sono buoni per i principali inquinanti, come confermato dal confronto stime-misure. Tuttavia, l'assenza di un recente aggiornamento e revisione dei coefficienti di emissione dell'inventario utilizzato in questa simulazione non consente di ottenere una caratterizzazione emissiva del territorio aderente alla realtà. Comunque, l'input meteorologico di alta qualità, le buone condizioni al contorno e la solidità del sistema modellistico consentono di ottenere buone stime di concentrazione.

In ogni caso, indipendentemente dall'aggiornamento dell'inventario di emissioni, previsto probabilmente per l'anno prossimo, sarà fondamentale, a valle delle simulazioni modellistiche, l'introduzione dei dati di qualità dell'aria nei campi di concentrazione in una sorta di "fusione" al fine di ottenere una nuova versione del sistema modellistico corretto con le osservazioni.

APPENDICE 1

In questa appendice sono riportati gli elaborati grafici relativi alla simulazione dell'anno 2019, ottenuta attraverso il sistema modellistico SPARTA.

Mappe medie della concentrazione di inquinanti

- PAGG. 48 e segg.: Mappe delle concentrazioni medie mensili degli inquinanti PM10, NO2, PM2.5, SO2, O3 (mediato sulle ore centrali) e O3 (mediato nelle ore serali/notturne).
- PAG. 54: 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).
- PAG. 55: Mappa delle concentrazioni medie annuali degli inquinanti PM10, NO2, PM2.5, SO2, O3 (mediato sulle ore centrali) e O3 (mediato nelle ore serali/notturne).

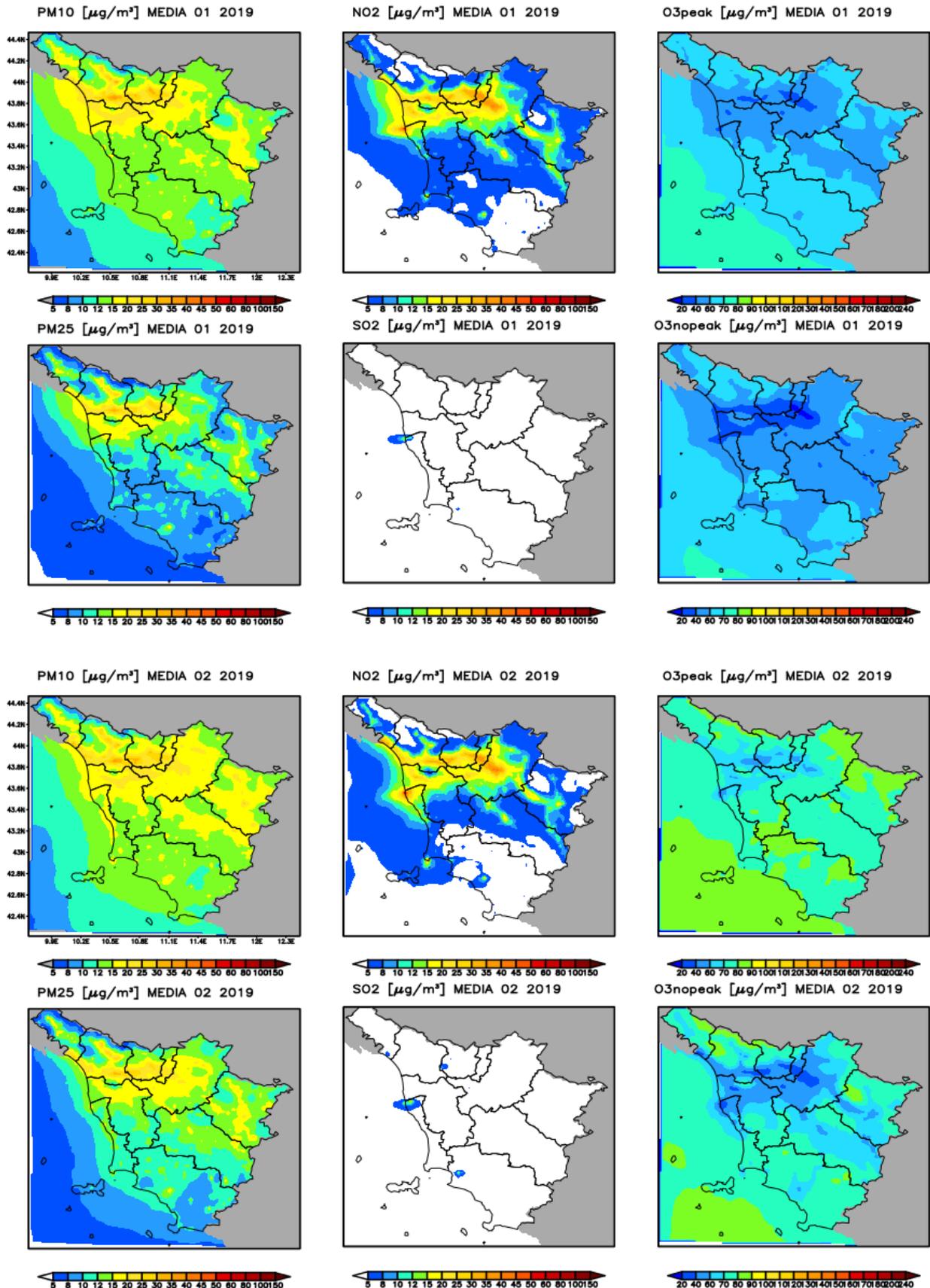
Serie Storiche

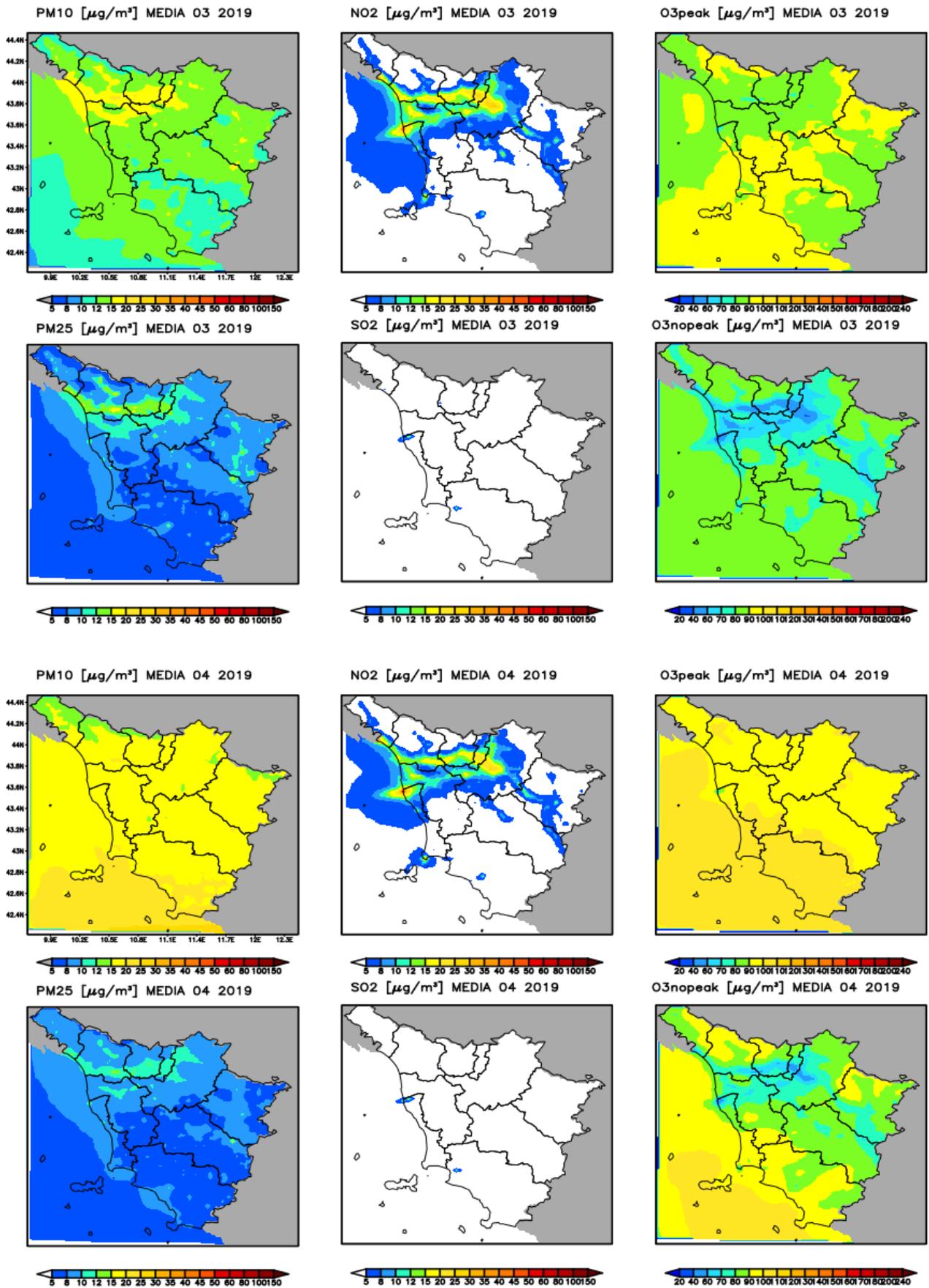
Vengono riportati i grafici degli inquinanti PM10, PM2.5, NO2, SO2 e O3, dust sahariano, relativi alle serie storiche simulate ed osservate a livello medio giornaliero (MAXMM8 per O3); per l'O3 sono riportati anche i grafici orari da maggio a settembre, per le stazioni disponibili. Con la linea rossa sono indicate le osservazioni e con la linea blu le simulazioni del modello 2018 corrispondenti ad ciascun punto stazione (il dust è confrontato con il PM10 osservato).

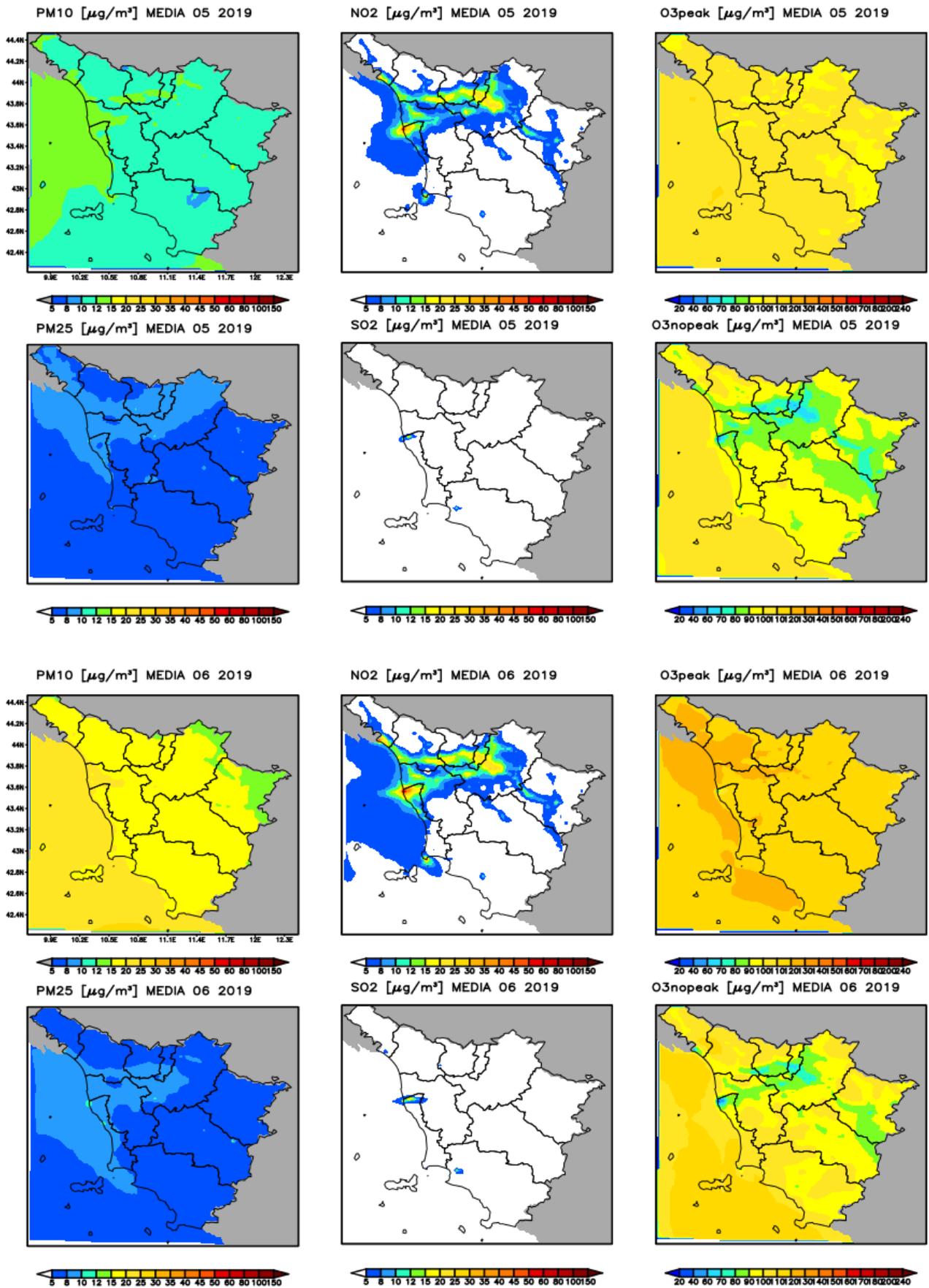
Skill

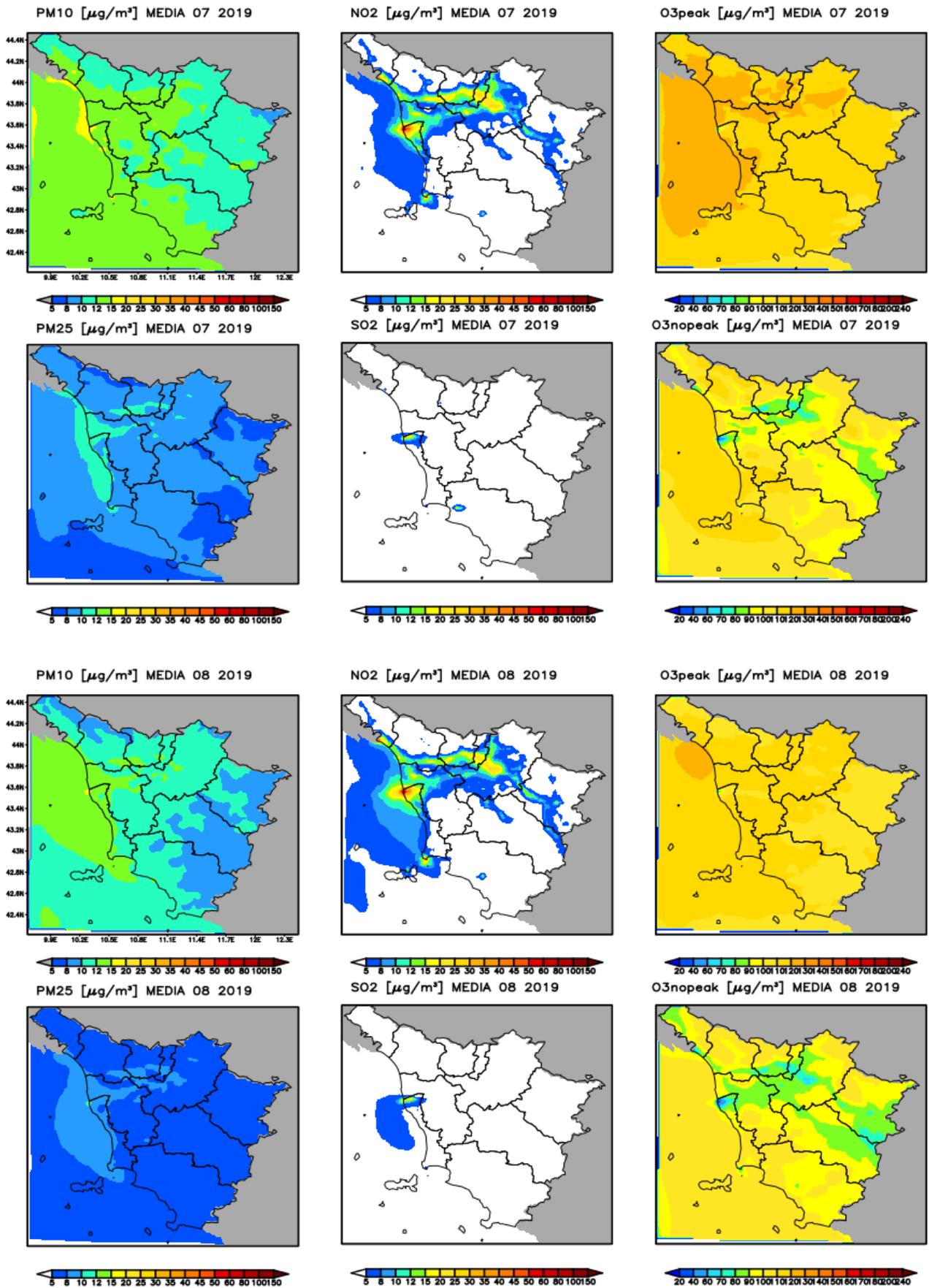
E' riportata la tabella con gli skill utilizzati per la validazione (pag. 97). Sono fornite le tabelle di skill, calcolati su base giornaliera, tra osservazioni e dati modellistici, per tutti gli inquinanti per i periodi annuale, semestre caldo e semestre freddo (PAGG. 98 e segg.).

Mappe medie 2019

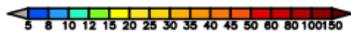
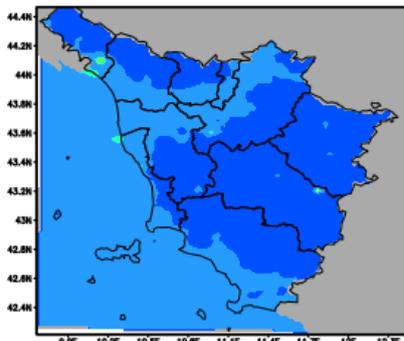




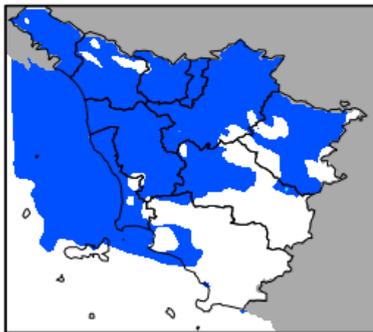




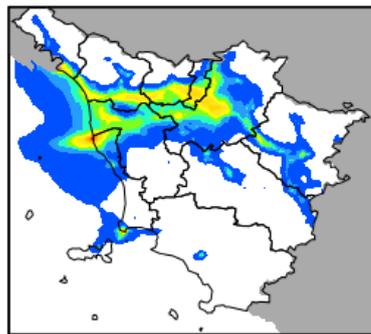
PM10 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] MEDIA 09 2019



PM25 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] MEDIA 09 2019



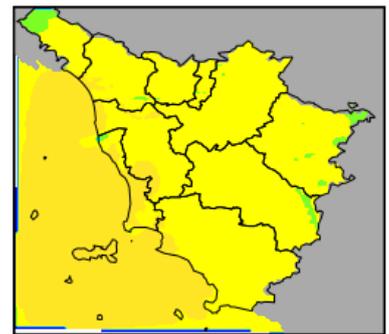
NO2 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] MEDIA 09 2019



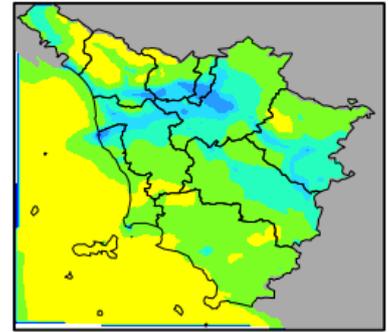
SO2 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] MEDIA 09 2019



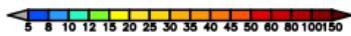
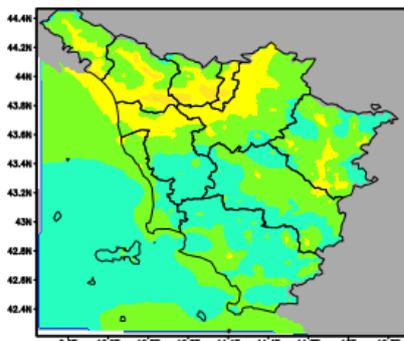
O3peak [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] MEDIA 09 2019



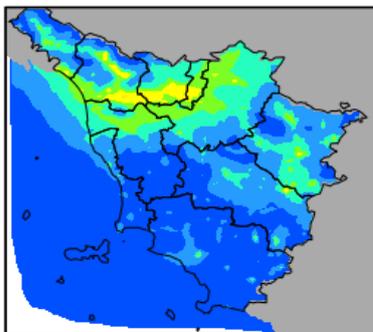
O3nopeak [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] MEDIA 09 2019



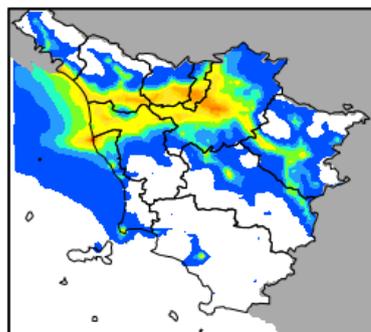
PM10 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] MEDIA 10 2019



PM25 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] MEDIA 10 2019



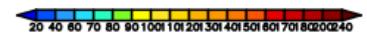
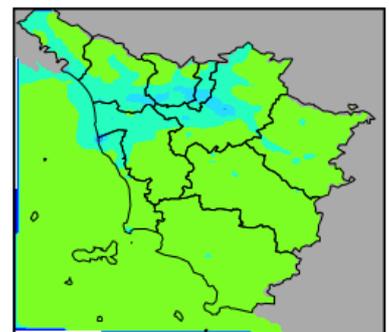
NO2 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] MEDIA 10 2019



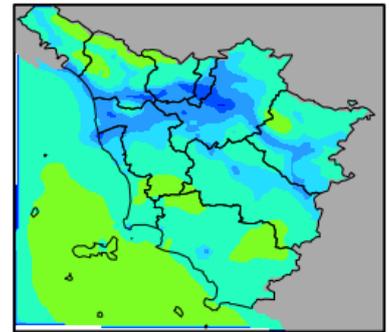
SO2 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] MEDIA 10 2019

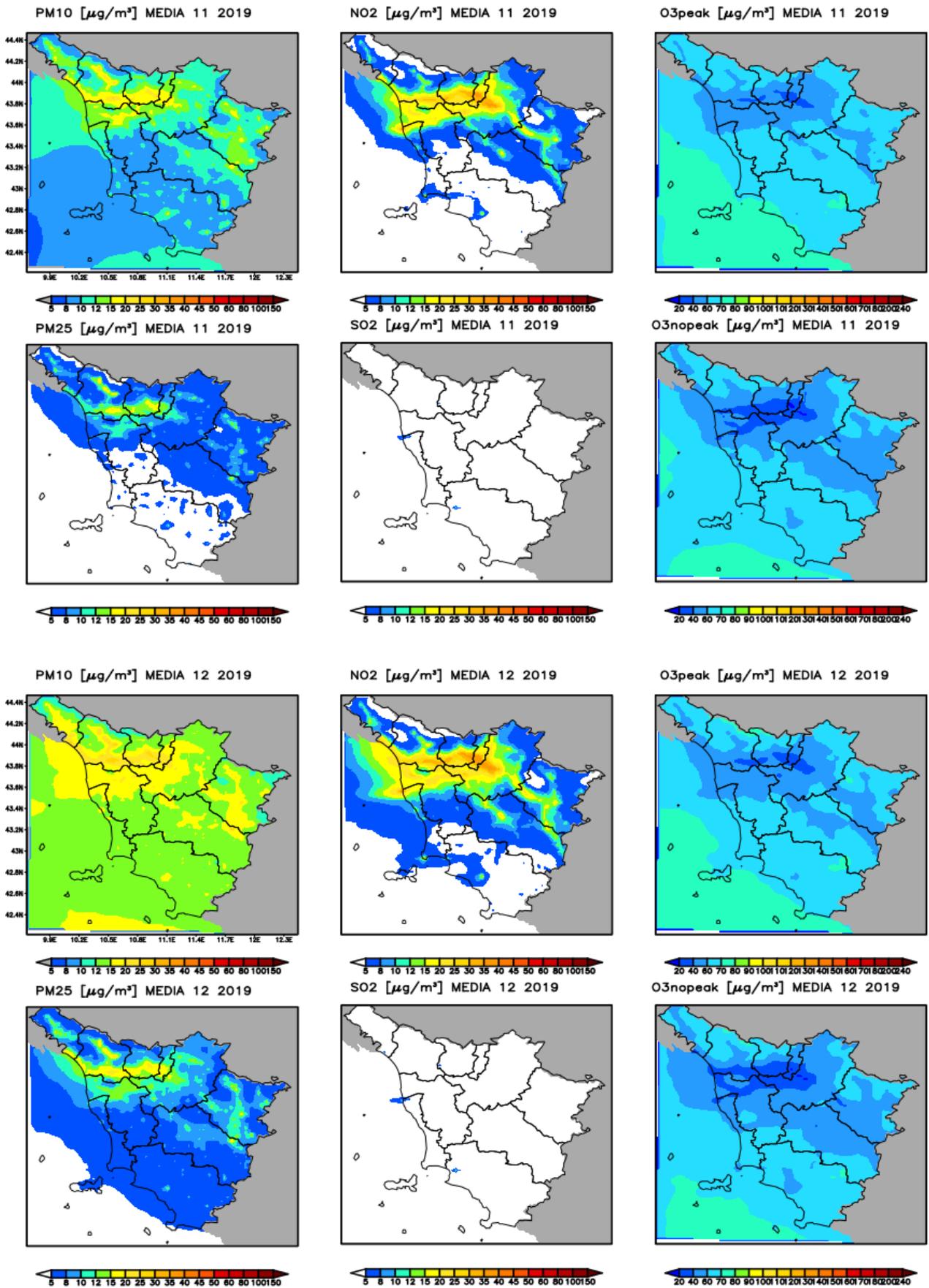


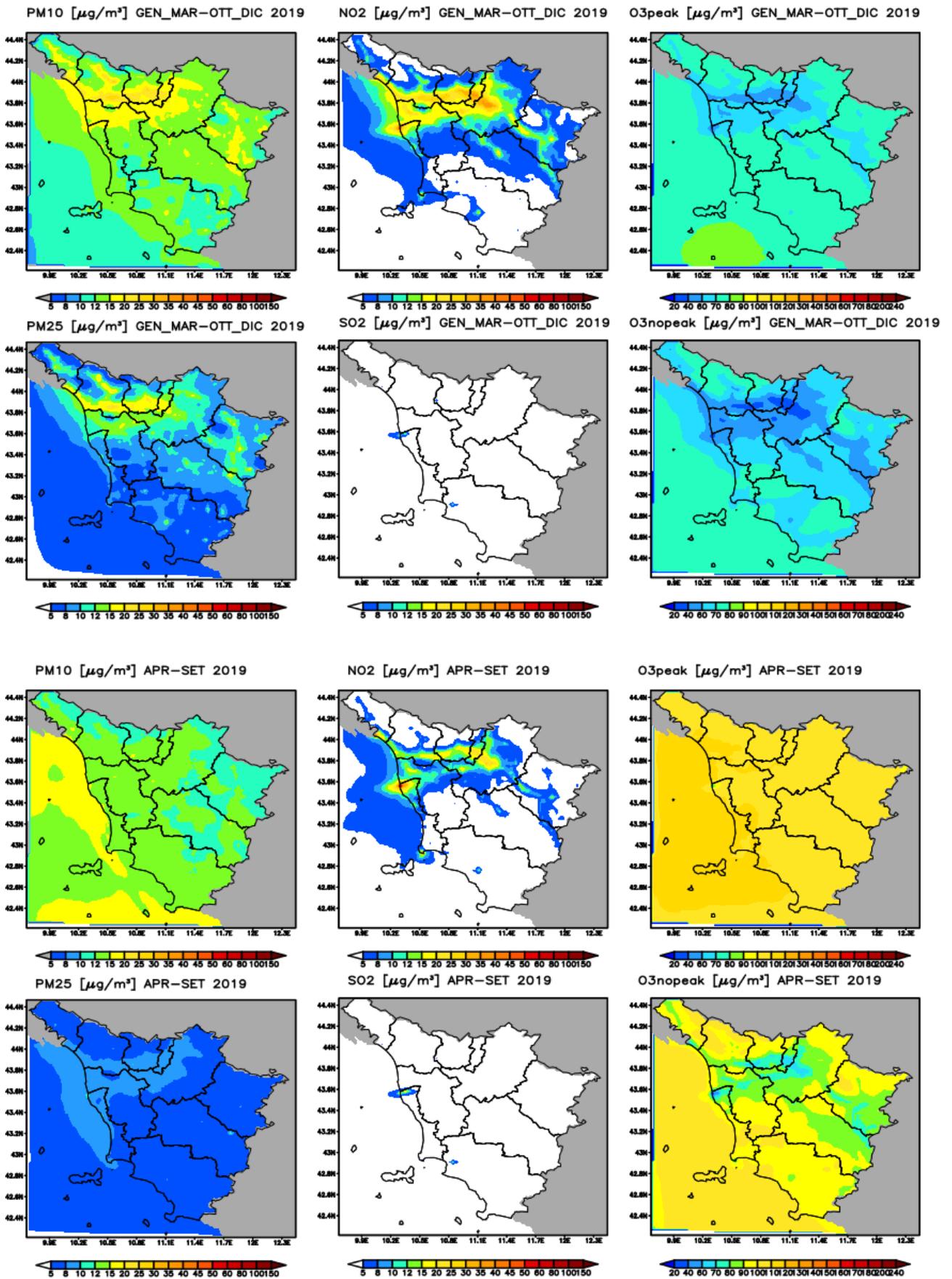
O3peak [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] MEDIA 10 2019

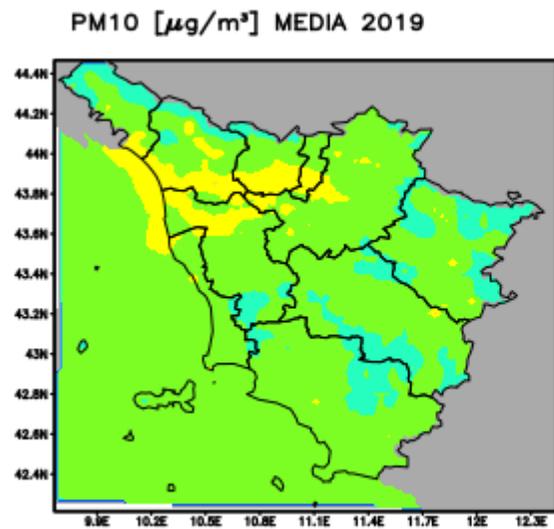


O3nopeak [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] MEDIA 10 2019

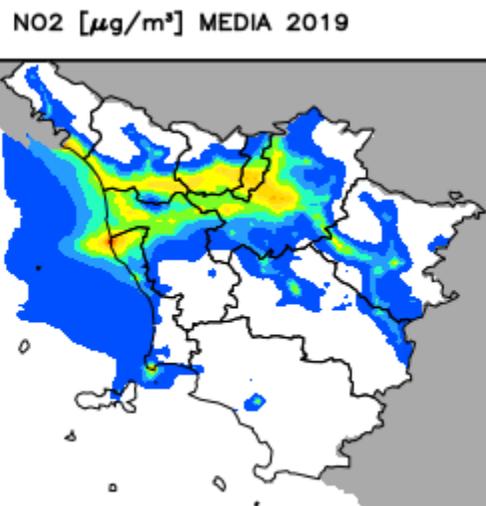
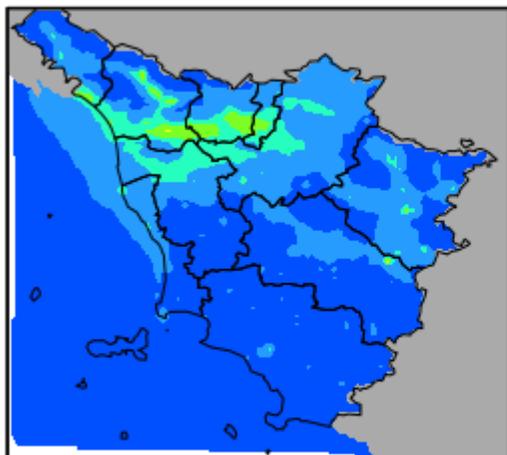




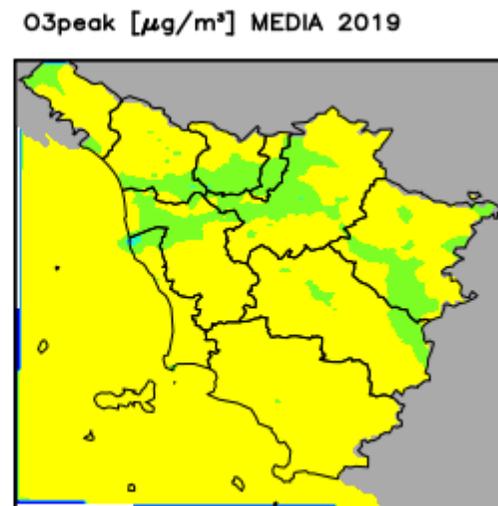




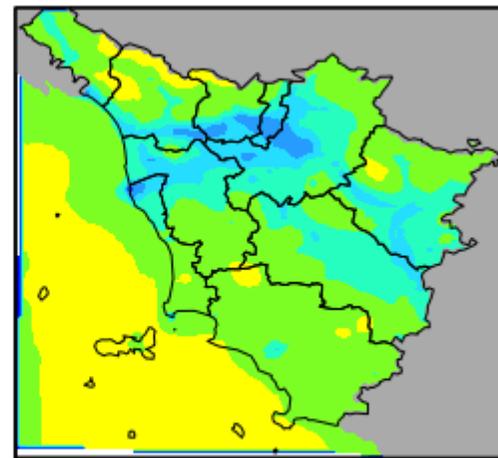
PM25 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] MEDIA 2019



SO2 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] MEDIA 2019

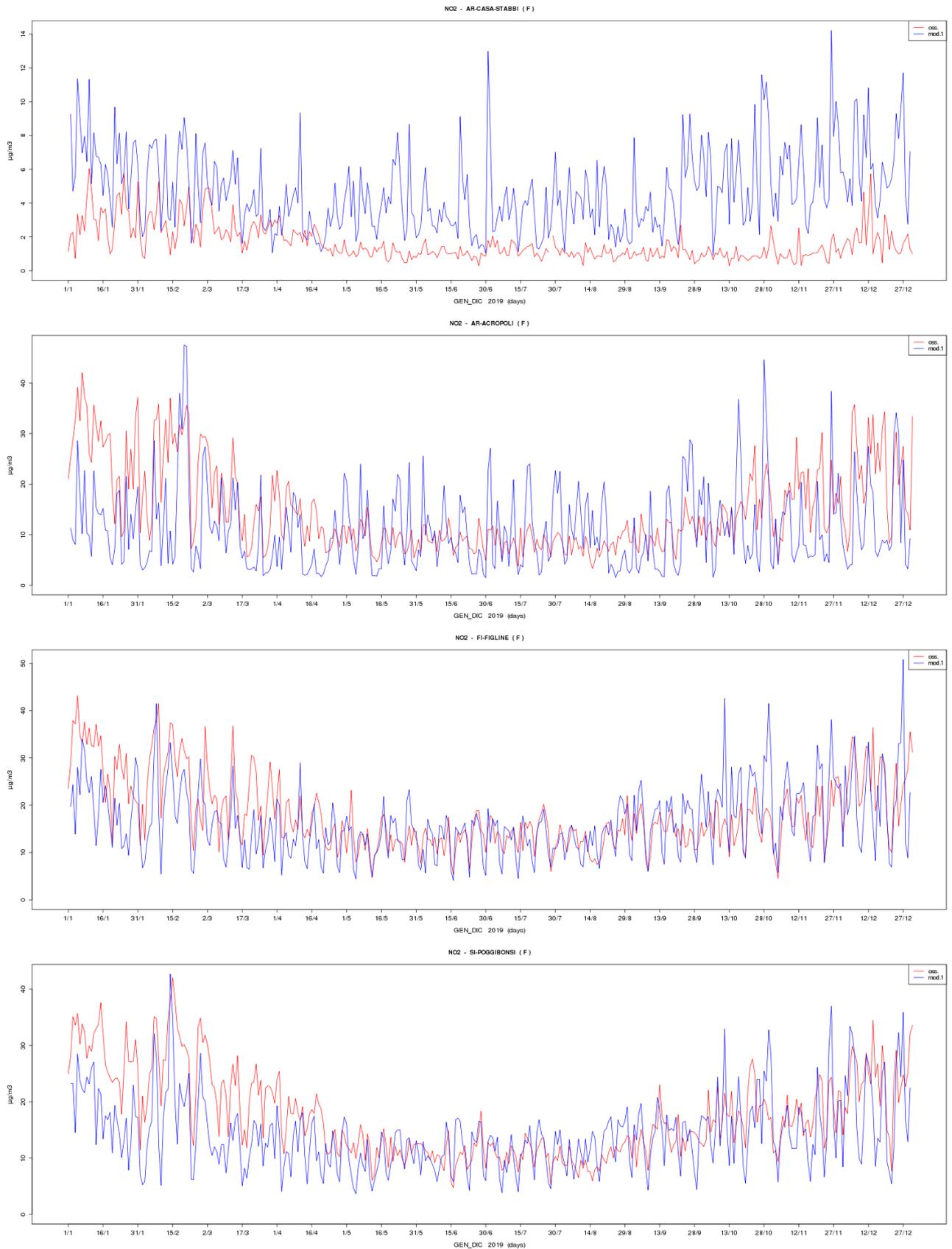


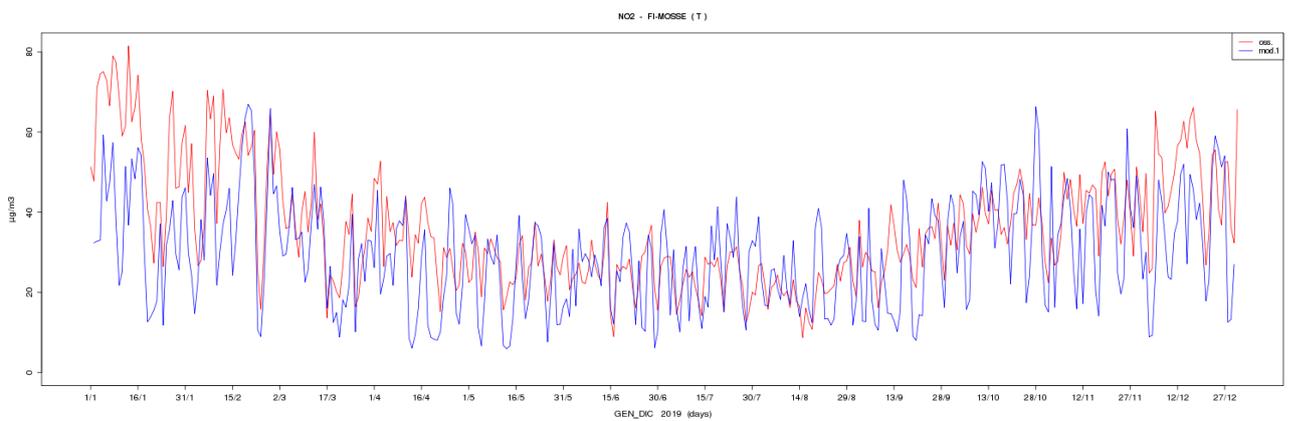
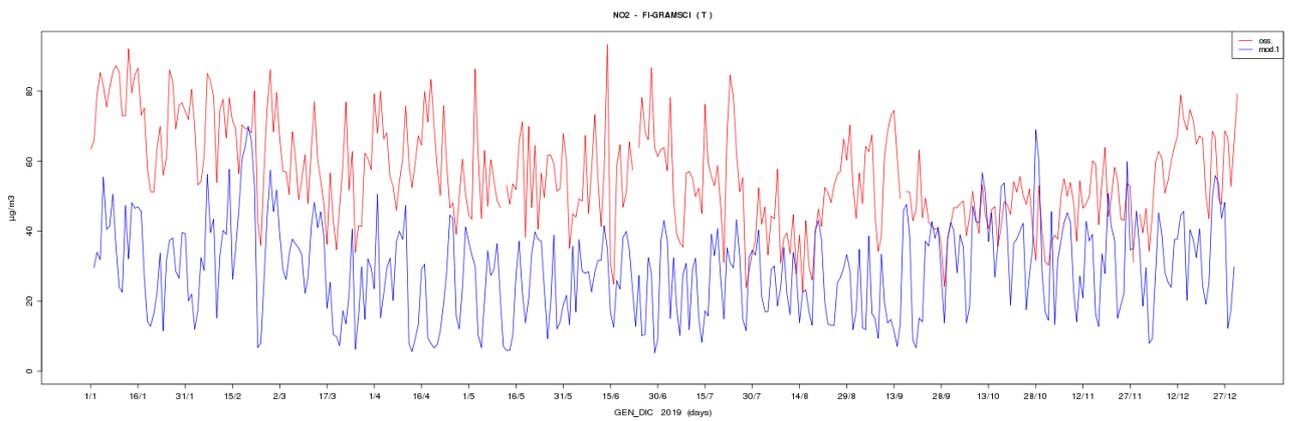
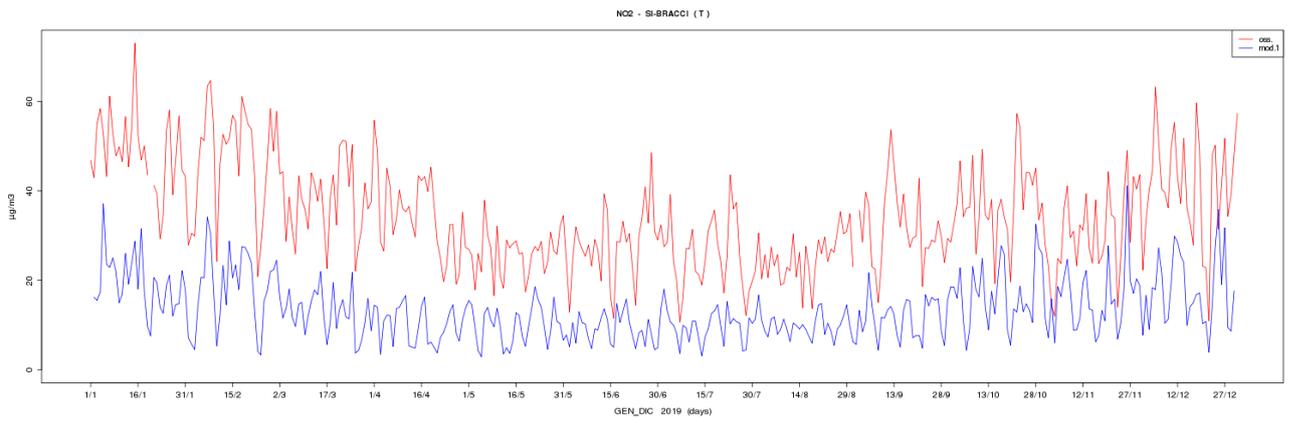
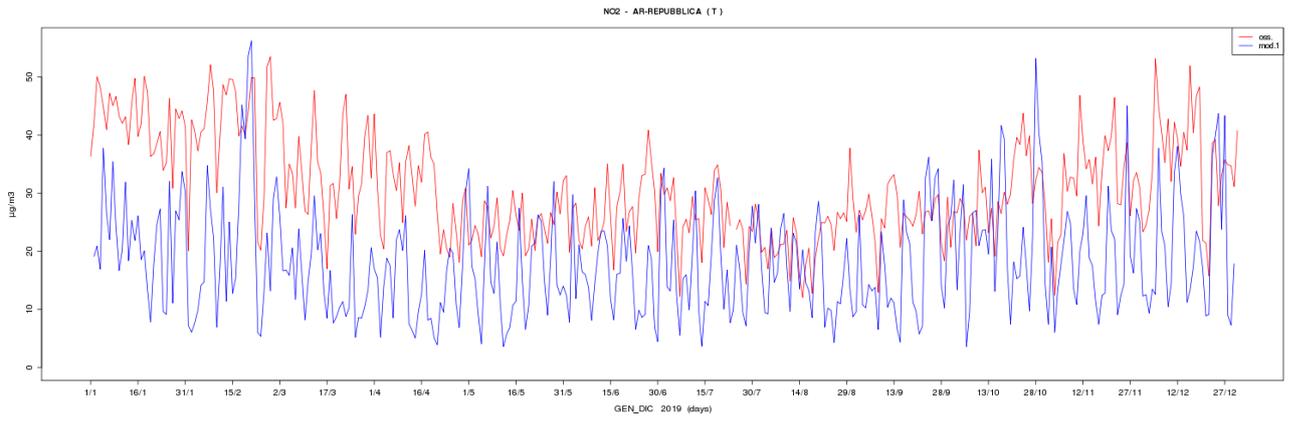
O3nopeak [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] MEDIA 2019

