



MASTER PLAN 2021
AEROPORTO "MARCO POLO" DI TESSERA – VENEZIA
PROGETTO DI MONITORAGGIO AMBIENTALE
Attività in corso d'opera
ATMOSFERA
Simulazioni modellistiche annuali della dispersione
degli inquinanti emessi dalle attività aeroportuali
Anno 2018
Modello fotochimico FARM



Data documento	Revisione	Redazione	Controllo	Approvazione
10/02/2020	0	EZIPM-ARIANET	Regazzi A./Sollecito S.	Bassano D.
				

Autori: M. P. Costa, P. Radice, C. Pozzi, F. Uboldi, G. Brusasca

Riferimento: R2019.26

Febbraio 2020

Rapporto R2019.26

Autori: M. P. Costa, P. Radice, C. Pozzi, F. Uboldi, G. Brusasca

Cliente:

Ente Zona Industriale di Porto Marghera per SAVE S.p.A.

SOMMARIO

1	Introduzione.....	2
2	Area di indagine.....	3
3	Dati meteorologici.....	5
3.1	Discesa di scala con i processori GAP e SurfPro.....	6
4	Modellistica emissiva	11
4.1	Inventario regionale delle emissioni	11
4.2	Traffico aeroportuale	13
4.2.1	Aeroporto di Venezia Tessera: stima bottom up delle emissioni dirette e indirette	13
4.2.2	Aeroporto di Treviso	15
4.3	Sorgenti naturali	15
4.4	Predisposizione dell'input al modello di qualità dell'aria.....	16
5	Condizioni al contorno.....	18
6	Simulazione della dispersione di inquinanti.....	19
6.1	Quadro normativo di riferimento	19
6.2	Configurazione delle simulazioni modellistiche di dispersione.....	20
6.3	Risultati – mappe di concentrazione	21
6.3.1	Biossido di azoto	21
6.3.2	PM10.....	25
6.3.3	PM2.5	28
6.3.4	Biossido di zolfo.....	30
6.3.5	Benzene	31
6.4	Risultati - Confronto con i dati misurati dalle stazioni di monitoraggio.....	33
6.4.1	Biossido di azoto	35
6.4.2	Particolato fine	38
7	Conclusioni.....	43
8	Bibliografia	45
	Appendice.....	46
	Modello di qualità dell'aria reattivo FARM.....	46
	Riferimenti bibliografici	48

1 Introduzione

Nell'ambito del servizio di reportistica dello stato di qualità dell'aria in corso presso l'aeroporto Marco Polo di Venezia per il gruppo SAVE (che gestisce il Sistema Aeroportuale di Venezia e Treviso), stipulato con Ente Zona Industriale di Porto Marghera (EZIPM), ARIANET srl è incaricata dell'esecuzione di studi su base annuale sull'impatto atmosferico delle emissioni che afferiscono alle diverse attività dell'aeroporto. Per gli anni 2017 e 2018 tali studi sono stati condotti considerando l'impatto dei soli inquinanti primari, mediante il modello di dispersione lagrangiano a particelle SPRAY, adatto a trattare in dettaglio i fenomeni di inquinamento atmosferico a scala locale in condizioni complesse. Si rimanda ai relativi rapporti (ARIANET R2018.08, ARIANET R2019.14) per la descrizione degli studi e dei risultati ottenuti.

Allo scopo di stimare il contributo totale delle attività aeroportuali alla qualità dell'aria del territorio su cui esse insistono, è opportuno integrare tali studi con ulteriori simulazioni che valutino anche l'inquinamento secondario, che si forma in atmosfera successivamente all'emissione degli inquinanti primari. A tal fine è necessario considerare tutte le sorgenti emissive presenti sul territorio e utilizzare un modello in grado di simulare le reazioni chimiche che avvengono in atmosfera tra i diversi composti: è stato usato il modello di chimica e trasporto FARM, codice euleriano in grado di tenere conto della dinamica complessiva delle concentrazioni su scala regionale, simulandone l'evoluzione determinata dall'avvezione e dispersione turbolenta dell'aria, dai fenomeni fisico-chimici che alterano le specie presenti in atmosfera, dalla deposizione secca e umida degli inquinanti al suolo, e dal contributo delle masse d'aria che entrano ed escono dai limiti del dominio di simulazione.

Nel seguito sono descritti la metodologia e i risultati ottenuti nello studio modellistico per l'anno **2018**. Sono illustrati nel dettaglio i dati e i metodi utilizzati per costruire le componenti in input al sistema modellistico, ovvero la meteorologia, le emissioni e le condizioni al contorno, nonché i risultati in termini di indicatori, sul territorio considerato, per le specie sottoposte alla normativa sulla qualità dell'aria. Essi sono poi confrontati con le misure disponibili sia in area aeroportuale sia a scala regionale. L'impatto degli aeroporti è descritto sia in termini assoluti (contributi alle concentrazioni dovuti alle emissioni aeroportuali) sia in termini relativi (percentuali rispetto alle concentrazioni complessive).

Il capitolo 2 mostra il dettaglio sull'area di indagine scelta e la risoluzione modellistica adottata. Il capitolo 3 descrive le procedure e i dati utilizzati per la ricostruzione meteorologica tridimensionale sull'area. Il capitolo 4 dettaglia le procedure e i dati utilizzati per la ricostruzione delle emissioni. Il capitolo 5 descrive la fonte dei campi di concentrazione usati come condizioni al contorno per il modello di dispersione. Il capitolo 6 descrive la metodologia e i risultati ottenuti dalla simulazione di dispersione, insieme ai confronti con le misure disponibili. Nel capitolo 7 sono riassunte le conclusioni del lavoro, mentre in Appendice vengono descritti con maggiore dettaglio i contenuti della tecnologia modellistica utilizzata per la simulazione meteo-dispersiva alla risoluzione finale adottata, contenuta nel pacchetto ARIA Regionale, di cui il modello di dispersione FARM fa parte.

2 Area di indagine

Rispetto allo studio di impatto delle emissioni aeroportuali realizzato con il modello lagrangiano SPRAY a scala locale sull'area di Venezia, il presente studio si configura come un approfondimento che considera tutte le emissioni presenti sul territorio, simula l'evoluzione delle concentrazioni anche degli inquinanti secondari con il modello di chimica e trasporto FARM e integra l'aeroporto di Treviso fra le sorgenti indagate. Per questo motivo si è definito un dominio a scala regionale di 68x60 km² comprendente i due aeroporti e porzioni della città metropolitana di Venezia e delle province di Treviso e Padova, illustrato in Figura 1.

Il territorio considerato comprende la parte orientale della pianura veneta, grosso modo a est del Brenta, con le aree urbane di Padova, Mestre e Treviso. Unici rilievi degni di nota sono il Montello e i colli asolani nell'angolo nord-occidentale del dominio. È inclusa nel dominio la laguna veneta, nella sua parte centrale e settentrionale, oltre alla parte di golfo di Venezia prospiciente le bocche di porto del Lido e di Malamocco, in modo da tenere conto nelle simulazioni delle discontinuità nelle caratteristiche del suolo all'interfaccia terra-laguna e laguna-mare, che hanno effetti significativi sulla circolazione locale delle masse d'aria.

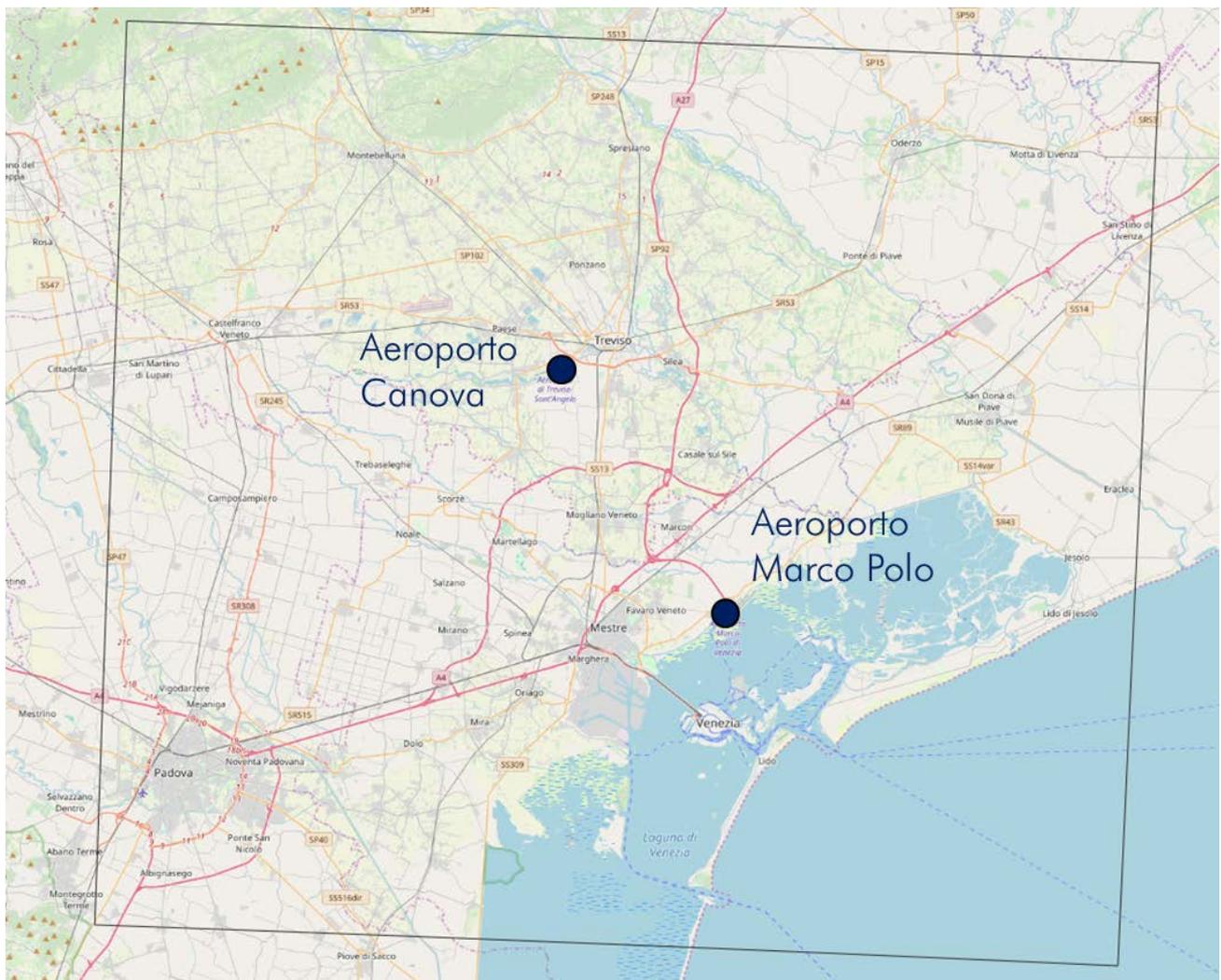


Figura 1. Dominio di calcolo per le simulazioni di qualità dell'aria

Il dominio ha come coordinate (x, y) del vertice Sud Ovest, nel sistema di proiezione UTM-WGS 84 (fuso 32 N) il punto (720000 m, 5022000 m).

La risoluzione orizzontale utilizzata per descrivere sia i dati meteorologici in input che le concentrazioni in output (recettori di calcolo disposti regolarmente all'interno del dominio) è di 1 km, in grado di fornire un sufficiente dettaglio alla scala considerata e compatibile con le caratteristiche del modello FARM.

La griglia di calcolo orizzontale è caratterizzata da 68 e 60 celle rispettivamente nella direzione x e y.

L'estensione verticale del dominio di simulazione è di 10000 m con i seguenti 16 livelli di calcolo sopra l'orografia espressi in metri:

10, 35, 70, 120, 195, 305, 465, 695, 1025, 1505, 2200, 3205, 4550, 6050, 7550, 9050.

Le quote indicate si riferiscono al punto centrale di ogni cella.

3 Dati meteorologici

Il sistema modellistico utilizzato necessita di campi meteorologici 3D sul dominio di dettaglio a 1 km di risoluzione orizzontale e su base oraria. Per ottenere i campi meteorologici ad una tale risoluzione per un intero anno necessari al modello di dispersione, sono stati utilizzati i campi a grande scala prodotti con il modello WRF (Skamarock *et al.*, 2019) per la simulazione a scala locale sull'aeroporto di Venezia con il modello SPRAY relativa all'anno 2018. Si rimanda alla relativa relazione per una descrizione dettagliata della configurazione del modello, dei dati di ingresso e della validazione mediante confronto con dati misurati (ARIANET R2019.14).

Dei quattro domini annidati considerati nella simulazione con WRF è stato considerato il terzo, con una risoluzione orizzontale di 3 km. I campi ricostruiti a questa scala, in grado di riprodurre le principali caratteristiche della circolazione locale, subiscono un'ulteriore discesa di scala fino alla risoluzione target di 1 km sul dominio considerato mediante l'applicazione dei codici GAP (ARIANET R2014.17) per la ricostruzione dei campi di vento medio e temperatura e SurfPro (Silibello, 2006, ARIANET, 2015) per la ricostruzione della turbolenza. Durante questa discesa di scala, i campi vengono ulteriormente adattati alle condizioni locali mediante una matrice di uso del suolo che tiene conto delle caratteristiche locali del terreno ad alta risoluzione.

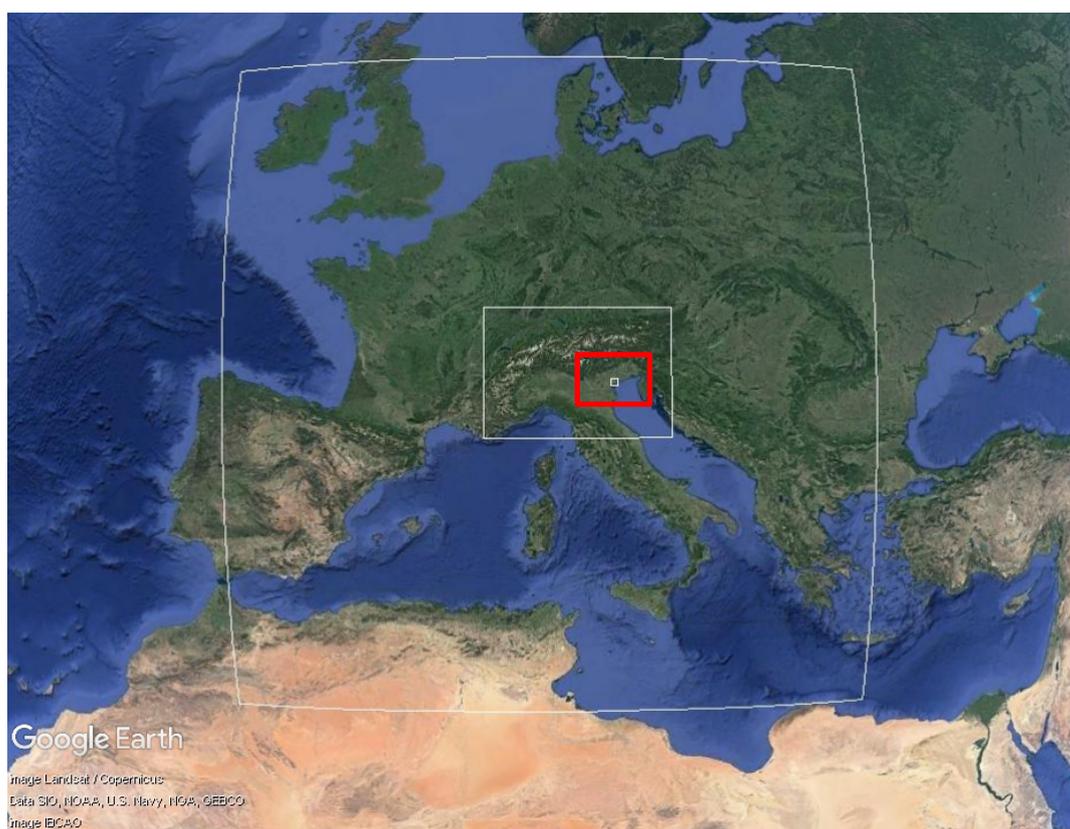


Figura 2. Vista di insieme di tutti i domini annidati per il modello WRF. In rosso il dominio considerato in questo studio

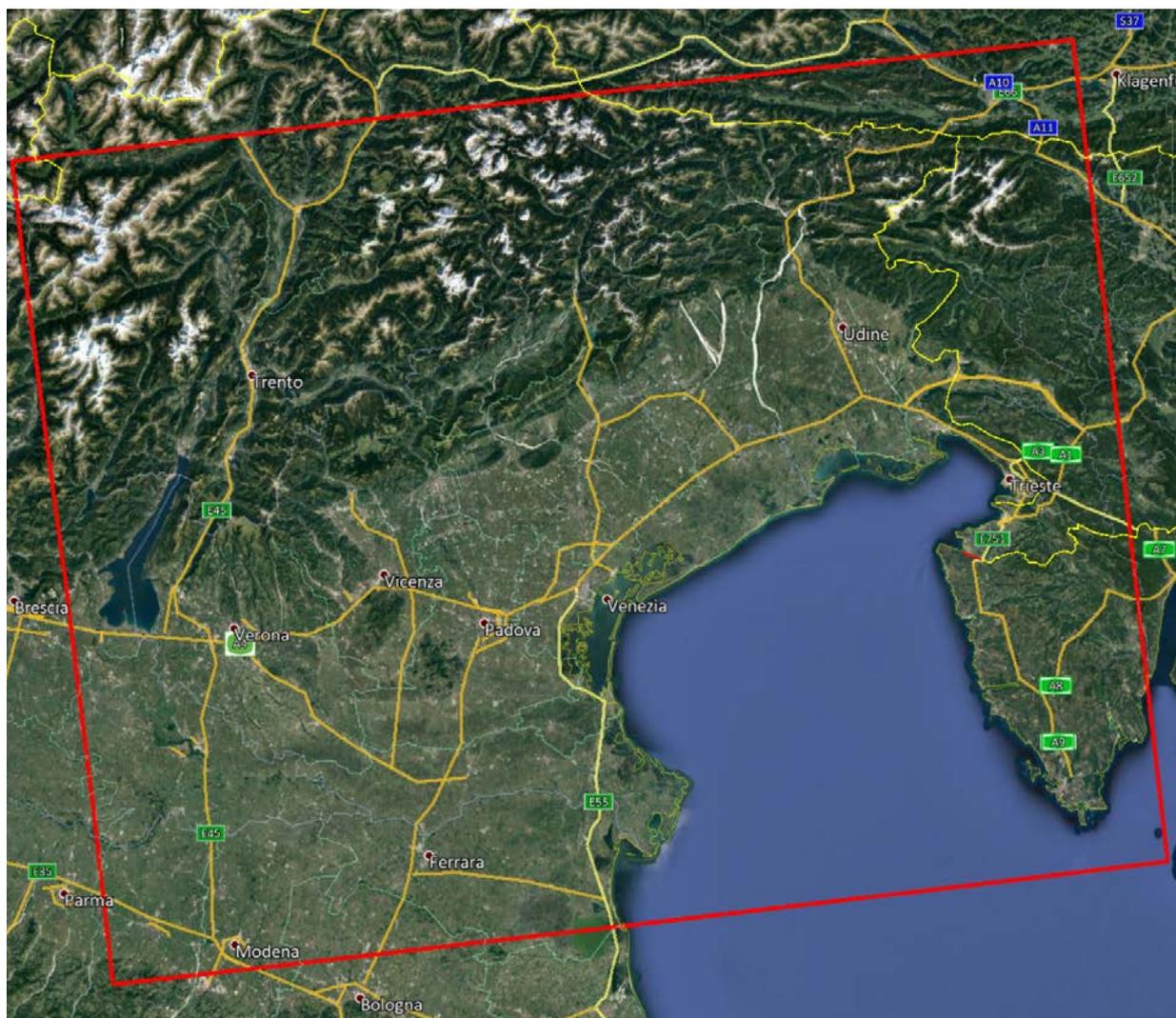


Figura 3. Dettaglio del dominio di simulazione WRF a 3 km di risoluzione

3.1 Discesa di scala con i processori GAP e SurfPro

I campi prodotti dal codice WRF alimentano la sezione meteorologica del sistema per la discesa di scala, costituita dai codici GAP e SurfPro. Il processore GAP ricostruisce mediante interpolazione, su base oraria, i campi tridimensionali (vento, pressione, temperatura, ed umidità) e bidimensionali (precipitazione e copertura nuvolosa) sulla griglia di calcolo di interesse (1 km di risoluzione). La componente verticale della velocità del vento è ricalcolata sui campi interpolati imponendo la divergenza nulla in ogni punto, in modo da garantire la conservazione della massa ed impedire accumuli irrealistici. La turbolenza atmosferica è stimata dal preprocessore SURFPro mediante campi bidimensionali di opportune variabili di scala (si veda più sotto: z_0 , H_{mix} , u^* , L , w^* , ...) sul dominio di interesse, tenendo conto in modo più accurato degli effetti locali indotti dalle caratteristiche di dettaglio del terreno, desunte da mappe di uso del suolo ad alta risoluzione. A partire dalle variabili di scala, SURFPro è in grado di produrre campi tridimensionali delle diffusività turbolente orizzontale e verticale e le velocità di deposizione per le diverse specie chimiche. Queste ultime vengono utilizzate per descrivere gli scambi con la superficie in assenza di precipitazioni, e sono stimate tramite parametrizzazioni che tengono conto sia della natura dell'inquinante, sia dell'uso del suolo e delle condizioni meteorologiche correnti in ciascun punto.

Le caratteristiche locali di maggior dettaglio del terreno sono definite alla risoluzione orizzontale target di 1 km mediante un modello digitale del terreno e una matrice di uso del suolo. La Figura 4 mostra la matrice di uso del suolo insieme alle isolinee del modello digitale del terreno. I codici di uso del suolo sono definiti secondo una classificazione a 21 classi ricavata da quella standard europea CORINE a 44 classi (EEA Data Service), mediante accorpamento di alcune categorie, secondo la didascalia riportata nella medesima figura. Il dominio è prevalentemente caratterizzato da terre arate e agricole (toni di verde chiaro), vigneti (marrone) nella Sinistra Piave, foreste (verde) sul Montello e i colli asolani e, a Sud Est, dalla laguna e il mare Adriatico. Sono ben individuabili le aree urbanizzate degli agglomerati di Padova, Venezia, Treviso e San Donà di Piave, le aree industriali di Padova e Porto Marghera, le aree aeroportuali di Tessera, Treviso e Istrana (aeroporto militare).

