

SISTEMA MODELLISTICO WRF-CAMX

SIMULAZIONE DELL'ANNO 2018

LUGLIO 2019

Relazione finale:

Sistema modellistico WRF-CAMx - simulazione dell'anno 2018

Autori:

Caterina Busillo

Francesca Calastrini

Francesca Guarnieri

Per la sintesi climatica:

Giulio Betti

Indice

Introduzione	4
1 – Sistema modellistico di qualità dell’aria SPARTA	5
1.1 Struttura del sistema di modelli SPARTA	7
1.2 Modello meteorologico WRF	9
1.3 Modello chimico CAMx	10
2 - Sintesi delle condizioni climatiche - anno 2018	14
2.1 Temperature	14
2.2 Precipitazioni	17
2.3 Circolazione atmosferica	18
3 – Simulazione WRF-CAMx anno 2018 – Risultati	24
3.1 Concentrazioni medie	25
3.3 Serie storiche	29
3.3 Scatter-plot	35
3.4 Diagrammi di Taylor	39
3.5 Indicatori statistici	41
3.6 Dust sahariano	43
Conclusioni	47
APPENDICE	50
Tabella SKILL	52
Diagramma di Taylor	53
Mappe medie 2018	54
Serie storiche 2018	62
NO2	62
PM10	71
PM2.5	79
O3	83
O3 orarie mensili	86
SO2	97
DUST	98
SKILL giornalieri simulazione 2018	102

Introduzione

Il sistema modellistico SPARTA, 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 recentemente aggiornato e applicato all'anno 2018.

In questo lavoro sono presentati i risultati ottenuti con la nuova versione aggiornata: la prima parte è dedicata alla descrizione del sistema modellistico, le parti successive sono invece incentrate sulle valutazioni relative all'anno 2018. Nel secondo capitolo è riportata la sintesi delle condizioni meteorologiche che hanno caratterizzato l'anno, mentre nel terzo capitolo sono commentate e validate le stime modellistiche di PM10, PM2.5, NO2, O3 e dust sahariano, attraverso il confronto con i dati misurati dalle stazioni di monitoraggio della rete regionale.

In appendice sono riportati tutti gli elaborati grafici (mappe, serie storiche) ed analisi statistiche, in modo da fornire un quadro completo delle informazioni ottenibili attraverso l'approccio modellistico.

1 – Sistema modellistico di qualità dell’aria 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 dei Piani Annuali 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 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 48 ore (oggi, domani). 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*).

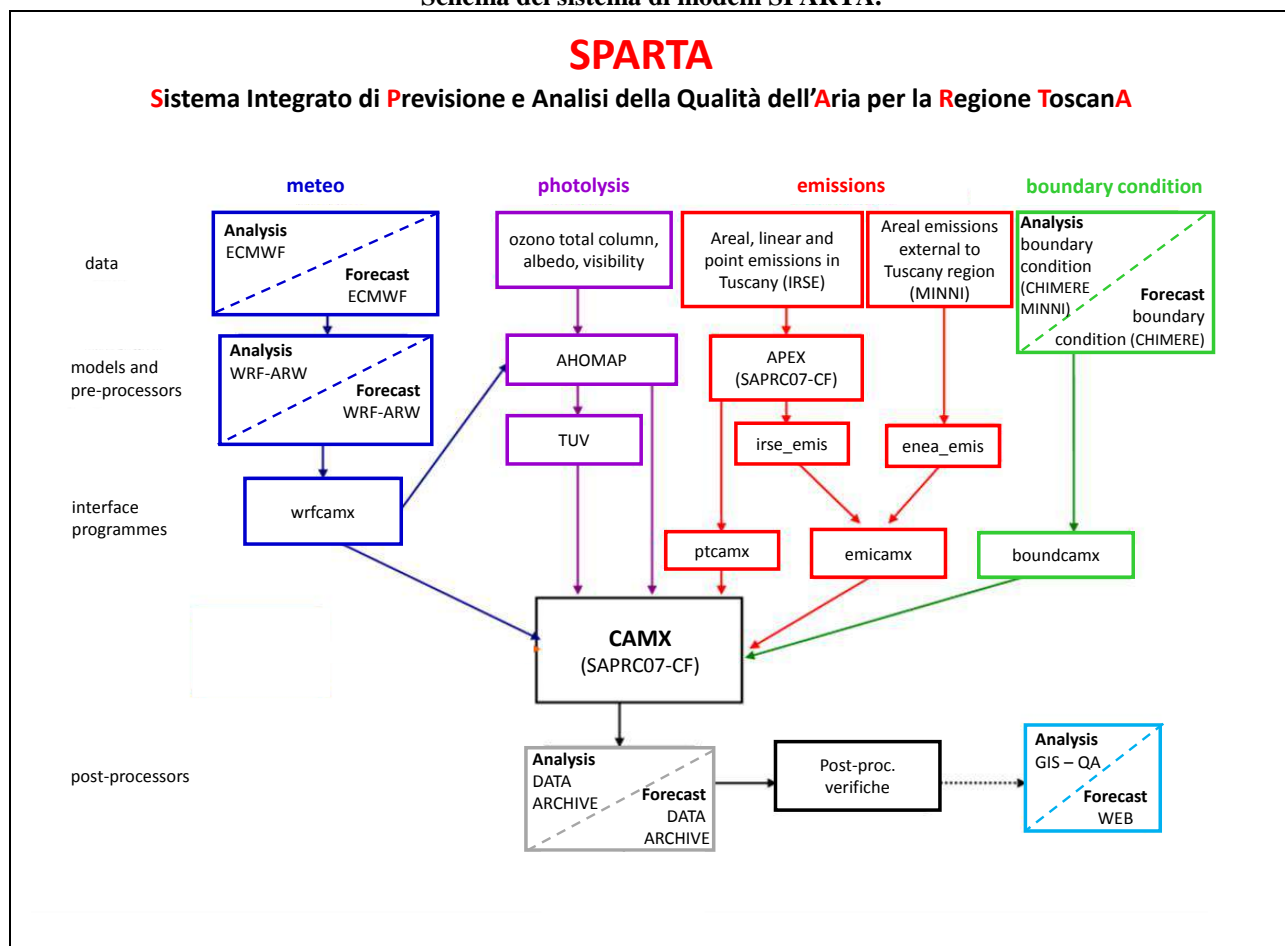
Il sistema integrato di previsione e analisi della qualità dell'aria, denominato SPARTA (Sistema Integrato di Previsioni e Analisi della Qualità dell'Aria per la Regione Toscana), è stato presentato nel 2017, nell'ambito della "Giornata di studio sull'inquinamento atmosferico", organizzata dal CNR-IBIMET, 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 all'analisi dell'anno 2018, i cui risultati sono descritti nei capitoli successivi.

1.1 Struttura del sistema di modelli 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.

Schema del sistema di modelli 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.

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>).

1.2 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).

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.

1.3 Modello chimico CAMx

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

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

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

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

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.

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. I dati sono relativi all'ultimo aggiornamento disponibile, anno di riferimento 2010.

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.

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 seguente tabella sono riportate le principali caratteristiche dell'attuale configurazione, applicata all'anno 2018.

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, SOA ₁ , SOA ₂ , SOA ₃ , SOA ₄ , SOPA, SOPB, NA, PCL

2 - Sintesi delle condizioni climatiche - anno 2018

2.1 Temperature

Il 2018 in Toscana è risultato il terzo anno più caldo dal 1955 con una temperatura media di 15.7 °C (+1.0 °C rispetto alla climatologia 1981-2010 e +0.4 °C rispetto al 2017). L'anomalia si discosta soltanto di un decimo di grado dagli anni più caldi della serie storica, il 2003 e il 2014. Nel dettaglio si sono registrate marcate anomalie positive nel trimestre autunnale (figura 1), con scostamenti particolarmente significativi a ottobre (+ 1.9 °C) e novembre (+1.8 °C); tuttavia i mesi da considerarsi eccezionali sono gennaio e aprile, con scarti, rispettivamente, di +2.4 e +2.7 °C (figura 2). Gennaio risulta essere il quarto più caldo dell'intera serie storica, mentre aprile si posiziona al secondo posto dietro il 2007. Per quanto riguarda gennaio le anomalie termiche osservate sono da ascrivere ad un continuo afflusso di correnti miti, umide ed instabili di origine atlantica e mediterranea, mentre ad aprile alla presenza di un blocco anticiclonico di matrice subtropicale centrato sui Balcani (figura 2 sx). Nel mese in oggetto a Firenze Peretola si sono raggiunti, o superati i 27 °C ben 6 volte con punte di 29.6 e 29.2 °C registrate il 27 e il 28 aprile.

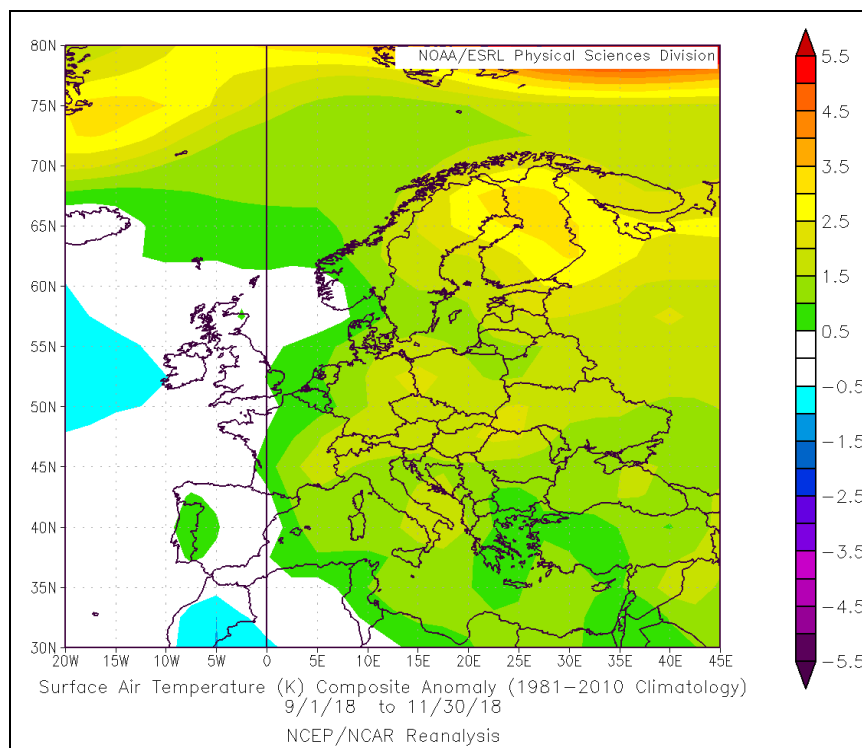


Figura 1. Anomalia di temperatura a scala europea nel periodo settembre-novembre rispetto alla climatologia 1981-2010

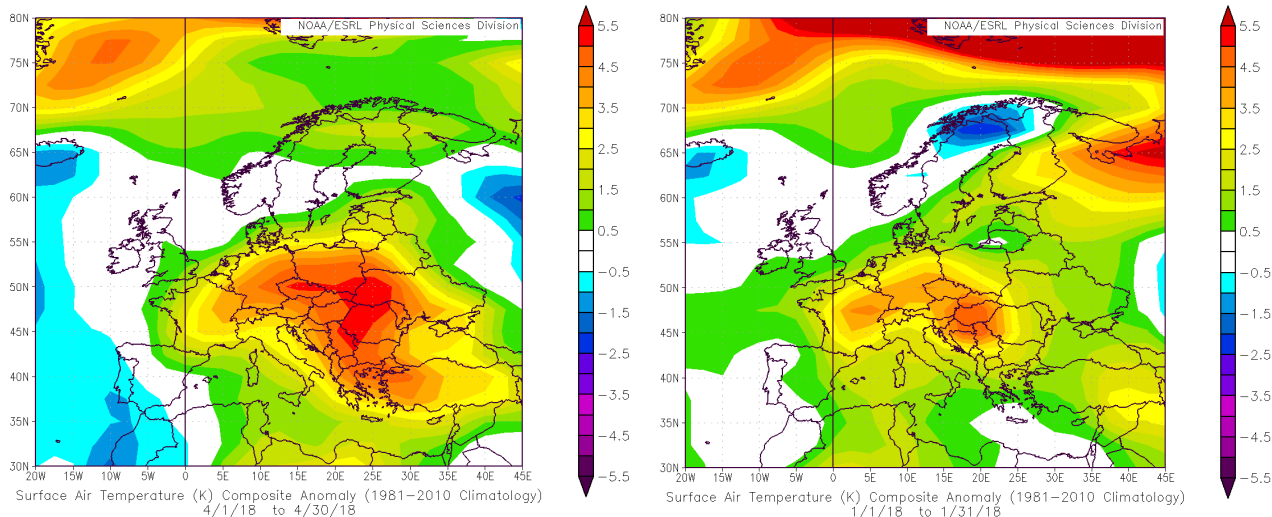


Figura 2. Anomalie di temperatura a scala europea ad aprile (sx) e a gennaio (dx). Clima 1981-2010.

I restanti mesi hanno fatto registrare anomalie prevalentemente positive, sebbene con scarti generalmente contenuti entro il grado; uniche eccezioni marzo e febbraio, caratterizzati da temperature medie inferiori alla norma di, rispettivamente, -0.6 e -1.5 gradi (figura 3 sx). Da ricordare la breve ma intensa ondata di freddo di fine febbraio con temperature abbondantemente inferiori allo zero anche in pianura (-9.3 °C a Firenze) e le nevicate, seguite da pioggia congelantesi, del 1-2 marzo. Per quanto riguarda le ondate di calore se ne è osservata soltanto una, anch'essa piuttosto breve, i primi giorni di agosto, con un picco di 38.9 °C a Firenze Peretola. Infine, a dispetto della modesta anomalia rilevata in pianura (+0.1 °C), dicembre si è contraddistinto per valori ben al di sopra della norma a quote di montagna (figura 3 dx), in gran parte dovuti alla presenza di anticicloni cui si sono spesso associati episodi di inversione termica.

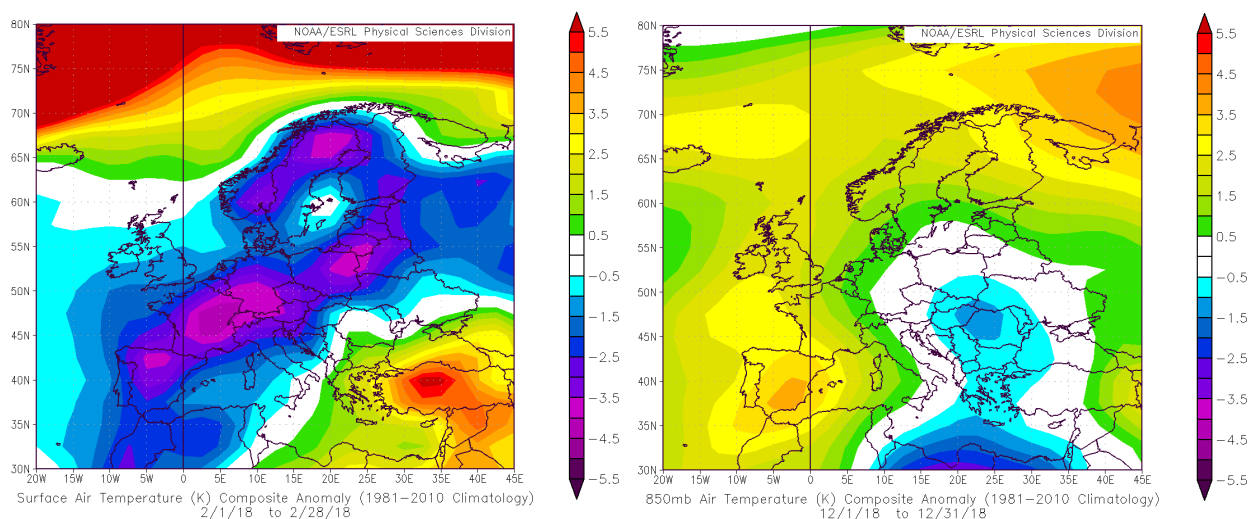


Figura 3. Anomalie di temperatura a scala europea nei mesi di febbraio (sinistra – al suolo) e di dicembre (destra – a 850 hPa/1500 metri circa). Clima 1981-2010.

In figura 4 sono riportate le anomalie termiche nei mesi di gennaio, febbraio, aprile, dicembre e in autunno, nel trimestre settembre ottobre novembre. Relativamente al mese di dicembre si possono notare i valori neutri in pianura e positivi in montagna (inversioni termiche).

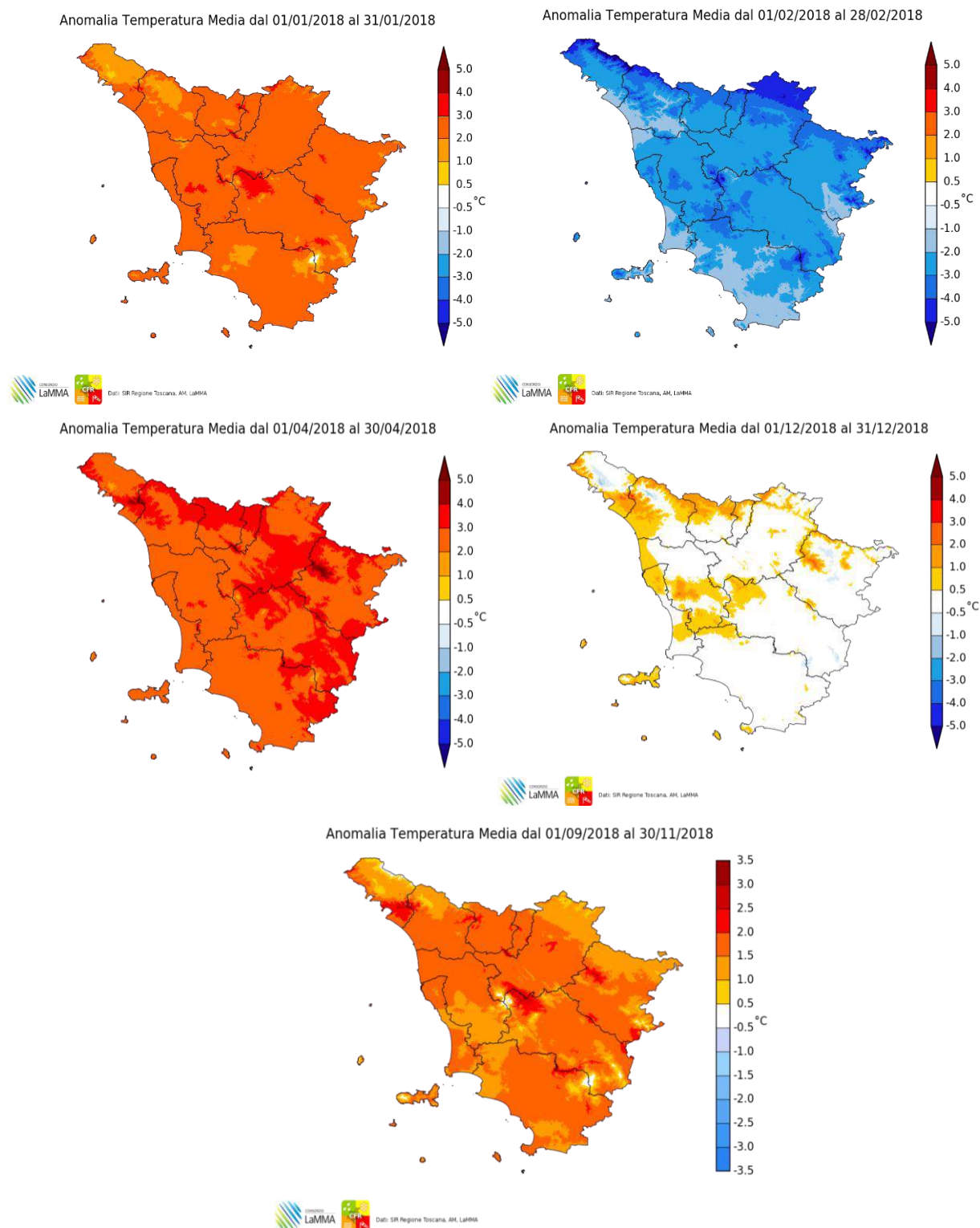


Figura 4. Anomalie termiche nei mesi di gennaio, febbraio, aprile, dicembre e nel trimestre settembre ottobre novembre. Periodo di riferimento 1995-2014.

2.2 Precipitazioni

Per quanto riguarda le piogge il 2018 non fatto registrare particolari anomalie, chiudendo con un debole surplus (+2%). Tuttavia se andiamo ad analizzare il dato a livello stagionale vediamo che la distribuzione delle precipitazioni è stata molto irregolare. Ad un bimestre febbraio-marzo ed a un maggio molto piovosi (+231% solo a marzo - figura 5), sono seguiti un'estate ed un autunno avere di precipitazioni (-30% per entrambe le stagioni, sebbene il peso statistico dell'autunno a livello annuale sia gran lunga superiore a quello dell'estate). A differenza del 2017, caratterizzato da una forte penuria di precipitazioni sulla medio-bassa Toscana, il 2018 non ha mostrato particolari differenze in termini spaziali, con la sola eccezione dell'estate, periodo nel quale si sono osservati significativi surplus sulle province meridionali e deficit sui settori nord occidentali e centro orientali (figura 6).

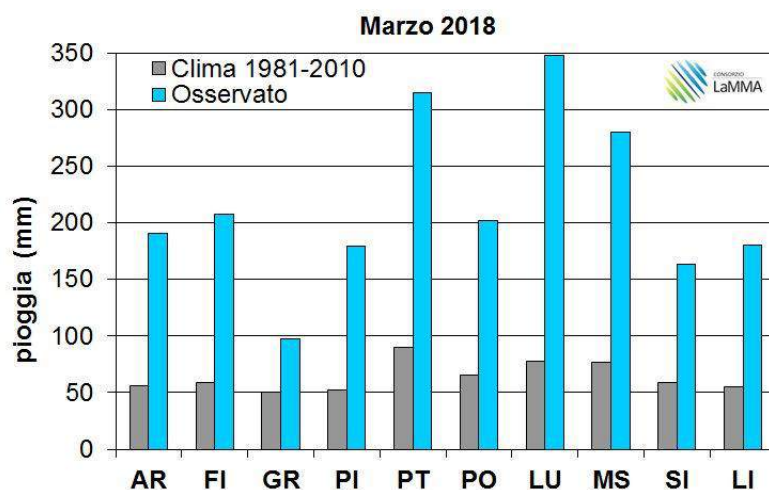


Figura 5. Anomalie pluviometriche a marzo 2018 nei capoluoghi toscani. In molte località surplus da record.

Percentuale di Precipitazione rispetto alla media climatica
dal 01/06/2018 al 31/08/2018

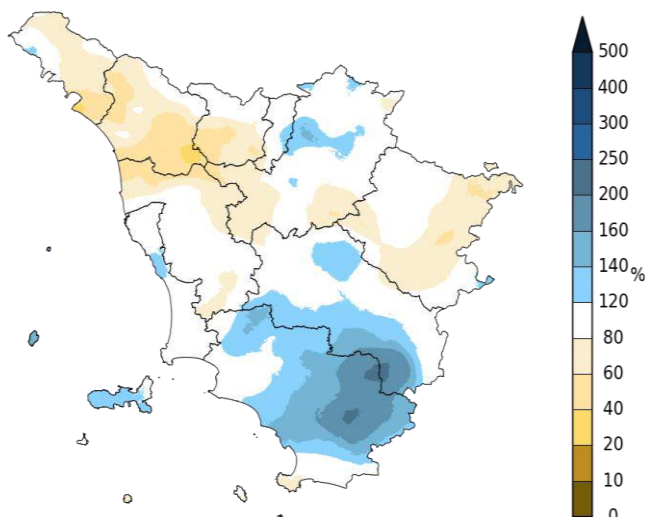
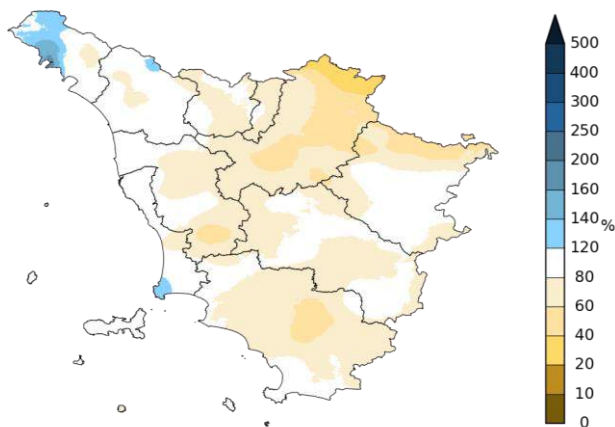


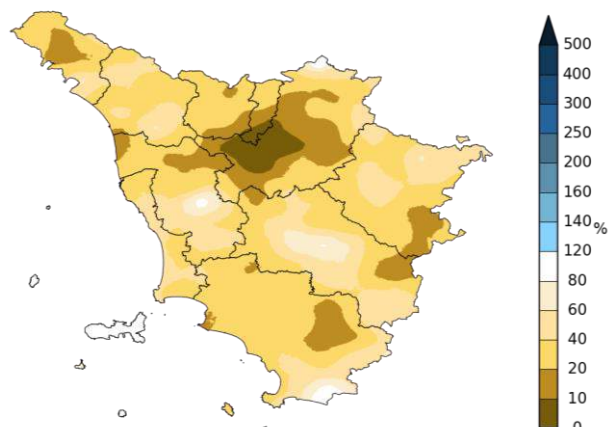
Figura 6. Percentuale della precipitazione rispetto alla media climatica (estate 2018).

I periodi meno piovosi del 2018 hanno spesso coinciso con durature fasi anticicloniche, come ad esempio ad aprile, a settembre e nell'ultima decade di dicembre (figura 7).

Percentuale di Precipitazione rispetto alla media climatica
dal 01/04/2018 al 30/04/2018



Percentuale di Precipitazione rispetto alla media climatica
dal 01/09/2018 al 30/09/2018



Percentuale di Precipitazione rispetto alla media climatica
dal 21/12/2018 al 31/12/2018

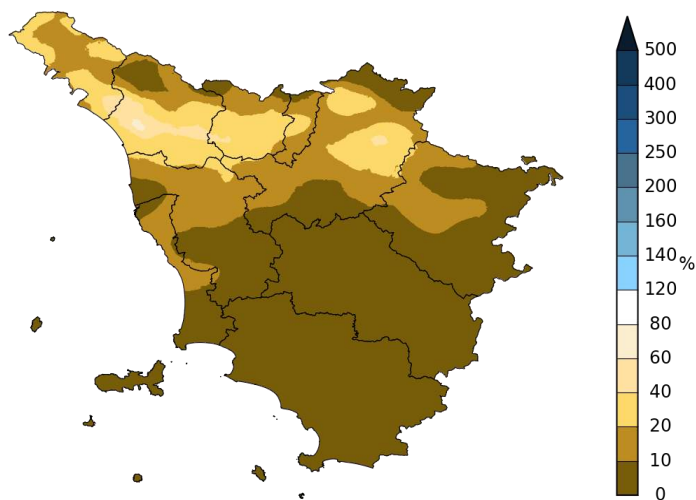


Figura 7. Percentuale di pioggia caduta rispetto alla climatologia di riferimento nei mesi di aprile (in alto a sinistra), di settembre (in alto a destra) e nell'ultima decade di dicembre.

2.3 Circolazione atmosferica

Da un punto di vista circolatorio il 2018 può essere diviso in due fasi: la prima, molto dinamica e perturbata (figura 8 sx), concentrata nei primi 5 mesi dell'anno (con la sola eccezione di aprile), la seconda, in prevalenza anticiclonica, compresa tra giugno e dicembre (figura 8 dx). Nel complesso, quindi, i periodi stabili hanno prevalso su quelli instabili, con conseguenti anomalie positive di geopotenziale alla quota isobarica di 500 mb (figura 9).

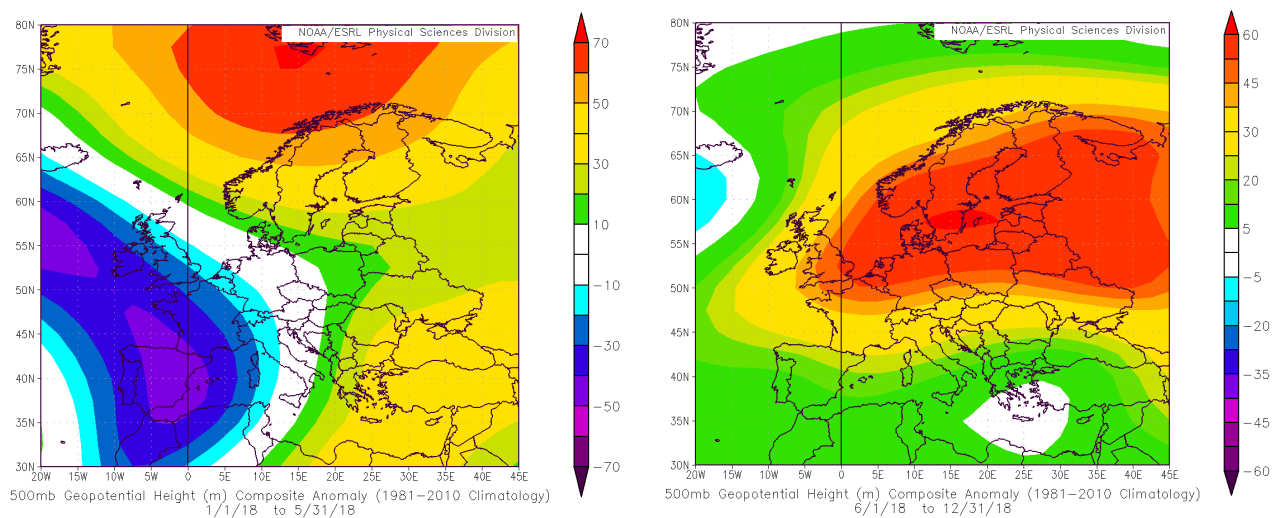


Figura 8. Mappe di anomalia dell'altezza del geopotenziale a 500 mb per il periodo gennaio-maggio 2018 e giugno-dicembre 2018.

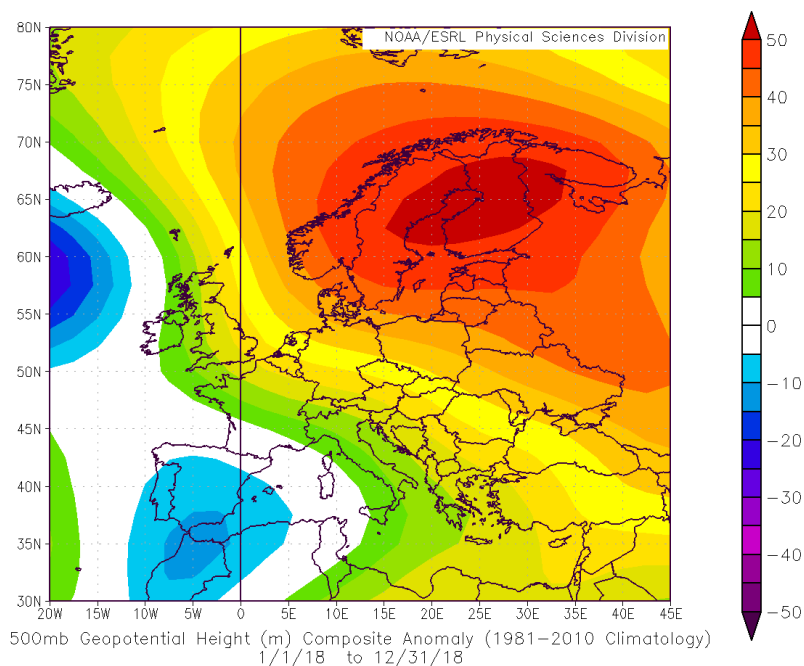


Figura 9. Mappa di anomalia dell'altezza del geopotenziale a 500 mb per l'anno 2018 su base climatologica 1981-2010.

I due periodi sopra descritti hanno avuto diverse implicazioni relativamente alla qualità dell'aria in Toscana. Nella prima fase, grazie alla notevole instabilità dei mesi di gennaio, febbraio, marzo si sono create condizioni sfavorevoli all'accumulo degli inquinanti, ad eccezione di alcuni eventi di "dust sahariano" richiamato da profondi sistemi ciclonici mediterranei. Tra gli episodi più intensi citiamo quelli occorsi il 9 gennaio, il 16-17 aprile (figura 10 sopra) e il 29-30 maggio (figura 10 sotto).

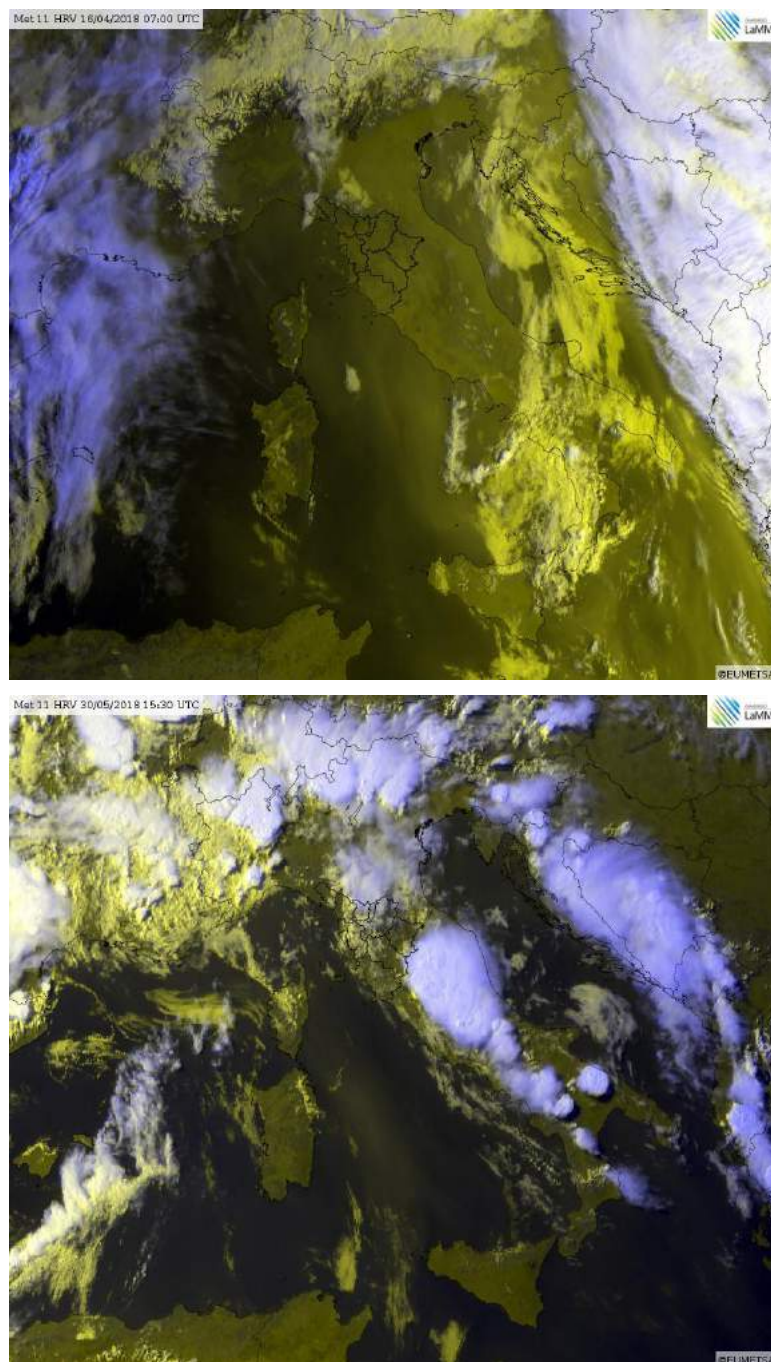


Figura 10. Mappe di anomalia dell'altezza del geopotenziale a 500 mb per il periodo gennaio-maggio 2018 e giugno-dicembre 2018.

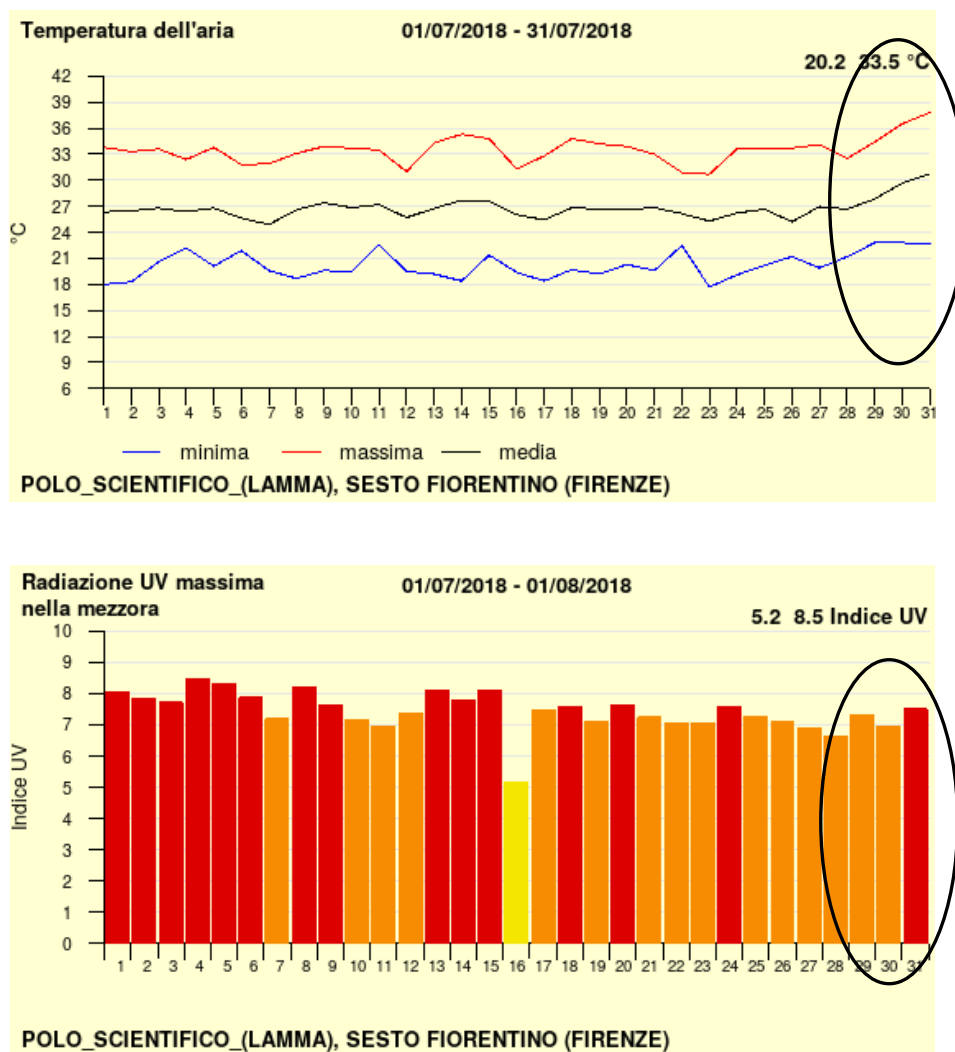


Figura 11. Temperatura (sopra) e indice UV (sotto) osservati presso la stazione meteorologica del LaMMA a luglio. Cerchiato in nero il periodo più caldo del mese (T superiori alla norma e alto indice UV).

Viceversa il secondo periodo (giugno-dicembre) a causa della maggior frequenza di alte pressioni, ha favorito fasi con accumulo eccessivo di inquinanti. Nello specifico citiamo la breve ondata di calore di fine luglio-inizio agosto, durante la quale le temperature superiori alla norma, unitamente all'alto indice UV, hanno determinato innalzamenti significativi delle concentrazioni di ozono (figure 11-12).

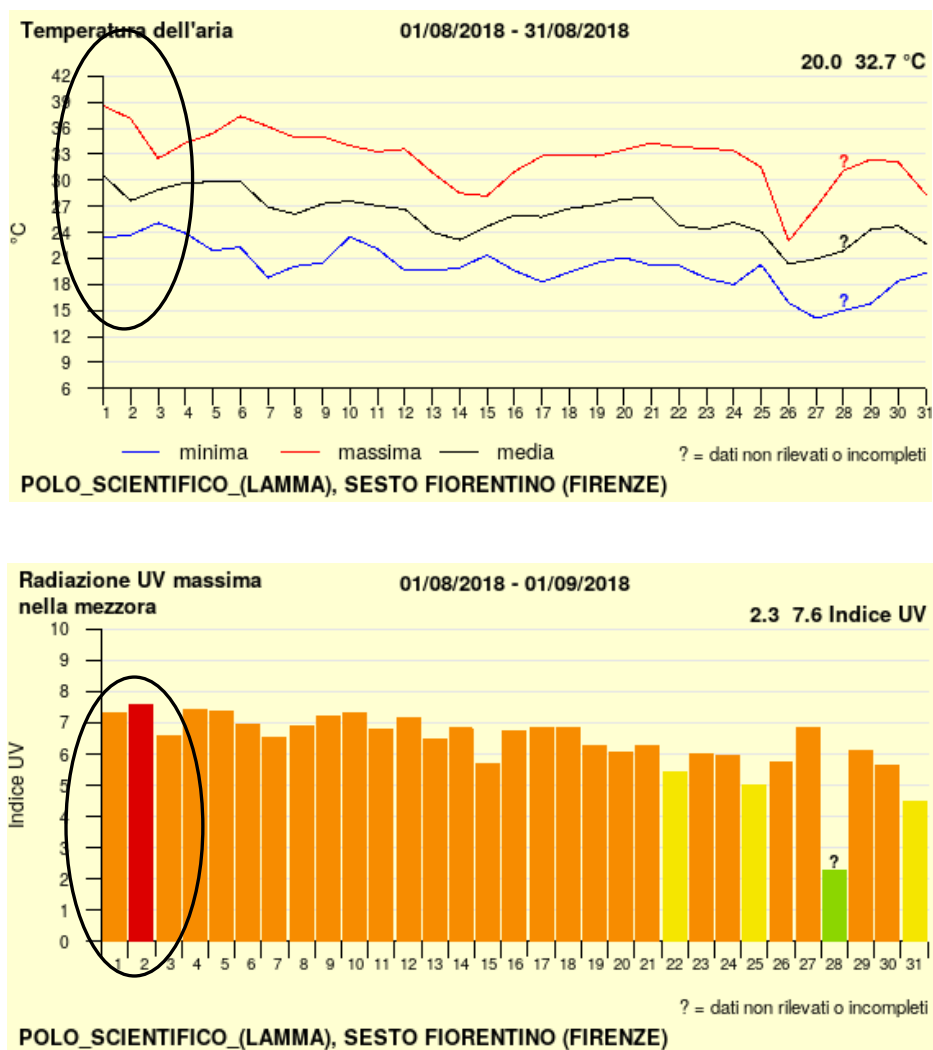


Figura 12. Temperatura (sopra) e indice UV (sotto) osservati presso la stazione meteorologica del LaMMA ad agosto. Cerchiato in nero il periodo più caldo del mese (T superiori alla norma e alto indice UV).

Nel trimestre ottobre-dicembre la maggior frequenza di anticicloni rispetto alla norma ha favorito episodi di inversione termica, durante i quali la qualità dell'aria nelle aree pianeggianti della regione è risultata piuttosto scarsa. Tra questi citiamo il periodo 11-15 novembre e il 21-31 dicembre. Nella figura 13 sono riportati gli effetti, in termini di nebbie e nubi basse, degli anticicloni il 12 novembre e il 28 dicembre 2018.

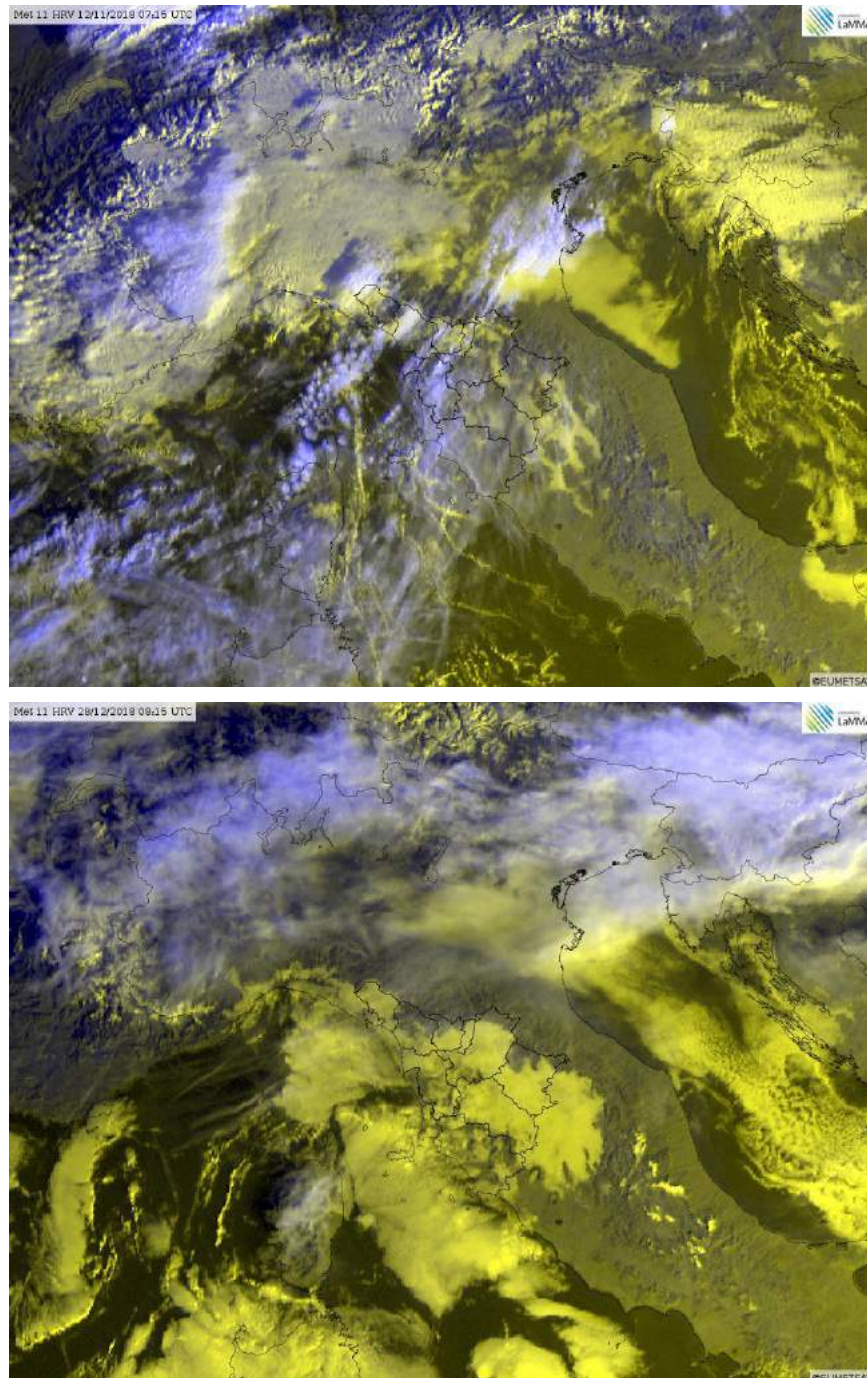


Figura 13. Immagini canale visibile delle ore 07.15 UTC del 12 novembre 2018 e delle ore 08.15 UTC del 28 dicembre. Nel primo caso si possono notare dense nebbie nelle valli, nel secondo una compatta copertura di nubi base. In entrambi i casi inversione termica con strato limite molto basso, condizioni favorevoli all'accumulo di inquinanti.

3 – Simulazione WRF-CAMx anno 2018 – Risultati

In questo capitolo sono riportati i risultati ottenuti dalla simulazione modellistica per l'anno 2018. 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 anche gli scatter-plot del massimo della media mobile su otto ore 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, mentre di seguito sono riportati solo alcuni esempi.

Tabella 3. Elaborati grafici ottenuti dalla simulazione 2018.

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, 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
Scatter-plot: concentrazioni stime-misure di O3, MAXMM8
Diagrammi di Taylor: medie annue stime-misure di PM10, PM2.5, NO2, 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. In attesa dell'aggiornamento dell'inventario regionale, anche per la simulazione dell'anno 2018, come per gli anni precedenti, sono stati utilizzati i dati forniti dall'inventario IRSE aggiornato all'anno di riferimento 2010. L'analisi delle mappe quindi, a parità di carico emissivo sul territorio regionale, mette in luce il diverso impatto dovuto alle condizioni meteorologiche, e l'apporto di inquinanti esterni al dominio, dovuto alle concentrazioni al contorno. Si deve considerare che la simulazione relativa al 2018 è stata elaborata con la nuova configurazione aggiornata sia per quanto riguarda il modello WRF, sia il modello CAMx e il relativo modulo chimico; inoltre anche il modello CHIMERE che fornisce le condizioni al contorno è stato aggiornato. E' quindi possibile che si riscontrino variazioni attribuibili alla nuova release.

Nelle seguenti figure sono riportati le concentrazioni medie stagionali, (gennaio-marzo, ottobre-dicembre; aprile-settembre) e la media annua, mentre in appendice sono riportate anche le medie mensili (pagg. 54-59).

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). Osservando le mappe relative alle medie mensili, soprattutto nel semestre caldo (con l'esclusione di agosto), si riscontra un generalizzato aumento del PM10, rispetto agli anni precedenti, difficilmente attribuibile alla meteorologia. Tale generalizzato aumento non si riscontra nel PM2.5. A livello di media stagionale e annuale si evidenzia l'aumento del PM10, come conseguenza del generalizzato aumento mensile.

NO₂ – La concentrazione di biossido di azoto è maggiore nelle aree più antropizzate e lungo le tratte autostradali. Pur essendo interessate le stesse aree, nel semestre caldo si nota una riduzione del carico inquinante, e quindi una variabilità stagionale maggiore rispetto agli anni precedenti.

O₃ – In accordo con l'analisi climatica, aprile e giugno-settembre sono stati caratterizzati da stabilità atmosferica che ha portato ad avere condizioni critiche per le concentrazioni di ozono. Tuttavia i valori superiori rispetto all'anno precedente non sono totalmente attribuibili alle condizioni meteo, critiche anche nel 2017.

SO₂ – Il biossido di zolfo, come negli anni precedenti, è presente con valori significativi, senza particolari variazioni stagionali, solo in prossimità di Livorno e

Piombino, in conseguenza alle emissioni delle attività portuali e degli impianti industriali presenti nelle due aree, presenti nell'inventario IRSE aggiornato al 2010.

In sintesi, dall'analisi delle mappe medie e delle condizioni meteo, e dal confronto con gli anni precedenti si evidenzia un aumento generalizzato del PM10 e dell'ozono, e una più marcata diminuzione estiva del biossido di azoto: queste variazioni sono probabilmente attribuibili all'aggiornamento del sistema modellistico.

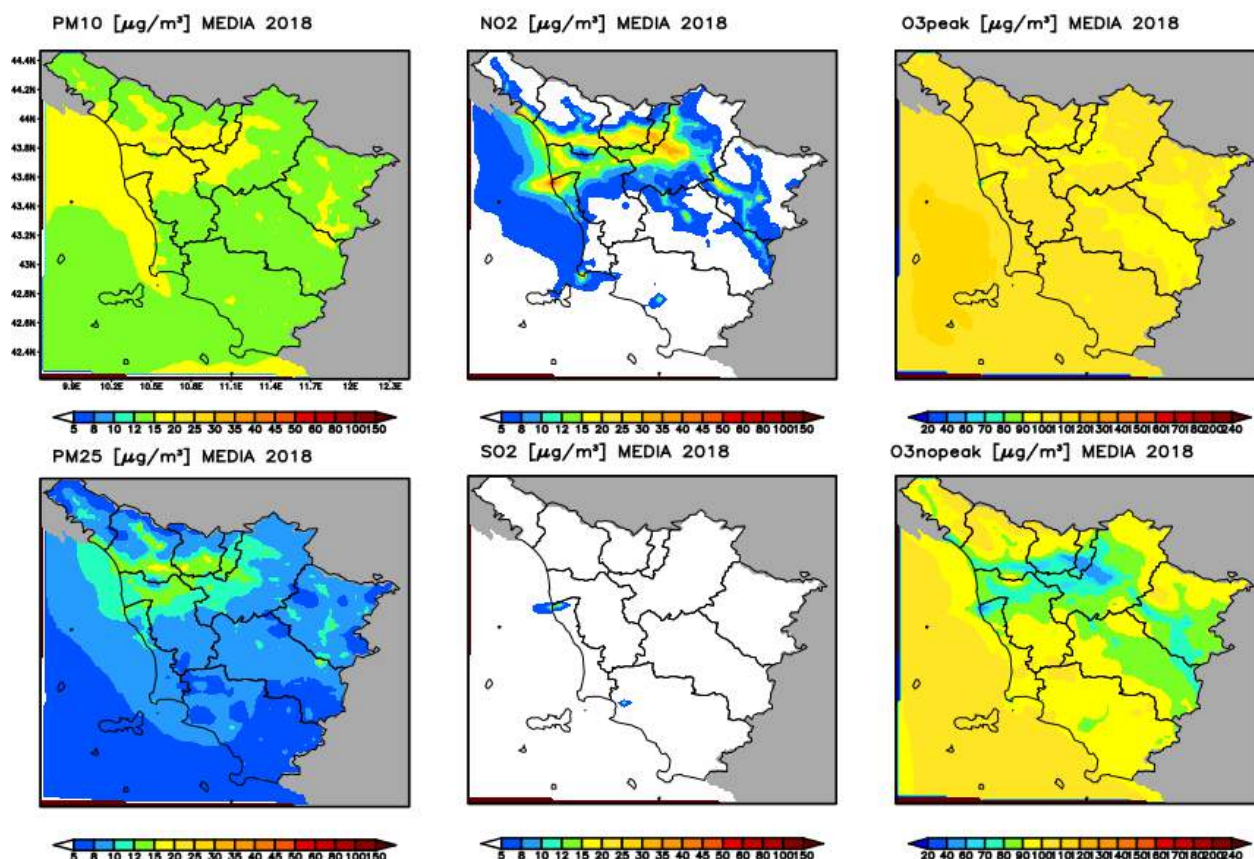


Figura 14. Mappe delle concentrazioni medie ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) di NO2, PM10, PM2.5, O3 (come media nelle ore diurne e notturne) e SO2 nell'anno 2018.