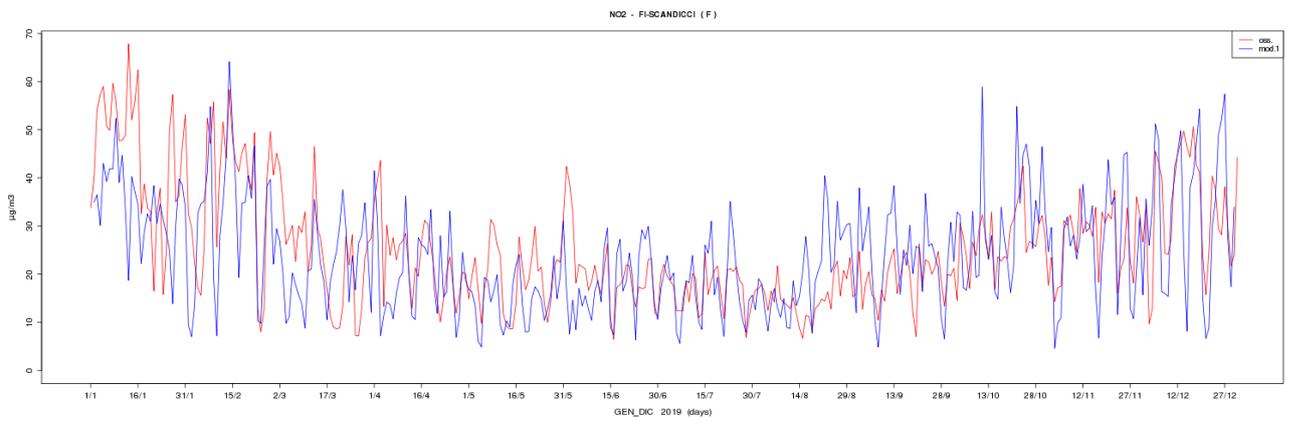
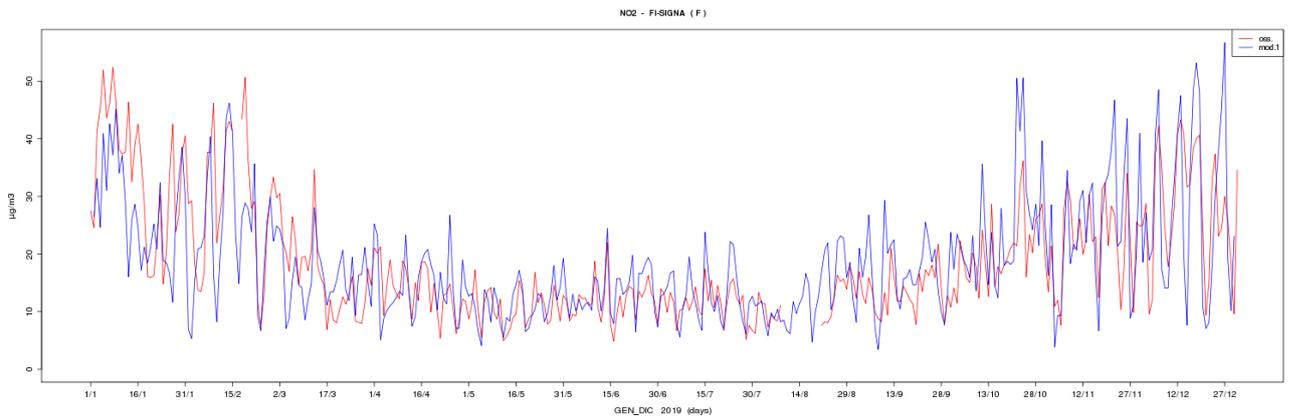
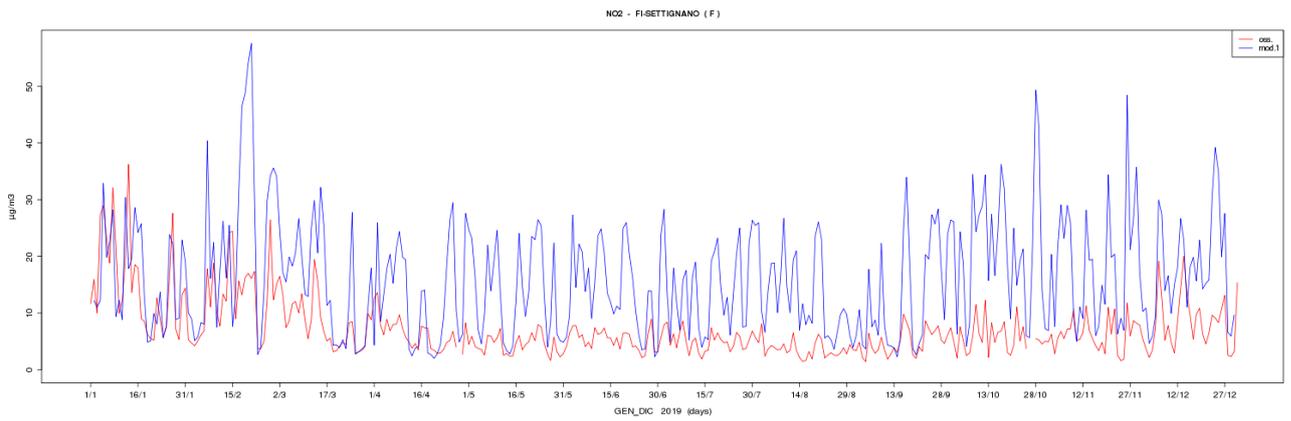
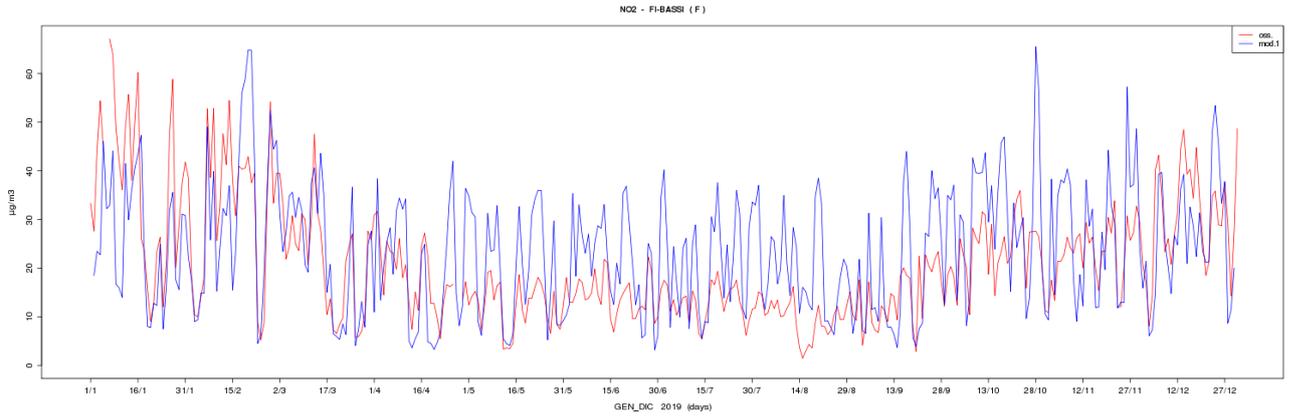


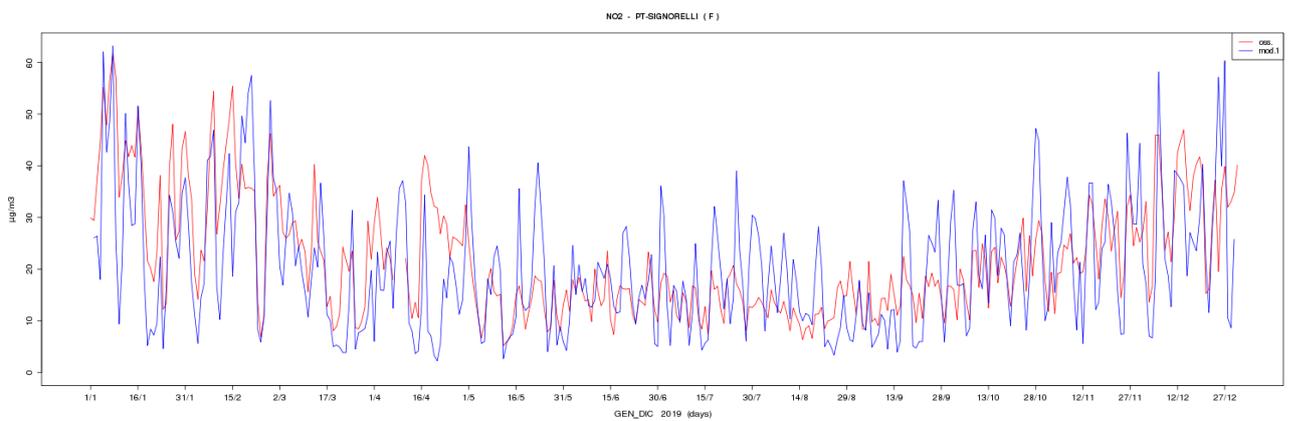
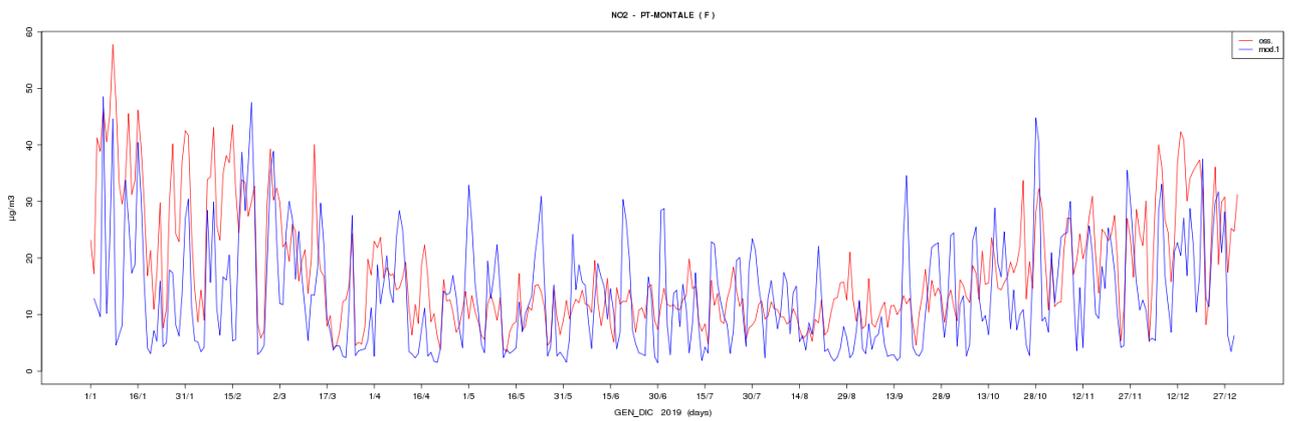
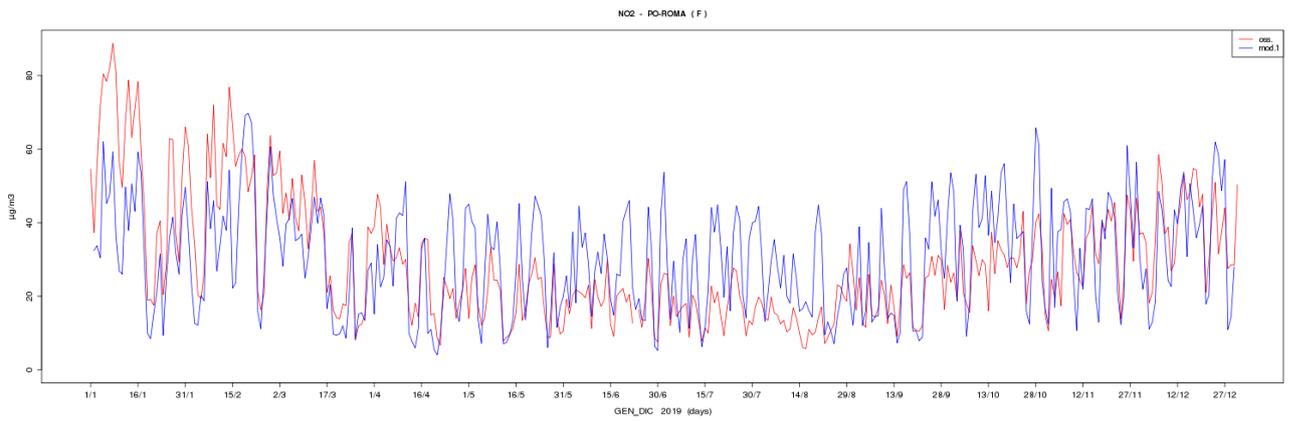
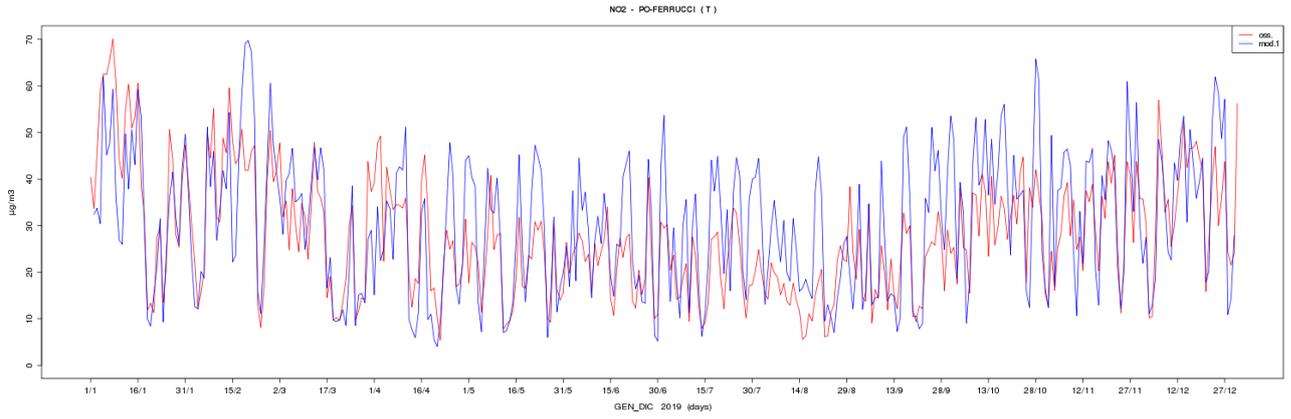
Serie storiche 2019

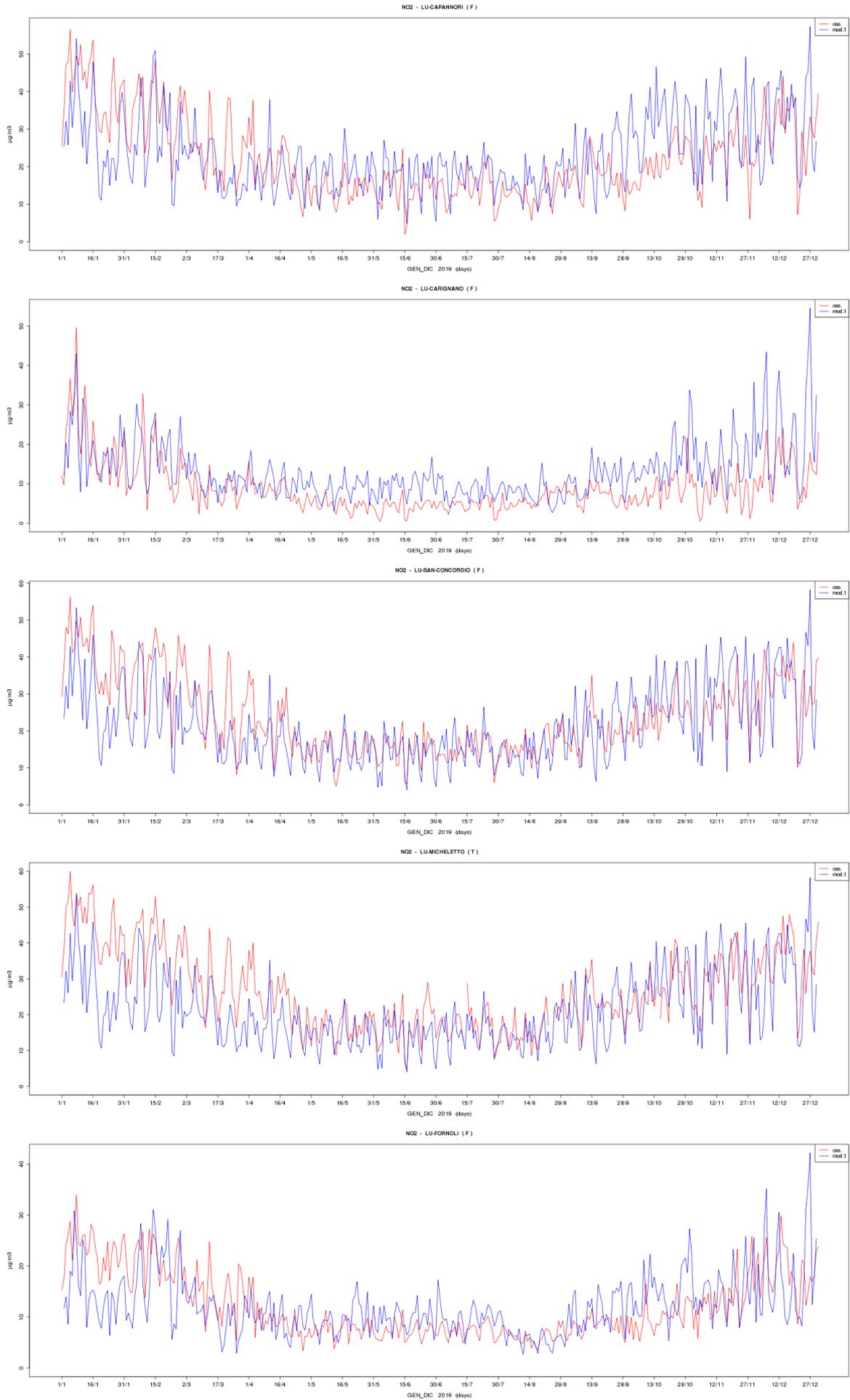
NO2

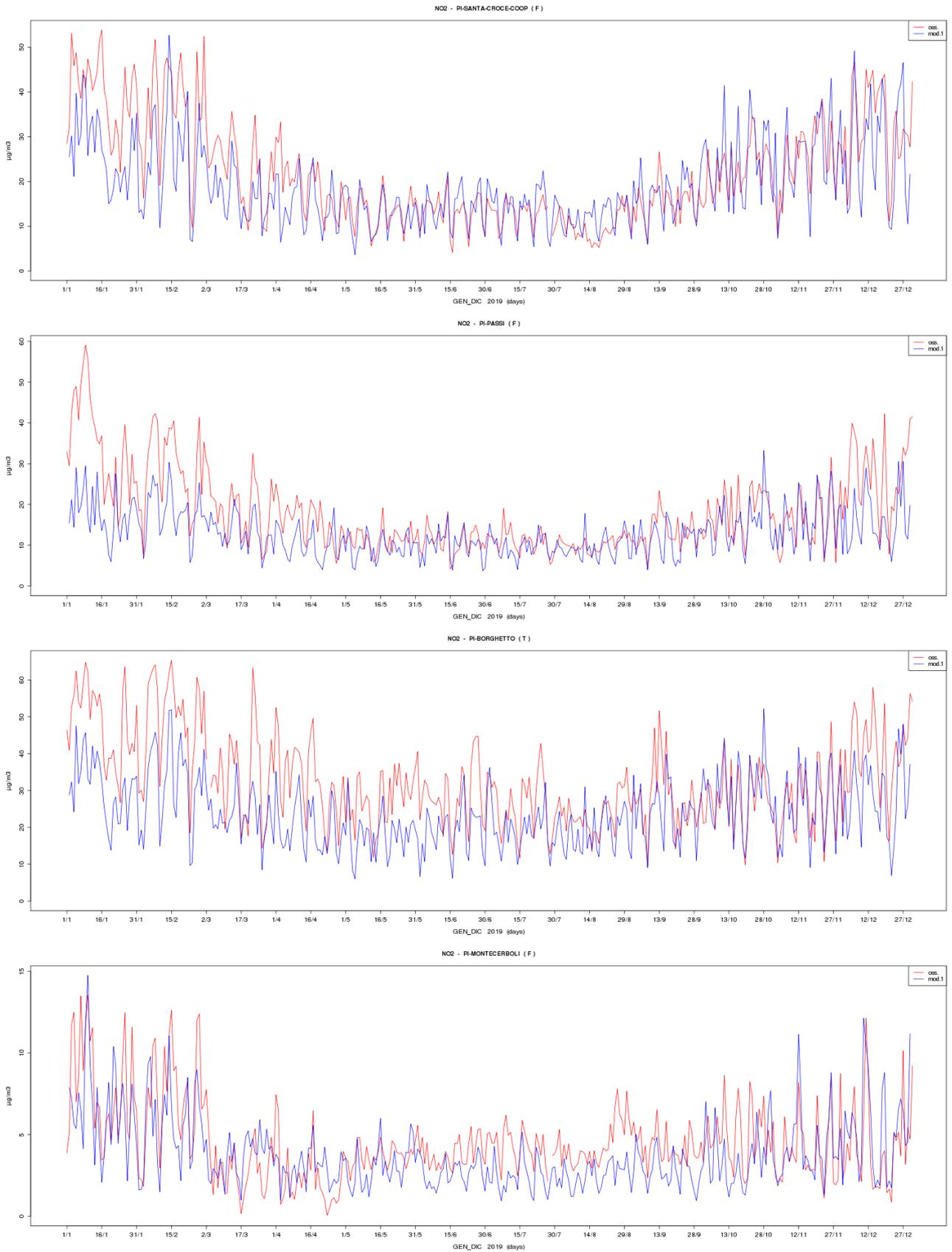


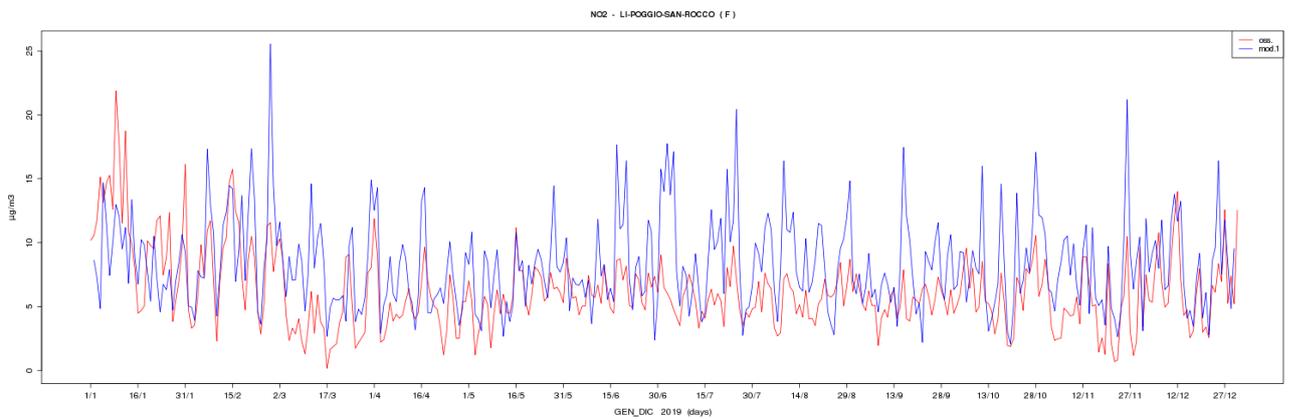
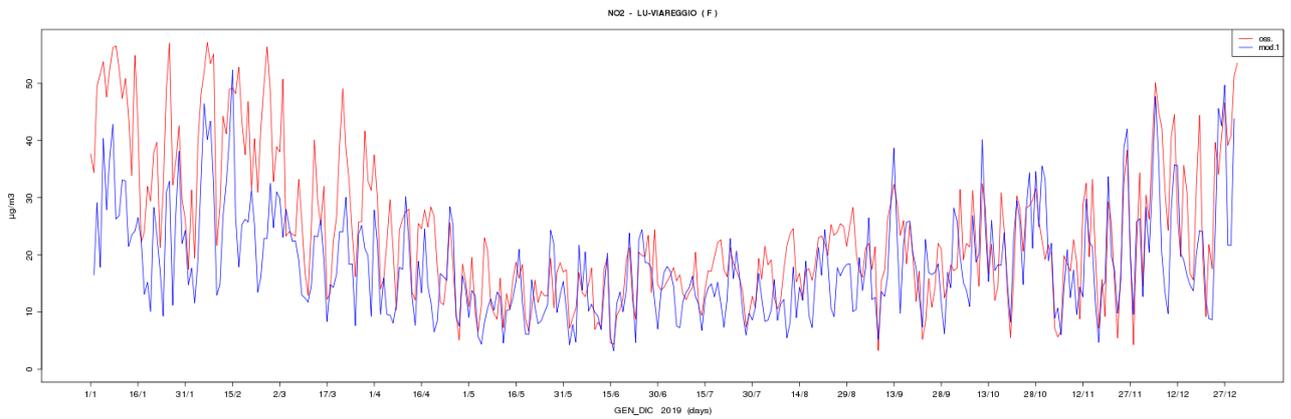
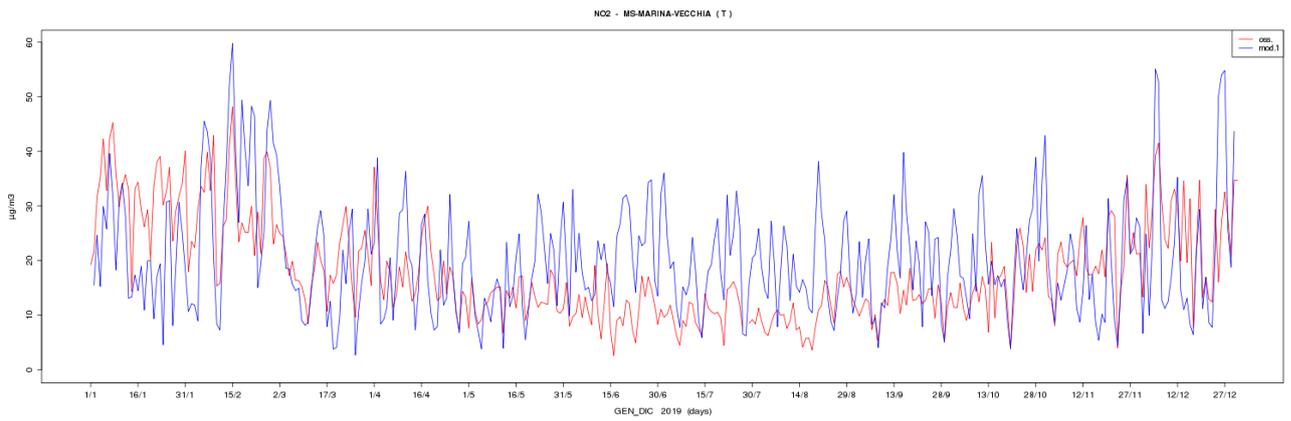
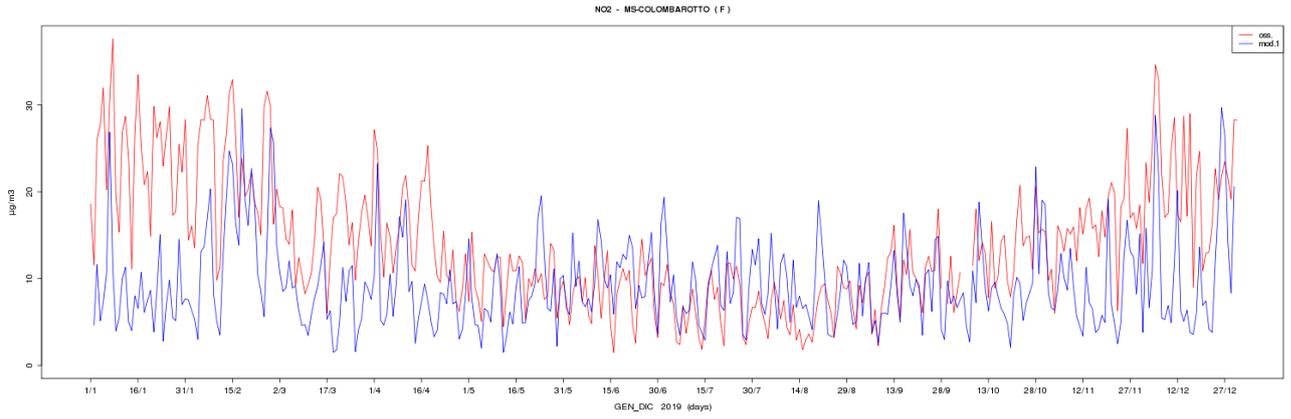








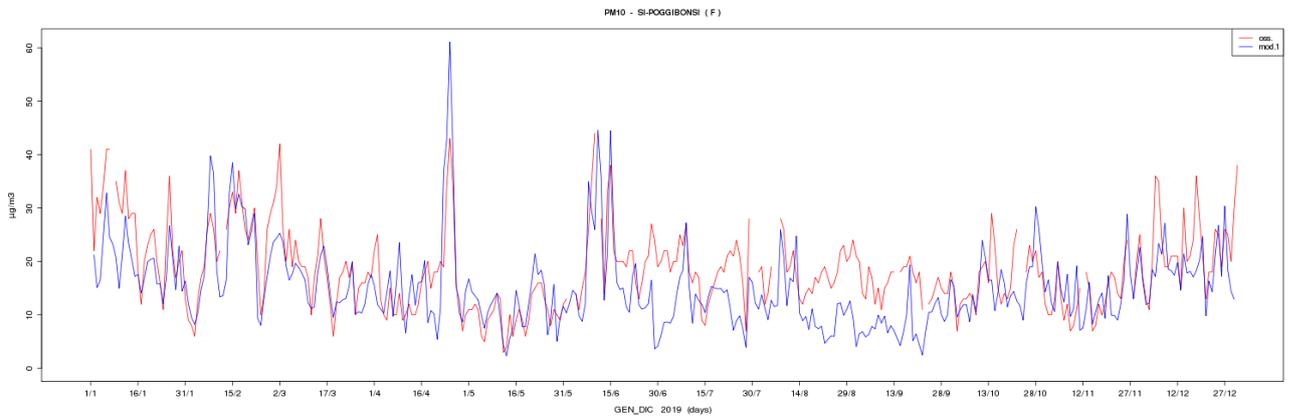
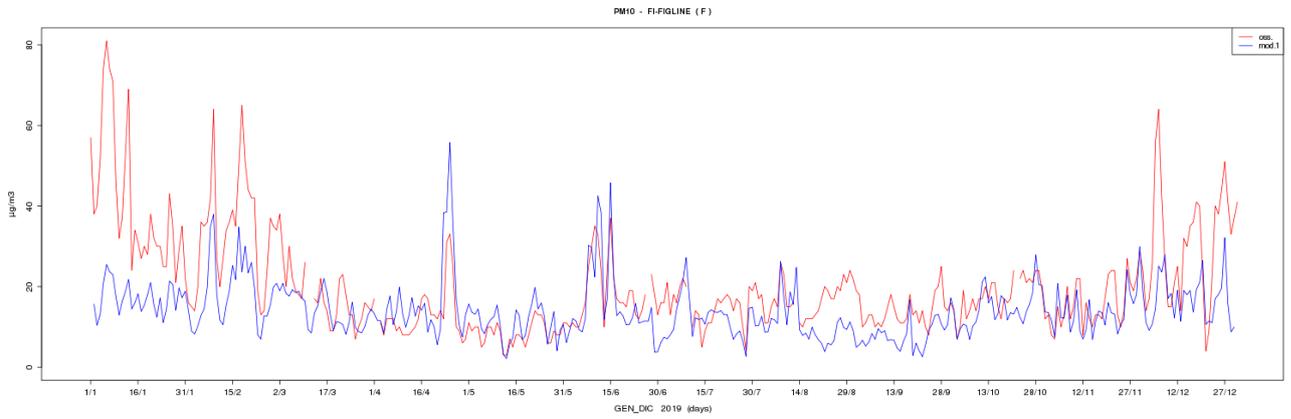
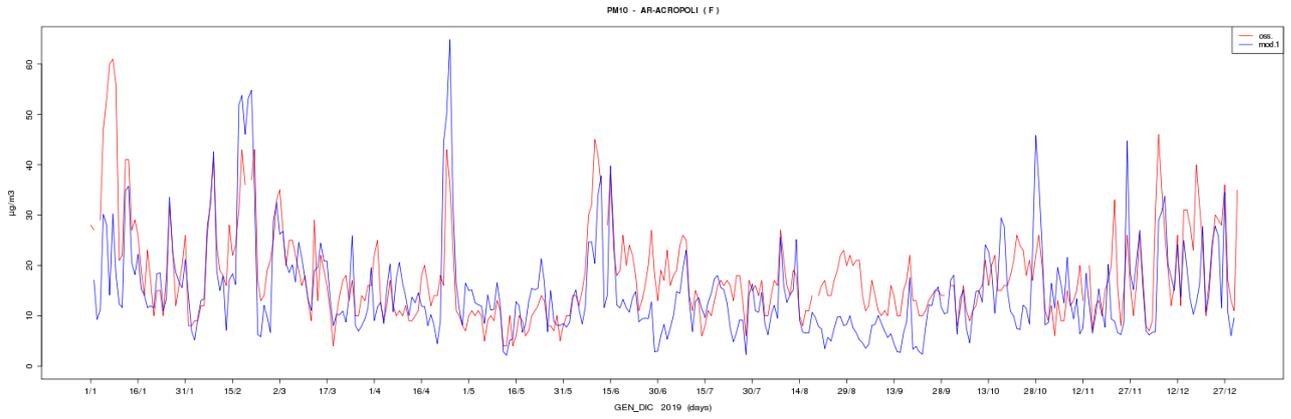
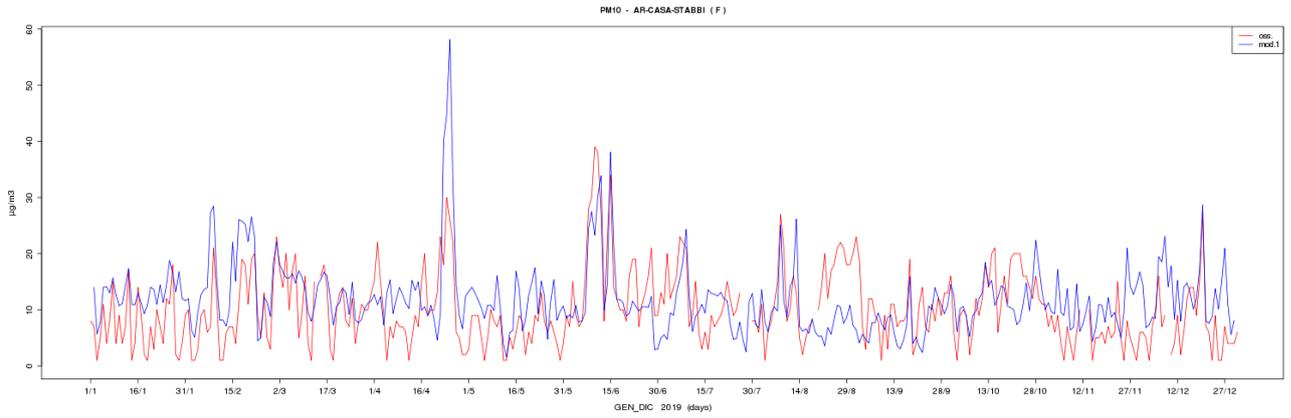


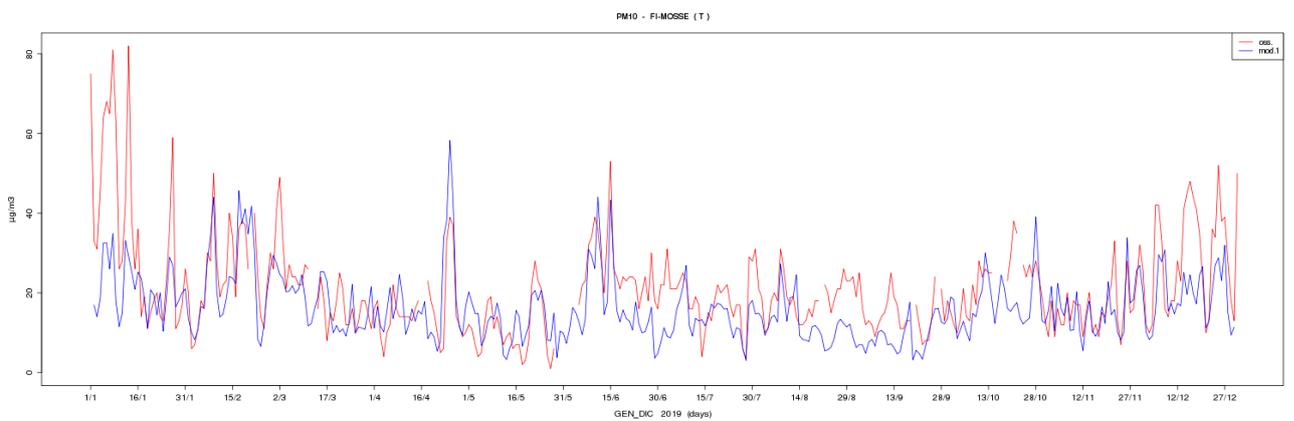
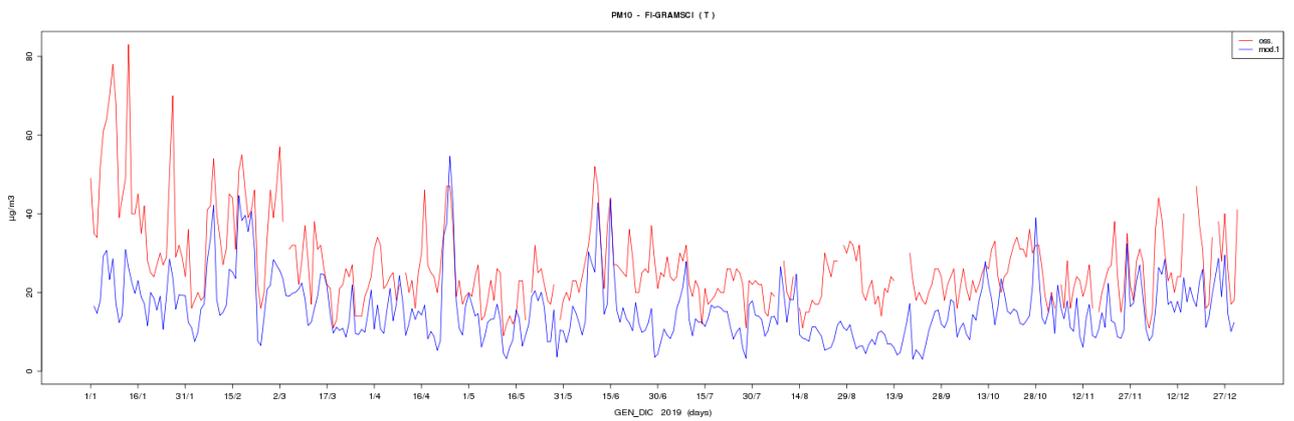
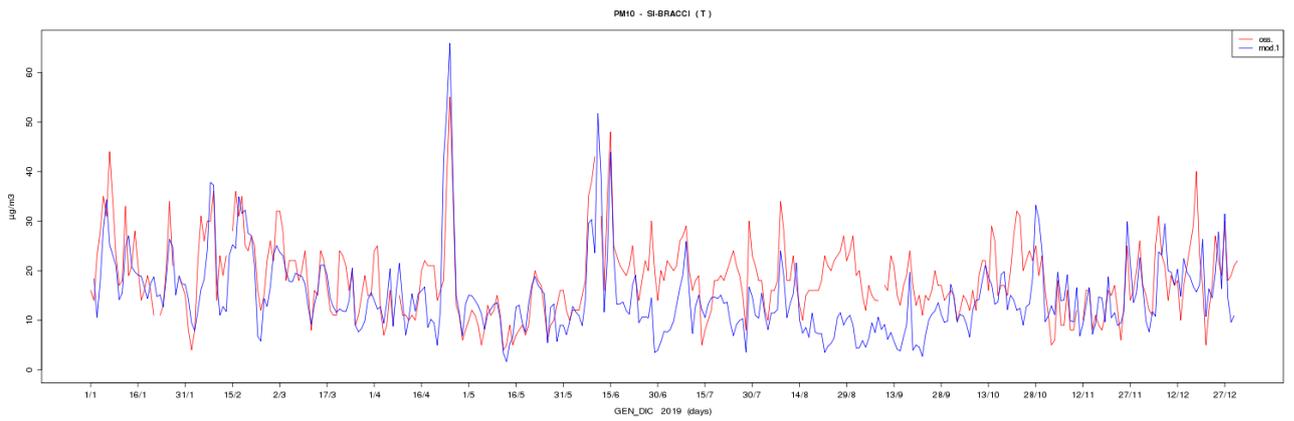
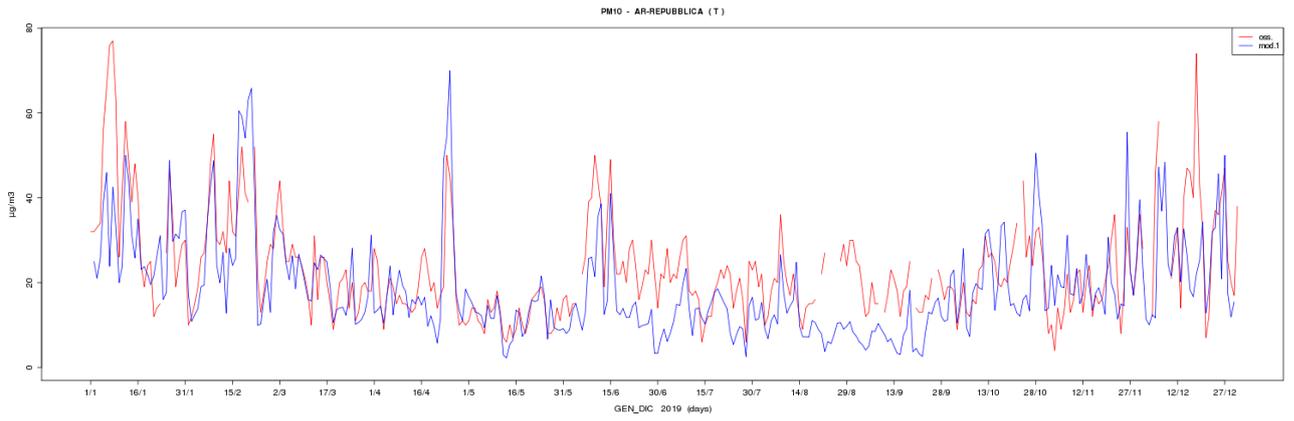