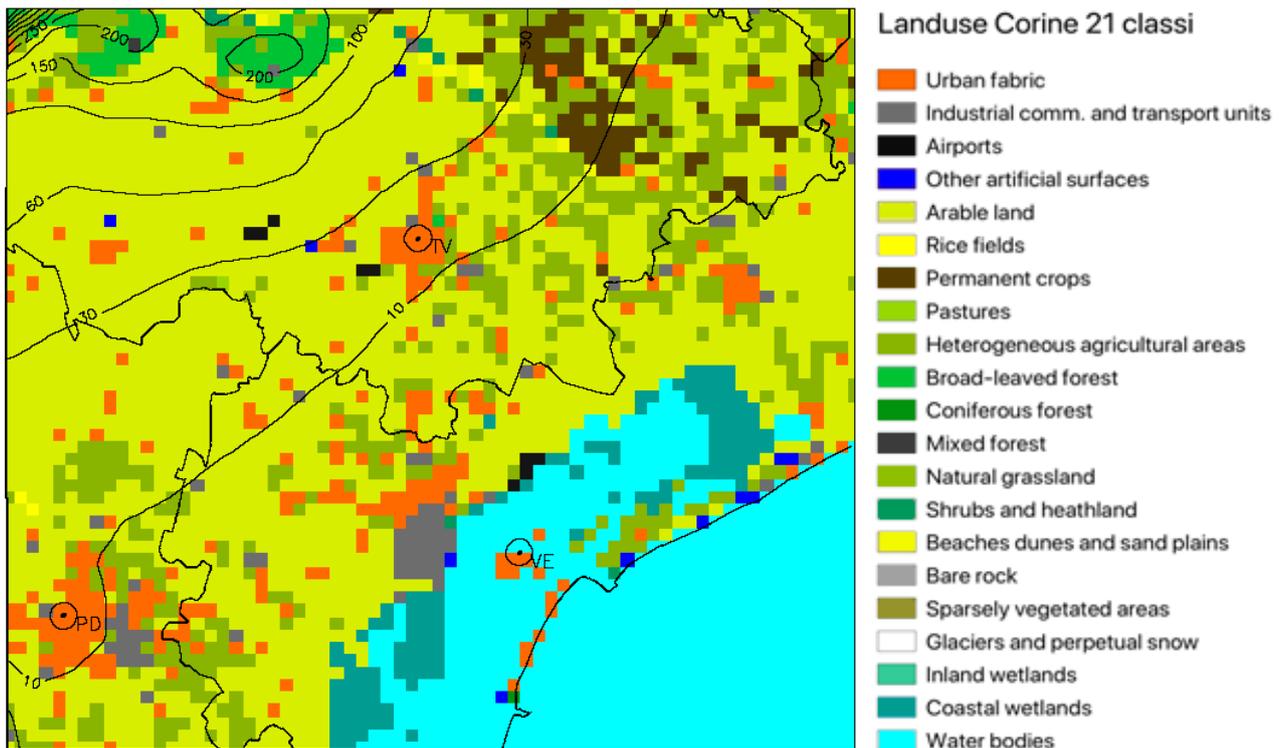


Figura 4. Dominio di calcolo con uso del suolo CORINE 21 classi a 1km di risoluzione.

Per ricostruire i campi di vento e temperatura alla risoluzione orizzontale di 1 km sul dominio target per l'intero anno 2018, necessari al modello FARM, è stato applicato il processore GAP. La Figura 5 illustra, a titolo di esempio, la rappresentazione del campo di vento alla quota di 10 m sopra il livello del suolo ricostruito dal processore GAP il giorno 1/1/2018 alle ore 10:00.

Min: 0.5191

Max: 6.766

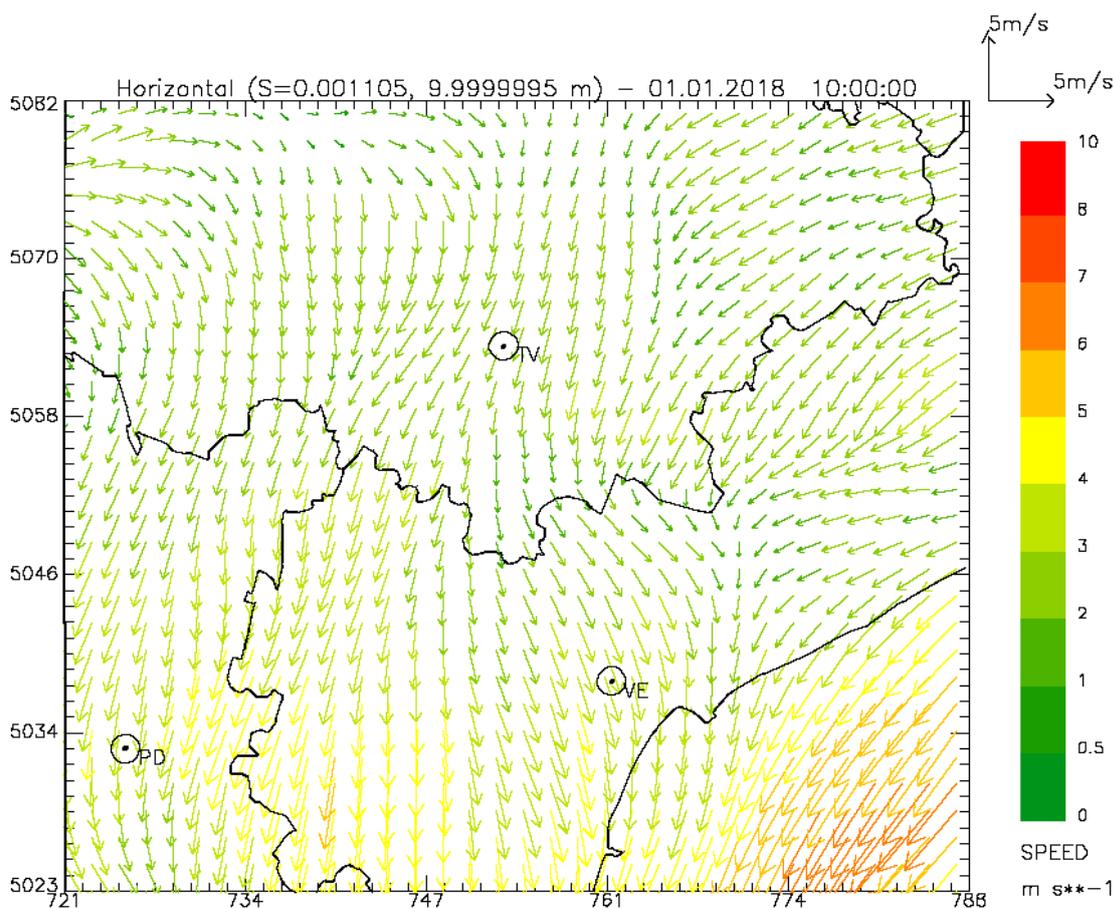


Figura 5. Campo di vento in prossimità del suolo calcolato il giorno 1/1/2018 alle ore 10:00. Per maggiore chiarezza il campo è rappresentato con risoluzione orizzontale di 2 km. Velocità del vento in m/s secondo la scala colorata a destra.

Il modello di dispersione FARM, per determinare il trasporto degli inquinanti emessi in atmosfera oltre alle caratteristiche del vento che domina il trasporto in direzione orizzontale richiede che siano definite le caratteristiche della turbolenza atmosferica, cioè dei moti disordinati che hanno origine sia meccanica che termica e che determinano la dispersione anche nella direzione verticale. La turbolenza può essere descritta attraverso opportune variabili fisiche dette 'di scala', che hanno il compito di riassumerne le principali caratteristiche. Tali variabili sono:

- z_0 o altezza di rugosità del terreno;
- u^* o velocità di frizione, che descrive gli effetti legati alla turbolenza di tipo 'meccanico', dovuti alla presenza di ostacoli superficiali o variazioni con la quota della velocità del vento (shear);
- H_{mix} o altezza dello strato limite, che rappresenta lo strato adiacente al suolo variabile nel tempo e nello spazio all'interno del quale avvengono i principali fenomeni turbolenti generati dall'interazione del flusso atmosferico con la superficie, e dove vengono in genere immesse e disperse le sostanze inquinanti;
- L o lunghezza di Monin-Obukhov che rappresenta un indicatore della stabilità atmosferica. Un'atmosfera stabile tende ad un minore rimescolamento e dispersione delle sostanze emesse, al contrario un'atmosfera instabile è caratterizzata da una maggiore efficienza dispersiva. Valori negativi vicini allo zero sono rappresentativi di un'atmosfera instabile in condizioni convettive diurne, valori positivi piccoli sono invece caratteristici di un'atmosfera stabile tipicamente notturna;

- w^* o velocità convettiva di scala che rappresenta una misura dell'intensità della turbolenza nelle ore più calde in presenza di forte irraggiamento solare.

I campi di queste variabili vengono ricostruiti ora per ora su tutto il dominio a partire dai campi meteorologici mediante l'utilizzo del preprocessore SurfPro, tenendo conto delle disomogeneità orizzontali indotte dalla presenza di differenti caratteristiche di uso del suolo.

A titolo di esempio, la Figura 6 e la Figura 7 illustrano rispettivamente i campi orizzontali delle variabili altezza dello strato rimescolato (H_{mix}) e velocità di frizione (u^*) alle ore 10:00 del giorno 1/1/2018.

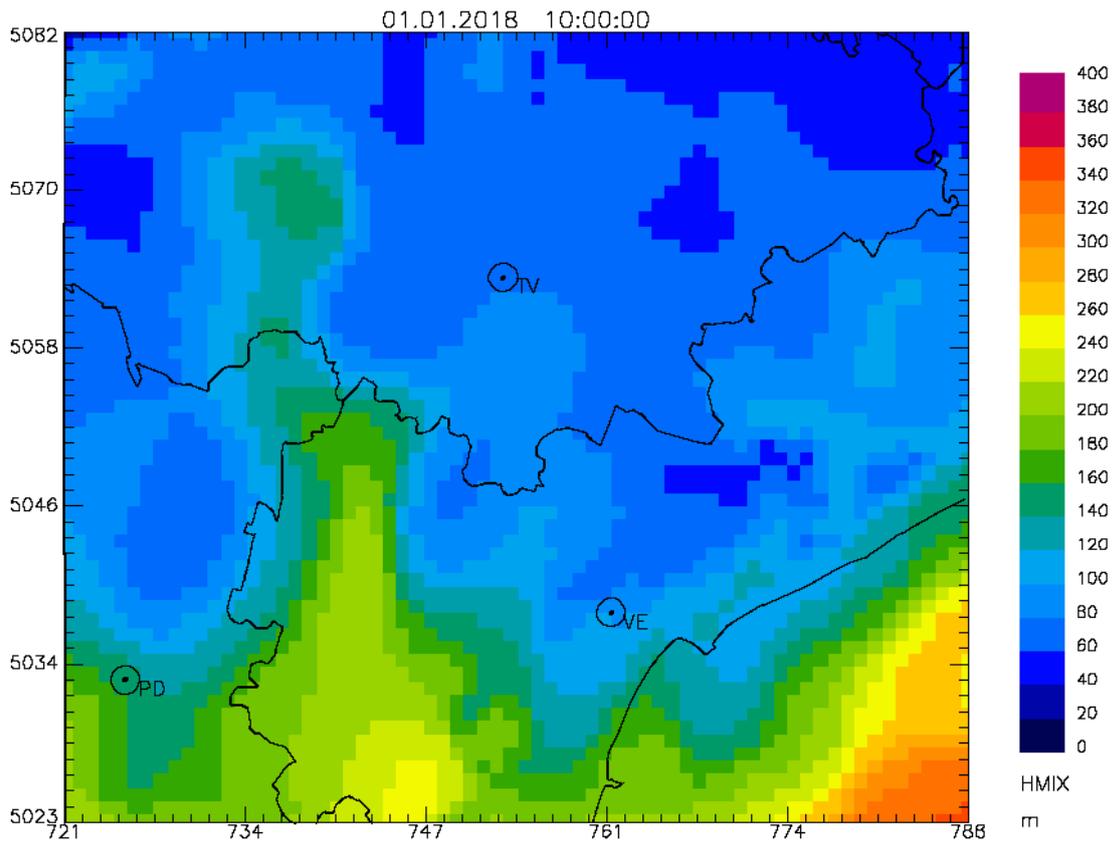


Figura 6. Campo dell'altezza dello strato limite H_{mix} (m) simulato dal modello SurfPro alle ore 10:00 del giorno 1/1/2018.

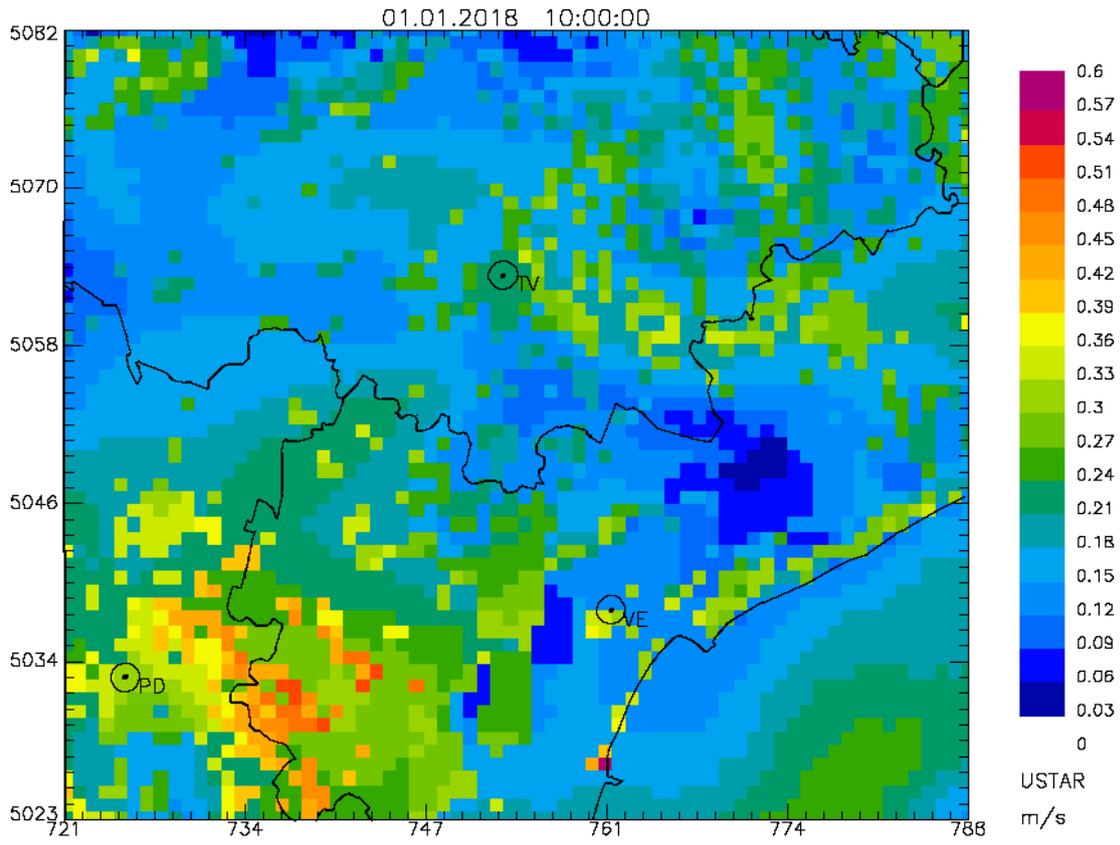


Figura 7. Campo della velocità di frizione u^* (m/s) simulato dal modello SurfPro alle ore 10:00 del giorno 1/1/2018.

4 Modellistica emissiva

La presenza di un certo inquinante all'interno dell'atmosfera è il risultato delle interazioni tra attività naturali ed antropiche presenti sul territorio ed il sistema di trasporto, diffusione e trasformazione di chimica di cui saranno oggetto una volta in atmosfera. La conoscenza delle emissioni e delle loro fonti risulta dunque essere di fondamentale importanza per la modellistica della qualità dell'aria, oltre che per la conseguente individuazione delle politiche più adeguate di risanamento.

Strumento fondamentale di conoscenza e di gestione risulta essere l'inventario delle emissioni, che si propone come raccolta, aggiornabile, di informazioni e di dati di varia provenienza atti ad individuare le quantità e le tipologie degli inquinanti emessi dalle attività presenti nel territorio in esame.

Nei paragrafi seguenti sono illustrati i dati utilizzati e le modellazioni effettuate, così come l'approccio utilizzato per predisporre l'input emissivo al modello a partire dal database emissivo complessivo messo a punto.

4.1 *Inventario regionale delle emissioni*

Il primo riferimento utilizzato per la preparazione dell'input emissivo al modello è l'inventario regionale INEMAR (INventario EMissioni ARia) realizzato da ARPA Veneto e aggiornato al 2015.

Il database emissivo è strutturato in modo da fornire informazioni specifiche circa la tipologia di sorgente, la localizzazione, l'entità e la tipologia delle emissioni; questo risultato si ottiene tramite la classificazione dei dati che segue la metodologia standard europea EMEP-CORINAIR, che definisce le attività in base alle categorie SNAP (Selected Nomenclature for Air Pollution), articolate secondo "macrosettori", "settori" ed "attività".

I macrosettori sono 11 e vengono così definiti:

- macrosettore 1: "produzione energetica", riunisce le emissioni dovute ai processi di trasformazione dell'energia;
- macrosettore 2: "combustione non industriale", cioè le emissioni provenienti da impianti di riscaldamento commerciali ed istituzionali, residenziali ed agricoli stazionari;
- macrosettore 3: "combustione nell'industria", ovvero riscaldamento di capannoni e stabilimenti e tutti i processi che necessitano la presenza di forni di fusione o cottura dei materiali;
- macrosettore 4: "processi produttivi", è il macrosettore che comprende le emissioni legate alla produzione di un determinato bene o materiale;
- macrosettore 5: "estrazione, distribuzione combustibili fossili/geotermico", comprende le emissioni dovute ai processi di produzione, distribuzione, stoccaggio di combustibile solido, liquido e gassoso e riguarda sia le attività sul territorio che quelle off-shore.
- macrosettore 6: "uso di solventi", raggruppa le attività riconducibili all'uso di vernici, allo sgrassaggio alla lavorazione e sintesi dei prodotti chimici, etc...
- macrosettore 7: "trasporti stradali", sono le emissioni (esauste e non) prodotte da automobili, mezzi leggeri e pesanti, motocicli, nei diversi cicli di guida;
- macrosettore 8: "altre sorgenti mobili", ovvero il trasporto ferroviario, i mezzi militari, il traffico marittimo, quello aereo, i mezzi agricoli, forestali ed i mezzi industriali;
- macrosettore 9: "trattamento e smaltimento rifiuti", raggruppa le attività di incenerimento, spargimento, interrimento di rifiuti, e gli aspetti ad essi collaterali come il trattamento delle acque reflue, il compostaggio, la produzione di biogas, lo spargimento di fanghi, ecc;
- macrosettore 10: "agricoltura", macrosettore in cui si raggruppano le emissioni legate agli allevamenti, alle attività agricole (con e senza fertilizzanti e/o antiparassitari, pesticidi, diserbanti) ed all'incenerimento di residui effettuato in loco;

- macrosettore 11: "altre sorgenti di emissione ed assorbimenti", comprende tutte quelle attività non antropiche che generano emissioni (attività fitologica di piante, arbusti ed erba, fulmini, emissioni spontanee di gas, emissioni dal suolo, vulcani, combustione naturale, ecc.).

In Tabella 1 ed in Figura 8 sono rappresentati i valori assoluti e le percentuali emissive dei diversi comparti a livello regionale, che assumono una importanza diversa in base all'inquinante considerato.

Le emissioni di ossidi di azoto appaiono dominate dal macrosettore 7 ("Trasporti su strada") (49%) e, più o meno nelle stesse percentuali, dalla combustione nell'industria e dal macrosettore 8 ("Altri trasporti"). Il particolato è prodotto, per la maggior parte (circa 70%) dalla combustione non industriale ed in parte minore (12%) dal traffico veicolare.

Il macrosettore 10, che racchiude tutte le attività legate al comparto agricolo, dagli allevamenti alle colture, produce la quasi totalità delle emissioni di ammoniaca ed il 35% delle emissioni di COV (prodotte per il restante 30% dall'uso dei solventi e, in misura minore, dal trasporto su strada e dalla combustione non industriale)

Il monossido di carbonio è essenzialmente prodotto per oltre la metà del totale (64%) dalla combustione non industriale e, in seconda battuta, dal trasporto su strada, mentre il biossido di zolfo ha le sue sorgenti principali nel settore della produzione energetica e nella combustione nell'industria.

Una volta delineato l'ambito emissivo di interesse, nei prossimi capitoli verranno meglio dettagliate quelle che sono il vero focus del presente studio, ovvero le attività aeroportuali principali (dirette o indotte) presenti nella regione Veneto, ed il loro contributo sulla qualità dell'aria in termini di source apportionment.

Tabella 1. Emissioni prodotte nella regione Veneto (t/anno) (fonte: INEMAR2015).