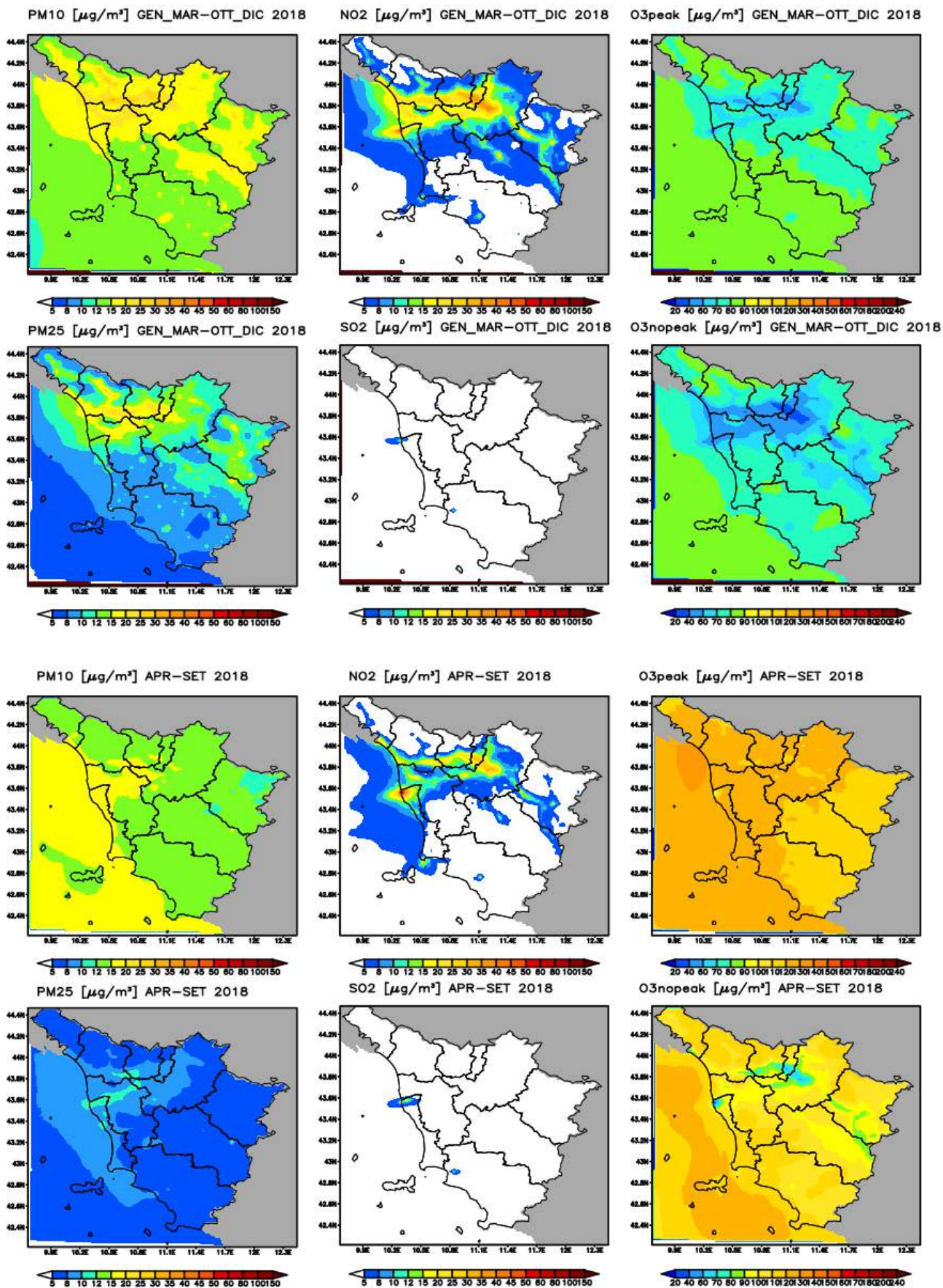


Figura 15. Mappe delle concentrazioni medie ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) di NO₂, PM₁₀, PM_{2.5}, O₃ (come media nelle ore diurne e notturne) e SO₂ nei semestri invernale (sopra) ed estivo (sotto) del 2018.

3.2 Il dataset utilizzato per la validazione

Le stime modellistiche relative all'anno 2018 sono state validate attraverso il confronto con dati misurati. Il data-set utilizzato, lo stesso dell'anno precedente, è costituito dalle misure effettuate in 38 stazioni di monitoraggio della qualità dell'aria, di cui 37 appartenenti alla rete regionale, una appartenente alla Provincia di Livorno (id 29, LI-Poggio San Rocco).

Nella Fig. 16 sono riportate la mappa e la tabella con le principali caratteristiche di queste stazioni: 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.

Le stazioni di fondo sono 27, 10 di traffico, una industriale. Delle 37 stazioni che misurano NO₂, 26 sono di fondo, 10 di traffico, 1 industriale; delle 34 stazioni che misurano PM10, 23 sono di fondo, 10 di traffico, 1 industriale. Il PM2.5 è misurato in 16 stazioni, di cui 11 sono di fondo, 5 di traffico. Le 11 stazioni che misurano O₃ sono di fondo, come le 3 stazioni che misurano SO₂.

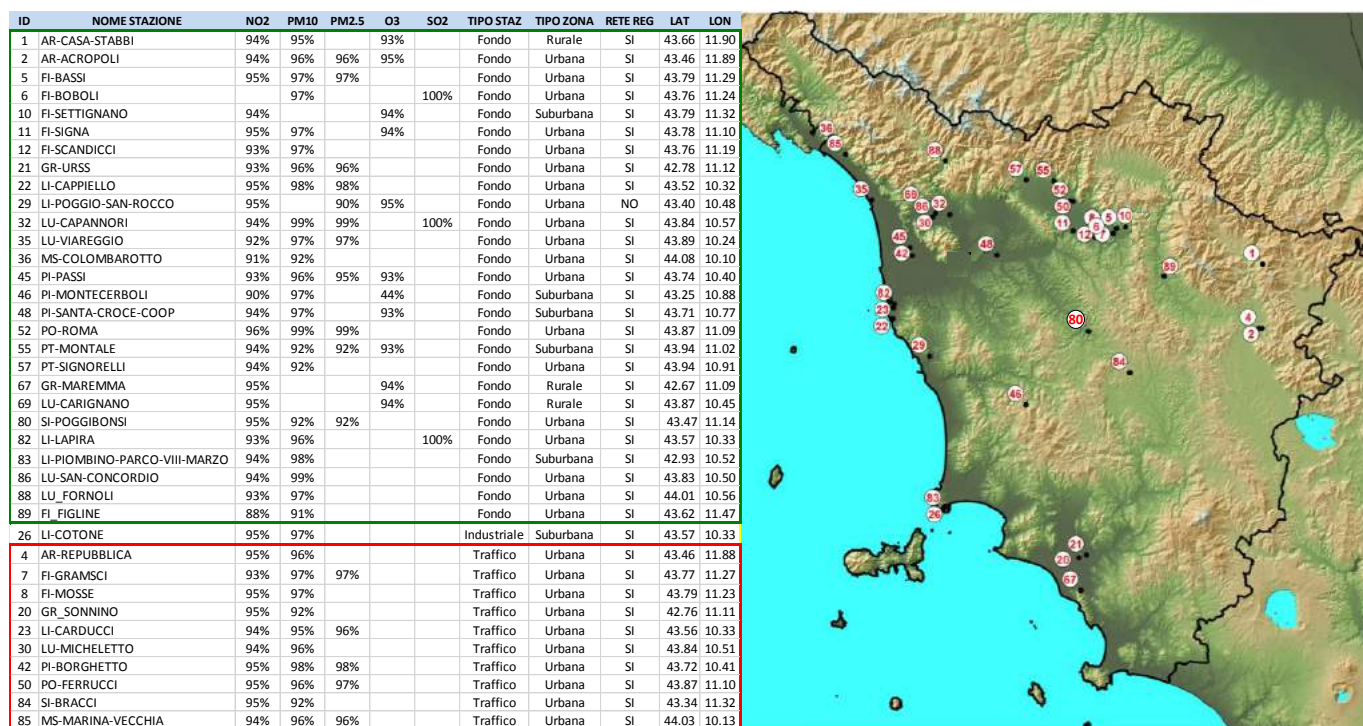


Figura 16. Mappa e tabella delle stazioni di monitoraggio della rete regionale e percentuale dei dati validi disponibili nell'anno 2018: in verde le stazioni di fondo, in rosso le traffico, in giallo le industriali.

3.3 Serie storiche

Per gli inquinanti in esame sono state elaborate le serie storiche annuali delle concentrazioni medie giornaliere e solo per l'ozono 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 (in appendice sono riportati i grafici relativi a tutte le stazioni).

PM10 – Il modello riproduce molto bene i valori di concentrazione di PM10, sia in termini di andamento temporale che in termini quantitativi, nelle maggior parte delle stazioni di monitoraggio. In generale i valori ottenuti da modello sono sottostimati nel periodo estivo, anche se in misura minore rispetto agli anni precedenti. In alcune stazioni delle pianure interne, come Capannori, Montale, Figline, Signa, Scandicci, Santa Croce, 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. Queste discrepanze 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.

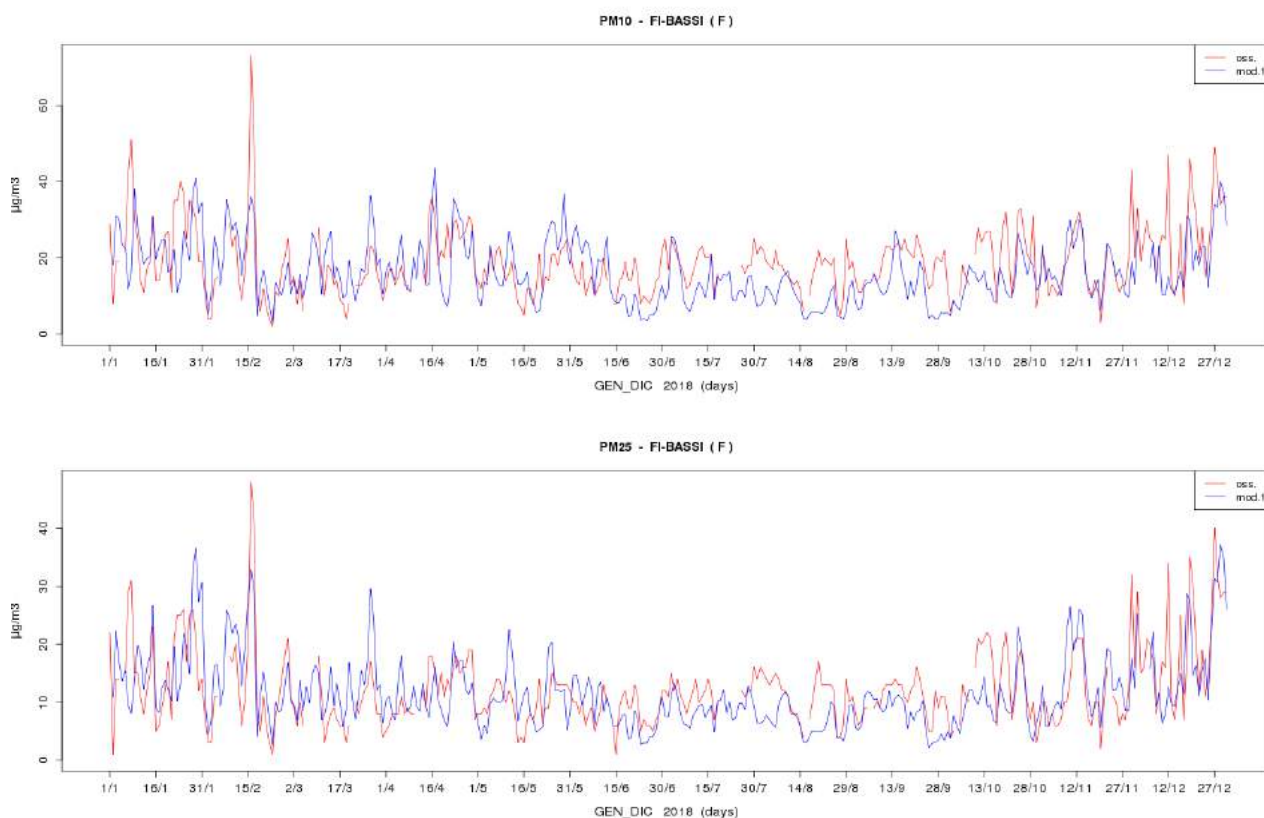


Figura 17. Serie storiche di confronto tra i dati di PM10 (sopra) e PM2.5 (sotto) da stazione (rosso) e da modello (blu) relative alla stazione di FI-Bassi.

PM2.5 – I risultati ottenuti sono molto buoni per il PM2.5, sia in termini di andamento temporale che in termini quantitativi, con valori stimati molto vicini a quelli misurati: in generale si riscontra un miglioramento rispetto agli anni precedenti, che pure evidenziavano un buon accordo stime-misure. Tuttavia, come per il PM10, resta significativa la sottostima relativa agli episodi acuti invernali in alcune stazioni (Montale, Capannori).

In generale, i risultati ottenuti per questi inquinanti sembrano migliori rispetto a quanto ottenuto negli anni precedenti: è possibile che questo miglioramento sia attribuibile non solo al contributo delle condizioni al contorno, ma anche all'aggiornamento del sistema modellistico.

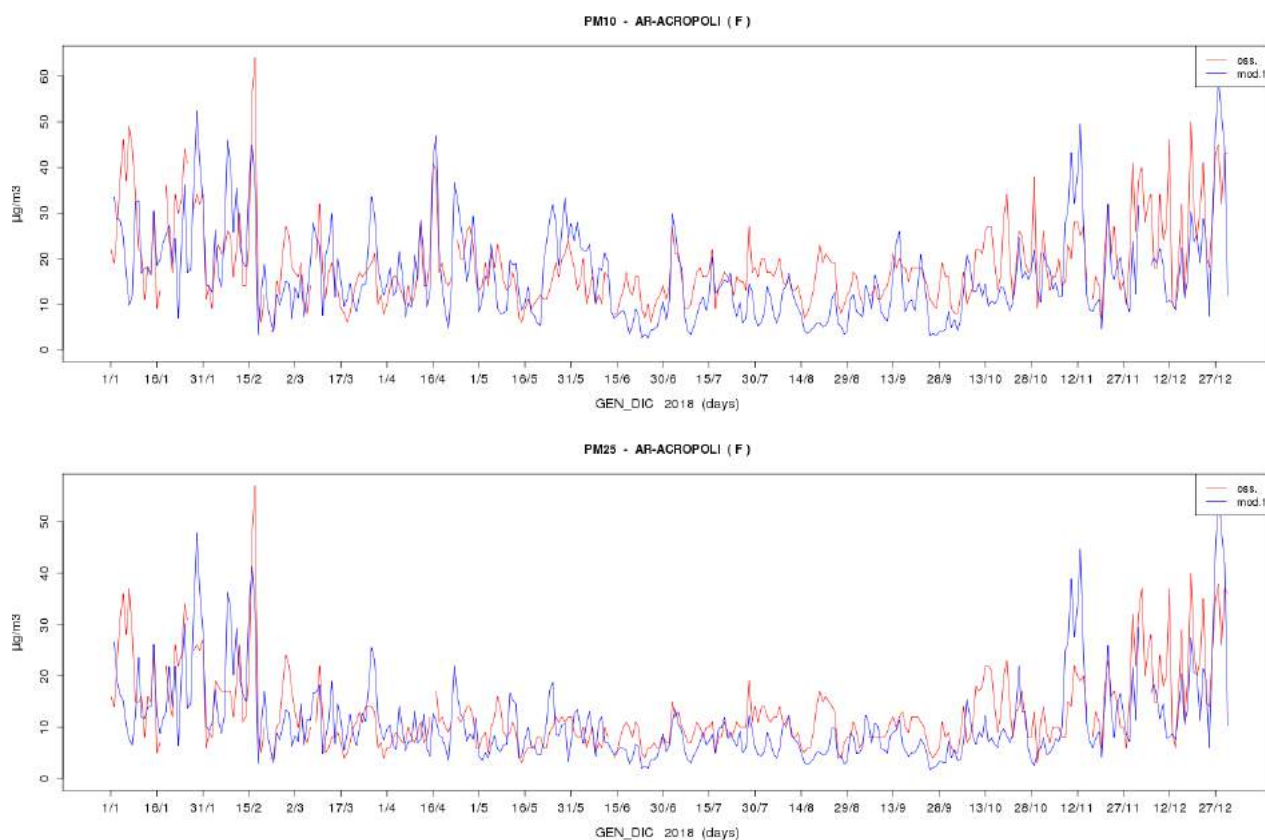


Figura 18. Serie storiche di confronto tra i dati di PM10 (sopra) e PM2.5 (sotto) da stazione (rosso) e da modello (blu) relative alla stazione di AR-Acropoli.

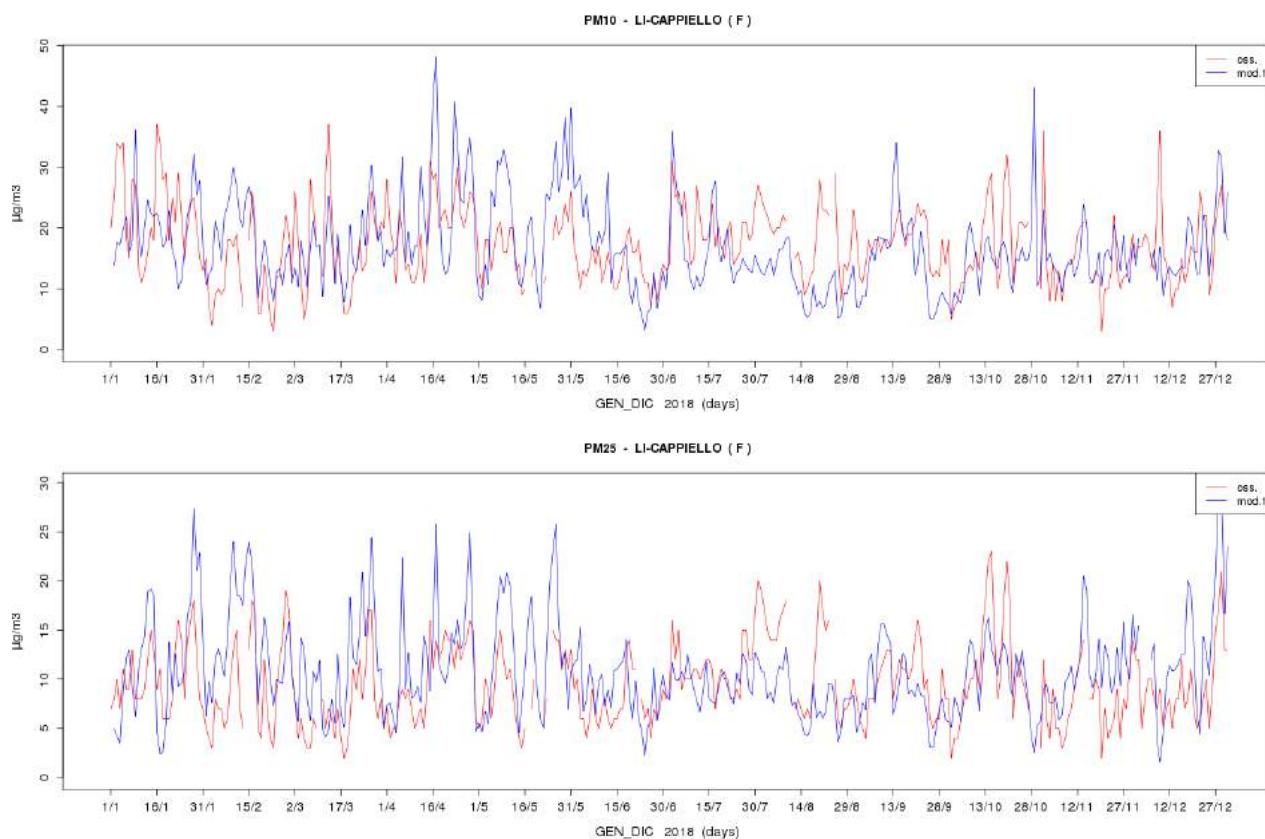


Figura 19. Serie storiche di confronto tra i dati di PM10 (sopra) e PM2.5 (sotto) da stazione (rosso) e da modello (blu) relative alla stazione di LI-Cappiello.

NO₂ – I grafici relativi a questo inquinante mostrano un generalizzato miglioramento rispetto ai risultati degli anni precedenti. Nella maggior parte delle stazioni, sia nelle pianure interne che sulla costa si ha un discreto accordo stime-misure, come si può vedere osservando le figure riportate in appendice. Si ha invece una sensibile sovrastima nel periodo maggio-ottobre nelle stazioni di fondo FI- Bassi, PO-Roma, PT-Signorelli, AR-Acropoli. Fa eccezione la stazione FI-Settignano, in cui il modello supera di molto i valori misurati durante tutto l’anno; anche la stazione di AR-Casa Stabbi, rurale-fondo, mostra una importante sovrastima, dovuta probabilmente all’effetto delle condizioni al contorno. Nelle stazioni di traffico in alcuni casi si ha un buon accordo (LU-Micheletto) in altri una significativa sottostima (FI-Gramsci, AR-Repubblica, SI-Bracci). Come negli anni precedenti, nelle stazioni delle città portuali, Livorno e Piombino, invece, i valori stimati sono molto maggiori rispetto a quelli misurati, soprattutto nel periodo estivo. E’ possibile quindi che si tratti di una non corretta stima delle emissioni derivanti sia dalle attività portuali, sia dalle attività industriali.

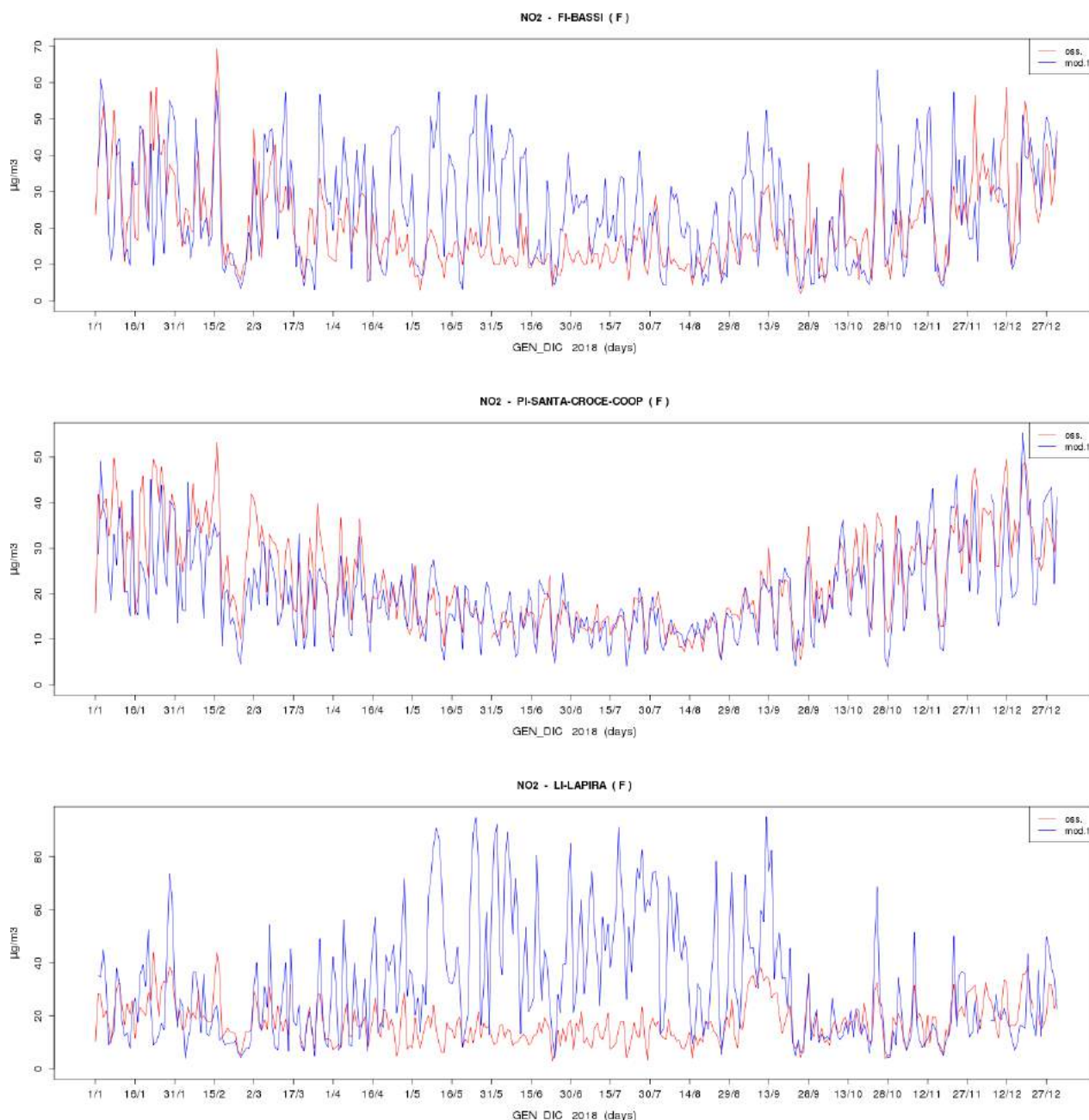


Figura 20. Serie storiche di confronto tra i dati di NO₂ da stazione (rosso) e da modello (blu) relative alle stazioni di FI-Bassi, PI-Santa Croce, LI-La Pira.

SO₂ – Per quanto riguarda il biossido di zolfo, le tre stazioni di fondo della rete di monitoraggio, FI-Bassi, LU-Capannori, LI-LaPira, misurano valori di concentrazione dell'ordine di 1-2.5 µg/m³ come media annua. Le stime modellistiche riproducono come ordine di grandezza, ma non come trend temporale, i valori misurati nelle stazioni di FI-Bassi e di LU-Capannori, mentre nella stazione di Livorno il modello sovrastima in modo importante. Anche in questo caso, come per gli ossidi di azoto, sarebbe opportuno rivedere l'input emissivo, in particolare le sorgenti legate alle attività portuali e industriali.

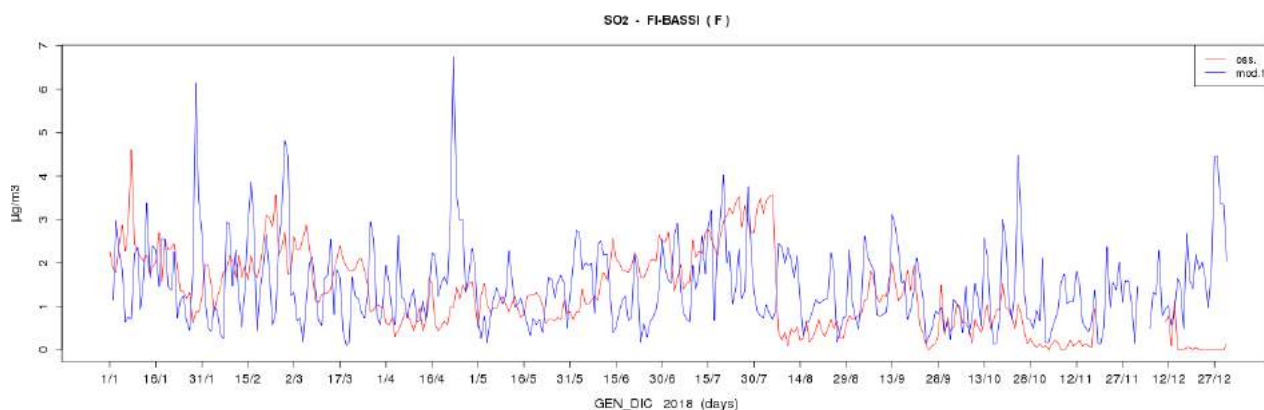


Figura 21. Serie storiche di confronto tra i dati di SO₂ da stazione (rosso) e da modello (blu) relative alla stazione di FI-Bassi.

O₃ – Considerando le serie storiche della concentrazione media giornaliera si può notare un discreto accordo stime-misure nelle stazioni di LI-PoggioS.Rocco, GR-Maremma, LU-Carignano; negli altri casi si ha una significativa sovrastima per tutto l’anno, soprattutto nelle stazioni di PI-Passi e PI-Santa-Croce.

Analizzando i grafici mensili della concentrazione media oraria per maggio-settembre, nella maggior parte delle stazioni si può notare una discreta capacità di riprodurre i valori di picco, ma una generalizzata tendenza a sovrastimare molto i valori notturni. Nel mese di maggio le concentrazioni sono sovrastimate, mentre nei mesi di luglio e agosto c’è un maggior accordo stime-misure anche come trend giornaliero, soprattutto nelle stazioni di FI-Settignano, LI-PoggioS.Rocco, GR-Maremma. 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, rispetto agli anni precedenti, si può notare un aumento delle concentrazioni stimate, soprattutto nelle ore notturne, e quindi ad una non corretta riproduzione del ciclo giornaliero. La tendenza del modello a stimare valori di concentrazione di O₃ mediamente più alti rispetto agli anni precedenti potrebbe essere messa in relazione alla riduzione della concentrazione di NO₂ stimata nei mesi estivi.

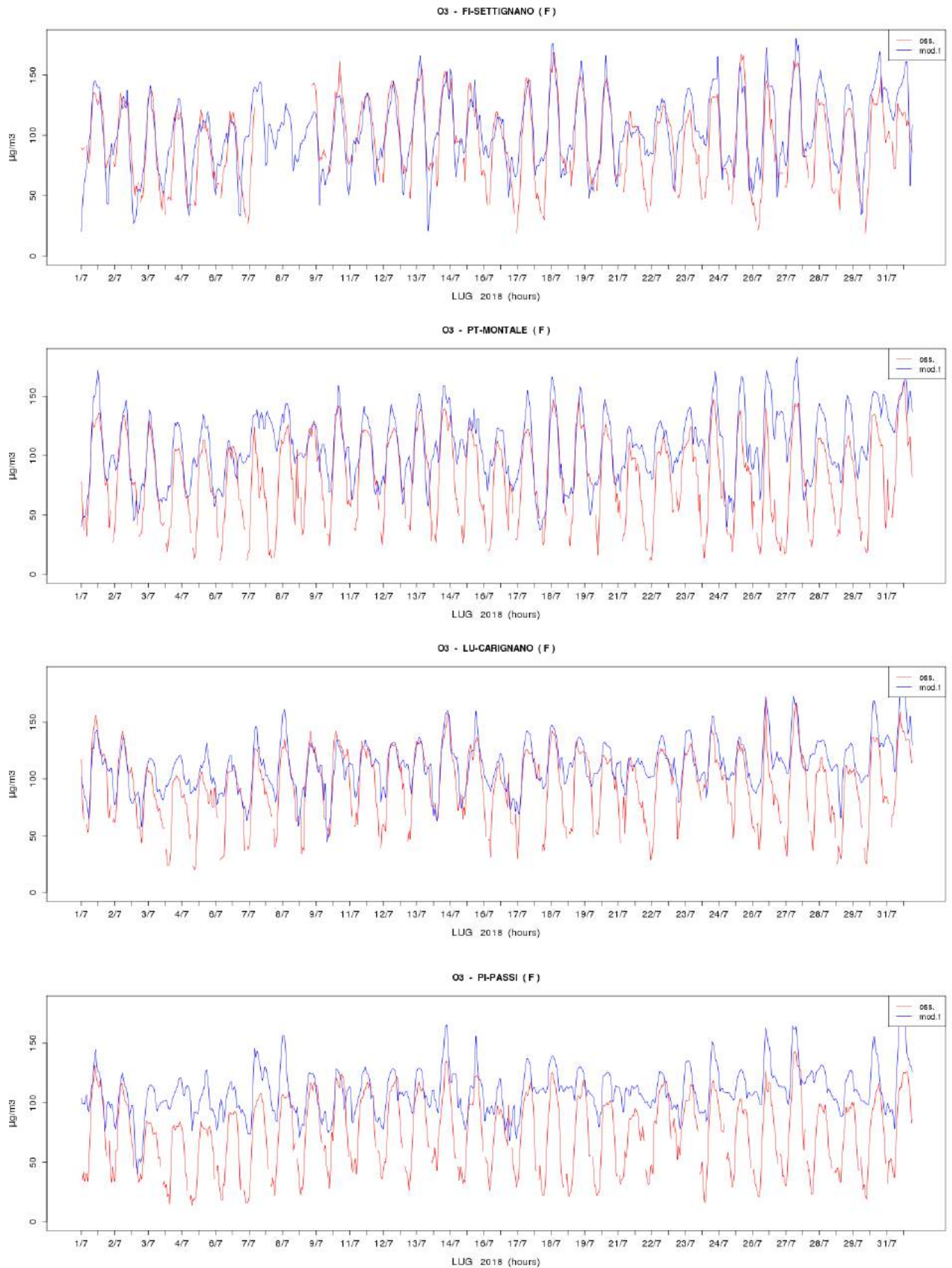


Figura 22. Serie storiche di confronto tra i dati di O3 da stazione (rosso) e da modello (blu), presso le stazioni di FI-Settignano, PT-Montale, LU-Carignano e PI-Passi, nel mese di luglio 2018.

3.3 Scatter-plot

Una rappresentazione sintetica dei risultati si ottiene dagli scatter-plot, in cui sono riportati i valori di concentrazione misurati (asse delle ascisse) e i corrispondenti valori stimati (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.

Di seguito 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). Solo per l'ozono sono riportati anche grafici per singola stazione, relativi al MAXMM8 (valore giornaliero).

Le stime di concentrazione media annua relative al 2018, come per gli anni precedenti, rispettano gli obiettivi previsti per tutti gli inquinanti.

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%): confrontando i grafici con quelli del 2017 si può notare un significativo miglioramento, la maggior parte dei punti si trovano nel settore che indica sottostima, ma più vicini alla bisettrice, indicando un generalizzato miglioramento. Anche nel 2018 si ha un risultato migliore per il PM2.5 rispetto al PM10. Ottimi risultati si hanno per le stazioni sulla costa.

NO2- Il biossido di azoto mostra valori di concentrazione mediamente più bassi rispetto agli anni precedenti: il 72% delle stazioni cade nell'area di confidenza, percentuale che sale a 80% per le sole stazioni di fondo, evidenziando una sottostima del modello dei valori registrati nelle stazioni di traffico. Restano i valori sovrastimati nelle stazioni di Livorno, FI-Settignano e AR-Casastabbi, comunque con valori più vicini a quelli misurati. Anche per questo inquinante si evidenzia un miglioramento.

O3 - I valori di concentrazione media annua di O3, come pure la media di MAXMM8, cadono nell'area di confidenza (100% delle stazioni), anche se la maggior parte sono nel settore superiore, indicando una sovrastima del modello; tale sovrastima è più importante rispetto all'anno precedente. Per quanto riguarda l'analisi del MAXMM8 (valori giornalieri), sono stati elaborati gli scatter-plot per ciascuna stazione; i risultati

sono buoni, anche se affetti da sovrastima per tutte le stazioni, in quanto i punti sono contenuti nell'area di confidenza, nella parte superiore rispetto alla bisettrice. In particolare i grafici relativi a LI-PoggioS.Rocco, GR-Maremma e PI-Montecerboli mostrano una distribuzione di punti più vicina alla bisettrice, indice di buoni risultati.

Per quanto riguarda il biossido di zolfo, niente è cambiato rispetto all'anno precedente: si evidenzia una notevole sovrastima nella stazione di LI-La Pira, la stazione di LU-Capannori è all'interno dell'area di confidenza, mentre la stazione FI-Bassi è sulla bisettrice.

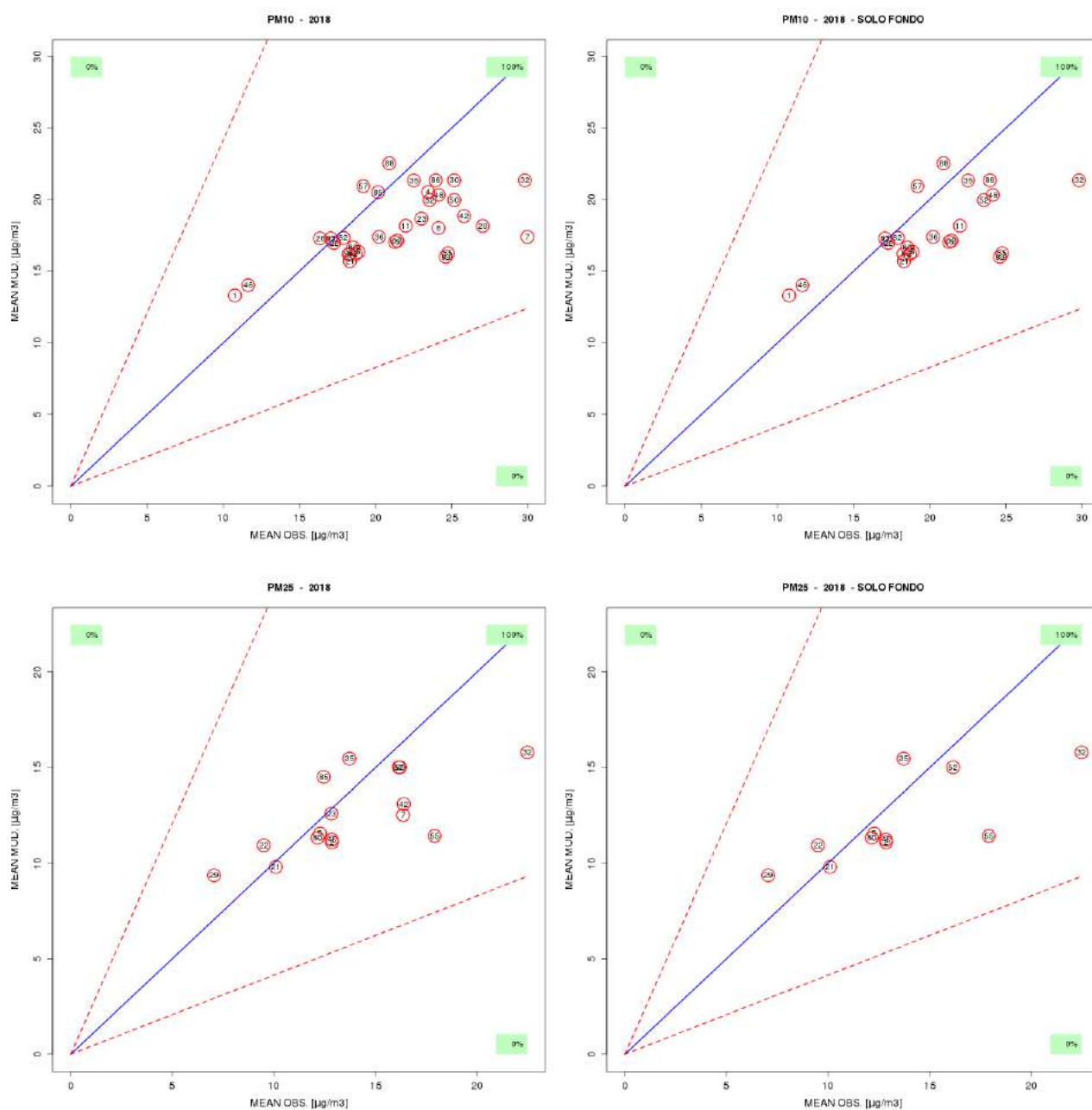


Figura 23. Scatter-plot relativi alla media annua stime-misure di PM10, PM2.5, per tutte le stazioni (sinistra) e per le sole stazioni di fondo (destra).

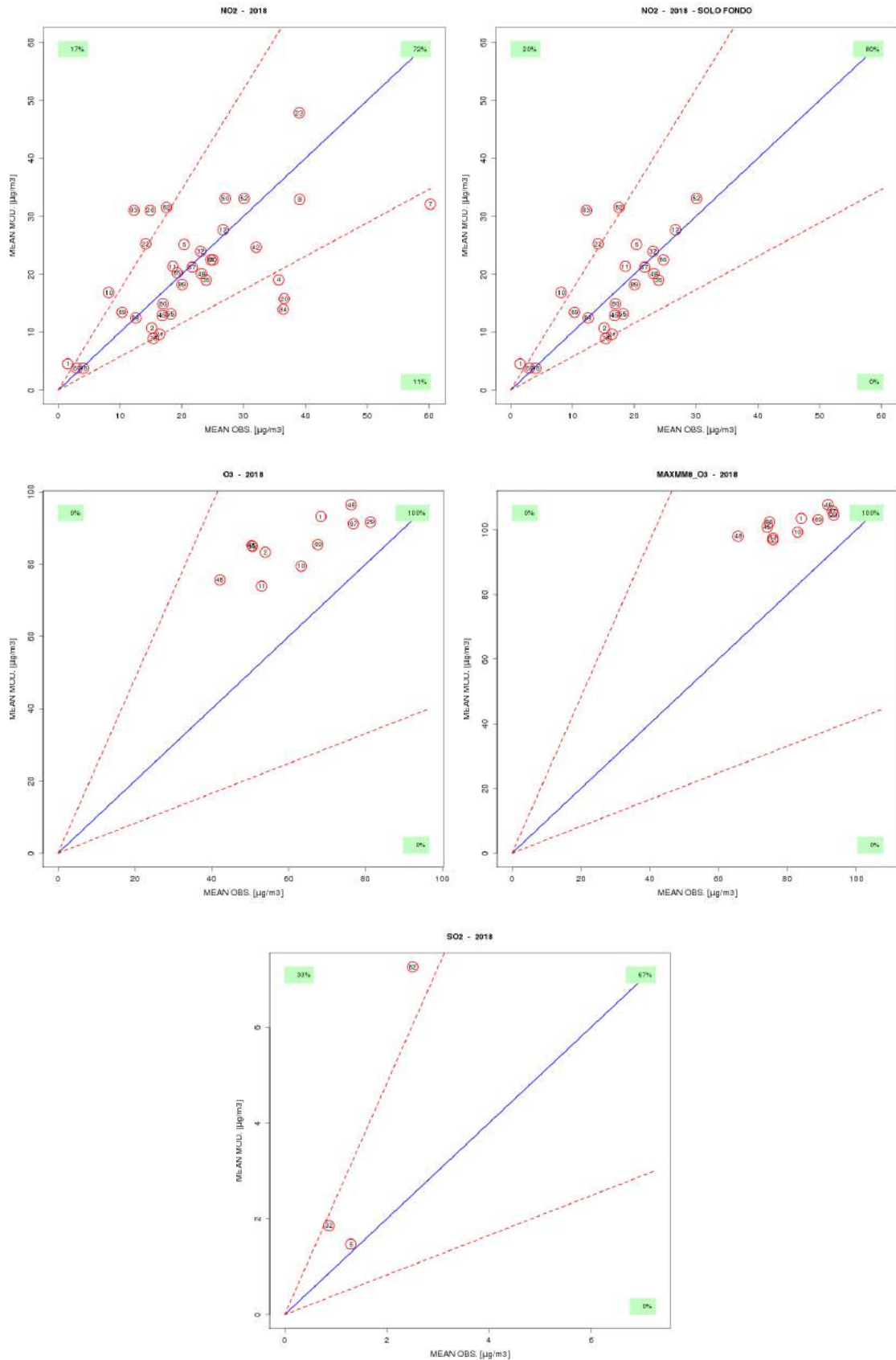


Figura 24. Scatter-plot relativi alla media annua stime-misure di NO₂, O₃, per tutte le stazioni (sinistra) e per le sole stazioni di fondo (destra), di O₃ come media annua (sinistra) e come MAXMM8 (destra), di SO₂ come media annua.

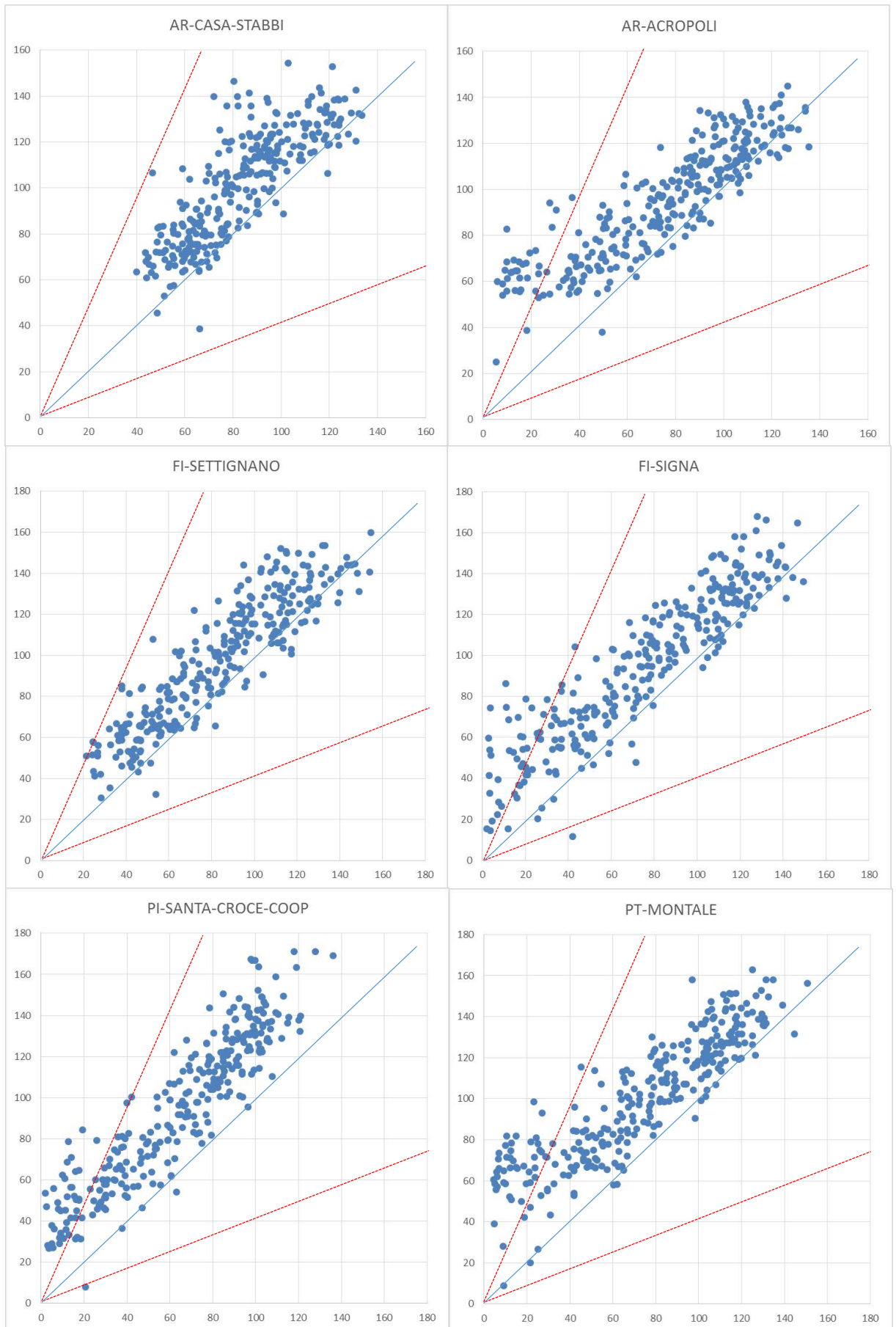


Figura 25. Scatter-plot relativi al MAXMM8 di O₃ (osservazioni-stime), per le stazioni della rete di monitoraggio dell'area interna.

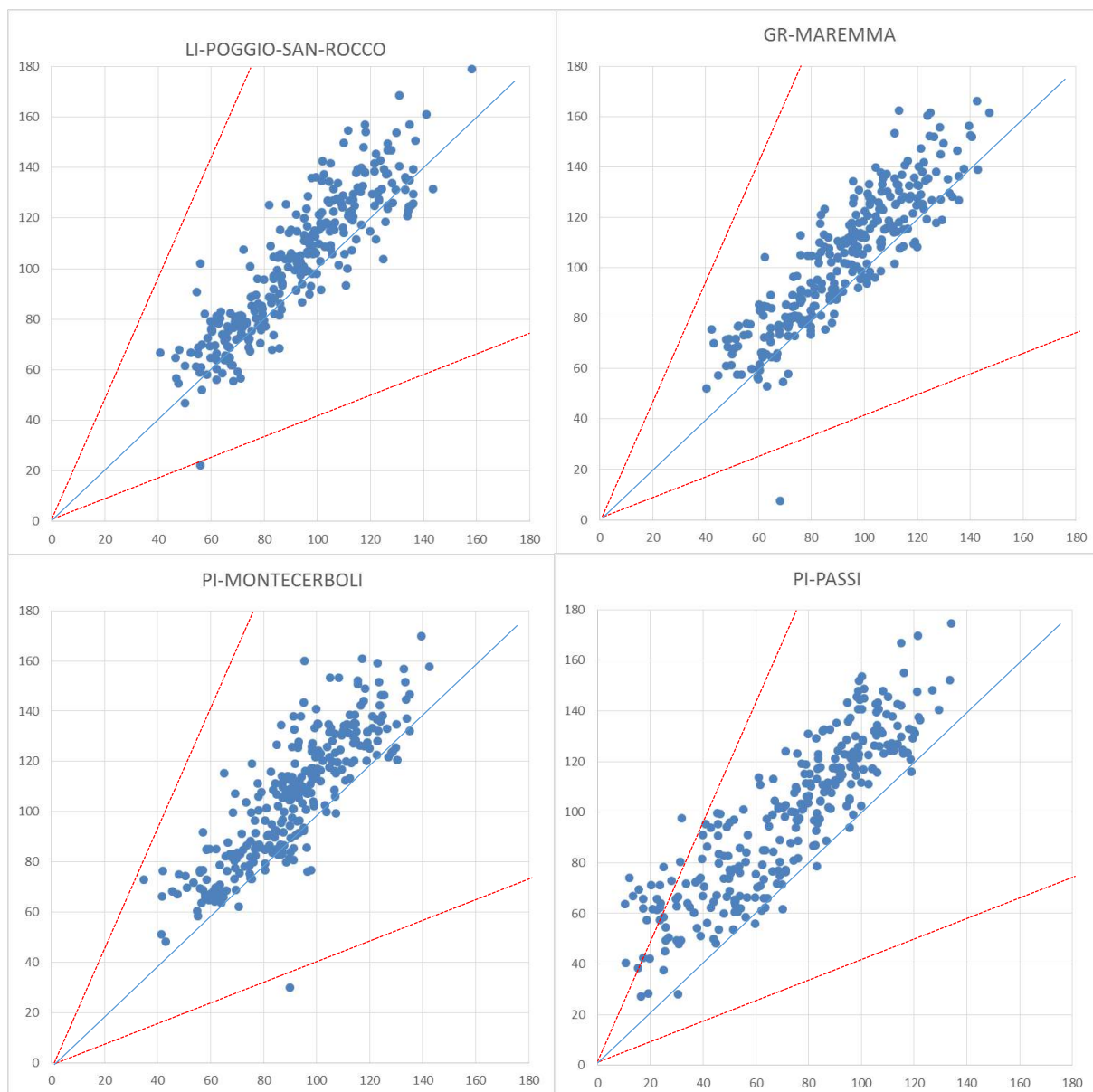


Figura 26. Scatter-plot relativi al massimo della media mobile di O₃ (osservazioni-stime), per le stazioni della rete di monitoraggio dell'area costiera.

3.4 Diagrammi di Taylor

I diagrammi di Taylor, elaborati per ciascun inquinante, evidenziano la corrispondenza stime-misure, considerando contemporaneamente il coefficiente di correlazione e la deviazione standard, per ogni singolo punto di misura. In appendice è riportata una sintetica spiegazione per interpretare i diagrammi (pag.53).

PM₁₀ – La distribuzione dei punti relativi alle stazioni è localizzata nel settore del grafico compreso tra le linee corrispondenti ai coefficienti di correlazione 0.5 e 0.7, e distano dal punto ideale per meno di una deviazione standard. Le stazioni che hanno dei risultati meno buoni sono quelle della costa (Livorno, Piombino, Massa). Complessivamente i risultati sono migliori rispetto al 2017.

PM2.5 – Il diagramma relativo al PM2.5 mostra una distribuzione di punti al di sotto della linea corrispondente al coefficiente di correlazione 0.6 e della semicirconferenza corrispondente a una deviazione standard, mostrando risultati buoni per la maggior parte delle stazioni: si hanno risultati peggiori per GR-URSS e due stazioni di Livorno (LI-Cappiello e LI-PoggioSRocco). Si confermano comunque le buone prestazioni del modello nel simulare questo inquinante.