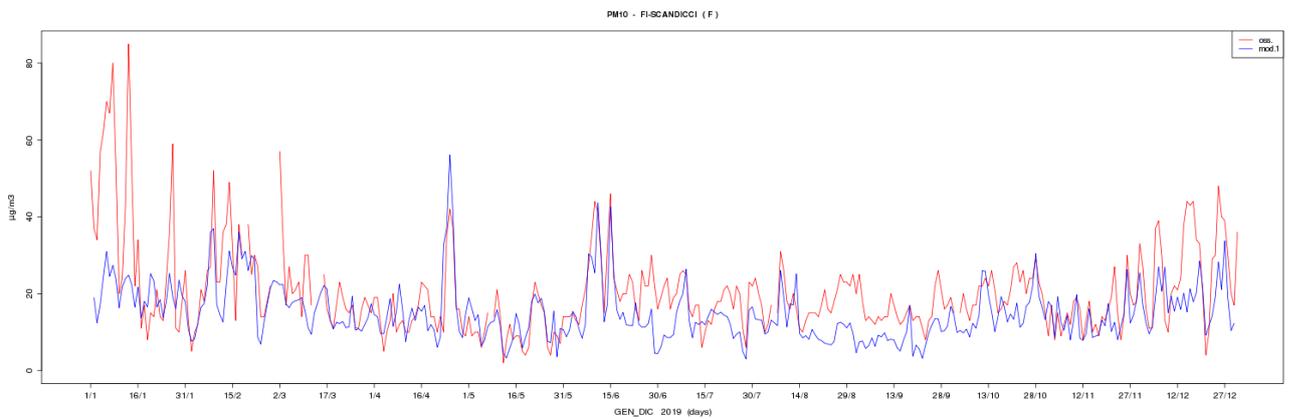
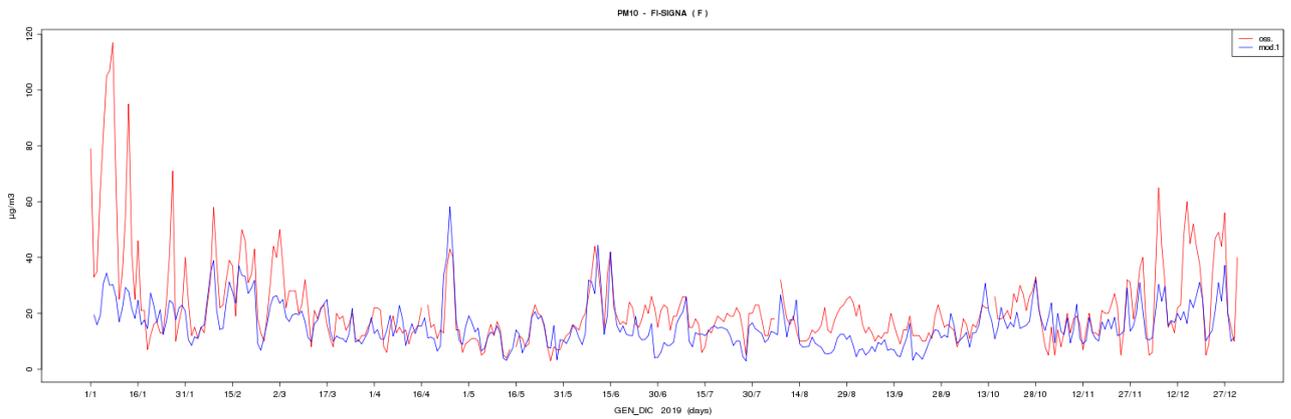
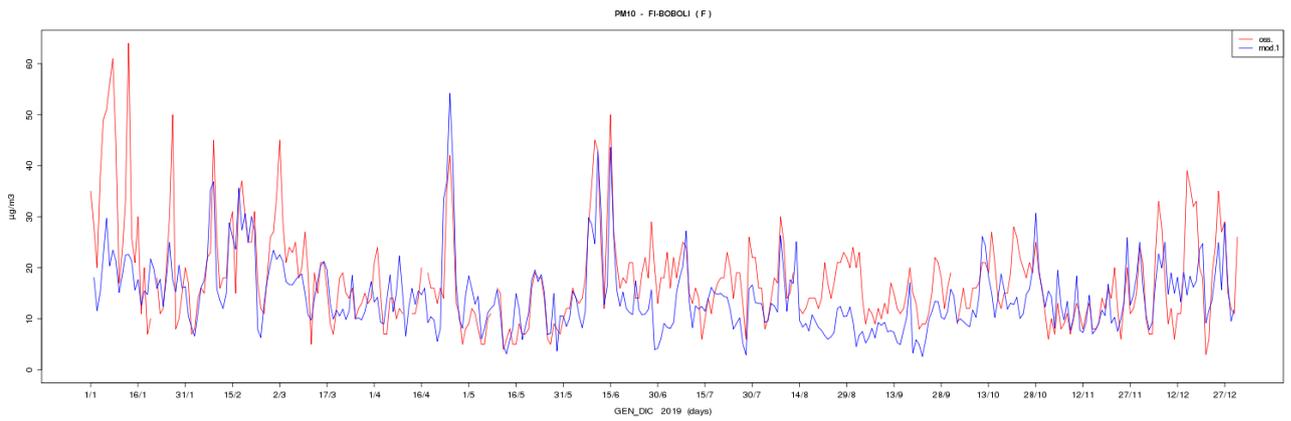
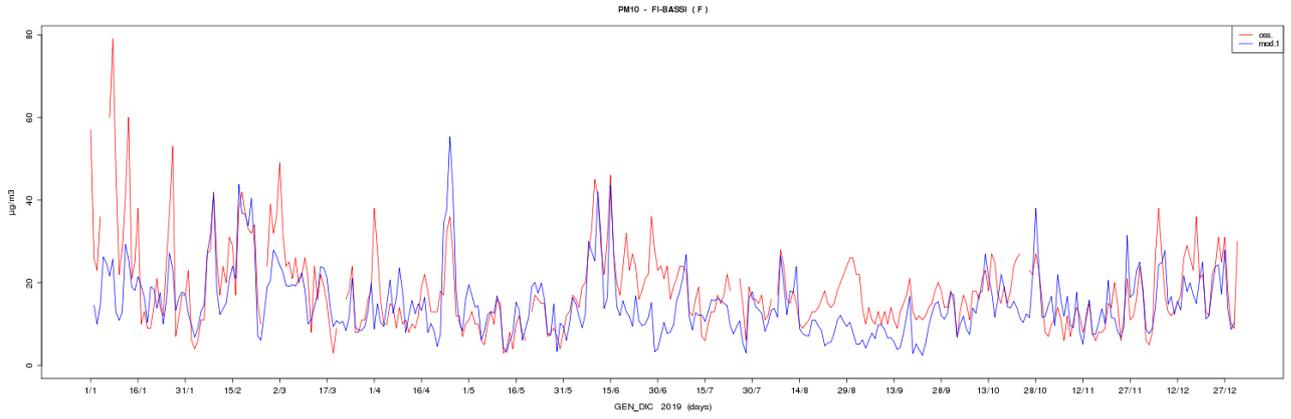


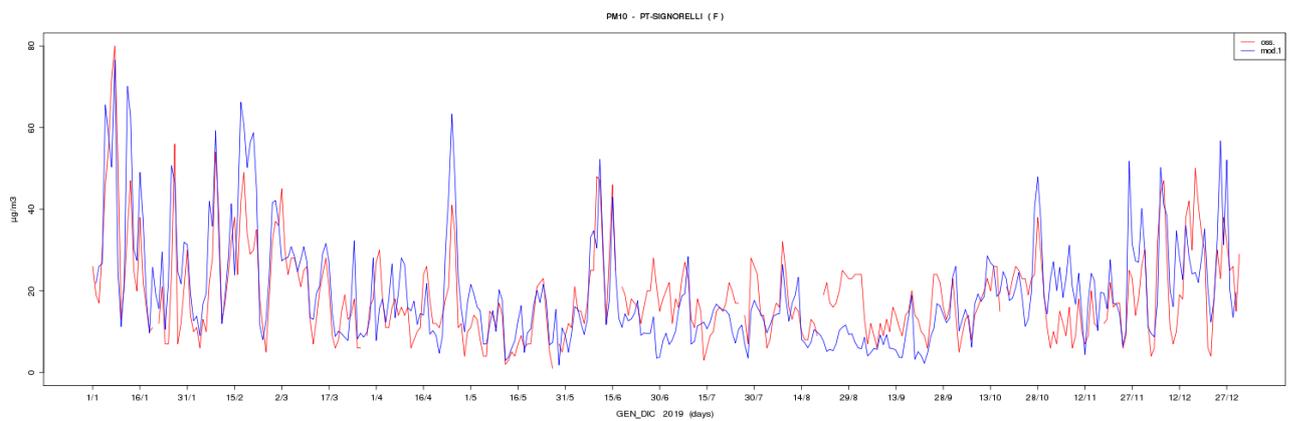
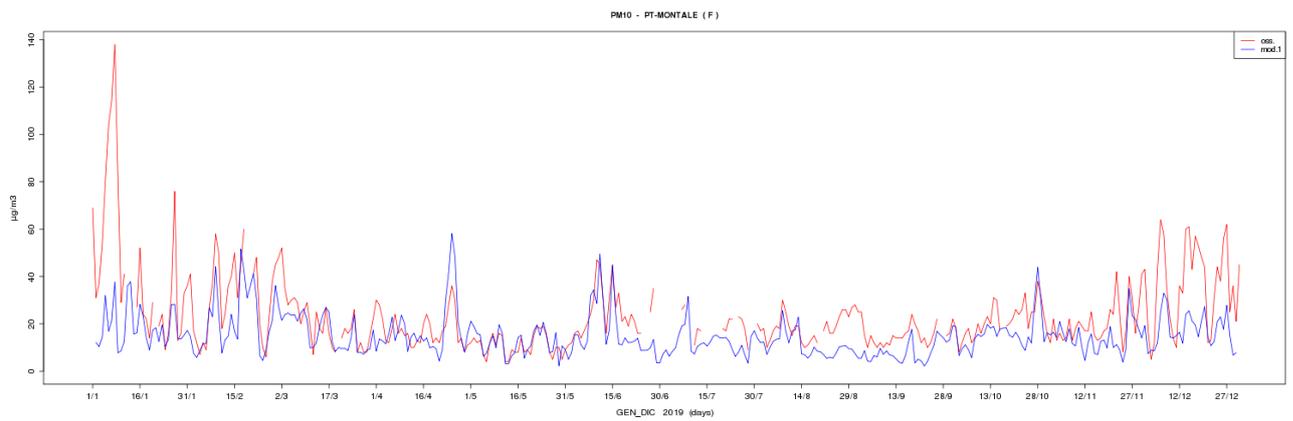
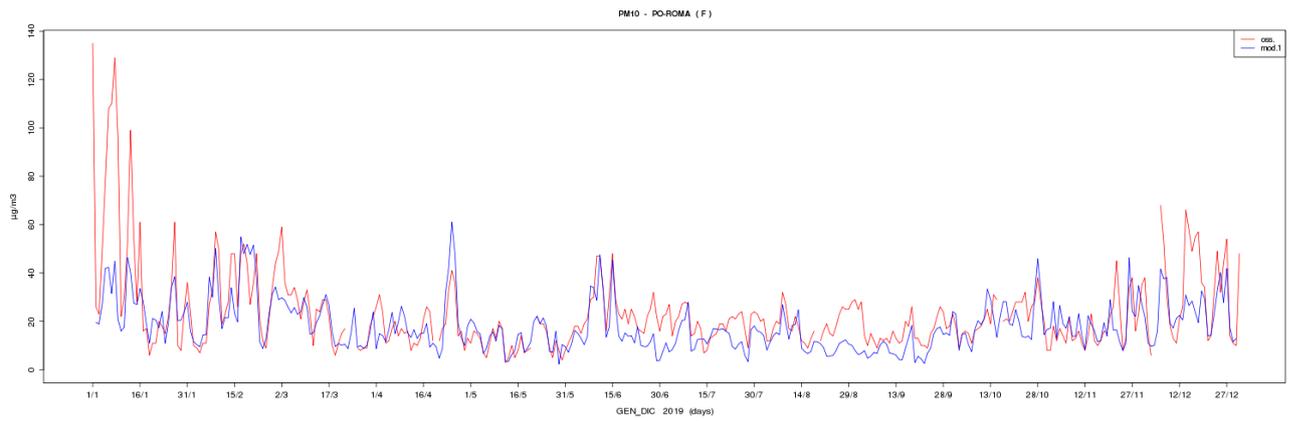
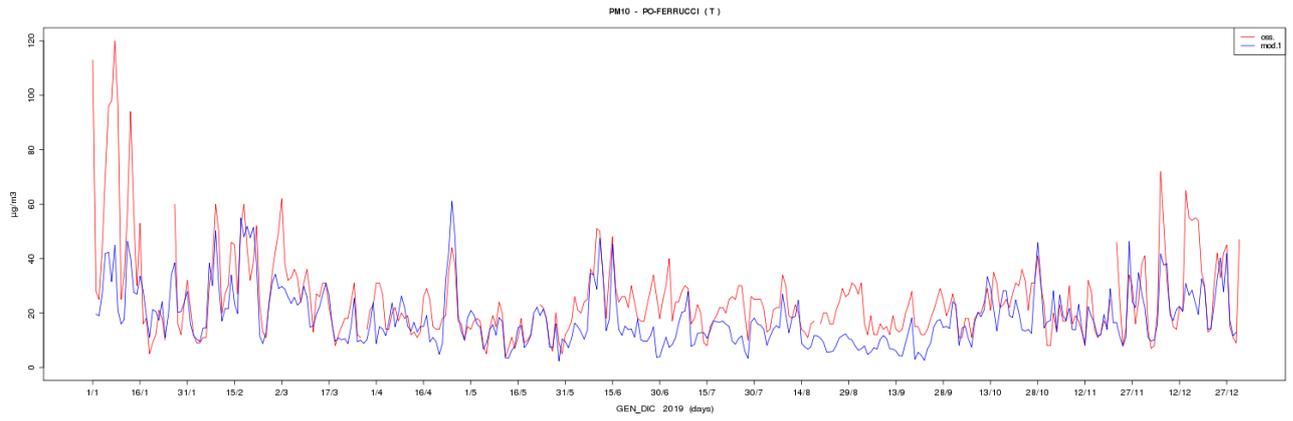


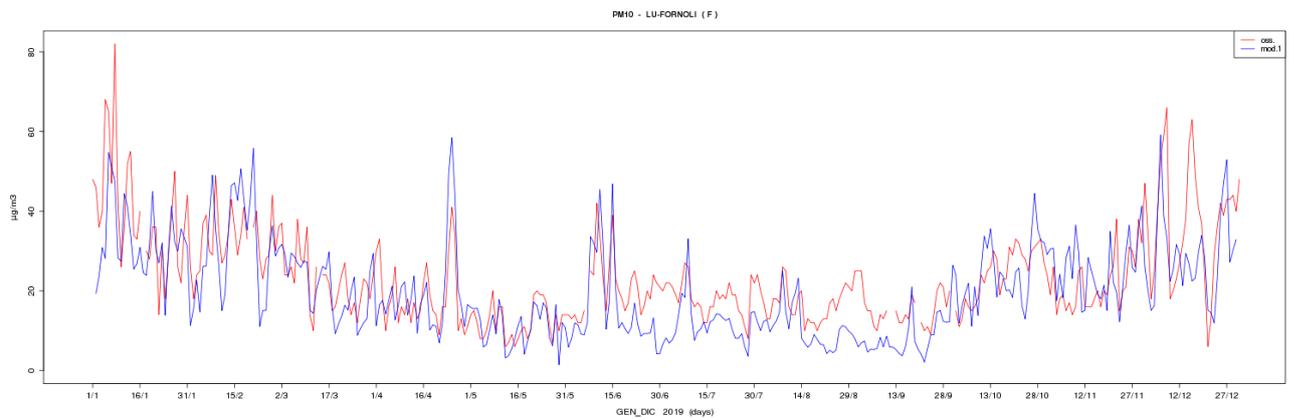
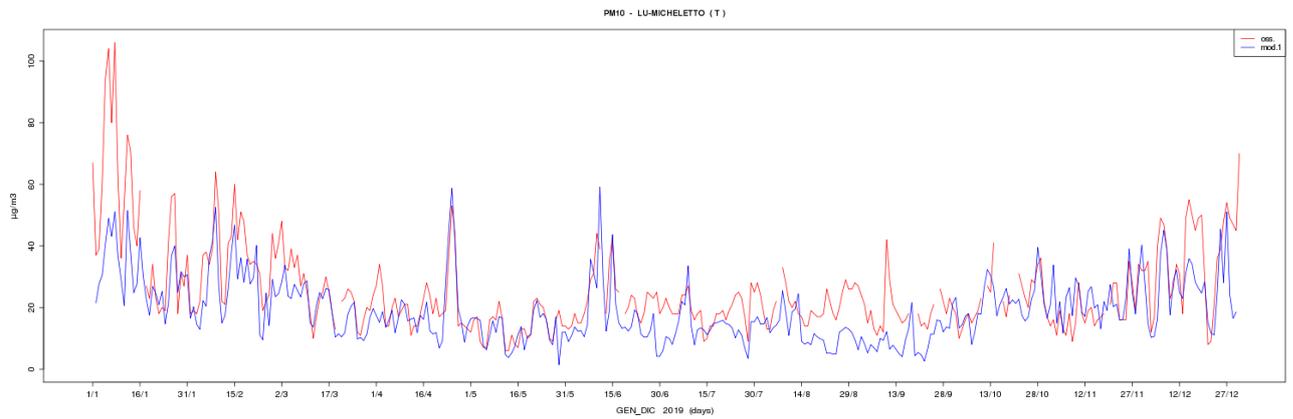
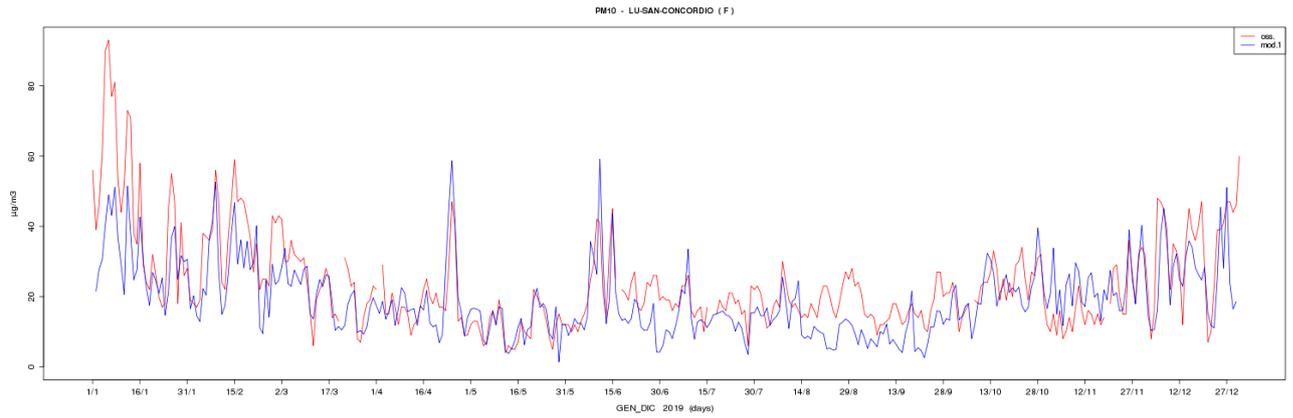
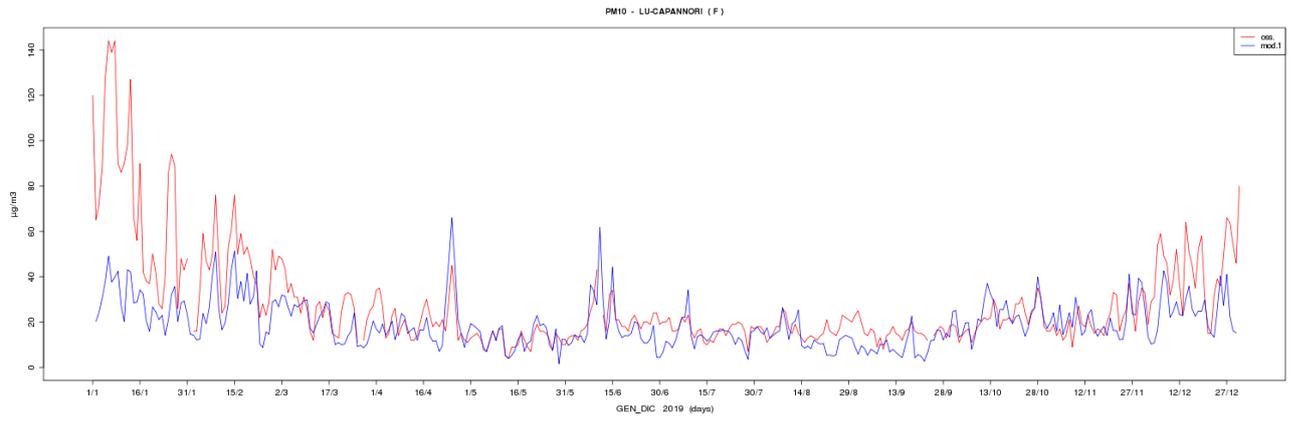
PM10



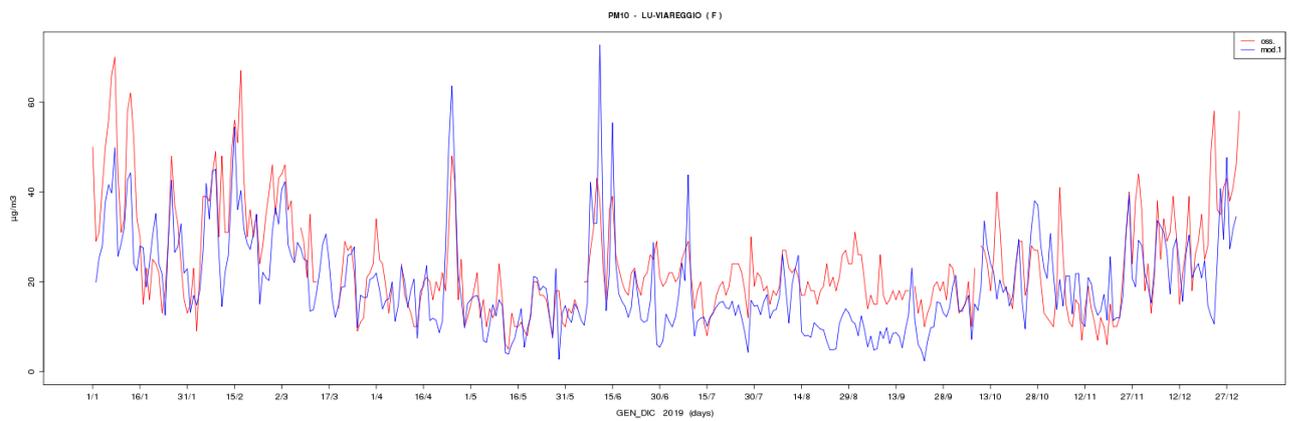
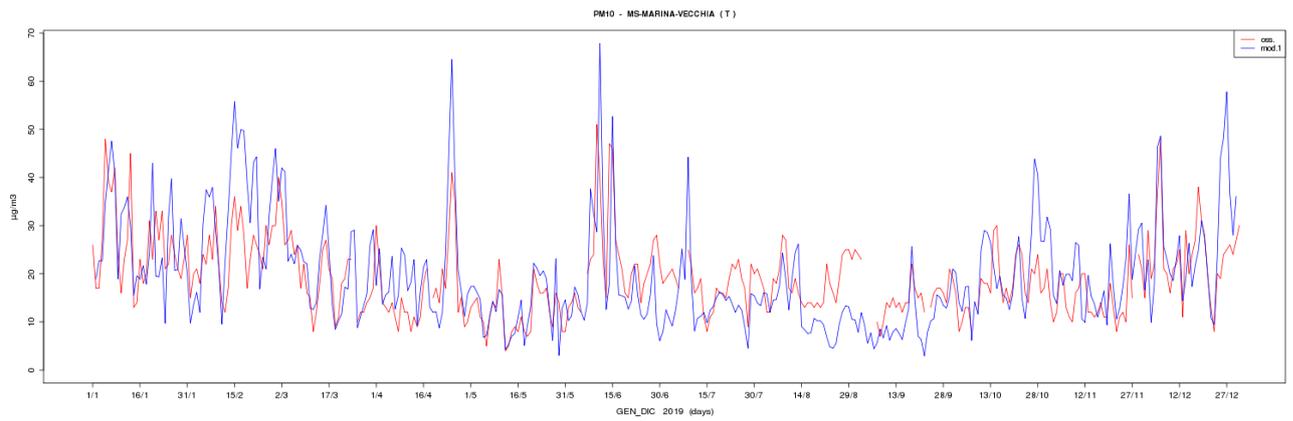
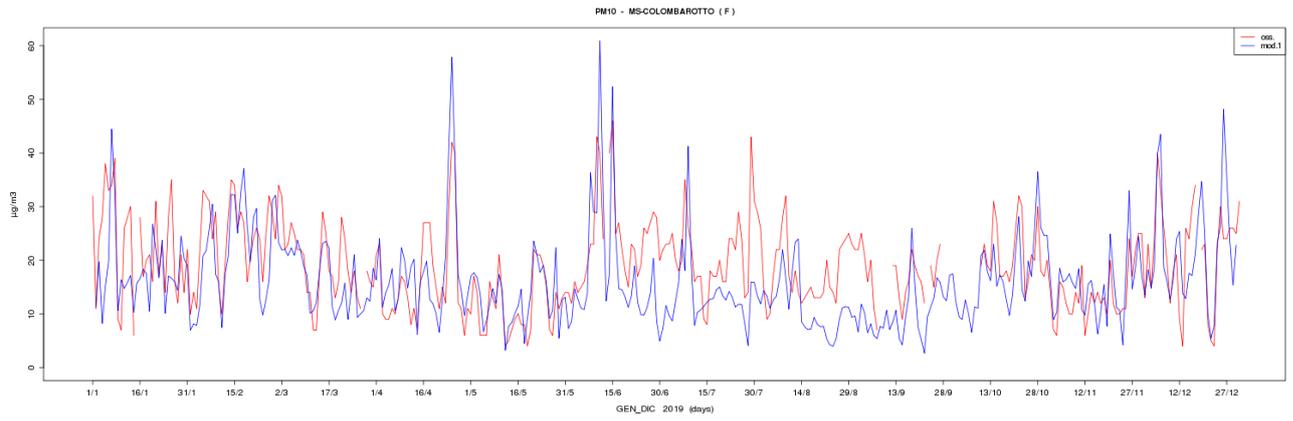


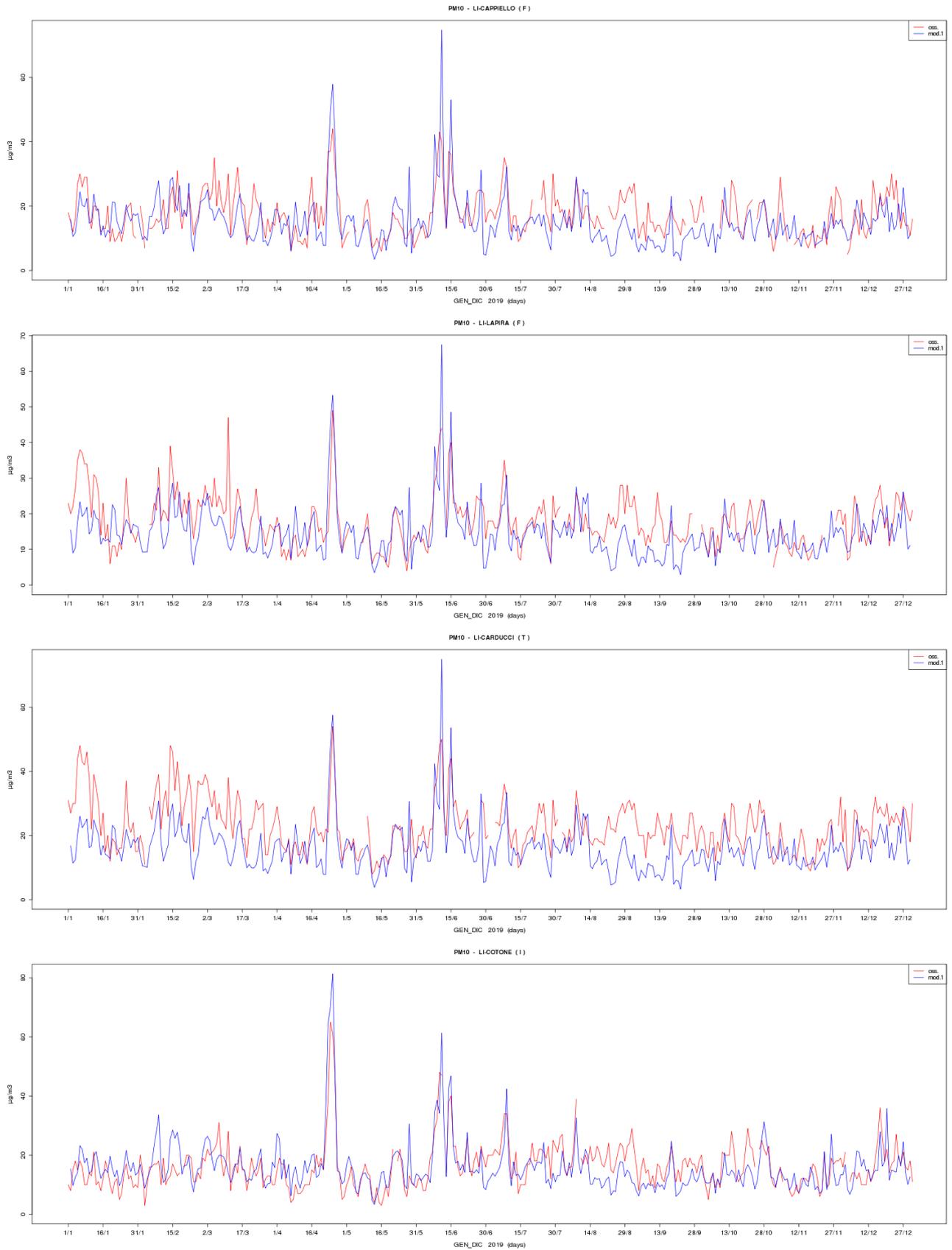


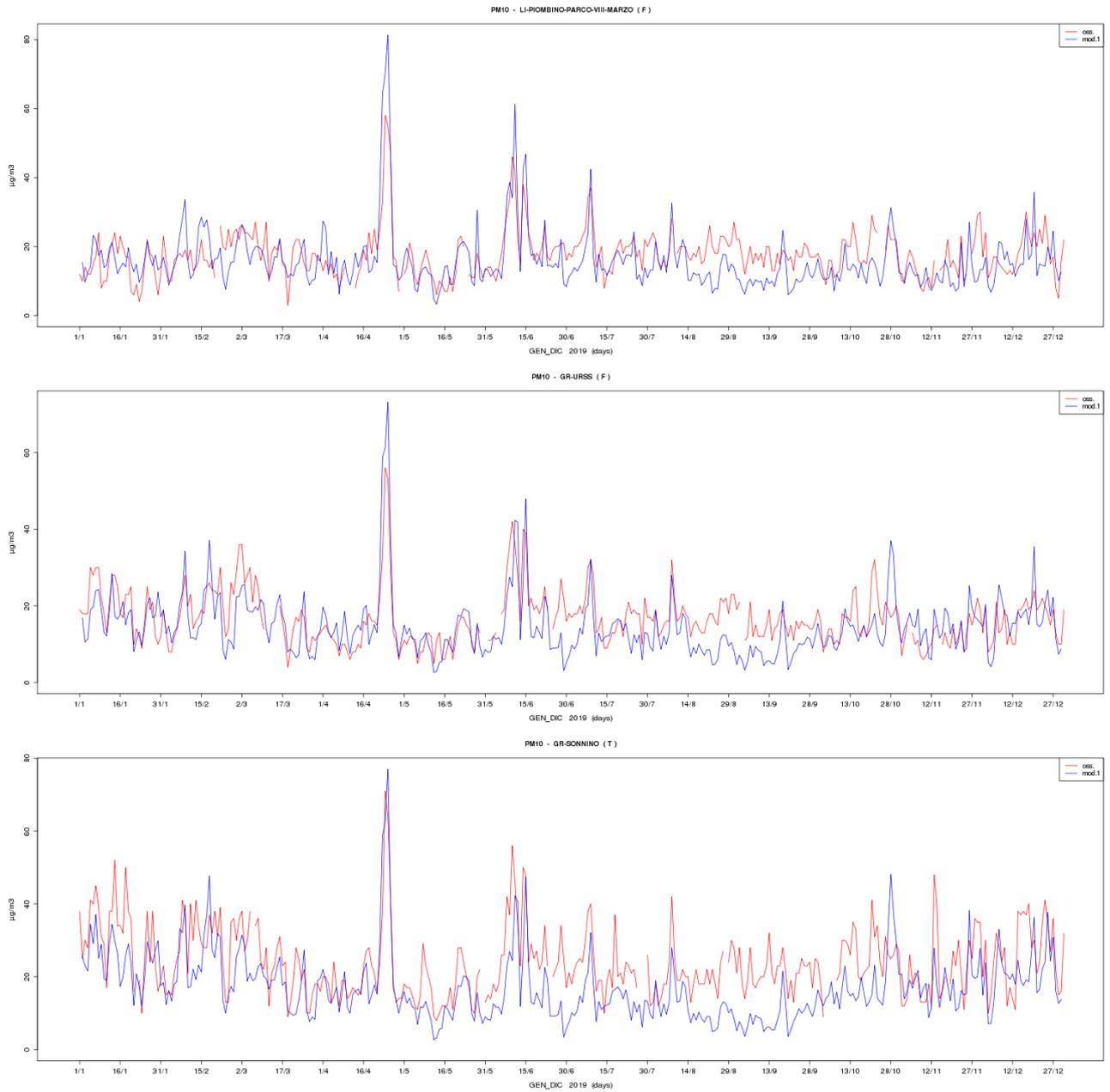




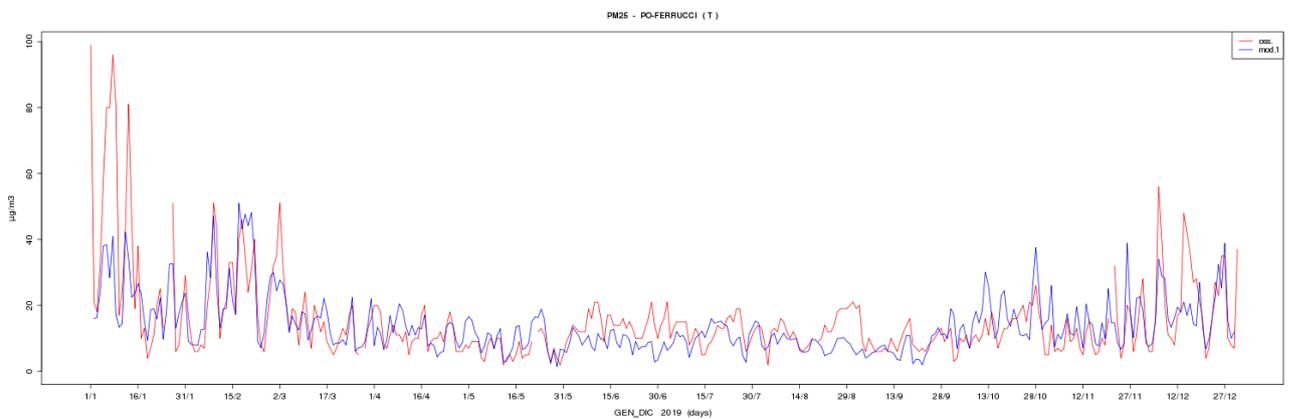
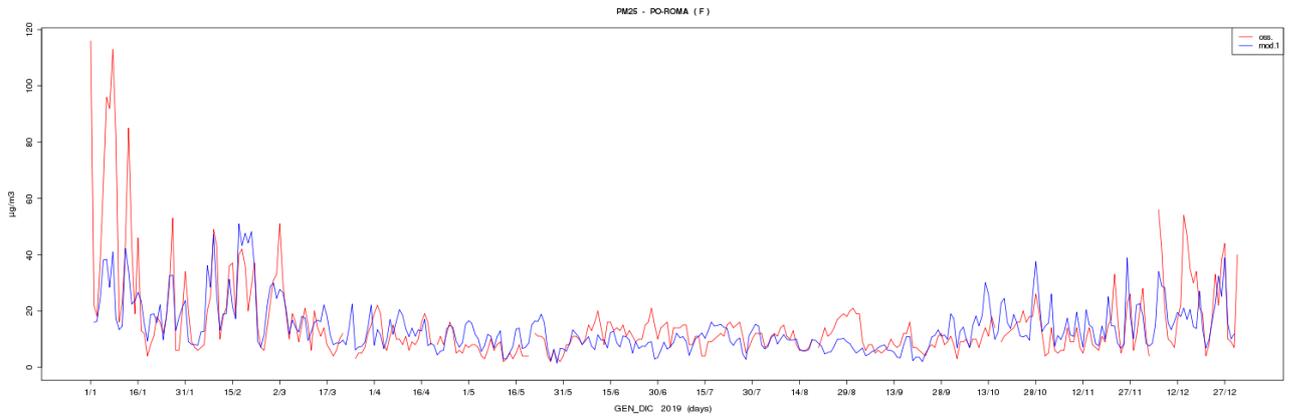
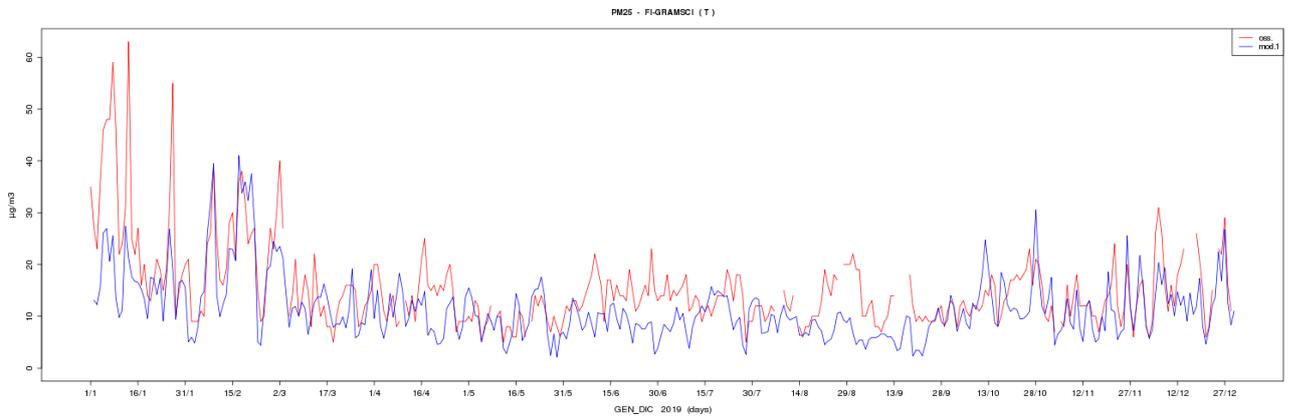
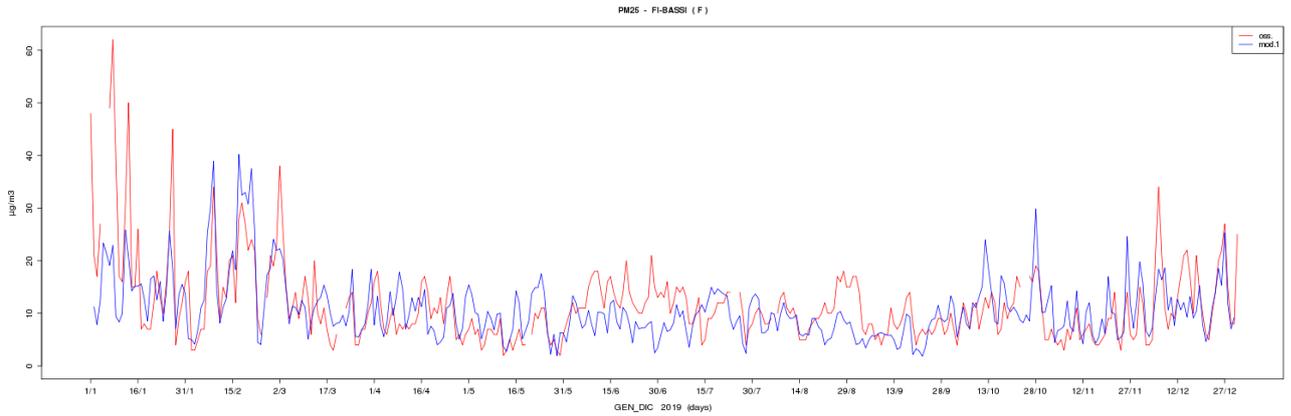