	CO	NH3	NMVOC	PM10	NOx	SO2
1-Prod. Energia	715	21	106	66	5546	2482
2-Comb. non industriale	101102	243	9198	10379	6325	650
3-Comb. nell'industria	5372	63	930	283	10184	2319
4-Proc.produttivi	3549	28	5656	353	1617	537
5-Estr. e distr. di comb.fossili	0	0	3054	0	0	0
6-Solventi	0	0	46888	491	9	2
7-Trasporto su strada	38806	490	11467	1875	34246	32
8-Altre sorgenti mobili	7302	2	1791	663	11620	450
9-Tratt.smalt.rifiuti	74	73	17	11	184	8
10-Agricoltura	74	45641	52765	609	471	1
11-Altre sorgenti	615	2	23674	371	26	5
Totale complessivo	157609	46564	155545	15100	70227	6486

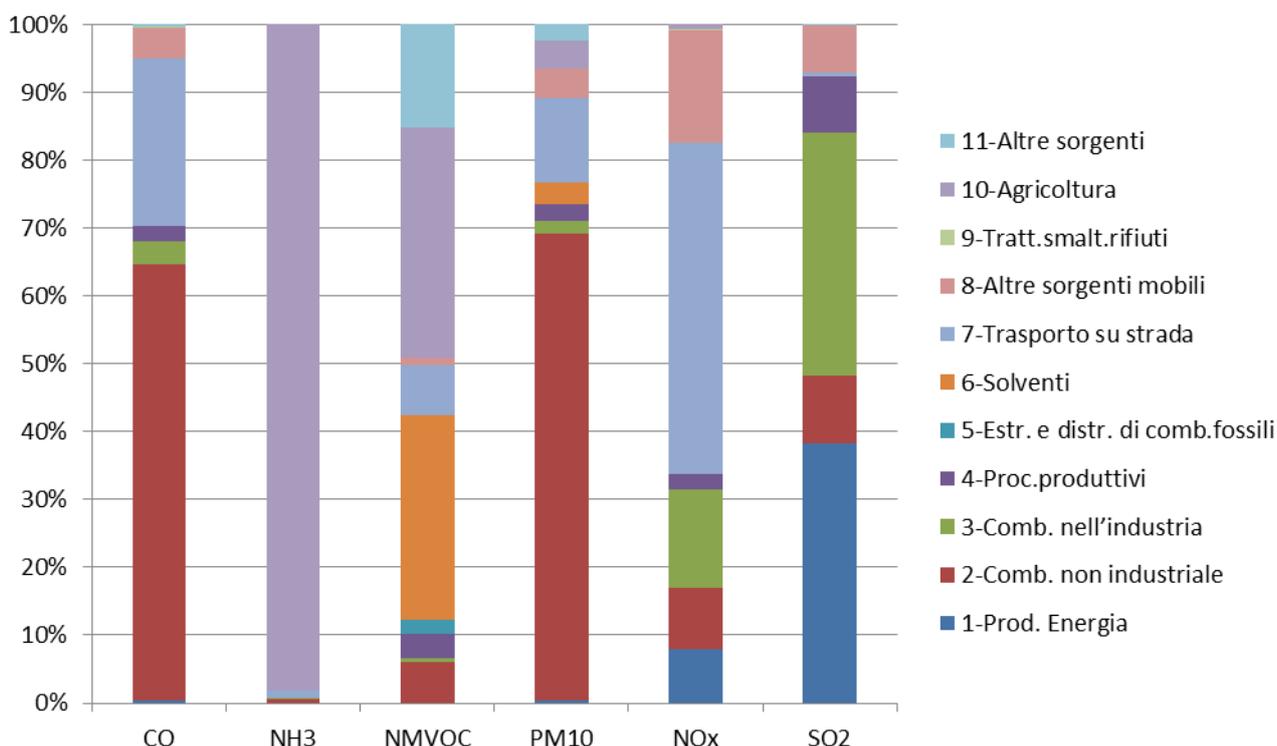


Figura 8. Contributi emissivi dei diversi macrosettori a livello regionale (fonte INEMAR 2015).

4.2 Traffico aeroportuale

All'interno dell'inventario regionale INEMAR tutte le attività legate al traffico aeroportuale sono contenute nel settore 0805; in esso sono contenute le emissioni prodotte dal traffico aereo vero e proprio e dai mezzi a terra a supporto.

Gli impianti oggetto dello studio sono l'aeroporto di Treviso e quello di Venezia Tessera.

4.2.1 Aeroporto di Venezia Tessera: stima bottom up delle emissioni dirette e indirette

Facendo riferimento alla metodologia descritta nel paragrafo 4.1 della relazione sullo studio con il modello SPRAY (ARIANET, R2019.14), si riportano di seguito le stime emissive calcolate per quanto riguarda le emissioni dirette e indirette.

In Tabella 2 le emissioni dei velivoli sono suddivise tenendo conto delle diverse fasi considerate, (movimenti che interessano lo scalo, tempo medio di ogni singola fase, dettaglio di modello di aeromobile, marca e numero dei turbofan a bordo...) riferite all'anno 2018 e combinate con i relativi fattori di emissione specifici per l'aeromobile in massa / consumo di combustibile / sec durante un ciclo LTO.

Tabella 2. Emissioni generate dagli aeromobili (t/anno)

	NMVOC	C ₆ H ₆	CO	NO _x	PM10	SO ₂
Approach	1.9	0.03	20.9	70.0	0.05	7.0
Taxi In-Out	29.9	0.50	252.9	43.1	0.04	9.8
Take off	0.7	0.01	4.2	203.3	0.81	7.5
Climb out	0.6	0.01	3.8	135.9	0.42	6.4
Totale	33.2	0.6	281.9	452.3	1.3	30.7

Oltre alle emissioni prodotte direttamente dagli aeromobili, nel sedime aeroportuale sono presenti altre diverse sorgenti:

- i mezzi a terra (GSE, Ground Support Equipment), il cui numero e tipologia sono stati forniti dal gestore dell'aeroporto, ed a cui sono stati associati i valori di default di EDMS per il dato di potenza ed il fattore di carico;
- l'APU (Auxiliary Power Unit), che non rientra tra i GSE in quanto si tratta di un motore ausiliario installato sull'aereo che si avvia per 30 minuti complessivi per ogni volo eseguito nel periodo giugno-agosto e per 10 minuti nei restanti mesi; per il calcolo delle emissioni relative si sono usati i fattori di emissione delle turbine a gas contenuti nell'Emission Inventory Guidebook 2016, considerando una potenza di funzionamento costante per ciascun APU pari a 300 HP;
- gli autobus e le autovetture, a cui sono stati associati i fattori di emissione della metodologia Copert 5.2 assumendo un percorso di 2.5 km A/R interno al piazzale ad una velocità media di 20 km/h.

Complessivamente le emissioni sono riportate in Tabella 3 e sono state distribuite su tutto il piazzale di sosta degli aeromobili.

Tabella 3. Emissioni generate da tutte le attività a terra a supporto degli aeromobili (t/anno).

	CO	NMVOC	NO _x	PM2.5	PM10	SO ₂
ATTIVITÀ A TERRA	9.9	2.0	19.7	1.6	1.6	0.3

All'interno del perimetro che confina l'aeroporto si trovano anche 10 centrali termiche atte a produrre l'energia necessaria per il riscaldamento ed il condizionamento (le cui emissioni, calcolate in base a potenza e consumi annui di gasolio, sono riportate in Tabella 4) ed i serbatoi che contengono il carburante (emissioni in Tabella 5).

Tabella 4. Emissioni prodotte dalle centrali termiche presenti nel sedime aeroportuale (t/anno).

	CO	NH ₃	NMVOC	NO _x	PM10	PM2.5	SO _x
CENTRALI TERMICHE	6.19	0.00	0.79	6.48	0.06	0.06	0.45

Tabella 5. Emissioni evaporative complessive generate dai serbatoi (t/anno).

	NMVOC	C ₆ H ₆
SERBATOI	93.5	1.57

Nel complesso le emissioni prodotte da tutte le attività legate all'aeroporto producono il 4.5% delle emissioni comunali di NO_x ed il 2.65% delle provinciali, mentre il contributo alle emissioni complessive di SO₂ è, rispettivamente, pari al 1% ed allo 0.9%.

In aggiunta alle emissioni aeroportuali vere e proprie, così come nello studio con SPRAY sono state considerate anche le emissioni indotte a carico del traffico stradale e acquico con origine o destinazione l'aeroporto (Tabella 6 e Tabella 7).

Tabella 6. Emissioni generate dal traffico stradale (t/anno)

	CO	NMVOC	C ₆ H ₆	NO _x	PM2.5	PM10	SO ₂
AUTO (PASSEGGERI E DIPENDENTI)	48.48	2.69	0.14	51.78	2.74	3.75	0.42
BUS (DI LINEA E GRANTURISMO)	6.84	0.88	0.00	28.94	0.78	1.00	0.11
TOTALE	55.32	3.57	0.14	80.72	3.52	4.75	0.53

Tabella 7. Emissioni generate dal traffico acquico (t/anno)

	CO	NMVOC	C ₆ H ₆	NO _x	PM2.5	PM10	SO ₂
TRASPORTO PUBBLICO DI LINEA (ALILAGUNA)	14.5	13.4	1.1	72.7	8.5	8.5	0.04
TAXI	7.94	6.37	0.52	34.46	3.97	3.97	0.02
TOTALE	22.44	19.77	1.62	107.16	12.47	12.47	0.06

4.2.2 Aeroporto di Treviso

Le emissioni relative alla struttura aeroportuale della città di Treviso che vengono utilizzate nella simulazione sono quelle riportate nell'inventario regionale; in Tabella 8 sono riportate le emissioni suddivise per tipologia di attività.

Tabella 8. Emissioni prodotte dall'aeroporto di Treviso (t/anno) (fonte: INEMAR2015).

	CO	NH ₃	NMVOC	PM10	NO _x	SO ₂
Mezzi di supporto a terra	0.78	0.00	0.35	0.25	2.93	0.01
Traffico aereo internazionale (cicli LTO - < 1000 m)	11.90	0.00	1.77	0.13	13.09	1.09
Traffico aereo nazionale (cicli LTO - < 1000 m)	5.55	0.00	1.25	0.07	5.77	0.57
Totale complessivo	18.24	0.00	3.36	0.46	21.80	1.67

Le emissioni di NO_x dell'aeroporto rappresentano il 5% rispetto alle emissioni complessive del comune in cui si trova e contribuiscono per il 10 % circa alle emissioni complessive di SO₂; rispetto al totale provinciale il contributo di tutti gli inquinanti è inferiore all'1%.

4.3 Sorgenti naturali

Le emissioni da due importanti tipologie di sorgenti naturali, gli aerosol marini emessi a seguito dell'azione eolica ed i composti volatili organici emessi dalla vegetazione (emissioni biogeniche) sono state stimate sul dominio di calcolo su base oraria attraverso il preprocessore meteorologico SURFPro, utilizzando le informazioni di uso del suolo CORINE Land Cover ed i campi meteorologici messi a punto tramite il modello WRF.

Per gli aerosol marini è stato utilizzato un algoritmo che ne stima le emissioni in funzione dell'umidità relativa e dell'intensità del vento (Zhang *et al.*, 2005).

Le emissioni biogeniche (che vanno a sostituire il macrosettore 11 di INEMAR) sono state stimate mediante il modello MEGAN (Model of Emissions of Gases and Aerosols from Nature; Guenther *et al.*, 2006; Guenther *et al.*, 2000); sviluppato presso il gruppo di ricerca sulle interazioni biosfera-atmosfera della divisione di chimica atmosferica del National Center for Atmospheric Research (NCAR), è stato progettato per l'implementazione in sistemi modellistici regionali e globali (es. WRF-Chem, GEOS-Chem) e rappresenta lo stato dell'arte per ciò che riguarda la stima dinamica delle emissioni biogeniche. Stima i tassi di emissione in atmosfera da parte di un ecosistema terrestre presente in un luogo specifico e in un determinato istante tenendo conto della presenza di diversi tipi funzionali di piante (latifoglie, aghiformi, arbusti ed erbacee), dell'evoluzione della copertura fogliare nel corso dell'anno e delle condizioni ambientali correnti (radiazione solare, temperatura, umidità del suolo); vengono così calcolate le emissioni orarie da parte della vegetazione di 20 composti / classi di composti, che possono poi essere raggruppati secondo le specie (esplicitate o aggregate) proprie di vari meccanismi chimici gassosi. Utilizzando fattori di emissione aggiornati e condizioni ambientali orarie consente di effettuare stime emissive potenzialmente più realistiche di quelle ottenute tramite l'utilizzo di metodologie semplificate basate su sintesi annuali delle condizioni meteorologiche di una determinata zona.

I campi orari delle emissioni ottenuti su base oraria lungo tutto l'anno di riferimento considerato sono stati forniti in input al modello di qualità dell'aria, a complemento degli analoghi campi messi a punto per le emissioni antropogeniche.

4.4 Predisposizione dell'input al modello di qualità dell'aria

I dati emissivi relativi alle sorgenti finora descritte sono stati utilizzati per generare l'input emissivo al modello di qualità dell'aria (FARM). Tale input è su base oraria, riferito alle griglie di calcolo considerate e deve includere tutte le specie chimiche articolate secondo le specifiche del meccanismo chimico adottato dal modello. I dati di inventario sono invece espressi in termini di totali annuali, sono riferiti ad entità geografiche di diversa geometria e si riferiscono a specie aggregate (es. totale dei "composti organici non metanici").

Il passaggio dai dati di inventario all'input del modello viene effettuato attraverso il sistema Emission Manager, il pre-processore delle emissioni del sistema modellistico ARIA Regional (si veda il capitolo 6).

La Figura 9 illustra concettualmente la sequenza delle operazioni effettuate da Emission Manager:

- speciazione dei composti organici e del particolato, sulla base di profili tipici di ogni attività;
- disaggregazione spaziale sui due grigliati di calcolo, con l'ausilio di dati cartografici tematici;
- modulazione temporale a risoluzione oraria sulla base di profili annuali, settimanali e giornalieri tipici di ciascuna attività.

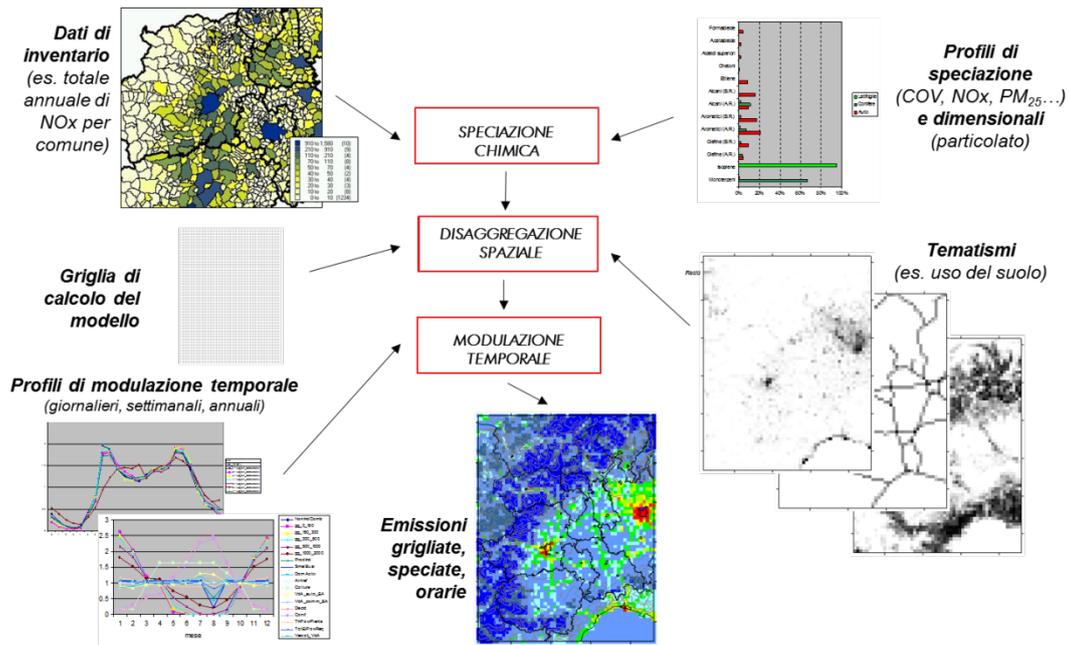


Figura 9. Schema logico del processo di produzione delle emissioni in input al modello reattivo a partire dai dati di inventario.

La disaggregazione sulla griglia di calcolo delle emissioni associate nell'inventario a poligoni avviene mediante l'ausilio di tematismi grigliati alla risoluzione di interesse (1 km). Ciascun poligono viene dapprima intersecato con le celle del grigliato di calcolo, e le emissioni ad esso associate vengono ripartite sulle celle in modo proporzionale all'area delle intersezioni risultanti tra il poligono di partenza e le celle. La ripartizione viene quindi corretta tramite un tematismo su griglia, che rappresenta la percentuale di ciascuna cella coperta da una data tipologia di uso del suolo (es. aree urbanizzate, agricole, ecc.), o più in generale il peso che una proxy correlata con le emissioni ha su ciascuna cella, relativamente alle circostanti. I tematismi di riferimento sono stati ricavati tramite proiezione e rigrigliatura dei dati del database di uso del suolo CORINE Land Cover 2012 a 100 m di risoluzione e della geometria della rete stradale.

5 Condizioni al contorno

L'utilizzo di un modello reattivo tridimensionale come FARM, in aggiunta ai dati emissivi e meteorologici, richiede in input l'assegnazione in modo evolutivo per tutto il periodo di simulazione di interesse delle "condizioni al contorno", ovvero delle concentrazioni ai bordi della griglia di calcolo delle diverse specie chimiche considerate dal modello. In questo studio le condizioni al contorno su base oraria sono state predisposte a partire dai campi 3D di concentrazione a scala nazionale prodotti con il medesimo modello a una risoluzione di 12 km nell'ambito del sistema QualeAria. Si tratta di un sistema previsionale attivo dal 2007 che fornisce previsioni sia di tipo meteorologico che di qualità dell'aria su tutto il dominio italiano (<http://www.aria-net.it/qualearia/it/>).

I campi orari di concentrazione delle diverse specie chimiche, prodotti a scala nazionale lungo l'intero anno 2018, sono stati quindi dapprima interpolati sulla griglia di questo studio e da essi sono stati poi estratti i valori in corrispondenza delle facce laterali e superiore del dominio. Le condizioni al contorno contribuiscono a determinare i "livelli di fondo" delle concentrazioni dei diversi inquinanti (primari e secondari) all'interno del dominio e indirettamente di considerare gli apporti delle sorgenti più remote, poste al di fuori del dominio stesso. Nell'esempio di Figura 10 si mostra l'estensione del dominio di calcolo sul quale sono state estratte le condizioni al contorno.

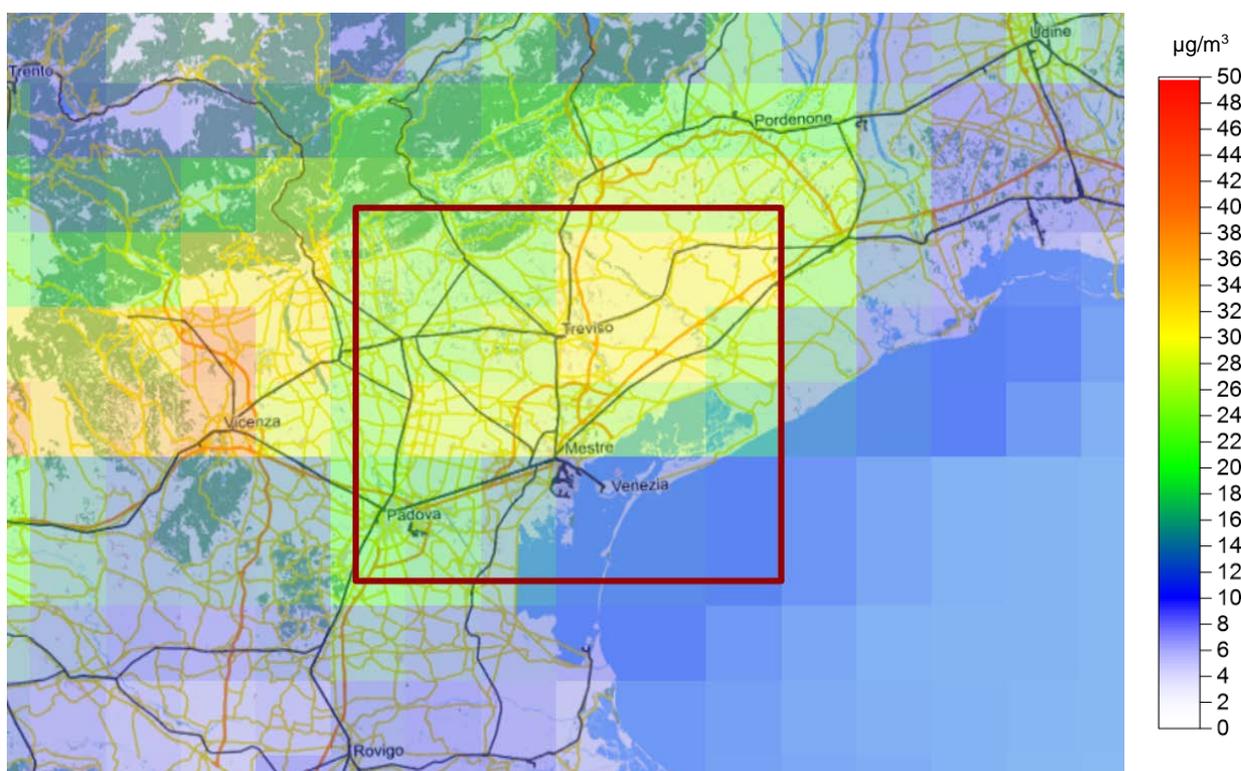


Figura 10. Predisposizione delle condizioni al contorno sulla griglia regionale a partire dai campi di QualeAria a scala nazionale. Concentrazioni di NO₂ alle ore 12 di un giorno ferialo.

6 Simulazione della dispersione di inquinanti

I dati territoriali, meteorologici, emissivi e di condizioni al contorno descritti ai capitoli precedenti costituiscono l'input per il modello di dispersione FARM. Nei paragrafi seguenti viene fornita sia una descrizione generale delle modalità di utilizzo del modello di dispersione che dei risultati ottenuti. I risultati vengono presentati sotto forma di mappe sul territorio della concentrazione al suolo di vari inquinanti normati, riferiti agli indicatori calcolati secondo la tabella riportata nel paragrafo 6.1. Le stime di impatto delle attività aeroportuali sono mostrate sia come mappe di contributo assoluto (in $\mu\text{g}/\text{m}^3$) sia di contributo percentuale. Infine vengono presentati alcuni confronti tra i valori degli indicatori ottenuti dalle simulazioni modellistiche e le misure in alcuni punti di rilevamento della rete regionale di Monitoraggio della Qualità dell'Aria gestita da ARPAV nonché rispetto ai dati delle postazioni di misura installate presso gli aeroporti, gestite da EZIPM.