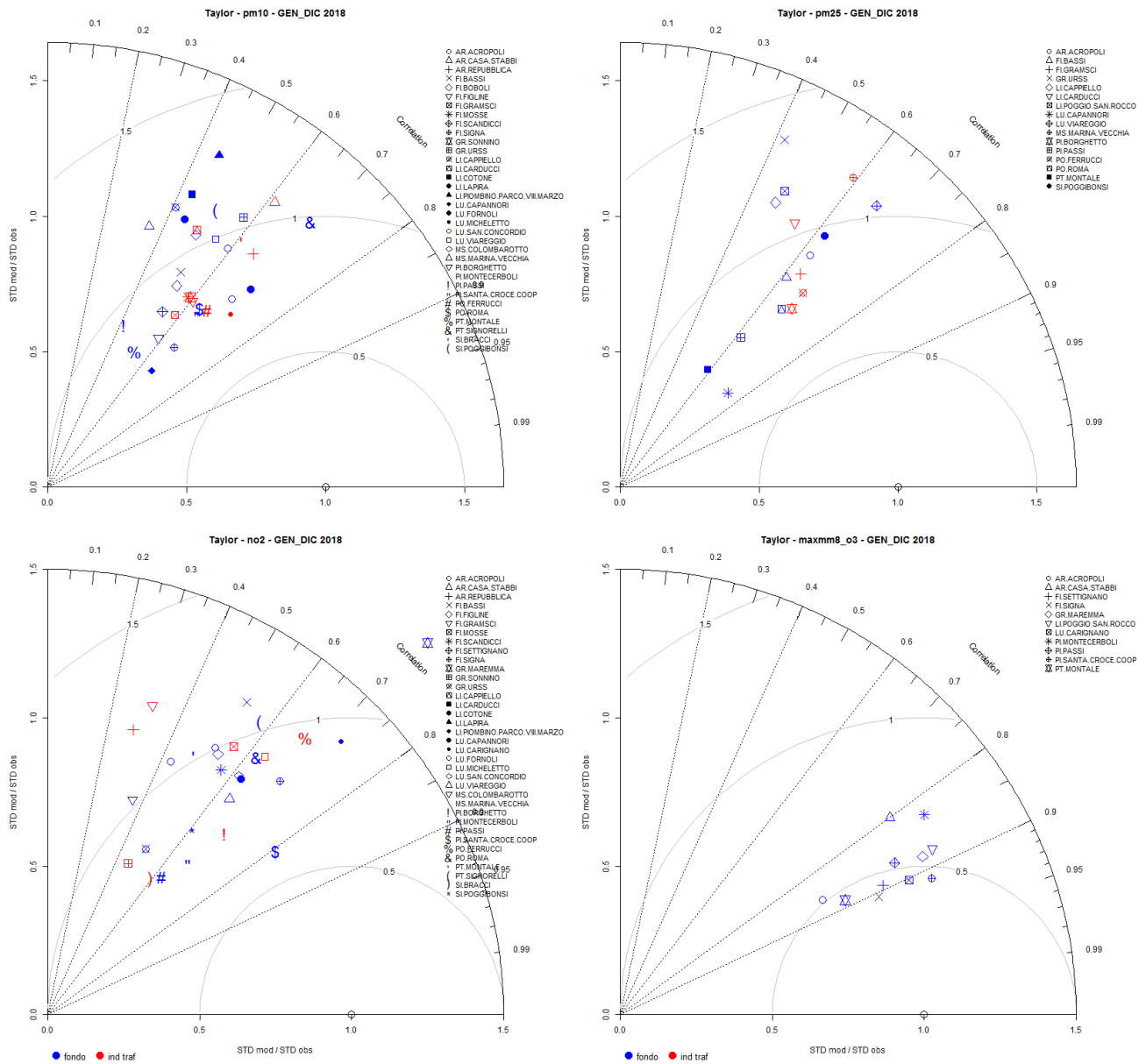


Figura 27. Diagrammi di Taylor di PM10, PM2.5, NO₂, O₃ (MAXMM8): in rosso le stazioni di traffico, in blu di fondo.

NO₂ - Si conferma la notevole differenza nella risposta modellistica a seconda della stazione: nei casi in cui la sovrastima del modello è molto alta il simbolo corrispondente alla stazione non rientra nell'area del grafico e quindi non risulta visibile, come nel caso

di 9 stazioni (area di Livorno, FI-Settignano, Ar-Casastabbi, etc). Per circa 25 stazioni invece i risultati sono buoni, in particolare per PI-Santa Croce, PI-Passi, PI-Montecerboli. In generale i risultati sono migliori rispetto all'anno precedente.

Per PM10, PM2.5 e NO2 non si riscontrano particolari differenze tra stazioni di fondo e stazioni di traffico.

O3 - Per quanto riguarda l'ozono, nel diagramma di Taylor 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 quasi tutte le stazioni, con un netto miglioramento rispetto all'anno precedente.

3.5 Indicatori statistici

Per effettuare una valutazione quantitativa dei risultati ottenuti dalla simulazione modellistica dell'anno 2018 sono stati utilizzati gli indicatori statistici riportati nella tabella 6 in appendice (pag. 52). 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.

Di seguito, nella tabella 4, sono riportati i valori degli indicatori statistici accorpati, ottenuti considerando le sole stazioni di fondo o tutte le stazioni, mentre in appendice sono riportati i valori degli indicatori per le singole stazioni di monitoraggio, per NO₂, PM10, PM2.5, O3, SO₂, su base annuale e stagionale; per l'ozono gli indicatori sono stati elaborati anche per i valori orari e per il MAXMM8.

PM10 – Come negli anni precedenti, per questo inquinante gli indici delle singole stazioni non presentano una forte variabilità. Considerando gli indici accorpati, ottenuti dalla media dei valori di tutte le stazioni, si può notare che i risultati ottenuti sono buoni, migliori rispetto agli anni precedenti: il modello sottostima meno, dell'ordine di -14% a livello annuale, -18% in estate e addirittura sovrastima leggermente in inverno (1%); gli indici di correlazione e IOA su base annuale sono rispettivamente 0.57 e 0.71, di poco inferiori se si considerano le sole stazioni di fondo.

PM2.5 – Anche per il PM2.5 si hanno risultati migliori rispetto all'anno precedente: gli indici statistici correlazione e IOA sono buoni, sia considerando tutte le stazioni (rispettivamente 0.60 e 0.73), sia le sole stazioni di fondo (correlazione 0.59, IOA 0.72), inoltre i valori medi annui sono molto vicini a quelli misurati. Tuttavia, lo scarto su base annuale è -8%, nel periodo invernale è presente una sovrastima (16%), mentre in estate il modello sottostima (-16%): questi valori sono quasi invariati considerando le sole stazioni di fondo.

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	20.1	17.8	9.94	9.08	-0.11	0.38	9.70	0.27	-2.26	0.55	0.70	-11%
	EST	17.3	14.9	5.69	7.90	-0.15	0.38	7.53	0.22	-2.41	0.53	0.68	-14%
	INV	20.2	20.9	9.92	8.70	0.04	0.45	17.53	0.74	1.59	0.29	0.49	4%
pm25	JAN_DEC	13.2	12.1	8.03	7.01	-0.06	0.41	7.45	0.35	-1.15	0.59	0.72	-9%
	EST	10.4	8.9	3.44	3.86	-0.15	0.38	4.60	0.24	-1.46	0.35	0.59	-14%
	INV	13.3	15.4	7.95	7.69	0.16	0.52	14.74	1.06	4.23	0.33	0.49	16%
DAILY SKILL - TUTTE LE STAZIONI													
pm10	JAN_DEC	21.1	18.2	9.91	9.27	-0.14	0.38	9.90	0.26	-2.98	0.57	0.71	-14%
	EST	18.4	15.1	5.89	7.98	-0.19	0.40	8.06	0.24	-3.30	0.53	0.67	-18%
	INV	21.2	21.3	9.90	8.97	0.01	0.44	17.85	0.72	0.28	0.28	0.49	1%
pm25	JAN_DEC	13.7	12.6	7.78	7.24	-0.07	0.39	7.28	0.32	-1.14	0.60	0.73	-8%
	EST	11.1	9.3	3.56	4.01	-0.17	0.39	4.90	0.24	-1.80	0.34	0.58	-16%
	INV	13.7	15.9	7.72	7.96	0.15	0.50	14.62	0.99	4.40	0.35	0.50	16%
DAILY SKILL - SOLO STAZIONI FONDO													
no2	JAN_DEC	16.5	17.8	8.30	9.78	0.08	0.48	10.49	0.52	1.30	0.54	0.66	8%
	EST	11.9	16.4	4.45	7.63	0.26	0.51	9.38	0.60	4.45	0.48	0.56	37%
	INV	16.6	19.3	8.31	10.02	0.18	0.59	18.13	1.36	5.48	0.28	0.47	17%
DAILY SKILL - TUTTE LE STAZIONI													
no2	JAN_DEC	21.6	20.5	9.27	10.82	-0.01	0.50	13.12	0.52	-1.07	0.53	0.63	-5%
	EST	16.9	19.5	5.59	8.70	0.15	0.52	11.99	0.58	2.60	0.45	0.54	15%
	INV	21.7	21.5	9.28	10.87	0.07	0.58	21.33	1.26	-0.27	0.27	0.47	-1%
DAILY SKILL - SOLO STAZIONI FONDO													
o3	JAN_DEC	62.5	85.4	23.00	24.89	0.33	0.34	27.70	0.18	22.91	0.80	0.73	37%
	EST	78.2	104.3	14.82	13.32	0.29	0.30	30.42	0.13	26.03	0.42	0.47	33%
	INV	62.3	66.2	23.02	18.25	0.07	0.36	38.83	0.43	7.68	0.31	0.51	6%
MM8 SKILL - SOLO STAZIONI FONDO													
o3	JAN_DEC	82.3	101.6	28.69	29.00	0.21	0.23	24.35	0.08	19.28	0.87	0.83	23%
	EST	104.0	124.3	16.61	15.74	0.18	0.19	24.97	0.05	20.27	0.61	0.61	19%
	INV	82.1	78.8	28.81	19.80	-0.04	0.33	45.64	0.35	-7.01	0.29	0.50	-4%
HOURLY SKILL - SOLO STAZIONI FONDO													
o3	JAN_DEC	62.5	85.6	30.53	29.99	0.33	0.37	32.69	0.24	23.05	0.71	0.75	37%
	EST	78.4	104.7	28.61	23.01	0.29	0.33	36.01	0.18	26.30	0.57	0.64	34%
	INV	62.1	66.2	30.63	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	1.6	3.6	1.17	2.64	0.61	0.94	3.54	1.92	2.00	0.08	0.34	128%
	EST	1.7	4.5	1.09	2.63	0.56	0.87	4.03	1.68	2.74	0.16	0.35	160%
	INV	1.6	2.6	1.16	2.05	0.47	0.86	3.63	3.10	2.04	0.10	0.37	66%

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

NO₂ –Per questo inquinante si hanno notevoli differenze tra stazione e stazione, per cui è necessario valutare le prestazioni delle singole stazioni, riportate nelle tabelle in appendice (pagg. 107-109). In particolare, come già segnalato, 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 accorpatisi, 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 8%, estiva del 37%, invernale del 17%, a fronte di valori di correlazione di 0.54 e IOA pari a 0.66. Considerando tutte

stazioni si ha una leggera sottostima dell'ordine del -5% su base annua, indice di correlazione di 0.53 e IOA pari a 0.63.

O₃ – Per quanto riguarda l'ozono, i risultati migliori si ottengono per gli indicatori del MAXMM8, con valori di correlazione e IOA molto buoni, rispettivamente 0.87 e 0.83 su base annua. Si ha però un aumento della sovrastima rispetto agli anni precedenti: il modello, in termini di MAXMM8 sovrastima i dati misurati del 23%, in termini di media giornaliera del 37%. Anche in questo caso si presentano variazioni significative da stazione a stazione, riportati in appendice nelle tabelle in appendice (pagg. 110-111).

SO₂- Per questo inquinante, misurato in sole tre stazioni, si rimanda alle tabelle in appendice (pag. 112): 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.

3.6 Dust sahariano

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 (componente suolo o crostale, ccrs), in corrispondenza di 16 stazioni di monitoraggio (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 al dust sahariano, 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.

In tabella 6 sono riportate le date dei principali episodi di dust sahariano stimati da modello nel 2018, 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.

	max	min	media
09/01/2018	37.0	11.4	21.7
02/02/2018	16.4	0.6	2.7
07/02/2018	12.1	3.9	8.9
12/04/2018	34.6	6.9	14.3
16/04/2018	31.2	15.4	22.0
17/04/2018	45.0	10.2	26.8
18/04/2018	15.3	8.6	12.5
24/04/2018	19.1	13.7	15.9
25/04/2018	16.3	9.5	11.9
26/04/2018	14.3	6.4	9.6
29/04/2018	18.9	9.2	13.0
03/05/2018	12.3	4.3	8.2
04/05/2018	8.3	5.3	6.8
05/05/2018	14.2	8.0	11.2
23/05/2018	15.6	10.0	12.2
24/05/2018	15.5	1.5	4.7
25/05/2018	15.0	1.7	5.3
26/05/2018	17.3	5.4	12.2
28/05/2018	17.1	11.7	13.7
29/05/2018	33.4	21.2	24.5
30/05/2018	23.9	13.0	17.0
31/05/2018	23.8	8.7	14.8
02/06/2018	14.1	9.5	11.8
04/06/2018	14.3	10.1	12.0
12/06/2018	16.8	9.1	13.0
03/07/2018	21.8	9.4	14.4
04/07/2018	15.1	8.3	11.8
16/07/2018	19.8	8.4	12.2
14/09/2018	23.4	11.5	17.7
15/09/2018	15.8	8.5	11.3
29/10/2018	45.9	9.8	19.0
01/11/2018	18.8	8.1	10.8
02/11/2018	14.8	3.8	7.9
03/11/2018	15.8	7.3	11.1

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

Di seguito sono riportati i grafici relativi alla serie storica della media giornaliera misurata di PM10 (asse di sinistra) contrapposta alla serie storica della frazione di origine naturale del PM10 stimata da modello (asse di destra), per le stazioni di AR-CasaStabbi e di PI-Montecerboli (Fig. 26). 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.

Dai grafici si può notare che i picchi principali della stima di polvere sahariana in molti casi corrispondono effettivamente a picchi di concentrazione di PM10 misurati.

Osservando i grafici e la tabella, si può notare che gli episodi di intrusione di polvere sahariana si verificano con più frequenza nel periodo primaverile-estivo, aprile-settembre, nove episodi di cui uno molto lungo (23/05/18-04/06/18). A gennaio febbraio e a fine ottobre, inizio novembre si sono verificati 5 episodi, di cui due intensi (09/01/18, 29/10/18).

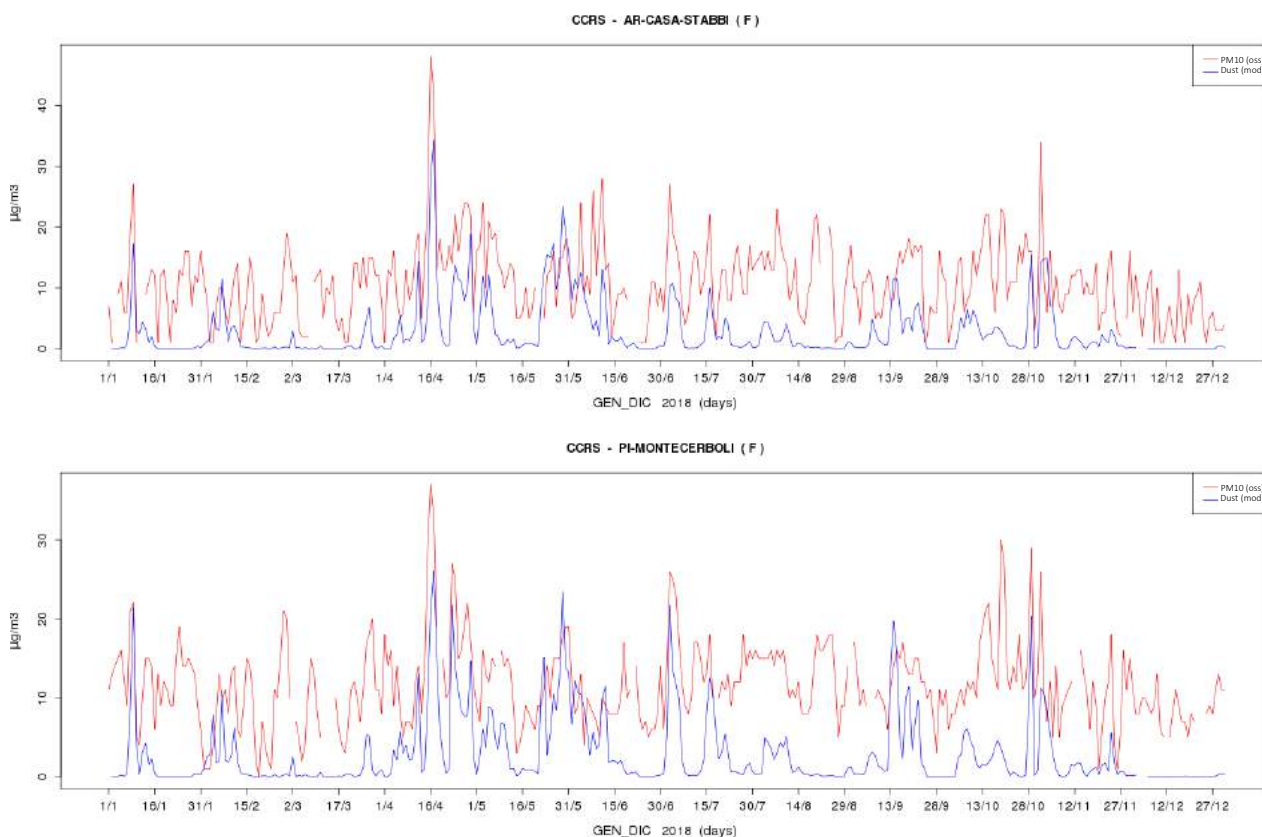


Figura 28. Serie storiche di confronto tra le medie giornaliere di dust sahariano stimato dal modello (blu) e PM10 osservato (rosso) relative alle stazioni di AR-CasaStabbi, PI-Montecerboli.

La distribuzione territoriale della polvere sahariana può essere visualizzata attraverso mappe della concentrazione media giornaliera relativa agli episodi più intensi: a titolo di esempio, sono riportati due episodi in cui si ha una distribuzione territoriale molto diversa: il 2 febbraio l'intrusione sahariana, proveniente da sud, interessa in modo significativo solo la parte meridionale della regione, mentre il 12 giugno si ha una distribuzione più uniforme su tutto il territorio.

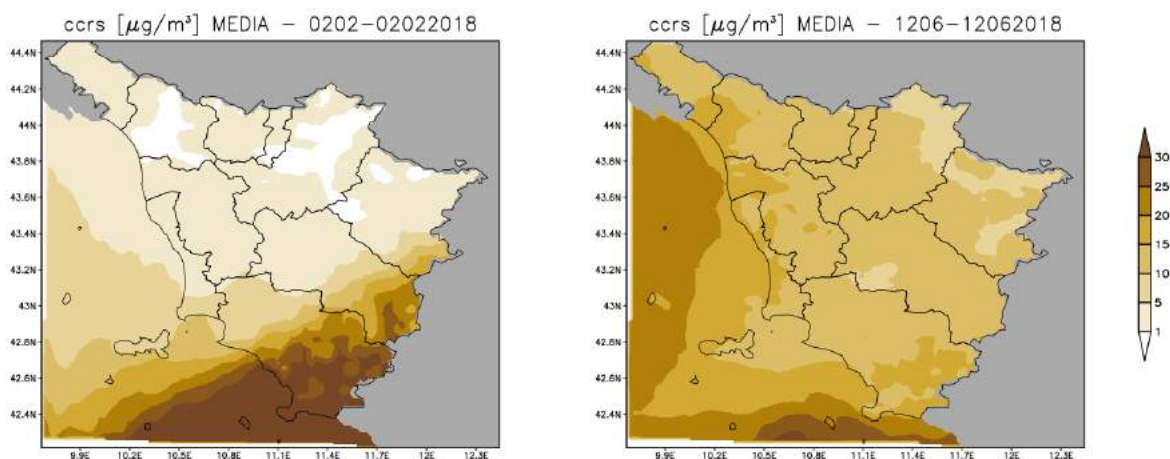


Figura 29. Media giornaliera delle concentrazioni di polvere sahariana ($\mu\text{g}/\text{m}^3$), relativa ai giorni 2 febbraio e 12 giugno 2018.

Il metodo modellistico qui 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.

Alcune verifiche effettuate 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, hanno fornito buoni risultati, ulteriori analisi saranno svolte nell'ambito della prosecuzione del progetto PATOS che prevede una campagna di misure nell'anno marzo 2019- marzo 2020.

Conclusioni

Nel corso del 2018-2019 il sistema modellistico SPARTA, utilizzato per fornire supporto alla Regione Toscana nella realizzazione del Programma di Valutazione della Qualità dell'Aria, è stato aggiornato, sia per quanto riguarda il modello meteo, che il modello chimico, e la nuova configurazione è stata applicata all'analisi dell'anno 2018.

I risultati ottenuti, relativi alle stime dei principali inquinanti atmosferici, 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, ma anche le variazioni dovute all'aggiornamento del sistema di modelli.

Da un punto di vista climatologico, l'anno 2018 è stato il terzo anno più caldo a partire dal 1955, caratterizzato da temperature superiori alla media soprattutto a gennaio, aprile e nel periodo autunnale. La breve ondata di calore di fine luglio-inizio agosto, durante la quale le temperature superiori alla norma e all'alto indice UV, hanno determinato innalzamenti significativi delle concentrazioni di ozono. Da un punto di vista circolatorio il 2018 ha visto due fasi, la prima molto dinamica e perturbata nei primi 5 mesi dell'anno (con la sola eccezione di aprile), la seconda in prevalenza anticiclonica, compresa tra giugno e dicembre. Nel trimestre ottobre-dicembre la maggior frequenza di anticicloni rispetto alla norma ha favorito episodi di inversione termica. Per quanto riguarda le piogge, il 2018 non ha fatto registrare particolari anomalie, tuttavia la distribuzione delle precipitazioni è stata molto irregolare, con febbraio-marzo e maggio molto piovosi, seguiti da un'estate ed un'autunno con scarse precipitazioni.

I risultati ottenuti da modello sono stati validati attraverso il confronto con i dati misurati nelle stazioni di monitoraggio della rete regionale, e sono di seguito riassunti.

PM10-PM2.5: Il modello riproduce molto bene i valori di concentrazione di PM10, sia in termini di andamento temporale che in termini quantitativi, nelle maggior parte delle stazioni di monitoraggio. In generale i valori ottenuti da modello sono sottostimati nel periodo estivo, anche se in misura minore rispetto agli anni precedenti. 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. I risultati ottenuti sono molto buoni per il PM_{2.5}, sia in termini di andamento temporale che in termini quantitativi, con valori stimati molto vicini a quelli misurati: in generale si riscontra un miglioramento rispetto agli anni precedenti, che pure evidenziavano un buon accordo stime-misure. Tuttavia, come per il PM₁₀, resta significativa la sottostima relativa agli episodi acuti invernali in alcune stazioni. 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 parziale conferma deriva da studi condotti nell'ambito del progetto PATOS, che verranno ulteriormente approfonditi nella prosecuzione del progetto. In generale, i risultati ottenuti per questi inquinanti sembrano migliori rispetto a quanto ottenuto negli anni precedenti: è possibile che questo miglioramento sia attribuibile principalmente all'aggiornamento del sistema modellistico.

NO₂: Per quanto riguarda le stime di concentrazione di NO₂ si evidenzia un generalizzato miglioramento rispetto ai risultati degli anni precedenti: nella maggior parte delle stazioni, sia nelle pianure interne che sulla costa si ha un discreto accordo stime-misure. Si ha invece una sensibile sovrastima nel periodo maggio-ottobre in alcune stazioni di fondo delle pianure interne (FI- Bassi, PO-Roma, PT-Signorelli, AR-Acropoli). Un gruppo limitato di stazioni presenta risultati non soddisfacenti, come FI-Settignano, in cui il modello supera di molto i valori misurati durante tutto l'anno; anche la stazione di AR-Casa Stabbi, rurale-fondo, mostra una importante sovrastima, dovuta probabilmente all'effetto delle condizioni al contorno. Nelle stazioni delle città portuali, Livorno e Piombino, i valori stimati sono molto maggiori rispetto a quelli misurati, soprattutto nel periodo estivo. Nelle stazioni di traffico in alcuni casi si ha un buon accordo, in altri una significativa sottostima. Sulla base di risultati così differenziati sul territorio sarebbe 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 l'SO₂: nella stazione di LI-LaPira 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 (giornaliera, 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 molto i valori notturni. Nel mese di maggio le concentrazioni sono sovrastimate, mentre nei mesi di luglio e agosto c'è un maggior accordo stime-misure anche come trend giornaliero, soprattutto nelle stazioni di FI-Settignano, LI-PoggioS.Rocco, GR-Maremma. 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, rispetto agli anni precedenti, si può notare un aumento delle concentrazioni stimate, soprattutto nelle ore notturne, e quindi una non corretta riproduzione del ciclo giornaliero. Tuttavia, considerando gli scatter-plot e il diagramma di Taylor (media annua e del MAXMM8), nonostante la maggiore sovrastima, i risultati sono buoni, soprattutto per il MAXMM8 in termini di correlazione e standard deviation. La tendenza del modello a stimare valori di concentrazione di O3 mediamente più alti rispetto agli anni precedenti potrebbe essere messa in relazione alla riduzione della concentrazione di NO2 stimata nei mesi estivi.

Dust sahariano: Le stime modellistiche hanno evidenziato, per il 2018, 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 periodo primaverile-estivo, aprile-settembre, di cui uno molto lungo (23/05/18-04/06/18); nei mesi invernali e autunnali gli episodi sono meno frequenti, di cui due intensi (09/01/18, 29/10/18). Il metodo modellistico può essere di aiuto per l'individuazione degli episodi sahariani, in ogni caso, per la valutazione quantitativa del contributo sahariano al PM10 si rimanda alla metodica proposta nelle linee guida europee, adottata da ARPAT.

Nel complesso, l'aggiornamento del sistema modellistico SPARTA, applicato all'anno 2018, sembra aver apportato significativi miglioramenti per la stima dei valori di concentrazione dei principali inquinanti, in particolare del PM10, PM2.5 e NO2: per quanto riguarda l'ozono, affetto da una maggiore sovrastima, si evidenzia una discreta capacità del sistema modellistico nel riprodurre i valori di picco, come dimostrato dai buoni indicatori statistici del MAXMM8. Ulteriori miglioramenti sono auspicabili una volta che l'input emissivo, attualmente IRSE 2010, sarà aggiornato e integrato nel sistema modellistico.

APPENDICE

SIMULAZIONE DELL'ANNO 2018

In questa appendice sono riportati gli elaborati grafici relativi alla simulazione dell'anno 2018, ottenuta attraverso il sistema modellistico SPARTA.

Mappe medie della concentrazione di inquinanti

- PAGG. 54 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. 60: 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. 61: Mappa delle concentrazioni medie annuali degli inquinanti PM10, NO2, PM2.5, SO2, O3 (mediato sulle ore centrali) e O3 (mediato nelle ore serali/notturne).

Serie Storiche

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

Skill

Sono fornite le tabelle di skill, calcolati su base giornaliera, tra osservazioni e dati modellistici, per tutti gli inquinanti per i periodi annuale, semestre caldo e semestre freddo (PAGG. 102 e segg.).

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

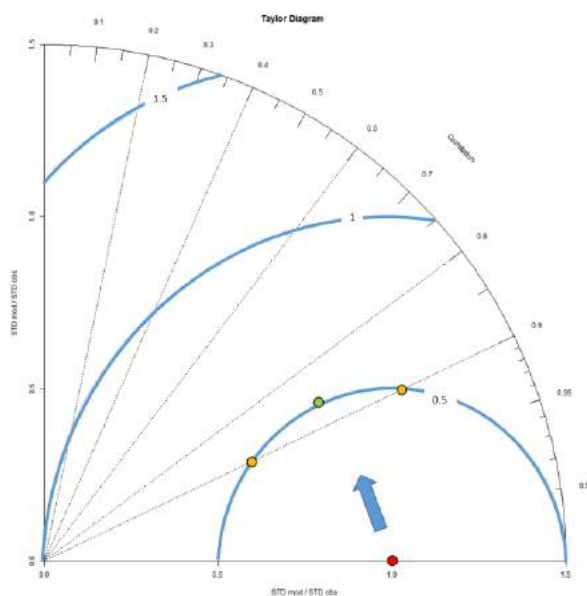
X_i = dati osservati \bar{X} = media dei dati osservati

Y_i = dati simulati \bar{Y} = media dei dati simulati

Diagramma di Taylor

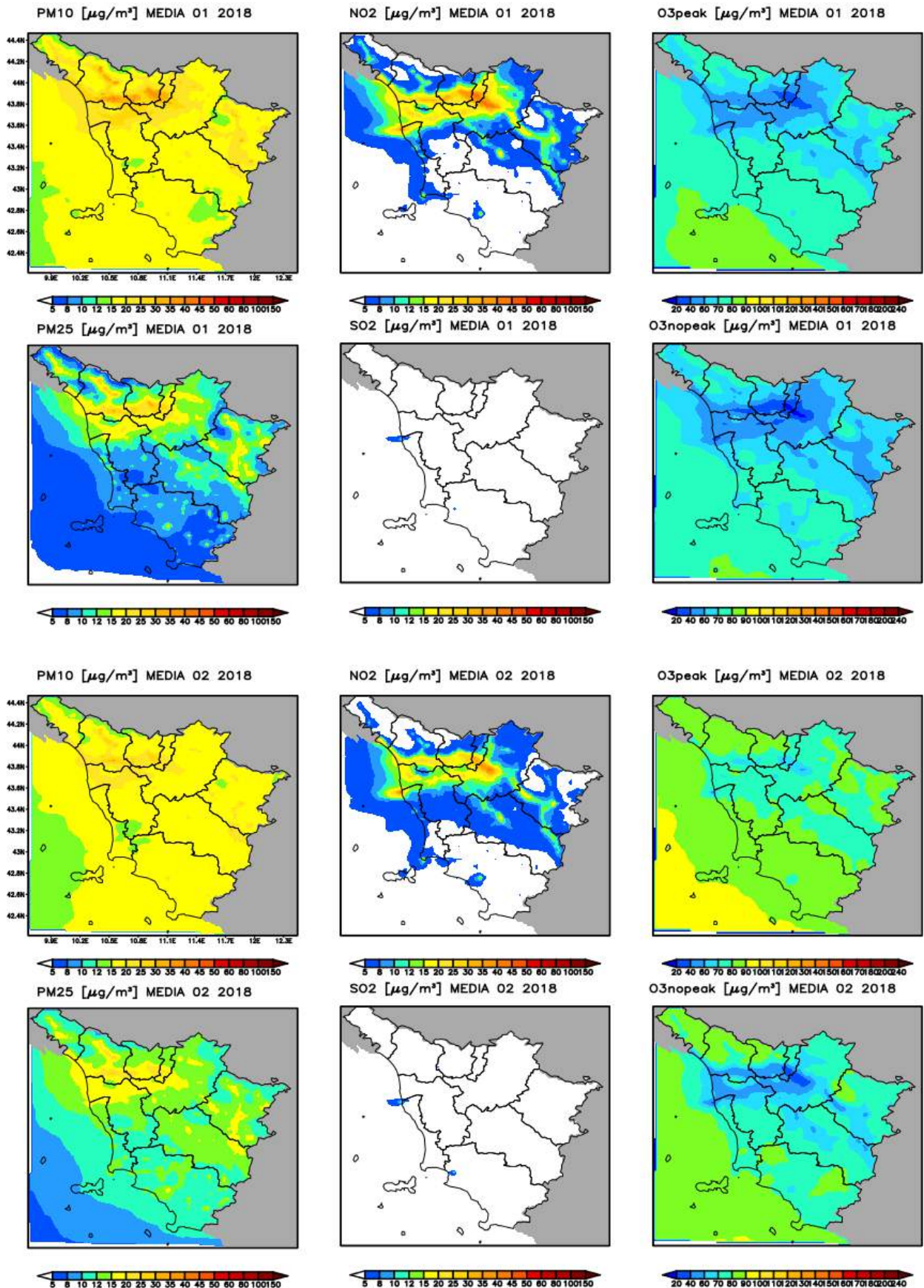
Il diagramma di Taylor facilita la comprensione del grado di corrispondenza del modello rispetto ai dati osservati, considerando contemporaneamente il coefficiente di correlazione e la deviazione standard, per ogni singolo punto di misura. Nella figura seguente viene riportato un esempio di diagramma di Taylor: sull'asse orizzontale viene riportato il rapporto tra la deviazione standard del modello e la deviazione standard delle osservazioni, per ciascuna coppia di osservazioni/misure. Le curve azzurre rappresentano isolinee del rapporto fra le deviazioni standard. Sull'arco di circonferenza a destra viene riportato il coefficiente di correlazione di Pearson con i valori più bassi di correlazione in alto e crescenti verso il basso. Le linee tratteggiate rappresentano le isolinee del coefficiente di correlazione.

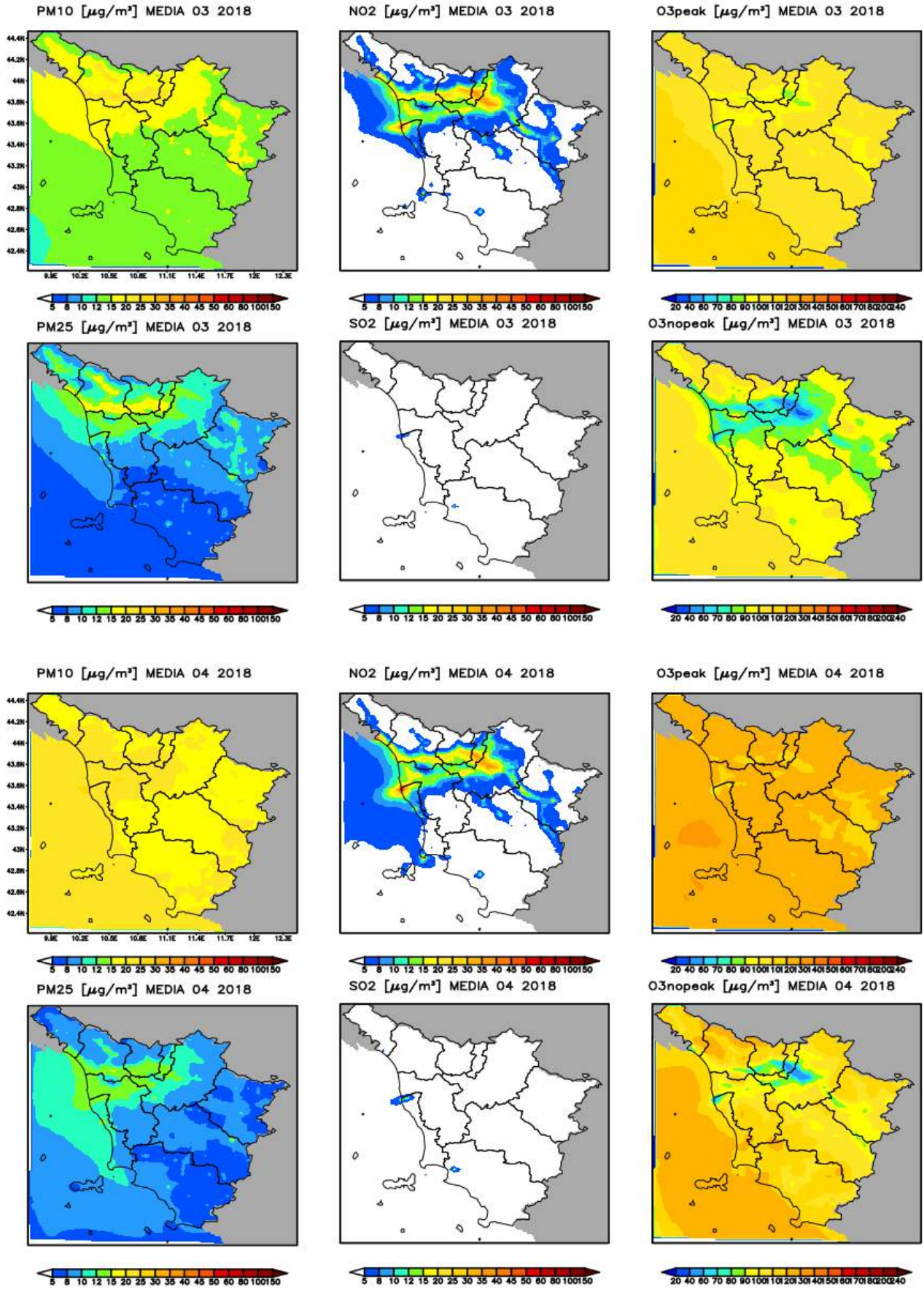
Il punto ideale è rappresentato dal punto rosso, quindi un modello sarà tanto più affidabile quanto più i punti rappresentanti le coppie di osservazioni e dati stimati cadranno in una regione intorno a tale punto. Dati peggiori si hanno discostandosi dal punto rosso nel senso indicato dalla freccia. A titolo di esempio sono riportati alcuni punti. I due punti gialli rappresentano due risultati equivalenti: si discostano dall'ottimo per mezza deviazione standard (cadono sulla stessa isolinea azzurra) e riportano lo stesso coefficiente di correlazione pari a 0.9 (stessa isolinea tratteggiata). Il punto verde, che cade sullo stessa isolinea azzurra fornisce lo stesso risultato dal punto di vista dei rapporti delle deviazioni standard ma una correlazione leggermente peggiore.

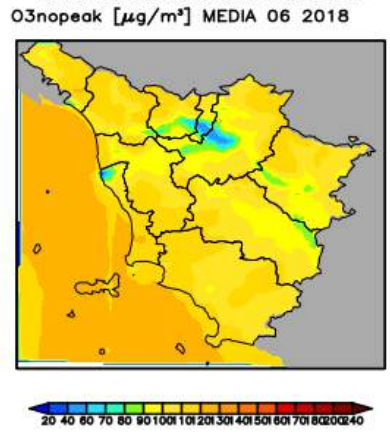
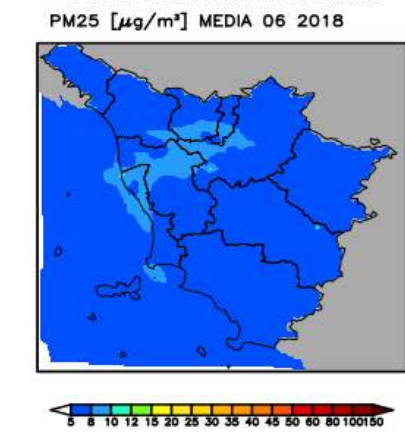
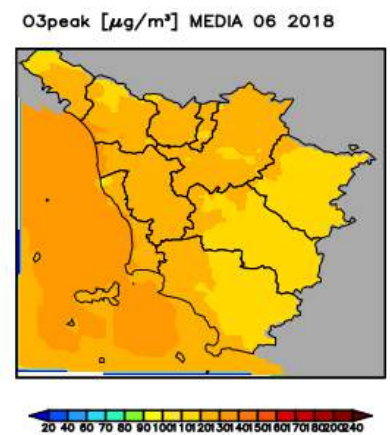
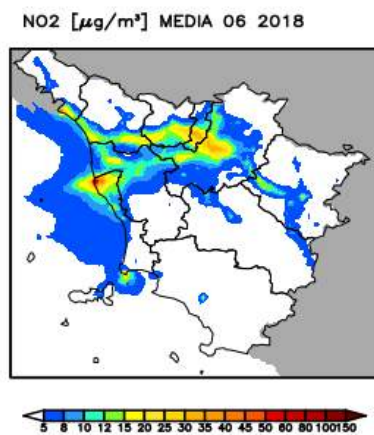
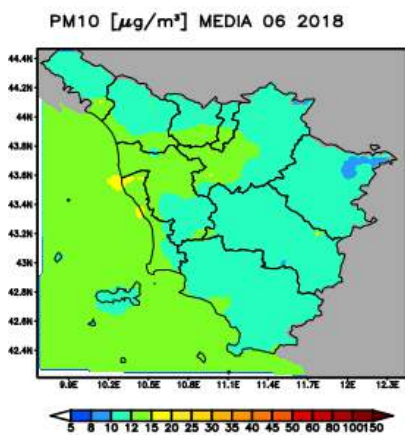
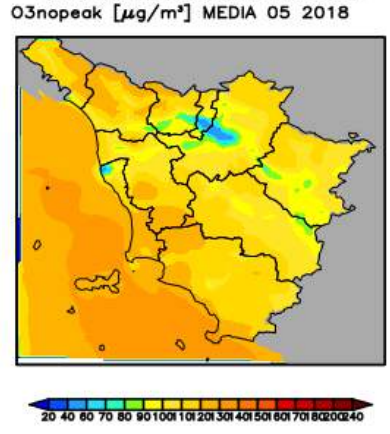
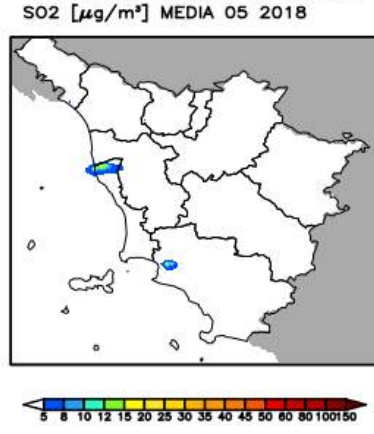
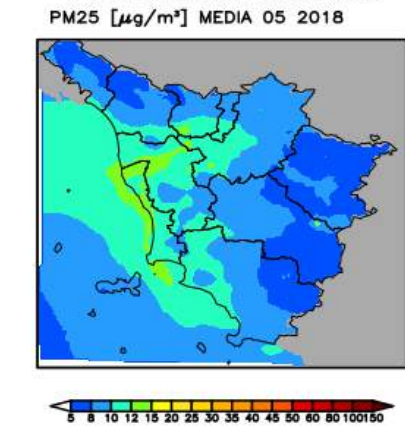
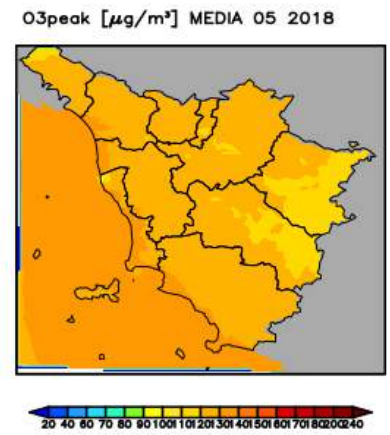
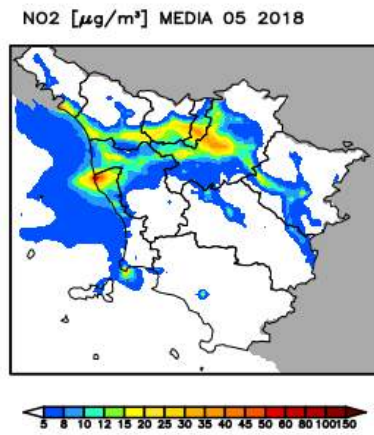
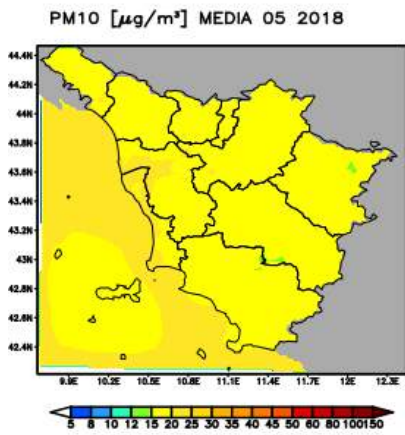


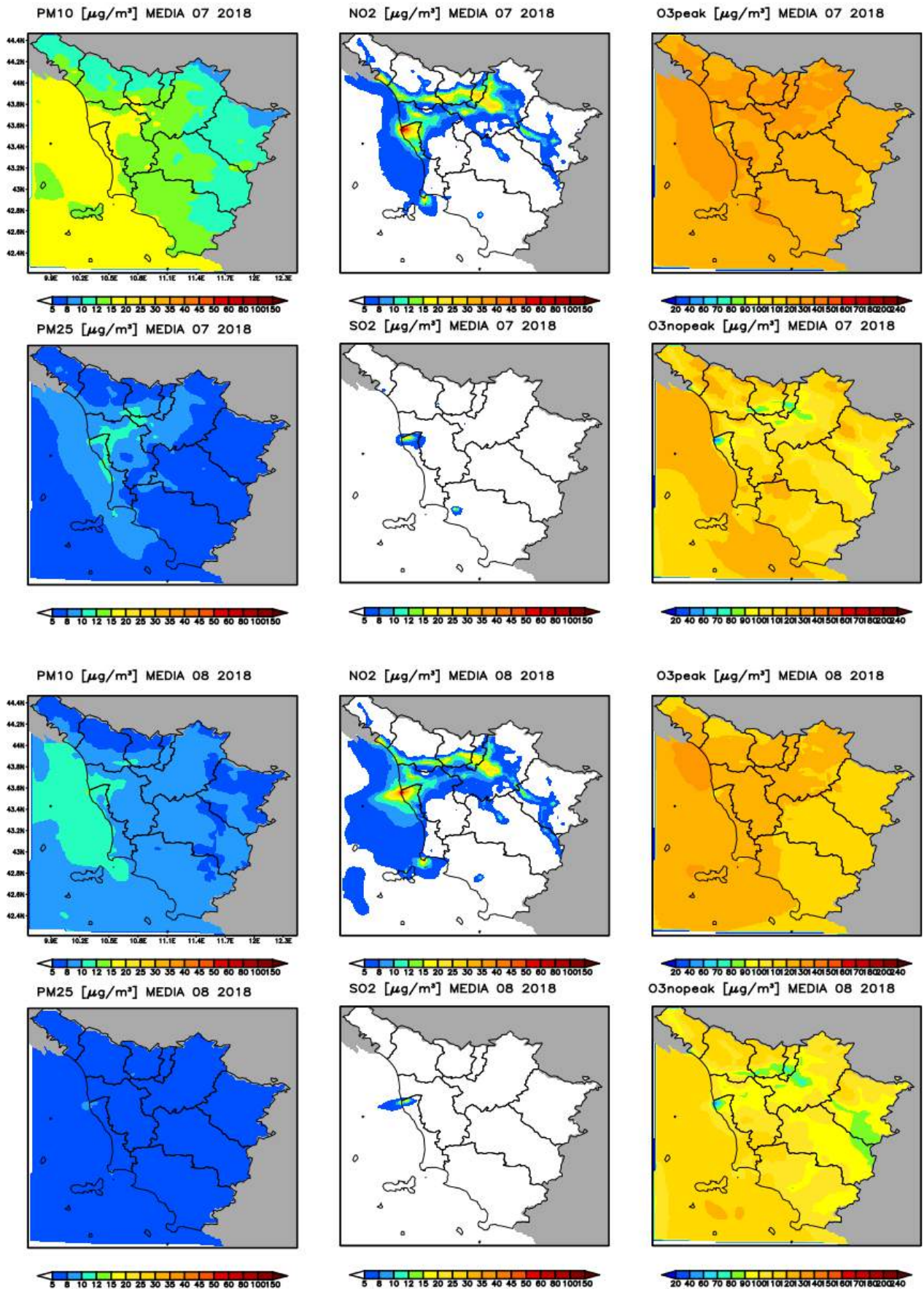
Esempio di diagramma di Taylor.