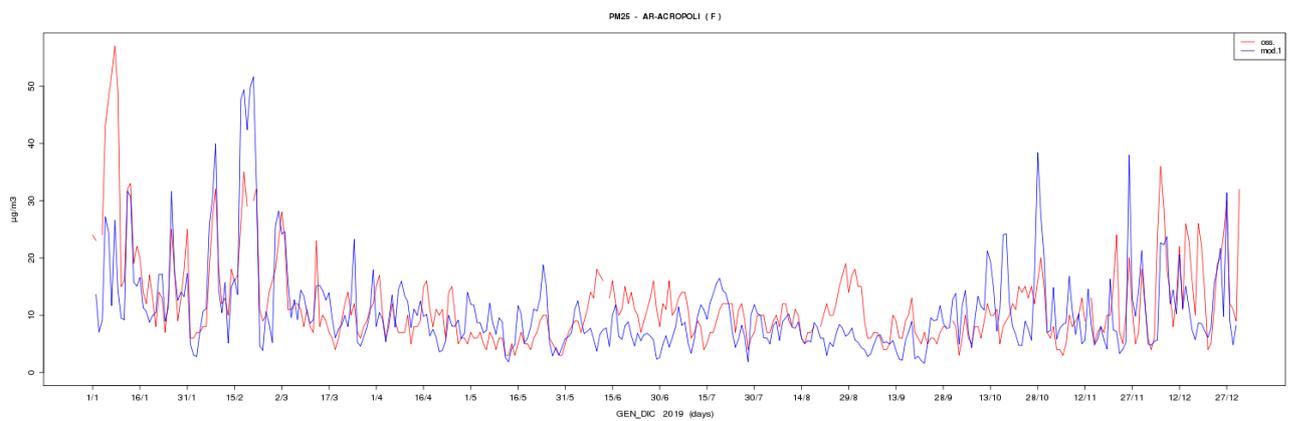
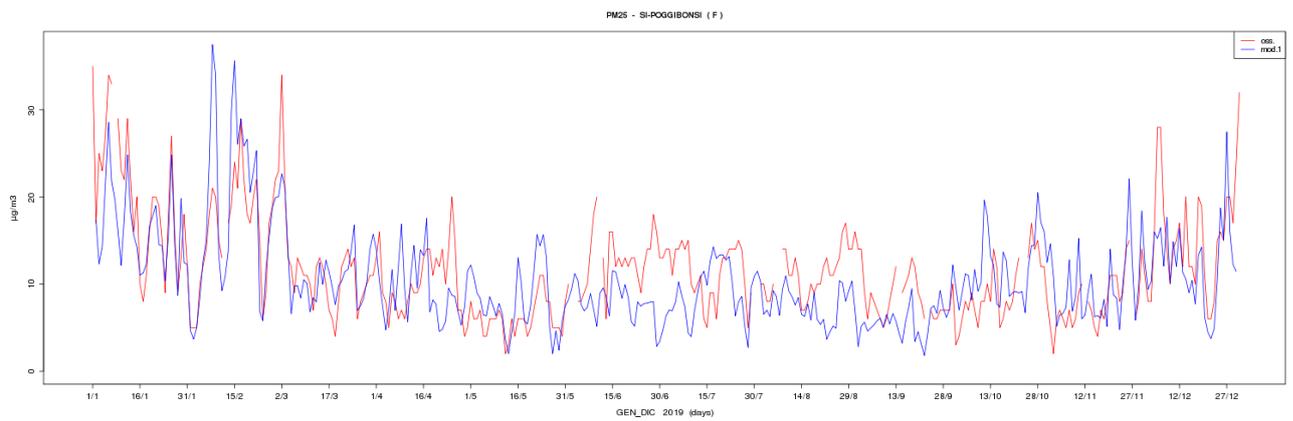
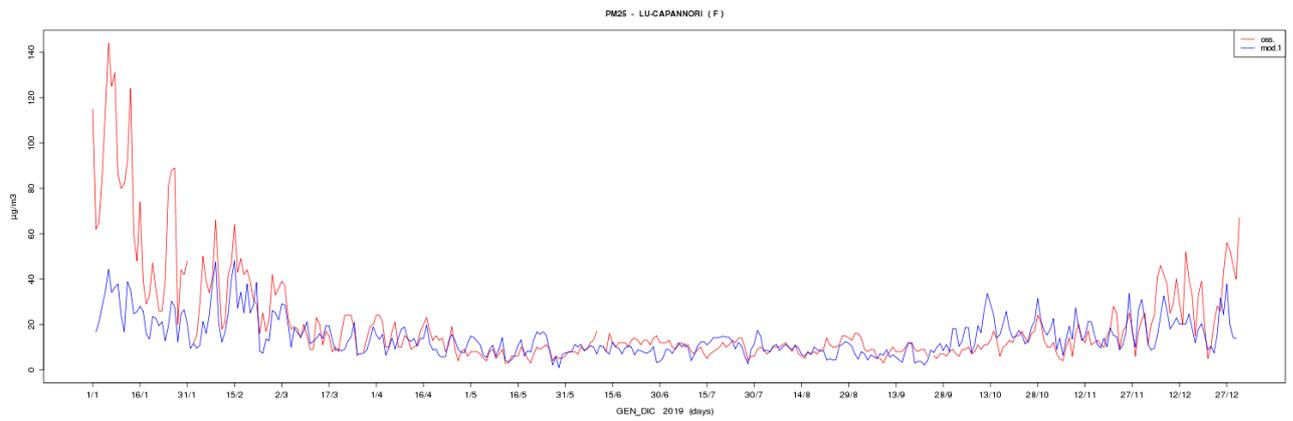
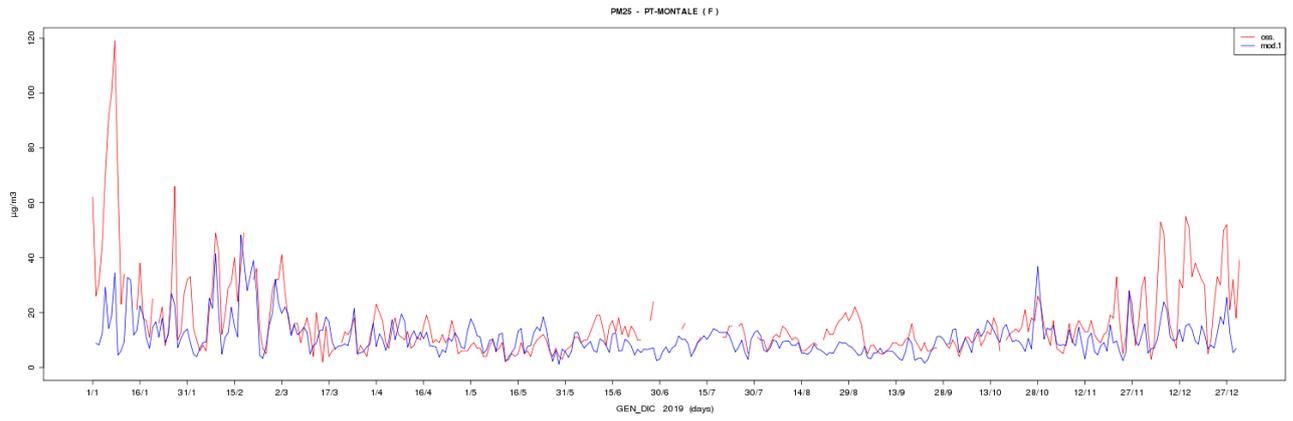


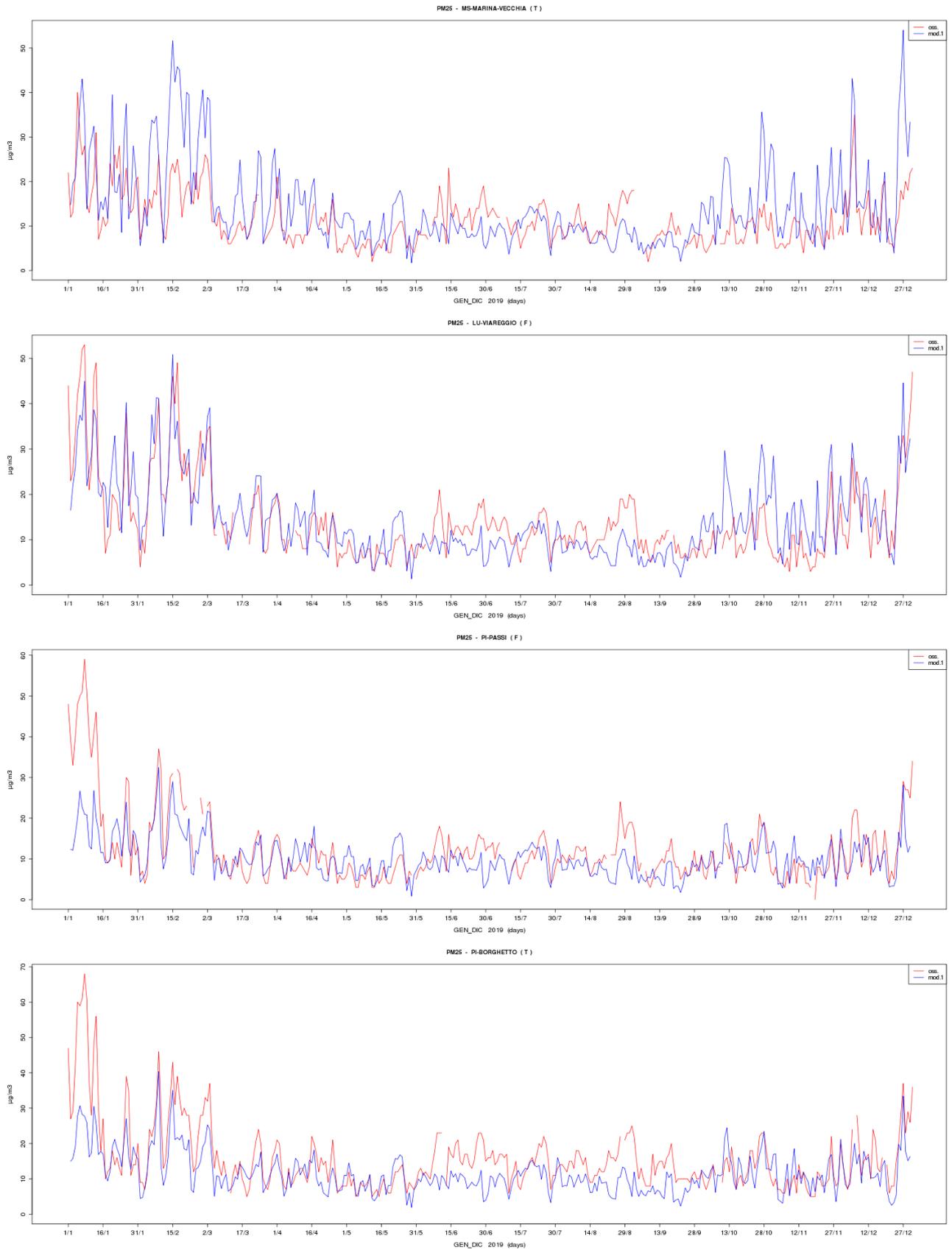


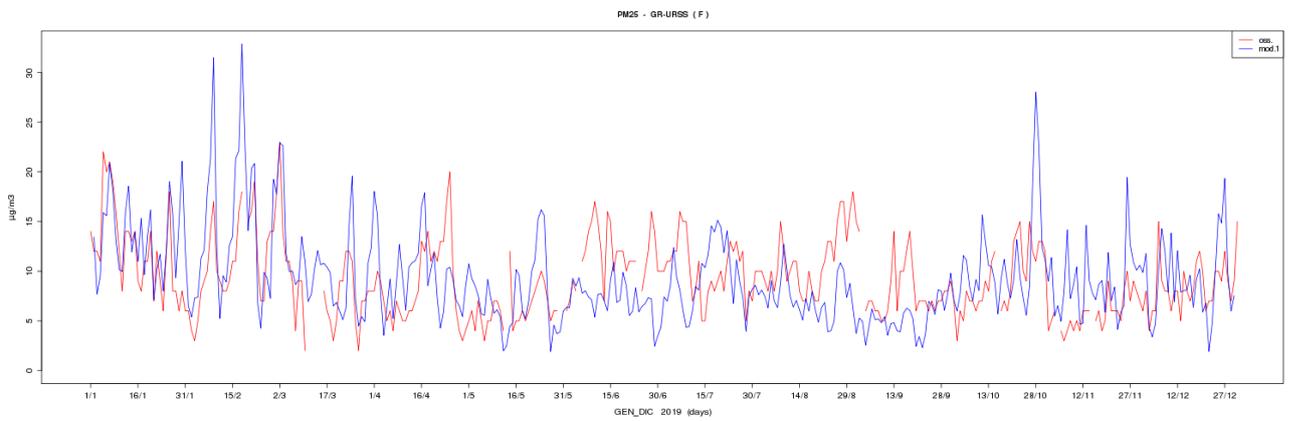
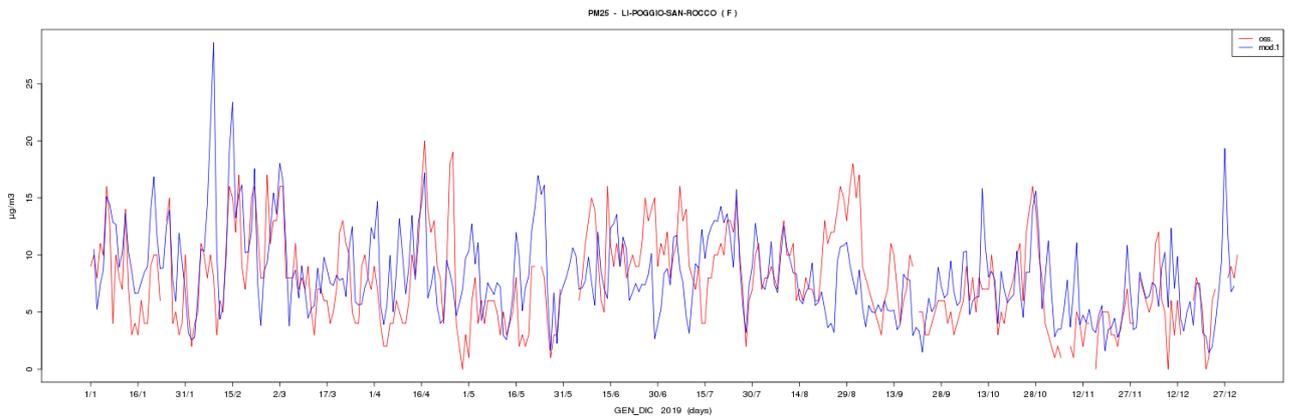
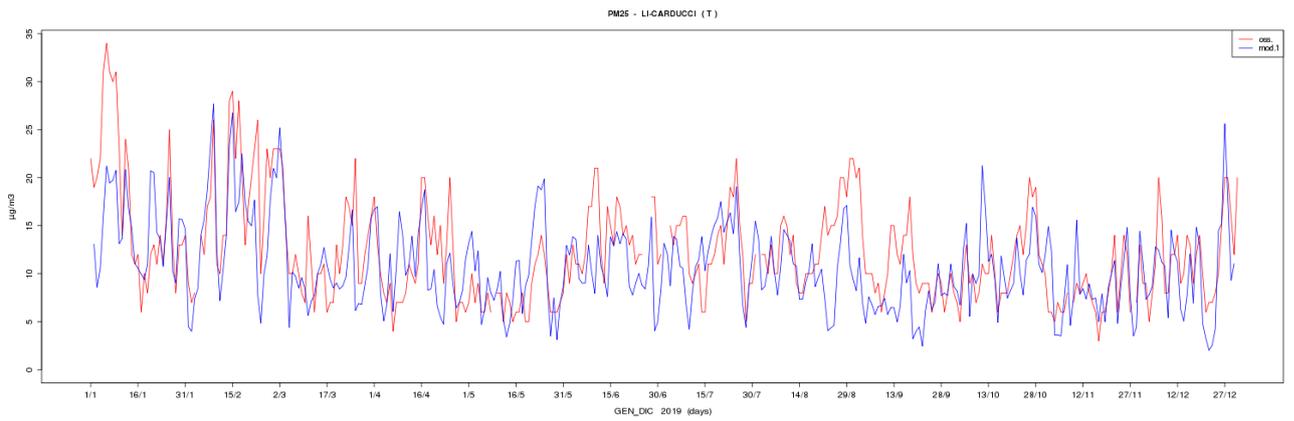
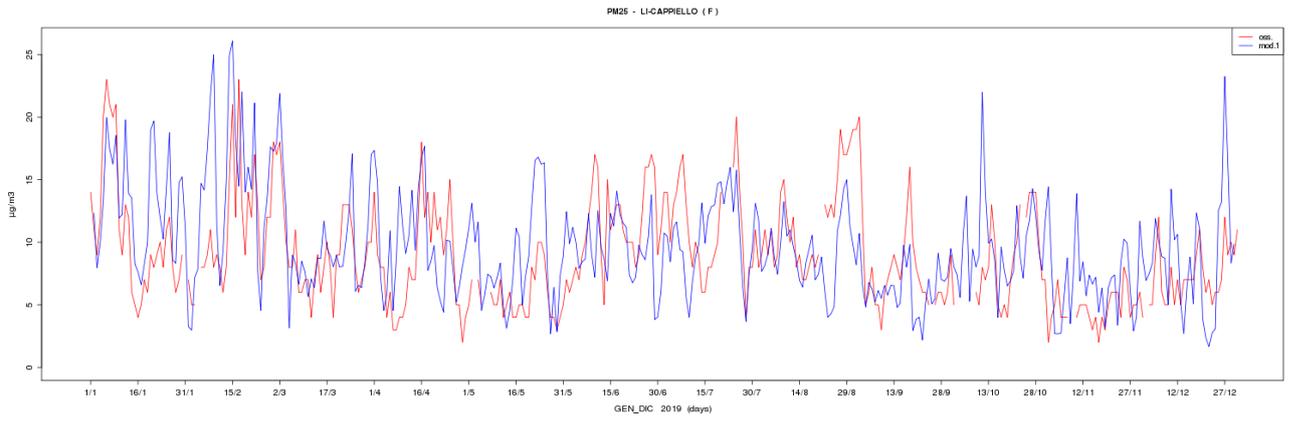


PM2.5

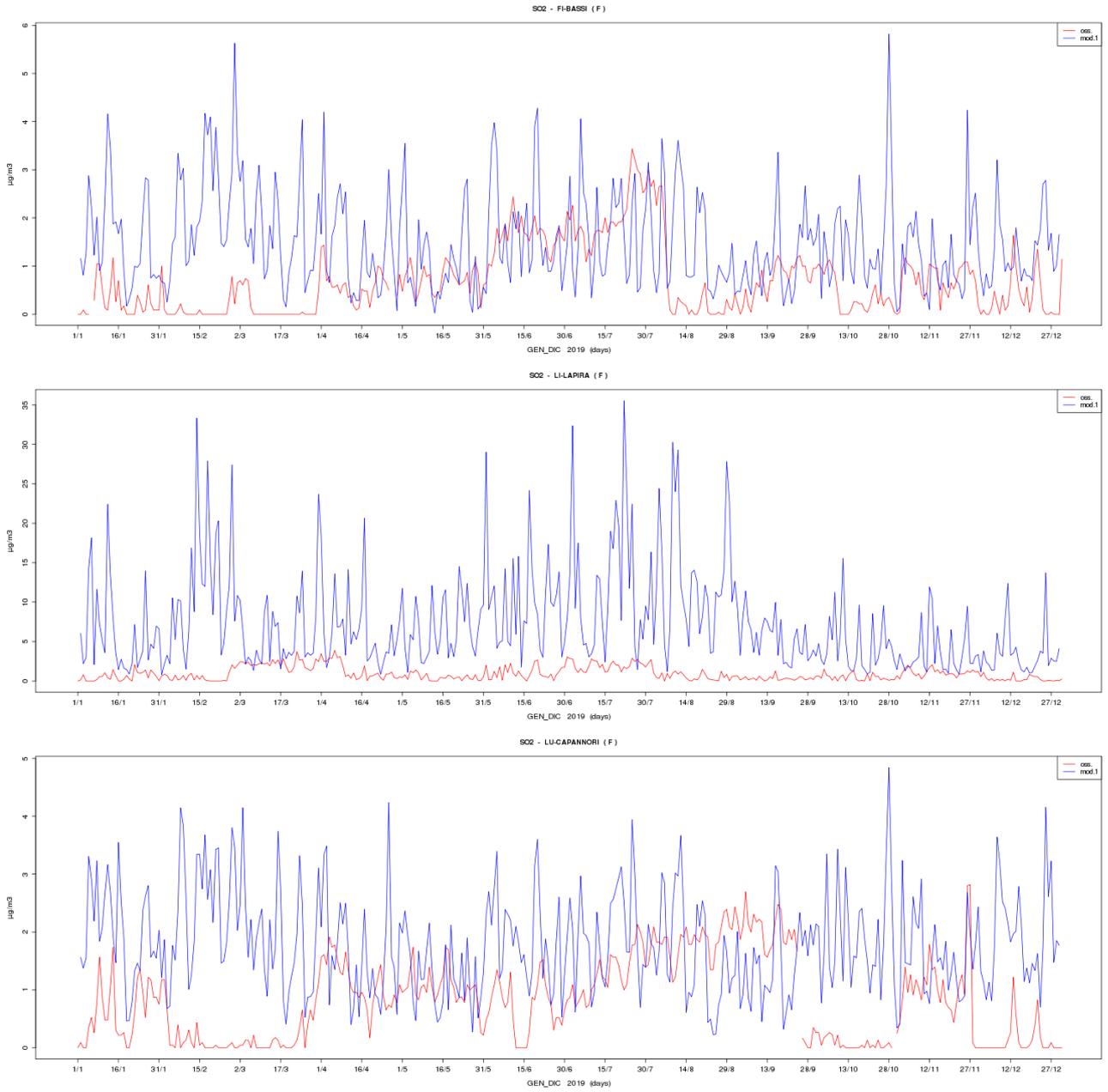




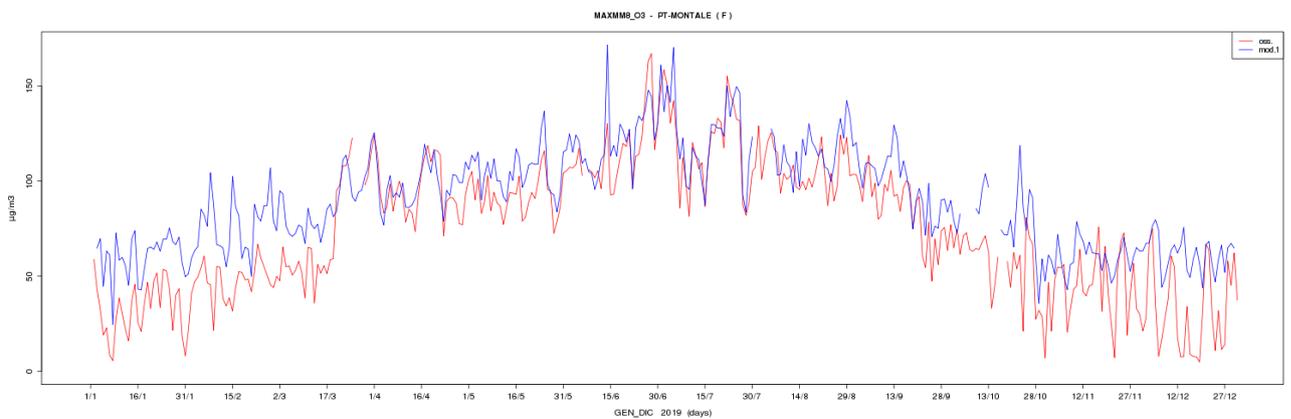
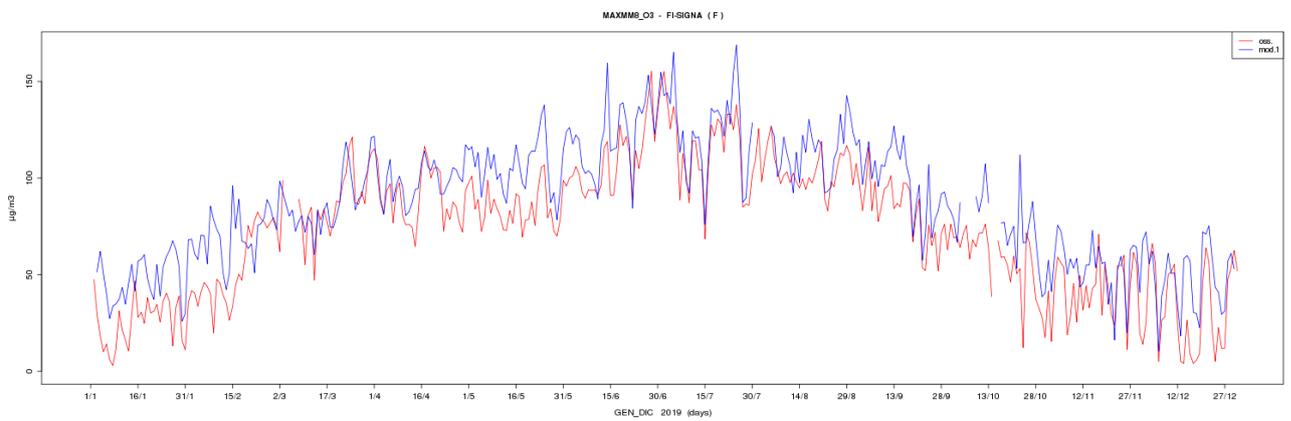
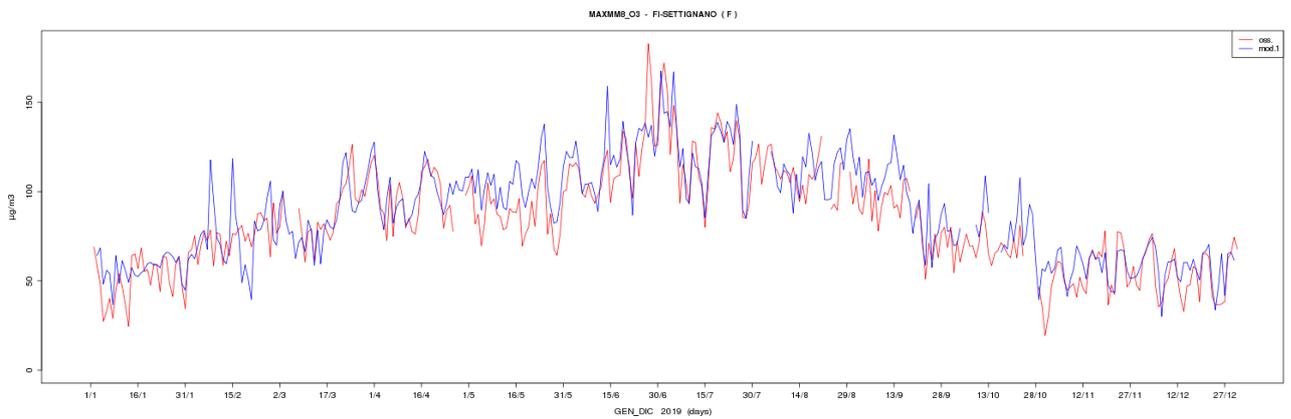
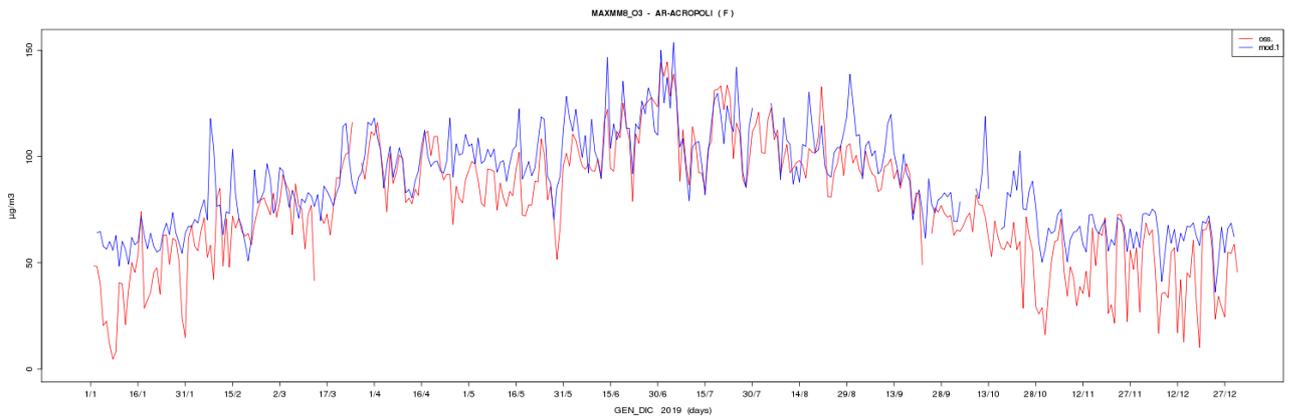


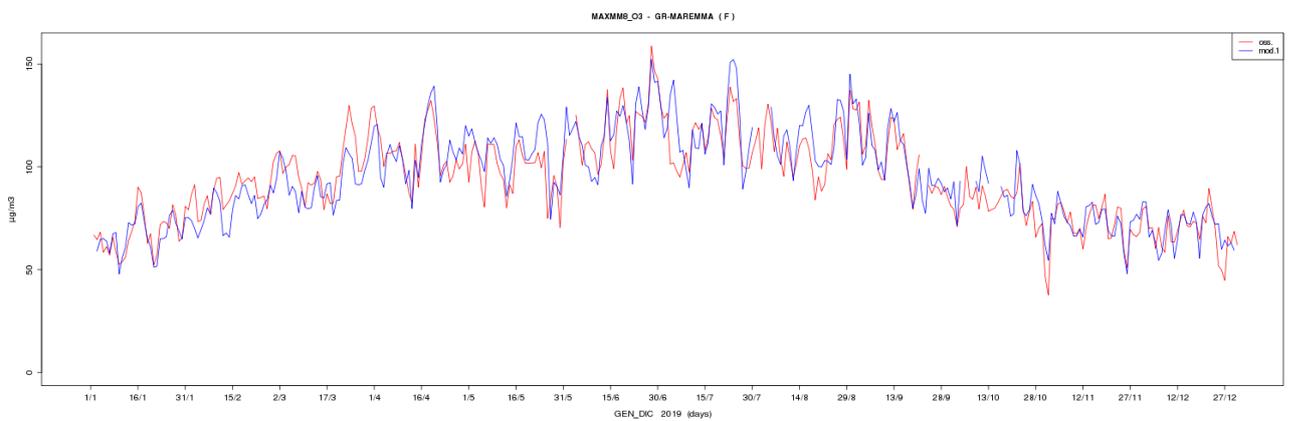
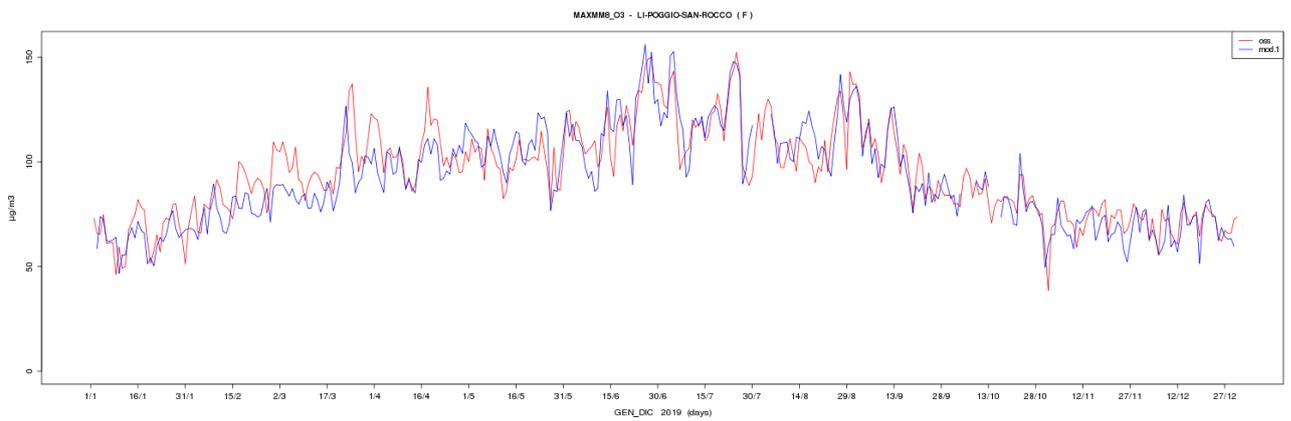
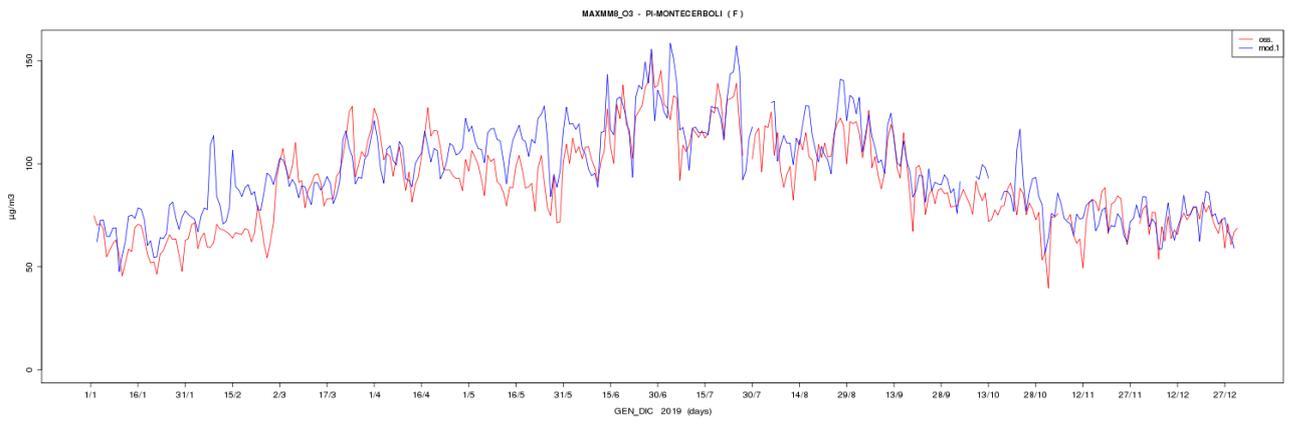
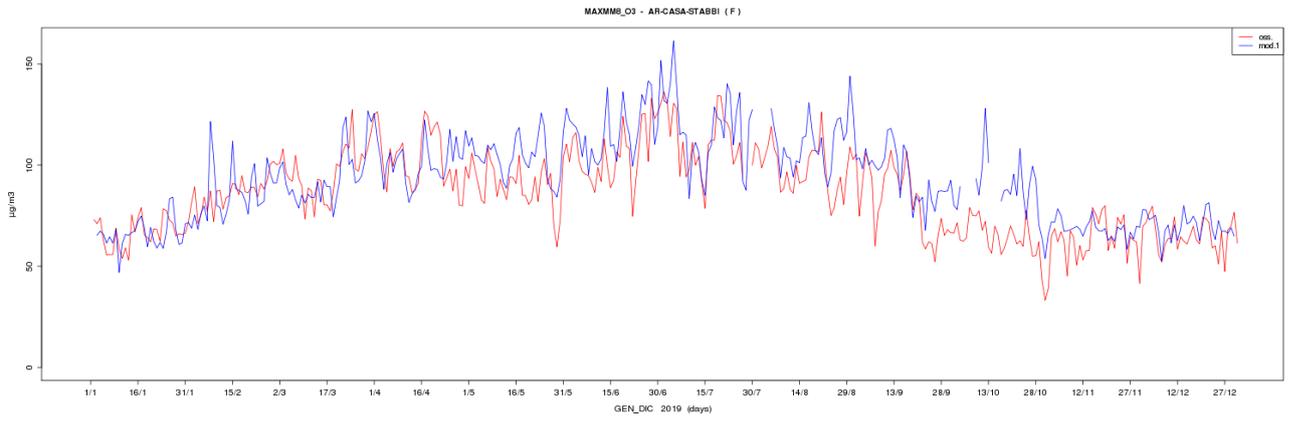


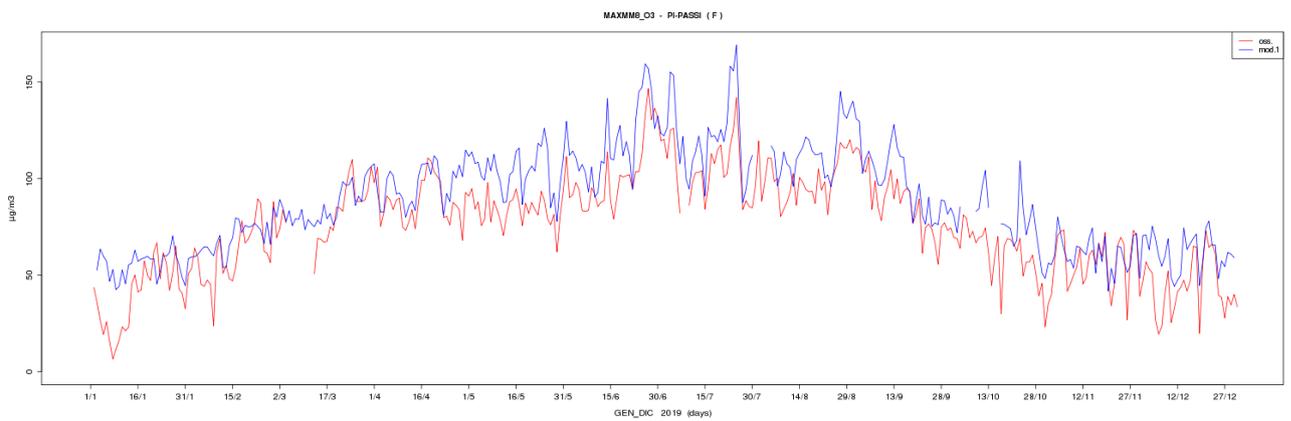
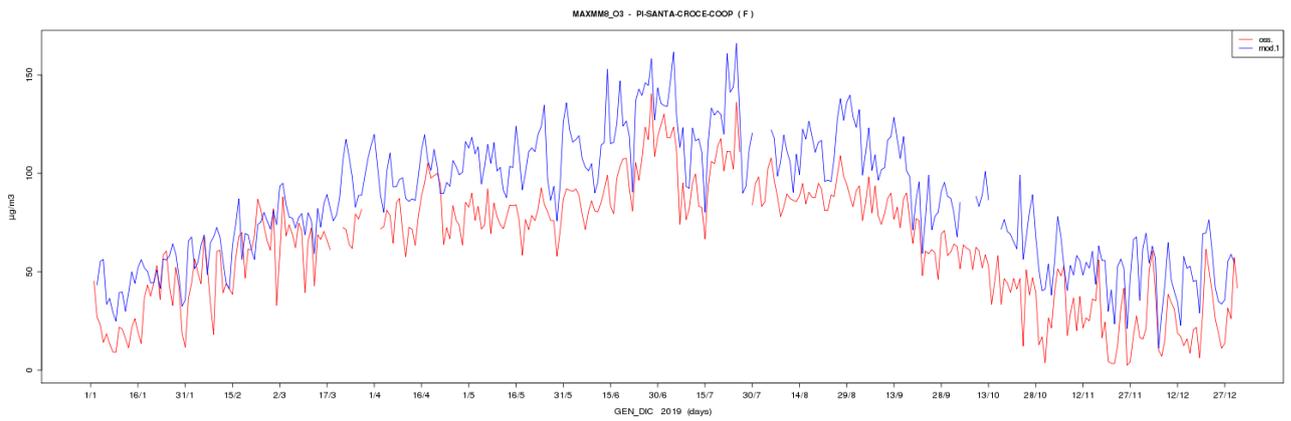
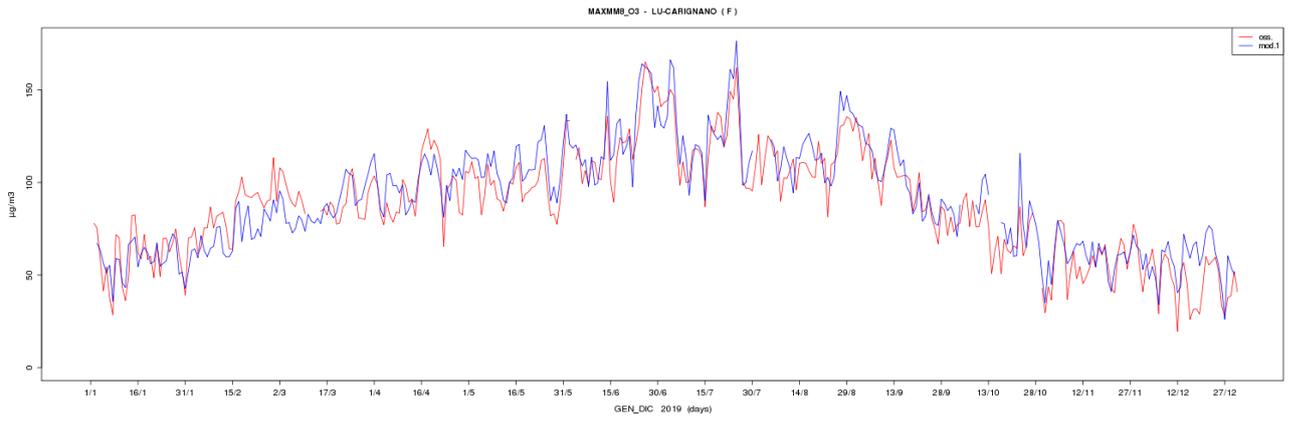
SO₂