6.1 Quadro normativo di riferimento

Sono presentati i risultati relativi ai seguenti parametri: NO_2 , SO_2 , C_6H_6 , PM_{10} e $\text{PM}_{2.5}$, i cui valori limite e/o valori obiettivo sono riportati nel D.Lgs. 155/2010 (Tabella 9).

Tabella 9. Valori limite per la protezione della salute umana e della vegetazione (D.Lgs. 155/2010 e ss.mm.ii.)

Inquinante	Nome limite	Indicatore statistico	Valore
SO_2	Livello critico per la protezione della vegetazione	media annuale e media invernale	$20 \mu\text{g}/\text{m}^3$
	Soglia di allarme	superamento per 3 ore consecutive del valore soglia	$500 \mu\text{g}/\text{m}^3$
	Limite orario per la protezione della salute umana	media oraria	$350 \mu\text{g}/\text{m}^3$ da non superare più di 24 volte per anno civile
	Limite di 24 ore per la protezione della salute umana	media giornaliera	$125 \mu\text{g}/\text{m}^3$ da non superare più di 3 volte per anno civile
NO_2	Soglia di allarme	superamento per 3 ore consecutive del valore soglia	$400 \mu\text{g}/\text{m}^3$
	Limite orario per la protezione della salute umana	media oraria	$200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ da non superare più di 18 volte per anno civile
	Limite annuale per la protezione della salute umana	media annuale	$40 \mu\text{g}/\text{m}^3$
PM_{10}	Limite di 24 ore per la protezione della salute umana	media giornaliera	$50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ da non superare più di 35 volte per anno civile
	Limite annuale per la protezione della salute umana	media annuale	$40 \mu\text{g}/\text{m}^3$
$\text{PM}_{2.5}$	Limite annuale per la protezione della salute umana	media annuale	$25 \mu\text{g}/\text{m}^3$
C_6H_6	Limite annuale per la protezione della salute umana	media annuale	$5 \mu\text{g}/\text{m}^3$

6.2 Configurazione delle simulazioni modellistiche di dispersione

Il presente studio ha l'obiettivo di stimare i contributi attesi da tutte le sorgenti che insistono sul territorio ai livelli di concentrazione in atmosfera in prossimità del suolo sia a livello spaziale, considerando le mappe medie annuali dei singoli inquinanti, sia a livello temporale, considerando le serie temporali delle concentrazioni in corrispondenza delle stazioni di monitoraggio per confrontarle con quelle misurate. A tal fine si è utilizzato il pacchetto modellistico tridimensionale ARIA Regional. Co-sviluppato da ARIANET srl ed ARIA Technologies, il sistema è basato sul modello euleriano fotochimico FARM, di cui ARIANET gestisce sviluppo e distribuzione. FARM è il modello di riferimento nazionale nell'ambito del progetto MINNI (www.minni.org) e utilizzato da numerose ARPA (maggiori dettagli in Appendice). Il modello considera le emissioni da sorgenti diffuse e puntuali, l'avvezione degli inquinanti da parte del vento e la loro diffusione turbolenta, le trasformazioni chimiche in fase gassosa e particolato, le deposizioni per via secca e umida.

In Figura 11 è illustrata schematicamente la configurazione della suite modellistica ARIA Regional utilizzata per questo studio, che consente di predisporre l'input a FARM mediante:

- un insieme di moduli per la predisposizione di un input emissivo complesso (Emission Manager);
- moduli per la messa a punto dell'input meteorologico alle simulazioni (GAP, SURFpro);
- pre-processor per il trattamento delle condizioni iniziali e al contorno (IC/BC) chimiche.

La configurazione del sistema modellistico ed i dati utilizzati sono illustrati nei paragrafi seguenti.

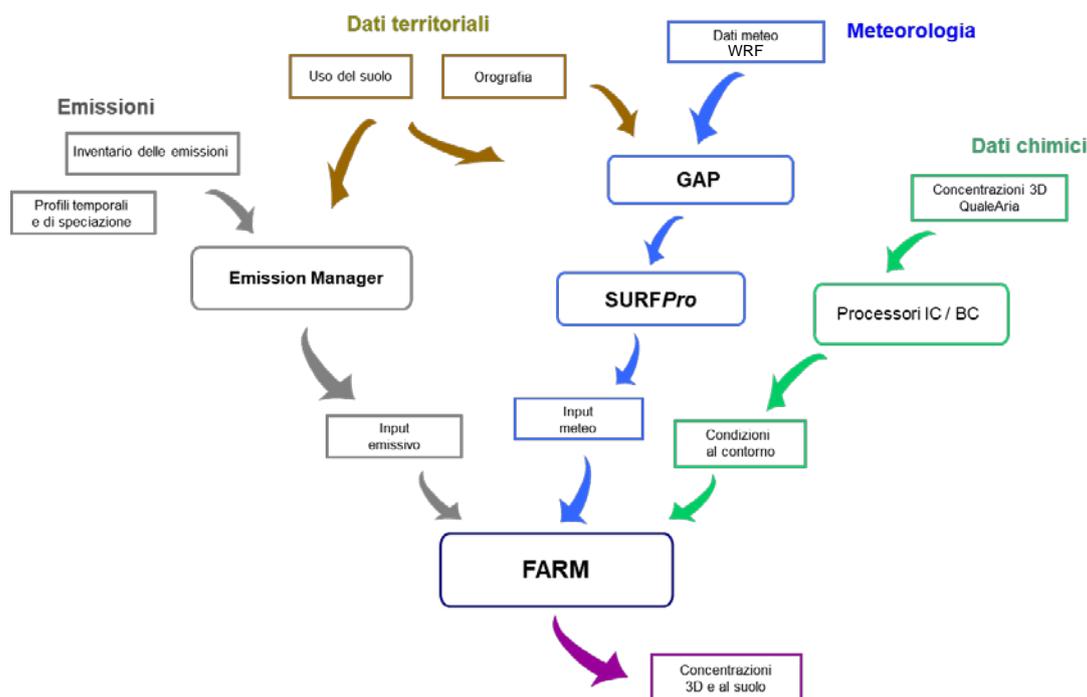


Figura 11. Sistema modellistico ARIA Regional.

Come illustrato nei capitoli precedenti, i dati di ingresso necessari al modello FARM per il calcolo dell'evoluzione nel tempo delle concentrazioni sono:

- Campi tridimensionali di variabili meteorologiche (componenti della velocità del vento, pressione, temperatura, umidità, ...) calcolati dal modello WRF e riportati sulla griglia di calcolo dal processore GAP.

- Campi bidimensionali di variabili micrometeorologiche e di turbolenza (z_0 , H_{mix} , u^* , L , w^* , ...) forniti dal codice SurfPro.
- Dati di emissione, costituiti dai flussi di massa variabili nel tempo di sostanze gassose e particolato espresse in $\mu\text{g}/\text{m}^3/\text{s}$. Ad ogni cella tridimensionale del dominio di calcolo e per ogni specie emessa viene attribuita una quantità di sostanza pari alla somma delle emissioni associate a ciascuna delle sorgenti ricadenti del tutto o in parte nella cella stessa. Tali sorgenti possono essere puntuali, caratterizzate da parametri geometrici specifici, lineari oppure areali. Le emissioni associate a queste ultime possono essere allocate nelle celle di calcolo anche in base a specifici tematismi (*proxy*) spaziali che confinano le relative attività solo nelle zone caratterizzate da un certo uso del suolo. Le emissioni, tipicamente fornite come massa totale annua, sono poi disaggregate nel tempo fino a risoluzione oraria mediante profili di modulazione specifici per attività. Con procedimento analogo, le specie aggregate (NO_x , SO_x , COVNM ...) sono suddivise nelle singole componenti considerate dal meccanismo chimico del modello (NO/NO_2 , $\text{SO}_2/\text{solfato}$, singole specie organiche) in base a profili di speciazione specifici per attività.
- Campi tridimensionali di concentrazione riferiti alla prima ora di simulazione, da considerare come condizioni iniziali.
- Campi bidimensionali di concentrazione sulle facce laterali e sulla faccia superiore del dominio, su base oraria lungo tutto l'intervallo di simulazione, da considerare come condizioni al contorno.

La stima del contributo degli aeroporti alla qualità dell'aria sul dominio regionale si ottiene per differenza tra le due simulazioni sull'intero anno 2018 su base oraria:

- una comprendente tutte le emissioni sul dominio considerato;
- una senza le emissioni afferenti agli aeroporti di Venezia e Treviso.

Le sequenze temporali dei campi di concentrazione così ottenute sono state utilizzate per calcolare gli indicatori statistici di confronto con i limiti della normativa vigente sulla qualità dell'aria e, per differenza fra le due simulazioni, il contributo degli aeroporti a tali valori.

6.3 Risultati – mappe di concentrazione

Nelle mappe che seguono, i segnaposto a forma di aereo indicano la posizione delle due centraline di monitoraggio di EZIPM installate presso i due aeroporti (si veda il paragrafo 6.4).

6.3.1 Biossido di azoto

La Figura 12 riporta i campi, su tutto il dominio di calcolo, delle concentrazioni al suolo di NO_2 medie annuali generate dal complesso delle emissioni considerate, con e senza il contributo aeroportuale. I valori massimi sono stimati lungo le rotte di avvicinamento delle navi al porto di Venezia, che attraversano la laguna dalle bocche di porto di Malamocco e Lido. Solo in corrispondenza di esse si riscontrano valori medi annuali superiori al limite di legge di $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ per la protezione della salute umana (colore rosso), mentre in prossimità degli aeroporti il limite è rispettato. La Figura 13 e la Figura 14 mostrano il contributo degli aeroporti, ottenuto per differenza fra le due mappe, in termini assoluti e percentuali. Il contributo massimo si ha sul punto-griglia all'interno del sedime dell'aeroporto Marco Polo di Tesserà, rispettivamente di circa $16 \mu\text{g}/\text{m}^3$ e di circa il 52%. Allontanandosi dagli aeroporti i valori scendono sotto $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ e sotto il 20% entro alcune centinaia di metri, sotto $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ e sotto il 5% entro pochi chilometri.

La Figura 15, la Figura 16 e la Figura 17 mostrano le corrispondenti mappe relative al 99.8 percentile delle concentrazioni medie orarie di NO_2 nell'anno, da confrontare con il valore limite legislativo di $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ da non superare per più di 18 volte l'anno. Un valore del 99.8 percentile annuo delle

medie orarie di concentrazione superiore al limite di $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ indica la presenza di un numero di superamenti maggiore del limite consentito, mentre un valore inferiore indica un eventuale numero di superamenti sicuramente inferiore al limite. Il valore massimo simulato dell'indicatore, che non supera i $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$, si riscontra sulle rotte navali in laguna e indica che in tutti i punti, e in particolare in prossimità degli aeroporti, le emissioni non sono in grado di determinare superamenti del limite legislativo. Il contributo percentuale massimo si riscontra anche in questo caso sulla pista dell'aeroporto di Venezia, e in generale i valori risultano inferiori a quelli della mappa di contributo percentuale sulla media annuale, indicando che l'impatto degli aeroporti, rispetto al resto delle attività emissive, è meno rilevante negli episodi di picco.

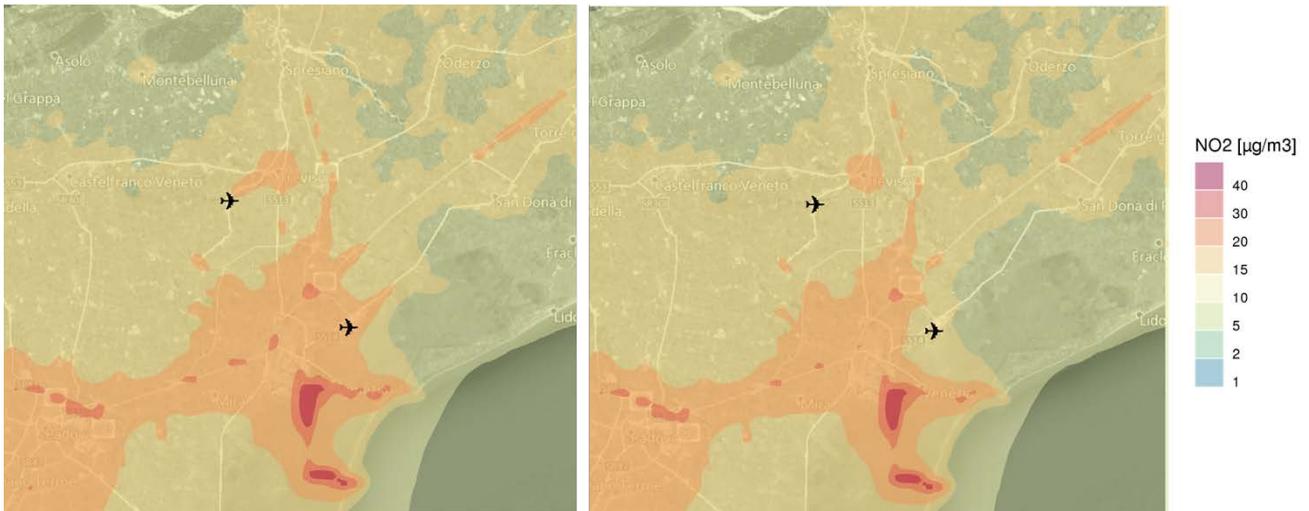


Figura 12. Anno 2018 – Concentrazioni medie annuali di NO_2
A sinistra: tutte le emissioni. A destra: tutte le emissioni tranne quelle afferenti agli aeroporti

Massimo nel dominio = $15.97 \mu\text{g}/\text{m}^3$

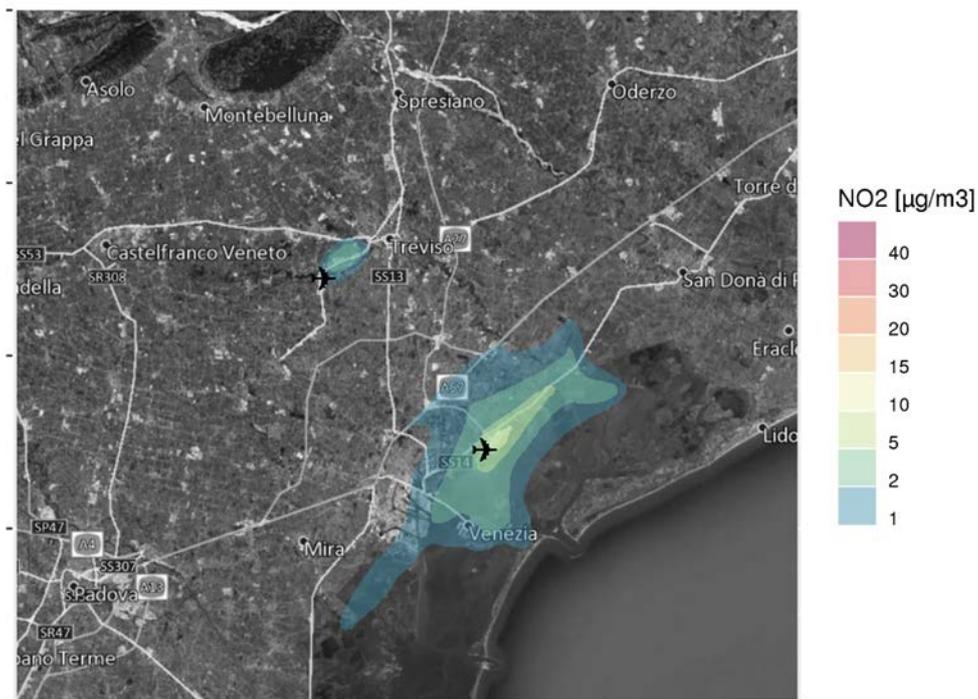


Figura 13. Anno 2018 – Concentrazioni medie annuali di NO_2 – Contributo assoluto degli aeroporti

Massimo nel dominio = 51.62 %

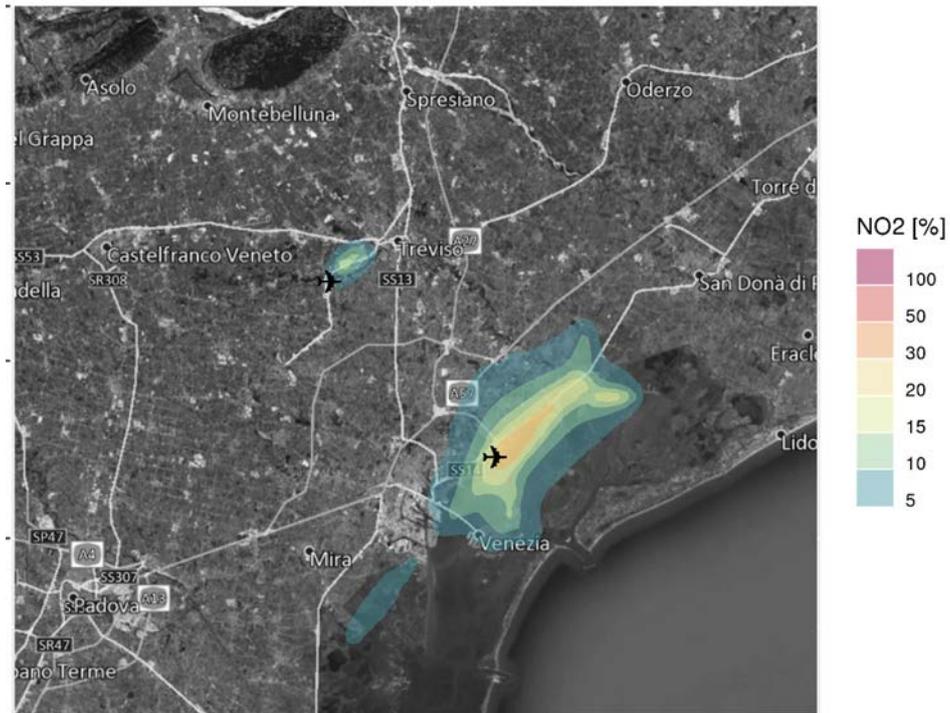


Figura 14. Anno 2018 – Concentrazioni medie annuali di NO₂ – Contributo percentuale degli aeroporti

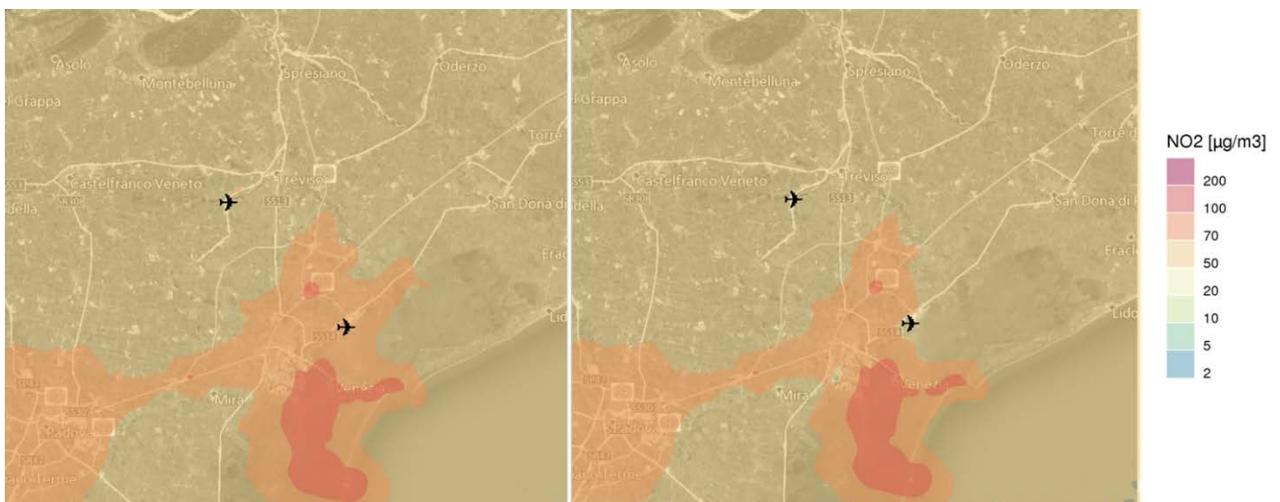


Figura 15. Anno 2018 – 99.8° percentile delle concentrazioni medie orarie di NO₂
A sinistra: tutte le emissioni. A destra: tutte le emissioni tranne quelle afferenti agli aeroporti

Massimo nel dominio = 38.33 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

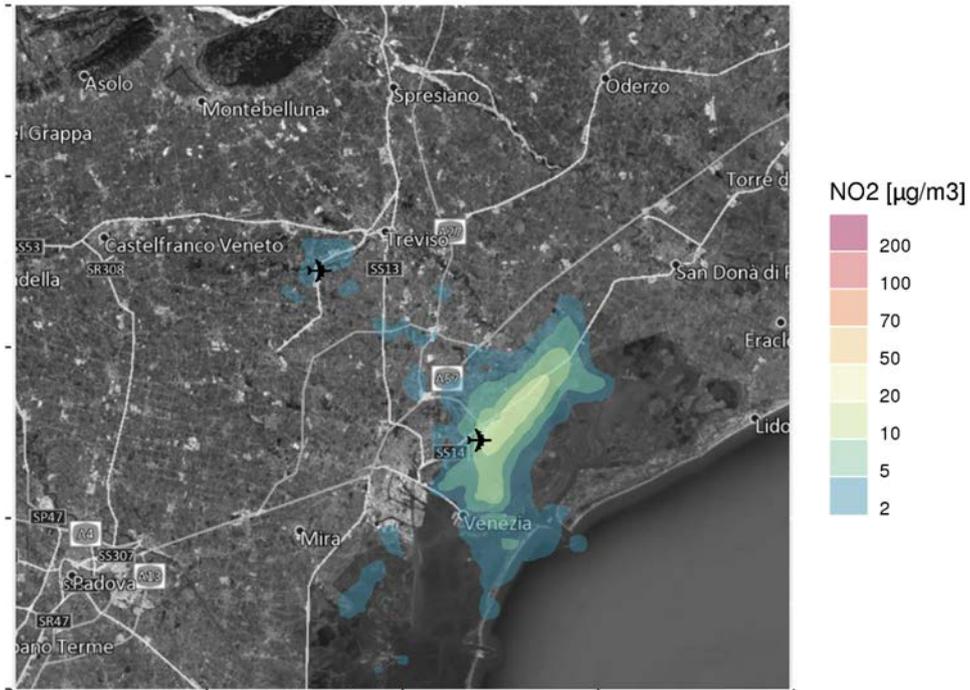


Figura 16. Anno 2018 – 99.8° percentile delle concentrazioni medie orarie di NO₂ – Contributo assoluto degli aeroporti