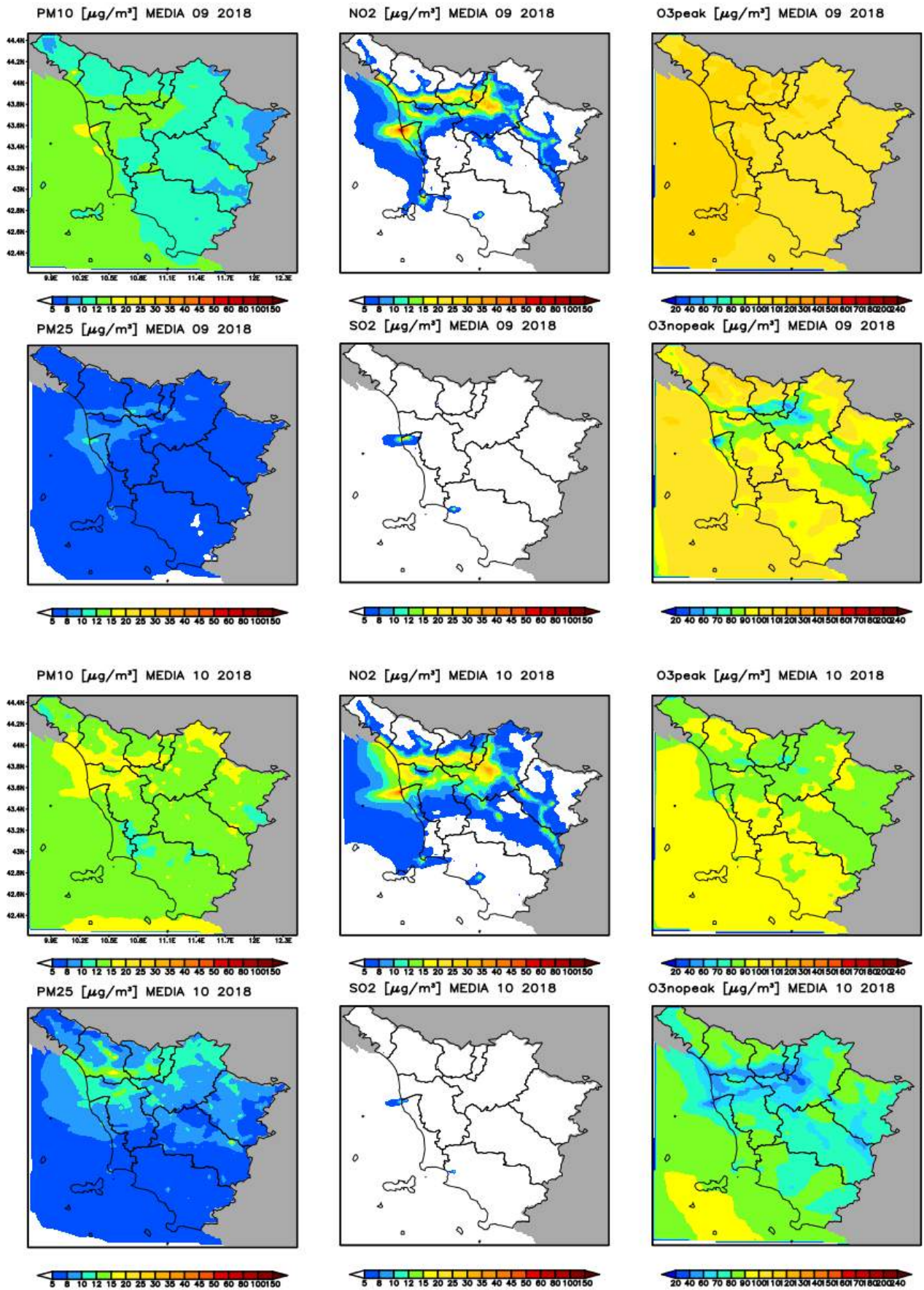
Mappe medie 2018

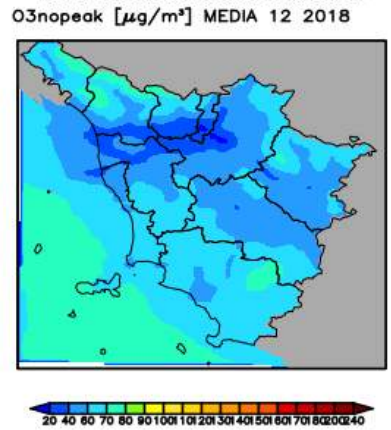
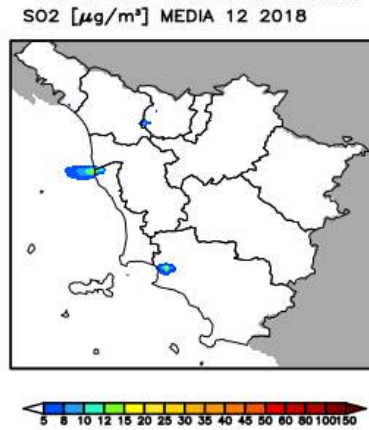
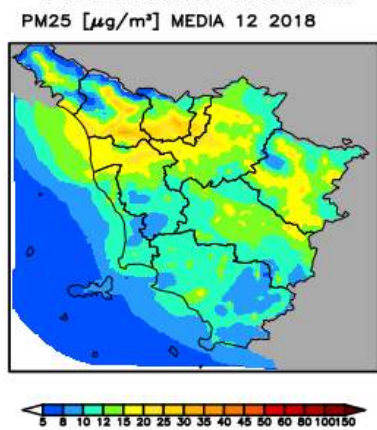
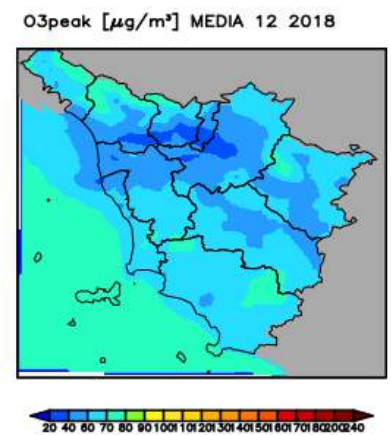
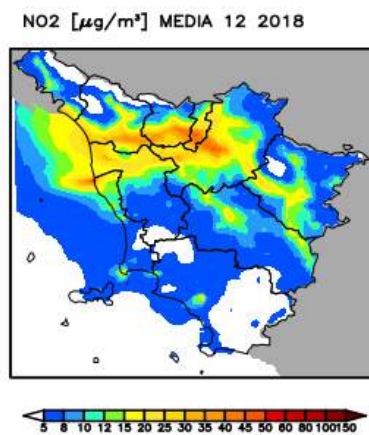
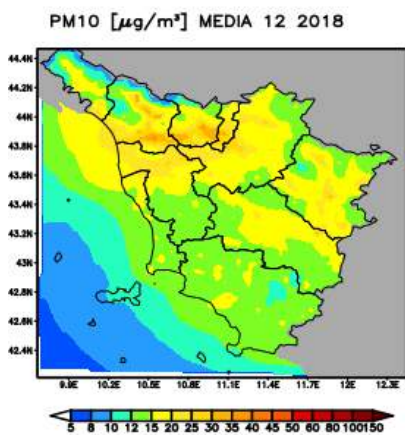
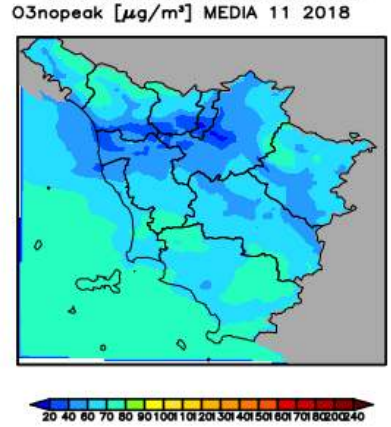
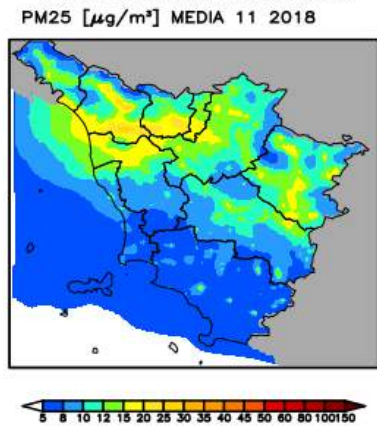
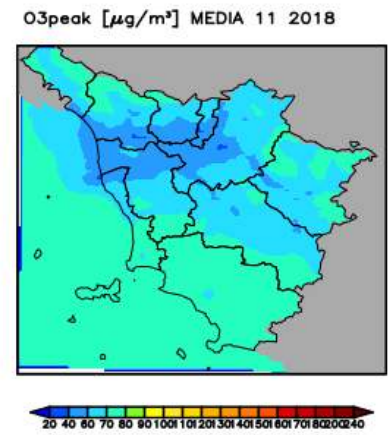
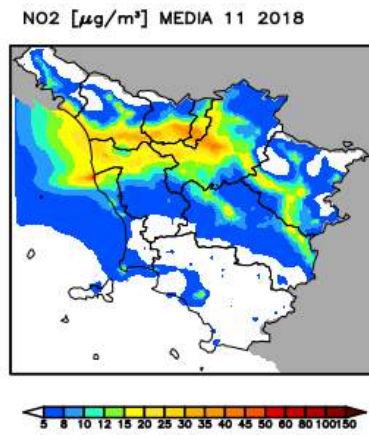
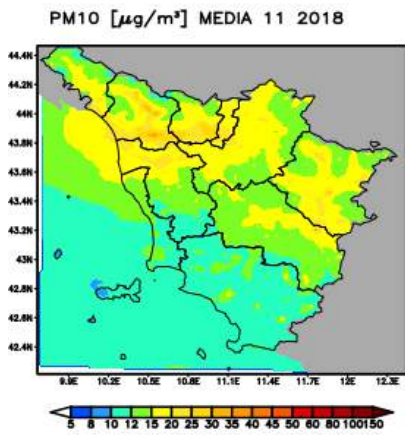


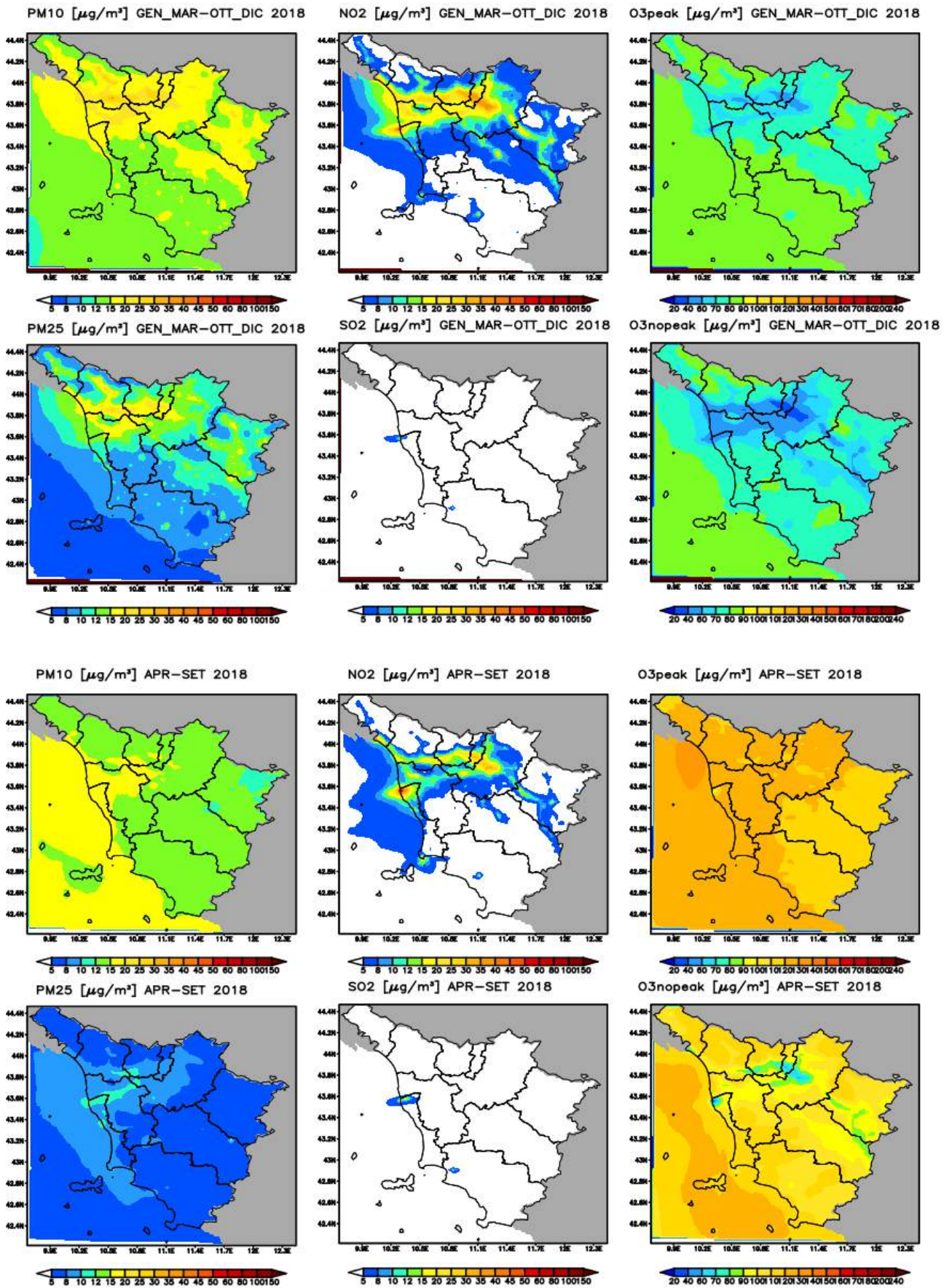


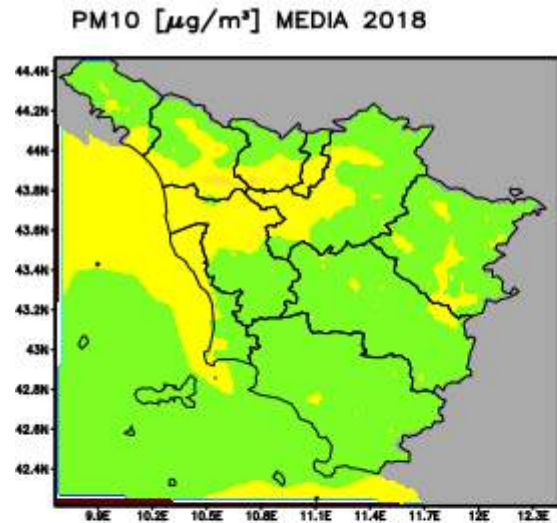




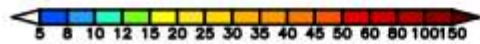
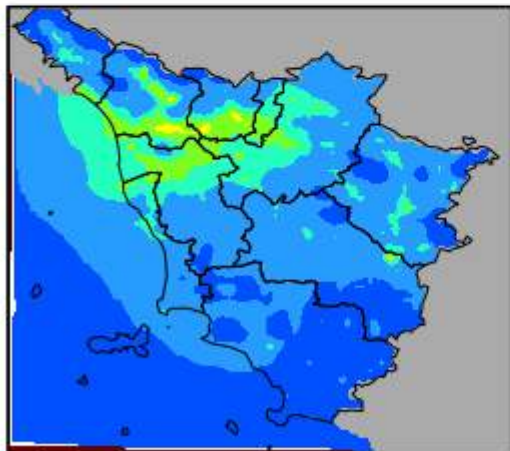




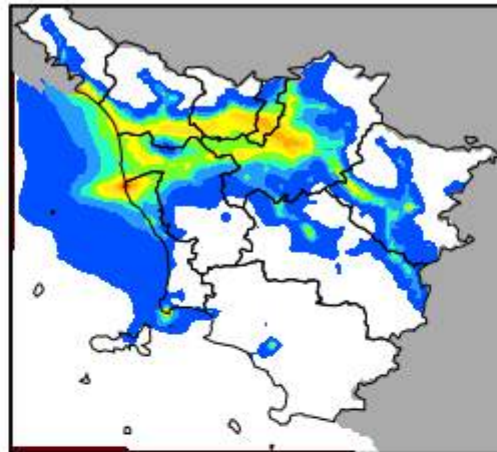




PM25 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] MEDIA 2018



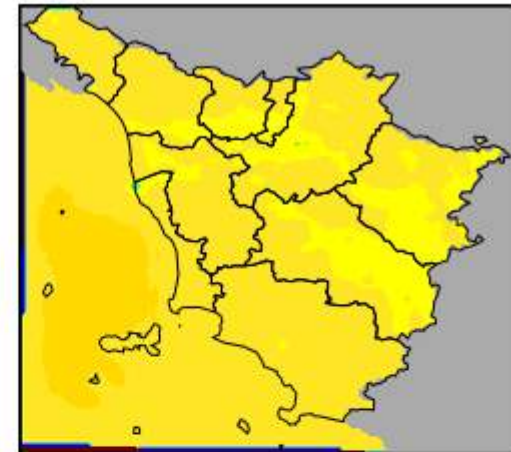
NO2 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] MEDIA 2018



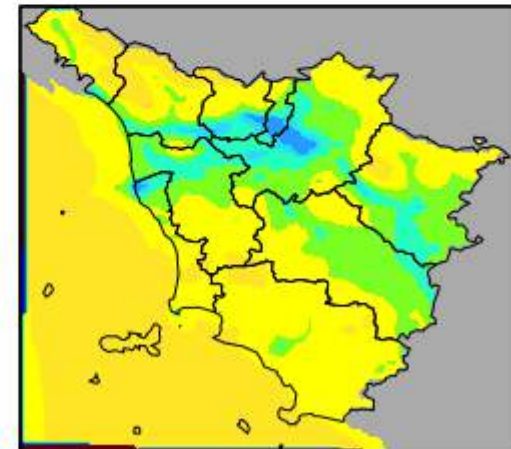
SO2 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] MEDIA 2018



O3peak [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] MEDIA 2018

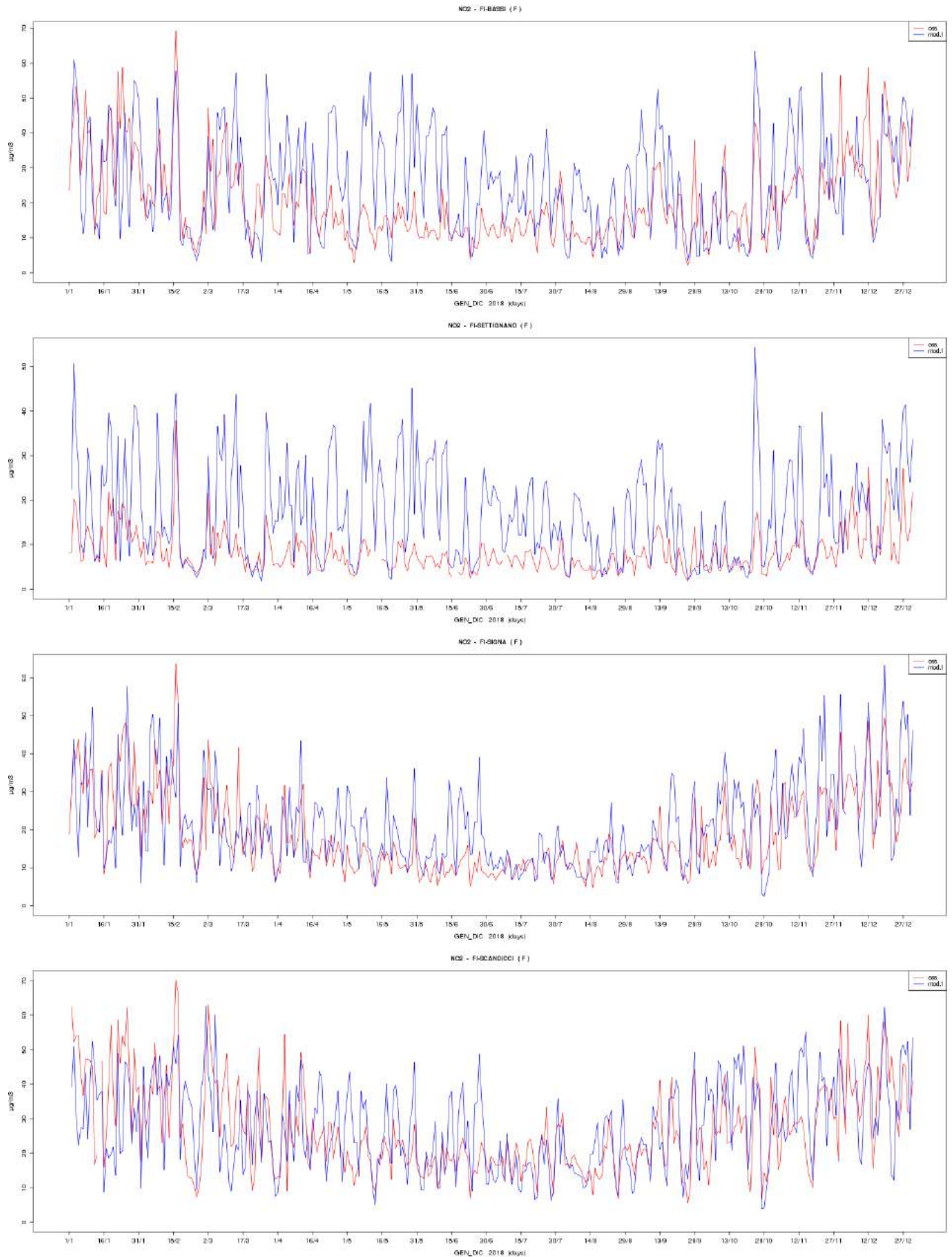


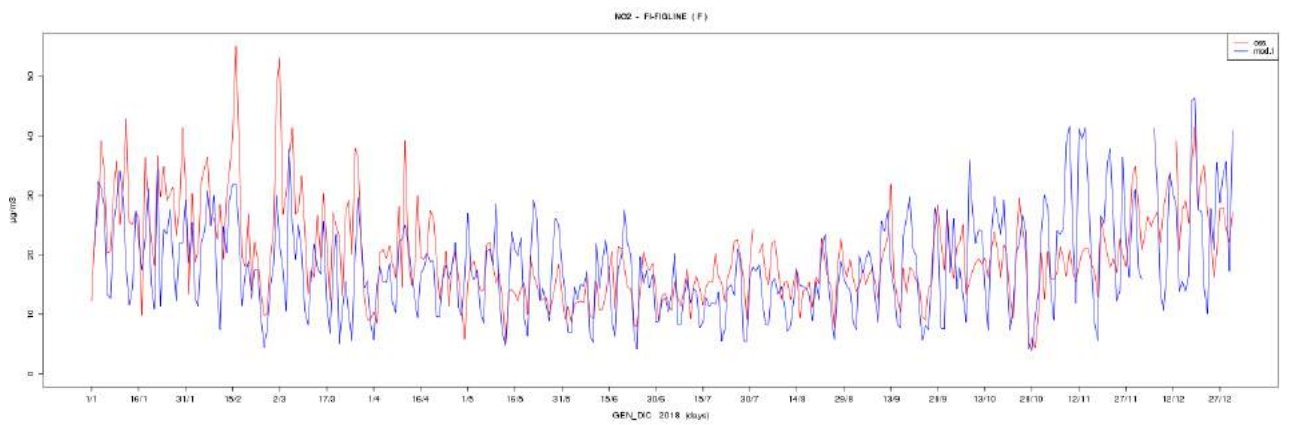
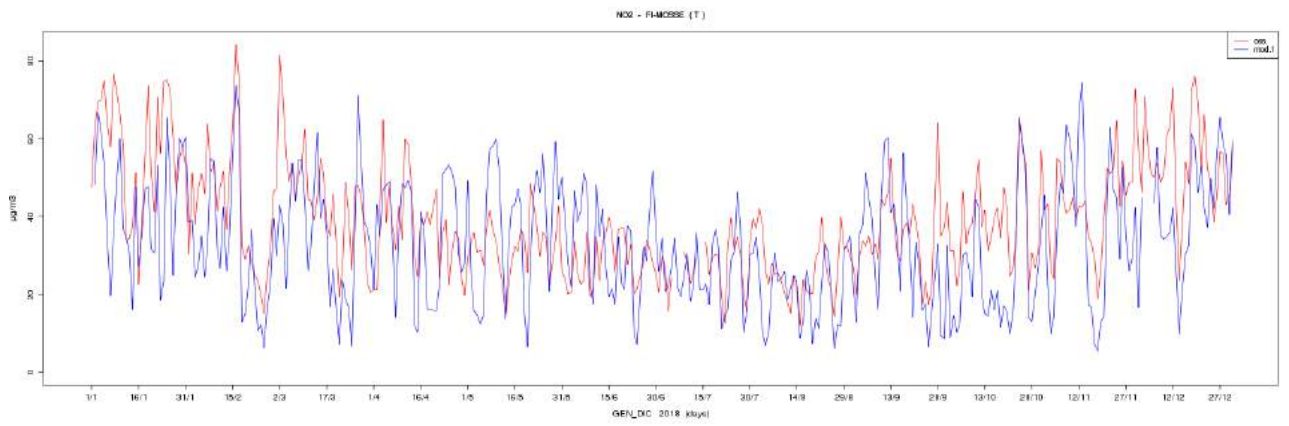
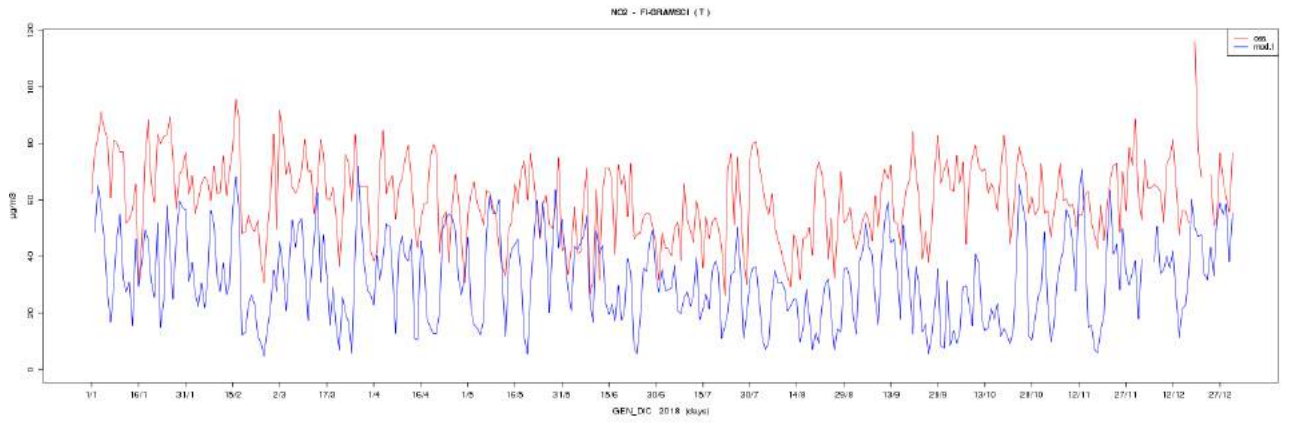
O3nopeak [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] MEDIA 2018

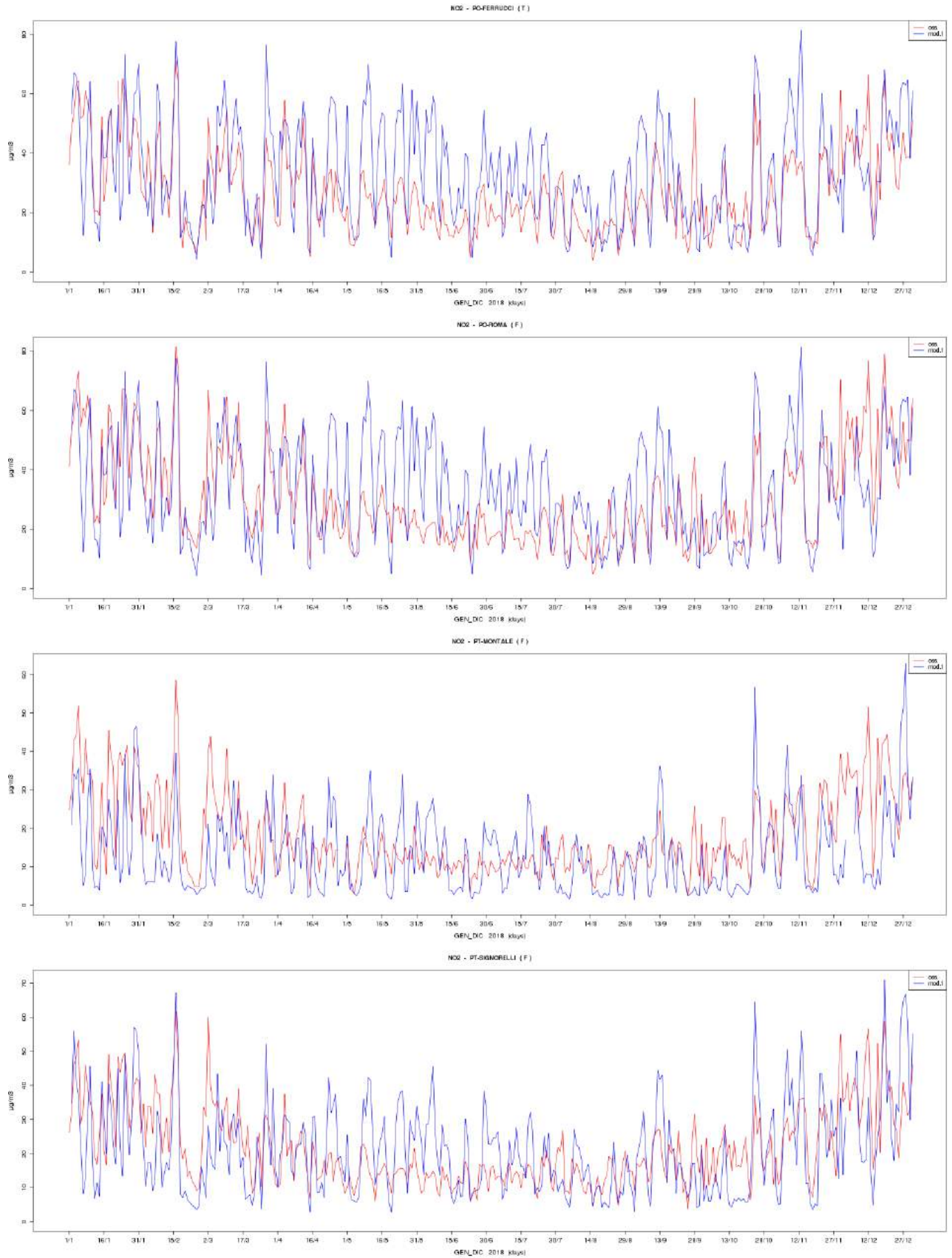


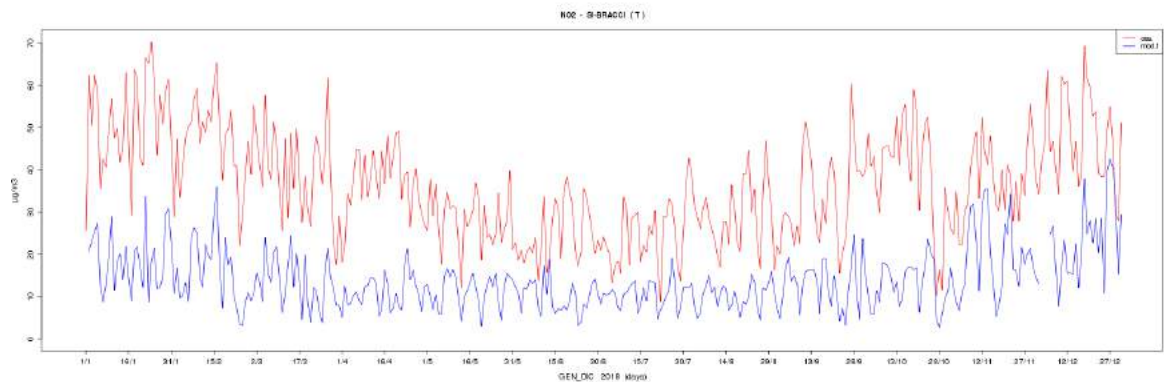
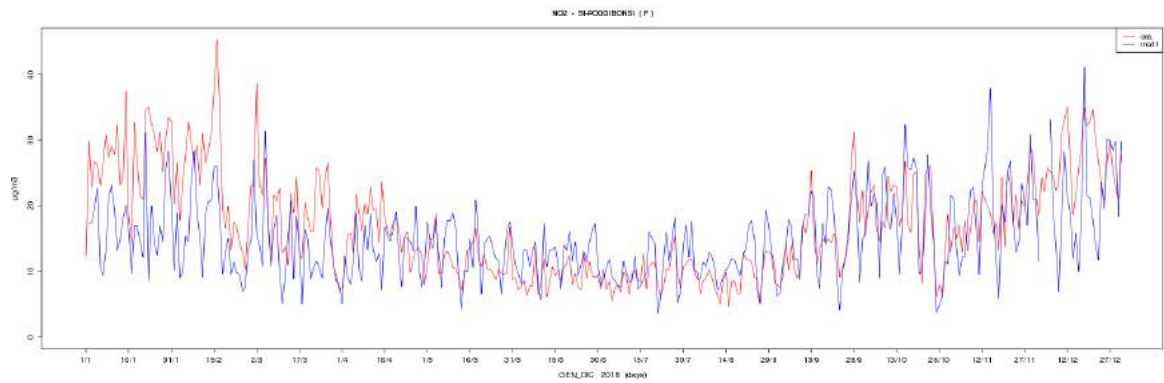
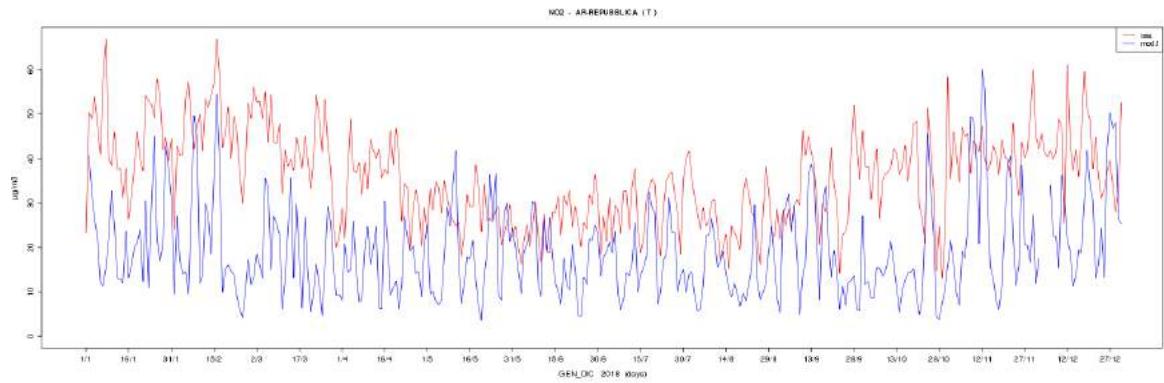
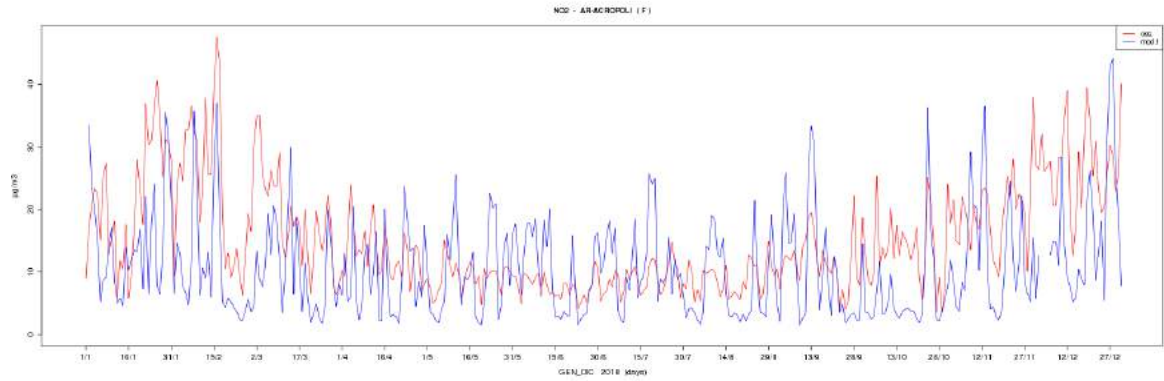
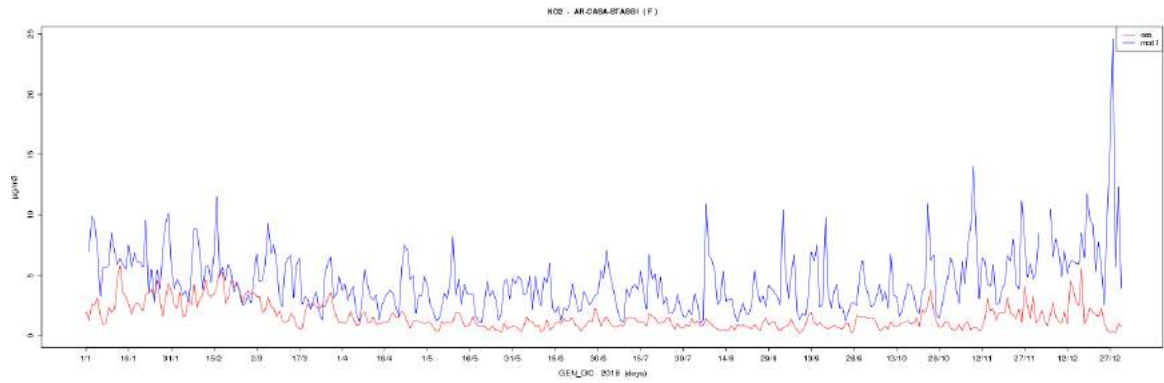
Serie storiche 2018

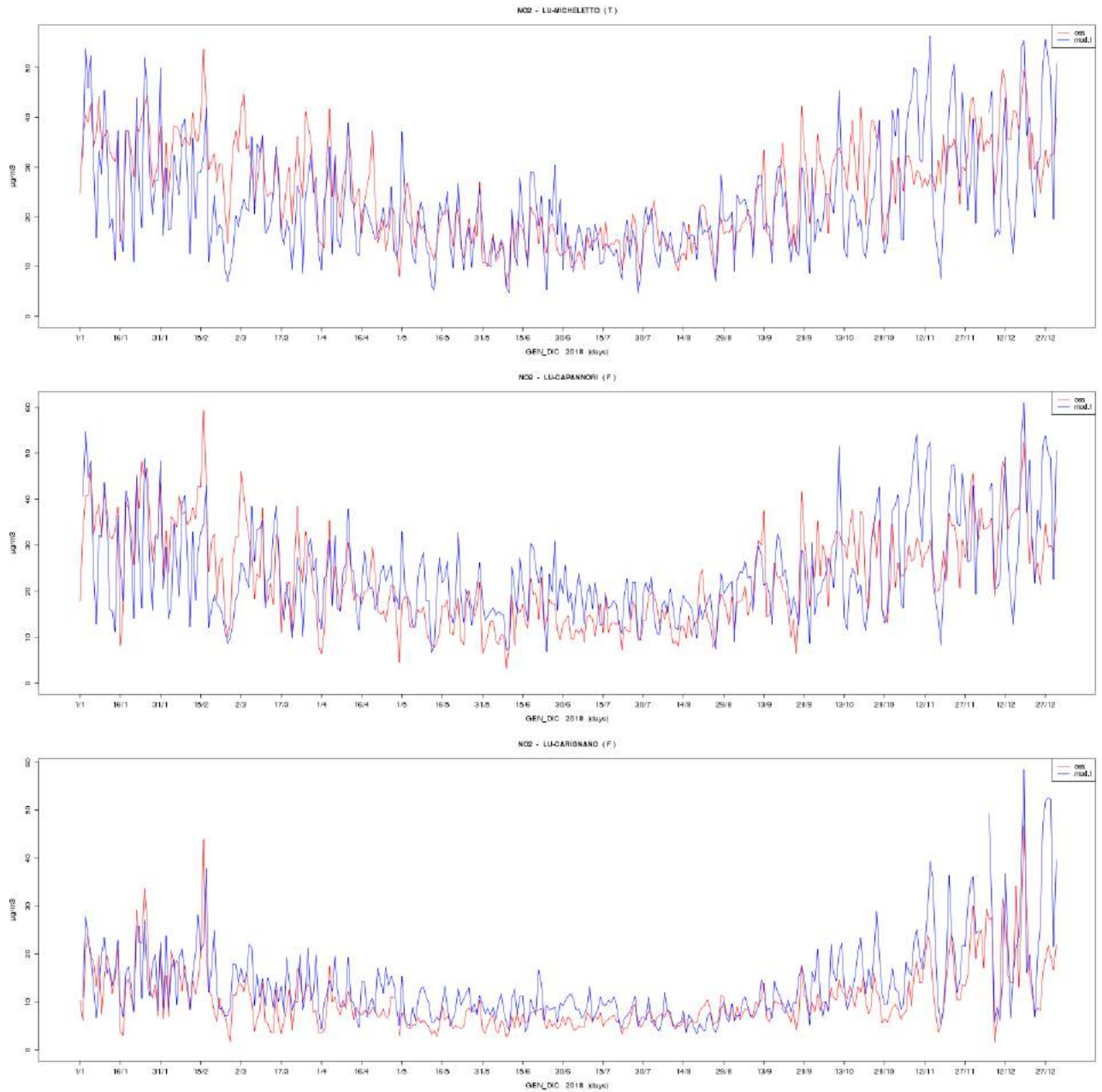
NO2

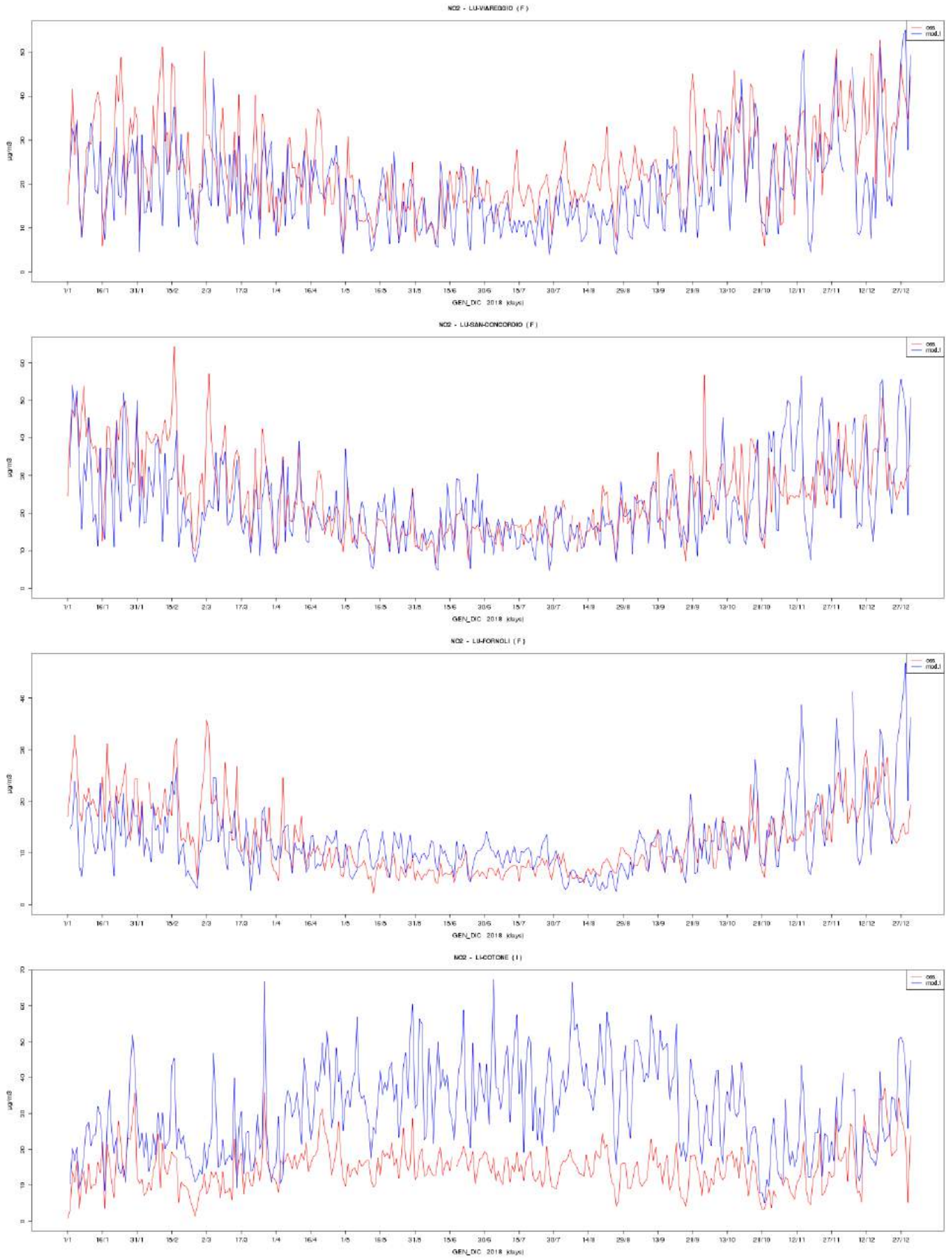


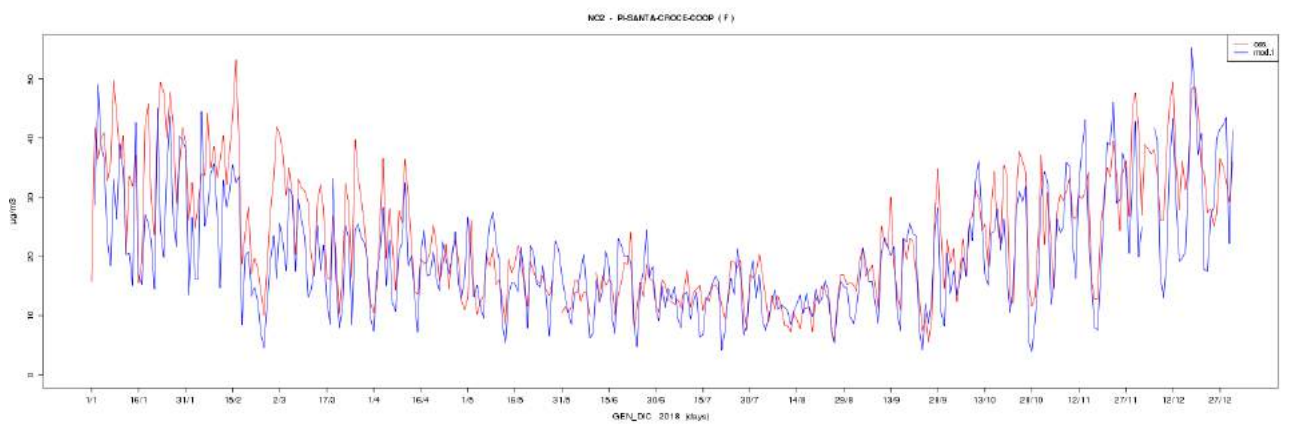
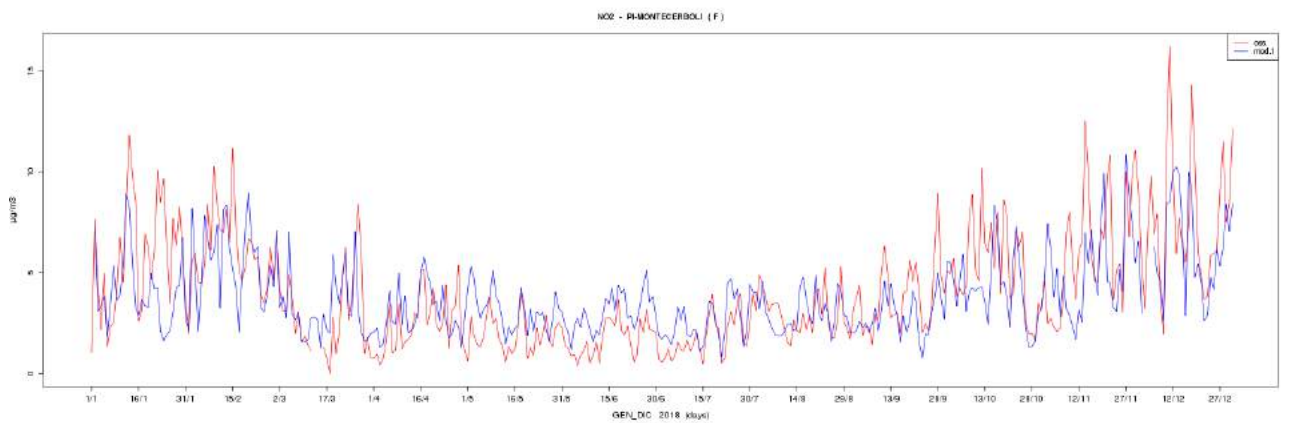
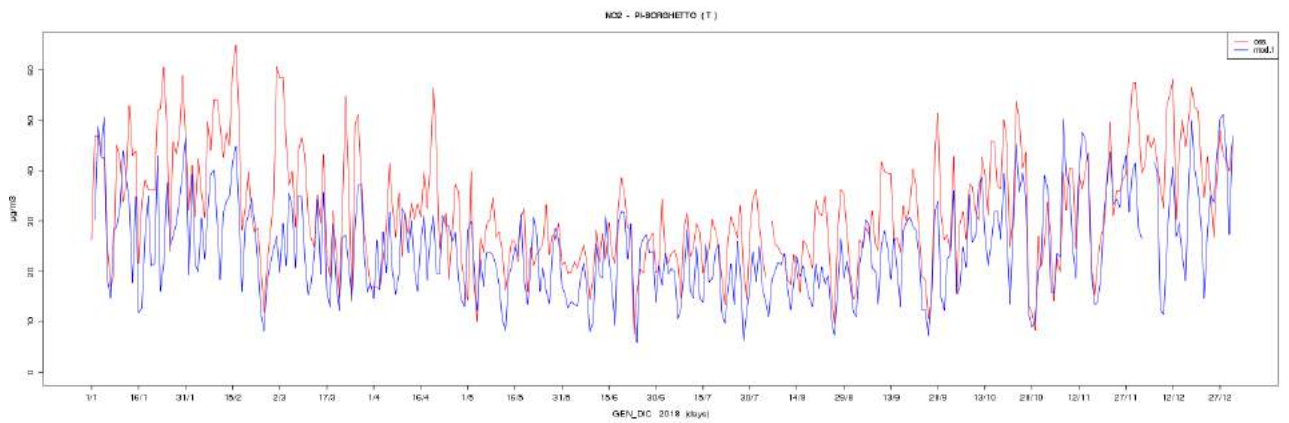
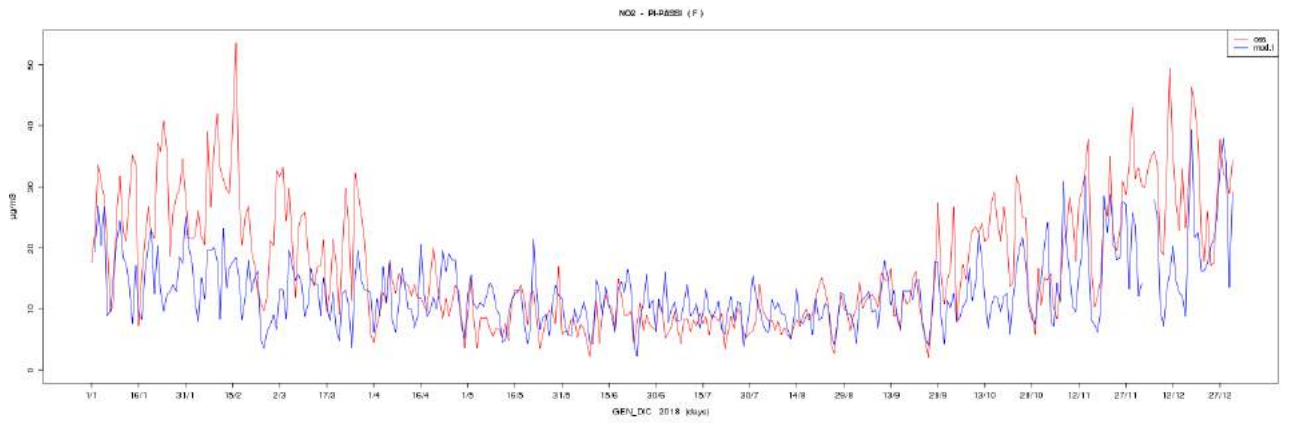


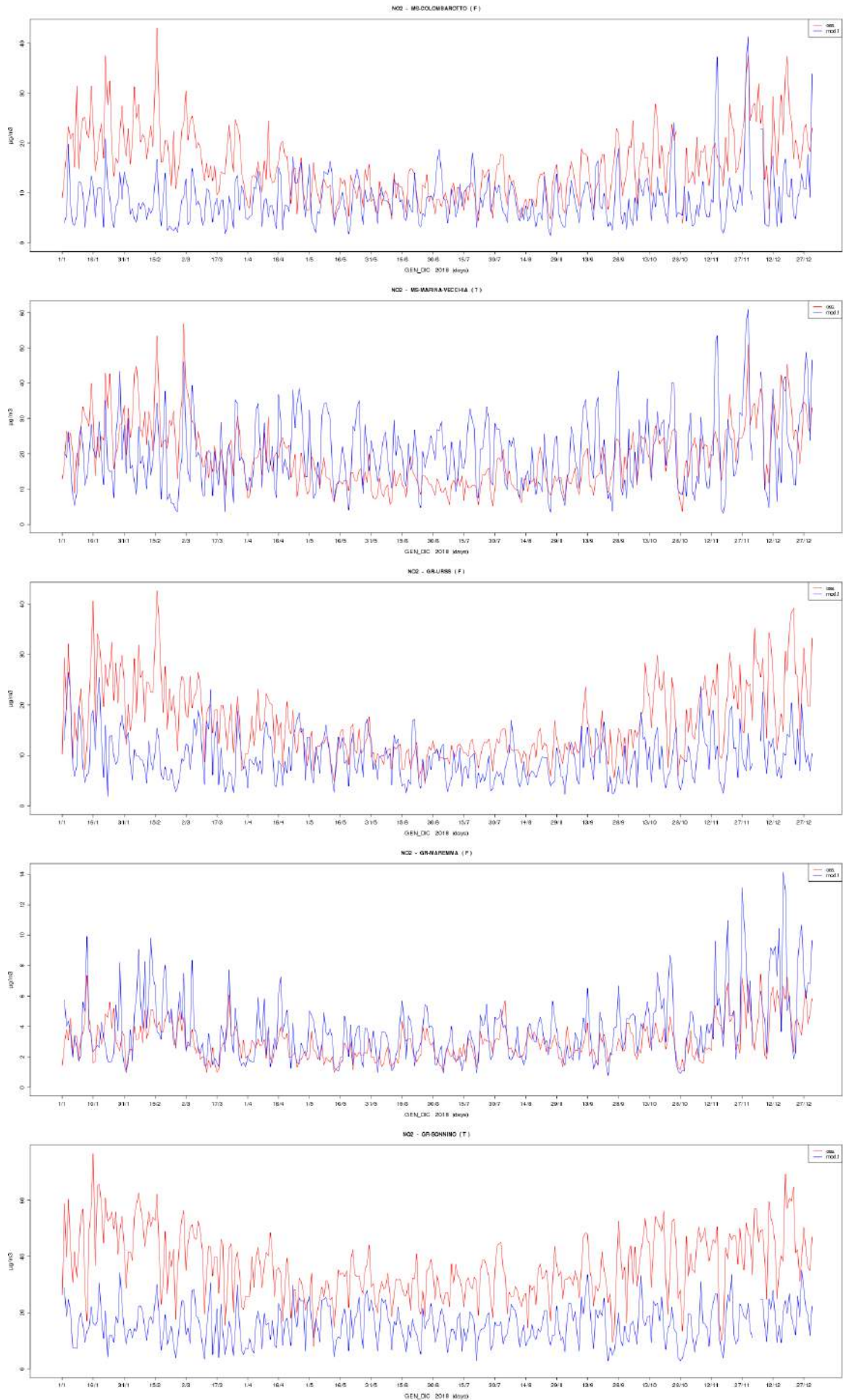


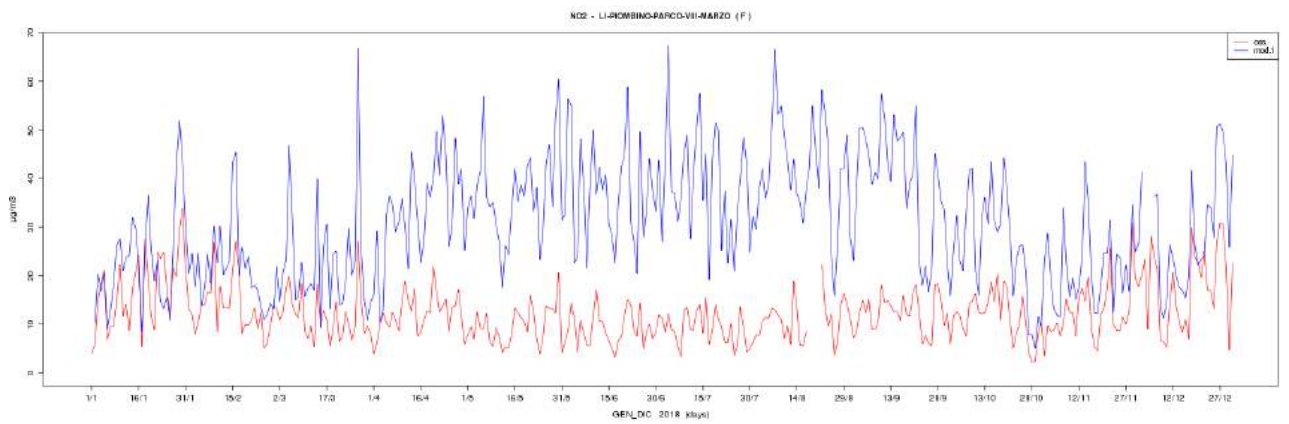
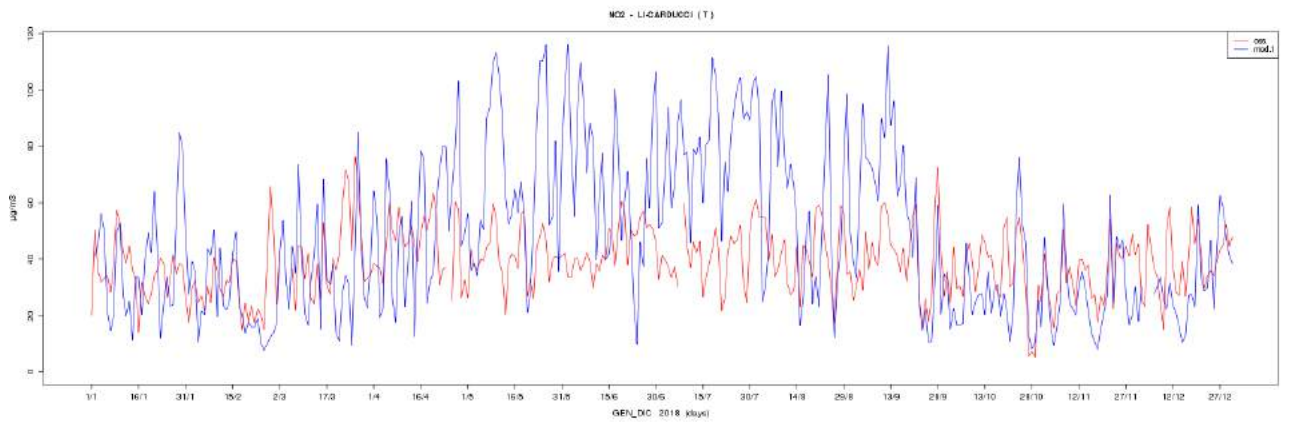
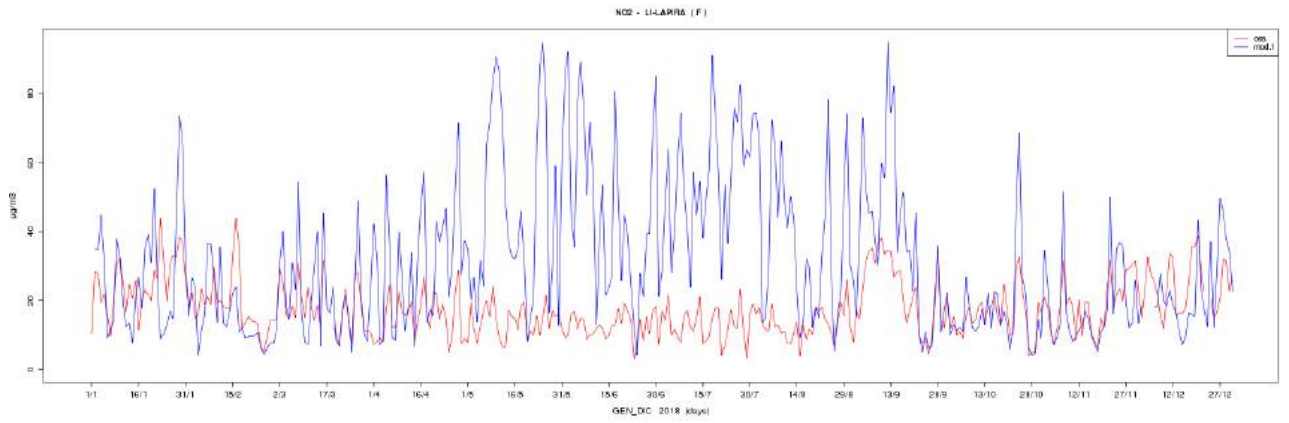
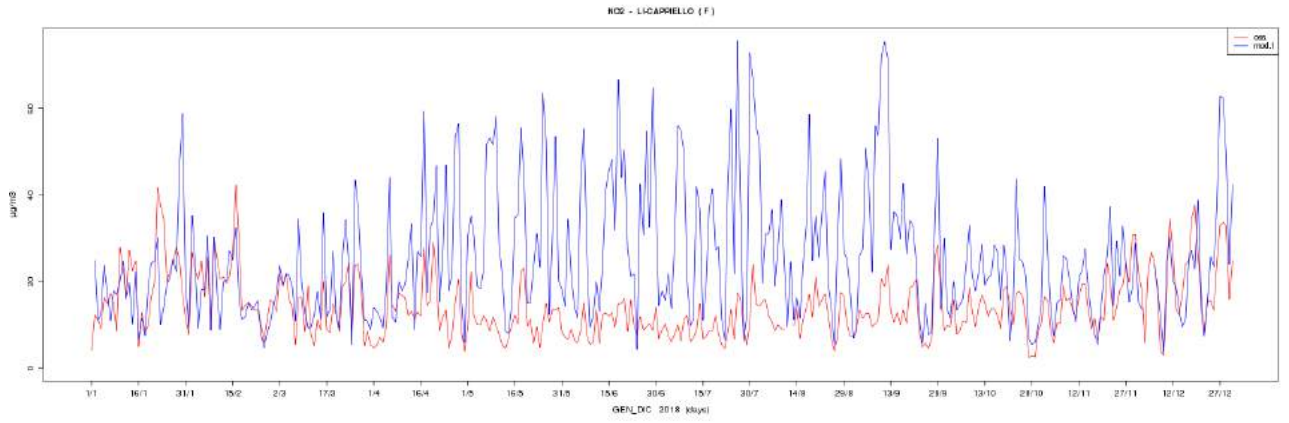