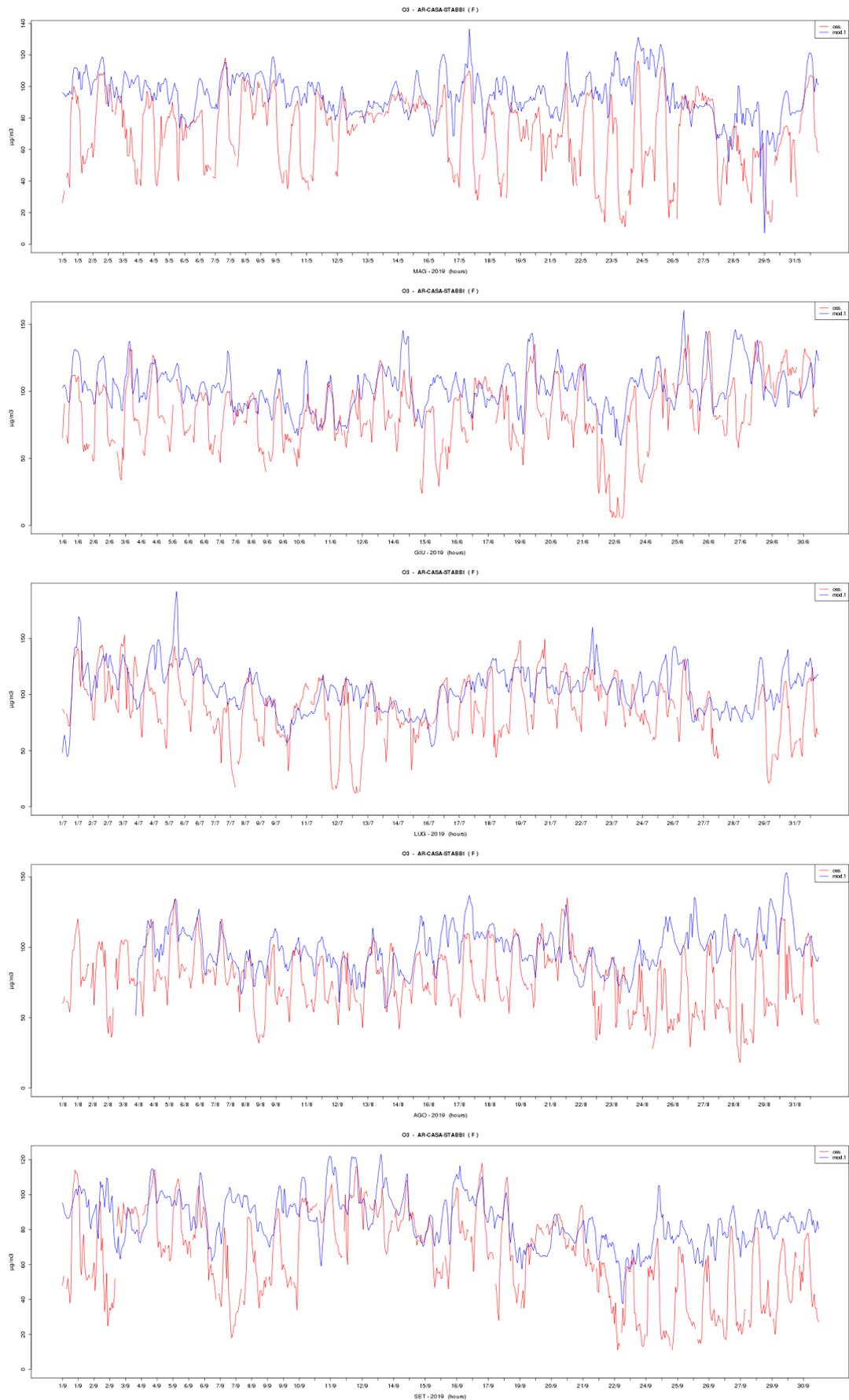
O3

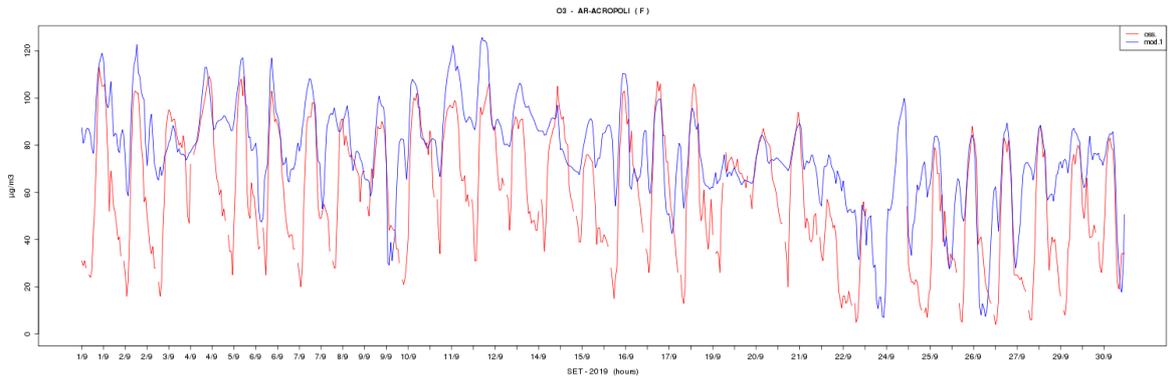
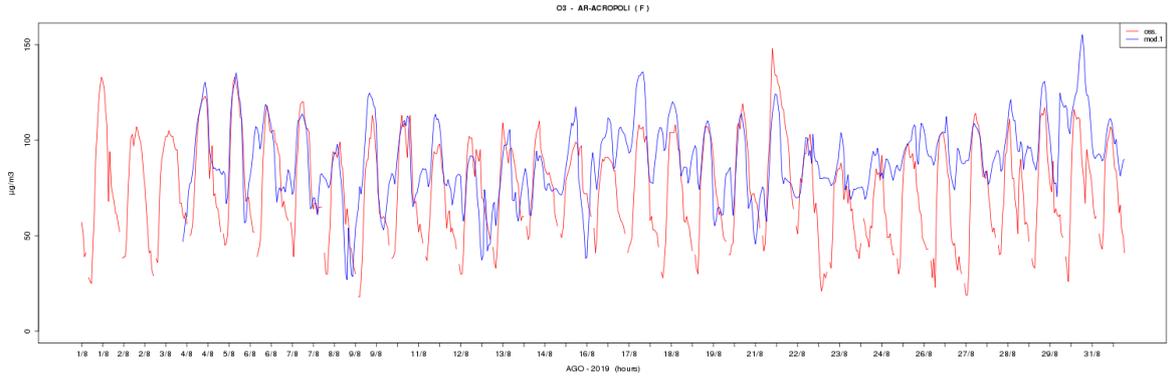
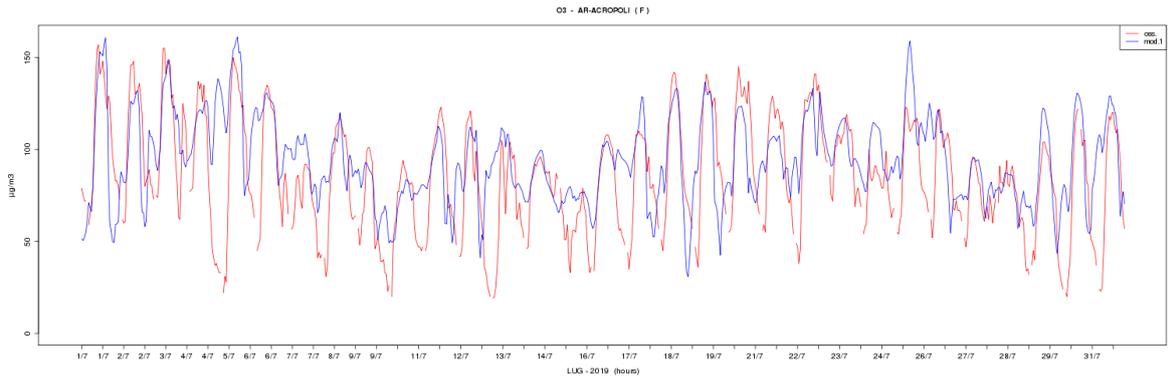
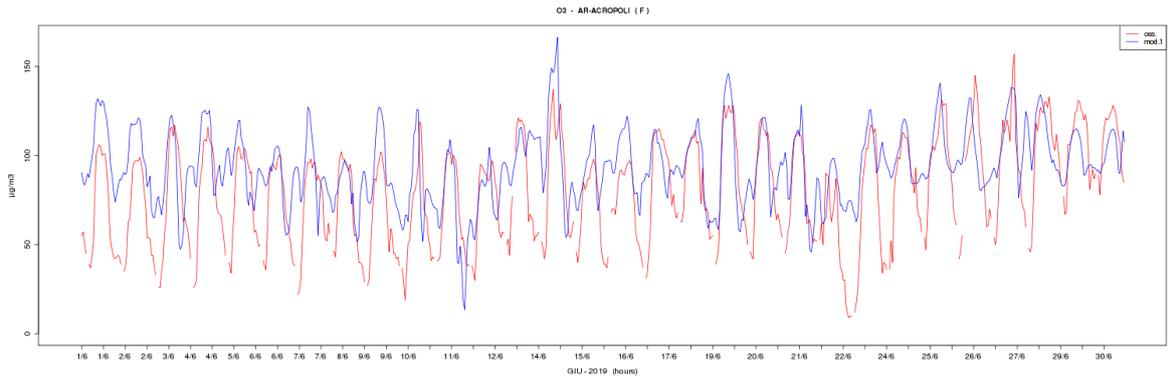
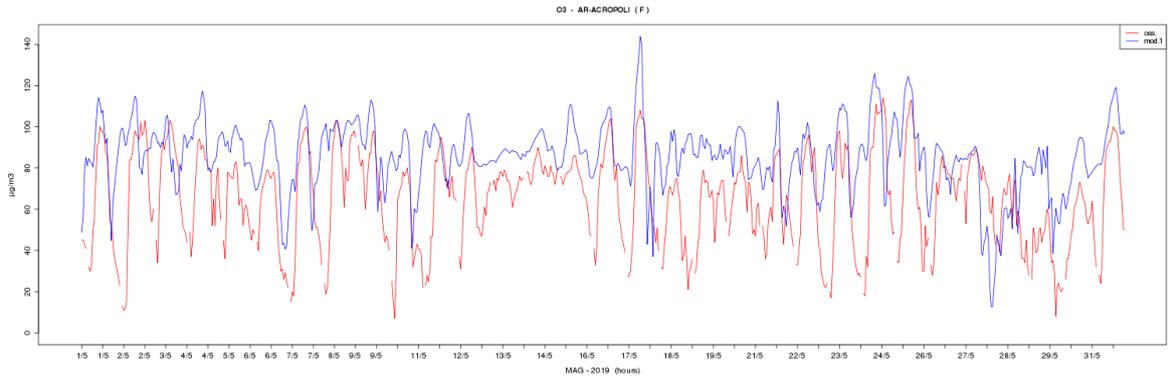


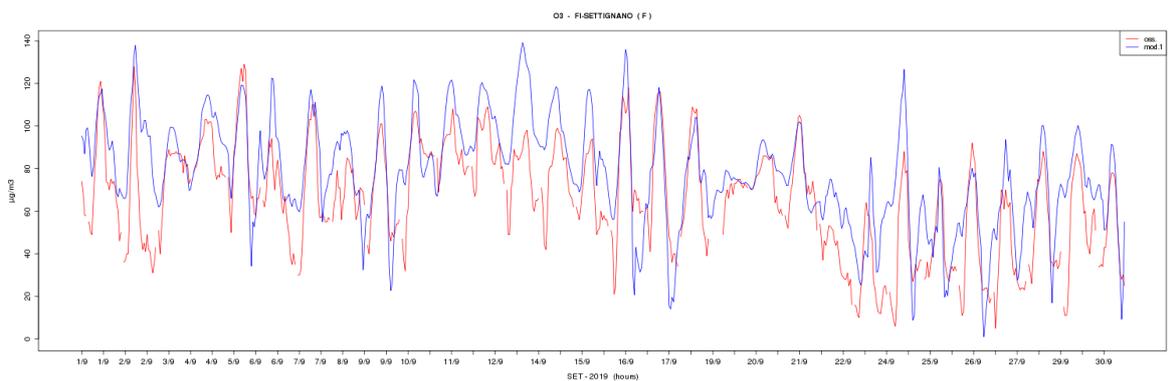
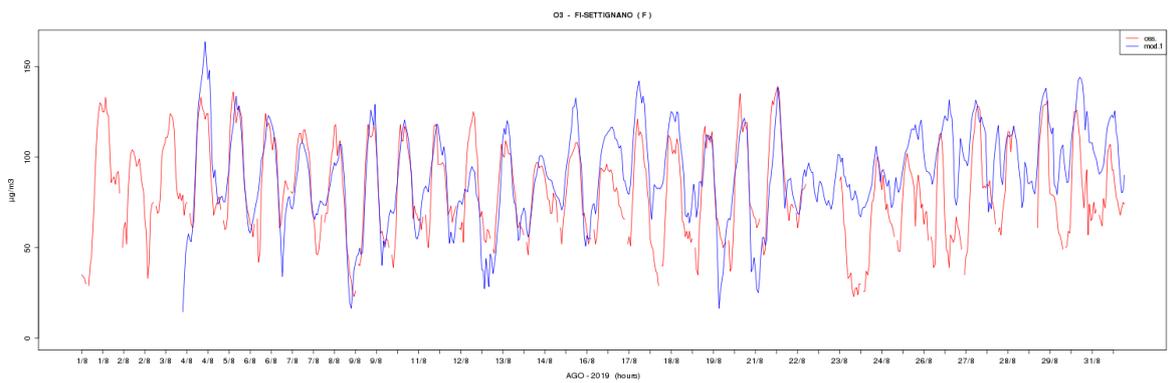
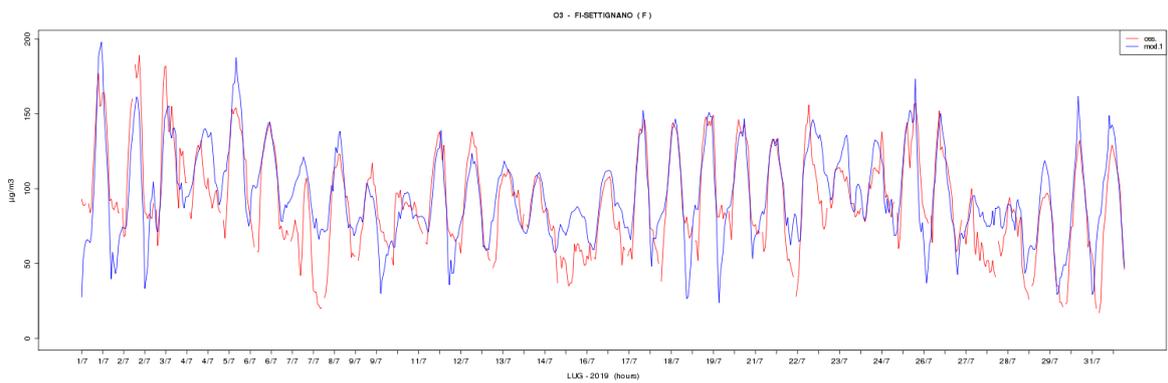
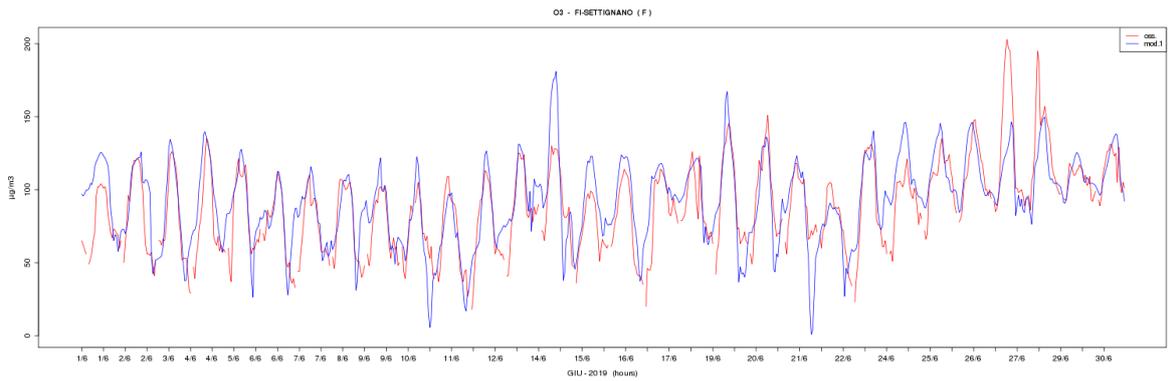
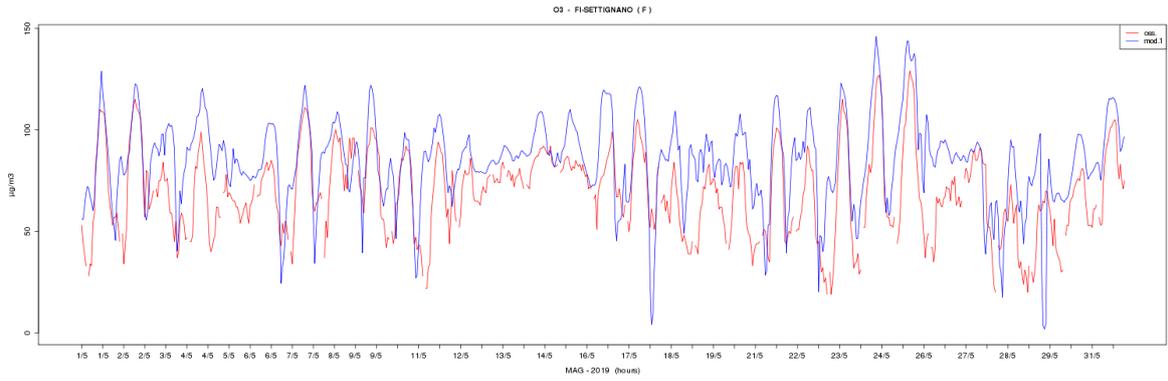


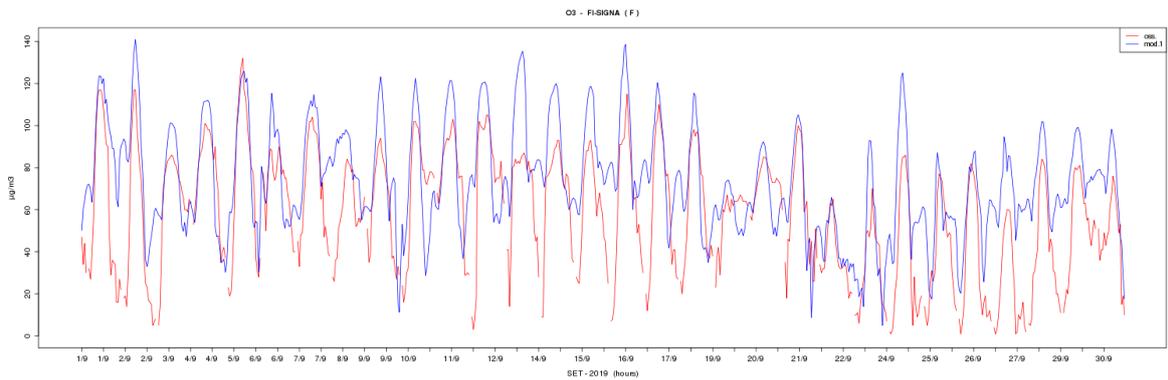
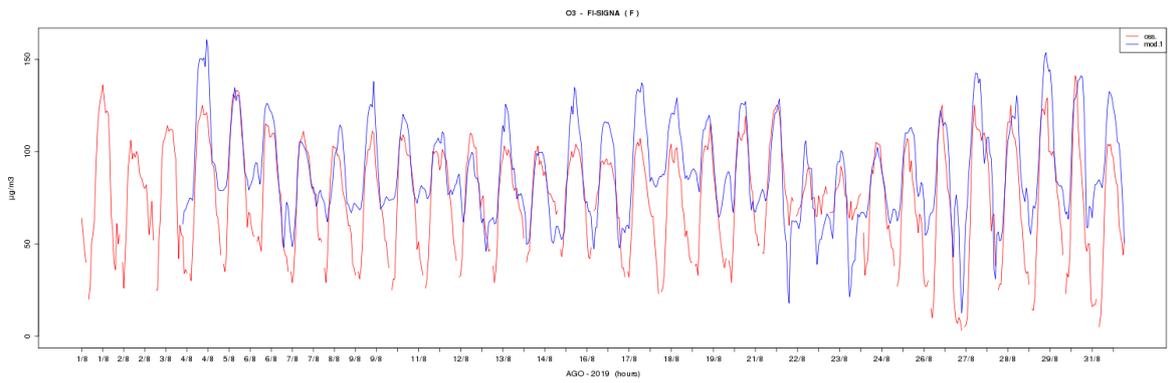
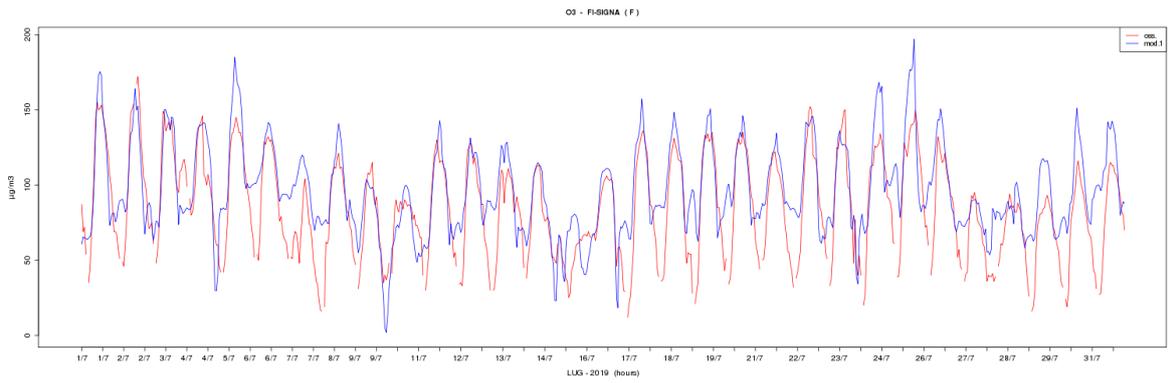
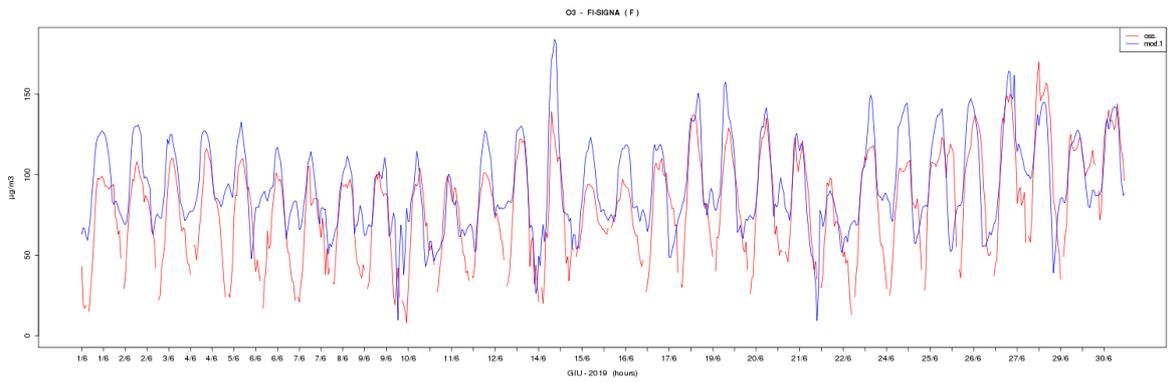
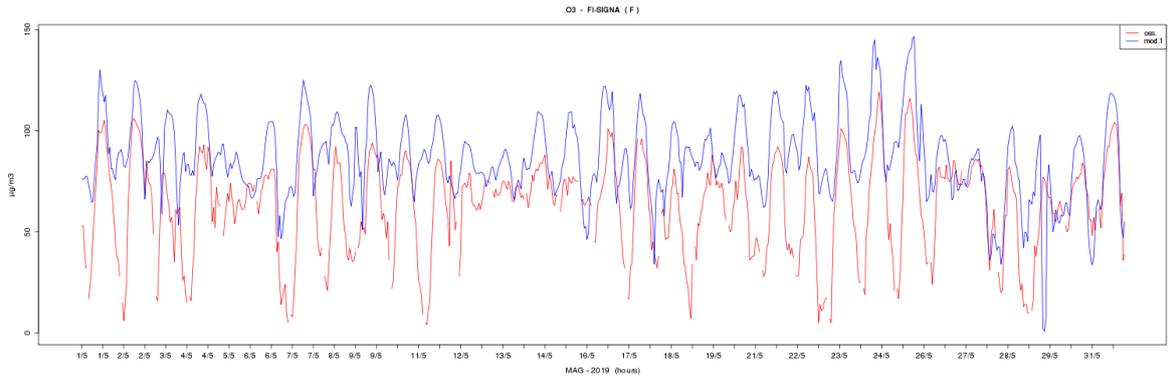


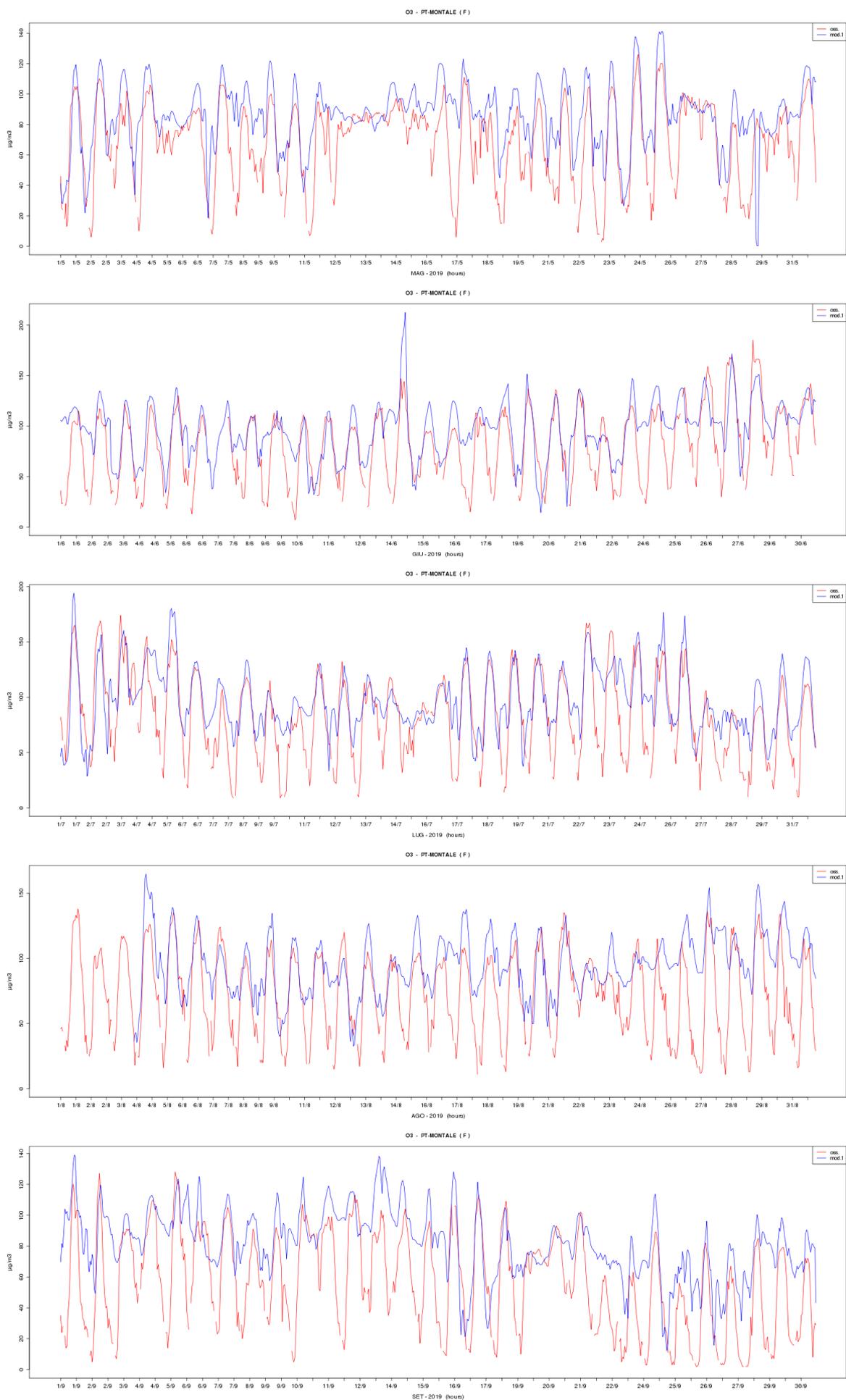
O3 orarie mensili

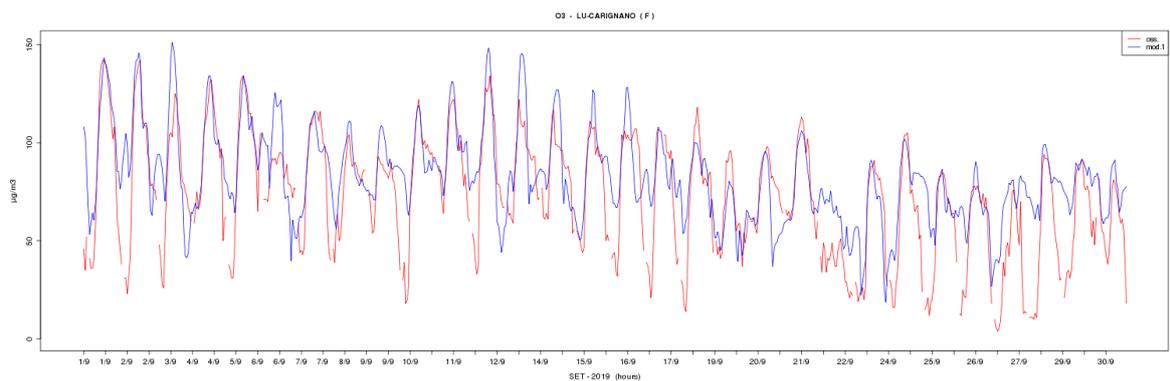
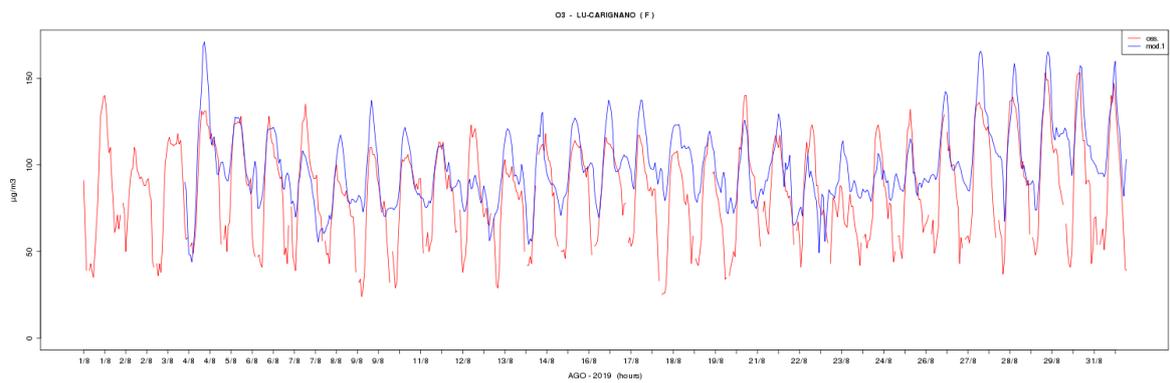
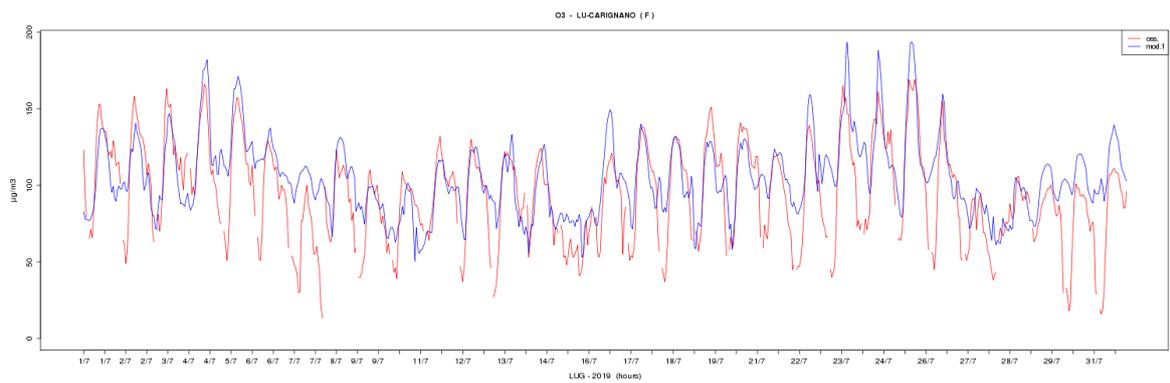
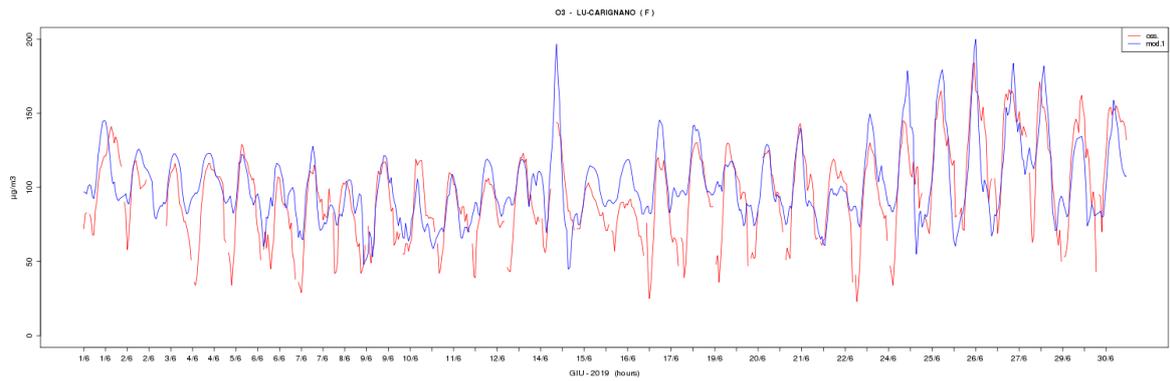
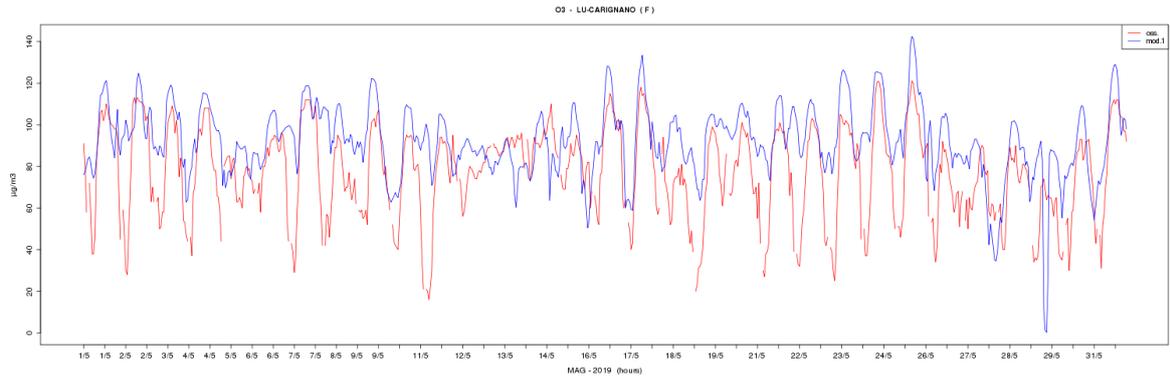


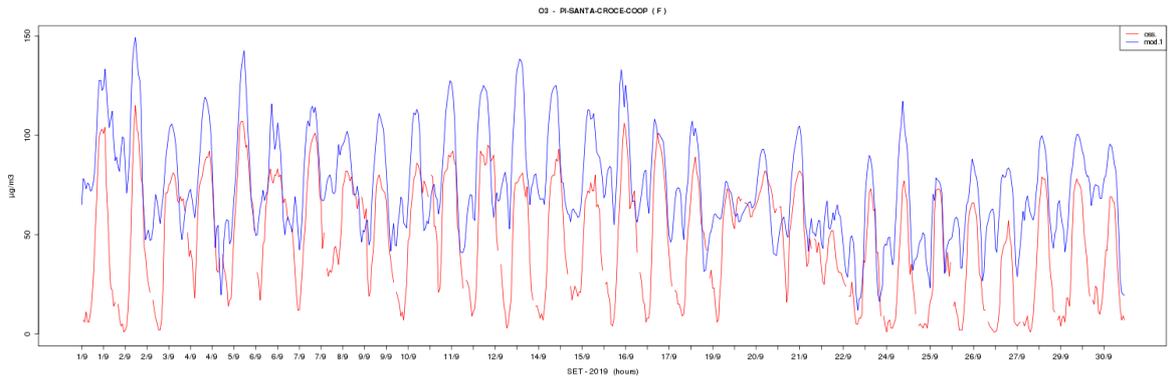
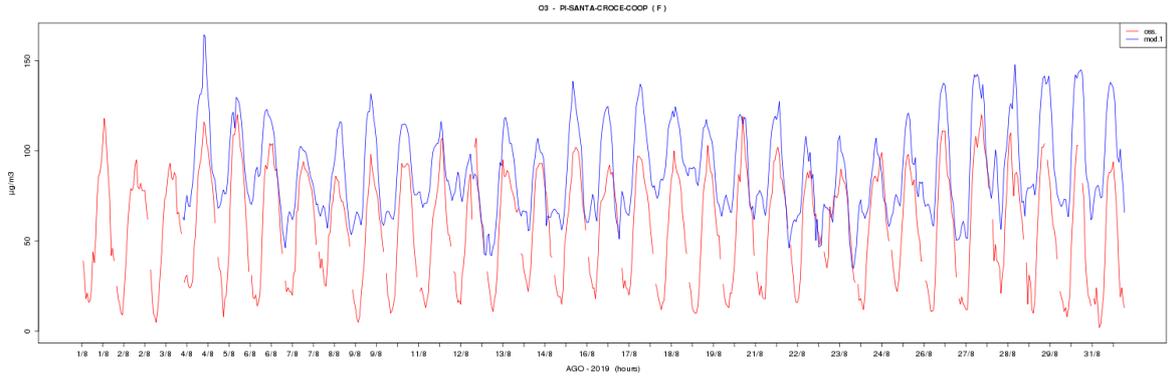
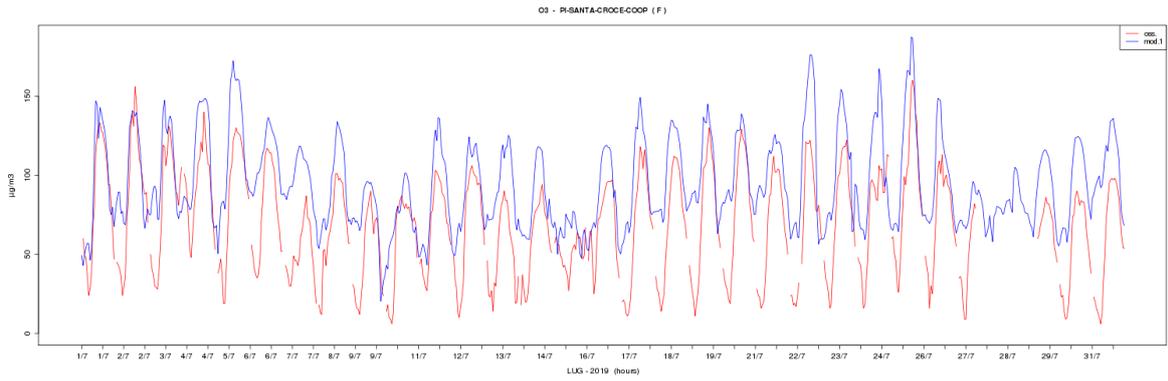
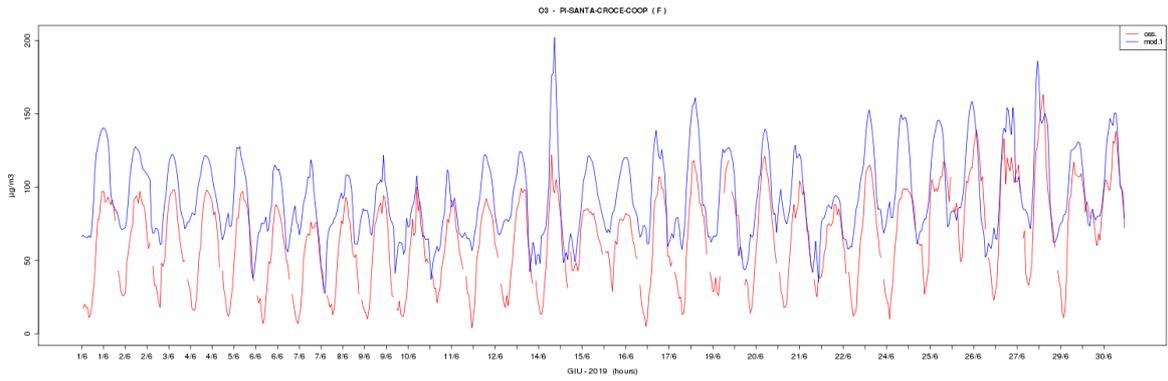
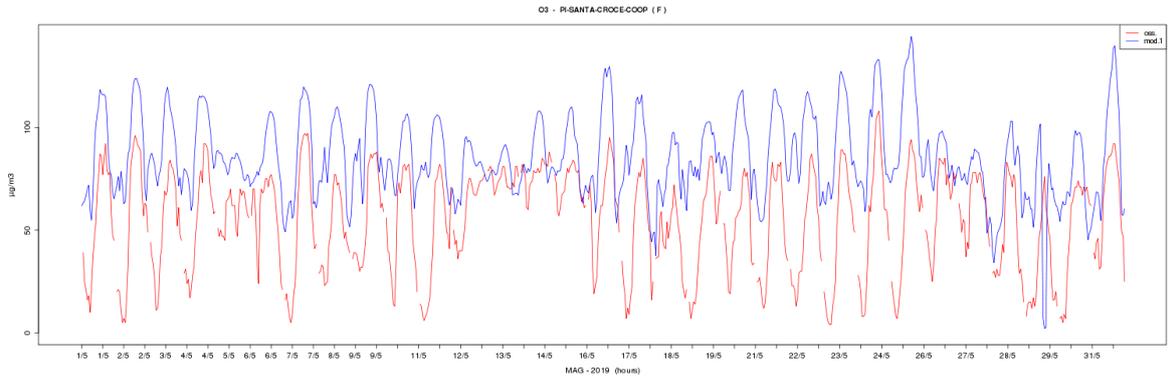