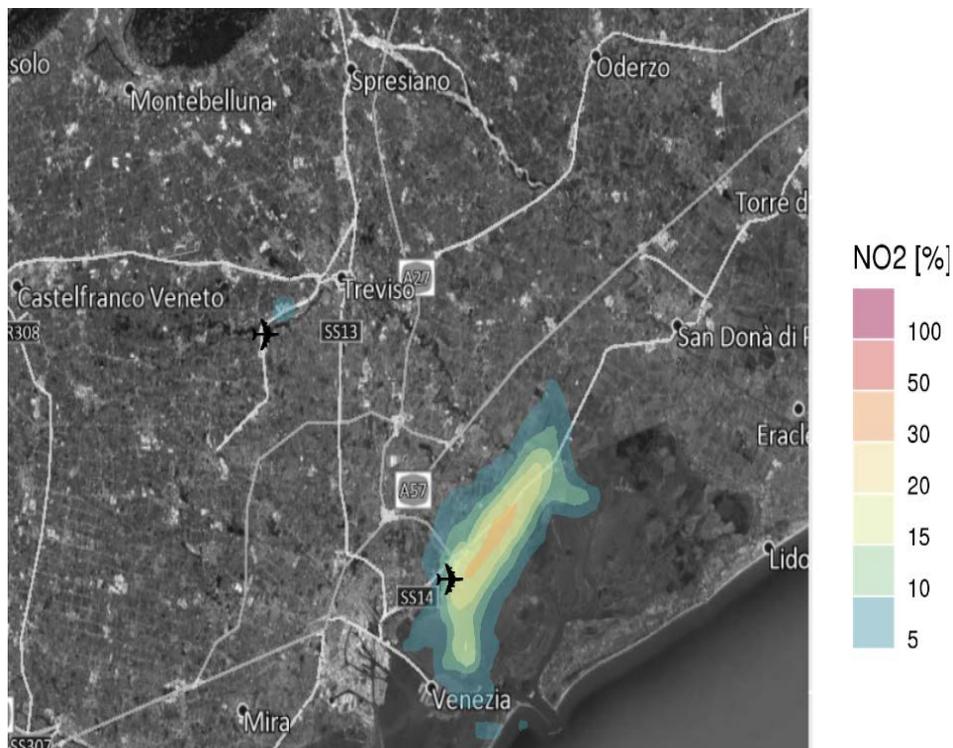


Figura 17. Anno 2018 – 99.8° percentile delle concentrazioni medie orarie di NO₂ – Contributo percentuale degli aeroporti

6.3.2 PM10

La Figura 18 riporta i campi, su tutto il dominio di calcolo, delle concentrazioni al suolo di PM10 medie annuali generate dal complesso delle emissioni considerate, con e senza il contributo aeroportuale. Le due mappe sono pressoché indistinguibili, con valori di concentrazione abbastanza omogenei, come ci si attende da un inquinante ubiquitario come il particolato, e i massimi in corrispondenza dei centri abitati dell'entroterra veneziano e delle province di Treviso e Padova. In nessun punto sono stimati superamenti del limite di legge di $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ per la protezione della salute umana. La Figura 19 e la Figura 20 mostrano il contributo degli aeroporti, ottenuto per differenza fra le due mappe, in termini assoluti e percentuali. Anche in questo caso il contributo massimo si ha all'interno del sedime dell'aeroporto di Venezia, rispettivamente di $1.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ e di circa il 9%. A poca distanza i contributi raggiungono valori ancora più bassi e pressoché trascurabili.

La Figura 21, la Figura 22 e la Figura 23 mostrano le corrispondenti mappe relative al 90.4 percentile delle concentrazioni medie giornaliere di PM10 nell'anno, da confrontare con il valore limite legislativo di $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ da non superare per più di 35 volte l'anno. Un valore maggiore di $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ di tale indicatore equivale alla presenza di un numero di superamenti maggiore del limite consentito. Ciò accade in corrispondenza dei maggiori centri abitati del Miranese oltre che a Treviso, Montebelluna e Asolo. Il contributo delle emissioni afferenti agli aeroporti è poco più che trascurabile solo a Tessera e sulle rotte dei mezzi di trasporto acquei di collegamento con il centro storico, con valori massimi di circa $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ e del 6% circa.



Figura 18. Anno 2018 – Concentrazioni medie annuali di PM10
A sinistra: tutte le emissioni. A destra: tutte le emissioni tranne quelle afferenti agli aeroporti

Massimo nel dominio = 1.50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

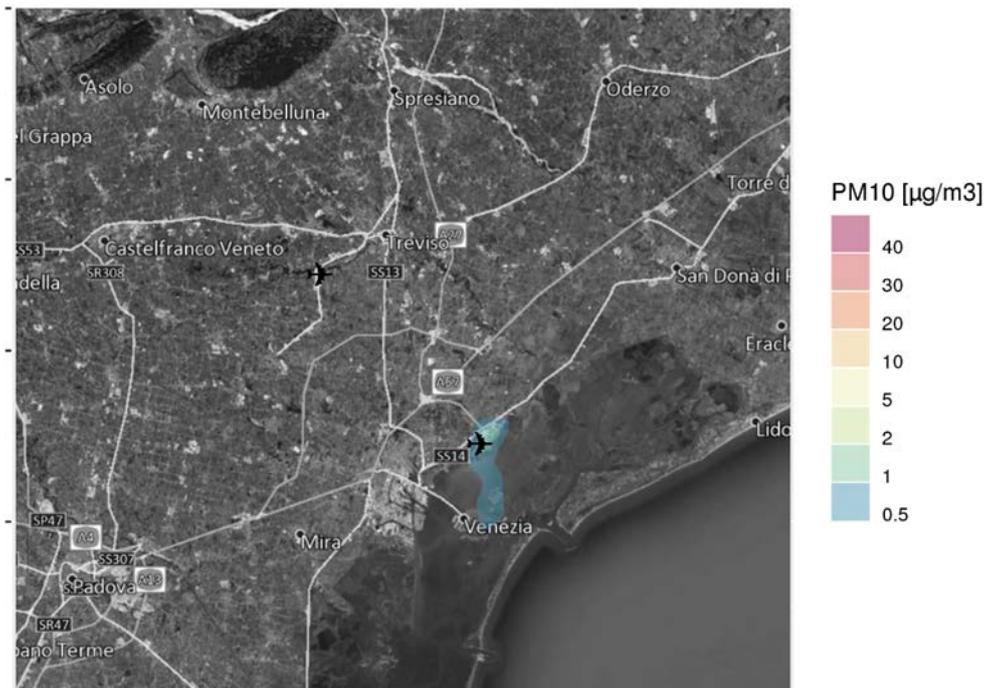


Figura 19. Anno 2018 – Concentrazioni medie annuali di PM10 – Contributo assoluto degli aeroporti

Massimo nel dominio = 9.15 %



Figura 20. Anno 2018 – Concentrazioni medie annuali di PM10 – Contributo percentuale degli aeroporti

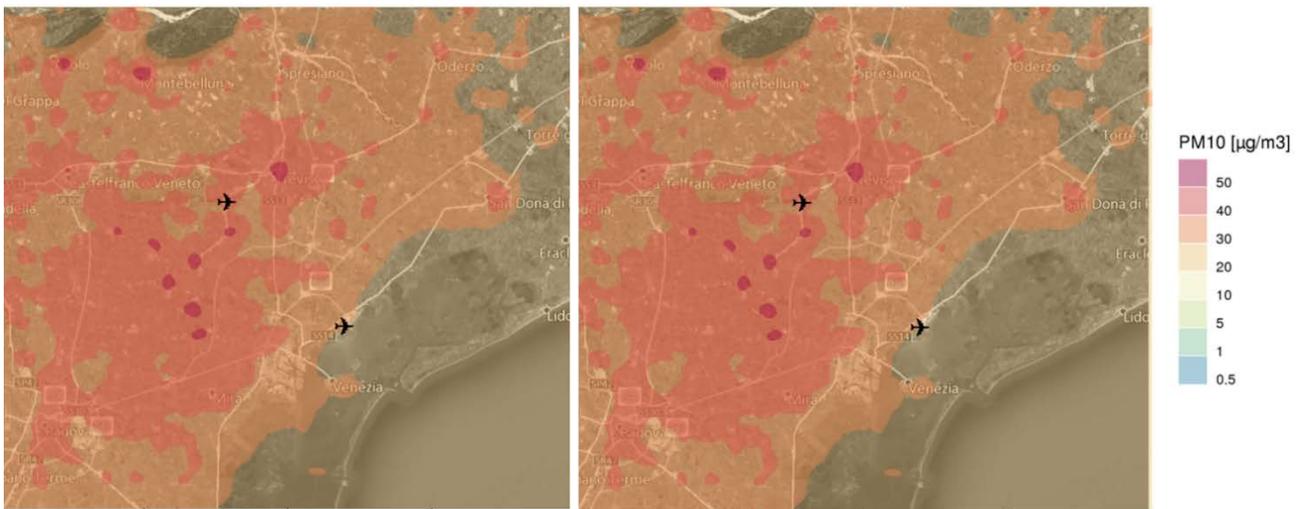


Figura 21. Anno 2018 – 90.4° percentile delle concentrazioni medie giornaliere di PM10
A sinistra: tutte le emissioni. A destra: tutte le emissioni tranne quelle afferenti agli aeroporti

Massimo nel dominio = 1.92 µg/m³

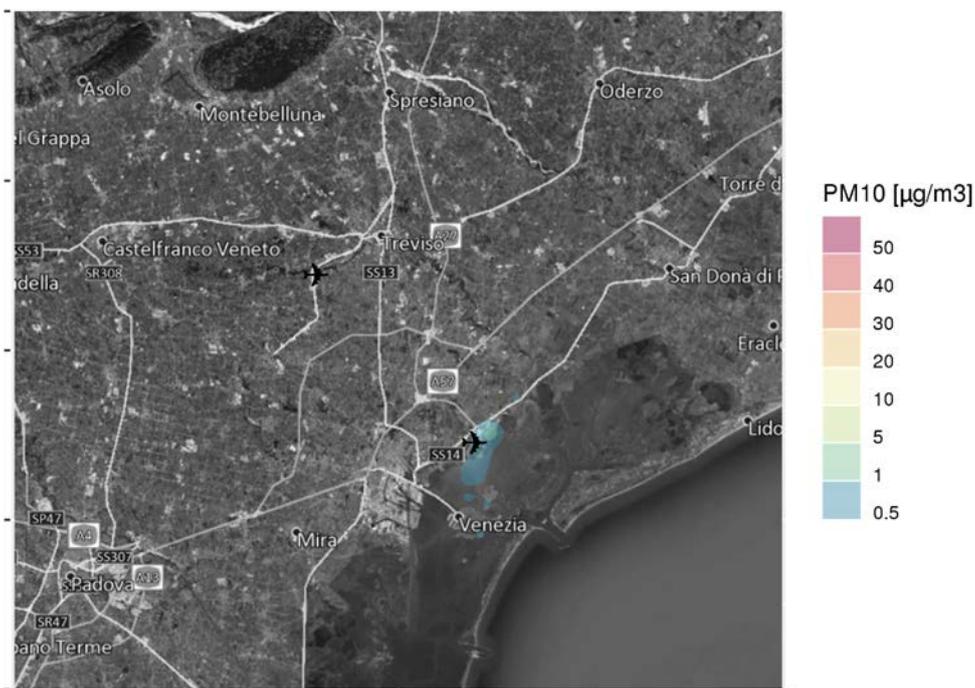


Figura 22. Anno 2018 – 90.4° percentile delle concentrazioni medie orarie di PM10 – Contributo assoluto degli aeroporti

Massimo nel dominio = 6.38 %



Figura 23. Anno 2018 – 90.4° percentile delle concentrazioni medie orarie di PM10 – Contributo percentuale degli aeroporti

6.3.3 PM2.5

La Figura 24 riporta i campi, su tutto il dominio di calcolo, delle concentrazioni al suolo di PM2.5 medie annuali generate dal complesso delle emissioni considerate, con e senza il contributo aeroportuale. Come per il PM10 non sono apprezzabili differenze fra le due mappe, e i massimi sono localizzati nelle stesse aree. In nessun punto sono stimati superamenti del limite di legge di $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$, anche se in quasi tutto il dominio le medie annuali sono superiori ai $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

La Figura 25 e la Figura 26 mostrano il contributo degli aeroporti, ottenuto per differenza fra le due mappe, in termini assoluti e percentuali. In aeroporto a Tessera il massimo contributo assoluto supera di poco $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ e quello massimo percentuale è stimato del 7% circa. Nel resto del dominio i valori sono pressoché trascurabili.



Figura 24. Anno 2018 – Concentrazioni medie annuali di PM2.5
A sinistra: tutte le emissioni. A destra: tutte le emissioni tranne quelle afferenti agli aeroporti

Massimo nel dominio = 1.13 $\mu\text{g}/\text{m}^3$



Figura 25. Anno 2018 – Concentrazioni medie annuali di PM2.5 – Contributo assoluto degli aeroporti

Massimo nel dominio = 7.38 %



Figura 26. Anno 2018 – Concentrazioni medie annuali di PM2.5 – Contributo percentuale degli aeroporti

6.3.4 Biossido di zolfo

La Figura 27 riporta i campi, su tutto il dominio di calcolo, delle concentrazioni al suolo di SO₂ medie annuali generate dal complesso delle emissioni considerate, con e senza il contributo aeroportuale. I valori superano i 5 µg/m³ solo sulle rotte navali lagunari e non raggiungono mai il valore limite di 20 µg/m³, peraltro relativo alla protezione della vegetazione e non della salute umana.

Il contributo assoluto delle emissioni aeroportuali è ovunque ridotto (Figura 28) con un massimo inferiore a 2 µg/m³ a Tessera. Il contributo percentuale è superiore al 10% nei punti-griglia relativi alle piste dei due aeroporti (Figura 29), a conferma del fatto che per questo inquinante, ormai residuale grazie alle misure messe in atto nei decenni scorsi, giocano un ruolo marginale e non critico le emissioni dei trasporti non stradali.

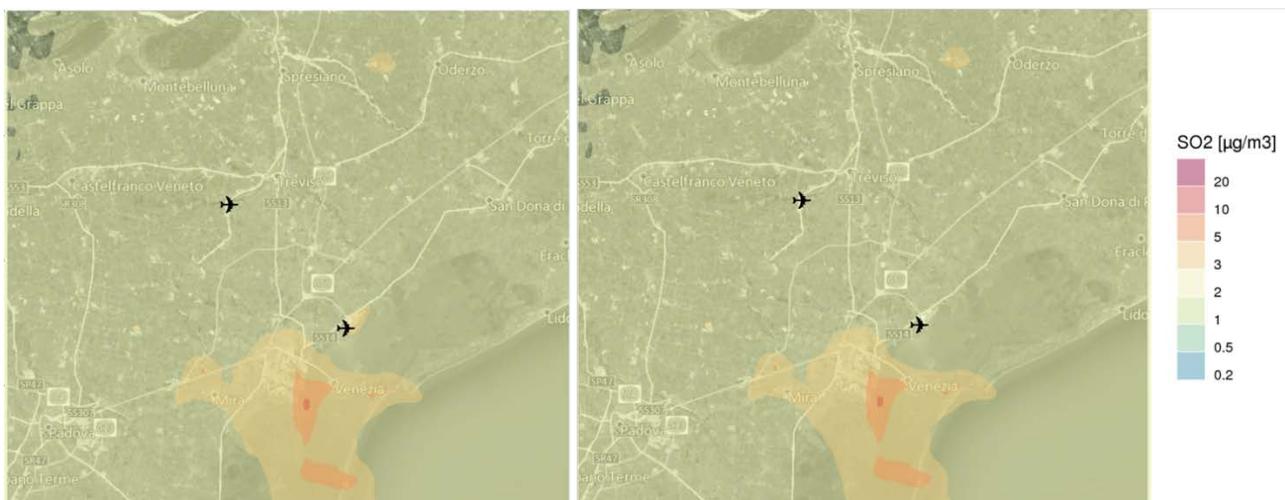


Figura 27. Anno 2018 – Concentrazioni medie annuali di SO₂
A sinistra: tutte le emissioni. A destra: tutte le emissioni tranne quelle afferenti agli aeroporti

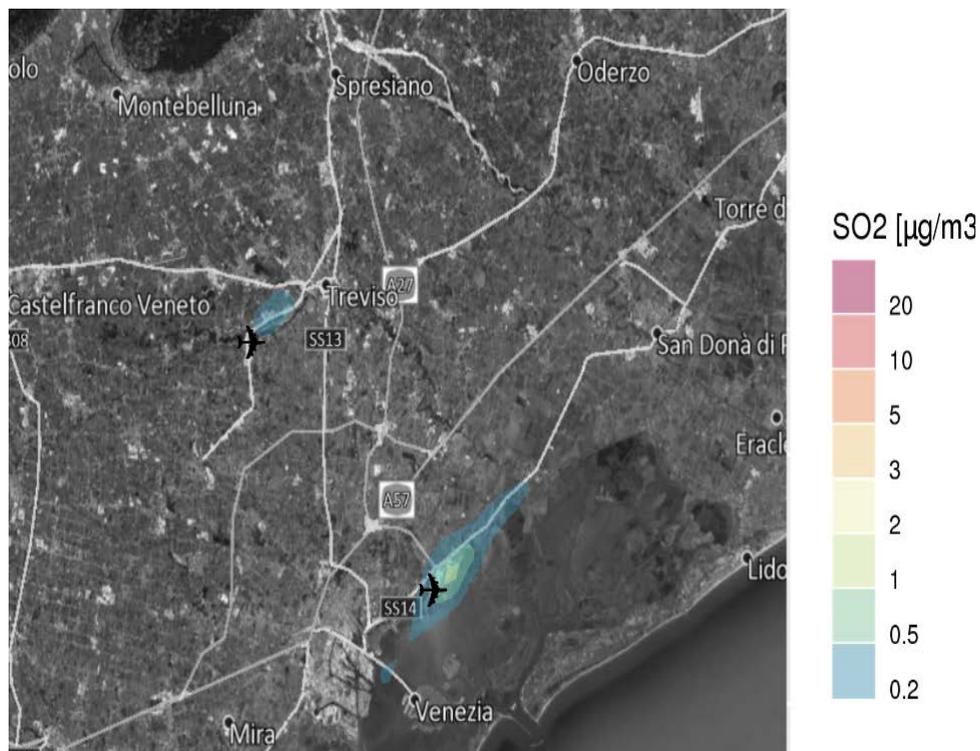


Figura 28. Anno 2018 – Concentrazioni medie annuali di SO₂ – Contributo assoluto degli aeroporti

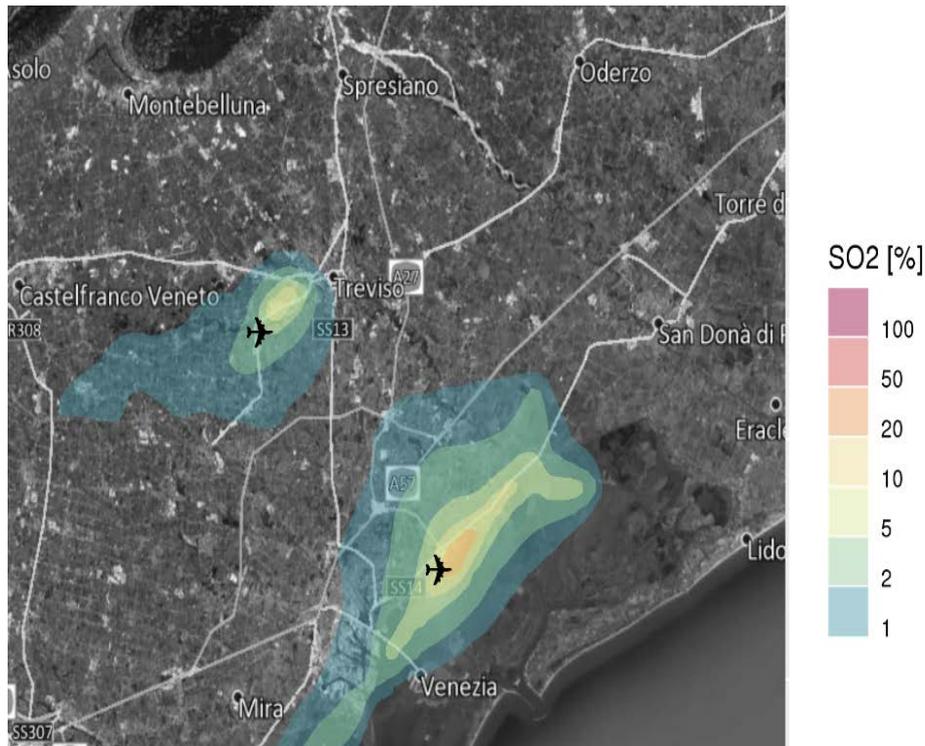


Figura 29. Anno 2018 – Concentrazioni medie annuali di SO₂ – Contributo percentuale degli aeroporti

6.3.5 Benzene

La Figura 30 riporta i campi, su tutto il dominio di calcolo, delle concentrazioni al suolo di C₆H₆ medie annuali generate dal complesso delle emissioni considerate, con e senza il contributo aeroportuale. I valori massimi si riscontrano nell'agglomerato di Padova e sul porto commerciale di Venezia, ma in nessun punto sono stimati superamenti del limite di legge di 5 µg/m³.