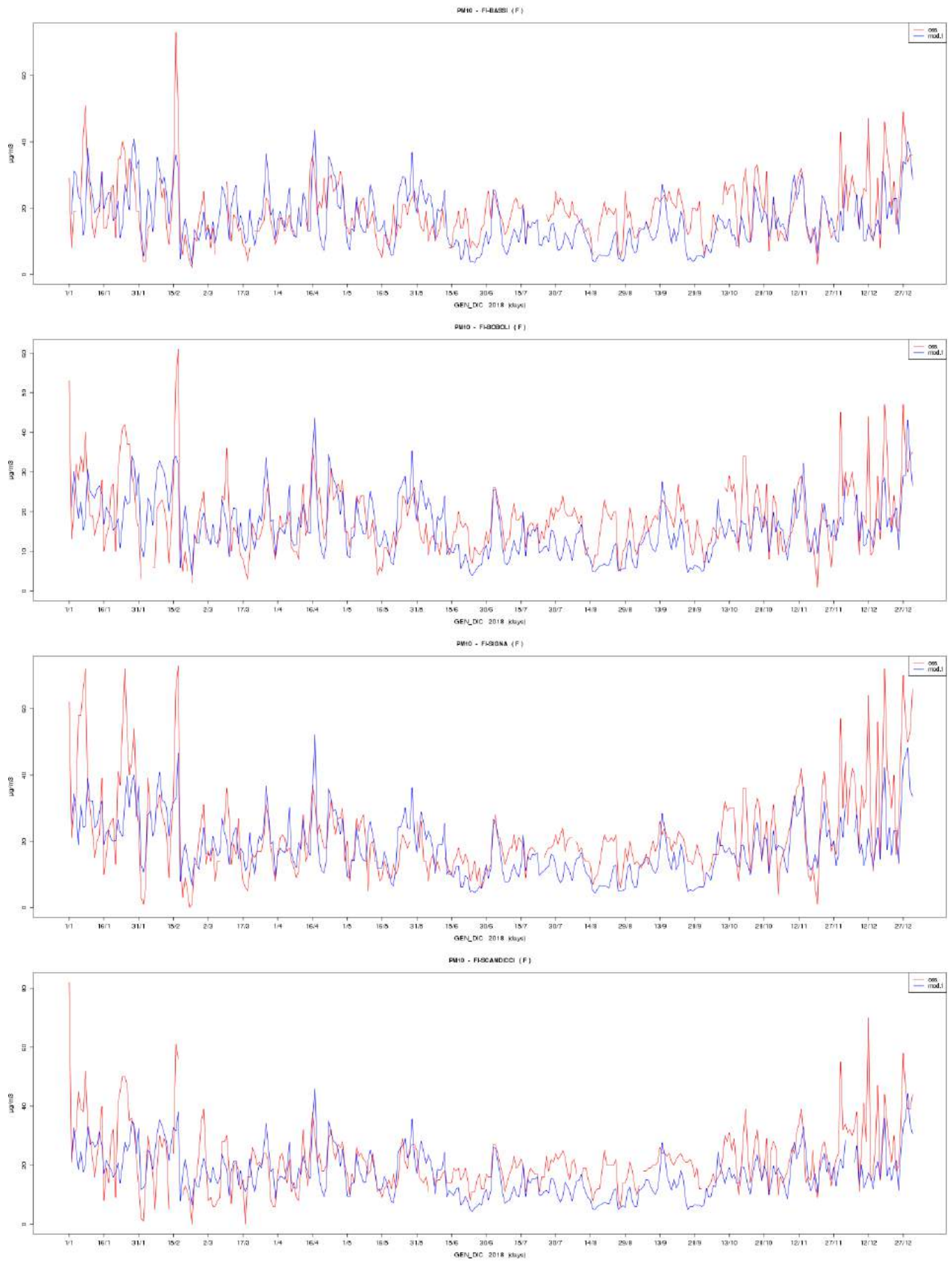


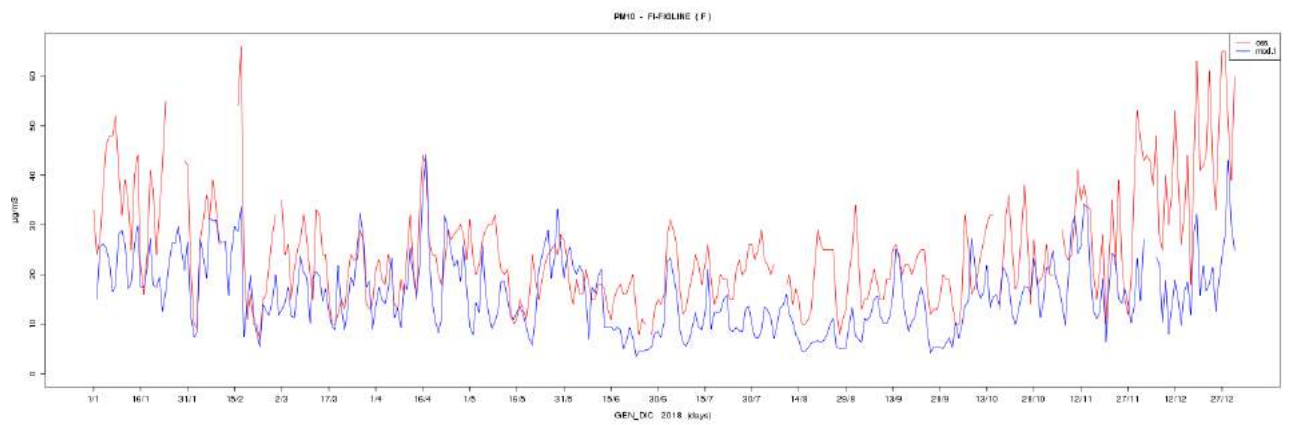
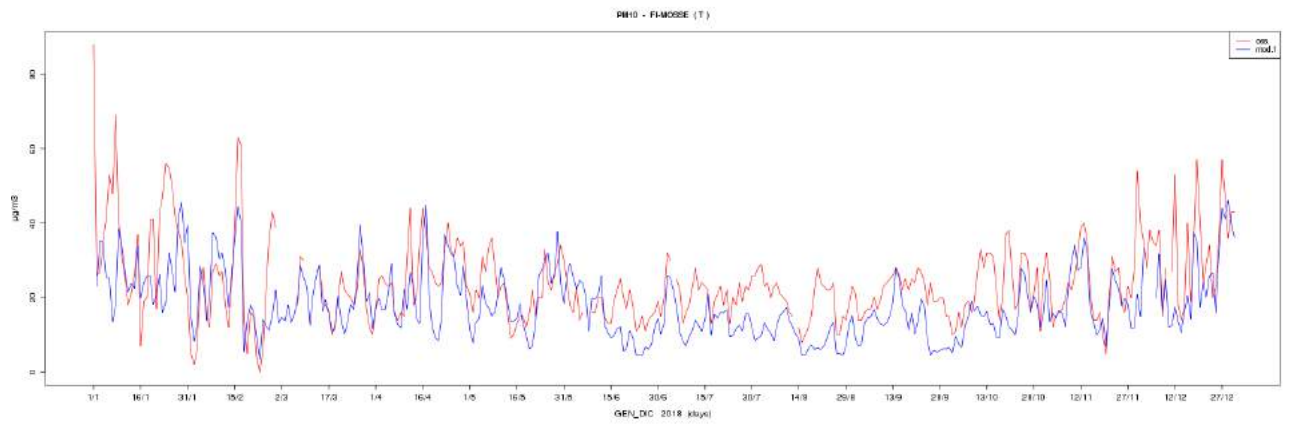
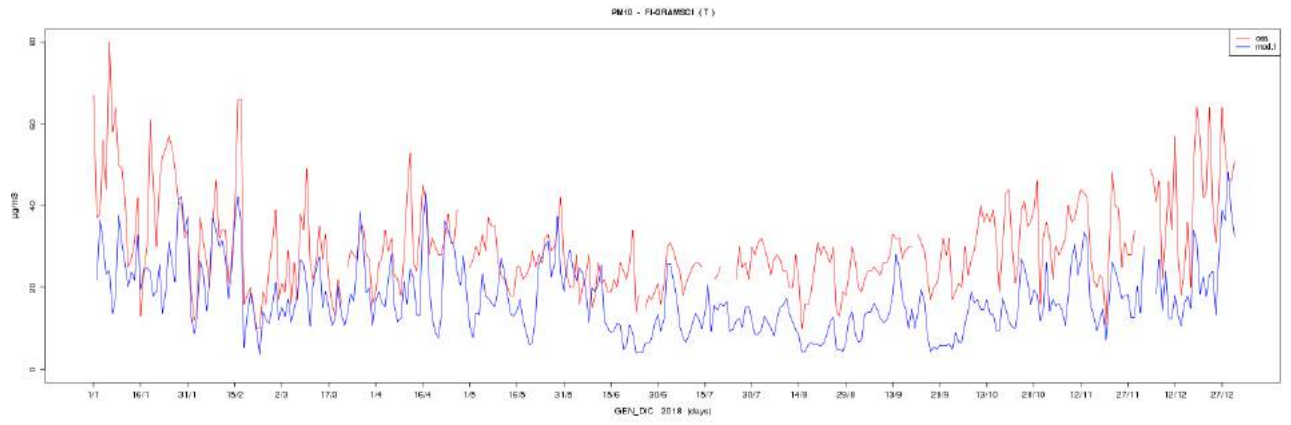


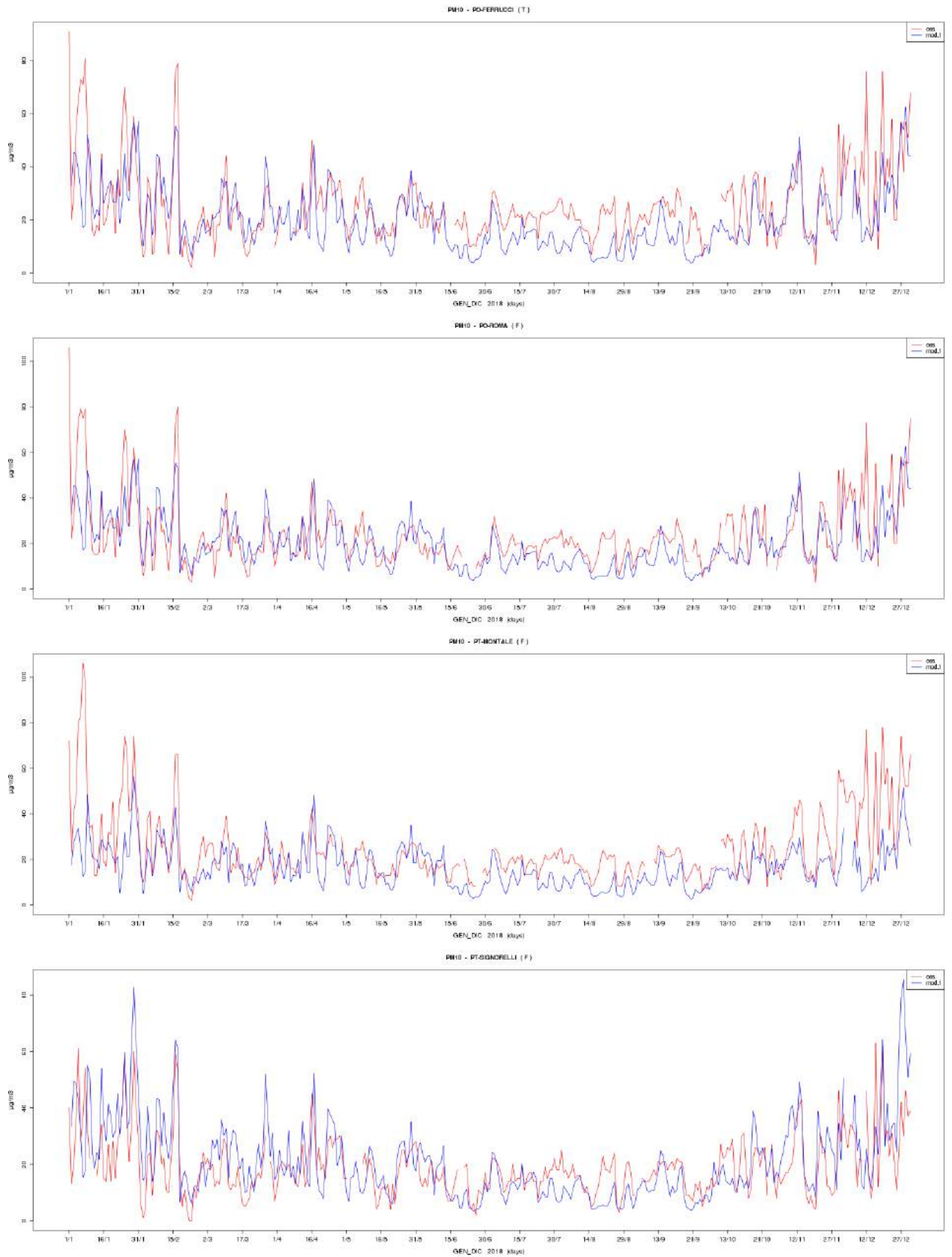


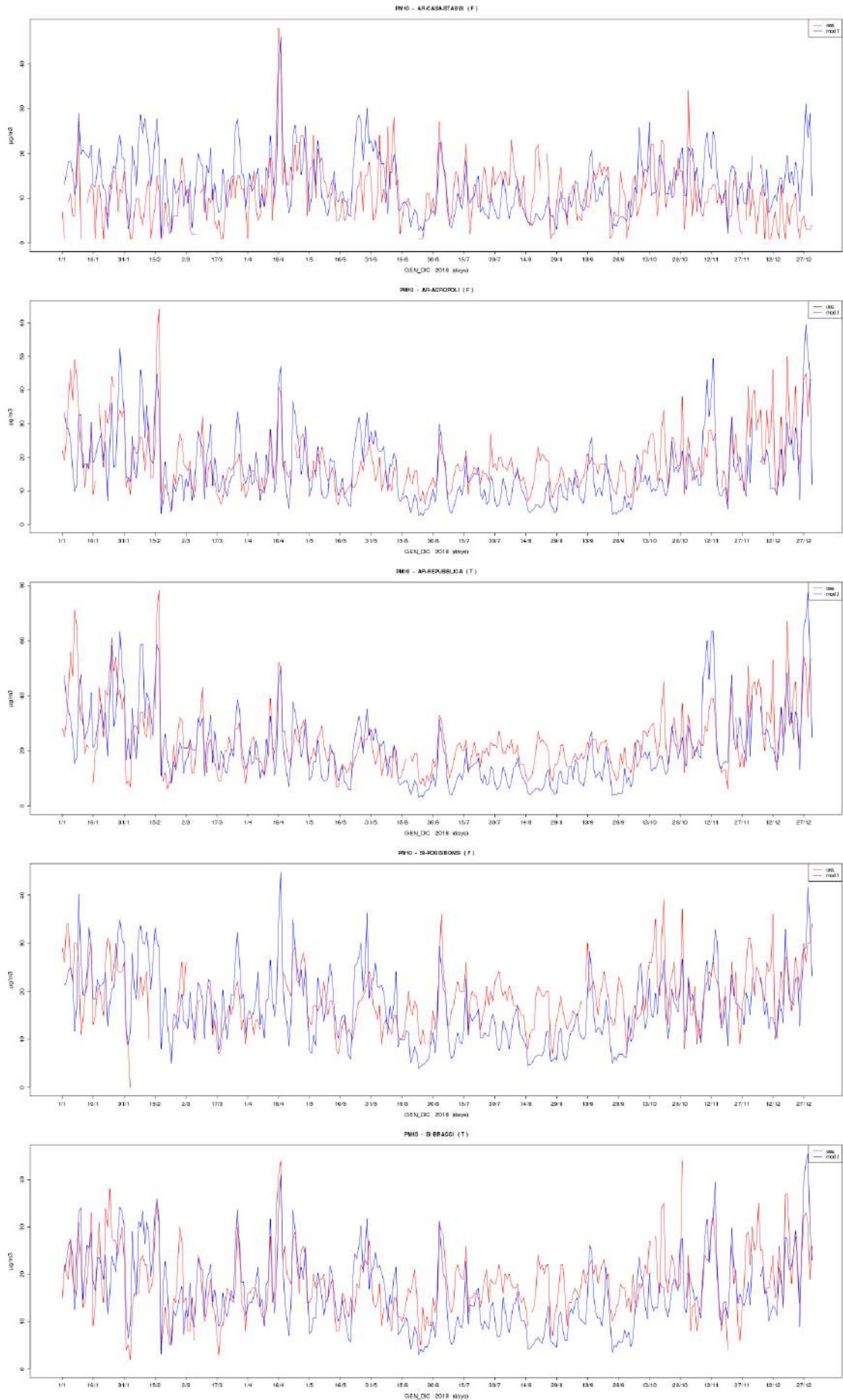


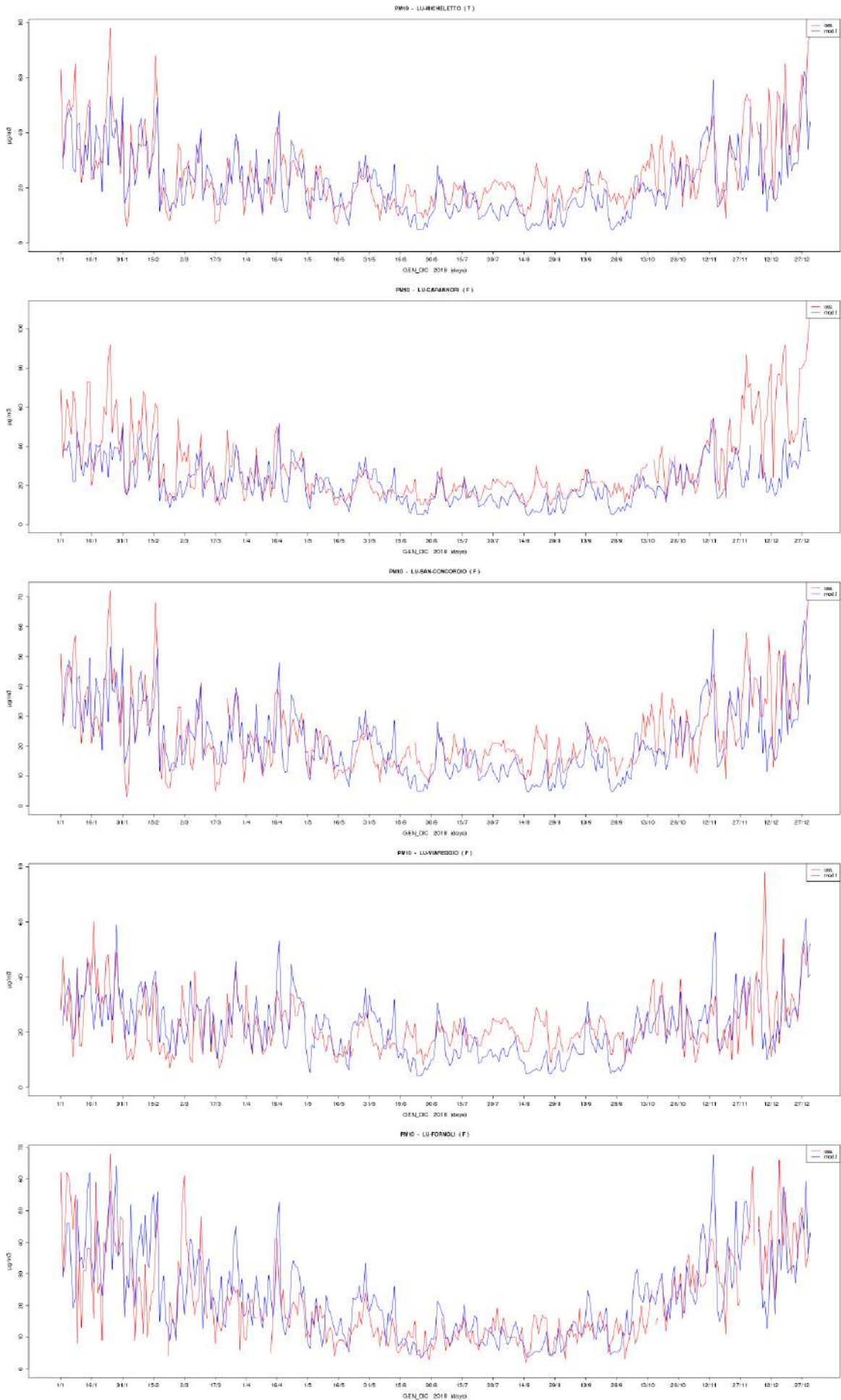
PM10

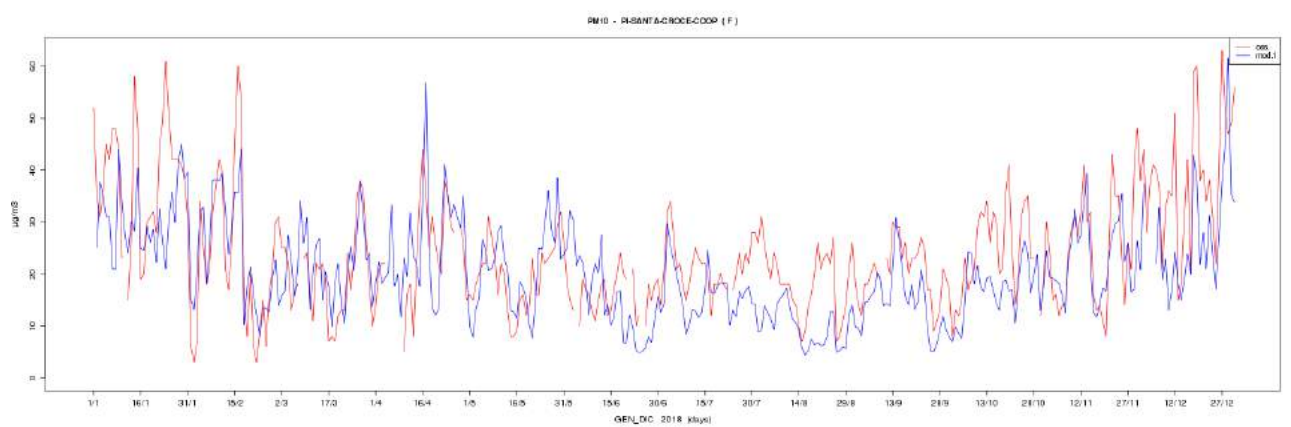
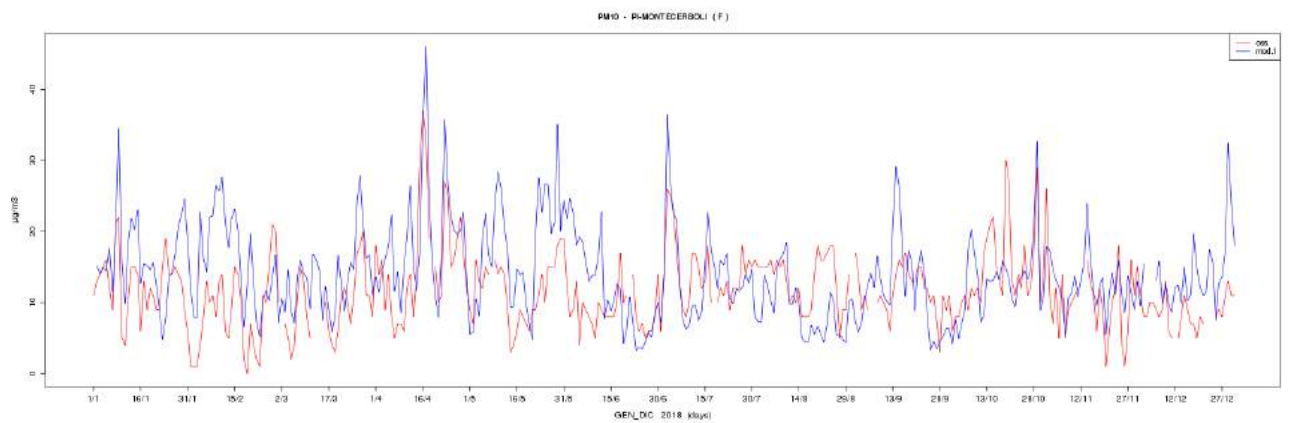
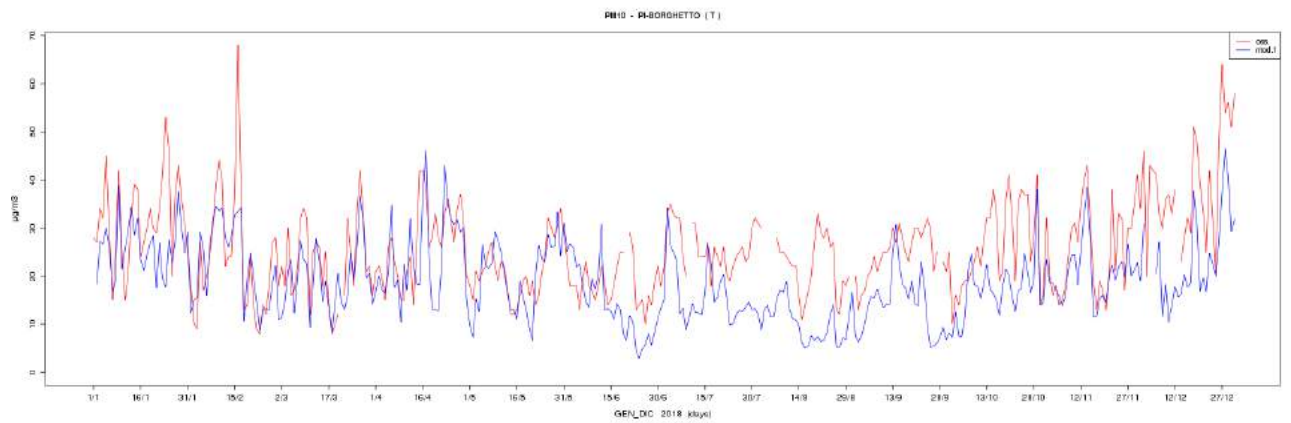
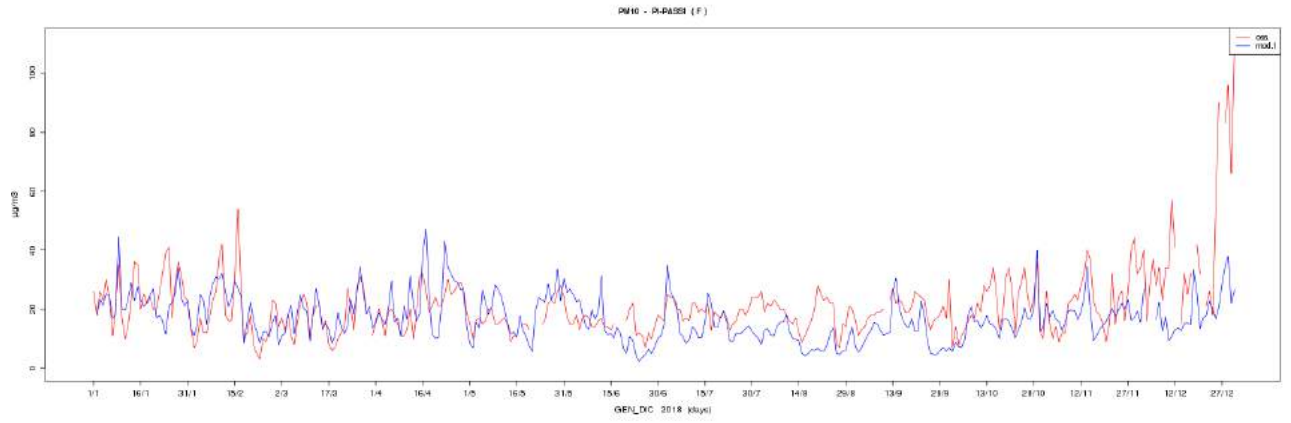


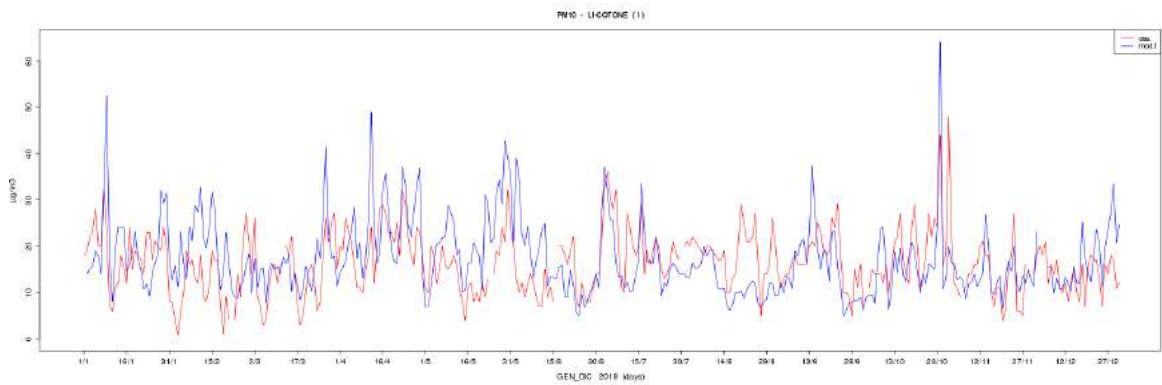
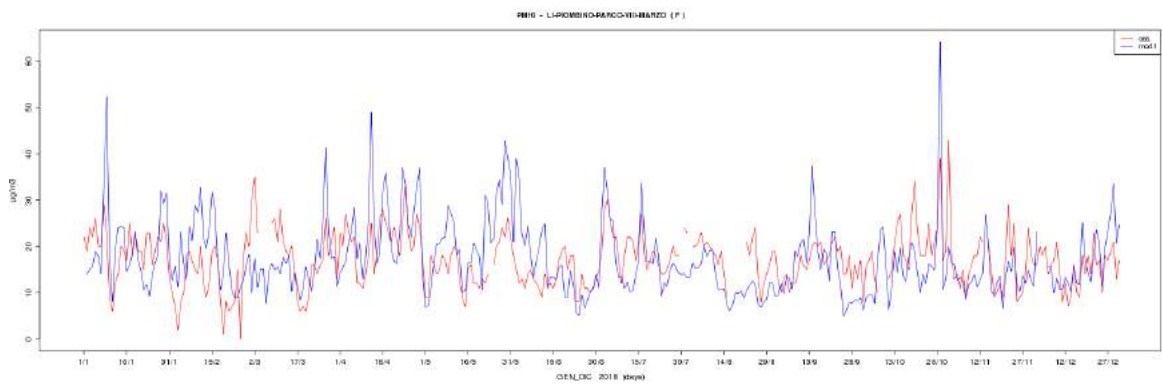
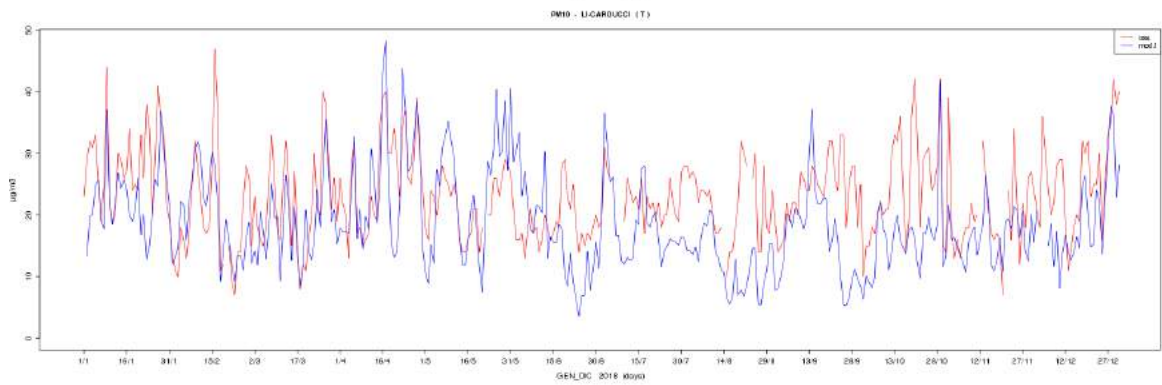
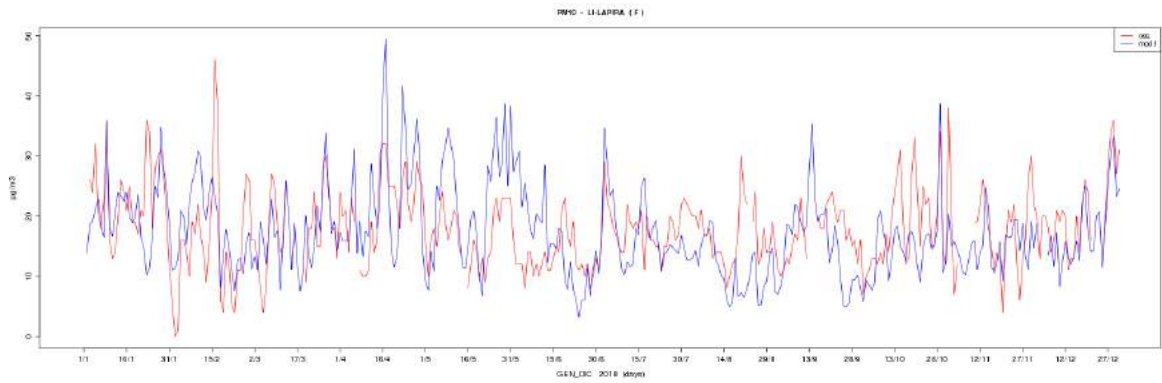
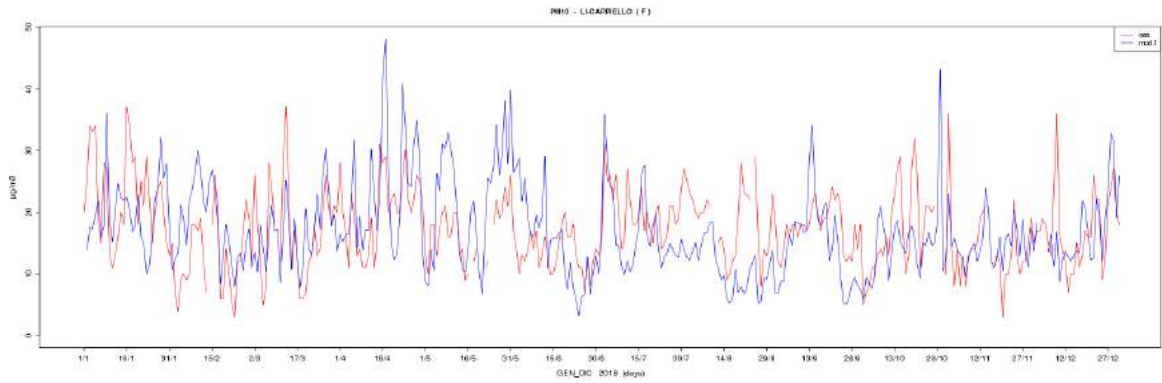