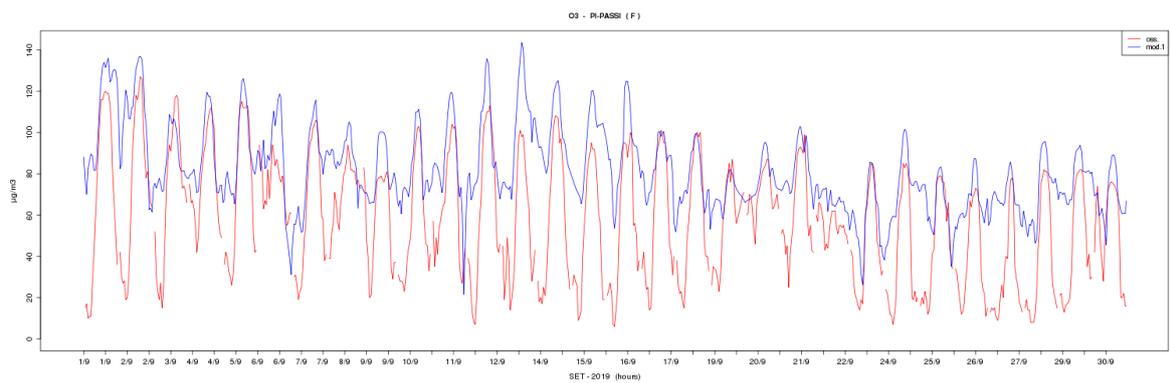
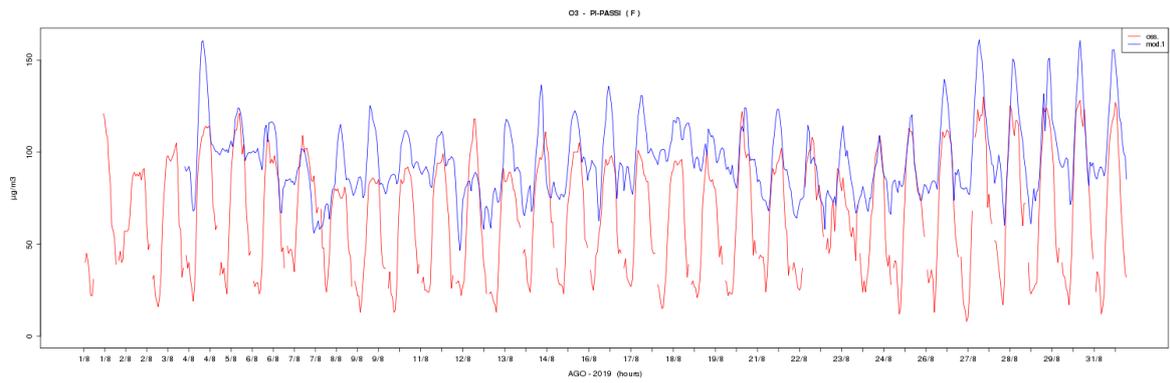
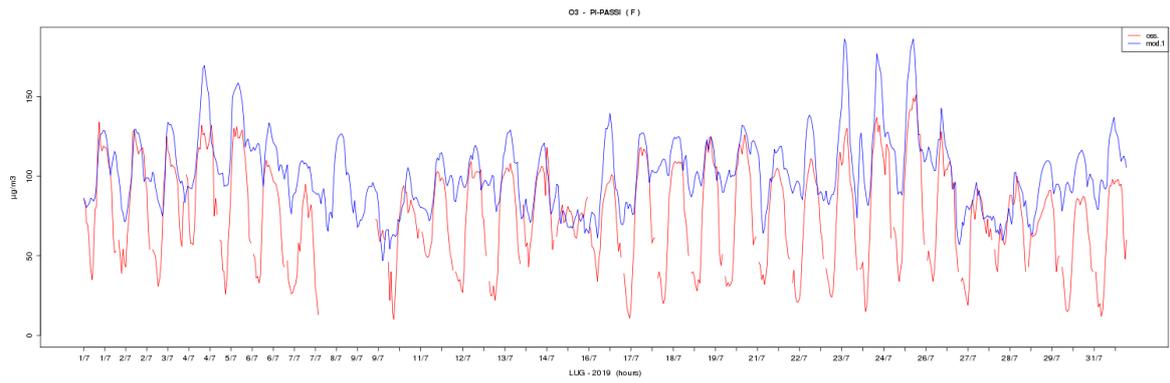
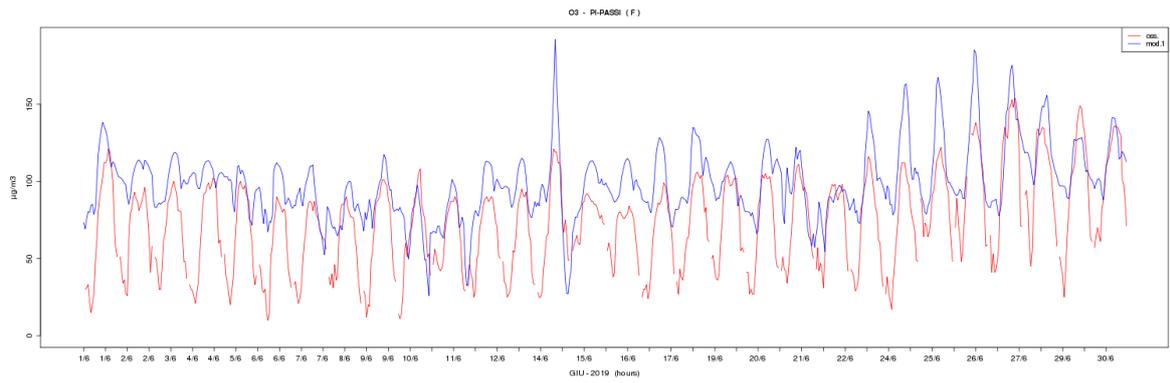
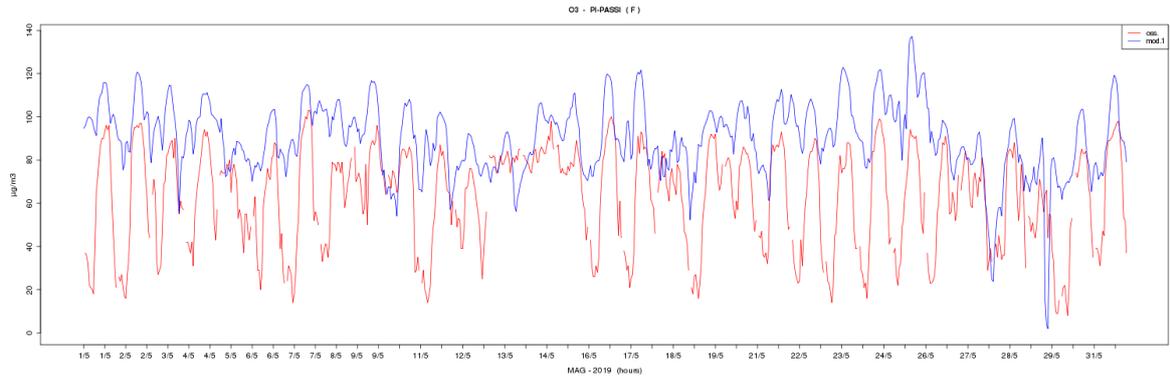


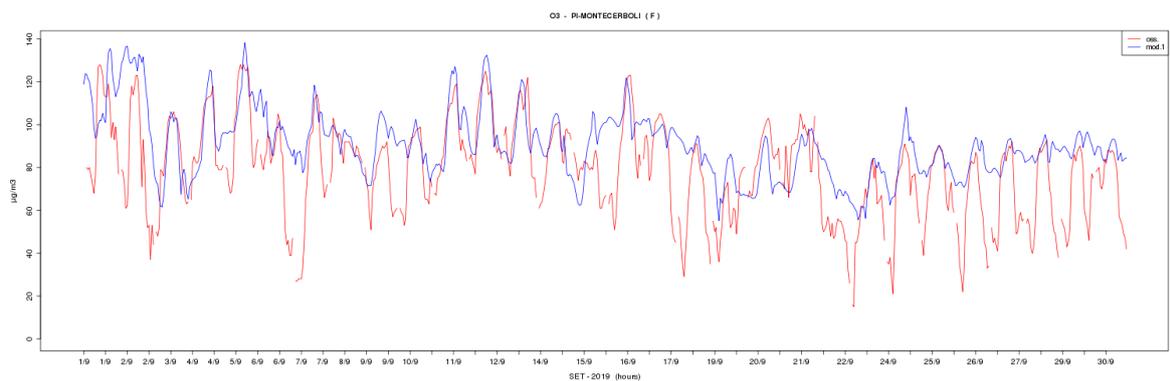
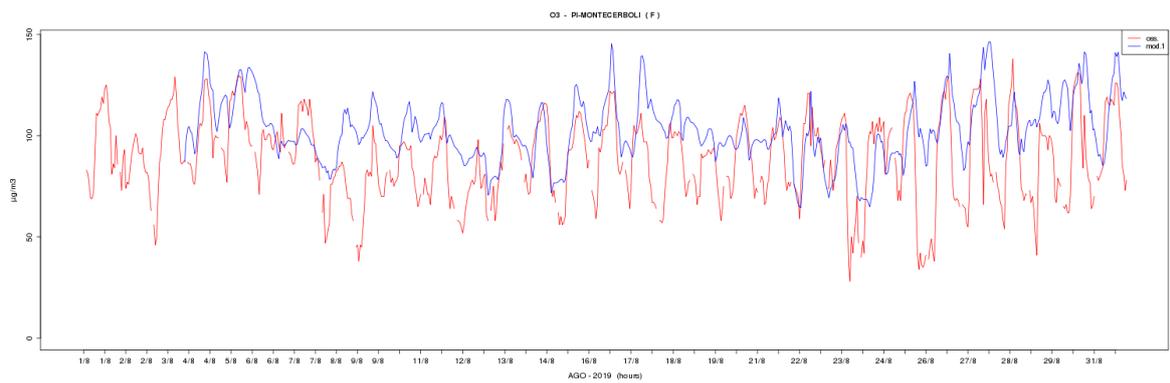
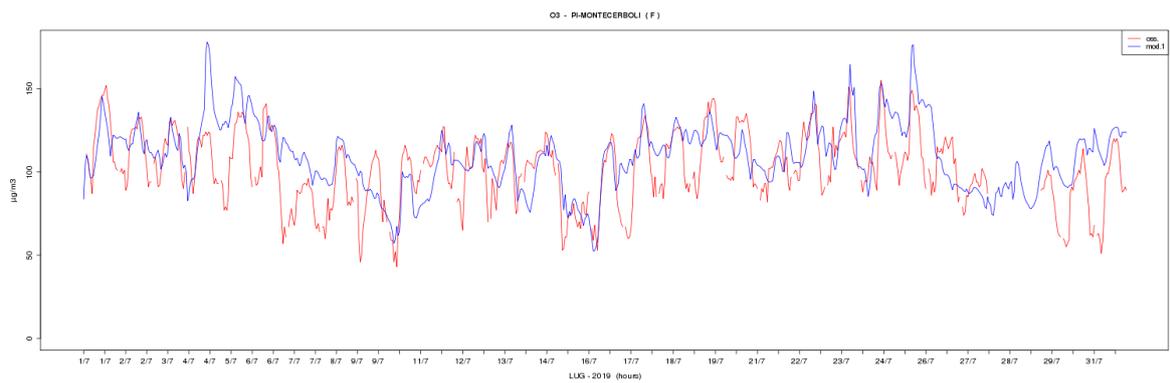
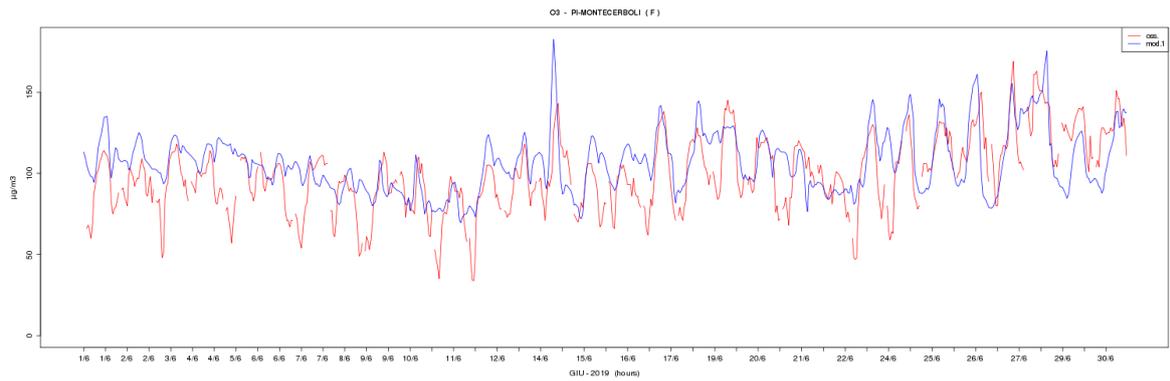
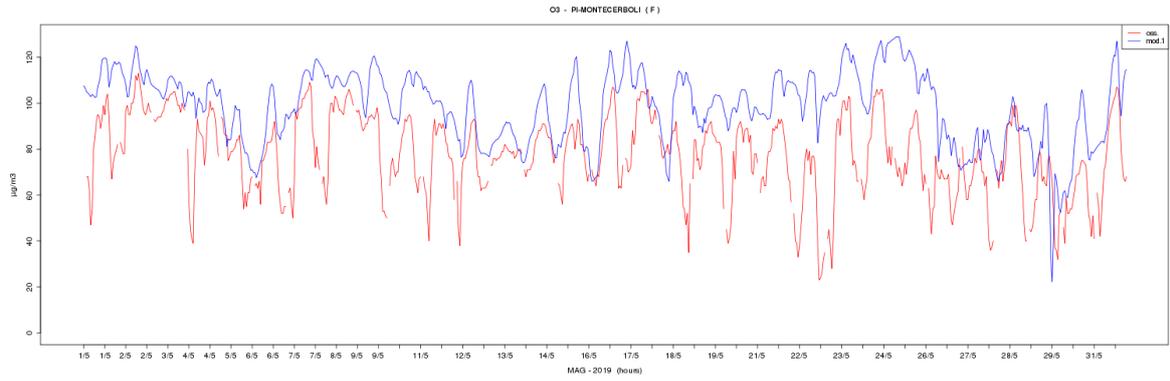


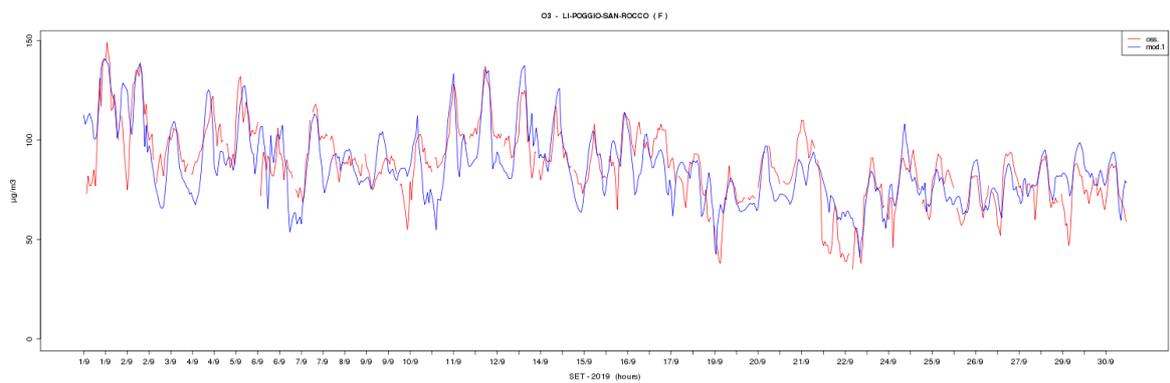
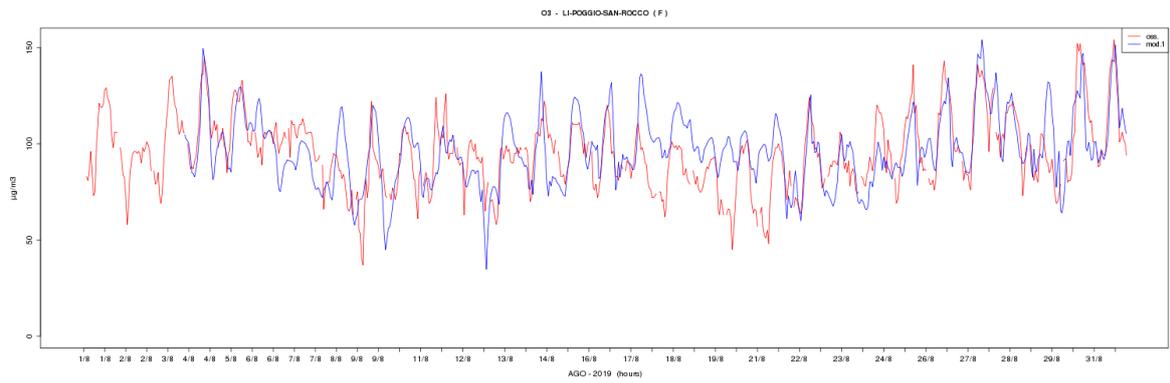
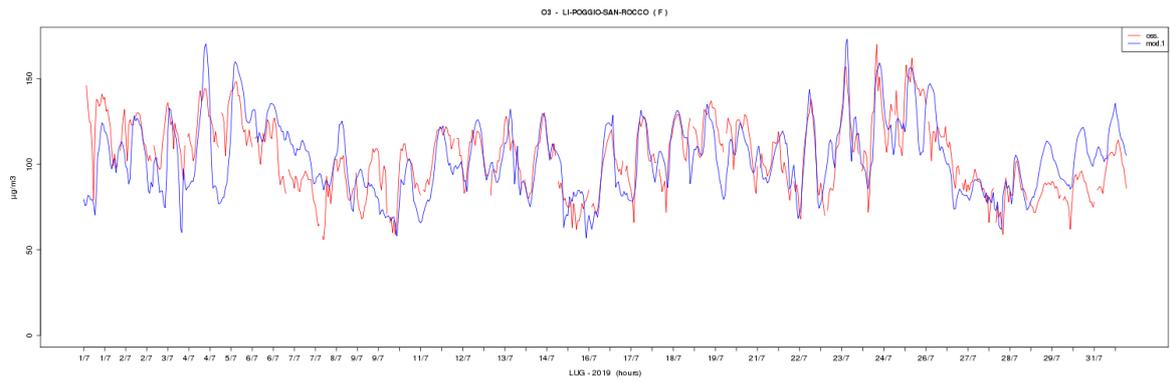
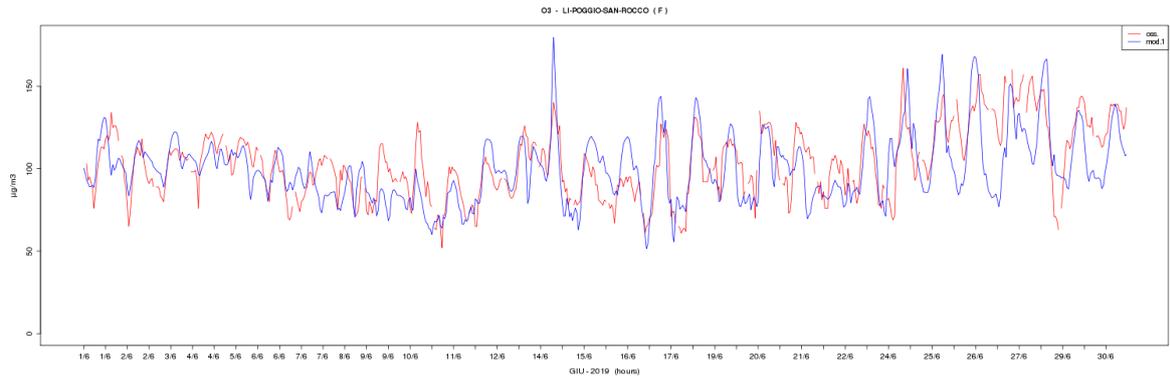
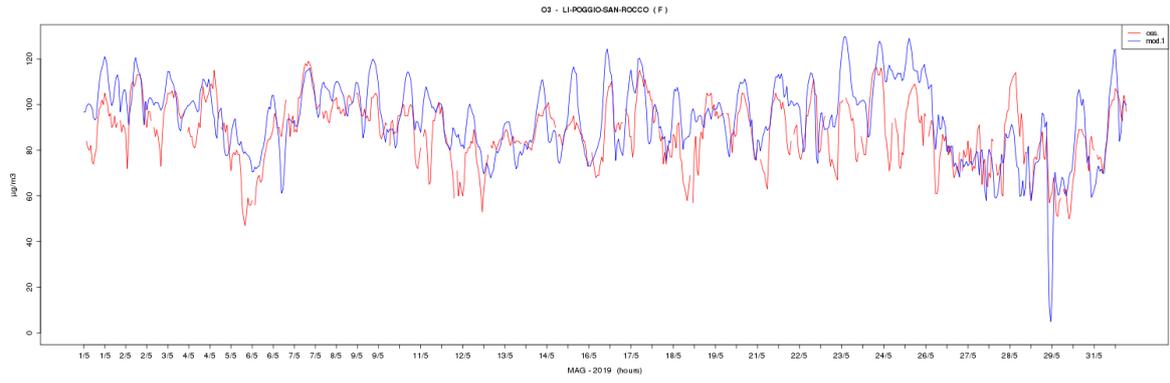


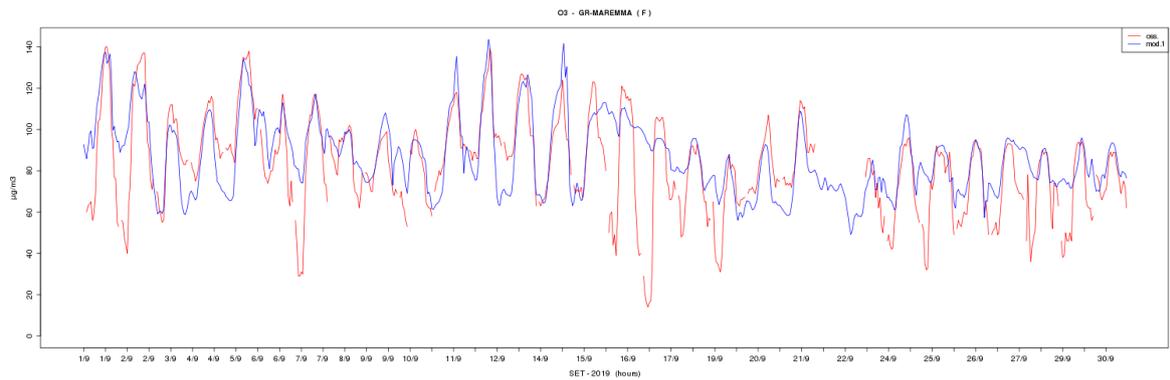
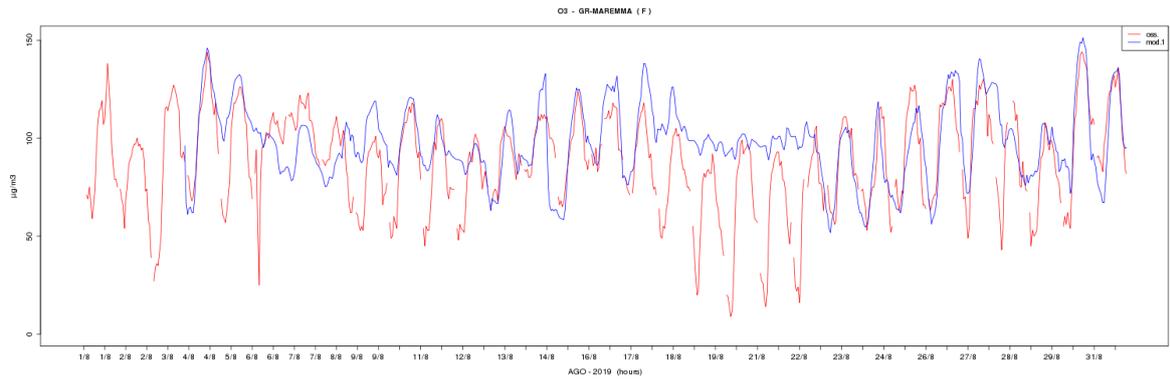
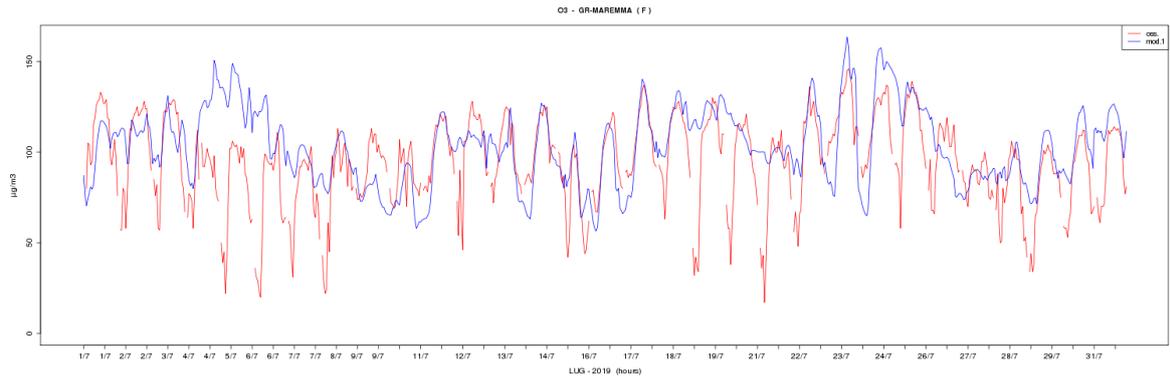
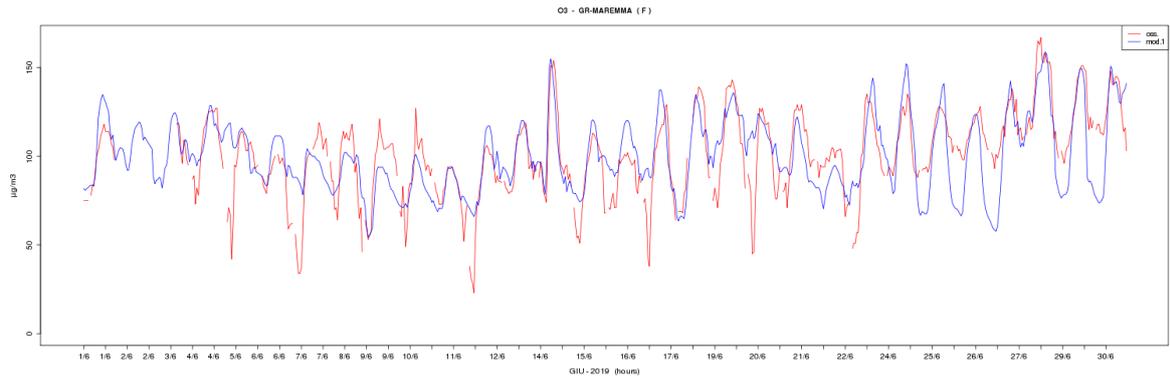
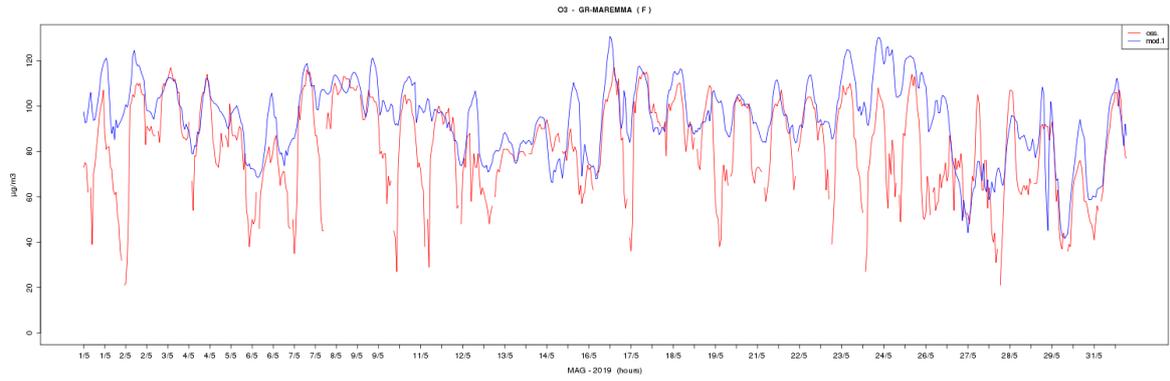






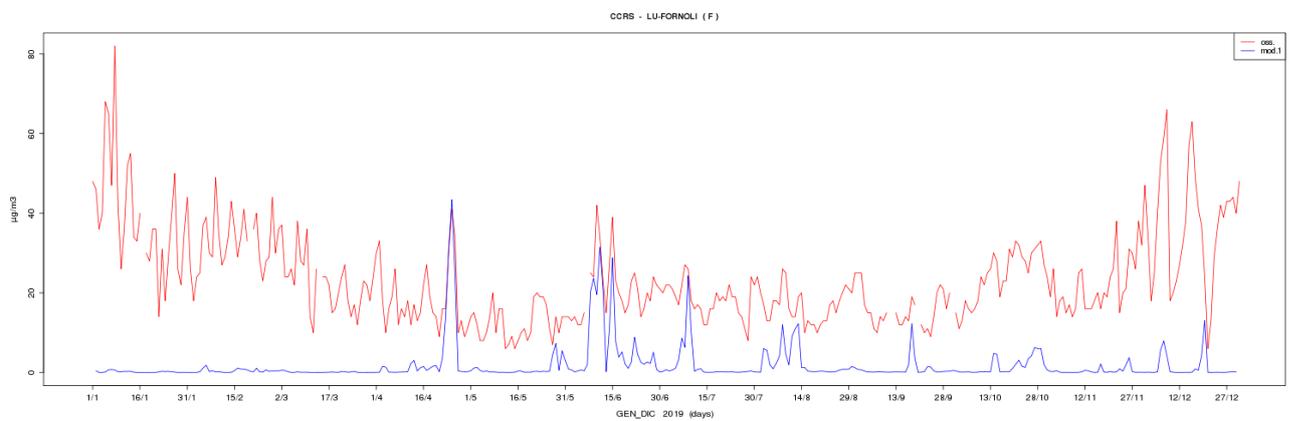
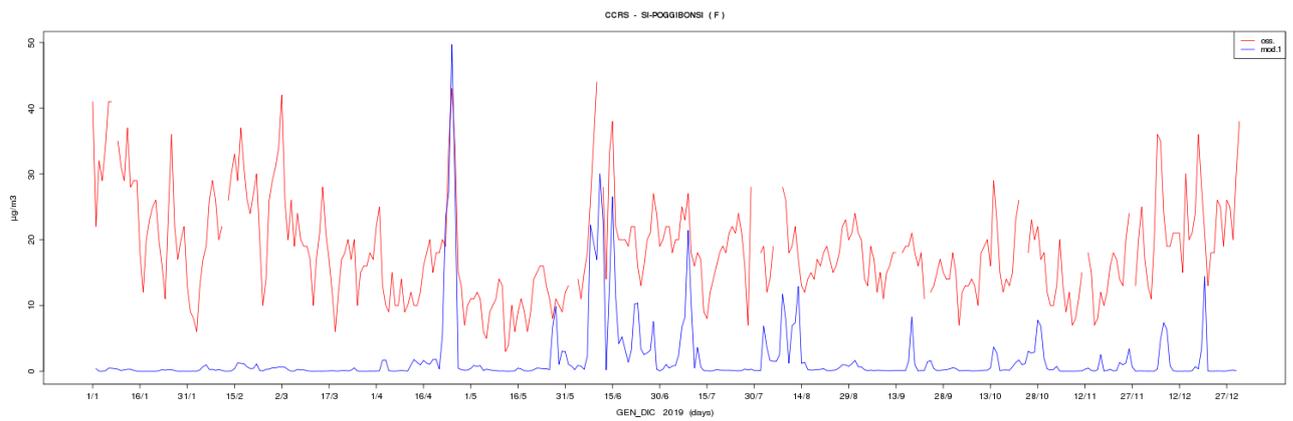
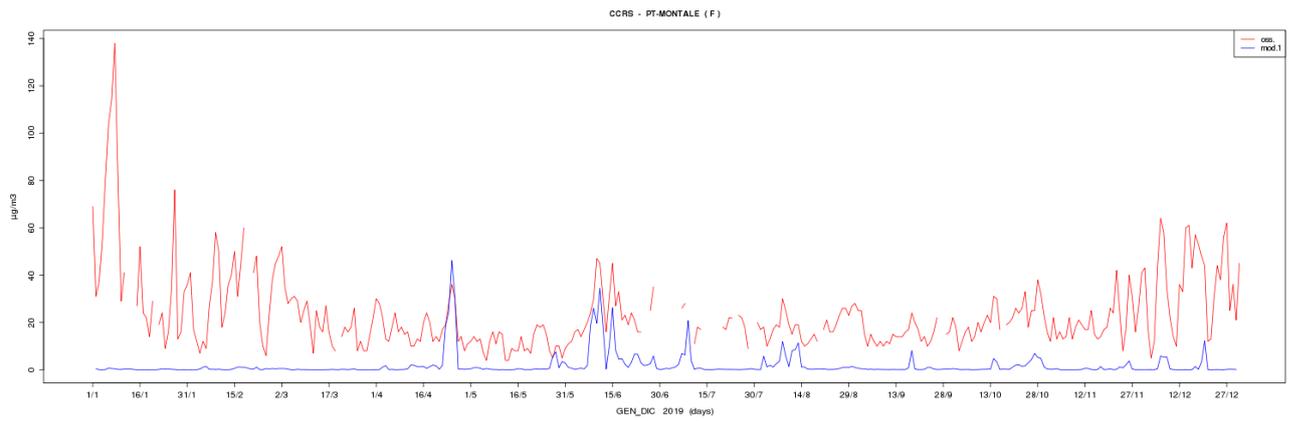
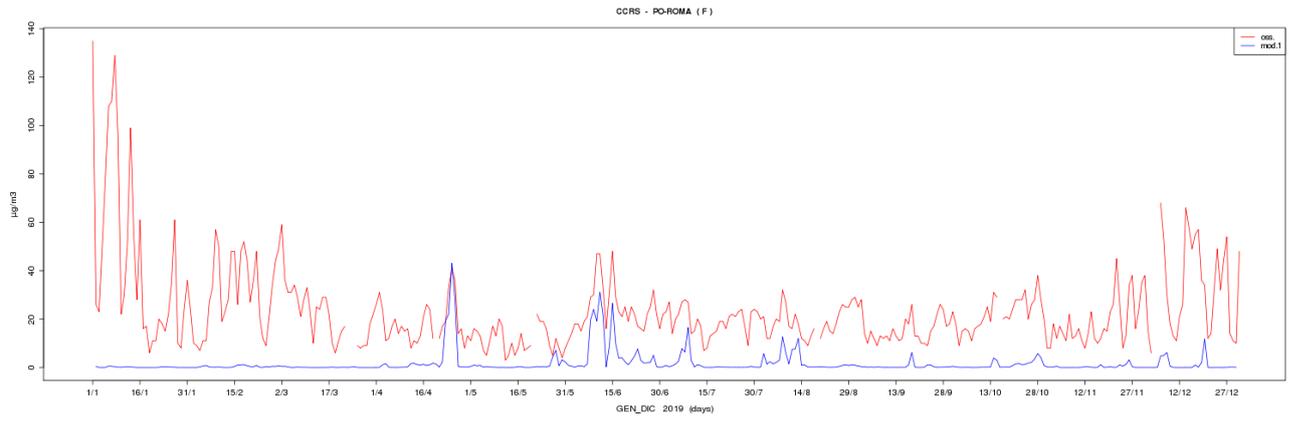


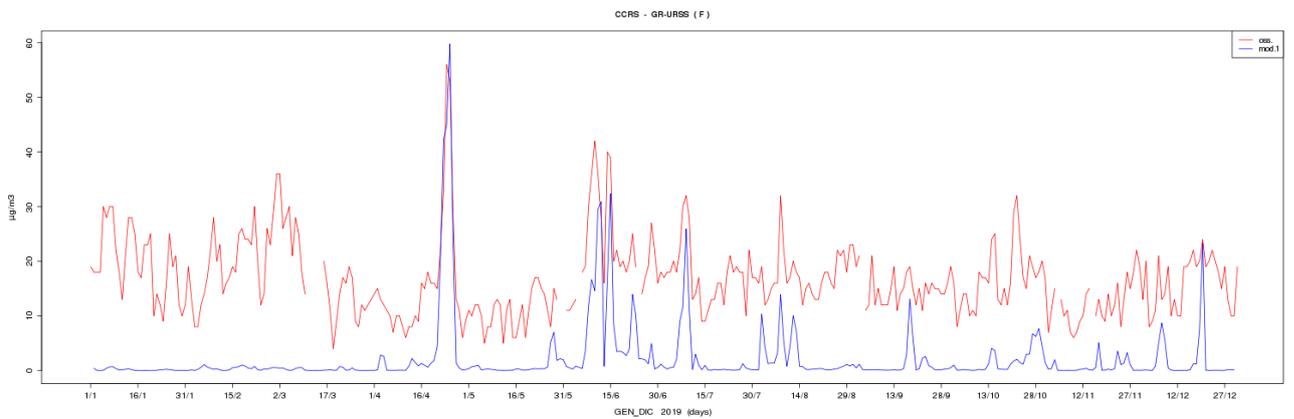
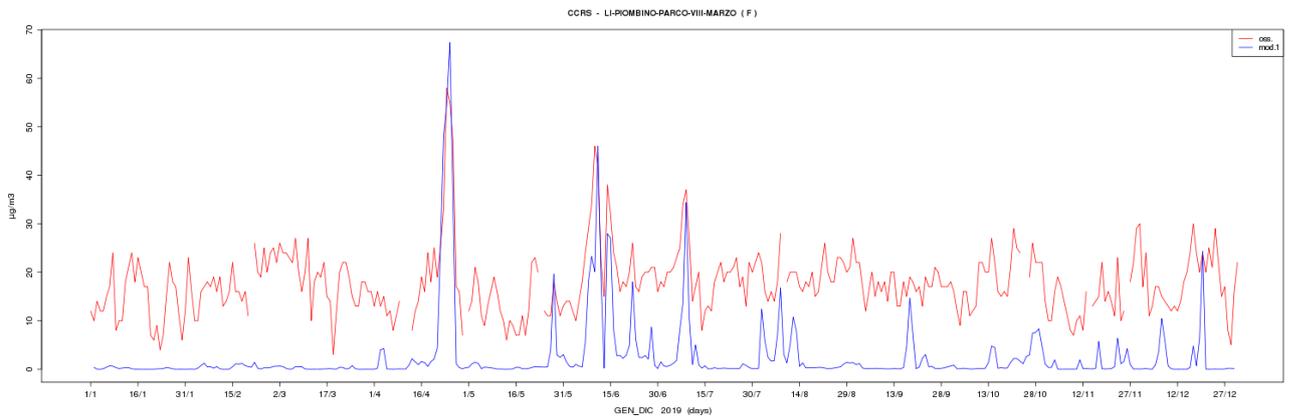
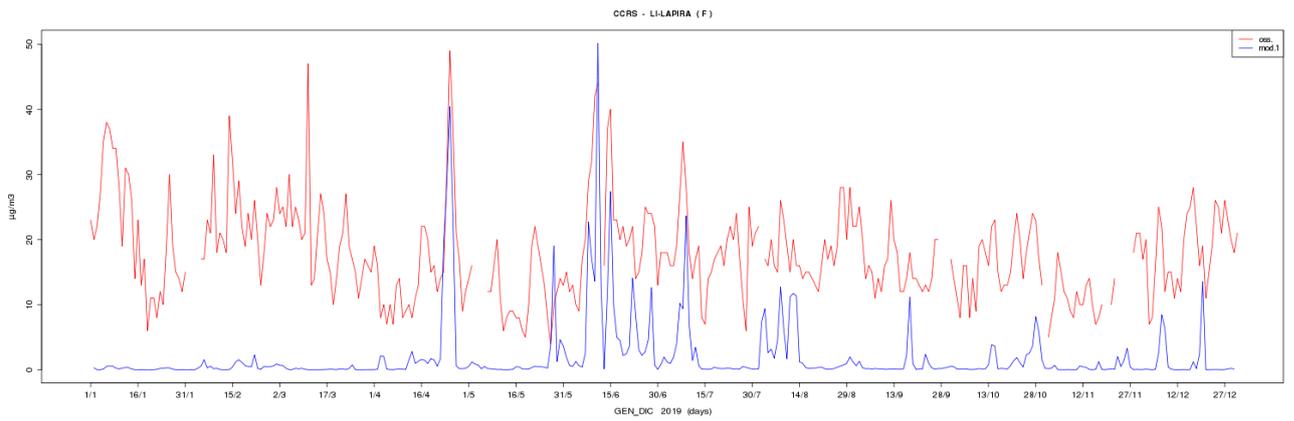
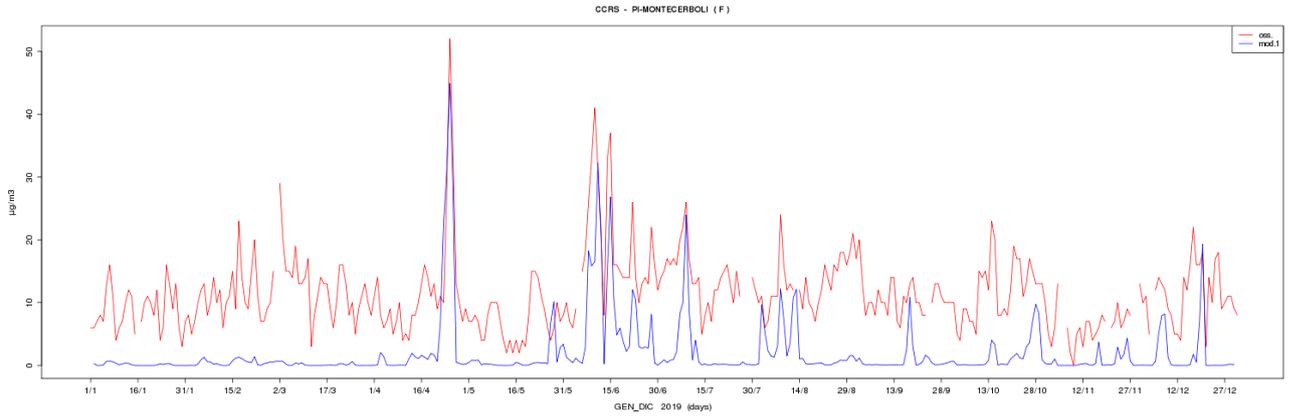