La Figura 31 e la Figura 32 mostrano il contributo degli aeroporti, ottenuto per differenza fra le due mappe, in termini assoluti e percentuali. A Tessera il massimo contributo assoluto è di circa 0.25 µg/m³ mentre nel resto del dominio i valori sono trascurabili. Il contributo massimo percentuale raggiunge poco meno del 30% in corrispondenza dei serbatoi di carburante dell'aeroporto Marco Polo, e rimane sopra il 5% lungo le rotte dei vaporetti verso Venezia.



Figura 30. Anno 2018 – Concentrazioni medie annuali di C₆H₆
A sinistra: tutte le emissioni. A destra: tutte le emissioni tranne quelle afferenti agli aeroporti

Massimo nel dominio = 0.26 $\mu\text{g}/\text{m}^3$



Figura 31. Anno 2018 – Concentrazioni medie annuali di C6H6 – Contributo assoluto degli aeroporti

Massimo nel dominio = 27.61 %

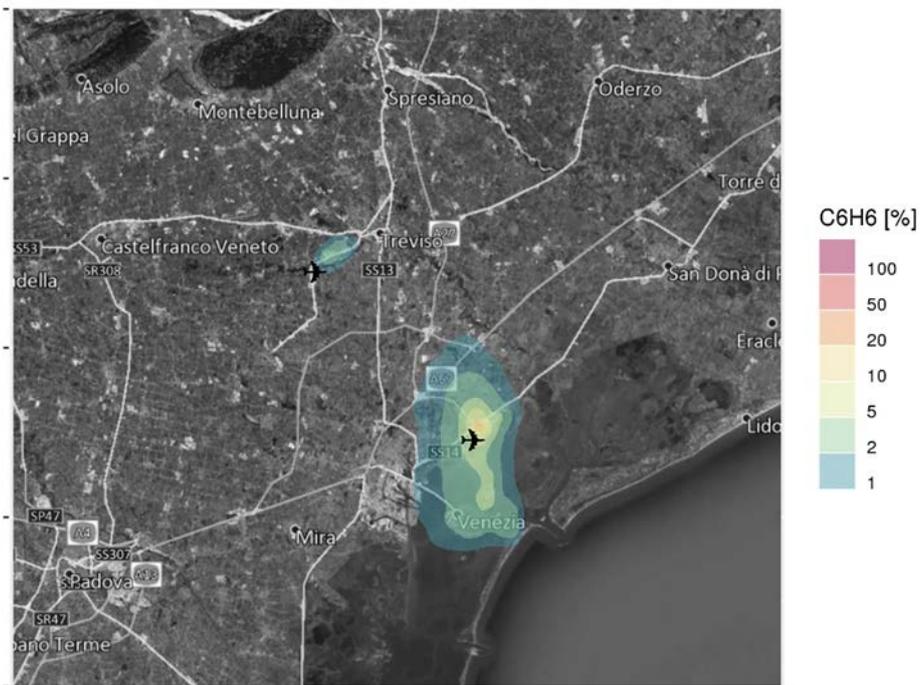


Figura 32. Anno 2018 – Concentrazioni medie annuali di C6H6 – Contributo percentuale degli aeroporti

6.4 Risultati - Confronto con i dati misurati dalle stazioni di monitoraggio

La potenzialità di un sistema modellistico basato su un codice euleriano reattivo, adeguatamente alimentato con dati meteorologici, emissivi ed al contorno realistici, è quella di poter riprodurre i livelli di concentrazione complessivi di inquinanti primari e secondari riscontrabili nell'aria ambiente, così come le principali caratteristiche delle loro distribuzioni nel tempo e nello spazio, compatibilmente con la risoluzione adottata. Per verificare ciò nel caso in esame, le concentrazioni simulate dal modello sono state messe a confronto con i valori rilevati in corrispondenza delle stazioni della rete di monitoraggio della qualità dell'aria di ARPA Veneto e delle due centraline installate presso gli aeroporti di Venezia e Treviso, gestite da Ente della Zona Industriale di Porto Marghera (EZIPM), illustrate in Figura 33.

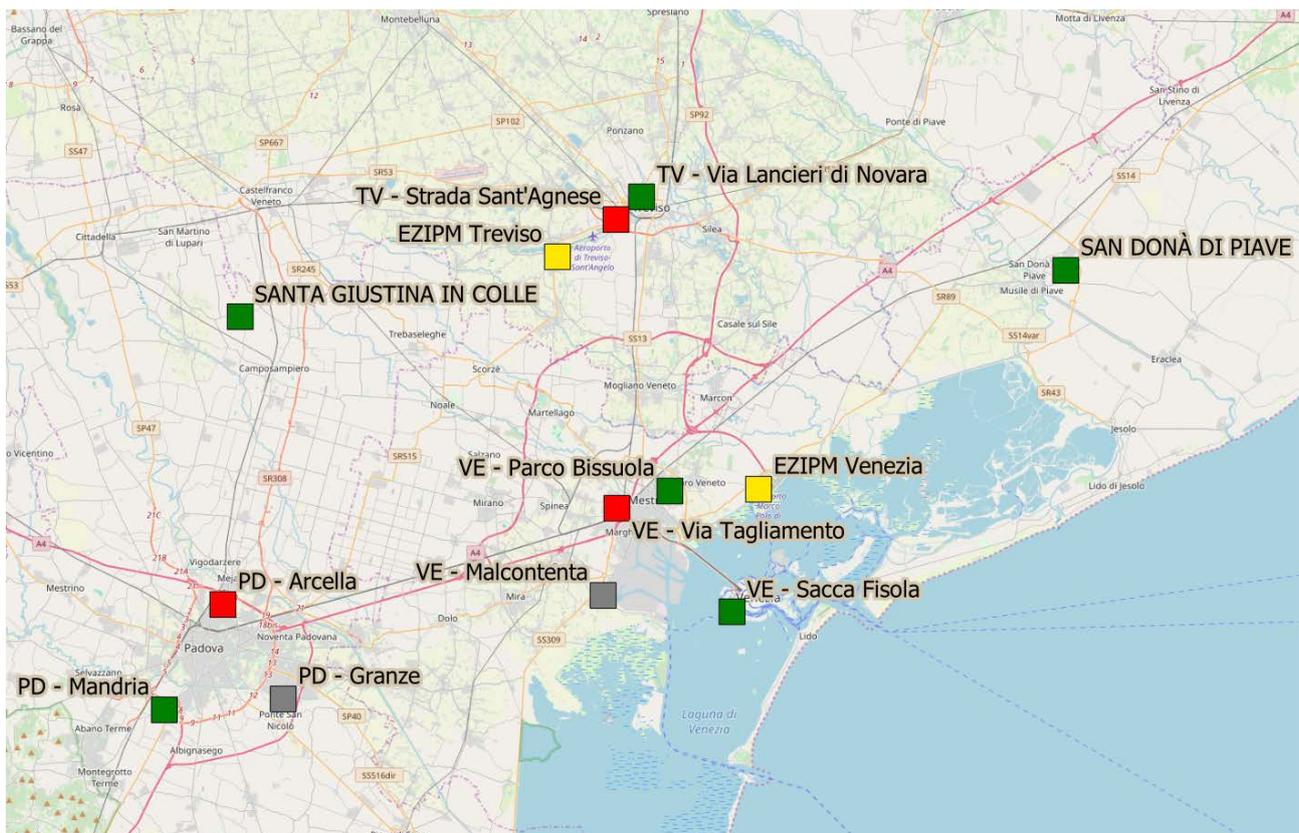


Figura 33. Postazioni di misura nel dominio: ARPAV di fondo (verde), ARPAV di traffico (rosso), ARPAV industriali (grigio), EZIPM aeroportuali (giallo)

SAVE S.p.A., in collaborazione con EZIPM, ha infatti promosso nel 2008 un progetto per il monitoraggio della qualità dell'aria nei pressi dell'aeroporto di Venezia, poi esteso all'aeroporto di Treviso. A Tesserà da giugno 2009 sono monitorate in continuo le concentrazioni dei principali contaminanti atmosferici con una centralina mobile (Figura 34) localizzata a sud ovest del terminal (latitudine 45° 30' 02.47" N, longitudine 12° 20' 06.69"), presso la darsena per i collegamenti via acqua tra l'aeroporto e Venezia, al limitare di un parcheggio auto.

Nel 2011 è stata attivata anche a Treviso una postazione di misura, situata in via Cornare, che a maggio 2016 è stata spostata di circa 850 metri in direzione ovest e installata presso un parcheggio auto in viale Giotto a Quinto di Treviso (Figura 35), a sud ovest della pista (latitudine 45° 38' 13.32" N, longitudine 12° 10' 04.20" E).



Figura 34. Anno 2018 – Posizione della postazione di misura EZIPM a Tessera (giallo)



Figura 35. Anno 2018 – Posizione della postazione di misura EZIPM a Quinto di Treviso (giallo)

I grafici che seguono mostrano le serie annuali dei valori medi giornalieri misurati dalle centraline per alcune specie e dei corrispondenti valori calcolati dal modello FARM. Nel confronto tra i valori è bene ricordare la risoluzione adottata nella simulazione (valori medi su griglia di $1 \times 1 \text{ km}^2$): situazioni eventualmente presenti in corrispondenza di una stazione che siano a carattere fortemente locale non sono infatti riproducibili da parte del modello, se hanno una scala spaziale inferiore al passo griglia adottato.

6.4.1 Biossido di azoto

Il confronto fra le medie giornaliere del NO_2 mostra l'eterogeneità fra i tipi di stazione di monitoraggio, con le quali il grado di accordo delle stime del modello FARM varia a seconda della situazione. In aeroporto a Tessera (Figura 36) il modello riproduce in modo soddisfacente l'andamento generale delle concentrazioni al variare delle stagioni, salvo episodi di sovrastima a marzo e settembre e una significativa sottostima durante il mese di gennaio: tale sottostima si riscontra in misura molto minore presso le stazioni di ARPAV: questo induce a pensare che la stazione di Tessera ha risentito in quel periodo di emissioni legate ad attività temporanee. La Figura 37 mostra che presso l'aeroporto di Treviso la sottostima è generalizzata e può risentire del dettaglio non sufficiente con cui sono state fornite al modello le emissioni della zona: a differenza del caso di Venezia, in cui sono state utilizzate sia le emissioni dell'aeroporto, che quelle del traffico (stradale e navale) indotte dall'attività aeroportuale, per Treviso è stato usato il dato globale presente nell'inventario regionale INEMAR per le emissioni dell'aeroporto e il dato di traffico riferito ai comuni della zona. I grafici di Figura 38, prodotti considerando le stazioni della rete ARPAV classificate come di fondo, evidenziano che le medie giornaliere sono riprodotte in modo particolarmente soddisfacente in corrispondenza della stazione del parco Bissuola, rappresentativa del fondo urbano di Mestre: solo alcuni picchi nella stagione invernale sono sottostimati, così come per la stazione di Padova Mandria. I valori in corrispondenza della stazione di Venezia Sacca Fisola sono correttamente stimati in inverno e presentano sovrastime nella stagione estiva, in cui è possibile che non siano correttamente descritte le emissioni navali oppure la dispersività dell'atmosfera sovrastante la laguna. Nelle restanti centraline di fondo (Treviso, San Donà e Santa Giustina) si conferma la buona capacità del modello di riprodurre i livelli di concentrazione in inverno, mentre in estate si riscontrano sottostime su livelli misurati al di sotto del limite di legge sulla media annuale.

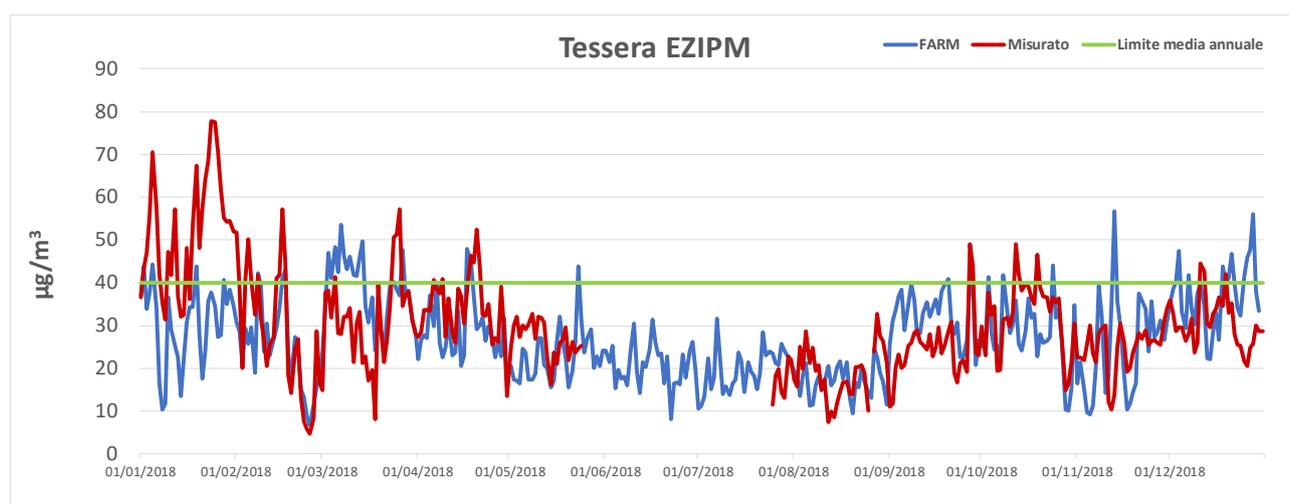


Figura 36. Anno 2018 – Concentrazioni medie giornaliere di NO_2 in corrispondenza della centralina EZIPM di Tessera. Rosso: misura, blu: modello FARM, verde: limite media annuale

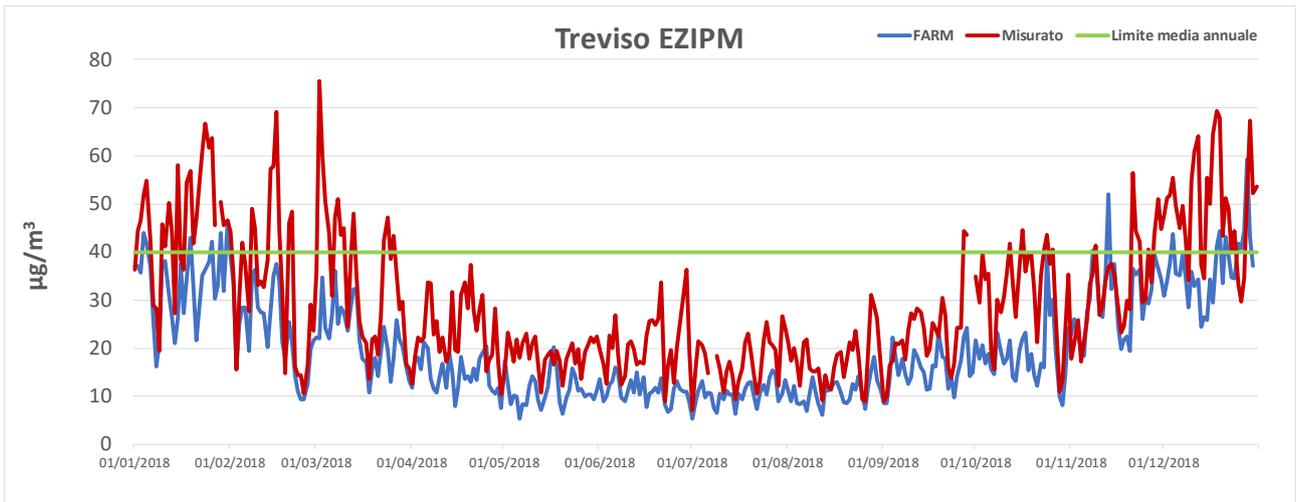
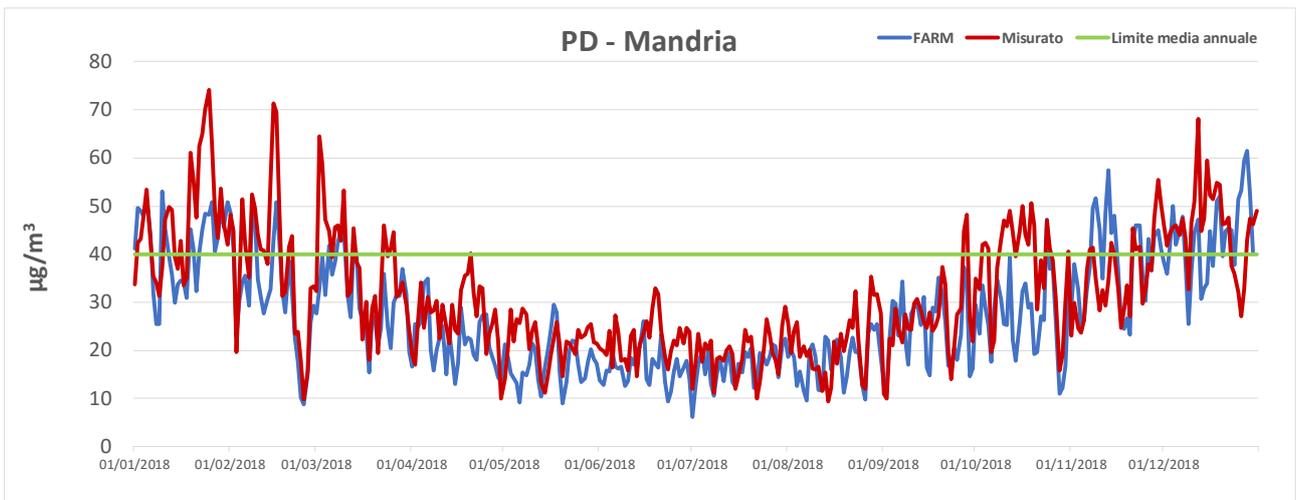
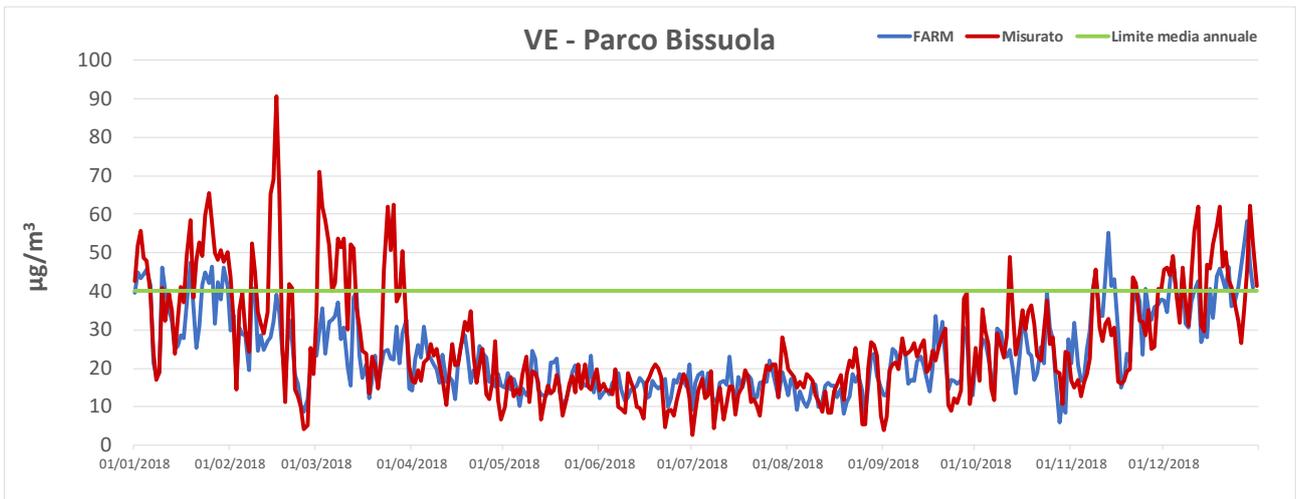
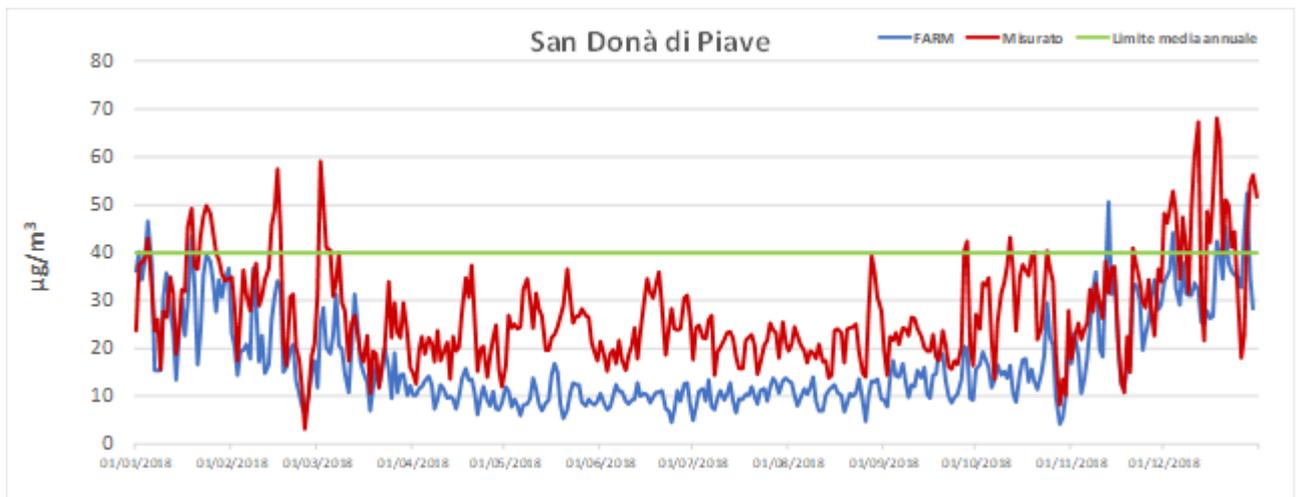
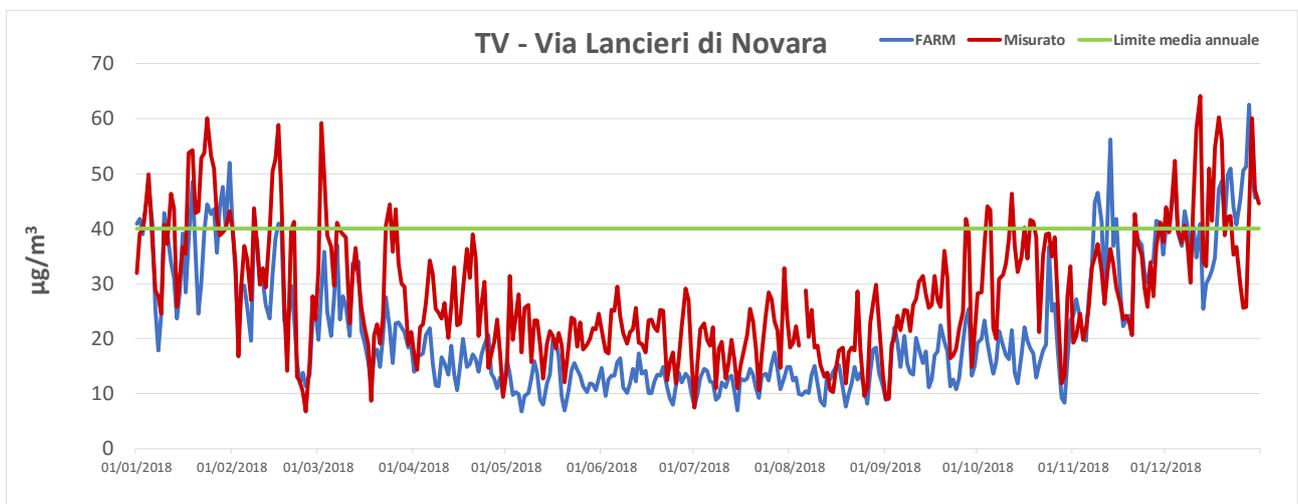
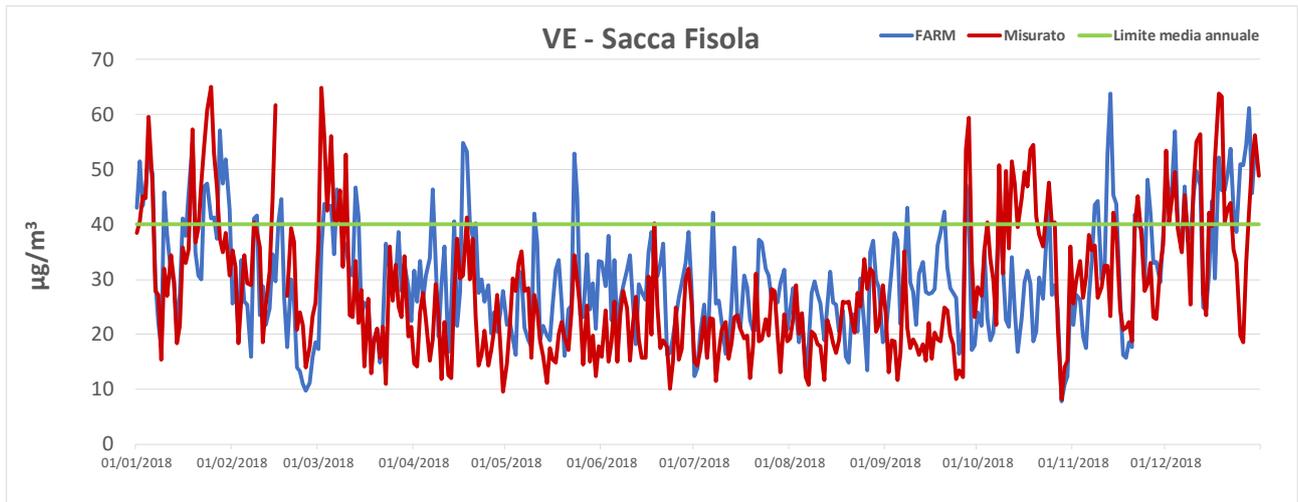