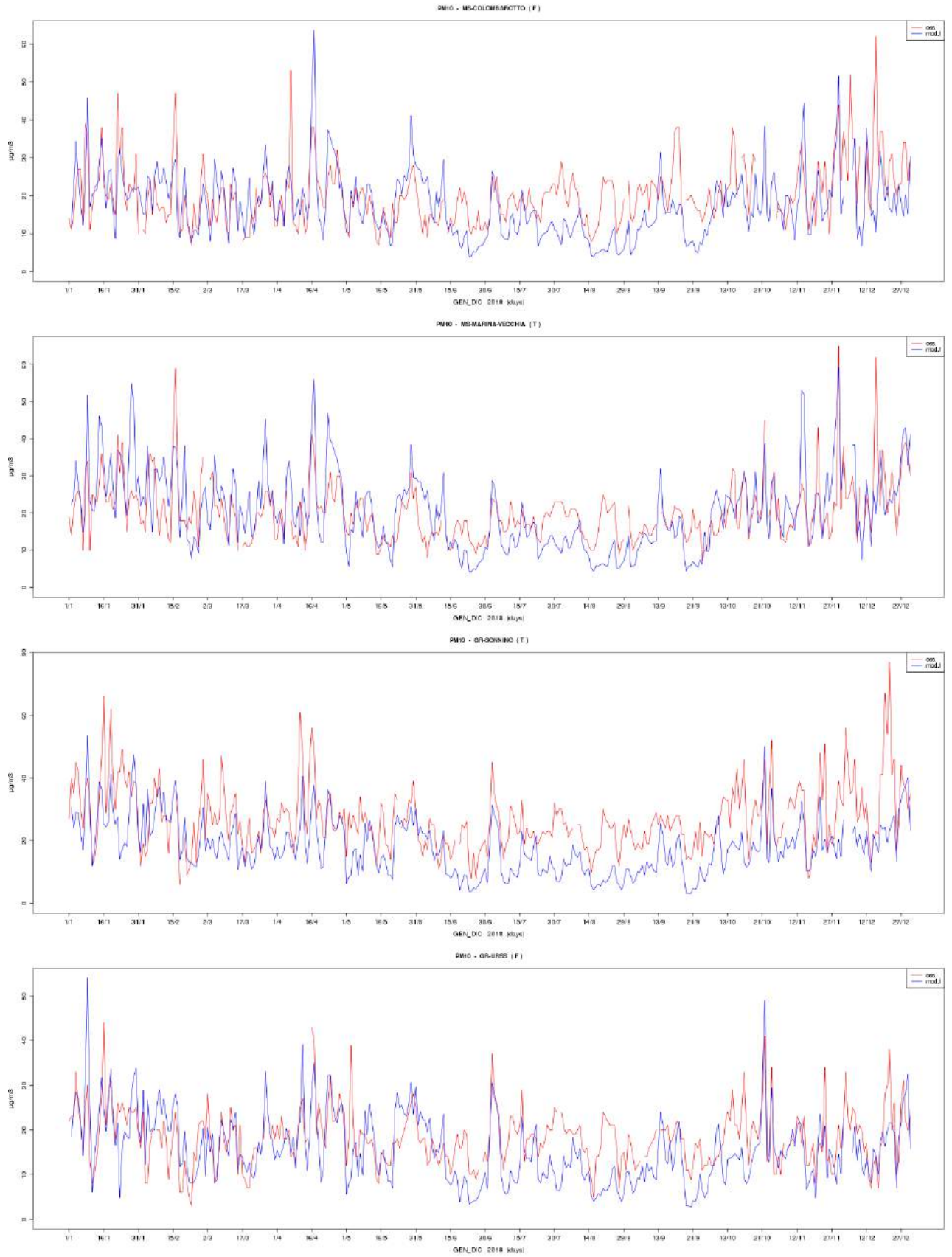




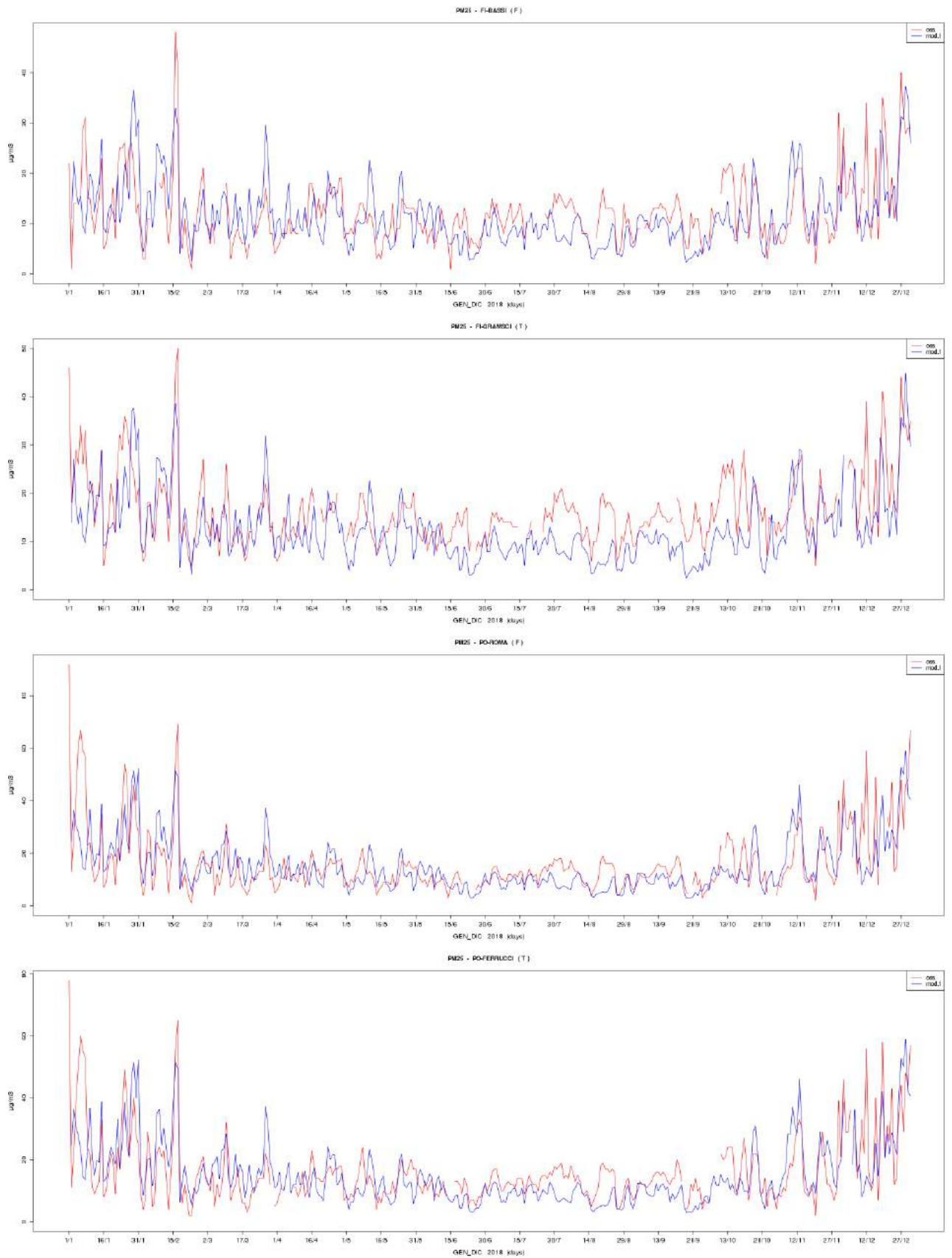


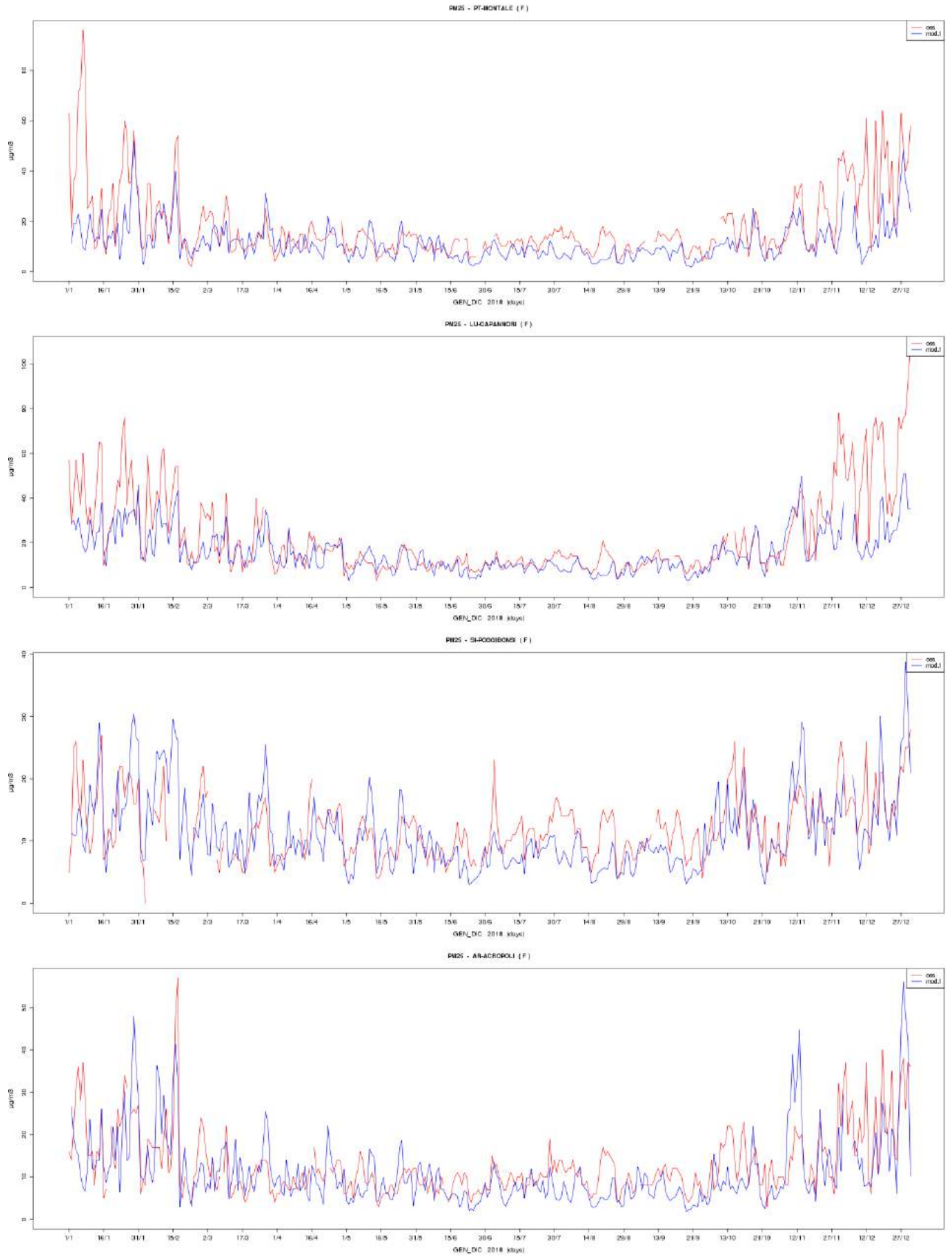


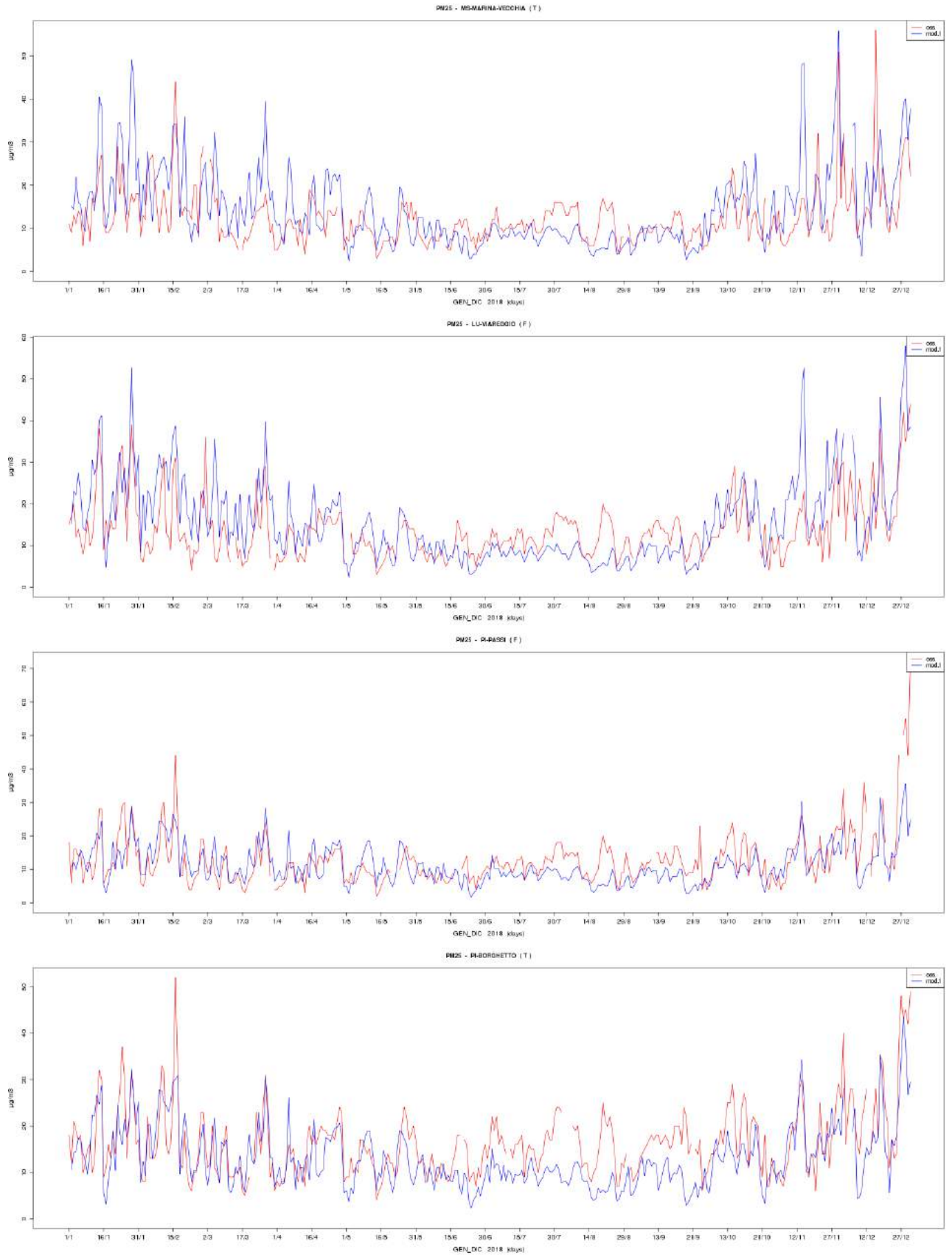


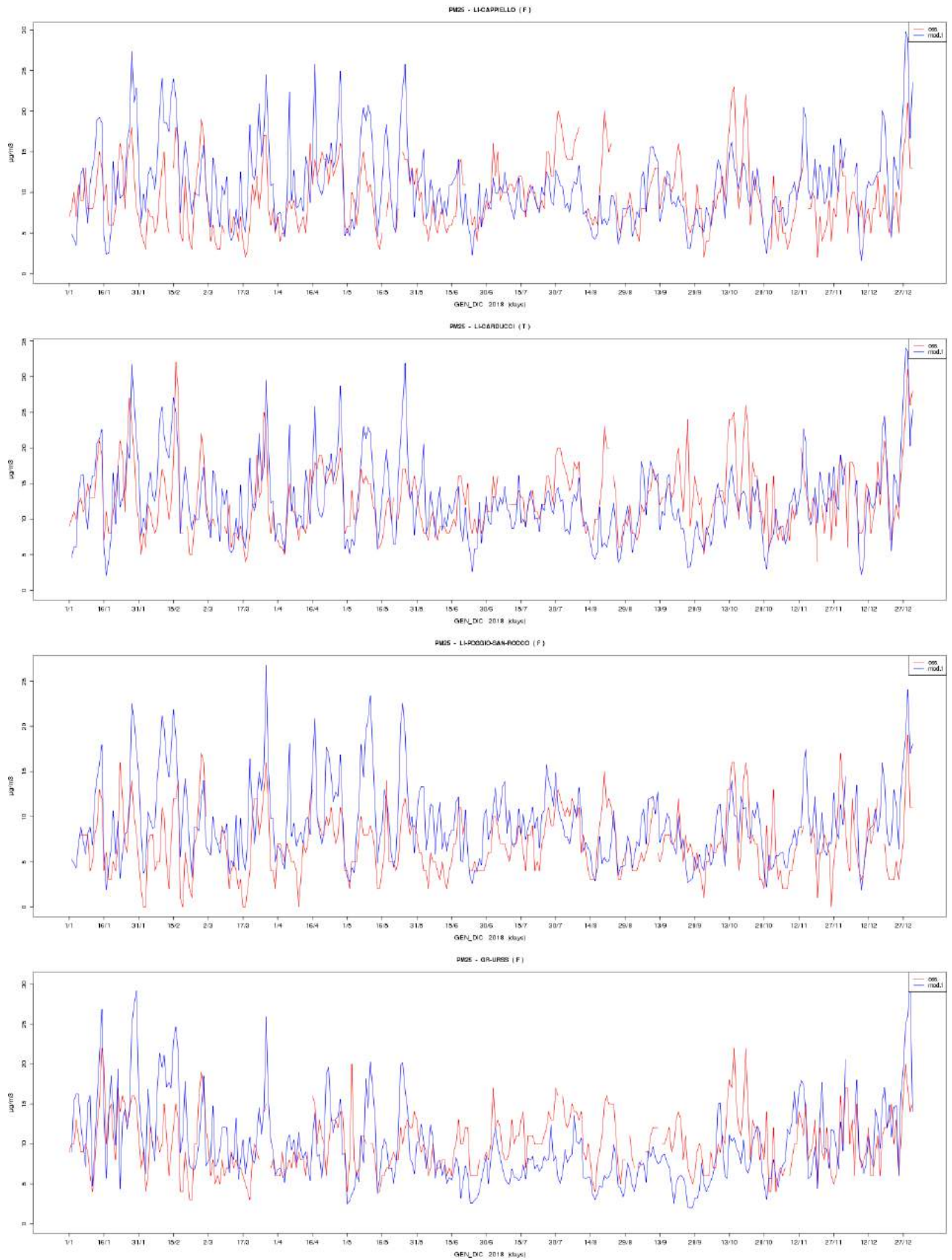


PM2.5

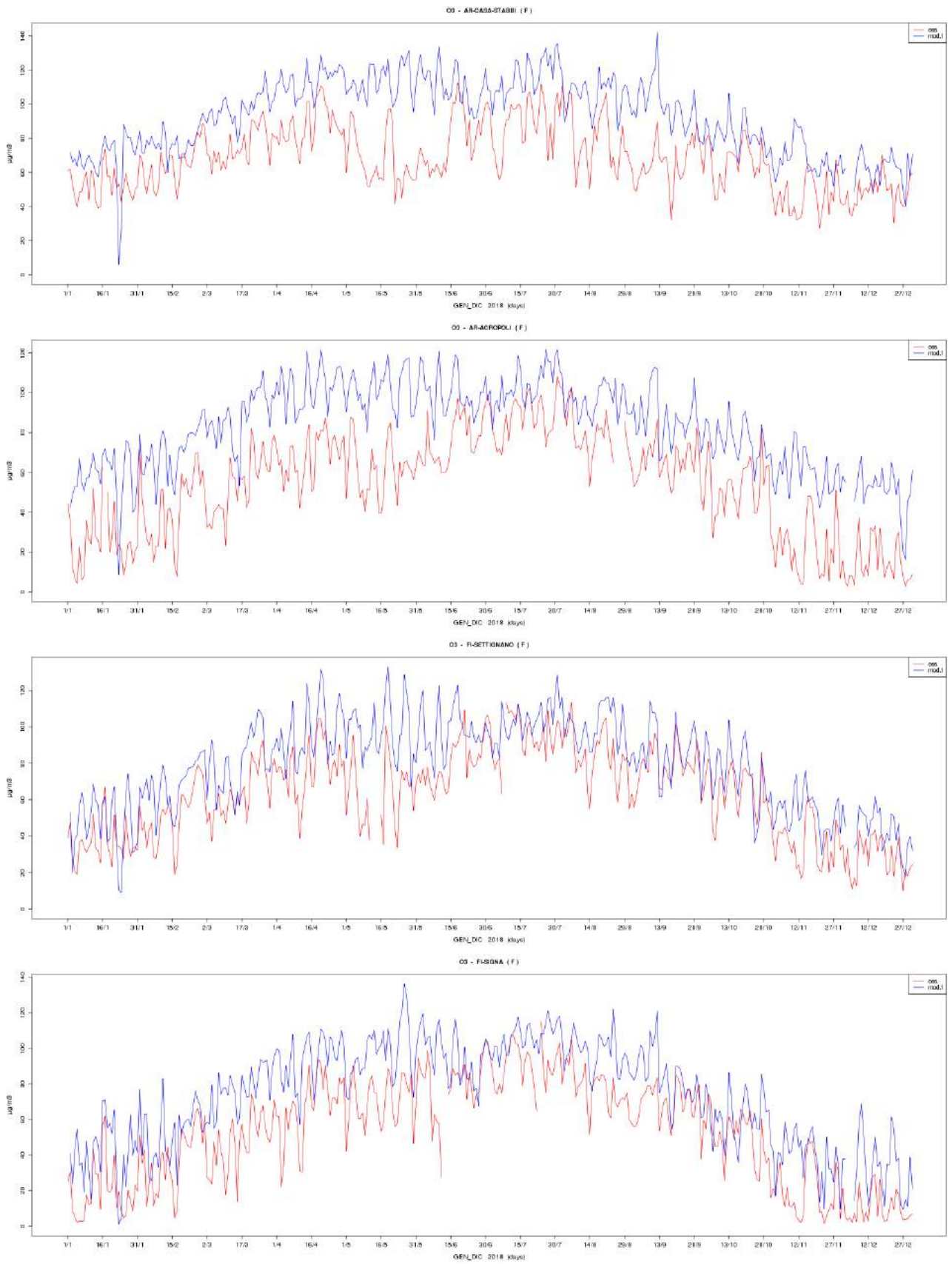


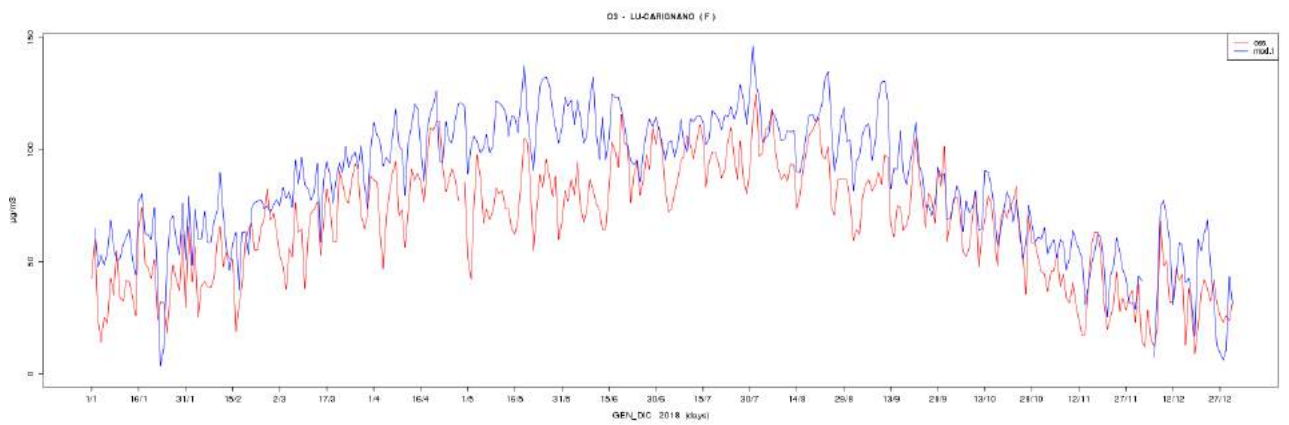
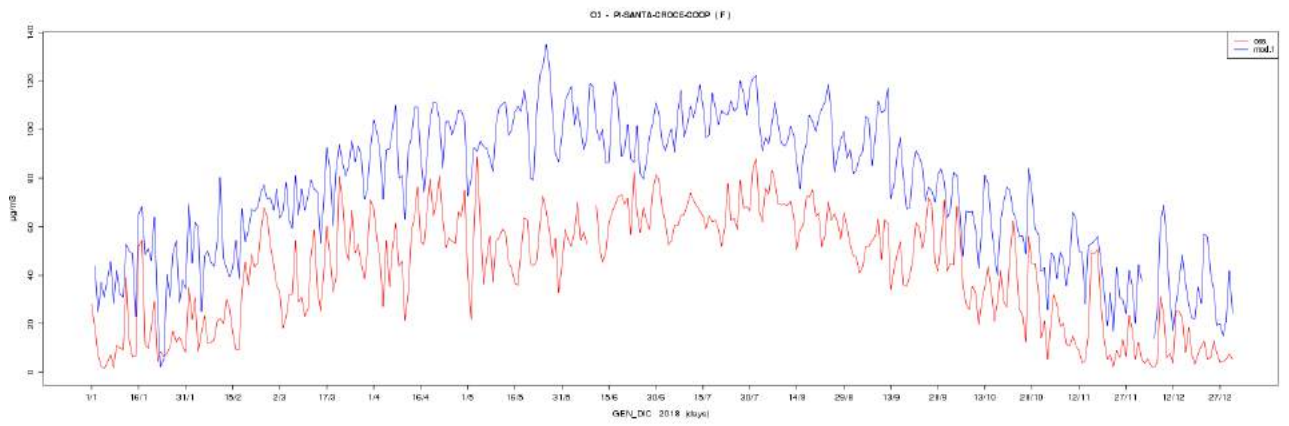
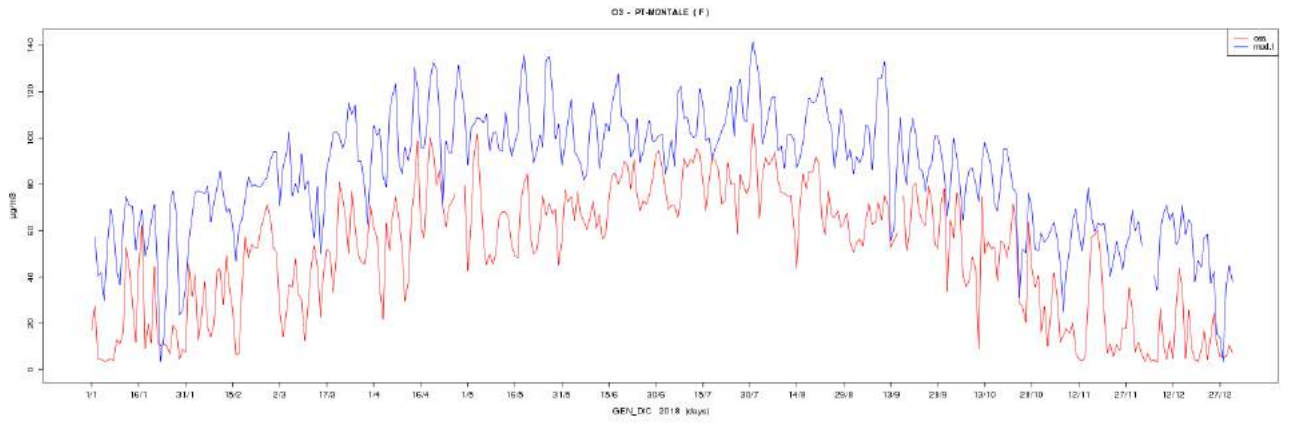


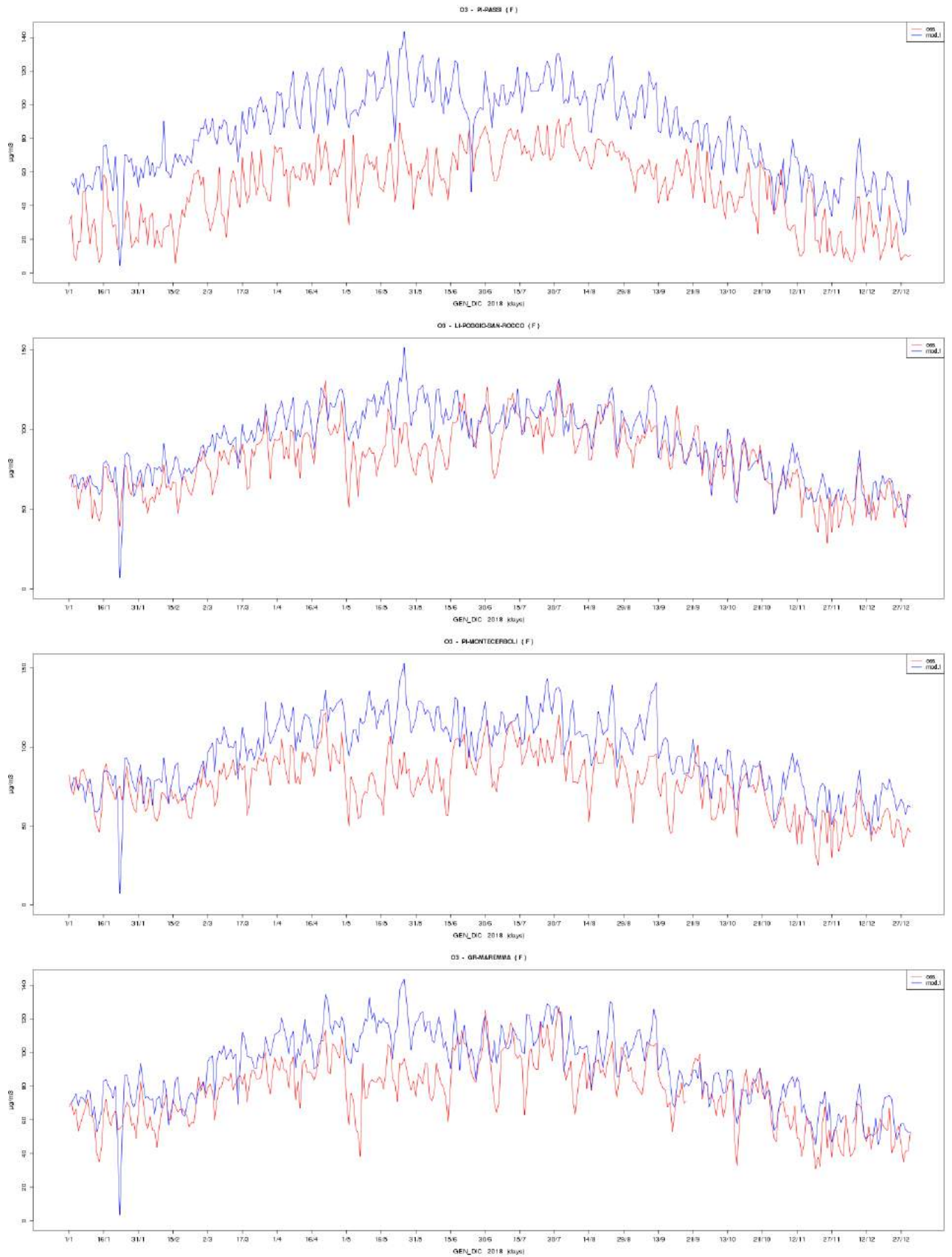




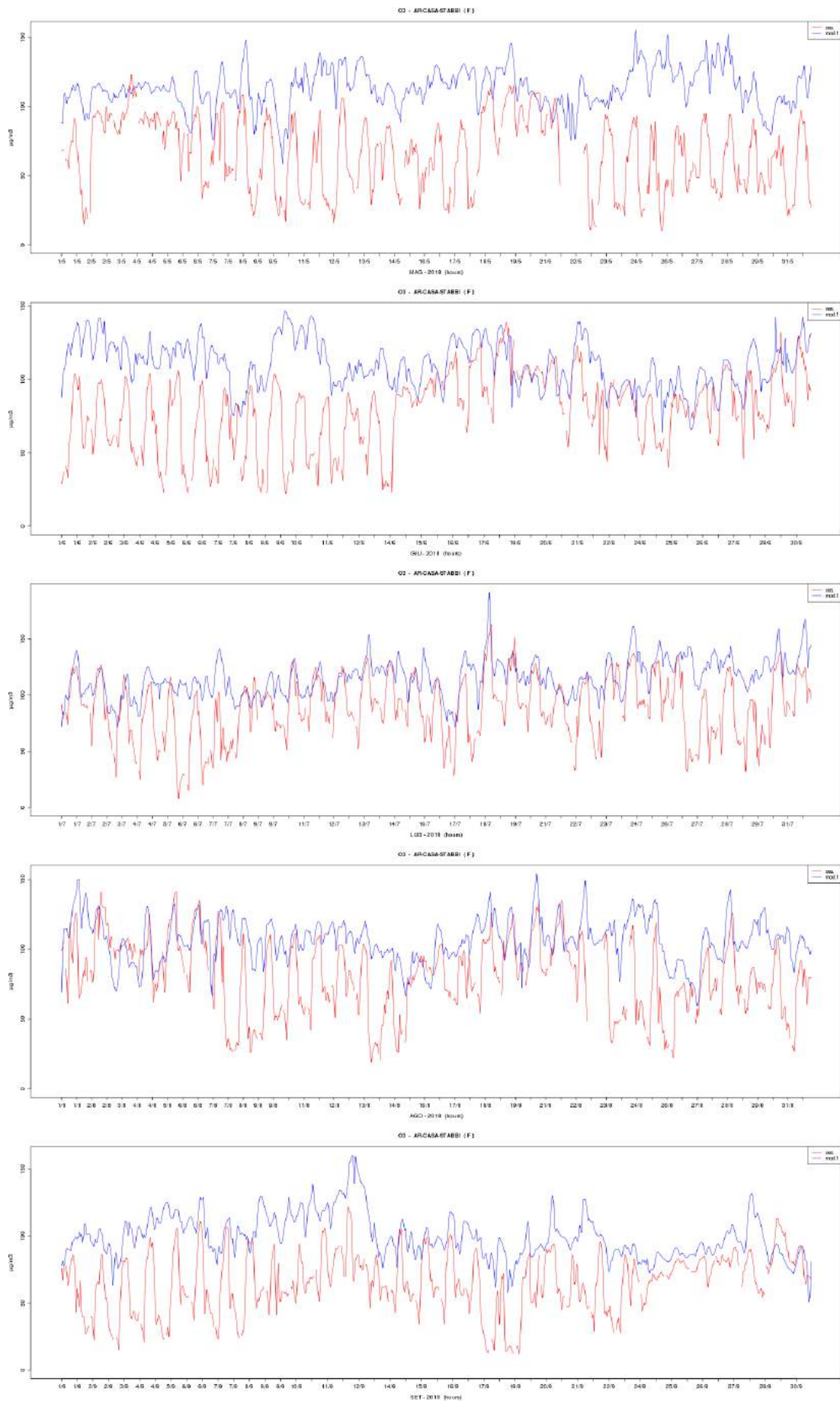
03

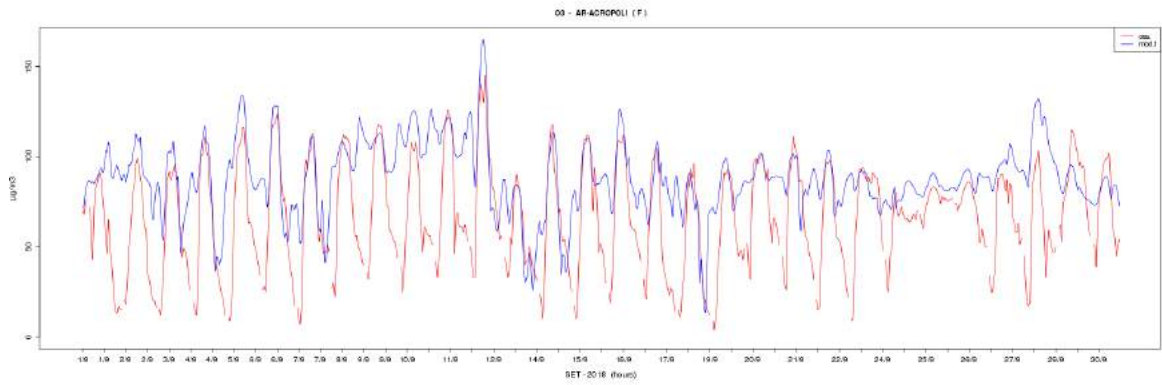
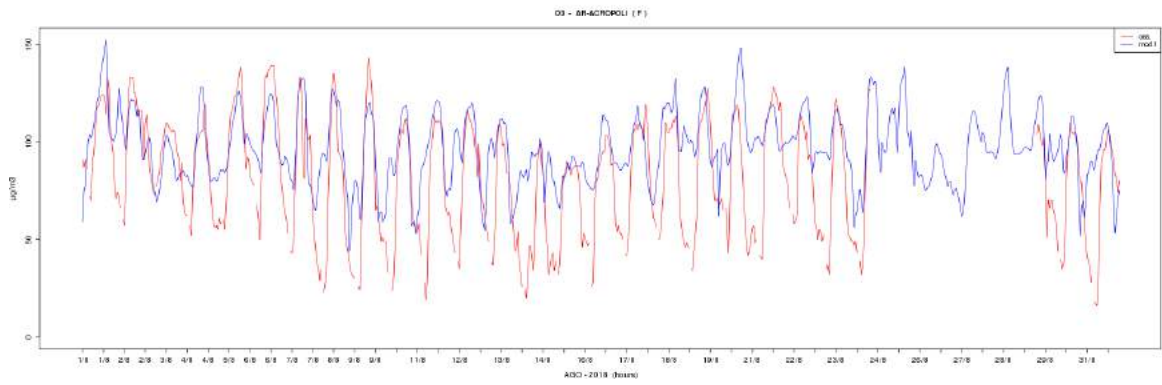
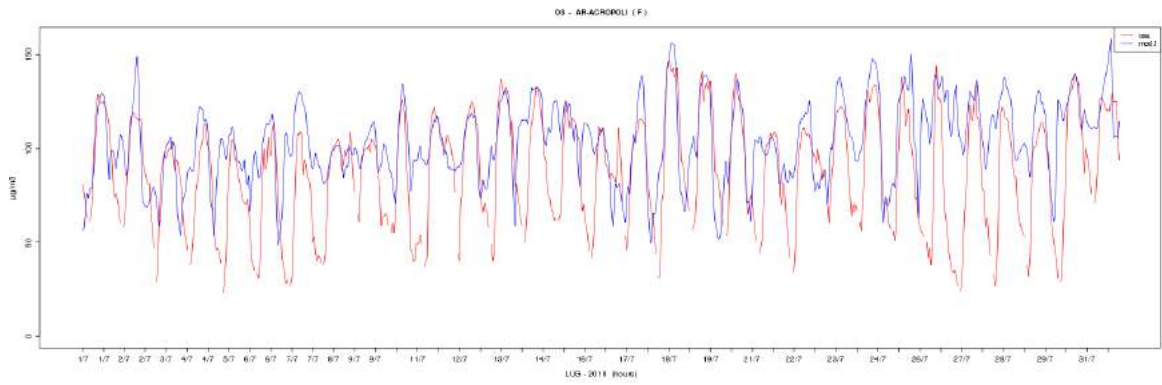
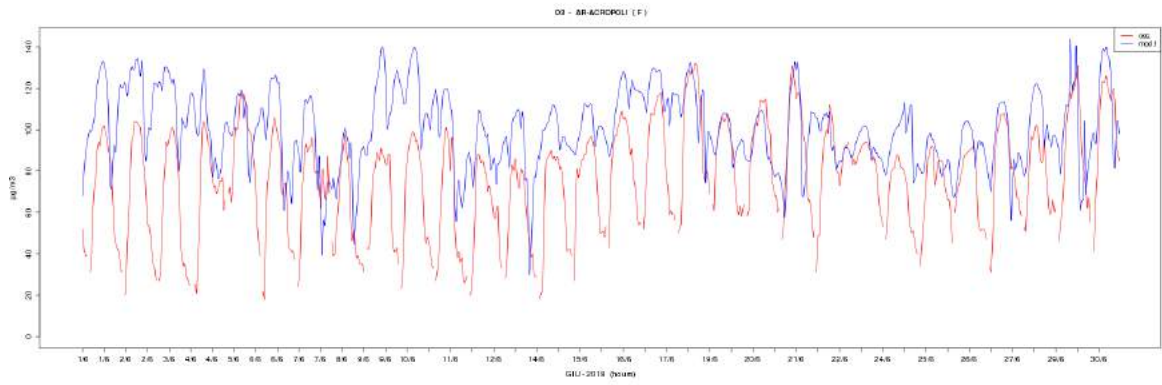
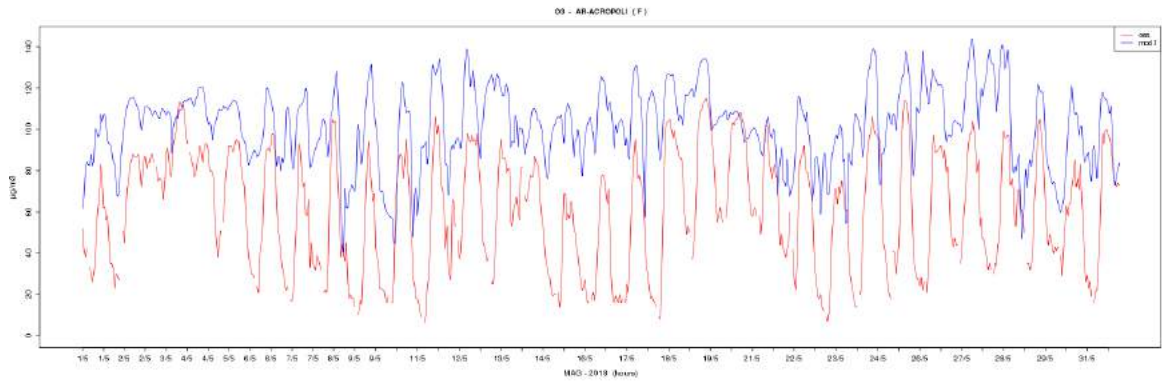


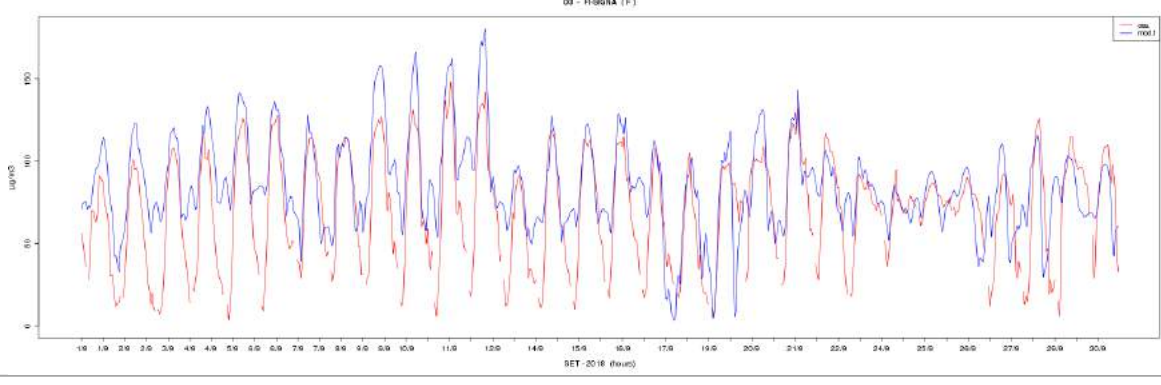
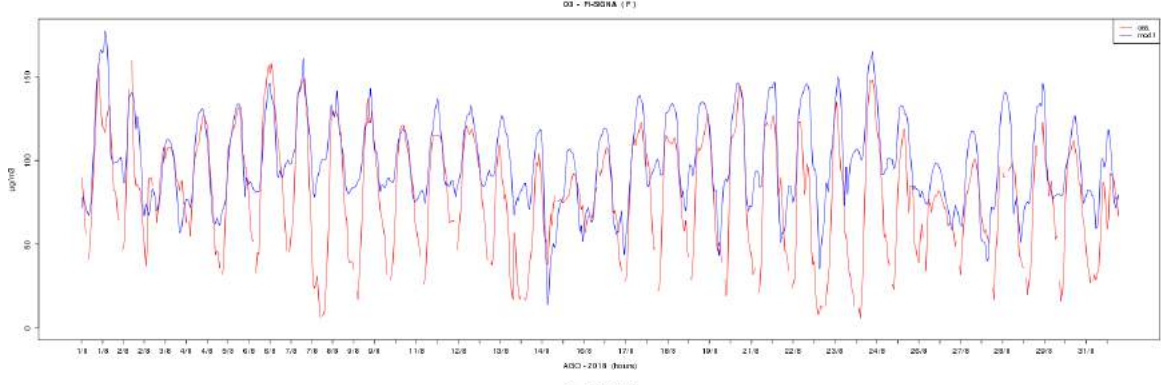
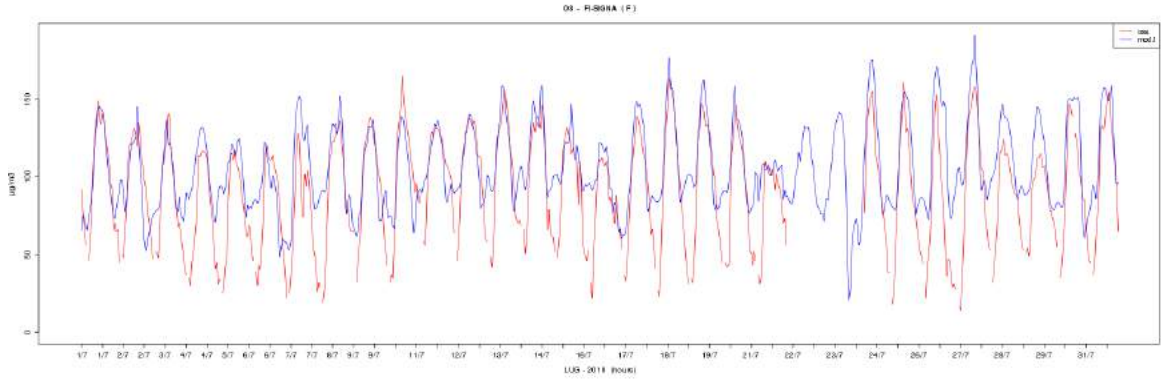
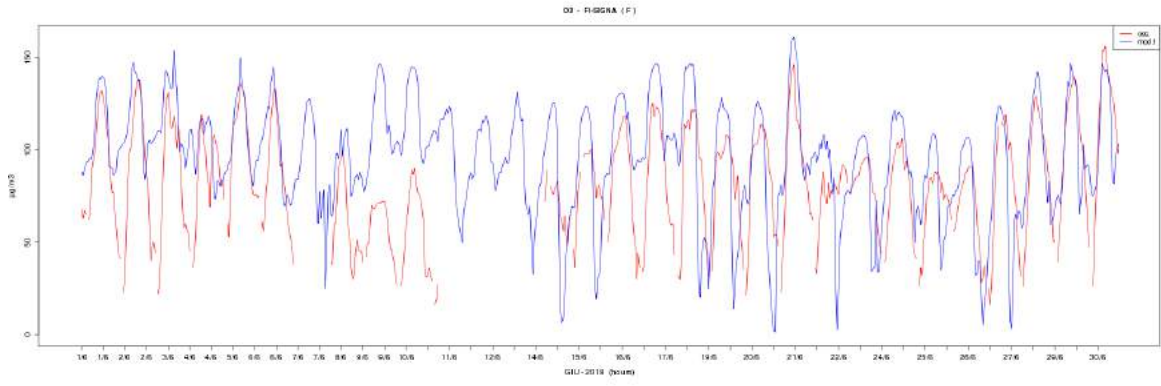
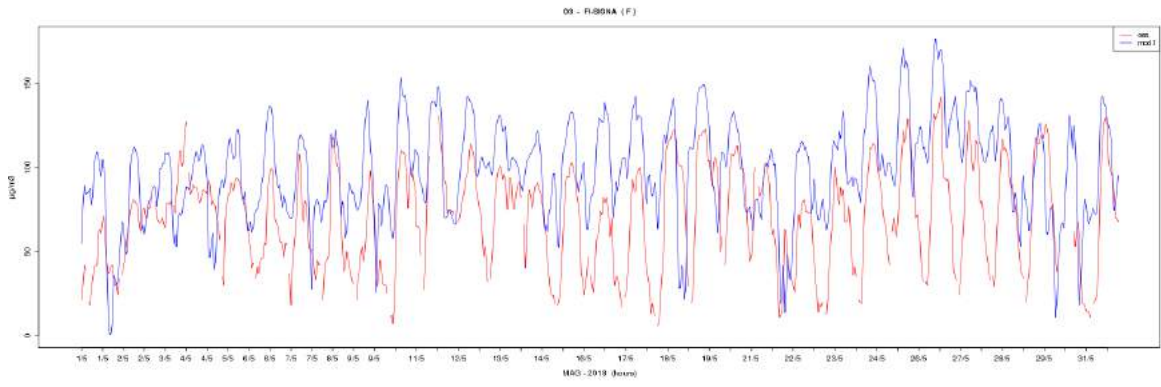


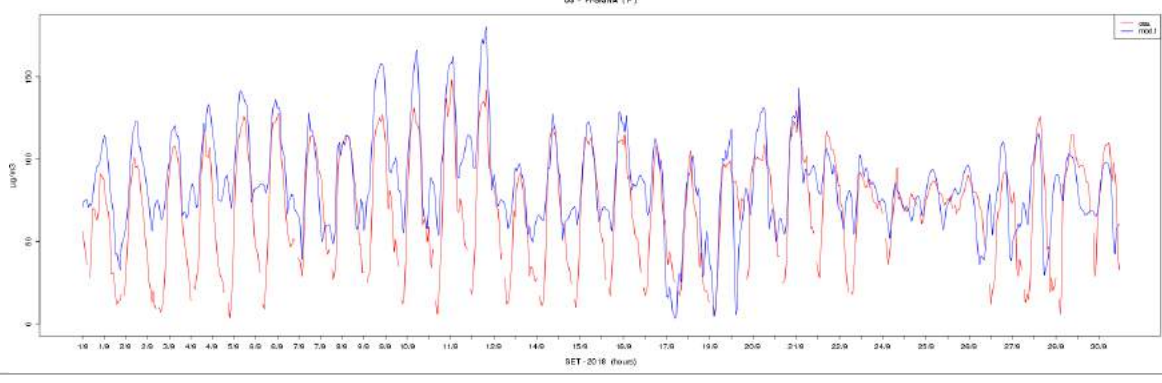
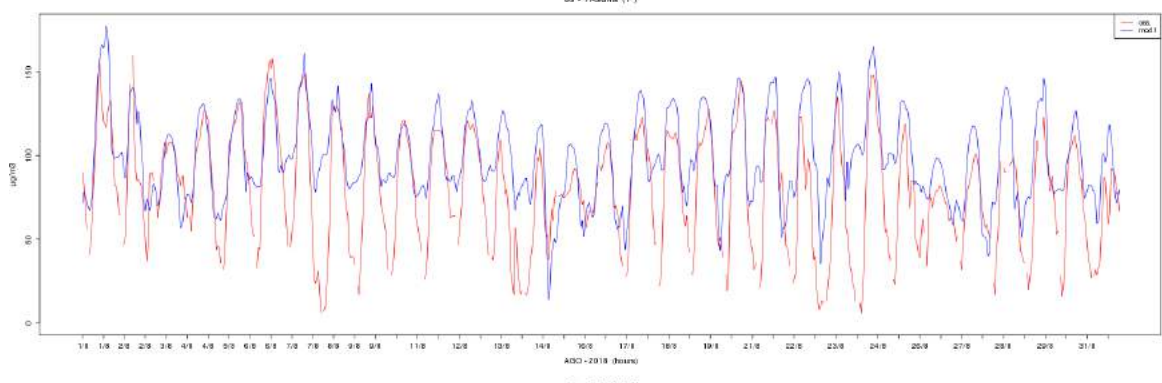
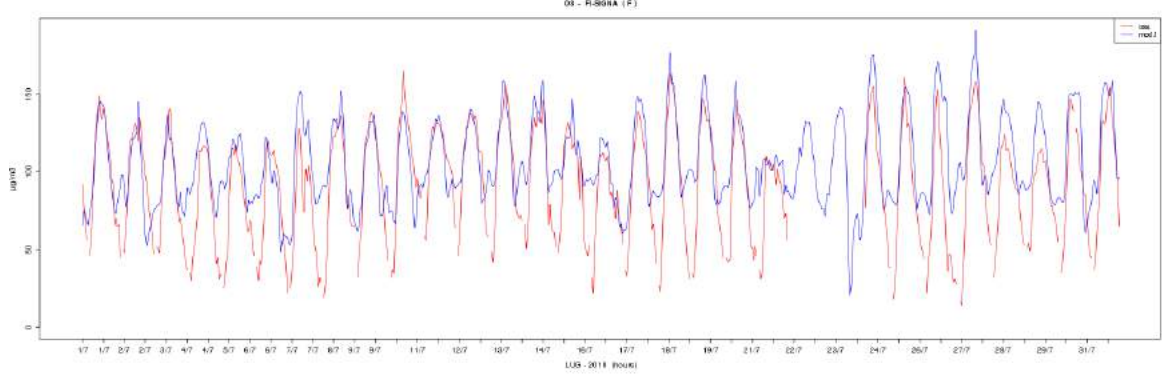
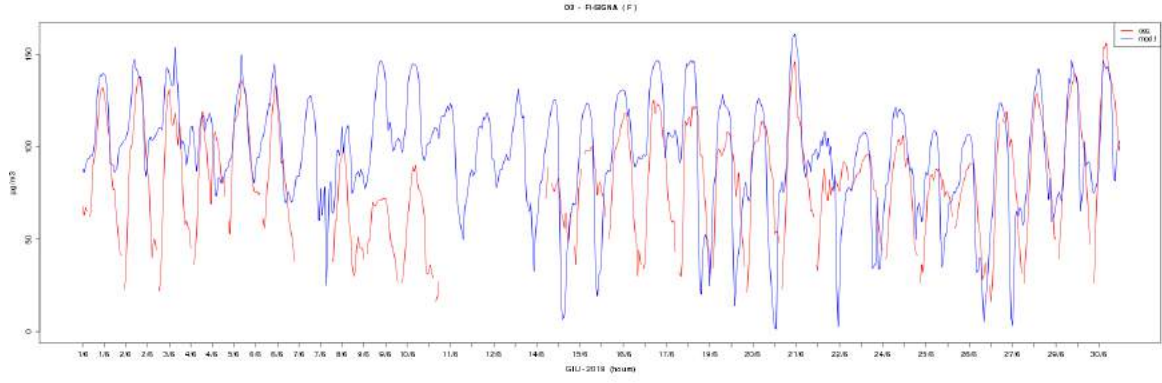
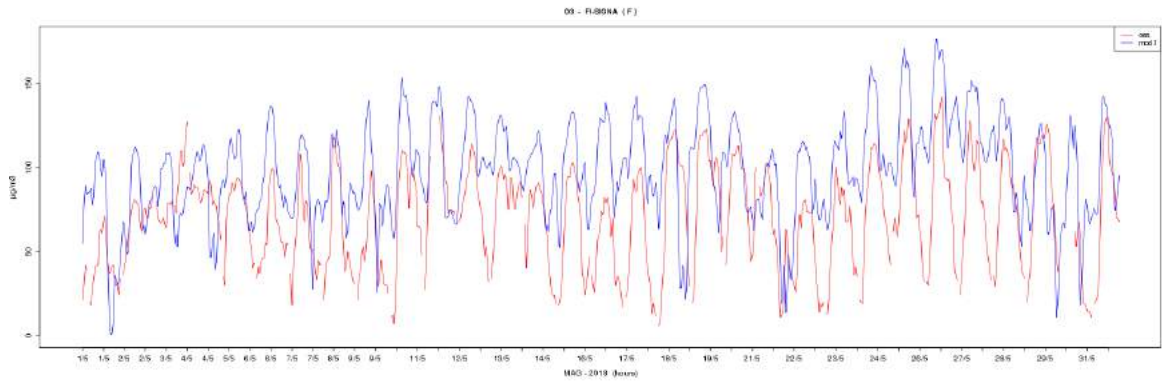


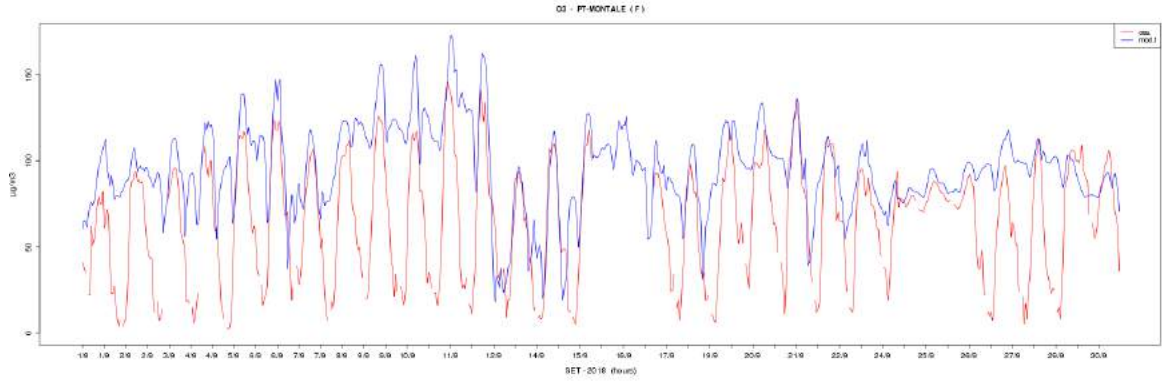
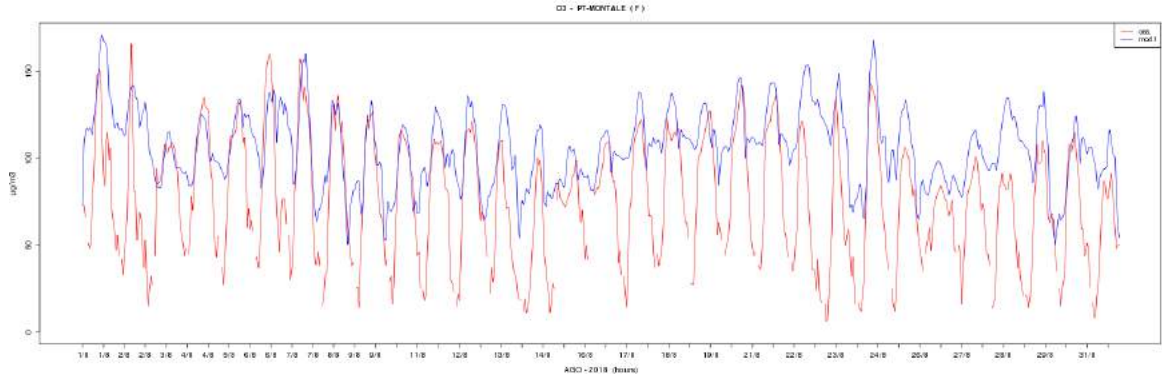
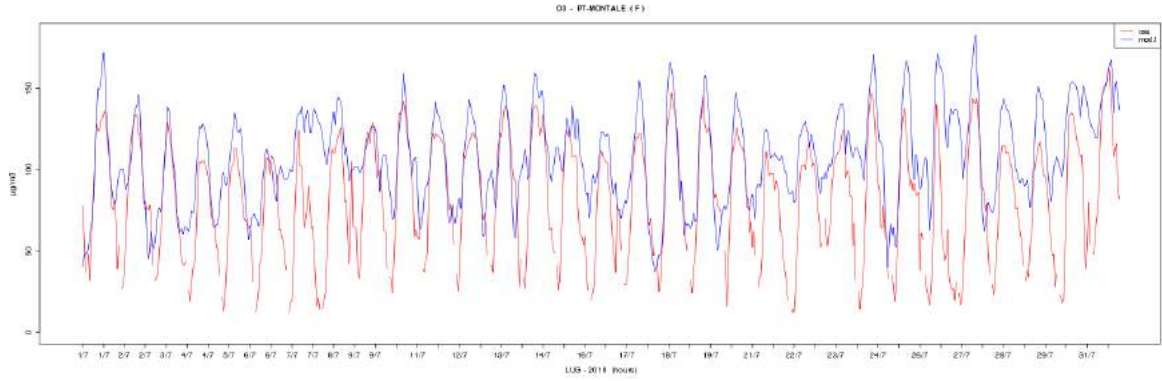
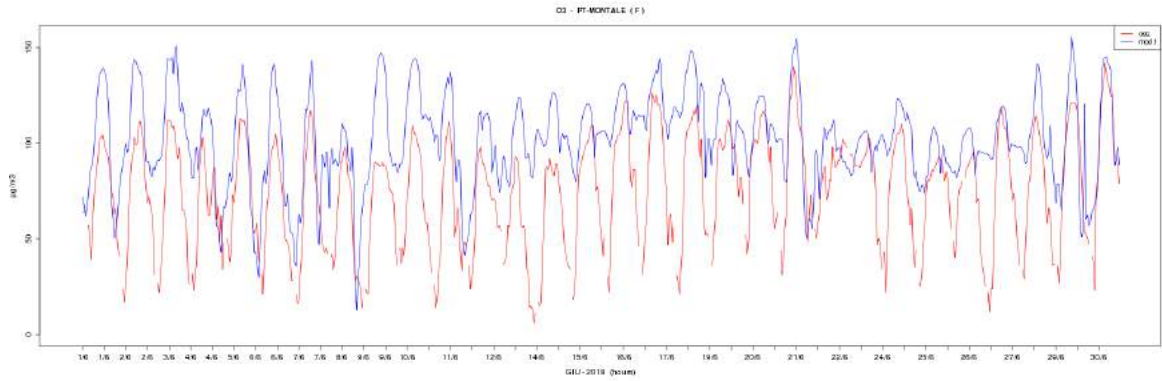
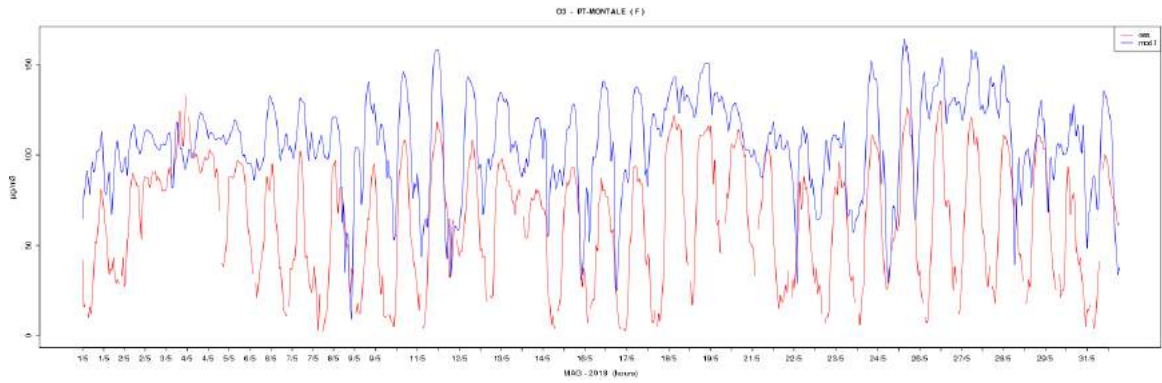
O3 orarie mensili

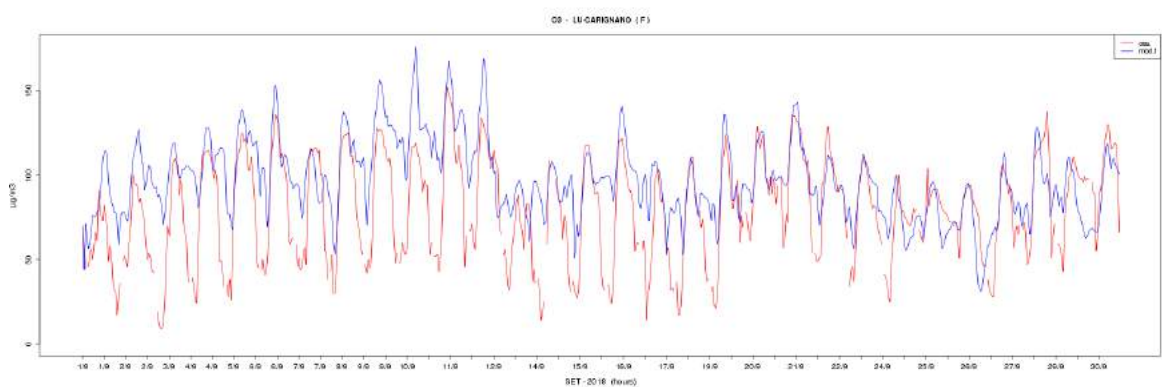
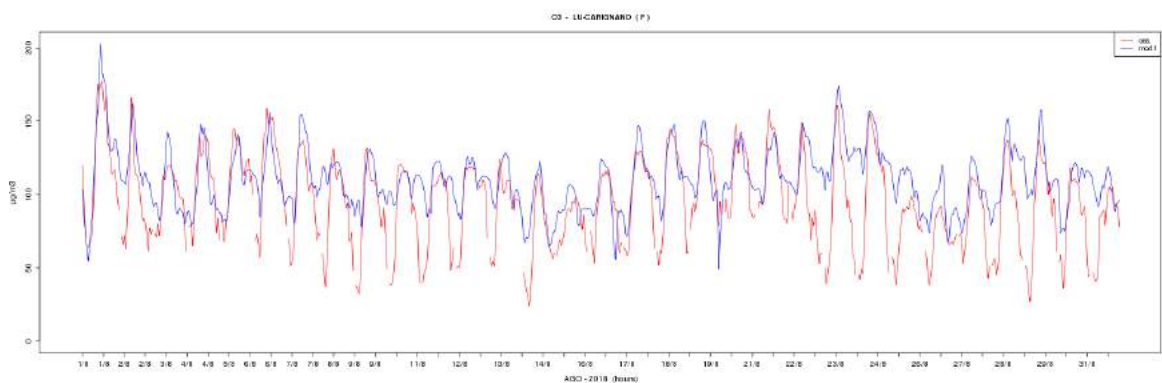
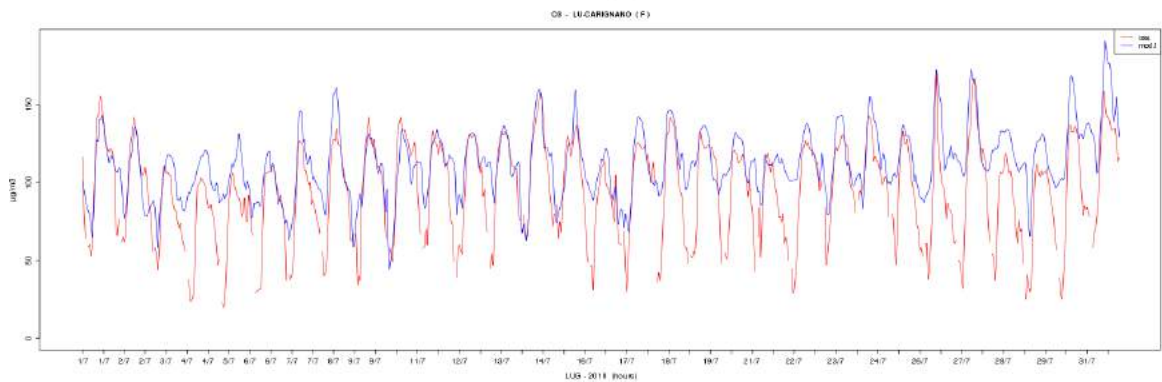
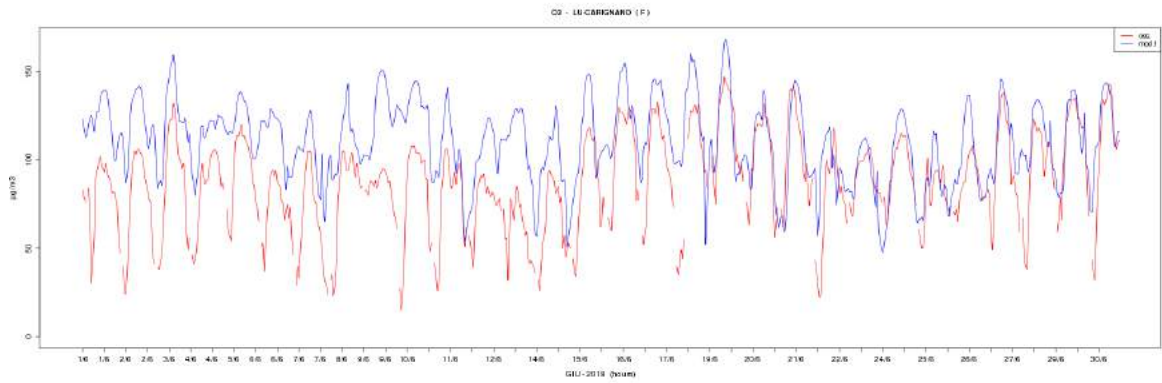
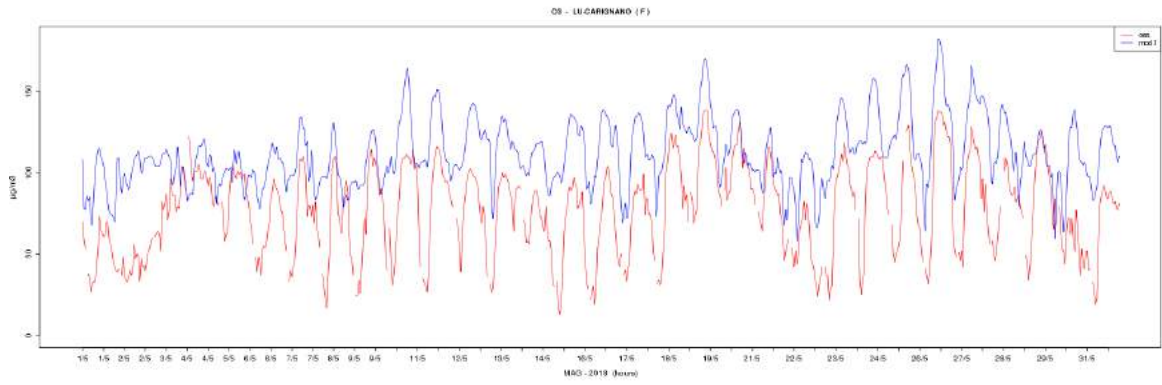