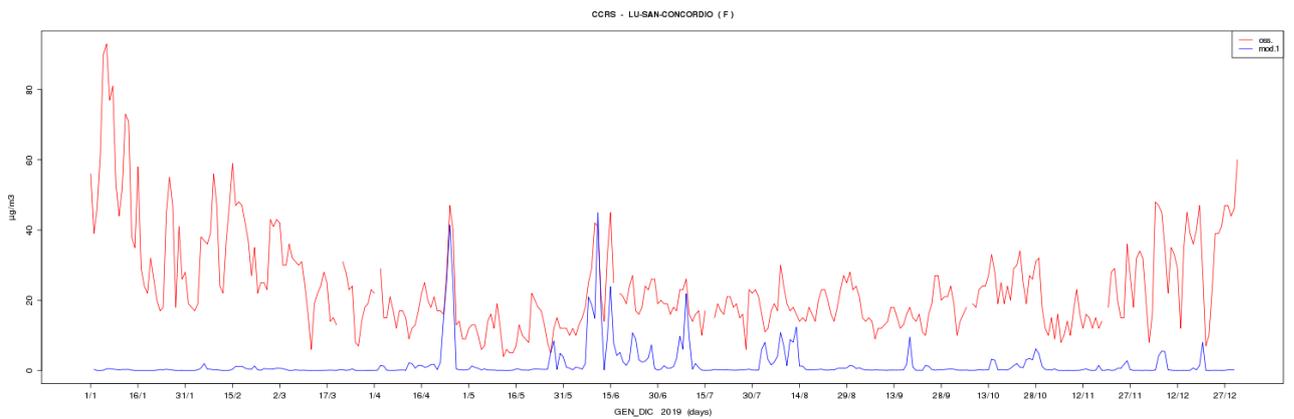
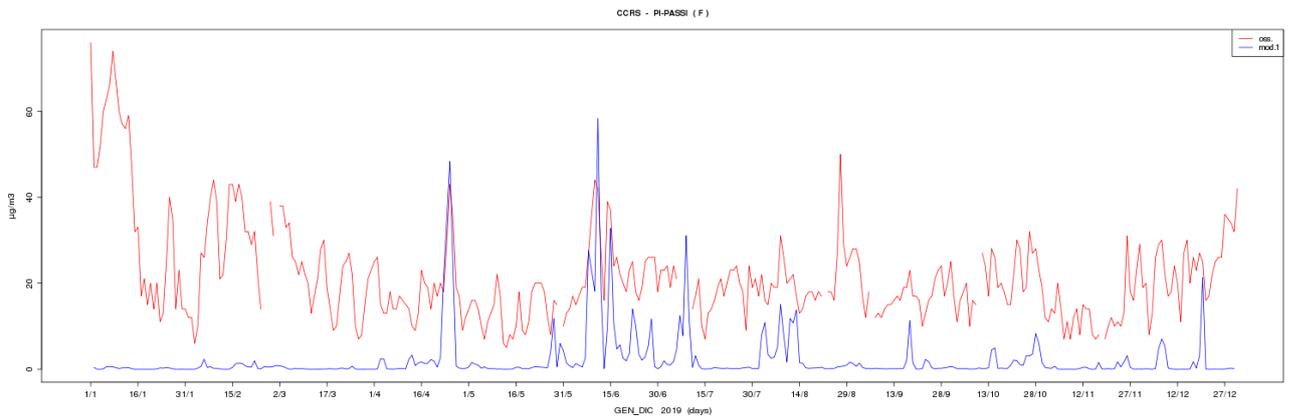
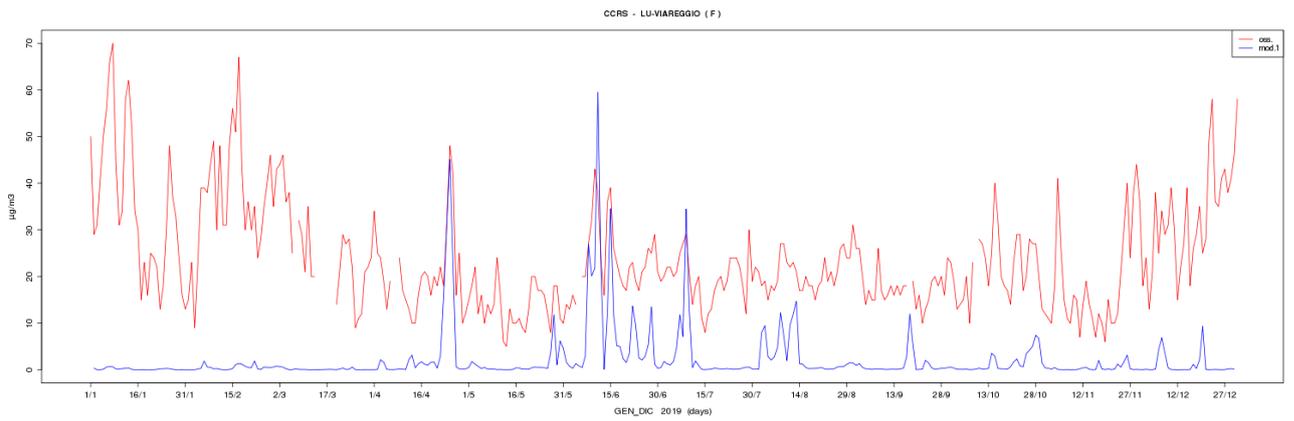
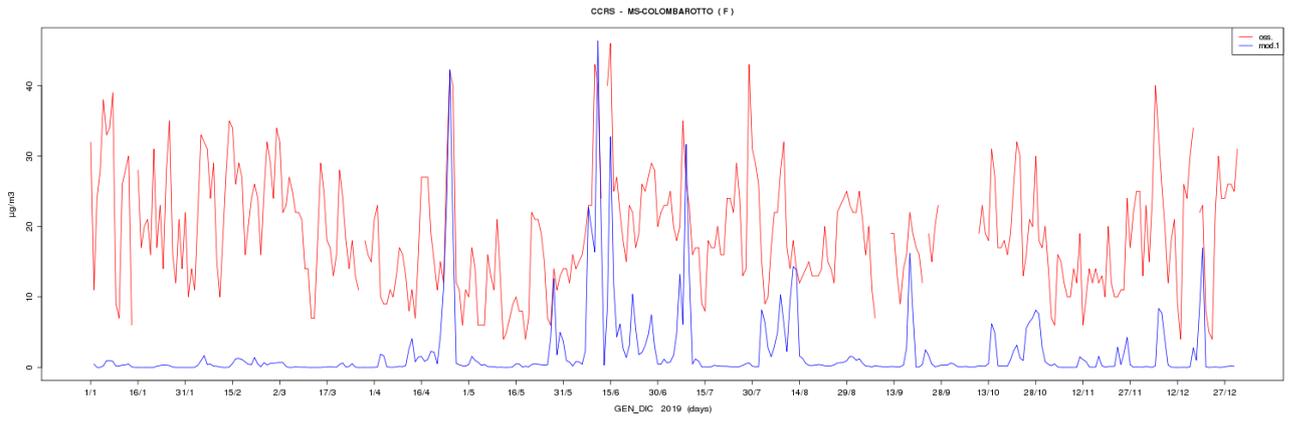


DUST









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)	$\frac{1}{N} \frac{\sum_{i=1}^N (Y_i - X_i)^2}{XY}$	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)	$1 - \frac{\sum_{i=1}^N (Y_i - X_i)^2}{\sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X} + Y_i - \bar{X})^2}$	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 GIORN. (2019)

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	99	14.77	11.11	8.48	8.29	-0.28	0.58	9.64	0.57	-3.66	0.43	0.65	-25%
1	F	AR-CASA-STABBI	100	99	1.63	4.72	1.05	2.41	0.97	0.99	3.85	1.92	3.09	0.32	0.33	190%
4	T	AR-REPUBBLICA	100	99	30.89	18.18	8.93	9.52	-0.52	0.57	16.47	0.48	-12.71	0.35	0.50	-41%
5	F	FI-BASSI	99	99	20.73	23.77	12.15	13.07	0.14	0.41	11.78	0.28	3.05	0.59	0.76	15%
89	F	FI-FIGLINE	100	99	18.05	16.46	7.67	7.50	-0.09	0.32	7.43	0.19	-1.58	0.54	0.72	-9%
7	T	FI-GRAMSCI	99	99	56.06	29.13	14.44	13.45	-0.63	0.65	31.96	0.63	-26.93	0.24	0.42	-48%
8	T	FI-MOSSE	100	99	35.70	29.61	14.62	13.70	-0.19	0.33	13.69	0.18	-6.10	0.63	0.75	-17%
12	F	FI-SCANDICCI	100	99	25.46	23.98	12.16	11.66	-0.06	0.34	11.25	0.21	-1.48	0.56	0.75	-6%
10	F	FI-SETTIGNANO	99	99	7.11	16.09	5.16	10.08	0.77	0.83	12.51	1.37	8.98	0.50	0.46	126%
11	F	FI-SIGNA	96	99	18.60	18.99	10.38	10.25	0.02	0.30	7.90	0.18	0.39	0.71	0.84	2%
67	F	GR-MAREMMA	100	99	2.91	3.70	1.31	2.29	0.24	0.41	1.95	0.35	0.78	0.63	0.69	27%
20	T	GR-SONNINO	100	99	34.99	14.91	10.71	7.04	-0.80	0.81	22.09	0.94	-20.08	0.53	0.47	-57%
21	F	GR-URSS	99	99	16.74	9.36	7.22	4.80	-0.57	0.61	10.09	0.65	-7.37	0.40	0.54	-44%
22	F	LI-CAPPIELLO	99	99	15.51	23.32	8.52	13.91	0.40	0.52	14.64	0.59	7.81	0.47	0.57	50%
23	T	LI-CARDUCCI	79	100	41.10	47.50	13.85	25.00	0.14	0.45	25.00	0.32	6.39	0.33	0.52	16%
26	I	LI-COTONE	98	99	14.34	30.07	6.05	13.85	0.71	0.72	19.60	0.89	15.73	0.54	0.40	110%
82	F	LI-LAPIRA	100	99	18.90	29.33	7.77	19.17	0.43	0.60	21.14	0.81	10.43	0.30	0.38	55%
83	F	LI-PIOMBINO-PARCO-VIII-MARZO	100	99	11.50	30.02	5.56	13.77	0.89	0.90	22.56	1.47	18.52	0.35	0.30	161%
29	F	LI-POGGIO-SAN-ROCCO	100	99	6.20	8.29	3.05	3.57	0.29	0.42	3.90	0.30	2.09	0.51	0.64	34%
32	F	LU-CAPANNORI	100	99	21.94	23.17	10.47	9.81	0.05	0.34	9.46	0.18	1.24	0.57	0.75	6%
69	F	LU-CARIGNANO	100	99	8.86	13.11	6.32	7.35	0.39	0.50	7.28	0.46	4.25	0.64	0.71	48%
88	F	LU-FORNOLI	100	99	12.15	12.23	6.43	5.97	0.01	0.36	5.91	0.24	0.08	0.55	0.74	1%
30	T	LU-MICHELETTO	99	99	26.54	21.45	11.01	10.21	-0.21	0.32	9.89	0.17	-5.09	0.68	0.78	-19%
86	F	LU-SAN-CONCORDIO	99	99	23.73	21.37	10.37	10.19	-0.10	0.29	8.69	0.15	-2.36	0.67	0.80	-10%
35	F	LU-VIAREGGIO	100	99	23.82	18.40	12.41	9.19	-0.26	0.36	10.11	0.23	-5.42	0.73	0.78	-23%
36	F	MS-COLOMBAROTTO	99	99	13.97	9.42	7.43	5.23	-0.39	0.56	8.58	0.56	-4.55	0.38	0.59	-33%
85	T	MS-MARINA-VECCHIA	100	99	17.99	20.39	9.15	10.53	0.12	0.44	10.67	0.31	2.40	0.45	0.67	13%
42	T	PI-BORGHETTO	100	99	32.60	23.92	12.38	9.33	-0.31	0.35	12.38	0.20	-8.68	0.70	0.71	-27%
46	F	PI-MONTECERBOLI	100	99	4.49	3.76	2.44	2.19	-0.18	0.40	2.10	0.26	-0.73	0.64	0.77	-16%
45	F	PI-PASSI	100	99	17.95	12.97	10.03	5.69	-0.32	0.40	9.00	0.35	-4.97	0.67	0.69	-28%
48	F	PI-SANTA-CROCE-COOP	100	99	21.88	19.12	11.52	9.18	-0.13	0.28	7.97	0.15	-2.76	0.76	0.84	-13%
50	T	PO-FERRUCCI	100	99	27.60	30.40	12.88	14.81	0.10	0.29	10.74	0.14	2.80	0.73	0.84	10%
52	F	PO-ROMA	100	99	29.14	30.43	16.72	14.82	0.04	0.36	13.76	0.21	1.29	0.63	0.79	4%
55	F	PT-MONTALE	100	99	17.50	13.66	10.21	9.75	-0.25	0.51	10.38	0.45	-3.84	0.53	0.71	-22%
57	F	PT-SIGNORELLI	99	99	21.85	20.22	11.38	12.51	-0.08	0.37	10.24	0.24	-1.63	0.64	0.80	-7%
84	T	SI-BRACCI	99	99	34.34	13.40	11.58	6.73	-0.88	0.88	22.72	1.12	-20.94	0.65	0.48	-61%
80	F	SI-POGGIBONSI	100	99	17.40	14.19	7.64	6.56	-0.20	0.34	6.93	0.19	-3.21	0.63	0.75	-18%

NO2- SKILL GIORN. (EST)																
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	100	9.51	9.73	3.17	6.95	0.02	0.55	6.54	0.46	0.22	0.35	0.5	2%
1	F	AR-CASA-STABBI	99	100	1.21	3.7	0.5	1.9	1.01	1.03	3.12	2.17	2.49	0.16	0.18	206%
4	T	AR-REPUBBLICA	99	100	25.99	15.93	5.81	7.81	-0.48	0.53	13.33	0.43	-10.06	0.2	0.42	-39%
5	F	FI-BASSI	99	100	13.53	20.07	5.5	10.98	0.39	0.53	11.31	0.47	6.53	0.54	0.55	48%
89	F	FI-FIGLINE	100	100	13.71	13.41	3.67	4.88	-0.02	0.25	4.24	0.1	-0.3	0.54	0.72	-2%
7	T	FI-GRAMSCI	98	100	53.72	24.66	13.91	11.35	-0.74	0.74	34.07	0.88	-29.06	0.01	0.37	-54%
8	T	FI-MOSSE	100	100	26.55	23.91	7.62	10.73	-0.1	0.34	10.66	0.18	-2.64	0.4	0.62	-10%
12	F	FI-SCANDICCI	100	100	18.89	18.88	6.56	8.16	0	0.34	8.57	0.21	-0.01	0.34	0.6	0%
10	F	FI-SETTIGNANO	99	100	4.93	13.56	2.11	8.07	0.93	0.96	11.05	1.82	8.63	0.64	0.3	175%
11	F	FI-SIGNA	93	100	12.14	13.73	3.66	5.23	0.12	0.27	4.68	0.13	1.59	0.55	0.7	13%
67	F	GR-MAREMMA	99	100	2.58	2.76	0.7	1.26	0.07	0.35	1.18	0.2	0.19	0.4	0.56	7%
20	T	GR-SONNINO	100	100	30.81	13.61	7.37	5.77	-0.77	0.77	18.61	0.83	-17.2	0.43	0.41	-56%
21	F	GR-URSS	99	100	12.62	8.18	3.36	4.04	-0.43	0.51	6.19	0.37	-4.44	0.33	0.48	-35%
22	F	LI-CAPPIELLO	99	100	12.16	24.67	5.13	14.9	0.68	0.72	17.95	1.07	12.51	0.53	0.39	103%
23	T	LI-CARDUCCI	100	100	38.66	54.16	11.52	26.05	0.33	0.49	28.26	0.38	15.5	0.42	0.47	40%
26	I	LI-COTONE	100	100	14.53	36.01	5.45	13.56	0.85	0.85	24.57	1.15	21.49	0.48	0.3	148%
82	F	LI-LAPIRA	100	100	16.11	35.54	5.32	21.49	0.75	0.81	27.49	1.32	19.42	0.48	0.29	121%
83	F	LI-PIOMBINO-PARCO-VIII-MARZO	100	100	9.76	36.01	4.52	13.56	1.15	1.15	28.7	2.34	26.25	0.56	0.25	269%
29	F	LI-POGGIO-SAN-ROCCO	100	100	5.65	8.06	1.74	3.44	0.35	0.42	3.79	0.31	2.41	0.53	0.52	43%
32	F	LU-CAPANNORI	100	100	15.37	18.14	5.27	5.75	0.17	0.33	6.68	0.16	2.78	0.39	0.6	18%
69	F	LU-CARIGNANO	99	100	5.68	9.27	2.45	3.19	0.48	0.55	4.83	0.44	3.58	0.36	0.47	63%
88	F	LU-FORNOLI	100	100	7.64	9.27	2.16	3.2	0.19	0.32	3.43	0.17	1.62	0.41	0.56	21%
30	T	LU-MICHELETTO	98	100	19.07	15.7	6.04	5.69	-0.19	0.29	6.5	0.14	-3.37	0.55	0.69	-18%
86	F	LU-SAN-CONCORDIO	100	100	16.85	15.61	5.17	5.68	-0.08	0.25	5.42	0.11	-1.24	0.53	0.71	-7%
35	F	LU-VIAREGGIO	100	100	16.96	13.97	6.25	5.97	-0.19	0.32	6.53	0.18	-2.99	0.55	0.72	-18%
36	F	MS-COLOMBAROTTO	99	100	9.38	8.87	4.6	4.17	-0.06	0.42	5.01	0.3	-0.51	0.35	0.61	-5%
85	T	MS-MARINA-VECCHIA	99	100	12.43	18.75	4.8	8.01	0.41	0.52	10.18	0.45	6.32	0.3	0.44	51%
42	T	PI-BORGHETTO	100	100	27.76	19.66	8.47	6.64	-0.34	0.37	10.63	0.21	-8.09	0.61	0.63	-29%
46	F	PI-MONTECERBOLI	99	100	3.79	2.74	1.37	1.01	-0.32	0.45	1.74	0.29	-1.06	0.35	0.53	-28%
45	F	PI-PASSI	100	100	12.08	10.02	3.78	3.37	-0.19	0.3	4.52	0.17	-2.07	0.37	0.6	-17%
48	F	PI-SANTA-CROCE-COOP	99	100	14	14.03	5.02	4.67	0	0.24	4.53	0.1	0.03	0.56	0.75	0%
50	T	PO-FERRUCCI	100	100	21.5	25.96	8.92	12.93	0.19	0.36	10.7	0.21	4.46	0.66	0.74	21%
52	F	PO-ROMA	99	100	19.05	26.01	7.95	12.94	0.31	0.45	12.69	0.33	6.96	0.57	0.63	37%
55	F	PT-MONTALE	100	100	11.43	10.99	3.89	7.79	-0.04	0.53	7.5	0.45	-0.43	0.32	0.51	-4%
57	F	PT-SIGNORELLI	98	100	15.58	15.54	6.61	8.98	0	0.44	9.3	0.36	-0.04	0.31	0.56	0%
84	T	SI-BRACCI	99	100	28.49	10.06	8.08	3.8	-0.96	0.96	19.94	1.39	-18.42	0.35	0.39	-65%
80	F	SI-POGGIBONSI	100	100	12.12	11.41	3.52	4	-0.06	0.28	4.18	0.13	-0.71	0.4	0.64	-6%

NO2- SKILL GIORN. (INV)

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	99	14.8	12.52	8.51	9.26	-0.17	0.65	16.46	1.46	-4.56	0.25	0.5	-15%
1	F	AR-CASA-STABBI	100	99	1.63	5.75	1.06	2.44	1.12	1.12	6.85	4.99	8.24	0.15	0.24	253%
4	T	AR-REPUBBLICA	100	99	30.89	20.46	8.96	10.52	-0.41	0.53	22.94	0.83	-20.85	0.27	0.46	-34%
5	F	FI-BASSI	99	99	20.76	27.3	12.25	13.73	0.27	0.6	25.67	1.16	13.1	0.22	0.48	32%
89	F	FI-FIGLINE	100	99	18.01	19.57	7.65	8.38	0.08	0.45	15.04	0.64	3.12	0.19	0.47	9%
7	T	FI-GRAMSCI	99	99	55.99	33.64	14.48	13.95	-0.5	0.55	40.38	0.87	-44.7	0.3	0.43	-40%
8	T	FI-MOSSE	100	99	35.76	35.4	14.67	13.98	-0.01	0.41	25.29	0.51	-0.71	0.31	0.53	-1%
12	F	FI-SCANDICCI	100	99	25.49	29.17	12.2	12.39	0.13	0.47	23.08	0.72	7.37	0.23	0.51	14%
10	F	FI-SETTIGNANO	99	99	7.11	18.45	5.18	11.01	0.89	0.95	22.36	3.81	22.68	0.32	0.34	159%
11	F	FI-SIGNA	96	99	18.68	24.05	10.42	11.3	0.25	0.55	21.4	1.02	10.22	0.15	0.45	29%
67	F	GR-MAREMMA	100	99	2.92	4.65	1.32	2.69	0.46	0.6	4.41	1.43	3.49	0.45	0.44	59%
20	T	GR-SONNINO	100	99	35.03	16.23	10.74	7.94	-0.73	0.77	31.68	1.76	-37.59	0.24	0.41	-54%
21	F	GR-URSS	99	99	16.79	10.49	7.24	5.23	-0.46	0.61	14.95	1.27	-12.48	0.12	0.44	-38%
22	F	LI-CAPPIELLO	99	99	15.53	21.97	8.58	12.81	0.34	0.58	21.02	1.29	12.97	0.37	0.5	41%
23	T	LI-CARDUCCI	79	99	41.11	33.45	13.87	16.32	-0.18	0.43	25	0.45	-10.62	0.37	0.55	-19%
26	I	LI-COTONE	98	99	14.31	23.82	6.07	11.16	0.5	0.62	21.72	1.38	19.46	0.2	0.35	66%
82	F	LI-LAPIRA	100	99	18.87	23.03	7.79	13.93	0.2	0.52	20.89	1	8.32	0.34	0.47	22%
83	F	LI-PIOMBINO-PARCO-VIII-MARZO	100	99	11.49	23.93	5.58	11.07	0.7	0.75	23.57	2.02	24.88	0.34	0.34	108%
29	F	LI-POGGIO-SAN-ROCCO	100	99	6.19	8.51	3.06	3.7	0.32	0.5	6.72	0.86	4.64	0.36	0.49	37%
32	F	LU-CAPANNORI	100	99	21.94	28.29	10.49	10.43	0.25	0.48	21.28	0.73	12.7	0.21	0.48	29%
69	F	LU-CARIGNANO	100	99	8.9	17.03	6.38	8.29	0.63	0.73	17.89	2.11	16.28	0.2	0.4	91%
88	F	LU-FORNOLI	100	99	12.15	15.24	6.42	6.61	0.23	0.53	13.12	0.93	6.19	0.13	0.44	25%
30	T	LU-MICHELETTO	99	99	26.65	27.23	11.05	10.47	0.02	0.44	20.44	0.58	1.22	0.13	0.47	2%
86	F	LU-SAN-CONCORDIO	99	99	23.83	27.23	10.39	10.47	0.13	0.45	20.32	0.64	6.77	0.14	0.47	14%
35	F	LU-VIAREGGIO	100	99	23.8	22.91	12.36	9.69	-0.04	0.47	19.27	0.68	-1.79	0.36	0.54	-4%
36	F	MS-COLOMBAROTTO	99	99	14.04	9.91	7.47	6.08	-0.35	0.67	14.31	1.47	-8.27	0.1	0.45	-29%
85	T	MS-MARINA-VECCHIA	100	99	18.04	22.05	9.16	12.38	0.2	0.52	20	1.01	8.03	0.33	0.52	22%
42	T	PI-BORGHETTO	100	99	32.55	28.27	12.4	9.68	-0.14	0.4	20.79	0.47	-8.58	0.29	0.5	-13%
46	F	PI-MONTECERBOLI	100	99	4.49	4.79	2.45	2.55	0.07	0.44	3.8	0.67	0.61	0.6	0.65	7%
45	F	PI-PASSI	100	99	17.91	15.98	9.99	6	-0.11	0.49	15.13	0.8	-3.87	0.29	0.48	-11%
48	F	PI-SANTA-CROCE-COOP	100	99	21.91	24.26	11.54	9.75	0.1	0.44	18.37	0.64	4.69	0.4	0.58	11%
50	T	PO-FERRUCCI	100	99	27.6	34.91	12.93	15.27	0.23	0.46	26.35	0.72	14.62	0.38	0.55	26%
52	F	PO-ROMA	100	99	29.23	34.81	16.82	15.26	0.17	0.52	29.12	0.83	11.19	0.34	0.55	19%
55	F	PT-MONTALE	100	99	17.5	16.37	10.24	10.76	-0.07	0.6	18.41	1.18	-2.26	0.33	0.55	-6%
57	F	PT-SIGNORELLI	99	99	21.84	24.88	11.41	13.85	0.13	0.54	22.82	0.96	6.11	0.32	0.53	14%
84	T	SI-BRACCI	99	99	34.33	16.8	11.6	7.34	-0.69	0.72	30.09	1.57	-35.06	0.35	0.44	-51%
80	F	SI-POGGIBONSI	100	99	17.39	17.02	7.62	7.4	-0.02	0.46	13.71	0.64	-0.75	0.23	0.51	-2%

PM10 - SKILL GIORN. (2019)																
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	17.76	14.84	9.27	9.44	-0.18	0.38	8.65	0.28	-2.92	0.62	0.76	-16%
1	F	AR-CASA-STABBI	98	99	10.13	12.03	6.64	6.38	0.17	0.48	6.81	0.38	1.90	0.49	0.69	19%
4	T	AR-REPUBBLICA	95	99	23.21	18.85	12.04	11.54	-0.21	0.38	10.73	0.26	-4.36	0.65	0.77	-19%
5	F	FI-BASSI	97	99	18.19	14.97	9.92	7.91	-0.19	0.37	8.75	0.28	-3.22	0.60	0.74	-18%
6	F	FI-BOBOLI	98	99	17.65	14.48	9.45	7.11	-0.20	0.36	8.03	0.25	-3.17	0.63	0.74	-18%
89	F	FI-FIGLINE	98	99	20.08	14.09	12.62	7.11	-0.35	0.47	12.01	0.51	-5.99	0.56	0.62	-30%
7	T	FI-GRAMSCI	95	99	26.89	15.76	11.00	8.04	-0.52	0.53	13.99	0.46	-11.13	0.64	0.60	-41%
8	T	FI-MOSSE	95	99	20.99	16.40	11.89	8.33	-0.25	0.40	10.41	0.32	-4.60	0.62	0.72	-22%
12	F	FI-SCANDICCI	98	99	20.34	15.09	11.58	7.32	-0.30	0.41	10.59	0.37	-5.25	0.61	0.67	-26%
11	F	FI-SIGNA	99	99	21.57	15.95	15.04	7.98	-0.30	0.41	12.90	0.48	-5.62	0.64	0.66	-26%
20	T	GR-SONNINO	96	99	24.04	17.30	9.57	9.43	-0.33	0.40	10.16	0.25	-6.74	0.68	0.73	-28%
21	F	GR-URSS	97	99	16.77	14.68	7.12	8.21	-0.13	0.32	6.52	0.17	-2.09	0.68	0.80	-12%
22	F	LI-CAPPIELLO	95	99	17.41	15.24	6.79	7.64	-0.13	0.33	6.85	0.18	-2.17	0.60	0.75	-12%
23	T	LI-CARDUCCI	98	99	22.99	16.22	8.08	7.64	-0.35	0.39	9.54	0.24	-6.77	0.63	0.68	-29%
26	I	LI-COTONE	98	99	16.35	15.86	7.74	8.62	-0.03	0.30	6.15	0.15	-0.49	0.72	0.85	-3%
82	F	LI-LAPIRA	94	99	17.87	14.94	7.29	7.10	-0.18	0.32	6.97	0.18	-2.94	0.61	0.75	-16%
83	F	LI-PIOMBINO-PARCO-VIII-MARZO	97	99	17.77	15.90	6.83	8.66	-0.11	0.31	6.58	0.15	-1.88	0.69	0.81	-11%
32	F	LU-CAPANNORI	99	99	27.35	19.21	21.34	10.00	-0.35	0.46	18.56	0.66	-8.14	0.65	0.64	-30%
88	F	LU-FORNOLI	98	99	23.21	19.87	11.57	11.81	-0.15	0.35	9.52	0.20	-3.33	0.71	0.82	-14%
30	T	LU-MICHELETTO	96	99	25.34	19.24	14.31	10.52	-0.27	0.37	11.40	0.27	-6.10	0.74	0.78	-24%
86	F	LU-SAN-CONCORDIO	98	99	23.56	19.35	13.54	10.46	-0.20	0.34	9.97	0.22	-4.21	0.74	0.82	-18%
35	F	LU-VIAREGGIO	97	99	23.65	19.61	11.39	10.70	-0.19	0.33	9.53	0.20	-4.04	0.70	0.80	-17%
36	F	MS-COLOMBAROTTO	95	99	19.02	16.37	8.11	8.61	-0.15	0.36	8.01	0.21	-2.65	0.59	0.75	-14%
85	T	MS-MARINA-VECCHIA	97	99	19.05	19.79	7.90	11.20	0.04	0.33	8.47	0.19	0.75	0.66	0.78	4%
42	T	PI-BORGHETTO	98	99	24.67	16.73	12.03	8.14	-0.38	0.43	11.86	0.34	-7.94	0.68	0.69	-32%
46	F	PI-MONTECERBOLI	96	99	11.53	12.77	6.08	6.53	0.10	0.36	5.62	0.21	1.24	0.62	0.78	11%
45	F	PI-PASSI	97	99	21.42	15.29	10.97	8.00	-0.33	0.42	11.07	0.37	-6.13	0.56	0.66	-29%
48	F	PI-SANTA-CROCE-COOP	98	99	24.00	17.51	13.94	8.71	-0.31	0.41	11.86	0.33	-6.49	0.71	0.72	-27%
50	T	PO-FERRUCCI	98	99	24.71	18.29	15.19	10.55	-0.30	0.40	12.89	0.37	-6.42	0.68	0.74	-26%
52	F	PO-ROMA	98	99	22.90	18.36	16.19	10.59	-0.22	0.39	12.88	0.39	-4.54	0.67	0.74	-20%
55	F	PT-MONTALE	92	99	23.26	15.08	16.12	8.87	-0.43	0.52	15.81	0.71	-8.18	0.54	0.61	-35%
57	F	PT-SIGNORELLI	98	99	18.75	19.71	11.21	13.44	0.05	0.36	9.27	0.23	0.96	0.73	0.84	5%
84	T	SI-BRACCI	98	99	18.33	14.75	7.71	7.79	-0.22	0.36	7.54	0.21	-3.58	0.63	0.76	-20%
80	F	SI-POGGIBONSI	96	99	18.43	15.28	7.42	7.55	-0.19	0.32	6.91	0.17	-3.16	0.66	0.77	-17%

PM10 - SKILL GIORN. (EST)																
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	100	15.2	12.2	7.07	8.21	-0.22	0.43	7.57	0.31	-3	0.59	0.74	-20%
1	F	AR-CASA-STABBI	98	100	11.25	11.32	7.23	7.47	0.01	0.48	7.07	0.39	0.07	0.53	0.73	1%
4	T	AR-REPUBBLICA	95	100	19.28	13.3	8.33	8.73	-0.37	0.47	9.69	0.37	-5.98	0.6	0.7	-31%
5	F	FI-BASSI	98	100	16.34	12.94	7.6	7.87	-0.23	0.42	7.98	0.3	-3.4	0.56	0.72	-21%
6	F	FI-BOBOLI	97	100	15.94	12.72	7.51	7.56	-0.22	0.38	6.76	0.23	-3.22	0.69	0.79	-20%
89	F	FI-FIGLINE	98	100	14.27	12.22	6.04	7.79	-0.15	0.4	6.73	0.26	-2.05	0.59	0.74	-14%
7	T	FI-GRAMSCI	94	100	23.56	13.32	7.26	7.73	-0.55	0.57	12.18	0.47	-10.23	0.61	0.58	-43%
8	T	FI-MOSSE	93	100	17.37	13.83	8.14	8.02	-0.23	0.43	8.15	0.28	-3.54	0.59	0.74	-20%
12	F	FI-SCANDICCI	99	100	16.99	13.02	7.37	7.56	-0.26	0.4	7.33	0.24	-3.97	0.66	0.76	-23%
11	F	FI-SIGNA	98	100	16.62	13.12	7.2	7.85	-0.24	0.38	7.03	0.23	-3.5	0.67	0.78	-21%
20	T	GR-SONNINO	97	100	21.99	14.09	9.28	9.82	-0.44	0.47	10.37	0.35	-7.9	0.75	0.74	-36%
21	F	GR-URSS	97	100	16.53	13.5	7.7	9.64	-0.2	0.37	7	0.22	-3.02	0.76	0.83	-18%
22	F	LI-CAPPIELLO	96	100	17.49	15.08	7.2	9.62	-0.15	0.36	7.42	0.21	-2.4	0.68	0.79	-14%
23	T	LI-CARDUCCI	97	100	21.76	16.02	7.41	9.51	-0.3	0.38	8.89	0.23	-5.74	0.7	0.74	-26%
26	I	LI-COTONE	98	100	17.59	16.24	9.31	10.88	-0.08	0.31	6.62	0.15	-1.35	0.8	0.89	-8%
82	F	LI-LAPIRA	95	100	17.17	14.79	7.31	8.8	-0.15	0.34	7	0.19	-2.37	0.68	0.8	-14%
83	F	LI-PIOMBINO-PARCO-VIII-MARZO	97	100	18.56	16.4	7.75	10.97	-0.12	0.31	6.98	0.16	-2.16	0.8	0.85	-12%
32	F	LU-CAPANNORI	99	100	17.09	14.38	6.09	8.19	-0.17	0.34	7.03	0.2	-2.71	0.62	0.74	-16%
88	F	LU-FORNOLI	98	100	17.06	12.84	6.32	8.56	-0.28	0.44	7.79	0.28	-4.21	0.65	0.73	-25%
30	T	LU-MICHELETTO	97	100	19.64	13.91	7.4	8.38	-0.34	0.42	8.85	0.29	-5.73	0.64	0.71	-29%
86	F	LU-SAN-CONCORDIO	98	100	17.59	14	7.03	8.47	-0.23	0.38	7.43	0.22	-3.6	0.66	0.76	-20%
35	F	LU-VIAREGGIO	98	100	19.29	14.88	6.67	9.87	-0.26	0.4	8.61	0.26	-4.41	0.66	0.73	-23%
36	F	MS-COLOMBAROTTO	95	100	17.98	14.25	8.06	8.75	-0.23	0.43	8.63	0.29	-3.73	0.57	0.72	-21%
85	T	MS-MARINA-VECCHIA	96	100	17.06	15.13	7.26	9.39	-0.12	0.37	7.78	0.23	-1.93	0.61	0.76	-11%
42	T	PI-BORGHETTO	99	100	21.79	14.77	8.11	9.03	-0.38	0.45	10	0.31	-7.02	0.66	0.7	-32%
46	F	PI-MONTECERBOLI	97	100	12.53	12.53	7.07	7.96	0	0.37	5.95	0.23	0.01	0.69	0.83	0%
45	F	PI-PASSI	96	100	18.71	14.06	7.12	9.64	-0.28	0.42	9	0.31	-4.65	0.61	0.71	-25%
48	F	PI-SANTA-CROCE-COOP	97	100	19.15	14.17	8.18	8.31	-0.3	0.42	8.49	0.27	-4.98	0.65	0.74	-26%
50	T	PO-FERRUCCI	99	100	20.48	13.88	8.3	8.59	-0.38	0.46	9.82	0.34	-6.59	0.63	0.71	-32%
52	F	PO-ROMA	98	100	17.94	13.92	7.92	8.62	-0.25	0.4	7.97	0.25	-4.02	0.65	0.77	-22%
55	F	PT-MONTALE	87	100	17.32	13.02	7.63	8.81	-0.28	0.44	8.52	0.32	-4.3	0.6	0.73	-25%
57	F	PT-SIGNORELLI	98	100	15.82	13.53	7.94	8.98	-0.16	0.42	7.75	0.28	-2.29	0.62	0.77	-14%
84	T	SI-BRACCI	98	100	17.48	12.52	7.79	8.28	-0.33	0.46	8.37	0.32	-4.95	0.65	0.74	-28%
80	F	SI-POGGIBONSI	95	100	16.73	12.97	6.67	7.99	-0.25	0.42	7.6	0.27	-3.76	0.6	0.73	-22%

PM10 - SKILL GIORN. (INV)																
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	17.77	17.55	9.3	9.87	-0.01	0.45	15.59	0.78	-0.44	0.48	0.59	-1%
1	F	AR-CASA-STABBI	98	99	10.1	12.72	6.65	4.92	0.23	0.54	10.99	0.94	5.19	0.3	0.49	26%
4	T	AR-REPUBBLICA	95	99	23.26	24.51	12.08	11.46	0.05	0.44	19.85	0.69	2.29	0.38	0.56	5%
5	F	FI-BASSI	97	99	18.25	17.05	9.96	7.39	-0.07	0.43	14.77	0.7	-2.43	0.44	0.56	-7%
6	F	FI-BOBOLI	98	99	17.65	16.16	9.48	6.11	-0.09	0.4	13.32	0.62	-3.03	0.5	0.56	-8%
89	F	FI-FIGLINE	98	99	20.08	15.89	12.67	5.66	-0.23	0.48	17.79	0.99	-8.41	0.51	0.5	-21%
7	T	FI-GRAMSCI	95	99	26.94	18.23	11.04	7.59	-0.39	0.51	20.27	0.84	-17.09	0.38	0.48	-32%
8	T	FI-MOSSE	95	99	20.97	18.97	11.97	7.83	-0.1	0.44	17.48	0.77	-4	0.43	0.54	-10%
12	F	FI-SCANDICCI	98	99	20.25	17.23	11.52	6.41	-0.16	0.43	16.67	0.8	-6.04	0.44	0.51	-15%
11	F	FI-SIGNA	99	99	21.6	18.78	15.09	7.07	-0.14	0.45	19.93	0.98	-5.64	0.57	0.52	-13%
20	T	GR-SONNINO	96	99	24.09	20.43	9.58	7.75	-0.16	0.41	17.03	0.59	-7.15	0.17	0.46	-15%
21	F	GR-URSS	97	99	16.78	15.91	7.15	6.21	-0.05	0.38	12.19	0.56	-1.77	0.27	0.48	-5%
22	F	LI-CAPPIELLO	95	99	17.4	15.18	6.8	4.85	-0.14	0.36	10.79	0.44	-4.37	0.32	0.51	-13%
23	T	LI-CARDUCCI	98	99	22.99	16.34	8.1	5.08	-0.34	0.41	14.52	0.56	-13.3	0.52	0.53	-29%
26	I	LI-COTONE	98	99	16.33	15.44	7.76	5.4	-0.06	0.36	11.89	0.56	-1.79	0.32	0.48	-5%
82	F	LI-LAPIRA	94	99	17.88	15.01	7.3	4.79	-0.17	0.35	10.96	0.45	-5.71	0.49	0.56	-16%
83	F	LI-PIOMBINO-PARCO-VIII-MARZO	97	99	17.78	15.33	6.86	5.43	-0.15	0.36	11.81	0.51	-4.89	0.24	0.47	-14%
32	F	LU-CAPANNORI	99	99	27.37	24.1	21.47	9.29	-0.13	0.53	29.3	1.3	-6.59	0.46	0.47	-12%
88	F	LU-FORNOLI	98	99	23.17	26.95	11.59	10.24	0.15	0.41	18.98	0.58	7.56	0.43	0.57	16%
30	T	LU-MICHELETTO	96	99	25.49	24.6	14.53	9.58	-0.04	0.42	19.9	0.63	-1.82	0.51	0.59	-3%
86	F	LU-SAN-CONCORDIO	98	99	23.59	24.64	13.57	9.55	0.04	0.41	18.4	0.58	2.1	0.58	0.63	4%
35	F	LU-VIAREGGIO	97	99	23.6	24.57	11.36	9.17	0.05	0.37	16.25	0.46	2.41	0.6	0.65	4%
36	F	MS-COLOMBAROTTO	95	99	19.04	18.3	8.14	7.93	-0.05	0.41	13.85	0.55	-1.75	0.29	0.52	-4%
85	T	MS-MARINA-VECCHIA	97	99	19.08	24.27	7.94	10.79	0.24	0.44	17.69	0.68	10.13	0.39	0.51	27%
42	T	PI-BORGHETTO	98	99	24.72	18.74	12.08	6.53	-0.28	0.41	17.34	0.65	-11.93	0.66	0.57	-24%
46	F	PI-MONTECERBOLI	96	99	11.5	12.91	6.08	4.59	0.12	0.39	9.41	0.6	2.78	0.38	0.49	12%
45	F	PI-PASSI	97	99	21.47	16.48	11.04	5.65	-0.26	0.44	16.35	0.76	-9.9	0.5	0.52	-23%
48	F	PI-SANTA-CROCE-COOP	98	99	24.06	20.77	14	7.83	-0.15	0.45	19.48	0.76	-6.57	0.5	0.54	-14%
50	T	PO-FERRUCCI	98	99	24.82	22.83	15.27	10.48	-0.08	0.46	22.49	0.89	-4.05	0.42	0.54	-8%
52	F	PO-ROMA	98	99	22.94	22.81	16.25	10.51	-0.01	0.47	22.43	0.96	-0.26	0.5	0.57	-1%
55	F	PT-MONTALE	92	99	23.31	17.07	16.17	8.52	-0.31	0.56	24.08	1.46	-12.25	0.39	0.49	-27%
57	F	PT-SIGNORELLI	98	99	18.76	25.94	11.25	14.31	0.32	0.5	21.95	0.99	14.35	0.62	0.62	38%
84	T	SI-BRACCI	98	99	18.3	16.99	7.72	6.59	-0.07	0.36	12.22	0.48	-2.67	0.42	0.57	-7%
80	F	SI-POGGIBONSI	96	99	18.48	17.51	7.5	6.36	-0.05	0.33	11.03	0.38	-1.88	0.54	0.62	-5%