Figura 37. Anno 2018 – Concentrazioni medie giornaliere di NO₂ in corrispondenza della centralina EZIPM di Treviso. Rosso: misura, blu: modello FARM, verde: limite media annuale





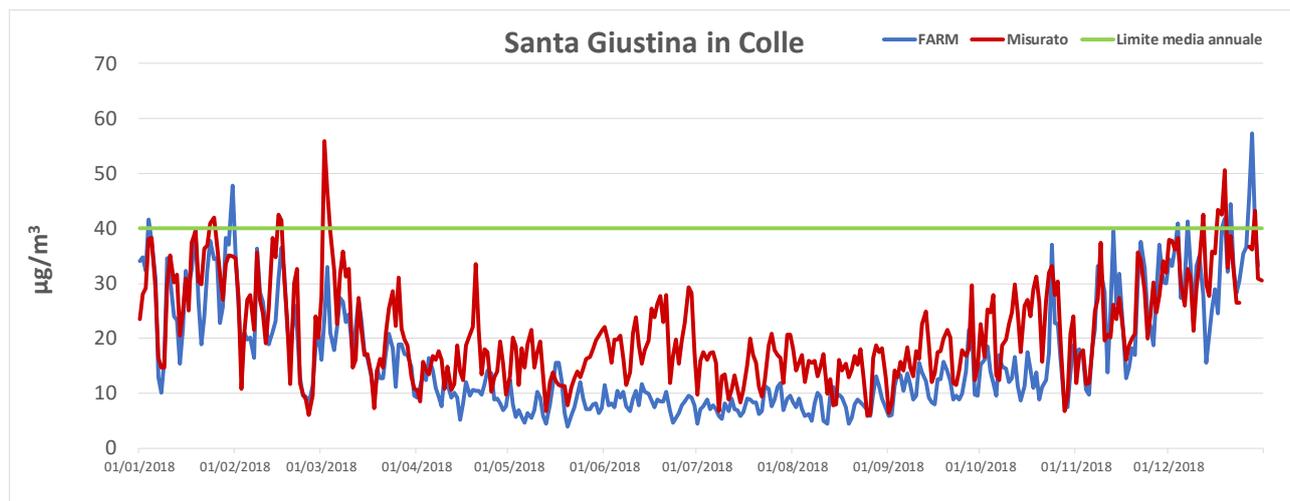


Figura 38. Anno 2018 – Concentrazioni medie giornaliere di NO₂ in corrispondenza delle centraline ARPAV di fondo. Rosso: misura, blu: modello FARM, verde: limite media annuale

6.4.2 *Particolato fine*

I grafici relativi al particolato mostrano un comportamento più omogeneo delle concentrazioni calcolate dal modello FARM rispetto a quelle misurate, che presentano d'altra parte caratteristiche simili, come ci si aspetta da un inquinante tendenzialmente più ubiquitario rispetto al NO₂. In tutte le stazioni i picchi verificatisi nei primi tre mesi dell'anno sono sottostimati da FARM, che è invece in grado di descrivere correttamente gli andamenti nei mesi di fine anno. Le sottostime si verificano anche nel resto dell'anno per quanto riguarda il PM₁₀, mentre nelle stazioni in cui sono presenti misure anche di PM_{2.5} è possibile constatare che questa frazione del particolato è stimata correttamente, in particolare a Mestre, a Treviso e a San Donà di Piave. Questo fatto potrebbe indicare che le emissioni di PM_{2.5}, prevalentemente provenienti da attività antropiche legate alla combustione (motori, processi industriali, riscaldamento, ...), sono descritte in modo più accurato rispetto a quelle legate alla frazione grossolana o "coarse" (cantieri, risollevarimento, sali marini, ...) presente nell'inventario. Inoltre nel modello non sono stati considerati gli apporti dovuti agli episodi di trasporto di polveri sahariane su larga scala o a particolari eventi come la combustione di legna in occasione di feste popolari come il 6 gennaio che genera, per quasi tutte le stazioni di monitoraggio, il massimo di concentrazione annuale.

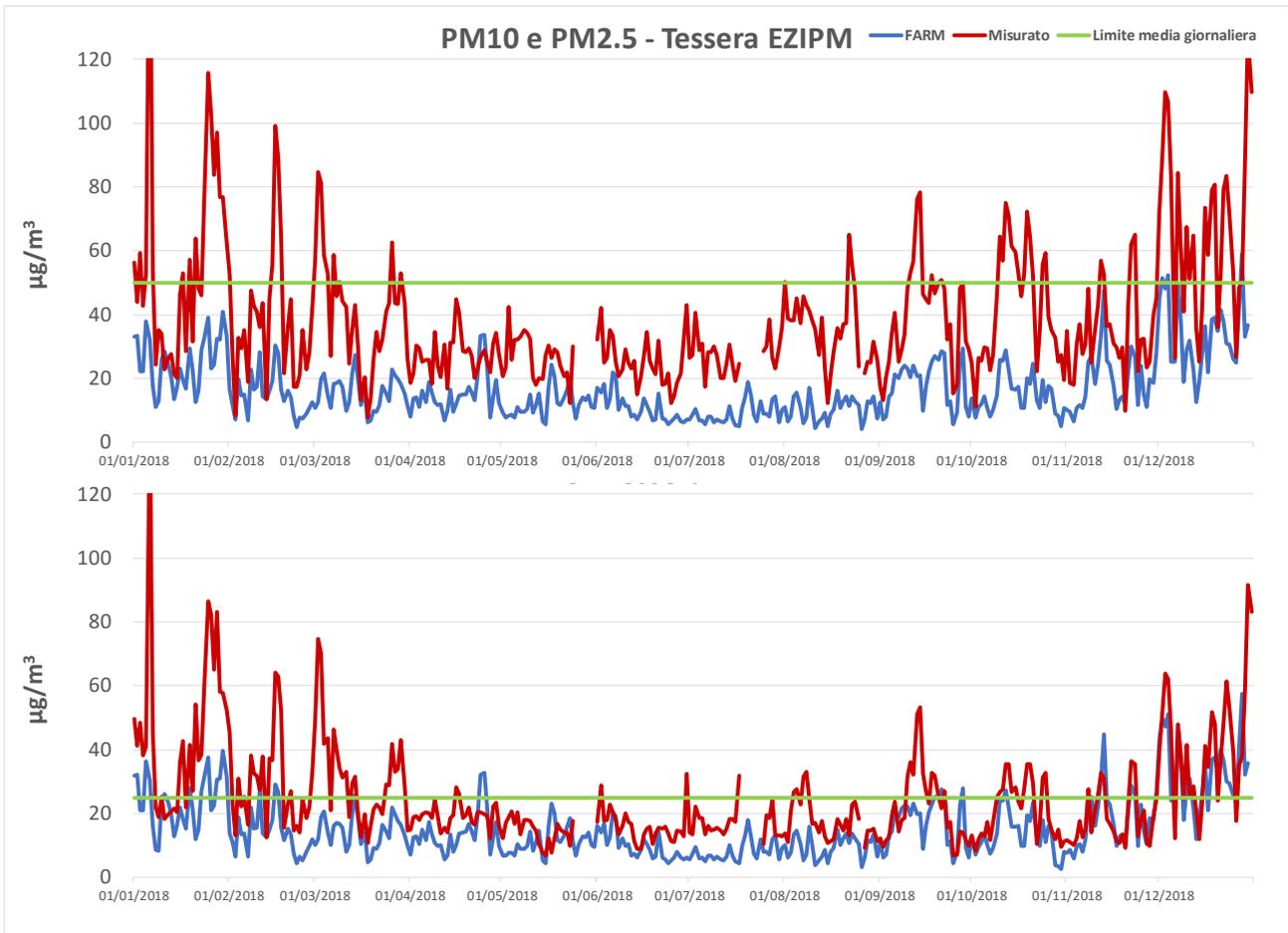


Figura 39. Anno 2018 – Concentrazioni medie giornaliere di PM10 (in alto) e PM2.5 (in basso) in corrispondenza della cabina EZIPM di Tessera. Rosso: misura, blu: FARM, verde: limiti di legge

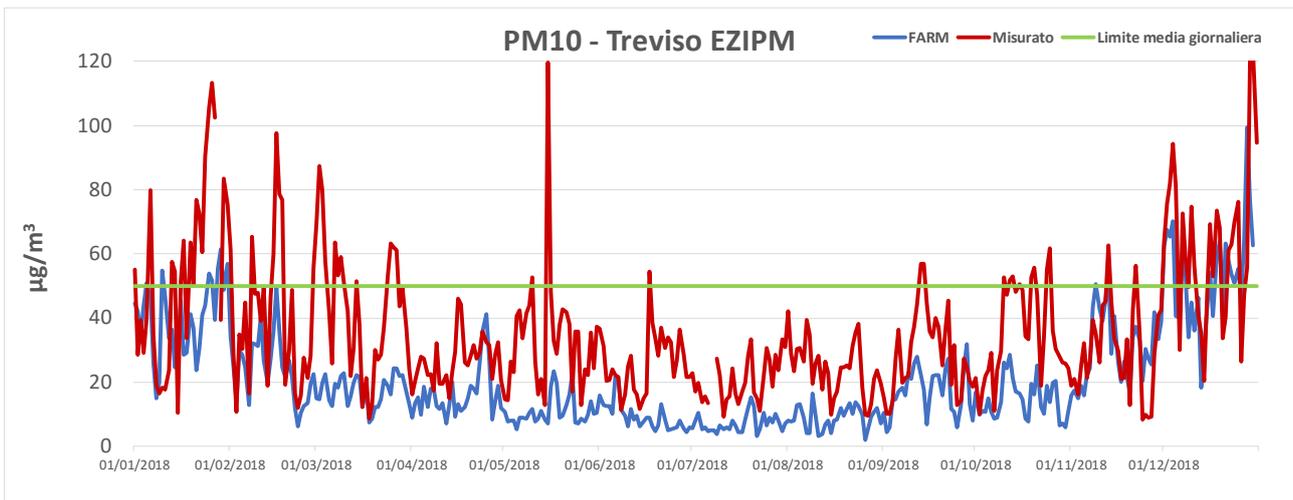
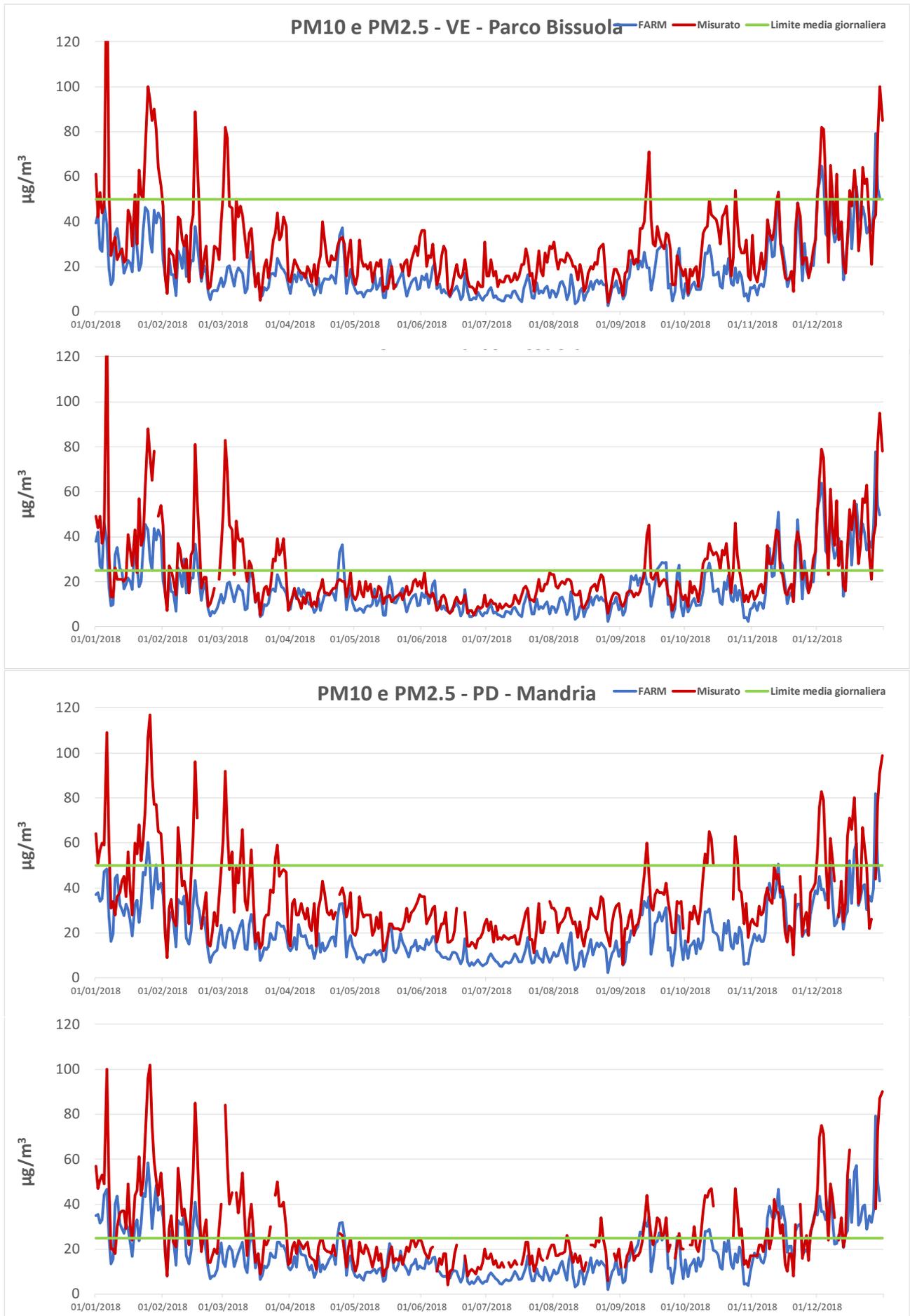
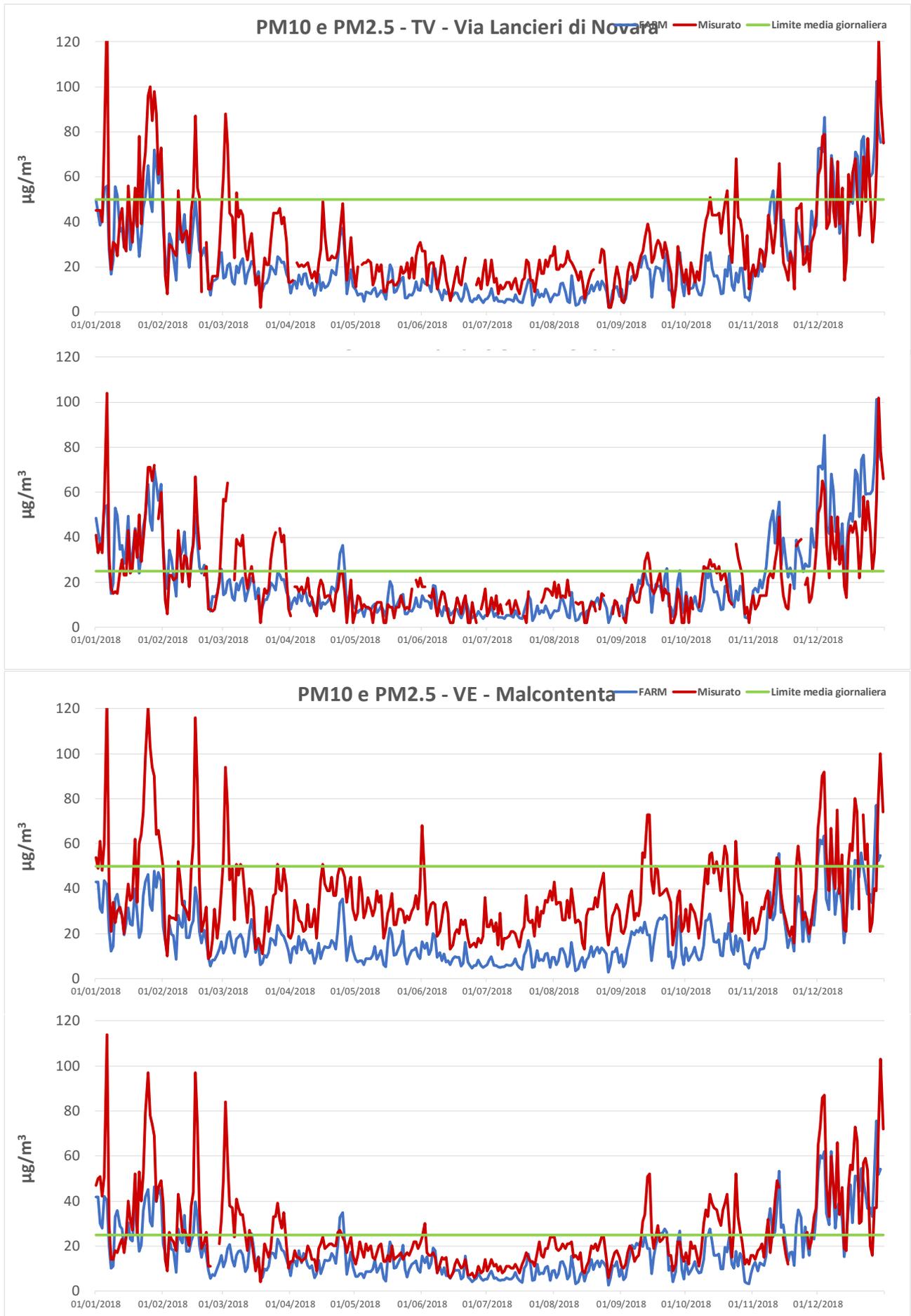


Figura 40. Anno 2018 – Concentrazioni medie giornaliere di PM10 in corrispondenza della cabina EZIPM di Treviso. Rosso: misura, blu: FARM, verde: limite media giornaliera





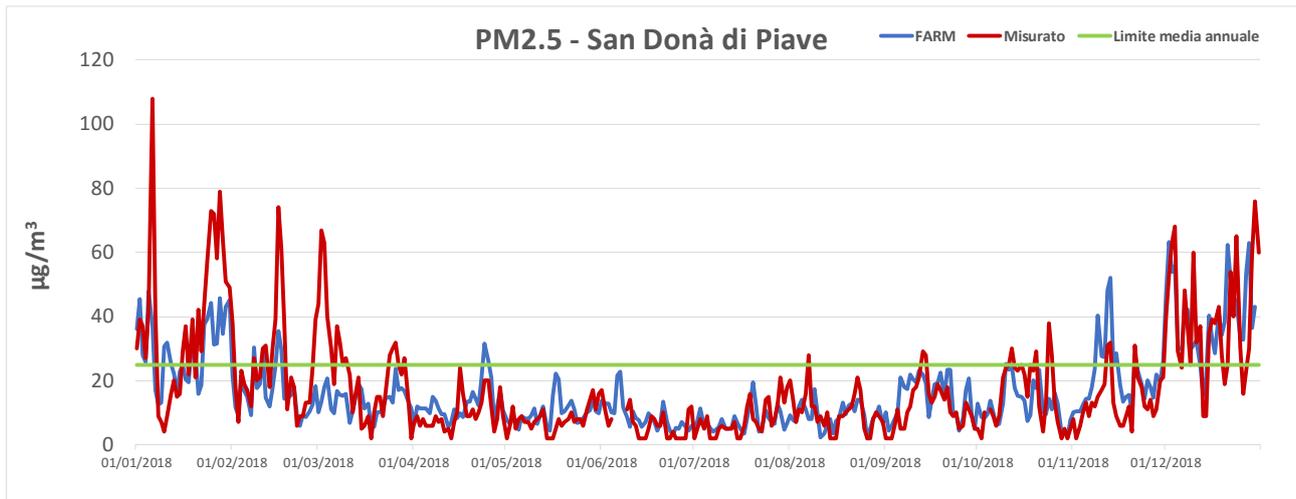


Figura 41. Anno 2018 – Concentrazioni medie giornaliere di PM10 (in alto) e PM2.5 (in basso) in corrispondenza delle centraline ARPAV di fondo e industriali. Rosso: misura, blu: FARM, verde: limiti di legge

7 Conclusioni

È stato realizzato uno studio modellistico su base annuale per l'anno 2018 dell'impatto in atmosfera delle emissioni afferenti alle attività degli aeroporti Marco Polo di Venezia e Antonio Canova di Treviso, allo scopo di stimare il loro contributo totale alla qualità dell'aria del territorio su cui insistono. A tal fine è stato utilizzato il modello euleriano di trasporto e chimica dell'atmosfera FARM, in grado di tenere conto della dinamica complessiva delle concentrazioni su scala regionale, dovuta all'avvezione e dispersione turbolenta, dai fenomeni fisico-chimici a cui sono sottoposti gli inquinanti, dalla deposizione e dalle condizioni presenti all'esterno del dominio di simulazione.