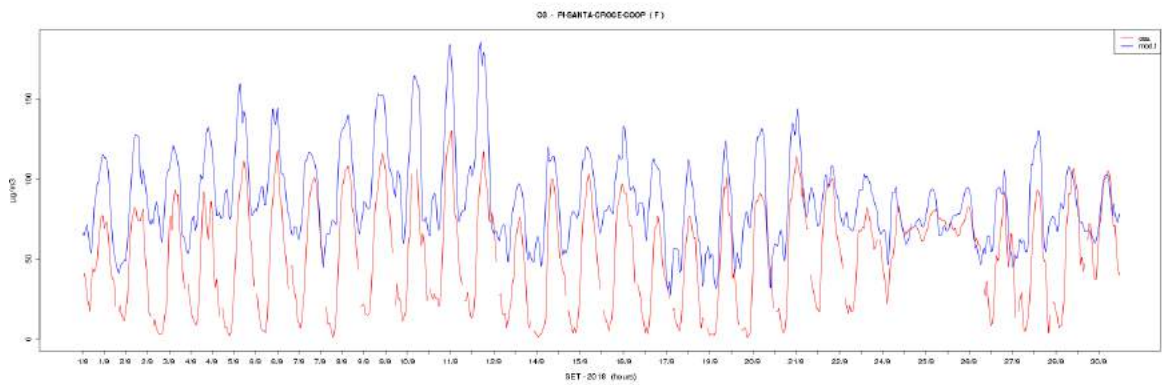
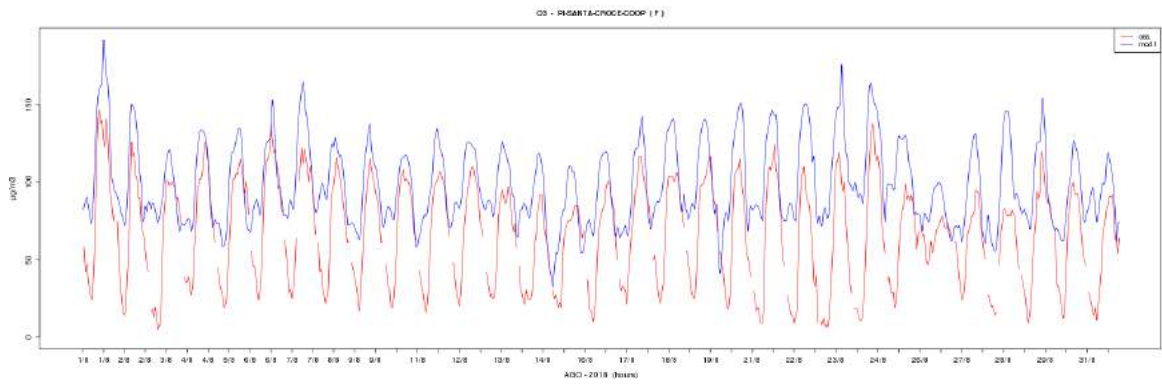
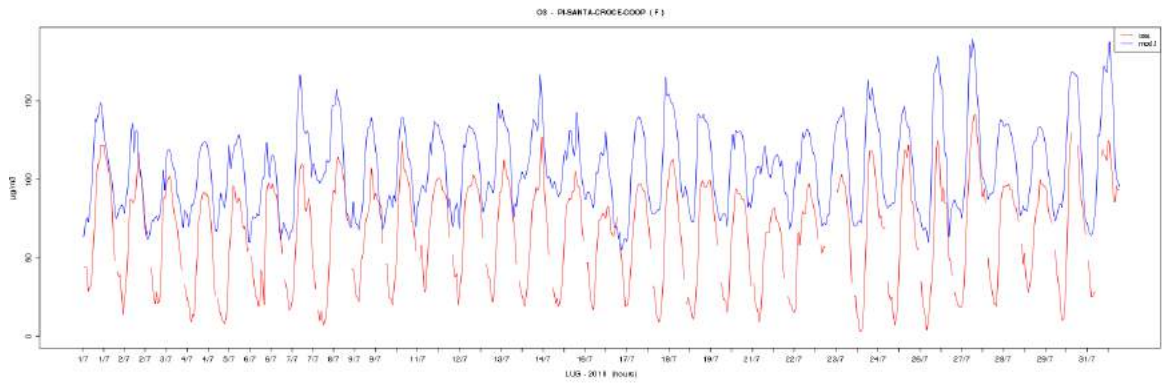
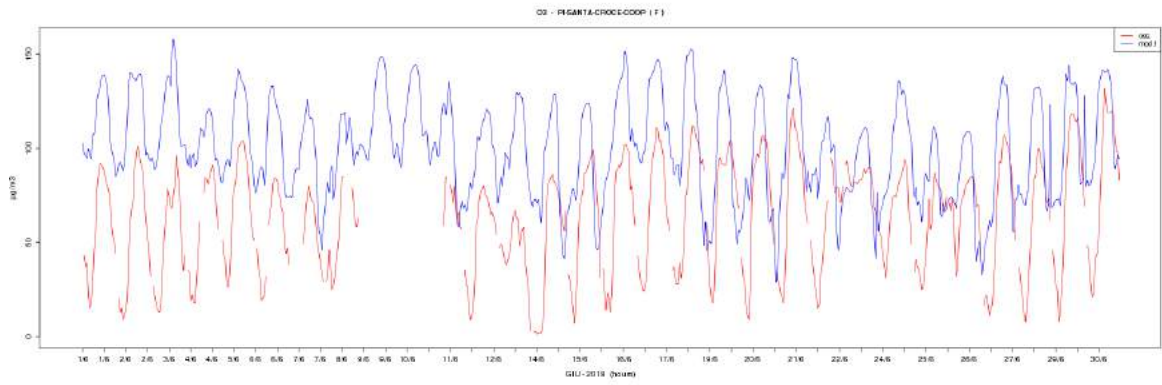
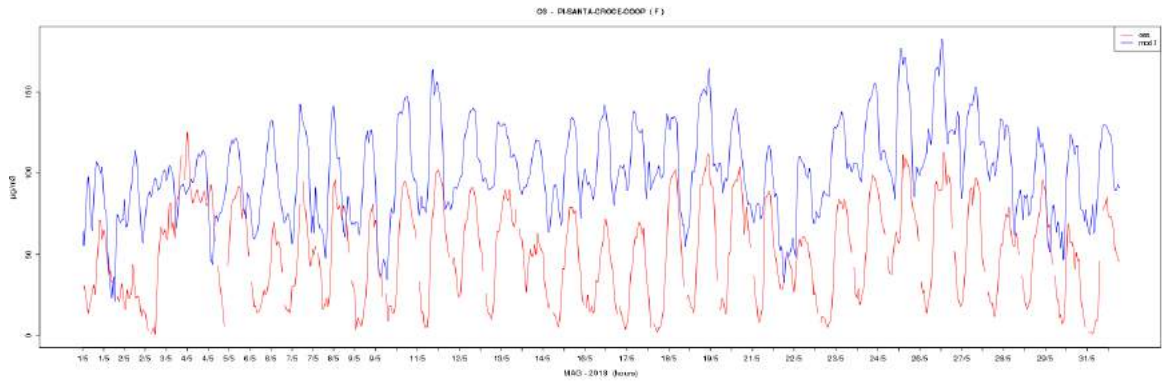


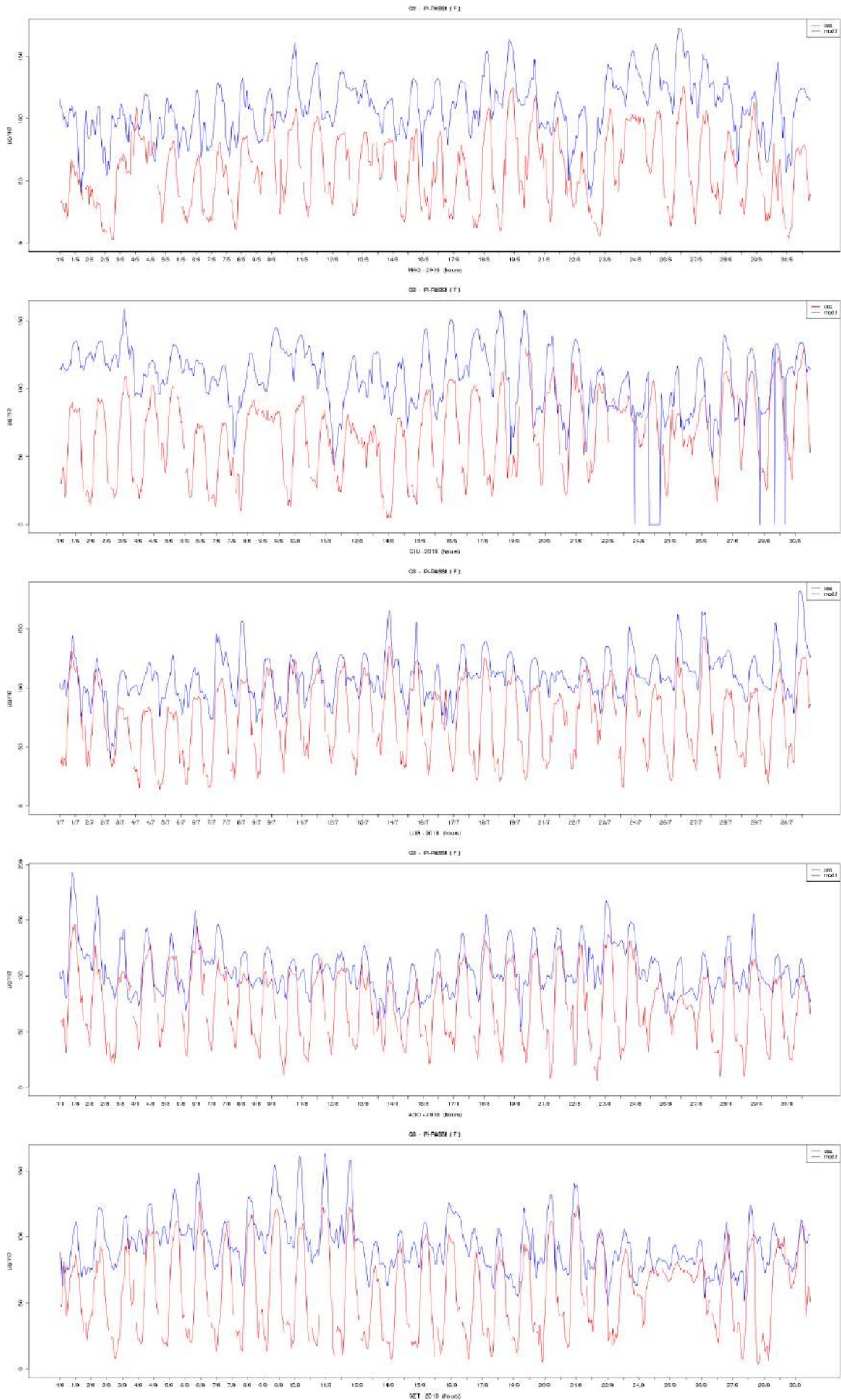


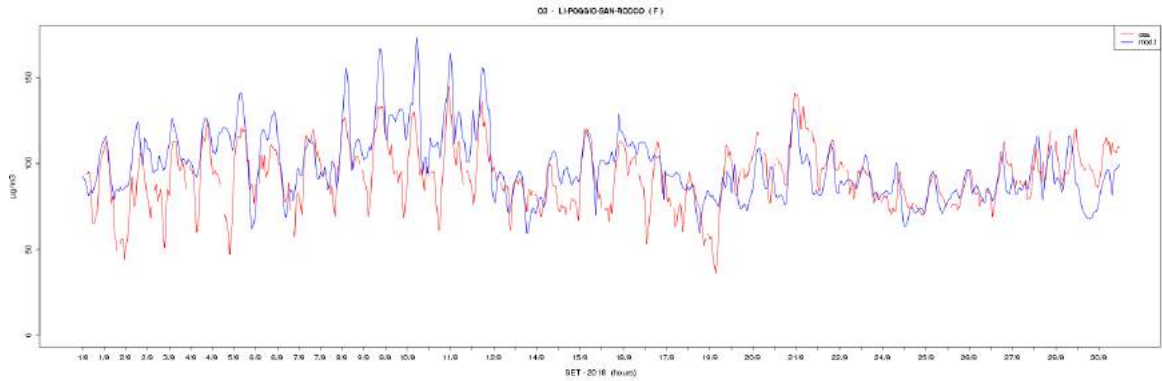
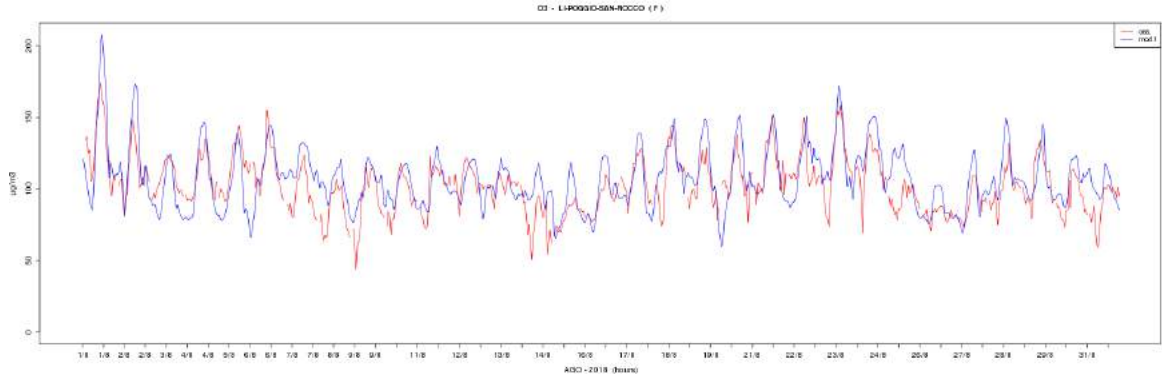
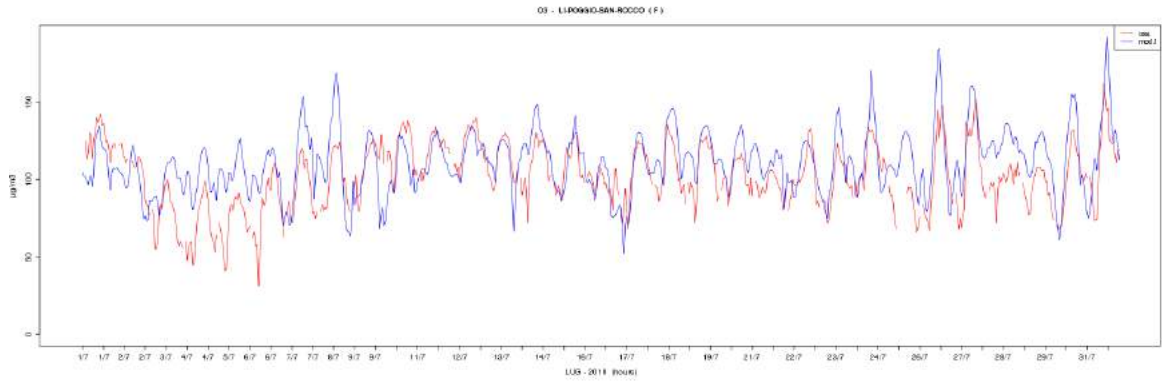
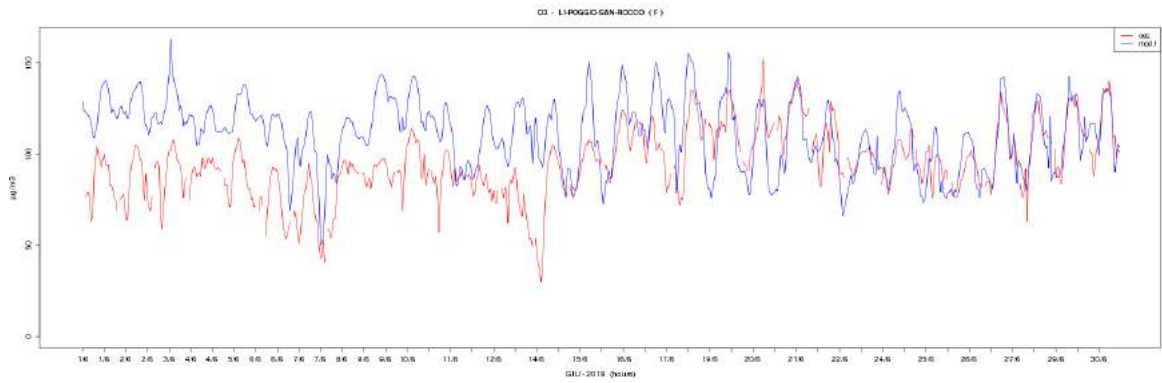
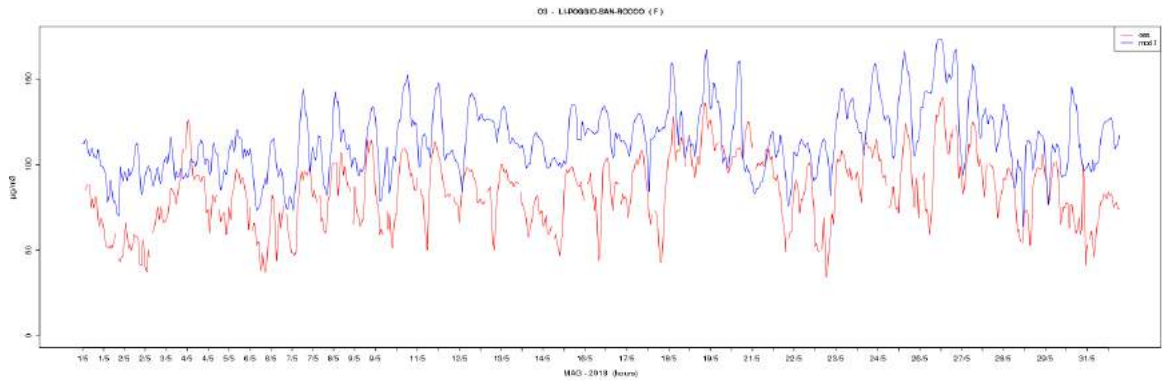


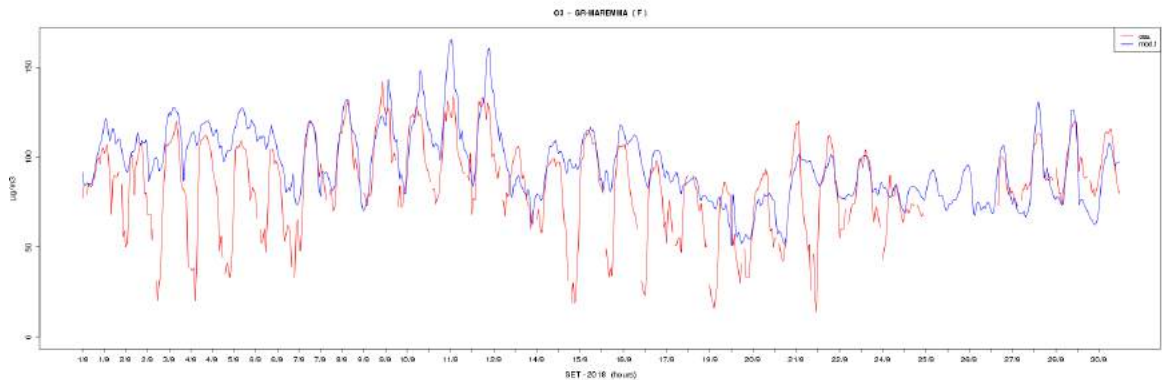
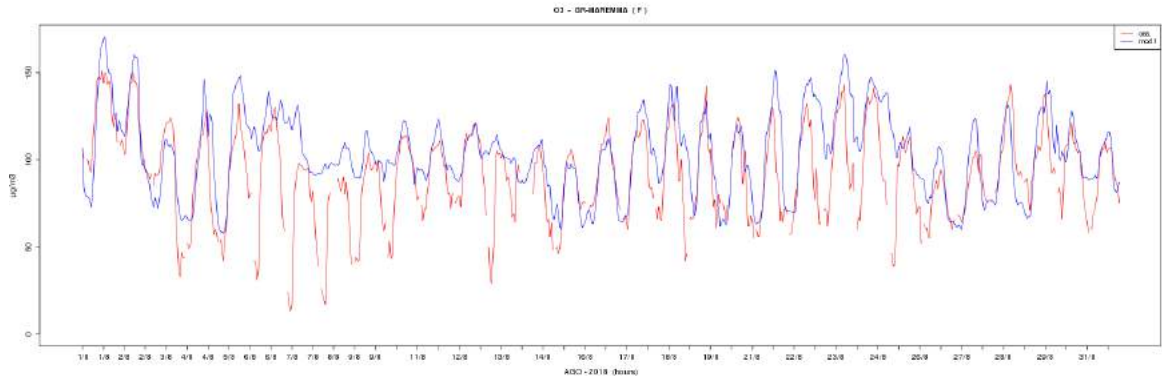
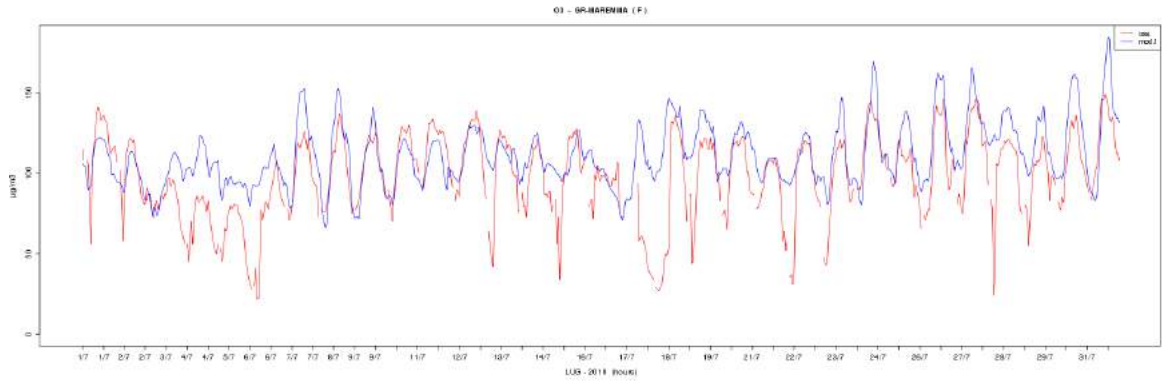
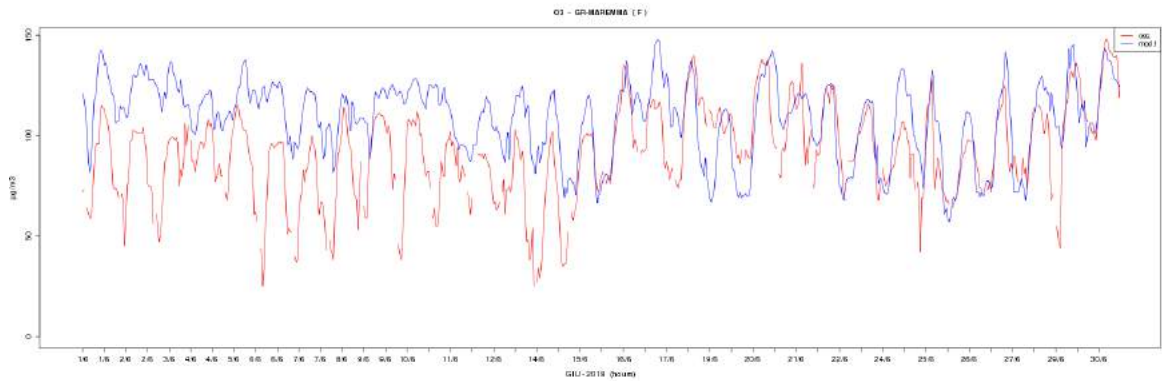
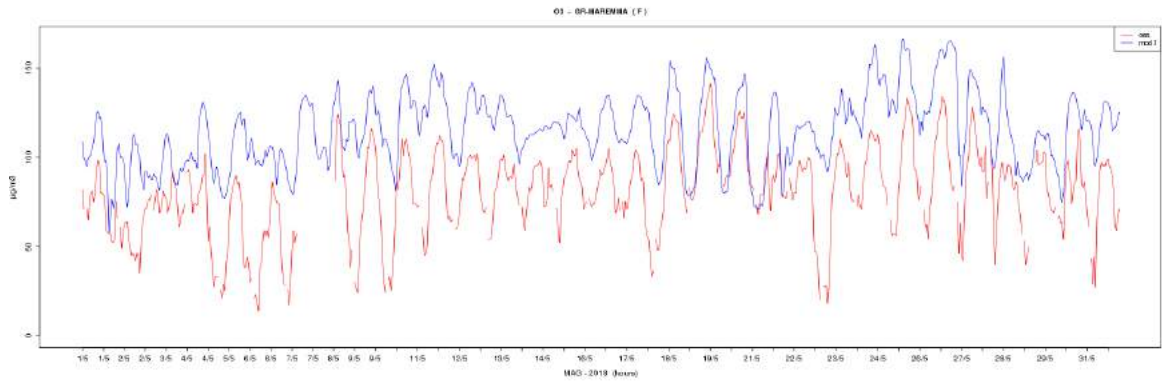


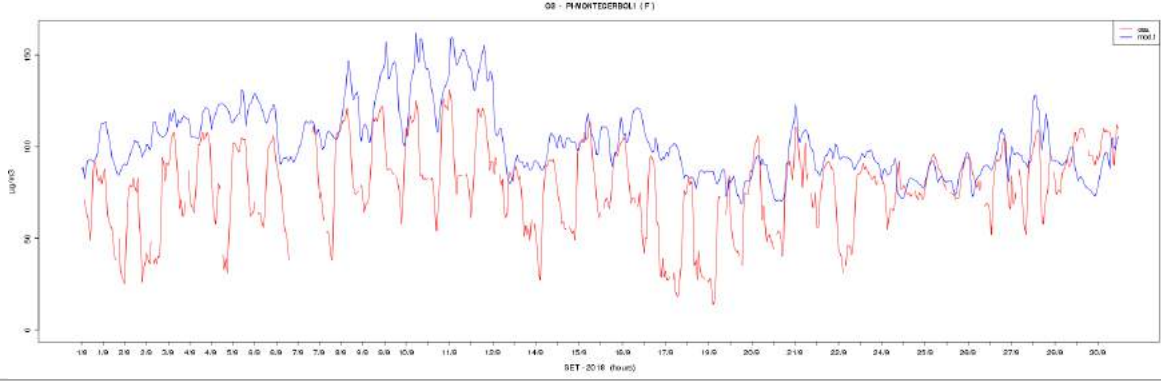
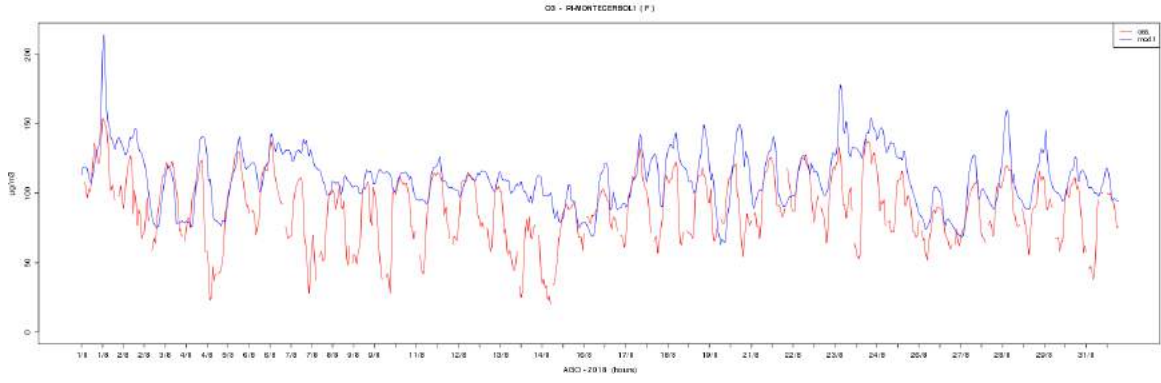
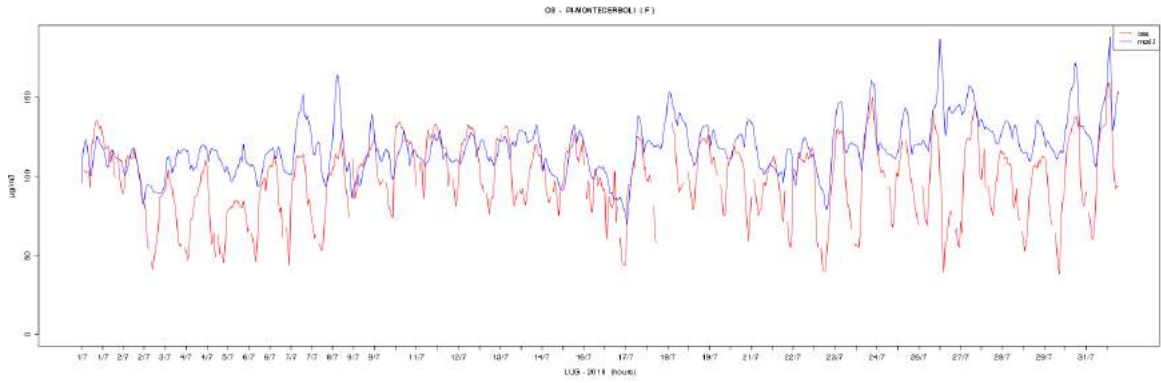
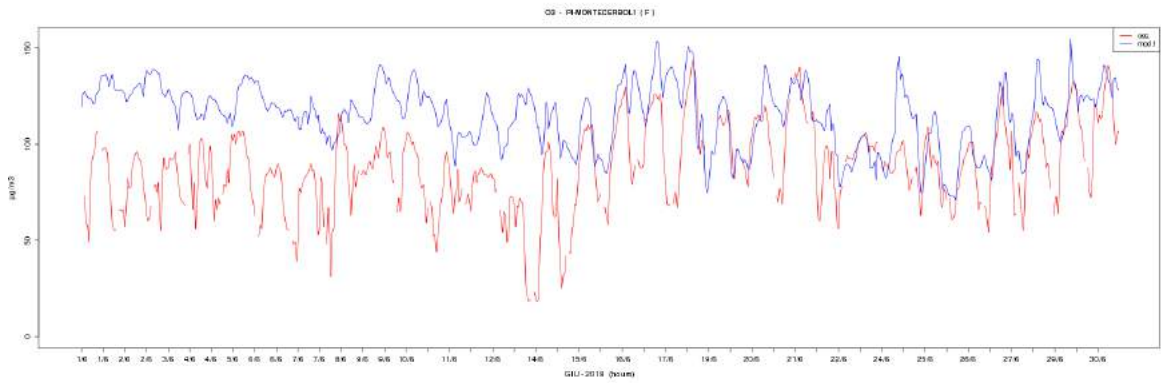
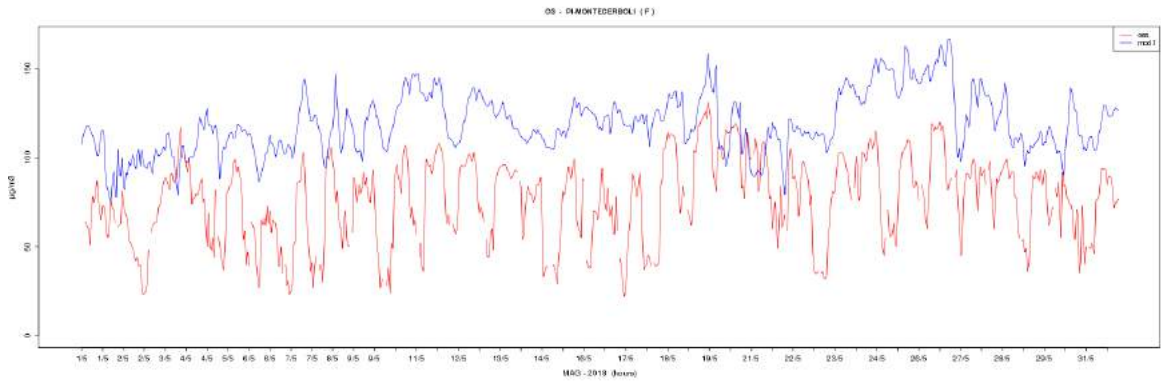




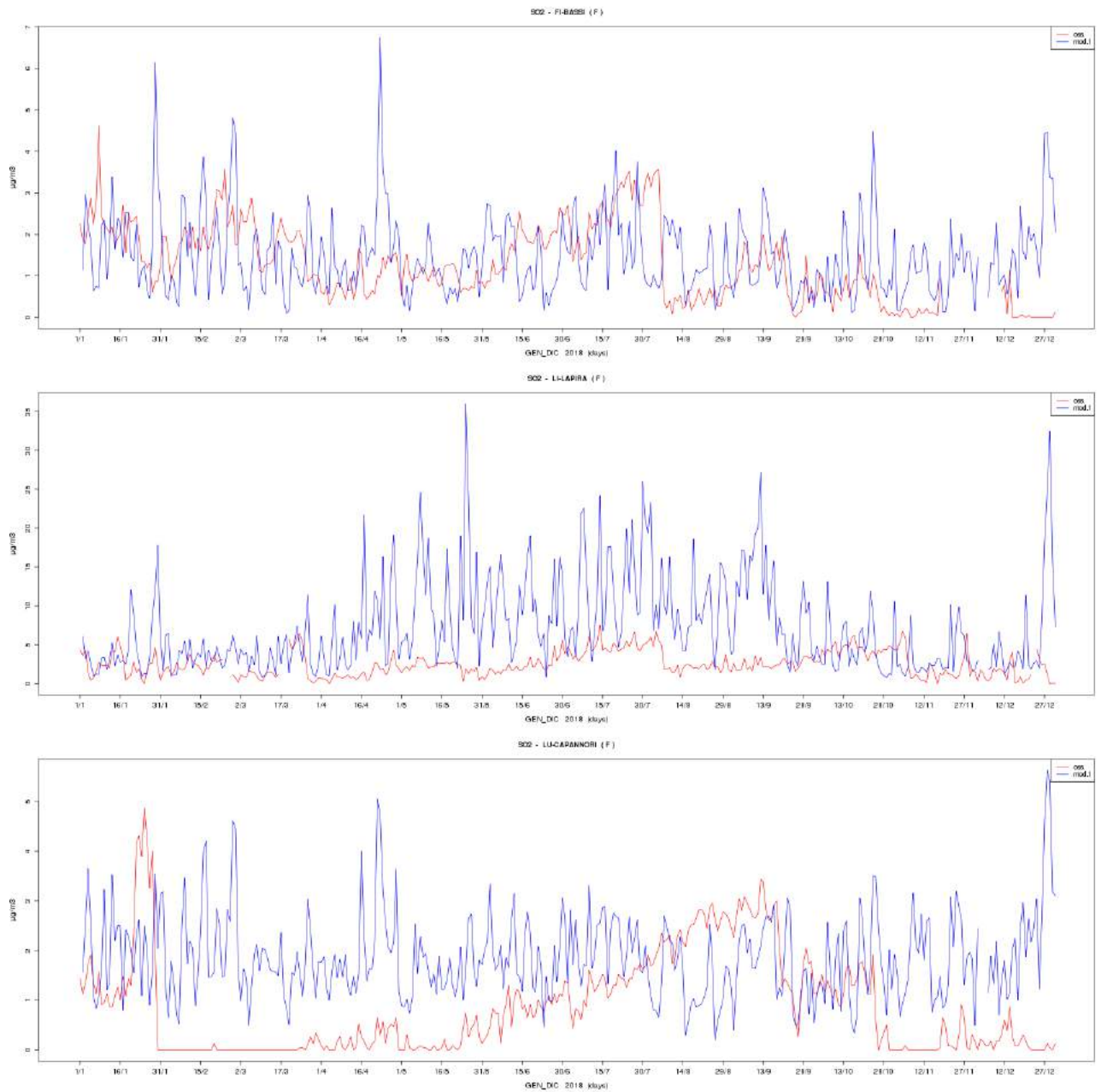






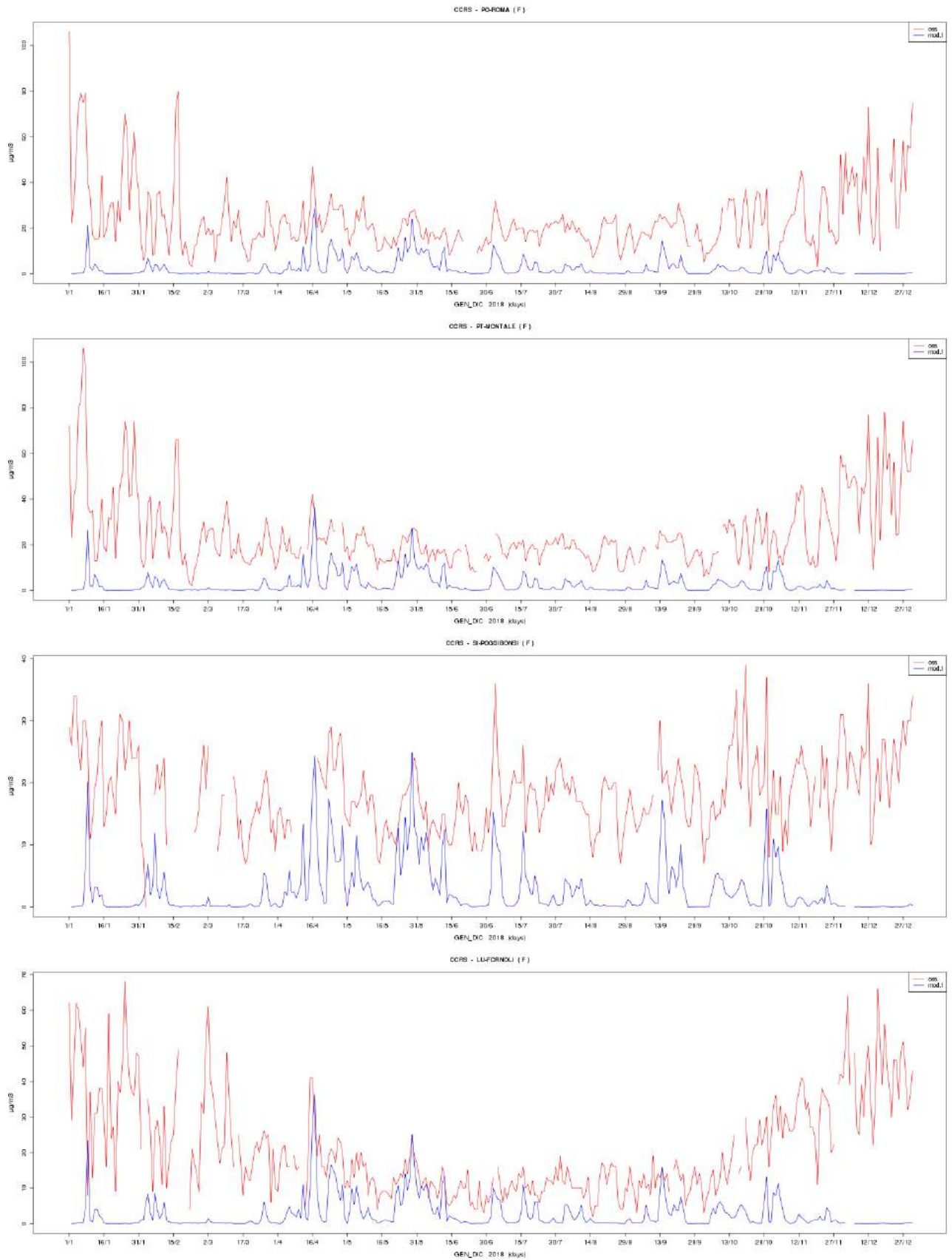


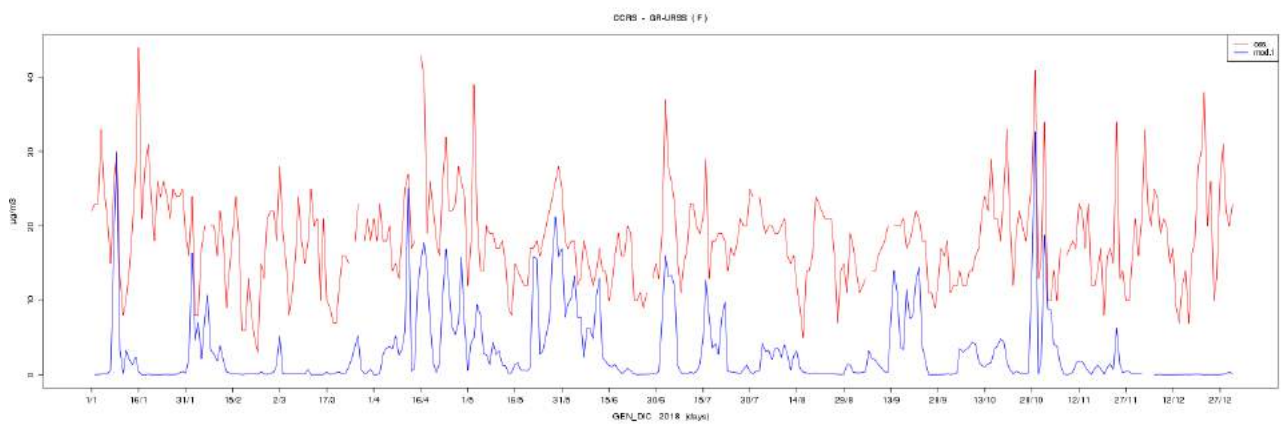
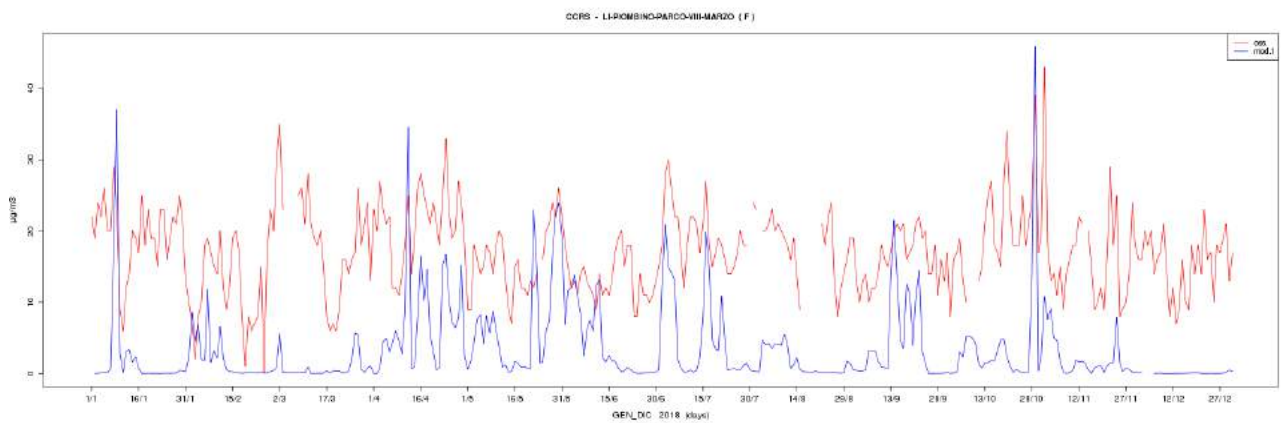
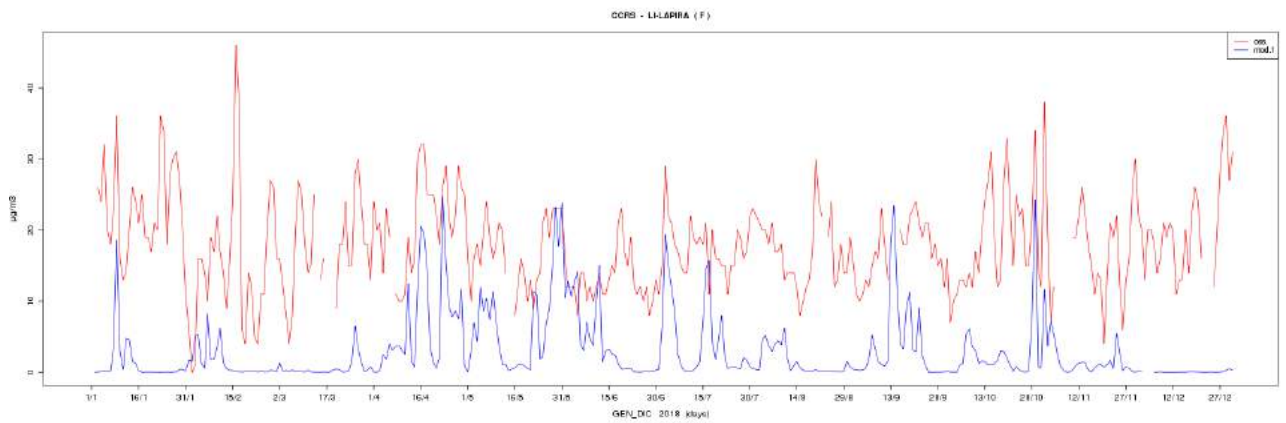
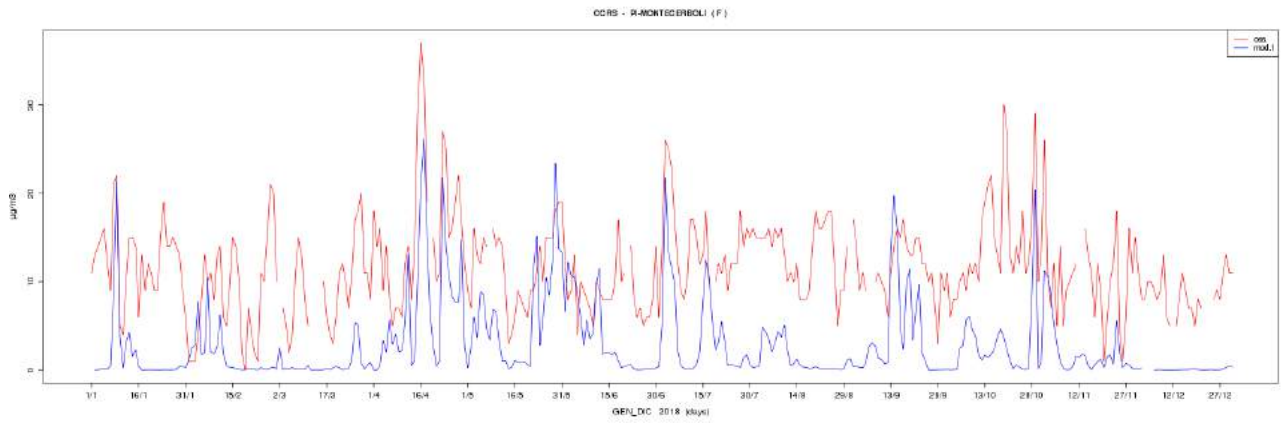
SO₂

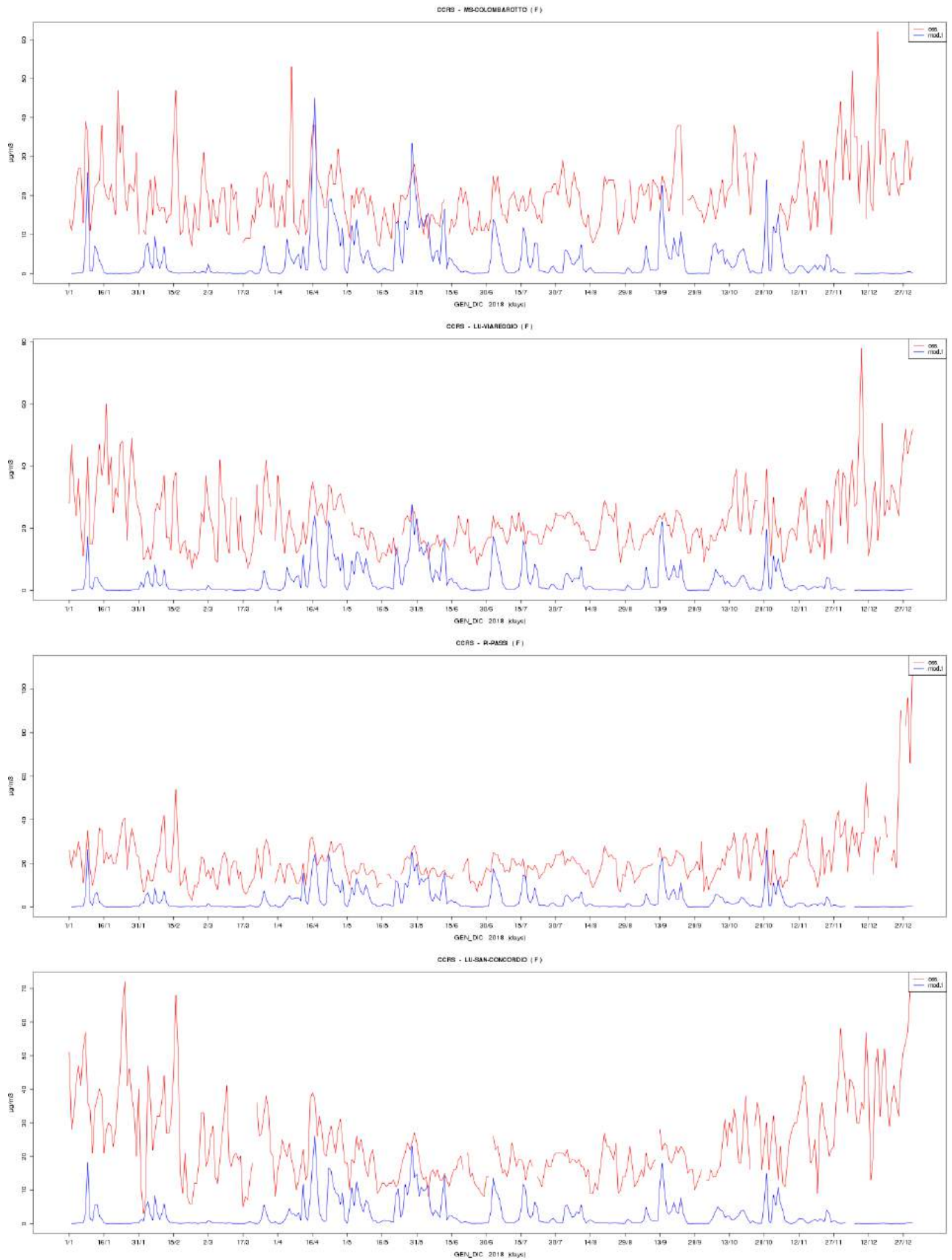


DUST









SKILL giornalieri simulazione 2018

PM2.5 - SKILL GIORN. (2018)																
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	12.73	11.05	7.71	8.45	-0.14	0.44	7.22	0.37	-1.67	0.62	0.77	-13%
5	F	FI-BASSI	94	99	12.20	11.56	6.61	6.47	-0.05	0.37	5.80	0.24	-0.64	0.61	0.77	-5%
7	T	FI-GRAMSCI	95	99	16.22	12.62	6.89	7.03	-0.25	0.38	6.94	0.24	-3.60	0.64	0.75	-22%
21	F	GR-URSS	97	99	10.07	9.84	3.63	5.13	-0.02	0.38	4.88	0.24	-0.23	0.42	0.63	-2%
22	F	LI-CAPPIELLO	96	99	9.52	10.94	4.10	4.88	0.14	0.38	4.87	0.23	1.42	0.47	0.66	15%
23	T	LI-CARDUCCI	96	99	12.83	12.62	4.84	5.62	-0.02	0.31	5.05	0.16	-0.21	0.54	0.73	-2%
29	F	LI-POGGIO-SAN-ROCCO	95	99	7.05	9.36	3.53	4.38	0.28	0.45	4.71	0.34	2.31	0.48	0.63	33%
32	F	LU-CAPANNORI	98	99	22.13	15.77	18.03	9.37	-0.34	0.44	14.20	0.58	-6.36	0.74	0.73	-29%
35	F	LU-VIAREGGIO	98	99	13.66	15.55	7.05	9.79	0.13	0.40	7.57	0.27	1.89	0.66	0.78	14%
85	T	MS-MARINA-VECCHIA	98	99	12.43	14.55	6.46	9.16	0.16	0.41	7.74	0.33	2.13	0.59	0.72	17%
42	T	PI-BORGHETTO	97	99	16.34	13.21	7.51	6.78	-0.21	0.34	6.51	0.20	-3.13	0.68	0.79	-19%
45	F	PI-PASSI	97	99	12.79	11.18	7.81	5.48	-0.13	0.38	6.38	0.28	-1.61	0.62	0.74	-13%
50	T	PO-FERRUCCI	96	99	15.89	15.12	10.47	10.19	-0.05	0.39	8.35	0.29	-0.77	0.68	0.81	-5%
52	F	PO-ROMA	96	99	15.79	15.09	11.39	9.99	-0.05	0.39	8.90	0.33	-0.71	0.66	0.80	-4%
55	F	PT-MONTALE	97	99	17.60	11.55	13.50	7.24	-0.42	0.52	12.49	0.77	-6.05	0.59	0.64	-34%
80	F	SI-POGGIBONSI	93	99	12.14	11.15	4.98	5.90	-0.08	0.33	4.90	0.18	-0.99	0.62	0.77	-8%