PM2.5 - SKILL GIORN. (2019)																
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	11.7	10.61	7.64	7.51	-0.1	0.43	6.84	0.38	-1.09	0.6	0.76	-9%
5	F	FI-BASSI	97	99	11.62	10.76	7.44	5.94	-0.08	0.39	6.3	0.32	-0.86	0.58	0.74	-7%
7	T	FI-GRAMSCI	95	99	15.37	11.61	8.14	6.31	-0.28	0.39	7.46	0.31	-3.76	0.63	0.72	-24%
21	F	GR-URSS	96	99	9.25	9.38	3.81	4.65	0.01	0.39	4.64	0.25	0.13	0.41	0.64	1%
22	F	LI-CAPPIELLO	95	99	8.99	9.72	4.18	4.41	0.08	0.37	4.38	0.22	0.74	0.49	0.69	8%
23	T	LI-CARDUCCI	98	99	12.3	10.84	5.4	4.62	-0.13	0.3	4.7	0.17	-1.46	0.61	0.76	-12%
29	F	LI-POGGIO-SAN-ROCCO	95	99	7.81	8.23	4.01	3.78	0.05	0.38	4.04	0.25	0.42	0.47	0.68	5%
32	F	LU-CAPANNORI	99	99	19.8	14.44	20.75	8.36	-0.31	0.51	16.76	0.98	-5.36	0.71	0.65	-27%
35	F	LU-VIAREGGIO	97	99	13.91	14.38	8.84	8.86	0.03	0.32	5.72	0.16	0.47	0.79	0.89	3%
85	T	MS-MARINA-VECCHIA	97	99	11.28	14.51	5.77	9.61	0.25	0.45	8.13	0.4	3.23	0.63	0.7	29%
42	T	PI-BORGHETTO	98	99	15.71	11.64	9.56	5.82	-0.3	0.39	7.72	0.33	-4.07	0.74	0.75	-26%
45	F	PI-PASSI	96	99	12.18	10.21	8.63	4.85	-0.18	0.38	6.7	0.36	-1.97	0.68	0.73	-16%
50	T	PO-FERRUCCI	98	99	15.21	13.87	12.51	8.69	-0.09	0.4	9.28	0.41	-1.34	0.68	0.78	-9%
52	F	PO-ROMA	98	99	15.06	13.94	13.82	8.75	-0.08	0.43	10.39	0.51	-1.12	0.66	0.75	-7%
55	F	PT-MONTALE	92	99	16.13	10.79	14.03	6.53	-0.4	0.54	12.88	0.95	-5.34	0.56	0.59	-33%
80	F	SI-POGGIBONSI	96	99	11.61	10.59	5.62	5.65	-0.09	0.34	4.9	0.2	-1.01	0.64	0.79	-9%
PM2.5 - SKILL GIORN. (EST)																
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	100	9.06	7.61	3.65	3.29	-0.17	0.46	4.83	0.34	-1.44	0.12	0.47	-16%
5	F	FI-BASSI	98	100	9.82	8.46	4.02	3.44	-0.15	0.42	4.8	0.28	-1.36	0.24	0.54	-14%
7	T	FI-GRAMSCI	94	100	12.67	8.84	4.01	3.41	-0.36	0.45	6.14	0.34	-3.84	0.17	0.48	-30%
21	F	GR-URSS	97	100	9.33	7.7	3.53	3.16	-0.19	0.44	4.69	0.31	-1.63	0.13	0.48	-17%
22	F	LI-CAPPIELLO	96	100	9.38	8.95	4.15	3.38	-0.05	0.37	4.26	0.22	-0.43	0.38	0.62	-5%
23	T	LI-CARDUCCI	97	100	11.61	10.03	4.27	3.84	-0.15	0.34	4.7	0.19	-1.58	0.4	0.63	-14%
29	F	LI-POGGIO-SAN-ROCCO	96	100	8.34	7.99	4.07	3.21	-0.04	0.4	4.25	0.27	-0.35	0.34	0.59	-4%
32	F	LU-CAPANNORI	99	100	9.98	9.34	3.91	3.62	-0.07	0.35	4.26	0.19	-0.64	0.37	0.62	-6%
35	F	LU-VIAREGGIO	98	100	10.66	8.98	3.83	3.51	-0.17	0.37	4.64	0.22	-1.68	0.3	0.57	-16%
85	T	MS-MARINA-VECCHIA	96	100	9.62	9.45	3.91	3.74	-0.02	0.39	4.79	0.25	-0.17	0.21	0.52	-2%
42	T	PI-BORGHETTO	99	100	13.22	9.2	4.66	3.31	-0.36	0.43	6.19	0.32	-4.03	0.34	0.54	-30%
45	F	PI-PASSI	96	100	9.68	8.48	3.84	3.21	-0.13	0.38	4.34	0.23	-1.2	0.31	0.57	-12%
50	T	PO-FERRUCCI	99	100	11.1	9.25	4.58	3.75	-0.18	0.41	5.35	0.28	-1.85	0.28	0.56	-17%
52	F	PO-ROMA	98	100	10.32	9.27	4.44	3.77	-0.11	0.41	5.1	0.27	-1.05	0.27	0.55	-10%
55	F	PT-MONTALE	87	100	10.48	8.3	4.47	3.6	-0.23	0.45	5.5	0.35	-2.18	0.23	0.52	-21%
80	F	SI-POGGIBONSI	95	100	9.99	7.9	3.67	3.09	-0.23	0.44	4.91	0.31	-2.09	0.14	0.49	-21%
PM2.5 - SKILL GIORN. (INV)																
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	11.71	13.68	7.67	9.19	0.16	0.53	13.78	1.19	3.95	0.52	0.59	17%
5	F	FI-BASSI	97	99	11.67	13.12	7.5	6.95	0.12	0.48	11.89	0.92	2.91	0.49	0.58	12%
7	T	FI-GRAMSCI	95	99	15.42	14.32	8.19	7.22	-0.08	0.44	12.46	0.7	-2.19	0.49	0.59	-7%
21	F	GR-URSS	96	99	9.27	11.14	3.84	5.29	0.19	0.42	8.2	0.65	3.95	0.47	0.56	20%
22	F	LI-CAPPIELLO	95	99	8.97	10.45	4.18	5.09	0.15	0.41	7.29	0.57	2.86	0.59	0.64	16%
23	T	LI-CARDUCCI	98	99	12.29	11.51	5.41	5.1	-0.07	0.36	7.92	0.44	-1.57	0.62	0.67	-6%
29	F	LI-POGGIO-SAN-ROCCO	95	99	7.8	8.45	4.01	4.36	0.08	0.43	6.58	0.66	1.31	0.55	0.63	8%
32	F	LU-CAPANNORI	99	99	19.81	19.61	20.86	8.64	-0.01	0.66	27.79	1.99	-0.41	0.49	0.48	-1%
35	F	LU-VIAREGGIO	97	99	14.04	20	9.05	9.23	0.36	0.5	15.98	0.91	12.67	0.71	0.65	42%
85	T	MS-MARINA-VECCHIA	97	99	11.31	19.38	5.81	10.85	0.52	0.62	18.21	1.51	15.81	0.52	0.47	71%
42	T	PI-BORGHETTO	98	99	15.77	14.17	9.63	6.68	-0.11	0.41	12.07	0.65	-3.2	0.73	0.68	-10%
45	F	PI-PASSI	96	99	12.24	11.96	8.72	5.55	-0.02	0.44	11.1	0.84	-0.55	0.66	0.64	-2%
50	T	PO-FERRUCCI	98	99	15.31	18.61	12.61	9.72	0.19	0.56	19.04	1.27	6.62	0.48	0.57	22%
52	F	PO-ROMA	98	99	15.09	18.63	13.87	9.76	0.21	0.56	19.73	1.38	7.09	0.55	0.59	23%
55	F	PT-MONTALE	92	99	16.21	13.15	14.09	7.72	-0.21	0.59	20.02	1.88	-5.97	0.41	0.49	-19%
80	F	SI-POGGIBONSI	96	99	11.65	13.23	5.73	6.33	0.13	0.4	9.49	0.58	3.13	0.58	0.64	14%

O3 - SKILL GIORN. (2019)																
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	99	54.61	73.85	24.08	18.95	0.3	0.31	23.47	0.14	19.24	0.83	0.76	35%
1	F	AR-CASA-STABBI	100	99	70.38	83.14	18.6	18.31	0.17	0.21	20.33	0.07	12.76	0.63	0.71	18%
10	F	FI-SETTIGNANO	99	99	64.07	70.57	22.3	22	0.1	0.16	14.02	0.04	6.5	0.84	0.9	10%
11	F	FI-SIGNA	99	99	50.91	66.7	27.07	24.75	0.27	0.3	20.67	0.13	15.79	0.87	0.85	31%
67	F	GR-MAREMMA	100	99	78.17	81.82	17.82	18.47	0.05	0.12	12.29	0.02	3.65	0.79	0.88	5%
29	F	LI-POGGIO-SAN-ROCCO	100	99	83.1	80.51	18.94	18.5	-0.03	0.1	10.06	0.02	-2.59	0.87	0.92	-3%
69	F	LU-CARIGNANO	99	99	66.94	75.16	23.95	24.04	0.12	0.17	14.88	0.04	8.23	0.87	0.9	12%
46	F	PI-MONTECERBOLI	100	99	75.93	85.96	19.7	19.27	0.12	0.16	15.67	0.04	10.03	0.81	0.84	13%
45	F	PI-PASSI	98	99	51.32	74.54	20.56	21.96	0.37	0.38	26.65	0.19	23.22	0.81	0.7	45%
48	F	PI-SANTA-CROCE-COOP	98	99	40.95	65.79	22.08	24.28	0.47	0.47	27.45	0.28	24.84	0.88	0.73	61%
55	F	PT-MONTALE	100	99	50.35	73.56	27.29	22.35	0.37	0.39	27.54	0.2	23.21	0.84	0.76	46%

O3 - SKILL GIORN. (EST)																
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	99	54.61	73.85	24.08	18.95	0.3	0.31	23.47	0.14	19.24	0.83	0.76	35%
1	F	AR-CASA-STABBI	100	99	70.38	83.14	18.6	18.31	0.17	0.21	20.33	0.07	12.76	0.63	0.71	18%
10	F	FI-SETTIGNANO	99	99	64.07	70.57	22.3	22	0.1	0.16	14.02	0.04	6.5	0.84	0.9	10%
11	F	FI-SIGNA	99	99	50.91	66.7	27.07	24.75	0.27	0.3	20.67	0.13	15.79	0.87	0.85	31%
67	F	GR-MAREMMA	100	99	78.17	81.82	17.82	18.47	0.05	0.12	12.29	0.02	3.65	0.79	0.88	5%
29	F	LI-POGGIO-SAN-ROCCO	100	99	83.1	80.51	18.94	18.5	-0.03	0.1	10.06	0.02	-2.59	0.87	0.92	-3%
69	F	LU-CARIGNANO	99	99	66.94	75.16	23.95	24.04	0.12	0.17	14.88	0.04	8.23	0.87	0.9	12%
46	F	PI-MONTECERBOLI	100	99	75.93	85.96	19.7	19.27	0.12	0.16	15.67	0.04	10.03	0.81	0.84	13%
45	F	PI-PASSI	98	99	51.32	74.54	20.56	21.96	0.37	0.38	26.65	0.19	23.22	0.81	0.7	45%
48	F	PI-SANTA-CROCE-COOP	98	99	40.95	65.79	22.08	24.28	0.47	0.47	27.45	0.28	24.84	0.88	0.73	61%
55	F	PT-MONTALE	100	99	50.35	73.56	27.29	22.35	0.37	0.39	27.54	0.2	23.21	0.84	0.76	46%

O3 - SKILL GIORN. (INV)																
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	99	54.52	60.6	23.85	14.34	0.11	0.39	38.2	0.44	12.16	0.16	0.42	11%
1	F	AR-CASA-STABBI	100	99	70.26	69.83	18.37	12.21	-0.01	0.23	29.67	0.18	-0.85	0.14	0.46	-1%
10	F	FI-SETTIGNANO	99	99	63.89	54.36	22.03	15.14	-0.16	0.36	38.4	0.42	-19.12	0.14	0.46	-15%
11	F	FI-SIGNA	99	99	50.84	47.5	26.92	17.49	-0.07	0.5	43.39	0.78	-6.87	0.15	0.46	-7%
67	F	GR-MAREMMA	100	99	78.12	68	17.7	11.84	-0.14	0.23	31.38	0.19	-20.35	0.22	0.49	-13%
29	F	LI-POGGIO-SAN-ROCCO	100	99	83.05	66.39	18.78	11.31	-0.22	0.27	37.11	0.25	-33.32	0.23	0.5	-20%
69	F	LU-CARIGNANO	99	99	66.92	56.33	23.68	15.7	-0.17	0.37	41.8	0.46	-21.38	0.09	0.45	-16%
46	F	PI-MONTECERBOLI	100	99	75.84	71.77	19.48	12.48	-0.06	0.23	31.41	0.18	-8.14	0.17	0.48	-5%
45	F	PI-PASSI	98	99	51.29	56.81	20.42	13.06	0.1	0.36	33.55	0.39	10.86	0.16	0.41	11%
48	F	PI-SANTA-CROCE-COOP	98	99	40.95	46.09	21.79	15.88	0.12	0.5	36.82	0.72	10.13	0.16	0.44	13%
55	F	PT-MONTALE	100	99	50.29	57.45	27.09	16.62	0.13	0.5	44.39	0.68	14.34	0.12	0.41	14%

O3 - SKILL MM8 (2019)																
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	96	77.05	88.26	28.68	22.28	0.14	0.16	18.06	0.05	11.21	0.87	0.88	15%
1	F	AR-CASA-STABBI	99	96	86.05	93.3	20.63	21.37	0.08	0.13	15.33	0.03	7.25	0.79	0.86	8%
10	F	FI-SETTIGNANO	96	96	83.49	89.14	28.32	27.8	0.07	0.12	14.16	0.03	5.66	0.89	0.93	7%
11	F	FI-SIGNA	98	96	73.25	87.63	33.99	31.3	0.18	0.2	20.04	0.06	14.38	0.91	0.91	20%
67	F	GR-MAREMMA	99	96	93.93	94.83	21.2	22.34	0.01	0.08	9.6	0.01	0.9	0.9	0.95	1%
29	F	LI-POGGIO-SAN-ROCCO	100	96	94.32	92.2	21.67	23.05	-0.02	0.09	10.32	0.01	-2.11	0.9	0.94	-2%
69	F	LU-CARIGNANO	98	96	88.47	91.76	28.73	28.88	0.04	0.11	12.05	0.02	3.29	0.92	0.95	4%
46	F	PI-MONTECERBOLI	98	96	90.55	96.87	22.22	21.89	0.07	0.11	13.16	0.02	6.32	0.86	0.91	7%
45	F	PI-PASSI	97	96	75.63	89.1	26.15	26.57	0.16	0.18	17.81	0.05	13.47	0.9	0.89	18%
48	F	PI-SANTA-CROCE-COOP	97	96	63.97	86.46	30.06	31.93	0.3	0.3	25.9	0.12	22.49	0.92	0.84	35%
55	F	PT-MONTALE	98	96	74.88	90.82	35.31	26.79	0.19	0.22	22.86	0.08	15.94	0.9	0.87	21%
					82.0	90.9	27.00	25.84	0.11	0.15	16.30	0.04	8.98	0.89	0.90	11%

O3 - SKILL MM8 (EST)																
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	97	97.43	104.18	17.32	15.45	0.07	0.1	12.71	0.02	6.75	0.79	0.84	7%
1	F	AR-CASA-STABBI	99	97	98.15	107.96	16.92	15.74	0.1	0.13	16.31	0.03	9.82	0.68	0.75	10%
10	F	FI-SETTIGNANO	96	97	102.57	109.58	21.61	18.75	0.07	0.11	14.44	0.02	7.01	0.81	0.87	7%
11	F	FI-SIGNA	100	97	97.4	110.95	19.61	19.23	0.13	0.14	17.34	0.03	13.55	0.84	0.82	14%
67	F	GR-MAREMMA	98	97	108.4	111.86	15.02	15.49	0.03	0.07	10.45	0.01	3.46	0.79	0.88	3%
29	F	LI-POGGIO-SAN-ROCCO	100	97	109.05	109.68	15.98	16.48	0.01	0.08	10.34	0.01	0.63	0.8	0.89	1%
69	F	LU-CARIGNANO	99	97	108.56	113.57	19.77	19.58	0.05	0.09	11.42	0.01	5.01	0.86	0.91	5%
46	F	PI-MONTECERBOLI	99	97	105.75	112.79	16.24	15.71	0.06	0.1	13.11	0.01	7.04	0.76	0.83	7%
45	F	PI-PASSI	99	97	94.13	109.16	15.72	18.26	0.15	0.15	18.24	0.03	15.03	0.82	0.76	16%
48	F	PI-SANTA-CROCE-COOP	97	97	86.62	111.42	16.41	19.21	0.25	0.25	26.99	0.08	24.81	0.83	0.64	29%
55	F	PT-MONTALE	99	97	101.9	110.44	20.24	18.35	0.08	0.11	13.94	0.02	8.54	0.84	0.87	8%
					100.9	110.1	17.71	17.48	0.09	0.12	15.03	0.02	9.24	0.80	0.82	9%

O3 - SKILL MM8 (INV)																
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	95	76.95	71.68	28.73	15.03	-0.07	0.33	44.17	0.35	-10.68	0.17	0.43	-7%
1	F	AR-CASA-STABBI	99	95	85.81	78.3	20.46	15.02	-0.09	0.23	35.43	0.19	-15.01	0.16	0.49	-9%
10	F	FI-SETTIGNANO	96	95	83.39	68.21	28.04	17.87	-0.2	0.34	48.95	0.42	-30.37	0.19	0.5	-18%
11	F	FI-SIGNA	98	95	73.27	62.92	33.75	20.93	-0.15	0.43	53.8	0.63	-21.23	0.25	0.5	-14%
67	F	GR-MAREMMA	99	95	93.91	77.63	21.31	13.09	-0.19	0.23	38.96	0.21	-32.76	0.34	0.54	-17%
29	F	LI-POGGIO-SAN-ROCCO	100	95	94.42	74.12	21.76	12.52	-0.24	0.28	43.8	0.27	-40.82	0.22	0.49	-21%
69	F	LU-CARIGNANO	98	95	88.65	68.68	28.65	16.17	-0.26	0.36	52.79	0.46	-40.64	0.16	0.48	-23%
46	F	PI-MONTECERBOLI	98	95	90.37	80.12	22.19	13.23	-0.12	0.23	37.53	0.19	-20.03	0.13	0.48	-11%
45	F	PI-PASSI	97	95	75.39	67.56	26.42	14.44	-0.11	0.31	40.68	0.32	-16.59	0.3	0.5	-10%
48	F	PI-SANTA-CROCE-COOP	97	95	63.76	60.17	29.93	19.19	-0.06	0.43	46.85	0.57	-7.96	0.25	0.48	-6%
55	F	PT-MONTALE	98	95	74.59	70.22	35.3	16.58	-0.06	0.44	53.55	0.55	-9	0.14	0.4	-6%

O3 - SKILL hour. (2019)																
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	54.61	74.01	32.5	24.17	0.3	0.37	29.85	0.22	19.4	0.72	0.75	36%
1	F	AR-CASA-STABBI	95	99	70.37	83.34	24.46	20.95	0.17	0.25	25.52	0.11	12.97	0.54	0.69	18%
10	F	FI-SETTIGNANO	93	99	64.07	70.67	29.34	29.77	0.1	0.24	21.22	0.1	6.61	0.77	0.86	10%
11	F	FI-SIGNA	95	99	51.01	66.87	35.47	32.3	0.27	0.36	27.22	0.22	15.87	0.79	0.84	31%
67	F	GR-MAREMMA	95	99	78.09	82.14	24.02	22.61	0.05	0.16	17.94	0.05	4.05	0.72	0.84	5%
29	F	LI-POGGIO-SAN-ROCCO	96	99	83.08	80.7	21.95	22.13	-0.03	0.14	14.83	0.03	-2.38	0.78	0.88	-3%
69	F	LU-CARIGNANO	94	99	67.05	75.46	31.89	29.28	0.12	0.25	22.61	0.1	8.41	0.77	0.86	13%
46	F	PI-MONTECERBOLI	95	99	75.99	86.2	24.51	22.02	0.13	0.2	20.75	0.07	10.21	0.7	0.8	13%
45	F	PI-PASSI	93	99	51.42	74.8	31.26	26.48	0.37	0.41	32.3	0.27	23.39	0.71	0.74	45%
48	F	PI-SANTA-CROCE-COOP	93	99	40.84	66.31	31.84	31.7	0.48	0.51	32.24	0.38	25.47	0.81	0.78	62%
55	F	PT-MONTALE	95	99	50.23	73.87	36.7	28.79	0.38	0.44	34.22	0.32	23.63	0.74	0.76	47%

O3 - SKILL hour. (EST)																
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	98	71.88	87.51	28.33	20.6	0.2	0.27	27.58	0.12	15.63	0.61	0.71	22%
1	F	AR-CASA-STABBI	95	98	78.65	96.77	25.79	17.14	0.21	0.26	29.87	0.12	18.12	0.45	0.6	23%
10	F	FI-SETTIGNANO	93	98	78.25	87.34	28.37	26.62	0.11	0.2	21.32	0.07	9.09	0.76	0.84	12%
11	F	FI-SIGNA	96	98	70.43	86.26	30.95	26.6	0.2	0.27	26.67	0.12	15.83	0.73	0.79	22%
67	F	GR-MAREMMA	94	98	89.28	96.35	23.59	19.76	0.08	0.16	20.73	0.05	7.07	0.61	0.76	8%
29	F	LI-POGGIO-SAN-ROCCO	96	98	95.42	94.9	19.43	19.16	-0.01	0.13	15.54	0.03	-0.52	0.68	0.82	-1%
69	F	LU-CARIGNANO	95	98	83.67	94.25	29.27	23.51	0.12	0.2	23.2	0.07	10.58	0.71	0.8	13%
46	F	PI-MONTECERBOLI	95	98	88.71	100.44	22.7	18.06	0.12	0.19	22.66	0.06	11.73	0.57	0.7	13%
45	F	PI-PASSI	95	99	65.82	92.12	29.6	21.48	0.33	0.36	34.56	0.2	26.3	0.66	0.67	40%
48	F	PI-SANTA-CROCE-COOP	94	98	57.41	86.2	30.62	26.26	0.4	0.42	35.13	0.25	28.79	0.76	0.71	50%
55	F	PT-MONTALE	95	98	71.03	90.2	34.05	24.97	0.24	0.3	31.59	0.16	19.17	0.68	0.74	27%

O3 - SKILL hour. (INV)																
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	99	53.72	67.21	34.19	21.21	0.22	0.55	55.86	0.86	26.88	0.24	0.46	25%
1	F	AR-CASA-STABBI	95	99	68.39	76.21	24.76	18.18	0.11	0.33	42.29	0.34	15.64	0.19	0.44	11%
10	F	FI-SETTIGNANO	93	99	63.24	61	31.54	25.88	-0.04	0.45	51.57	0.69	-5.48	0.33	0.53	-4%
11	F	FI-SIGNA	93	99	52.83	50.92	37.82	28.21	-0.04	0.67	62.63	1.46	-4.72	0.21	0.48	-4%
67	F	GR-MAREMMA	94	99	76.79	74.79	25.5	20.19	-0.03	0.29	40.66	0.29	-4.08	0.33	0.52	-3%
29	F	LI-POGGIO-SAN-ROCCO	95	99	81.19	74.2	23.65	18.56	-0.09	0.28	39.92	0.26	-14.36	0.27	0.5	-9%
69	F	LU-CARIGNANO	94	99	67.53	62.11	33.26	25.69	-0.09	0.46	54.1	0.7	-11.36	0.3	0.51	-8%
46	F	PI-MONTECERBOLI	94	99	76.19	78.34	24.46	19.05	0.03	0.3	41.62	0.29	4.29	0.16	0.44	3%
45	F	PI-PASSI	95	99	50.38	65.08	31.84	22.06	0.25	0.57	55.88	0.95	29.55	0.18	0.45	29%
48	F	PI-SANTA-CROCE-COOP	94	99	41.94	52.52	33.08	26.67	0.22	0.68	55.31	1.39	20.84	0.34	0.53	25%
55	F	PT-MONTALE	94	99	50.57	65.61	36.88	25.1	0.25	0.63	62.78	1.19	30.03	0.21	0.48	30%

SO2- SKILL GIORN. (2019)																
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	0.69	1.5	0.72	1.02	0.73	0.99	1.44	1.98	0.8	0.09	0.38	117%
82	F	LI-LAPIRA	100	99	0.91	7.35	0.85	6.32	1.56	1.57	8.95	12.04	6.45	0.18	0.13	708%
32	F	LU-CAPANNORI	99	99	0.83	1.79	0.72	0.88	0.73	0.95	1.55	1.62	0.96	-0.14	0.31	116%
SO2- SKILL GIORN. (EST)																
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	100	1.06	1.41	0.79	0.99	0.29	0.69	1.14	0.86	0.36	0.28	0.54	33%
82	F	LI-LAPIRA	100	100	0.97	8.92	0.89	6.63	1.61	1.61	10.24	12.14	7.95	0.25	0.12	820%
32	F	LU-CAPANNORI	99	100	1.28	1.63	0.61	0.83	0.24	0.61	1.08	0.56	0.35	0.01	0.36	27%
SO2- SKILL GIORN. (INV)																
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	0.69	1.55	0.72	0.99	0.76	1.07	2.22	4.58	1.73	-0.22	0.25	125%
82	F	LI-LAPIRA	100	99	0.9	5.76	0.84	5.56	1.46	1.48	10.51	21.39	9.73	-0.03	0.11	540%
32	F	LU-CAPANNORI	99	99	0.83	1.94	0.73	0.91	0.81	0.93	2.28	3.24	2.23	-0.01	0.36	134%

APPENDICE 2

SISTEMA MODELLISTICO SPARTA

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 **Q**ualità 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 Struttura del 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.

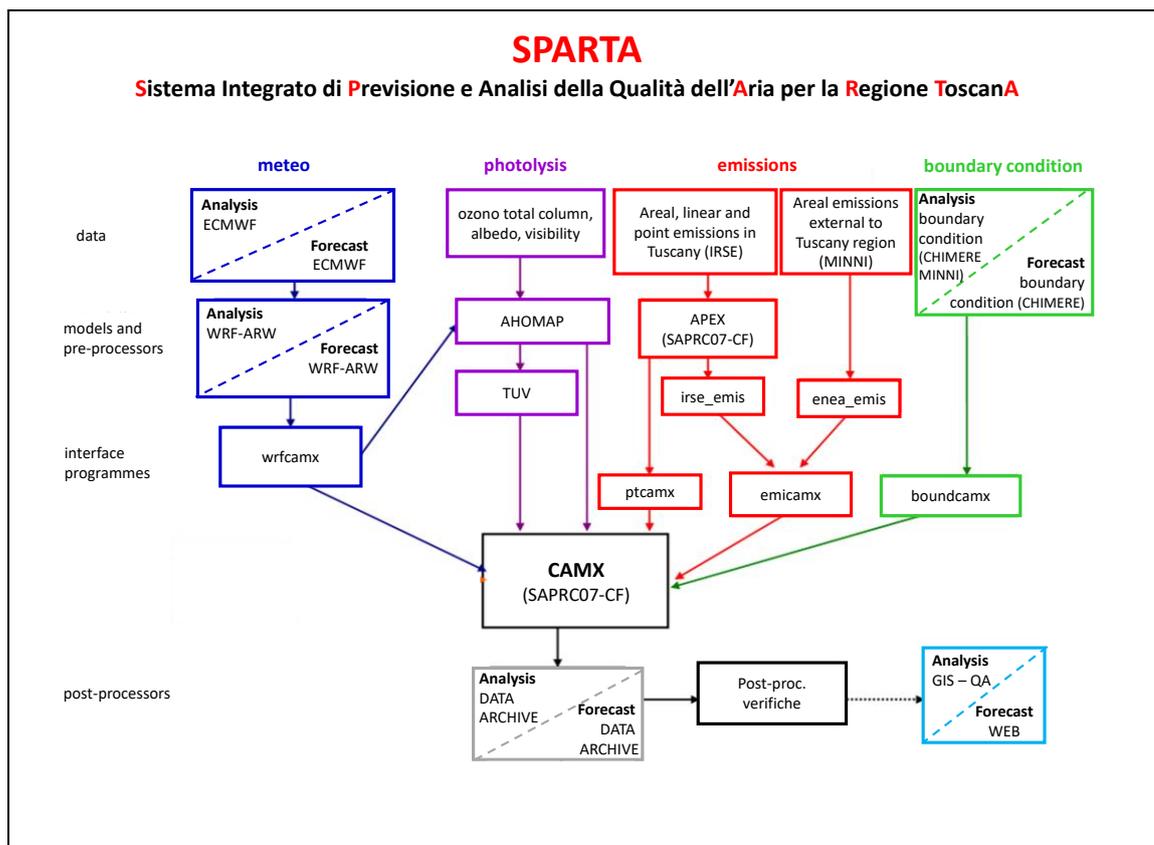


Figura 1 – Schema del sistema modellistico SPARTA.

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-calmet - 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).

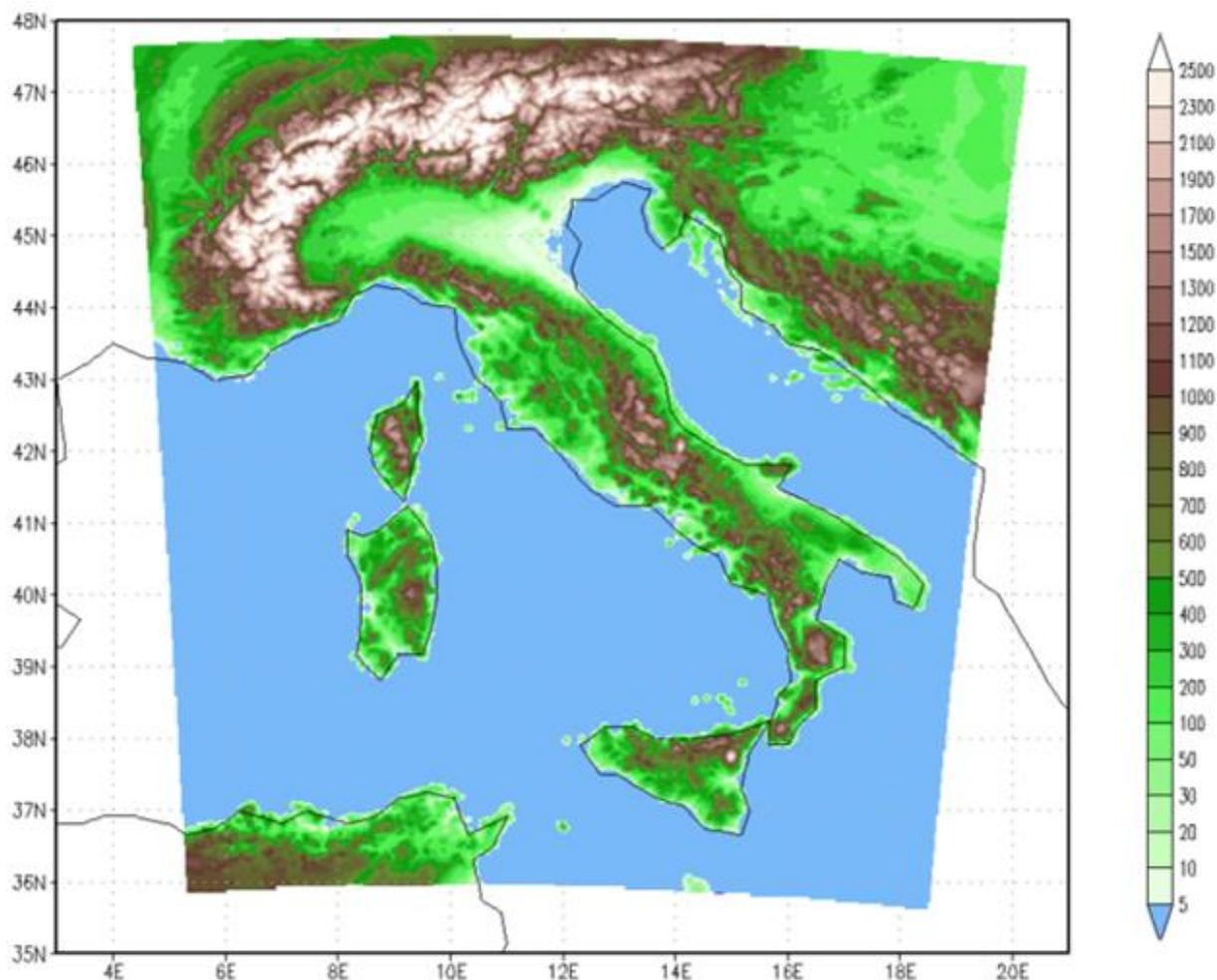


Figura 2 – Dominio di calcolo del modello WRF-ARW a 3 km di risoluzione orizzontale.

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 crostale (fine e grosso);
- altro aerosol primario inerte (fine e grosso);
- aerosol secondario organico.

Per alcuni composti, aerosol crostale e altro aerosol primario, sono previste due frazioni granulometriche: fine inferiore a $2.5 \mu\text{m}$ e grosso, tra 2.5 e $10 \mu\text{m}$. 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.

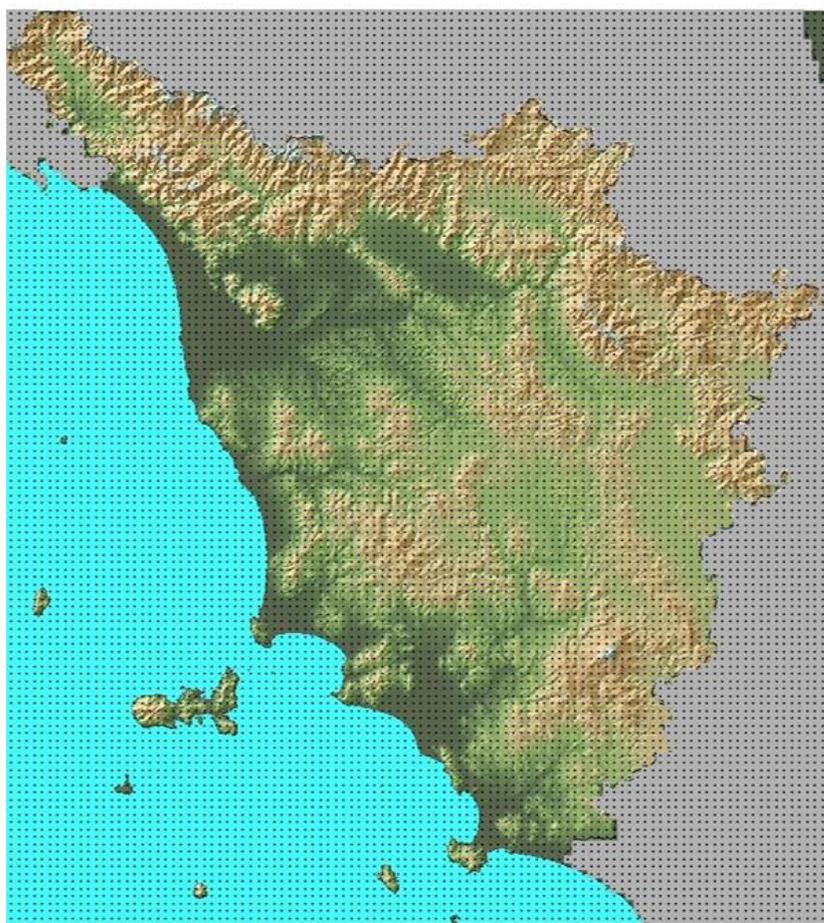


Fig. 3 – Dominio di calcolo del modello CAMx a 2 km di risoluzione orizzontale.

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).

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.

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.

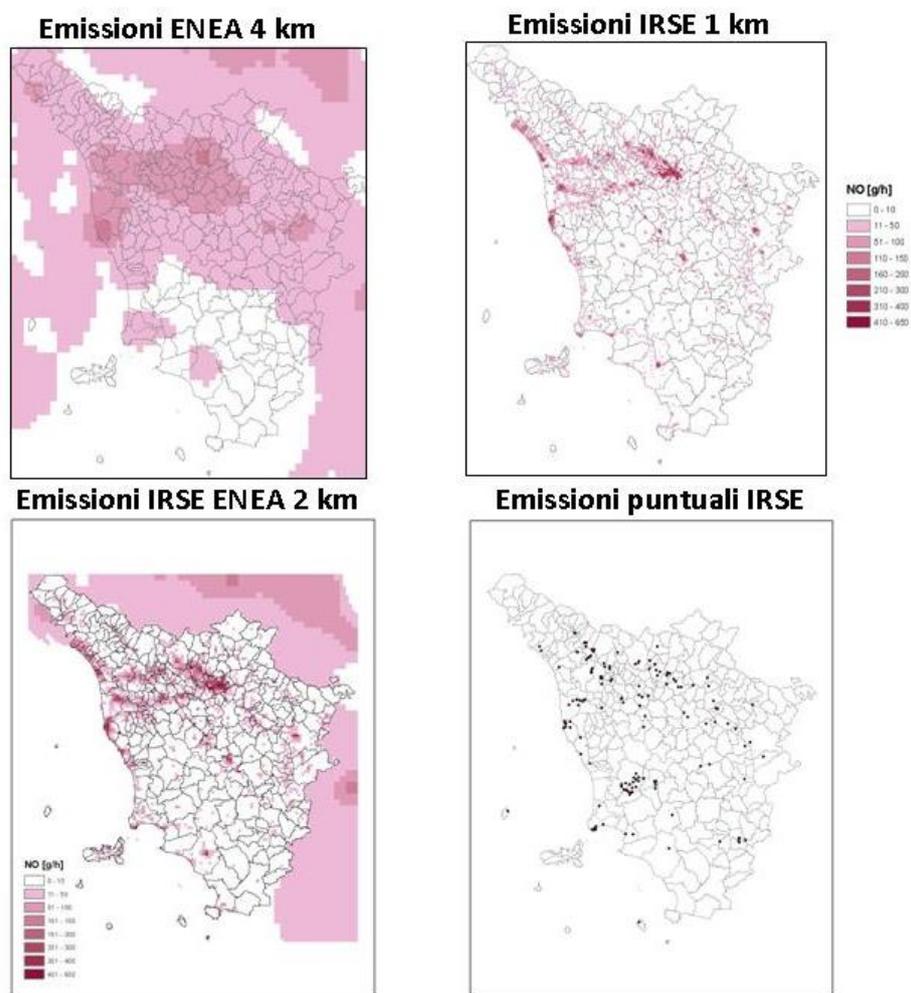


Fig.4 – Mappe relative al rateo emissivo, cumulato su 24 ore per NO (emissioni diffuse) e localizzazione dei camini (emissioni puntuali).

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.

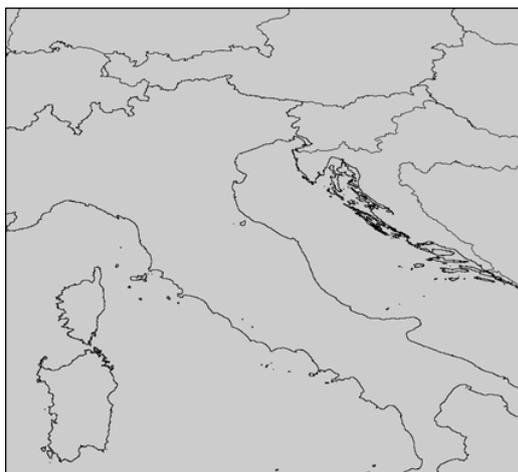


Figura 4. Dominio della fornitura dati CHIMERE

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-processore 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.