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	9.28	7.28	2.96	3.32	-0.24	0.43	4.38	0.28	-2.01	0.23	0.53	-22%
5	F	FI-BASSI	94	100	10.58	8.94	3.46	3.84	-0.17	0.37	4.52	0.22	-1.64	0.33	0.59	-16%
7	T	FI-GRAMSCI	92	100	13.64	9.55	3.41	3.90	-0.35	0.45	6.19	0.29	-4.09	0.19	0.46	-30%
21	F	GR-URSS	96	100	9.93	7.81	3.05	3.65	-0.24	0.41	4.54	0.27	-2.12	0.29	0.54	-21%
22	F	LI-CAPPIELLO	96	100	9.93	10.06	3.73	4.31	0.01	0.33	4.34	0.19	0.14	0.42	0.65	1%
23	T	LI-CARDUCCI	96	100	12.53	11.76	3.81	4.99	-0.06	0.31	5.10	0.18	-0.77	0.36	0.62	-6%
29	F	LI-POGGIO-SAN-ROCCO	98	100	7.02	9.08	2.81	4.07	0.26	0.41	4.32	0.29	2.07	0.44	0.58	29%
32	F	LU-CAPANNORI	98	100	11.85	10.14	4.05	4.21	-0.16	0.30	4.42	0.16	-1.71	0.51	0.71	-14%
35	F	LU-VIAREGGIO	97	100	11.22	9.37	3.69	4.24	-0.18	0.40	4.93	0.23	-1.85	0.34	0.60	-16%
85	T	MS-MARINA-VECCHIA	98	100	10.20	9.34	3.32	4.45	-0.09	0.37	4.63	0.23	-0.86	0.34	0.58	-8%
42	T	PI-BORGHETTO	96	100	14.52	10.06	4.58	4.05	-0.36	0.44	6.61	0.30	-4.46	0.36	0.56	-31%
45	F	PI-PASSI	96	100	10.60	8.85	3.55	3.76	-0.18	0.39	4.67	0.23	-1.75	0.30	0.57	-17%
50	T	PO-FERRUCCI	96	100	12.49	9.81	3.93	4.25	-0.24	0.39	5.31	0.23	-2.68	0.37	0.60	-21%
52	F	PO-ROMA	97	100	11.68	9.99	3.83	4.21	-0.16	0.36	4.93	0.21	-1.69	0.34	0.60	-14%
55	F	PT-MONTALE	95	100	11.44	8.21	3.50	3.74	-0.33	0.46	5.38	0.31	-3.23	0.29	0.55	-28%
80	F	SI-POGGIBONSI	97	100	10.38	8.16	3.24	3.12	-0.24	0.36	4.14	0.20	-2.22	0.40	0.60	-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	98	12.83	15.01	7.79	10.24	0.16	0.60	16.87	1.48	4.49	0.25	0.46	17%
5	F	FI-BASSI	94	98	12.16	14.31	6.54	7.48	0.16	0.49	12.21	0.86	4.29	0.41	0.55	18%
7	T	FI-GRAMSCI	95	98	16.33	15.92	6.93	8.05	-0.04	0.41	12.55	0.61	-1.17	0.37	0.55	-3%
21	F	GR-URSS	97	98	10.07	11.80	3.64	5.52	0.16	0.40	8.24	0.57	3.46	0.44	0.55	17%
22	F	LI-CAPPIELLO	96	98	9.55	11.81	4.10	5.36	0.21	0.46	8.93	0.71	4.52	0.34	0.51	24%
23	T	LI-CARDUCCI	96	98	12.87	13.51	4.86	6.07	0.04	0.38	8.86	0.45	1.16	0.50	0.61	5%
29	F	LI-POGGIO-SAN-ROCCO	95	98	7.11	9.78	3.52	4.71	0.31	0.56	8.65	1.08	5.37	0.19	0.43	38%
32	F	LU-CAPANNORI	98	98	21.99	21.66	17.42	9.68	-0.01	0.56	24.16	1.23	-0.65	0.44	0.54	-2%
35	F	LU-VIAREGGIO	98	98	13.61	21.97	6.92	9.86	0.47	0.60	19.64	1.29	16.92	0.24	0.40	61%
85	T	MS-MARINA-VECCHIA	98	98	12.38	19.83	6.31	9.71	0.46	0.59	18.06	1.33	14.91	0.30	0.41	60%
42	T	PI-BORGHETTO	97	98	16.43	16.33	7.56	7.48	-0.02	0.42	13.02	0.63	-0.71	0.28	0.51	-1%
45	F	PI-PASSI	97	98	12.67	13.49	7.50	6.00	0.06	0.45	12.07	0.85	1.62	0.31	0.50	6%
50	T	PO-FERRUCCI	96	98	15.84	20.63	10.35	11.50	0.26	0.54	19.33	1.14	9.63	0.45	0.55	30%
52	F	PO-ROMA	96	98	15.96	20.20	11.48	11.54	0.23	0.56	19.82	1.22	8.19	0.44	0.56	27%
55	F	PT-MONTALE	97	98	17.74	14.53	13.58	7.74	-0.20	0.57	20.24	1.59	-6.43	0.33	0.47	-18%
80	F	SI-POGGIBONSI	93	98	12.19	14.41	5.00	6.46	0.17	0.45	11.32	0.73	4.77	0.24	0.46	18%

PM10 - SKILL GIORN. (2018)

ID	TIPO	NOME STAZIONE	DATI STAZ	DATI MOD	MEDIA STAZ	MEDIA MOD	STD STAZ	STD MOD	FB	FE	RMSE	NMSE	BIAS	CORR	IOA	ER
2	F	AR-ACROPOLI	98	99	18.56	16.16	9.13	9.99	-0.14	0.39	8.98	0.27	-2.40	0.59	0.75	-13%
1	F	AR-CASA-STABBI	97	99	10.82	13.35	6.45	6.65	0.21	0.52	7.86	0.43	2.53	0.35	0.60	23%
4	T	AR-REPUBBLICA	99	99	23.27	20.50	11.63	13.20	-0.13	0.38	10.80	0.24	-2.77	0.65	0.78	-12%
5	F	FI-BASSI	93	99	18.79	16.34	8.91	8.26	-0.14	0.38	8.80	0.25	-2.45	0.52	0.70	-13%
6	F	FI-BOBOLI	97	99	18.10	16.25	8.44	7.39	-0.11	0.36	7.94	0.21	-1.85	0.53	0.71	-10%
89	F	FI-FIGLINE	95	99	24.43	15.79	11.03	7.50	-0.43	0.48	12.46	0.40	-8.64	0.59	0.62	-35%
7	T	FI-GRAMSCI	96	99	29.74	17.46	11.04	8.65	-0.52	0.54	15.36	0.45	-12.28	0.58	0.58	-41%
8	T	FI-MOSSE	96	99	23.86	18.11	10.57	9.13	-0.27	0.39	10.73	0.27	-5.75	0.58	0.70	-24%
12	F	FI-SCANDICCI	98	99	21.16	17.17	10.03	7.70	-0.21	0.38	9.62	0.25	-3.99	0.54	0.67	-19%
11	F	FI-SIGNA	97	99	21.75	18.14	12.95	8.91	-0.18	0.37	10.37	0.27	-3.61	0.66	0.75	-17%
20	T	GR-SONNINO	98	99	26.86	18.12	10.27	8.92	-0.39	0.44	12.37	0.31	-8.75	0.59	0.64	-33%
21	F	GR-URSS	98	99	18.24	15.73	6.40	7.81	-0.15	0.33	7.10	0.18	-2.51	0.58	0.73	-14%
22	F	LI-CAPPIELLO	96	99	17.25	16.92	6.40	7.23	-0.02	0.35	7.45	0.19	-0.33	0.41	0.64	-2%
23	T	LI-CARDUCCI	97	99	22.96	18.72	7.17	7.81	-0.20	0.32	8.66	0.17	-4.24	0.49	0.67	-18%
26	I	LI-COTONE	98	99	16.32	17.38	6.78	8.12	0.06	0.38	8.06	0.23	1.07	0.43	0.65	6%
82	F	LI-LAPIRA	95	99	17.87	17.43	6.72	7.42	-0.03	0.33	7.47	0.18	-0.45	0.45	0.67	-2%
83	F	LI-PIOMBINO-PARCO-VIII-MARZO	96	99	17.03	17.43	5.92	8.11	0.02	0.34	7.59	0.19	0.40	0.45	0.65	2%
32	F	LU-CAPANNORI	98	99	29.45	21.33	18.76	10.70	-0.32	0.41	16.38	0.43	-8.11	0.66	0.69	-28%
88	F	LU-FORNOLI	96	99	20.61	22.46	13.45	13.89	0.09	0.36	10.63	0.24	1.85	0.71	0.83	9%
30	T	LU-MICHELETTO	98	99	24.96	21.35	12.62	11.56	-0.16	0.32	9.83	0.18	-3.62	0.72	0.82	-14%
86	F	LU-SAN-CONCORDIO	98	99	23.73	21.51	12.05	11.55	-0.10	0.32	9.55	0.18	-2.23	0.69	0.82	-9%
35	F	LU-VIAREGGIO	98	99	22.42	21.41	9.83	10.79	-0.05	0.34	9.85	0.20	-1.01	0.55	0.74	-5%
36	F	MS-COLOMBAROTTO	96	99	20.11	17.38	7.95	8.52	-0.15	0.35	8.70	0.22	-2.73	0.50	0.69	-14%
85	T	MS-MARINA-VECCHIA	98	99	20.13	20.50	7.98	10.63	0.02	0.32	8.52	0.18	0.37	0.61	0.76	2%
42	T	PI-BORGHETTO	97	99	25.71	19.04	9.59	8.26	-0.30	0.37	10.42	0.22	-6.67	0.61	0.69	-26%
46	F	PI-MONTECERBOLI	95	99	11.66	14.05	5.36	6.73	0.19	0.41	6.70	0.27	2.40	0.48	0.66	20%
45	F	PI-PASSI	96	99	21.21	17.03	11.76	7.73	-0.22	0.40	11.81	0.39	-4.18	0.42	0.58	-20%
48	F	PI-SANTA-CROCE-COOP	96	99	23.95	20.33	11.37	9.53	-0.16	0.34	9.68	0.19	-3.63	0.64	0.76	-15%
50	T	PO-FERRUCCI	96	99	24.82	20.08	13.50	11.77	-0.21	0.37	11.54	0.27	-4.74	0.66	0.78	-19%
52	F	PO-ROMA	96	99	23.16	20.10	13.55	11.58	-0.14	0.36	11.22	0.27	-3.06	0.64	0.78	-13%
55	F	PT-MONTALE	96	99	24.43	16.35	15.31	9.02	-0.40	0.49	15.29	0.59	-8.08	0.53	0.62	-33%
57	F	PT-SIGNORELLI	96	99	19.03	21.19	10.60	14.42	0.11	0.39	10.61	0.28	2.16	0.69	0.80	11%
84	T	SI-BRACCI	98	99	18.17	16.24	7.07	8.14	-0.11	0.34	7.08	0.17	-1.93	0.61	0.76	-11%
80	F	SI-POGGIBONSI	91	99	18.46	16.47	6.23	7.39	-0.11	0.33	7.10	0.17	-1.98	0.51	0.69	-11%

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	15.33	12.97	5.14	8.00	-0.17	0.41	6.91	0.24	-2.36	0.58	0.71	-15%
1	F	AR-CASA-STABBI	97	100	12.38	11.92	6.80	6.93	-0.04	0.43	6.58	0.29	-0.47	0.54	0.74	-4%
4	T	AR-REPUBBLICA	99	100	18.91	14.07	6.48	8.43	-0.29	0.42	8.27	0.26	-4.84	0.62	0.71	-26%
5	F	FI-BASSI	93	100	17.39	14.21	5.68	7.82	-0.20	0.41	8.01	0.26	-3.19	0.44	0.64	-18%
6	F	FI-BOBOLI	99	100	16.54	14.06	5.58	7.15	-0.16	0.35	6.56	0.19	-2.48	0.57	0.72	-15%
89	F	FI-FIGLINE	98	100	20.15	13.32	6.22	7.09	-0.41	0.47	9.30	0.32	-6.83	0.55	0.62	-34%
7	T	FI-GRAMSCI	93	100	25.77	14.80	6.30	7.75	-0.54	0.57	13.13	0.45	-10.96	0.48	0.48	-43%
8	T	FI-MOSSE	98	100	21.42	15.19	6.68	7.76	-0.34	0.43	9.16	0.26	-6.23	0.57	0.65	-29%
12	F	FI-SCANDICCI	98	100	18.49	14.39	5.36	7.23	-0.25	0.38	7.30	0.20	-4.10	0.57	0.68	-22%
11	F	FI-SIGNA	96	100	17.18	14.60	5.64	7.57	-0.16	0.36	6.95	0.19	-2.58	0.55	0.71	-15%
20	T	GR-SONNINO	98	100	23.89	14.61	7.77	7.83	-0.48	0.51	11.50	0.38	-9.29	0.62	0.60	-39%
21	F	GR-URSS	97	100	18.10	14.07	5.72	7.64	-0.25	0.38	7.51	0.22	-4.04	0.58	0.69	-22%
22	F	LI-CAPPIELLO	96	100	17.72	17.20	5.16	8.57	-0.03	0.37	7.84	0.20	-0.52	0.44	0.63	-3%
23	T	LI-CARDUCCI	96	100	22.49	18.84	5.77	8.96	-0.18	0.35	9.04	0.19	-3.66	0.43	0.63	-16%
26	I	LI-COTONE	98	100	17.38	17.83	6.28	8.52	0.03	0.36	8.19	0.22	0.45	0.42	0.65	3%
82	F	LI-LAPIRA	96	100	17.13	17.50	5.19	8.53	0.02	0.36	7.80	0.20	0.37	0.44	0.64	2%
83	F	LI-PIOMBINO-PARCO-VIII-MARZO	95	100	17.24	18.14	4.97	8.49	0.05	0.32	7.34	0.17	0.90	0.51	0.67	5%
32	F	LU-CAPANNORI	98	100	19.22	16.07	6.53	8.03	-0.18	0.33	7.28	0.17	-3.15	0.61	0.74	-16%
88	F	LU-FORNOLI	97	100	12.38	13.61	5.67	7.84	0.09	0.38	6.49	0.25	1.23	0.59	0.74	10%
30	T	LU-MICHELETTO	98	100	18.87	15.23	5.99	7.51	-0.21	0.36	7.45	0.19	-3.65	0.55	0.69	-19%
86	F	LU-SAN-CONCORDIO	98	100	18.01	15.35	5.61	7.61	-0.16	0.35	7.10	0.18	-2.65	0.53	0.70	-15%
35	F	LU-VIAREGGIO	97	100	19.30	16.13	5.44	8.84	-0.18	0.40	8.50	0.23	-3.17	0.47	0.64	-16%
36	F	MS-COLOMBAROTTO	98	100	18.54	15.07	6.52	8.66	-0.21	0.42	8.78	0.28	-3.47	0.46	0.64	-19%
85	T	MS-MARINA-VECCHIA	98	100	17.61	15.79	5.41	9.06	-0.11	0.36	7.36	0.19	-1.82	0.61	0.73	-10%
42	T	PI-BORGHETTO	96	100	23.26	16.59	6.41	8.21	-0.33	0.43	10.23	0.27	-6.67	0.46	0.59	-29%
46	F	PI-MONTECERBOLI	96	100	12.53	13.94	5.22	7.68	0.11	0.40	6.57	0.25	1.41	0.56	0.71	11%
45	F	PI-PASSI	96	100	18.31	15.46	4.93	8.37	-0.17	0.39	7.97	0.22	-2.85	0.47	0.63	-16%
48	F	PI-SANTA-CROCE-COOP	94	100	19.97	16.84	6.58	8.48	-0.17	0.37	8.37	0.21	-3.13	0.49	0.67	-16%
50	T	PO-FERRUCCI	96	100	21.65	15.08	6.76	8.34	-0.36	0.43	9.41	0.27	-6.56	0.62	0.67	-30%
52	F	PO-ROMA	97	100	19.34	15.39	6.11	8.24	-0.23	0.38	7.92	0.21	-3.95	0.57	0.70	-20%
55	F	PT-MONTALE	93	100	18.38	13.28	5.45	7.79	-0.32	0.44	8.31	0.28	-5.10	0.55	0.65	-28%
57	F	PT-SIGNORELLI	95	100	16.35	14.45	6.51	8.49	-0.12	0.35	6.73	0.19	-1.90	0.66	0.79	-12%
84	T	SI-BRACCI	99	100	17.11	13.35	5.69	7.13	-0.25	0.39	7.11	0.22	-3.76	0.57	0.70	-22%
80	F	SI-POGGIBONSI	93	100	16.92	13.62	4.85	6.71	-0.22	0.39	7.11	0.22	-3.30	0.44	0.62	-20%

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	98	18.57	19.48	9.11	10.81	0.05	0.51	18.23	0.92	2.07	0.26	0.49	5%
1	F	AR-CASA-STABBI	97	98	10.76	14.88	6.45	6.01	0.32	0.60	13.54	1.14	8.37	0.07	0.37	38%
4	T	AR-REPUBBLICA	99	98	23.26	27.11	11.60	13.94	0.16	0.48	23.80	0.90	7.85	0.27	0.49	17%
5	F	FI-BASSI	93	98	18.77	18.57	8.90	8.19	-0.01	0.44	15.14	0.66	-0.41	0.30	0.53	-1%
6	F	FI-BOBOLI	97	98	18.28	18.60	8.47	6.92	0.02	0.43	14.39	0.61	0.85	0.22	0.46	2%
89	F	FI-FIGLINE	95	98	24.66	18.44	11.13	6.95	-0.29	0.46	18.91	0.79	-12.53	0.31	0.48	-25%
7	T	FI-GRAMSCI	96	98	29.88	20.22	11.13	8.76	-0.40	0.52	23.21	0.89	-19.59	0.15	0.44	-32%
8	T	FI-MOSSE	96	98	24.03	21.14	10.64	9.48	-0.12	0.46	19.00	0.71	-5.65	0.24	0.49	-12%
12	F	FI-SCANDICCI	98	98	21.18	19.95	9.99	7.19	-0.06	0.40	15.22	0.55	-2.45	0.36	0.52	-6%
11	F	FI-SIGNA	97	98	21.77	21.78	12.88	8.79	0.00	0.45	18.59	0.73	0.05	0.44	0.55	0%
20	T	GR-SONNINO	98	98	26.97	21.73	10.34	8.56	-0.21	0.43	19.18	0.63	-10.47	0.19	0.45	-19%
21	F	GR-URSS	98	98	18.24	17.37	6.44	7.64	-0.05	0.38	12.53	0.50	-1.75	0.31	0.52	-5%
22	F	LI-CAPPIELLO	96	98	17.31	16.86	6.41	5.88	-0.03	0.36	10.90	0.41	-0.90	0.30	0.52	-3%
23	T	LI-CARDUCCI	97	98	23.05	18.59	7.20	6.46	-0.22	0.36	13.84	0.45	-9.14	0.24	0.50	-19%
26	I	LI-COTONE	98	98	16.38	16.85	6.79	7.66	0.03	0.44	13.58	0.67	0.93	0.17	0.42	3%
82	F	LI-LAPIRA	95	98	17.95	17.18	6.72	5.99	-0.05	0.35	11.35	0.42	-1.70	0.28	0.51	-4%
83	F	LI-PIOMBINO-PARCO-VIII-MARZO	96	98	17.11	16.82	5.91	7.68	-0.03	0.40	12.73	0.56	-0.86	0.17	0.42	-2%
32	F	LU-CAPANNORI	98	98	29.34	26.81	18.24	10.39	-0.09	0.50	26.66	0.90	-5.06	0.34	0.50	-9%
88	F	LU-FORNOLI	96	98	20.77	31.91	13.62	12.73	0.43	0.62	29.09	1.28	22.70	0.22	0.47	54%
30	T	LU-MICHELETTO	98	98	25.05	27.57	12.62	11.67	0.09	0.42	20.78	0.62	4.93	0.40	0.58	10%
86	F	LU-SAN-CONCORDIO	98	98	23.89	27.57	12.12	11.62	0.14	0.43	20.76	0.65	7.20	0.39	0.57	15%
35	F	LU-VIAREGGIO	98	98	22.43	26.89	9.80	9.94	0.18	0.42	19.73	0.65	9.15	0.16	0.44	20%
36	F	MS-COLOMBAROTTO	96	98	20.32	19.83	8.11	7.68	-0.02	0.37	14.08	0.49	-0.94	0.27	0.50	-2%
85	T	MS-MARINA-VECCHIA	98	98	20.15	25.22	7.89	10.04	0.22	0.43	17.91	0.63	10.16	0.25	0.45	25%
42	T	PI-BORGHETTO	97	98	25.81	21.47	9.65	7.59	-0.19	0.39	16.86	0.51	-9.01	0.23	0.48	-17%
46	F	PI-MONTECERBOLI	95	98	11.68	14.24	5.37	5.50	0.19	0.47	10.93	0.72	5.01	0.12	0.38	22%
45	F	PI-PASSI	96	98	20.99	18.69	11.26	6.72	-0.12	0.40	17.57	0.79	-4.61	0.22	0.41	-11%
48	F	PI-SANTA-CROCE-COOP	96	98	24.10	23.99	11.41	9.31	0.00	0.42	18.12	0.57	0.11	0.38	0.55	0%
50	T	PO-FERRUCCI	96	98	24.80	25.32	13.49	12.48	0.02	0.44	21.65	0.75	1.08	0.43	0.58	2%
52	F	PO-ROMA	96	98	23.34	24.77	13.64	12.55	0.06	0.48	22.07	0.84	2.63	0.40	0.57	6%
55	F	PT-MONTALE	96	98	24.44	19.03	15.30	8.80	-0.25	0.51	23.54	1.19	-10.86	0.33	0.48	-22%
57	F	PT-SIGNORELLI	96	98	19.26	27.87	10.68	15.94	0.37	0.60	27.17	1.37	17.82	0.34	0.48	45%
84	T	SI-BRACCI	98	98	18.22	19.14	7.09	8.04	0.05	0.40	13.73	0.54	1.82	0.26	0.50	5%
80	F	SI-POGGIBONSI	91	98	18.58	19.52	6.23	6.98	0.06	0.32	11.94	0.39	2.73	0.40	0.56	5%

NO2- SKILL GIORN. (2018)																
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	15.07	10.72	8.62	8.13	-0.34	0.60	9.94	0.61	-4.35	0.43	0.64	-29%
1	F	AR-CASA-STABBI	100	99	1.56	4.52	1.07	2.59	0.98	0.98	3.89	2.15	2.97	0.26	0.32	190%
4	T	AR-REPUBBLICA	100	99	35.66	19.04	10.51	10.51	-0.61	0.65	20.85	0.64	-16.62	0.28	0.46	-47%
5	F	FI-BASSI	100	99	20.24	25.12	11.84	14.68	0.22	0.47	13.97	0.38	4.88	0.53	0.70	24%
89	F	FI-FIGLINE	99	99	20.03	18.17	8.11	8.44	-0.10	0.33	8.16	0.18	-1.86	0.54	0.72	-9%
7	T	FI-GRAMSCI	99	99	60.14	32.01	14.05	15.40	-0.61	0.62	33.01	0.57	-28.13	0.31	0.42	-47%
8	T	FI-MOSSE	99	99	38.85	33.04	14.57	15.87	-0.16	0.35	15.42	0.19	-5.82	0.56	0.72	-15%
12	F	FI-SCANDICCI	99	99	26.52	27.63	12.78	12.80	0.04	0.34	11.91	0.19	1.10	0.57	0.76	4%
10	F	FI-SETTIGNANO	98	99	8.11	16.91	4.58	11.26	0.70	0.75	12.67	1.17	8.80	0.62	0.48	109%
11	F	FI-SIGNA	100	99	18.44	21.34	10.61	11.63	0.15	0.35	9.16	0.21	2.90	0.70	0.82	16%
67	F	GR-MAREMMA	100	99	3.03	3.83	1.26	2.24	0.23	0.37	1.80	0.28	0.79	0.71	0.73	26%
20	T	GR-SONNINO	100	99	36.46	15.78	11.75	6.74	-0.79	0.79	23.19	0.93	-20.68	0.46	0.47	-57%
21	F	GR-URSS	100	99	16.30	9.66	7.23	4.66	-0.51	0.56	9.18	0.53	-6.63	0.50	0.58	-41%
22	F	LI-CAPPIELLO	99	99	14.14	25.27	7.12	15.14	0.57	0.66	18.30	0.94	11.14	0.32	0.39	79%
23	T	LI-CARDUCCI	99	99	39.03	47.79	11.90	27.95	0.20	0.49	27.44	0.40	8.76	0.37	0.47	22%
26	I	LI-COTONE	99	99	14.91	31.09	6.06	12.72	0.70	0.73	19.48	0.82	16.18	0.52	0.38	109%
82	F	LI-LAPIRA	99	99	17.44	31.66	7.96	22.09	0.58	0.74	26.41	1.26	14.22	0.16	0.30	82%
83	F	LI-PIOMBINO-PARCO-VIII-MARZO	99	99	12.22	30.86	5.68	12.69	0.87	0.87	22.21	1.31	18.64	0.32	0.30	153%
32	F	LU-CAPANNORI	100	99	22.93	23.94	10.57	10.74	0.04	0.31	9.26	0.16	1.01	0.63	0.78	4%
69	F	LU-CARIGNANO	100	99	10.25	13.45	6.41	8.55	0.27	0.38	6.71	0.33	3.20	0.72	0.79	31%
88	F	LU-FORNOLI	100	99	12.46	12.44	6.52	6.88	0.00	0.38	6.54	0.28	-0.02	0.52	0.71	0%
30	T	LU-MICHELETTO	100	99	24.96	22.48	9.83	11.05	-0.10	0.30	9.31	0.15	-2.48	0.64	0.78	-10%
86	F	LU-SAN-CONCORDIO	99	99	24.62	22.59	10.81	11.04	-0.09	0.30	9.78	0.17	-2.03	0.62	0.77	-8%
35	F	LU-VIAREGGIO	100	99	23.88	18.99	10.18	9.58	-0.23	0.35	9.76	0.21	-4.89	0.64	0.75	-20%
36	F	MS-COLOMBAROTTO	99	99	15.33	8.93	6.71	5.20	-0.53	0.61	9.37	0.64	-6.40	0.36	0.54	-42%
85	T	MS-MARINA-VECCHIA	100	99	19.15	20.26	9.11	10.23	0.06	0.45	10.97	0.31	1.11	0.37	0.63	6%
42	T	PI-BORGHETTO	100	99	31.94	24.72	11.47	9.66	-0.26	0.31	11.13	0.16	-7.23	0.69	0.74	-23%
46	F	PI-MONTECERBOLI	99	99	4.04	3.80	2.79	1.94	-0.06	0.39	2.09	0.29	-0.23	0.67	0.78	-6%
45	F	PI-PASSI	100	99	16.71	12.91	10.03	5.99	-0.26	0.42	8.67	0.35	-3.81	0.63	0.71	-23%
48	F	PI-SANTA-CROCE-COOP	99	99	23.06	20.11	10.62	9.87	-0.14	0.24	7.04	0.11	-2.94	0.81	0.88	-13%
50	T	PO-FERRUCCI	100	99	26.84	33.08	14.10	17.75	0.21	0.38	14.67	0.24	6.24	0.67	0.77	23%
52	F	PO-ROMA	100	99	29.82	33.07	16.05	17.73	0.10	0.37	15.11	0.23	3.25	0.62	0.78	11%
55	F	PT-MONTALE	99	99	18.04	13.22	10.53	10.56	-0.31	0.57	11.78	0.58	-4.81	0.48	0.67	-27%
57	F	PT-SIGNORELLI	100	99	21.53	21.20	11.54	13.90	-0.02	0.44	11.88	0.31	-0.33	0.58	0.75	-2%
84	T	SI-BRACCI	100	99	36.34	13.94	12.62	7.18	-0.89	0.89	24.59	1.19	-22.40	0.59	0.48	-62%
80	F	SI-POGGIBONSI	100	99	16.92	14.92	7.95	6.24	-0.13	0.32	6.78	0.18	-2.00	0.61	0.75	-12%

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	9.78	9.69	3.48	6.97	-0.01	0.55	6.47	0.44	-0.09	0.38	0.56	-1%
1	F	AR-CASA-STABBI	100	100	1.00	3.48	0.41	1.74	1.11	1.11	3.00	2.60	2.48	0.22	0.18	248%
4	T	AR-REPUBBLICA	100	100	29.35	16.95	7.35	8.29	-0.54	0.58	16.22	0.53	-12.40	0.10	0.41	-42%
5	F	FI-BASSI	100	100	14.38	24.23	6.05	13.46	0.51	0.62	15.52	0.69	9.86	0.45	0.45	68%
89	F	FI-FIGLINE	99	100	16.05	15.01	4.86	5.93	-0.07	0.29	5.67	0.13	-1.03	0.48	0.67	-6%
7	T	FI-GRAMSCI	100	100	55.23	30.56	13.28	14.47	-0.58	0.59	30.45	0.55	-24.67	0.17	0.42	-45%
8	T	FI-MOSSE	97	100	31.11	30.32	9.33	14.21	-0.03	0.35	13.27	0.19	-0.79	0.42	0.63	-3%
12	F	FI-SCANDICCI	100	100	20.13	22.28	7.65	10.30	0.10	0.32	8.89	0.18	2.15	0.57	0.71	11%
10	F	FI-SETTIGNANO	96	100	6.52	16.25	2.68	10.10	0.85	0.89	13.01	1.60	9.72	0.63	0.32	149%
11	F	FI-SIGNA	99	100	11.94	16.05	4.61	7.54	0.29	0.39	7.47	0.29	4.11	0.56	0.61	34%
67	F	GR-MAREMMA	99	100	2.50	3.05	0.77	1.32	0.20	0.34	1.19	0.19	0.55	0.60	0.67	22%
20	T	GR-SONNINO	100	100	30.38	15.29	7.51	6.17	-0.66	0.66	16.91	0.62	-15.09	0.39	0.44	-50%
21	F	GR-URSS	100	100	11.84	8.70	3.40	3.91	-0.31	0.41	5.10	0.25	-3.15	0.40	0.57	-27%
22	F	LI-CAPPIELLO	99	100	11.60	30.36	5.09	17.17	0.89	0.90	24.01	1.64	18.76	0.54	0.31	162%
23	T	LI-CARDUCCI	99	100	42.31	64.16	10.78	27.18	0.41	0.55	34.94	0.45	21.85	0.18	0.32	52%
26	I	LI-COTONE	99	100	15.49	37.92	4.43	10.84	0.84	0.84	24.32	1.01	22.43	0.50	0.25	145%
82	F	LI-LAPIRA	100	100	15.04	42.24	7.00	23.54	0.95	0.97	35.34	1.97	27.20	0.28	0.25	181%
83	F	LI-PIOMBINO-PARCO-VIII-MARZO	98	100	10.52	37.67	3.98	10.89	1.13	1.13	28.68	2.08	27.15	0.56	0.21	258%
32	F	LU-CAPANNORI	100	100	15.76	19.19	6.07	5.94	0.20	0.31	6.44	0.14	3.43	0.59	0.71	22%
69	F	LU-CARIGNANO	99	100	6.96	8.97	2.35	3.29	0.25	0.35	3.57	0.20	2.01	0.49	0.61	29%
88	F	LU-FORNOLI	100	100	7.92	9.19	2.76	3.23	0.15	0.35	3.58	0.18	1.27	0.38	0.60	16%
30	T	LU-MICHELETTO	100	100	17.97	17.32	6.42	6.44	-0.04	0.23	5.53	0.10	-0.65	0.63	0.79	-4%
86	F	LU-SAN-CONCORDIO	98	100	17.56	17.44	5.76	6.41	-0.01	0.23	5.45	0.10	-0.12	0.60	0.77	-1%
35	F	LU-VIAREGGIO	100	100	18.83	14.63	6.73	6.00	-0.25	0.39	8.03	0.23	-4.20	0.42	0.60	-22%
36	F	MS-COLOMBAROTTO	100	100	11.23	8.54	3.89	3.85	-0.27	0.42	5.23	0.29	-2.68	0.32	0.58	-24%
85	T	MS-MARINA-VECCHIA	100	100	13.37	19.34	4.60	8.69	0.36	0.52	10.41	0.42	5.96	0.29	0.43	45%
42	T	PI-BORGHETTO	99	100	26.36	20.41	7.72	6.49	-0.25	0.31	8.84	0.15	-5.94	0.59	0.66	-23%
46	F	PI-MONTECERBOLI	100	100	2.43	2.91	1.39	1.03	0.18	0.42	1.34	0.25	0.47	0.50	0.66	20%
45	F	PI-PASSI	100	100	9.50	10.34	3.66	3.63	0.08	0.30	3.83	0.15	0.84	0.47	0.68	9%
48	F	PI-SANTA-CROCE-COOP	98	100	15.88	14.99	5.52	5.58	-0.06	0.21	4.14	0.07	-0.89	0.73	0.85	-6%
50	T	PO-FERRUCCI	100	100	21.33	31.24	9.45	15.90	0.38	0.48	16.05	0.39	9.91	0.61	0.61	46%
52	F	PO-ROMA	100	100	21.44	31.24	8.90	15.90	0.37	0.49	16.32	0.40	9.80	0.57	0.58	46%
55	F	PT-MONTALE	98	100	12.33	11.40	4.56	8.37	-0.08	0.56	8.22	0.48	-0.93	0.31	0.52	-8%
57	F	PT-SIGNORELLI	100	100	14.76	18.44	5.39	10.41	0.22	0.46	9.91	0.36	3.68	0.47	0.56	25%
84	T	SI-BRACCI	100	100	29.35	10.86	9.11	3.96	-0.92	0.92	20.39	1.30	-18.49	0.34	0.42	-63%
80	F	SI-POGGIBONSI	100	100	11.61	12.56	4.29	4.20	0.08	0.26	3.98	0.11	0.95	0.58	0.75	8%

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	98	15.08	11.77	8.54	9.06	-0.25	0.67	16.35	1.51	-6.62	0.29	0.52	-22%
1	F	AR-CASA-STABBI	100	98	1.57	5.60	1.07	2.87	1.13	1.13	7.16	5.85	8.06	-0.01	0.21	257%
4	T	AR-REPUBBLICA	100	98	35.76	21.19	10.44	12.03	-0.51	0.64	30.17	1.20	-29.14	0.06	0.39	-41%
5	F	FI-BASSI	100	98	20.27	26.04	11.82	15.82	0.25	0.57	24.70	1.16	11.53	0.44	0.56	28%
89	F	FI-FIGLINE	99	98	20.13	21.47	8.10	9.38	0.06	0.41	15.46	0.55	2.56	0.32	0.52	7%
7	T	FI-GRAMSCI	99	98	60.32	33.66	14.04	16.21	-0.57	0.62	47.56	1.11	-53.17	0.11	0.36	-44%
8	T	FI-MOSSE	99	98	39.06	35.75	14.70	16.98	-0.09	0.46	30.00	0.64	-6.94	0.17	0.47	-8%
12	F	FI-SCANDICCI	99	98	26.65	33.15	12.79	12.82	0.22	0.51	26.23	0.78	13.22	0.12	0.45	24%
10	F	FI-SETTIGNANO	98	98	8.16	17.51	4.68	12.29	0.74	0.83	21.05	3.10	19.32	0.58	0.40	115%
11	F	FI-SIGNA	100	98	18.54	26.75	10.62	12.57	0.36	0.54	22.90	1.06	16.40	0.40	0.54	44%
67	F	GR-MAREMMA	100	98	3.05	4.62	1.26	2.66	0.41	0.55	4.11	1.20	3.14	0.56	0.49	51%
20	T	GR-SONNINO	100	98	36.56	16.28	11.78	7.26	-0.77	0.79	33.58	1.89	-40.55	0.32	0.43	-55%
21	F	GR-URSS	100	98	16.35	10.66	7.22	5.14	-0.42	0.57	13.85	1.10	-11.39	0.28	0.48	-35%
22	F	LI-CAPPIELLO	99	98	14.16	20.11	7.11	10.52	0.34	0.54	17.63	1.09	11.74	0.36	0.48	42%
23	T	LI-CARDUCCI	99	98	38.97	30.74	12.02	16.18	-0.23	0.49	30.21	0.76	-16.31	0.07	0.42	-21%
26	I	LI-COTONE	99	98	14.88	24.03	6.07	10.54	0.47	0.54	19.33	1.05	18.30	0.49	0.44	61%
82	F	LI-LAPIRA	99	98	17.49	20.55	8.03	13.42	0.16	0.57	21.03	1.23	6.23	0.22	0.43	17%
83	F	LI-PIOMBINO-PARCO-VIII-MARZO	99	98	12.27	24.00	5.72	10.51	0.64	0.69	22.60	1.74	23.04	0.22	0.35	96%
32	F	LU-CAPANNORI	100	98	23.02	28.82	10.57	12.29	0.22	0.48	22.95	0.79	11.61	0.17	0.48	25%
69	F	LU-CARIGNANO	100	98	10.29	18.08	6.47	9.78	0.55	0.68	19.06	1.95	15.59	0.18	0.37	76%
88	F	LU-FORNOLI	100	98	12.51	15.80	6.51	7.96	0.23	0.56	15.06	1.15	6.60	0.04	0.37	26%
30	T	LU-MICHELETTO	100	98	25.04	27.80	9.81	12.24	0.10	0.46	21.58	0.67	5.51	0.12	0.46	11%
86	F	LU-SAN-CONCORDIO	99	98	24.78	27.80	10.85	12.24	0.11	0.47	22.37	0.73	5.92	0.12	0.45	12%
35	F	LU-VIAREGGIO	100	98	23.95	23.47	10.18	10.48	-0.02	0.42	17.83	0.57	-0.96	0.36	0.56	-2%
36	F	MS-COLOMBAROTTO	99	98	15.41	9.29	6.72	6.27	-0.50	0.67	14.48	1.46	-12.35	0.27	0.48	-40%
85	T	MS-MARINA-VECCHIA	100	98	19.21	21.21	9.11	11.55	0.10	0.51	19.00	0.89	4.00	0.26	0.50	10%
42	T	PI-BORGHETTO	100	98	32.03	29.12	11.49	10.37	-0.10	0.34	18.68	0.37	-5.83	0.43	0.58	-9%
46	F	PI-MONTECERBOLI	99	98	4.02	4.74	2.72	2.20	0.16	0.58	4.73	1.17	1.45	0.19	0.47	18%
45	F	PI-PASSI	100	98	16.78	15.54	10.03	6.75	-0.08	0.55	15.87	0.97	-2.47	0.22	0.48	-7%
48	F	PI-SANTA-CROCE-COOP	99	98	23.11	25.31	10.60	10.62	0.10	0.44	19.19	0.63	4.67	0.31	0.54	10%
50	T	PO-FERRUCCI	100	98	26.93	34.99	14.21	19.34	0.26	0.53	30.69	1.00	16.27	0.44	0.56	30%
52	F	PO-ROMA	100	98	29.87	34.94	16.04	19.29	0.16	0.50	29.97	0.86	10.15	0.47	0.60	17%
55	F	PT-MONTALE	99	98	18.10	15.09	10.59	12.18	-0.18	0.67	20.38	1.52	-6.01	0.34	0.53	-17%
57	F	PT-SIGNORELLI	100	98	21.56	24.04	11.52	16.30	0.11	0.58	24.49	1.16	4.95	0.39	0.55	12%
84	T	SI-BRACCI	100	98	36.55	17.11	12.66	8.29	-0.72	0.77	33.82	1.83	-38.88	0.23	0.43	-53%
80	F	SI-POGGIBONSI	100	98	17.01	17.34	7.95	7.03	0.02	0.46	13.77	0.64	0.67	0.22	0.49	2%

O3 - SKILL GIORN. (2018)																
ID	TIPO	NOME STAZIONE	DATI STAZ	DATI MOD	MEDIA STAZ	MEDIA MOD	STD STAZ	STD MOD	FB	FE	RMSE	NMSE	BIAS	CORR	IOA	ER
2	F	AR-ACROPOLI	99	99	54.30	83.13	25.94	21.50	0.42	0.42	32.46	0.23	28.83	0.82	0.67	53%
1	F	AR-CASA-STABBI	100	99	68.60	93.18	18.74	21.95	0.30	0.31	30.21	0.14	24.57	0.64	0.61	36%
10	F	FI-SETTIGNANO	99	99	63.65	79.22	24.30	25.00	0.22	0.24	21.11	0.09	15.57	0.83	0.83	24%
11	F	FI-SIGNA	99	99	53.45	73.70	29.16	29.04	0.32	0.33	25.44	0.16	20.25	0.86	0.83	38%
67	F	GR-MAREMMA	100	99	77.05	91.23	19.40	22.17	0.17	0.19	19.86	0.06	14.18	0.78	0.79	18%
29	F	LI-POGGIO-SAN-ROCCO	100	99	81.48	91.67	20.32	22.26	0.12	0.15	16.50	0.04	10.19	0.82	0.85	13%
69	F	LU-CARIGNANO	100	99	68.05	85.33	25.34	28.52	0.23	0.25	22.44	0.09	17.28	0.86	0.84	25%
46	F	PI-MONTECERBOLI	100	99	76.44	96.41	18.32	23.25	0.23	0.24	25.64	0.09	19.98	0.72	0.68	26%
45	F	PI-PASSI	100	99	50.77	85.34	21.49	25.50	0.51	0.51	37.85	0.33	34.57	0.80	0.60	68%
48	F	PI-SANTA-CROCE-COOP	99	99	42.42	75.41	22.94	28.57	0.56	0.56	35.90	0.40	32.99	0.87	0.66	78%
55	F	PT-MONTALE	99	99	51.04	84.62	27.06	26.03	0.50	0.50	37.33	0.32	33.58	0.81	0.66	66%
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	98	100	72.97	98.87	14.59	11.66	0.30	0.30	29.85	0.12	25.91	0.38	0.45	35%
1	F	AR-CASA-STABBI	100	100	77.86	109.93	17.58	12.01	0.34	0.34	36.78	0.16	32.07	0.30	0.45	41%
10	F	FI-SETTIGNANO	97	100	80.14	97.22	16.70	14.24	0.19	0.21	23.15	0.07	17.08	0.50	0.57	21%
11	F	FI-SIGNA	98	100	75.82	96.24	15.96	14.46	0.24	0.24	25.44	0.09	20.41	0.50	0.54	27%
67	F	GR-MAREMMA	99	100	89.23	107.52	14.73	13.43	0.19	0.20	23.68	0.06	18.29	0.43	0.53	20%
29	F	LI-POGGIO-SAN-ROCCO	100	100	95.42	108.68	14.15	12.31	0.13	0.16	19.65	0.04	13.26	0.40	0.55	14%
69	F	LU-CARIGNANO	99	100	86.32	107.97	15.05	13.17	0.22	0.23	25.94	0.07	21.65	0.49	0.51	25%
46	F	PI-MONTECERBOLI	100	100	86.81	113.93	14.86	13.83	0.27	0.27	31.15	0.10	27.12	0.43	0.46	31%
45	F	PI-PASSI	100	100	66.14	105.04	12.19	13.69	0.45	0.46	41.63	0.25	38.90	0.34	0.33	59%
48	F	PI-SANTA-CROCE-COOP	99	100	58.92	98.10	12.60	13.27	0.50	0.50	41.36	0.30	39.18	0.47	0.34	66%
55	F	PT-MONTALE	98	100	70.95	103.37	14.64	14.46	0.37	0.37	36.03	0.18	32.42	0.41	0.42	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	99	98	54.00	67.20	25.98	16.96	0.22	0.44	43.82	0.53	26.40	0.27	0.45	24%
1	F	AR-CASA-STABBI	100	98	68.55	75.95	18.84	15.60	0.10	0.27	33.95	0.22	14.82	0.18	0.45	11%
10	F	FI-SETTIGNANO	99	98	63.43	61.24	24.47	20.12	-0.04	0.34	38.44	0.38	-4.83	0.40	0.57	-3%
11	F	FI-SIGNA	99	98	53.17	51.31	28.97	21.03	-0.04	0.50	45.64	0.76	-3.79	0.28	0.52	-3%
67	F	GR-MAREMMA	100	98	76.88	74.58	19.43	16.16	-0.03	0.23	30.92	0.17	-4.61	0.37	0.55	-3%
29	F	LI-POGGIO-SAN-ROCCO	100	98	81.39	74.18	20.37	15.65	-0.09	0.23	33.05	0.18	-14.43	0.36	0.55	-9%
69	F	LU-CARIGNANO	100	98	67.89	62.20	25.32	20.22	-0.09	0.35	41.06	0.40	-11.40	0.33	0.54	-8%
46	F	PI-MONTECERBOLI	100	98	76.36	78.41	18.35	16.11	0.03	0.22	31.05	0.16	4.09	0.28	0.50	3%
45	F	PI-PASSI	100	98	50.63	64.97	21.50	17.66	0.25	0.42	41.21	0.52	28.69	0.24	0.45	28%
48	F	PI-SANTA-CROCE-COOP	99	98	42.30	52.23	22.92	20.31	0.21	0.51	39.90	0.72	19.78	0.37	0.53	23%
55	F	PT-MONTALE	99	98	50.85	65.71	27.06	20.96	0.25	0.49	48.04	0.69	29.76	0.30	0.49	29%

O3 - SKILL MM8 (2018)																
ID	TIPO	NOME STAZIONE	DATI STAZ	DATI MOD	MEDIA STAZ	MEDIA MOD	STD STAZ	STD MOD	FB	FE	RMSE	NMSE	BIAS	CORR	IOA	ER
2	F	AR-ACROPOLI	97	99	76.35	96.75	31.59	24.30	0.24	0.24	26.02	0.09	20.40	0.86	0.80	27%
1	F	AR-CASA-STABBI	99	99	84.36	103.53	21.58	23.90	0.20	0.21	24.04	0.07	19.18	0.80	0.76	23%
10	F	FI-SETTIGNANO	96	99	83.42	98.48	31.24	30.23	0.17	0.19	20.71	0.05	15.06	0.89	0.89	18%
11	F	FI-SIGNA	96	99	76.41	96.67	37.72	35.39	0.23	0.25	25.81	0.09	20.27	0.91	0.88	27%
67	F	GR-MAREMMA	98	99	93.30	105.78	22.98	25.92	0.13	0.14	17.46	0.03	12.48	0.88	0.88	13%
29	F	LI-POGGIO-SAN-ROCCO	100	99	93.67	104.60	22.85	26.71	0.11	0.13	16.81	0.03	10.93	0.88	0.89	12%
69	F	LU-CARIGNANO	97	99	89.42	102.88	30.48	32.05	0.14	0.16	19.33	0.04	13.46	0.90	0.91	15%
46	F	PI-MONTECERBOLI	98	99	92.08	107.67	21.03	25.36	0.16	0.17	21.05	0.04	15.59	0.83	0.81	17%
45	F	PI-PASSI	99	99	74.53	101.05	28.61	29.67	0.30	0.30	30.41	0.12	26.52	0.87	0.77	36%
48	F	PI-SANTA-CROCE-COOP	98	99	66.18	97.72	31.64	35.53	0.38	0.39	34.73	0.19	31.54	0.91	0.78	48%
55	F	PT-MONTALE	97	99	75.39	102.08	35.82	29.89	0.30	0.30	31.46	0.13	26.69	0.89	0.80	35%
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	97	100	100.32	115.52	15.51	13.55	0.14	0.15	20.58	0.04	15.20	0.55	0.62	15%
1	F	AR-CASA-STABBI	98	100	99.08	121.79	16.54	13.46	0.21	0.21	27.49	0.06	22.71	0.48	0.54	23%
10	F	FI-SETTIGNANO	93	100	107.90	122.74	20.05	16.60	0.13	0.15	21.59	0.04	14.84	0.65	0.69	14%
11	F	FI-SIGNA	93	100	107.54	125.34	18.71	17.45	0.15	0.16	22.79	0.04	17.80	0.69	0.68	17%
67	F	GR-MAREMMA	96	100	110.00	125.52	15.31	15.70	0.13	0.14	20.08	0.03	15.52	0.66	0.67	14%
29	F	LI-POGGIO-SAN-ROCCO	100	100	110.41	125.34	15.44	15.63	0.13	0.15	20.58	0.03	14.92	0.58	0.64	14%
69	F	LU-CARIGNANO	96	100	112.88	128.15	17.27	16.09	0.13	0.14	20.74	0.03	15.27	0.65	0.68	14%
46	F	PI-MONTECERBOLI	99	100	105.86	126.81	15.40	15.11	0.18	0.18	25.14	0.05	20.95	0.58	0.58	20%
45	F	PI-PASSI	100	100	95.71	124.24	16.21	15.80	0.26	0.26	31.88	0.09	28.53	0.60	0.52	30%
48	F	PI-SANTA-CROCE-COOP	97	100	90.50	126.24	15.36	18.00	0.33	0.33	38.30	0.13	35.74	0.67	0.46	39%
55	F	PT-MONTALE	96	100	104.24	125.78	16.90	15.70	0.19	0.19	25.48	0.05	21.54	0.65	0.60	21%
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	97	98	76.14	77.76	31.67	16.85	0.02	0.35	45.49	0.35	3.29	0.33	0.47	2%
1	F	AR-CASA-STABBI	99	98	84.25	85.14	21.73	16.78	0.01	0.25	36.41	0.18	1.66	0.18	0.45	1%
10	F	FI-SETTIGNANO	96	98	83.24	75.04	31.37	20.89	-0.11	0.34	49.91	0.40	-17.55	0.30	0.52	-10%
11	F	FI-SIGNA	96	98	75.95	69.57	37.89	24.10	-0.10	0.46	59.47	0.67	-14.18	0.26	0.50	-8%
67	F	GR-MAREMMA	98	98	93.25	86.28	23.01	18.15	-0.08	0.23	37.90	0.18	-13.74	0.31	0.53	-7%
29	F	LI-POGGIO-SAN-ROCCO	100	98	93.64	83.29	22.90	17.27	-0.12	0.24	39.14	0.20	-20.93	0.30	0.53	-11%
69	F	LU-CARIGNANO	97	98	89.13	77.28	30.70	22.87	-0.14	0.34	51.03	0.38	-24.51	0.33	0.53	-13%
46	F	PI-MONTECERBOLI	98	98	92.04	87.91	21.11	17.16	-0.05	0.22	35.17	0.15	-8.27	0.27	0.52	-4%
45	F	PI-PASSI	99	98	74.27	76.94	28.77	19.85	0.03	0.34	44.51	0.35	5.01	0.30	0.49	4%
48	F	PI-SANTA-CROCE-COOP	98	98	65.95	69.23	31.78	23.69	0.04	0.44	49.16	0.53	5.99	0.37	0.53	5%
55	F	PT-MONTALE	97	98	75.11	78.27	36.03	20.19	0.04	0.42	53.81	0.49	6.11	0.27	0.44	4%

SO2- SKILL GIORN. (2018)

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	94	100	1.3	1.49	0.91	0.98	0.14	0.7	1.28	0.84	0.19	0.11	0.44	15%
82	F	LI-LAPIRA	98	99	2.51	7.33	1.58	6.06	0.98	1.09	7.66	3.19	4.81	0.19	0.22	192%
32	F	LU-CAPANNORI	100	99	0.87	1.86	1.01	0.87	0.72	1.03	1.68	1.74	0.99	-0.05	0.36	114%

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	100	100	1.35	1.46	0.87	0.89	0.08	0.63	1.15	0.67	0.11	0.15	0.47	8%
82	F	LI-LAPIRA	100	100	2.61	10.11	1.42	6.23	1.18	1.19	9.52	3.44	7.5	0.36	0.21	287%
32	F	LU-CAPANNORI	100	100	1.18	1.79	0.98	0.78	0.41	0.8	1.41	0.94	0.61	-0.03	0.36	52%

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	94	98	1.3	1.49	0.91	1.04	0.11	0.7	1.76	1.6	0.29	0.19	0.47	15%
82	F	LI-LAPIRA	98	98	2.49	4.34	1.57	4.16	0.54	0.84	6.67	4.12	3.72	0.1	0.26	74%
32	F	LU-CAPANNORI	100	98	0.88	1.93	1.01	0.96	0.75	1.03	2.47	3.59	2.11	0.01	0.37	119%