FARM è inserito in un sistema modellistico costituito da un insieme di codici in grado di ricostruire l'input meteorologico mediante una discesa di scala fino al dominio scelto, delle dimensioni orizzontali di $68 \times 60 \text{ km}^2$ e alla risoluzione orizzontale di 1 km, a partire da simulazioni effettuate mediante il modello a mesoscala prognostico WRF.

Dovendo stimare l'impatto totale delle emissioni legate alle attività dell'aeroporto, si deve considerare, oltre alle emissioni primarie, anche il contributo di queste alla formazione di inquinanti secondari: per realizzare tale obiettivo occorre considerare tutte le emissioni presenti in atmosfera che concorrono alla formazione dei secondari. Pertanto come input emissivo di base si è considerato l'inventario regionale INEMAR realizzato da ARPA Veneto e aggiornato al 2015, che cataloga tutte le emissioni (traffico, industria, riscaldamento, agricoltura,,). Per l'aeroporto di Venezia sono state considerate in dettaglio tutte le emissioni afferenti alle attività aeroportuali (aeromobili, mezzi a terra, centrali termiche, serbatoi) e quelle del traffico (stradale e navale) indotto.

Per l'aeroporto di Treviso sono state utilizzate le emissioni dell'inventario regionale.

Le condizioni al contorno, che contribuiscono a determinare i livelli di fondo delle concentrazioni all'interno del dominio e indirettamente di considerare gli apporti delle sorgenti più remote, sono state predisposte a partire dai campi 3D di concentrazione a scala nazionale prodotti dal sistema modellistico QualeAria.

Per stimare il contributo degli aeroporti alla qualità dell'aria sul dominio regionale, sono state eseguite due simulazioni sull'intero anno 2018 su base oraria, una comprendente tutte le emissioni sul dominio considerato e l'altra senza le emissioni afferenti agli aeroporti di Venezia e Treviso. Per differenza fra le due simulazioni è stato poi ottenuto il contributo degli aeroporti.

Dalle simulazioni ora per ora ottenute dal modello FARM, sono state prodotte le mappe delle concentrazioni al suolo degli inquinanti normati e degli indicatori statistici soggetti ai limiti della normativa vigente sulla qualità dell'aria.

Per il biossido di azoto i valori massimi sul dominio sono stimati lungo le rotte di avvicinamento delle navi al porto di Venezia, con valori medi annuali superiori al limite di legge di $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$, mentre in prossimità degli aeroporti il limite è rispettato. Il contributo massimo delle emissioni aeroportuali si ha all'interno del sedime dell'aeroporto di Venezia, di circa $16 \mu\text{g}/\text{m}^3$ in termini assoluti e di circa il 52% in termini relativi. Allontanandosi dagli aeroporti i valori scendono sotto $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ e sotto il 5% entro alcuni chilometri. Il valore massimo simulato del 99.8 percentile delle concentrazioni medie orarie nell'anno, che non supera i $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$, si riscontra sulle rotte navali in laguna e indica che in nessun punto, e in particolare in prossimità degli aeroporti, sono stimati superamenti del limite legislativo. Il contributo percentuale massimo si riscontra anche in questo caso sulla pista dell'aeroporto di Venezia.

Per il PM10 i massimi sul dominio della media annuale sono stimati in corrispondenza dei centri abitati, senza che si verifichino superamenti del limite di legge di $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Il contributo massimo delle emissioni aeroportuali si ha all'interno del sedime dell'aeroporto di Venezia, di $1,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ in termini assoluti e di circa il 9% in termini relativi. A poca distanza i contributi raggiungono valori ancora più bassi e pressoché trascurabili. Il valore massimo simulato del 90.4 percentile delle concentrazioni medie giornaliere nell'anno supera il limite legislativo di $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ in corrispondenza di alcuni centri abitati del Miranese e del Trevigiano. Il contributo delle emissioni afferenti agli

aeroporti è poco più che trascurabile solo a Tessera, con valori massimi di circa $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ e del 6% circa.

Per il PM_{2.5} i massimi sul dominio della media annuale sono stimati nelle stesse aree di quelli relativi al PM₁₀, senza che si verifichino superamenti del limite di legge di $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$, anche se in quasi tutto il dominio le medie annuali sono superiori ai $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Sul sito dell'aeroporto di Tessera il massimo contributo assoluto delle emissioni aeroportuali supera di poco $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ e quello massimo percentuale è stimato del 7% circa. Nel resto del dominio i valori sono pressoché trascurabili.

Per il SO₂ i valori stimati sono sempre lontani dai limiti, con medie annuali che superano i $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ solo sulle rotte navali lagunari. Il contributo assoluto delle emissioni aeroportuali è ovunque ridotto, con un massimo inferiore a $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ nel punto-griglia dell'aeroporto di Tessera.

Per il benzene i valori massimi delle medie annuali si riscontrano a Padova e sul porto di Venezia, ma in nessun punto sono stimati superamenti del limite di legge di $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Sull'aeroporto di Venezia il massimo contributo assoluto è di circa $0.25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ mentre nel resto del dominio i valori sono trascurabili. Il contributo massimo percentuale raggiunge poco meno del 30% in corrispondenza dei serbatoi di carburante dell'aeroporto, rimane sopra il 5% lungo le rotte dei vaporette verso Venezia ed è trascurabile altrove.

Le mappe di impatto al suolo dei vari inquinanti mostrano che il contributo aeroportuale alle concentrazioni al suolo all'esterno delle aree aeroportuali è minoritario rispetto a quello delle restanti sorgenti.

Per verificare in che misura il sistema modellistico sia stato in grado di riprodurre i livelli di concentrazione e la loro distribuzione nel tempo e nello spazio, i valori calcolati dal modello sono stati confrontati con quelli rilevati dalle stazioni della rete di monitoraggio di ARPA Veneto e delle due centraline installate presso gli aeroporti di Venezia e Treviso, gestite da EZIPM.

Il confronto fra le medie giornaliere del NO₂ mostra l'eterogeneità fra i tipi di stazione di monitoraggio, con le quali il grado di accordo delle stime del modello FARM varia a seconda della situazione. In aeroporto a Tessera il modello riproduce in modo soddisfacente l'andamento generale delle concentrazioni, mentre a Treviso la sottostima è generalizzata e può risentire del dettaglio non sufficiente con cui sono state fornite al modello le emissioni aeroportuali. I valori sono riprodotti in modo particolarmente soddisfacente in corrispondenza delle stazioni del parco Bissuola e di Padova Mandria. I valori della stazione di Sacca Fisola sono correttamente stimati in inverno mentre nella stagione estiva sono sovrastimati; è possibile che non siano correttamente descritte le emissioni navali oppure la dispersività dell'atmosfera sovrastante la laguna. Nelle restanti centraline di fondo (Treviso, San Donà e Santa Giustina) si conferma la buona capacità del modello di riprodurre i livelli di concentrazione in inverno, mentre l'estate presenta sottostime.

Per il particolato, in tutte le stazioni i picchi verificatisi nei primi tre mesi dell'anno sono sottostimati da FARM, che è invece in grado di descrivere correttamente gli andamenti nei mesi di fine anno. Le sottostime si verificano anche nel resto dell'anno per quanto riguarda il PM₁₀, mentre nelle stazioni in cui sono presenti misure anche di PM_{2.5} è possibile constatare che questa frazione del particolato è stimata correttamente, in particolare a Mestre, a Treviso e a San Donà di Piave. Questo fatto potrebbe indicare che le emissioni di PM_{2.5}, prevalentemente provenienti da attività antropiche legate alla combustione (motori, processi industriali, riscaldamento, ...), sono descritte in modo più accurato rispetto a quelle legate alla frazione grossolana o "coarse" (cantieri, risollevario, sahariane, sali marini, ...) presente nell'inventario.

Nel confronto tra i valori misurati con quelli simulati dal modello, occorre tener presente la risoluzione spaziale adottata (valori medi su griglia di $1 \times 1 \text{ km}^2$): alcune situazioni non sono infatti riproducibili da parte del modello se hanno una scala spaziale inferiore al passo griglia adottato, come pure eventi a carattere fortemente locale.

Nel complesso la simulazione di FARM va considerata soddisfacente per il PM_{2.5} e l'NO₂, mentre per il PM₁₀ occorrerebbe migliorare l'input emissivo per la parte grossolana ("coarse").

8 Bibliografia

- ARIANET R2014.17 (2014): ARIA suites tools - Reference guide. Cap. 10 – Data regridding.
- ARIANET (2015) SURFPro3 (SURrface-atmosphere interFace PROcessor, Version 3) Reference guide. <http://doc.aria-net.it/SURFPRO>.
- ARIANET R2018.08 (2018): Master Plan 2021 – Aeroporto “Marco Polo” di Tessera, Venezia – Progetto di monitoraggio ambientale – Attività *ante operam* – Atmosfera – Simulazioni modellistiche annuali della dispersione degli inquinanti emessi dalle attività aeroportuali – Anno 2017.
- ARIANET R2019.14 (2019): Master Plan 2021 – Aeroporto “Marco Polo” di Tessera, Venezia – Progetto di monitoraggio ambientale – Attività in corso d’opera – Atmosfera – Simulazioni modellistiche annuali della dispersione degli inquinanti emessi dalle attività aeroportuali – Anno 2018.
- EEA (2017) EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook – 2016, Updated July 2017 <https://www.eea.europa.eu/themes/air/emep-eea-air-pollutant-emission-inventory-guidebook>
- Guenther, A, Karl, T, Harley, P, Wiedinmyer, C, Palmer, PI, Geron, C (2006) Estimates of global terrestrial isoprene emissions using MEGAN (Model of Emissions of Gases and Aerosols from Nature), *Atmos. Chem. Phys.*, **6**, 3181-3210.
- Guenther, AB, Zimmerman, PR, Harley, PC (1993) Isoprene and monoterpenes emission rate variability: model evaluations and sensitivity analysis. *J. Geophys. Res.*, **98**,12609–12617.
- ICAO, 2018 <https://www.easa.europa.eu/easa-and-you/environment/icao-aircraft-engine-emissions-databank>
- National Environmental Research Institute, Denmark (2006) Fuel use and emissions from non-road machinery in Denmark from 1985–2004 – and projections from 2005-2030 Environmental Project No. 1092 2006, Miljøprojekt
- Skamarock, W. C., J. B. Klemp, J. Dudhia, D. O. Gill, Z. Liu, J. Berner, W. Wang, J. G. Powers, M. G. Duda, D. M. Barker, and X.-Y. Huang, 2019: A Description of the Advanced Research WRF Version 4. NCAR Tech. Note NCAR/TN-556+STR, 145 pp. doi:10.5065/1dfh-6p97
- Silibello C. (2006) “SURFPRO (SURrface-atmosphere interFace PROcessor) User's guide”, Rapporto ARIANET R2006.06.
- US-EPA (2011). Emission Factor Documentation for AP-42, Chapter 13: Miscellaneous Sources. <https://www3.epa.gov/ttn/chief/ap42/ch13/>.
- Zhang, KM, Knipping EM, Wexler AS, Bhave PV, Tonnesen, GS (2005) Size distribution of sea-salt emissions as a function of relative humidity. *Atm. Env.*, **39**, 3373-3379.

Appendice

Modello di qualità dell'aria reattivo FARM

FARM (Flexible Air quality Regional Model) è un codice euleriano 3D a griglie multiple per la simulazione della dispersione e della chimica degli inquinanti atmosferici alle diverse scale spaziali (da quella urbana a quelle regionale, nazionale e continentale), che consente la valutazione delle concentrazioni degli inquinanti primari e secondari (es. ozono) e delle deposizioni al suolo (seche ed umide).

FARM è basato su un insieme di equazioni che esprimono l'evoluzione nel tempo del bilancio di massa per ogni specie chimica, della forma:

$$\frac{\partial c_i}{\partial t} = -u \frac{\partial c_i}{\partial x} - v \frac{\partial c_i}{\partial y} - w \frac{\partial c_i}{\partial z} + K_{xx} \frac{\partial^2 c_i}{\partial x^2} + K_{yy} \frac{\partial^2 c_i}{\partial y^2} + \frac{\partial}{\partial z} \left(K_{zz} \frac{\partial c_i}{\partial z} \right) + S_i + C_i + R_i$$

ove c_i è la concentrazione della specie i -esima, u , v e w le componenti del vettore vento nelle direzioni x , y e z , K_{xx} , K_{yy} e K_{zz} , le componenti diagonali del tensore di diffusività turbolenta, S_i il termine di sorgente associato alle emissioni, C_i il termine associato alle reazioni chimiche nella fase gassosa e R_i il termine di rimozione associato ai processi di deposizione (secca ed umida). L'integrazione numerica di tale sistema di equazioni viene effettuata mediante una tecnica di *operator splitting*, che consiste nel risolvere un problema n -dimensionale mediante l'applicazione sequenziale di n operatori monodimensionali. La sequenza degli operatori adottata in FARM è la seguente:

$$c_i(x, t + \Delta t) = L_x(\Delta t) L_y(\Delta t) L_z(\Delta t) L_c(\Delta t) c_i(x, t)$$

ove Δt rappresenta il passo temporale di avvezione, L_x , L_y indicano gli operatori di trasporto e diffusione orizzontali nelle direzioni x e y , L_z l'operatore verticale che tiene conto dei processi di trasporto, diffusione, emissione e rimozione dovuta alle deposizioni per via secca ed umida ed L_c l'operatore chimico associato alle reazioni chimiche nella fase omogenea gassosa. Nel modello sono implementati operatori di trasporto-diffusione originariamente adottati dal modello CALGRID (Yamartino et al., 1992).

Il modello può utilizzare differenti sistemi di coordinate orizzontali (UTM, stereografiche polari, Mercatore e geografiche), include il calcolo di fattori di mappa che ne permette l'applicazione a scale spaziali estese (es. simulazioni a scala europea) ed utilizza un sistema di coordinate verticali di tipo *terrain-following* a spaziatura variabile. In tale sistema la coordinata verticale Z viene espressa come: $Z(x,y) = z - h(x,y)$ ove z individua la quota assoluta sul livello del mare ed $h(x,y)$ rappresenta la quota del terreno sul livello del mare.

Il codice include moduli chimici che consentono il trattamento delle reazioni chimiche in fase gassosa e dei processi chimico-fisici che coinvolgono gli inquinanti organici e inorganici presenti in atmosfera che danno luogo alla formazione del particolato secondario. FARM può essere configurato con meccanismi chimici di diversa complessità per il trattamento delle specie gassose (SAPRC99 o EMEP-acid) ed include due moduli per il trattamento del particolato atmosferico: *aero0*, basato sull'approccio adottato dal modello EMEP e *aero3*, messo a punto da EPA ed implementato in CMAQ/Models-3. Una versione del modello consente di simulare anche i processi chimico-fisici che coinvolgono i POP (*Persistent Organic Pollutants*, ovvero IPA, diossine, furani, PCB e pesticidi) ed i metalli pesanti, in particolare le reazioni in fase gassosa degli IPA e del mercurio, i processi di partizionamento degli IPA nelle fasi gassosa e particellare ed i processi di condensazione del mercurio.

Nella configurazione più completa FARM è dunque in grado di simulare tutti gli inquinanti previsti dal D.Lgs. 155/2010.

FARM rappresenta il risultato di una intensa attività di aggiornamento ed evoluzione effettuata a partire dal noto modello di trasporto, trasformazione chimica e deposizione di inquinanti aeriformi STEM-II (Carmichael *et al.*, 1998). Tale attività è iniziata negli anni '90 all'interno di progetti di ricerca nazionali e, in ambito europeo, all'interno dei progetti EUROTRAC-1 ed EUROTRAC-2 (www.gsf.de/eurotrac/) ed è quindi proseguita nel corso degli anni duemila al fine di rendere il modello idoneo sia per studi applicativi (es. valutazione della qualità dell'aria regionale, valutazione di impatto di opere ed infrastrutture) sia per ricerca (es. influenza dei processi radiativi sui livelli di ozono calcolati, utilizzo di differenti schemi numerici per la soluzione di complessi sistemi di equazioni chimiche, ecc.). A tali attività hanno contribuito professionalità provenienti da ARIANET S.r.l., dal mondo della ricerca (CNR-ISAC ed ENEA) e dal sistema costituito dalle Agenzie Regionali di Protezione Ambientale. Tra queste è opportuno evidenziare l'attività di ottimizzazione e parallelizzazione del modello, effettuata in collaborazione con il CINECA (<https://hpc-forge.cineca.it/>) e finanziata da ARPA Piemonte, che ha portato ad un codice utilizzabile in modalità OpenMP, MPI ed ibrida, quindi ad un utilizzo ottimale e scalabile sia su sistemi a memoria condivisa, sia a memoria distribuita.

Nelle applicazioni FARM può essere alimentato tipicamente tramite i campi meteorologici 3D e 2D (vento, temperatura, pressione, umidità relativa, altezza delle nubi, precipitazioni), prodotte da modelli diagnostici (es. MINERVE/SWIFT) o prognostici (es. RAMS, LAMI, WRF), accoppiati con il modulo *SURFPro* per il calcolo delle diffusività e le velocità di deposizione secca delle diverse specie chimiche considerate dal codice.

FARM è in grado di considerare sorgenti sia diffuse su griglia (2D o 3D), sia puntuali (considerando il sovrainnalzamento del pennacchio), con un input emissivo realizzato a partire dagli inventari a disposizione che può essere predisposto tramite il pre-processore Emission Manager, con ratei di emissione espressi direttamente nelle specie chimiche utilizzate dal modello.

Il risultato di ogni simulazione è costituito da una sequenza temporale di campi relativi alle concentrazioni ed ai flussi di deposizione delle specie chimiche selezionate dall'utente. Il modello può anche essere utilizzato in modalità non reattiva, inibendo i moduli per il trattamento delle reazioni chimiche in fase gassosa e particellare, per lo studio della dispersione di inquinanti primari.

Il modello è corredato da moduli per la predisposizione delle condizioni iniziali ed al contorno a partire da run effettuati a scale maggiori (tramite FARM stesso o altri modelli), per la preparazione di campi di ozono colonnare a partire da dati di tipo satellitare e per l'analisi dei dati in ingresso e di uscita.

Il modello FARM è presente negli inventari di modelli europei:

- Model Documentation System (MDS) della European Environmental Agency: <http://pandora.meng.auth.gr/mds/showlong.php?id=130>
- azione COST728 "Enhancing Meso-scale Meteorological Modelling Capabilities for Air Pollution and Dispersion Applications": <http://www.mi.uni-hamburg.de/Model-Inventory.504.0.html>

Circa le applicazioni in **ambito extra-nazionale**, FARM:

- è stato applicato a scala europea all'interno del Progetto MEGAPOLI (<http://megapoli.dmi.dk/>) e della model intercomparison EURODELTA3 (Bessagnet *et al.*, 2016);
- è parte integrante di un Sistema di Previsione della qualità dell'aria messo a punto a New Delhi (<http://www.urbanemissions.info/model-tools/forecasting-systems.html>) e di un sistema previsionale realizzato a Rio de Janeiro per i Giochi Olimpici del 2016;
- è utilizzato in sistemi di simulazione regionale ed urbana in Israele, Tunisia e Marocco.

In **ambito nazionale**, FARM è attualmente utilizzato:

- all'interno del progetto MINNI (<http://www.minni.org/>);
- da diverse Agenzie Regionali per la Protezione dell'Ambiente (Valle d'Aosta, Piemonte, Lombardia, Friuli Venezia-Giulia, Lazio, Molise, Puglia, Calabria) che lo utilizzano per la valutazione annuale della qualità dell'aria, studi di scenario per legati ai piani di risanamento e la previsione giornaliera dell'inquinamento atmosferico.

Riferimenti bibliografici

- Bertrand B., Pirovano G., Mircea M., Cuvelier C., Aulinger A., et al.. Presentation of the EURODELTA III intercomparison exercise - evaluation of the chemistry transport models' performance on criteria pollutants and joint analysis with meteorology. Atmospheric Chemistry and Physics, European Geosciences Union, 2016, 16, pp.12667-12701. (10.5194/acp-16-12667-2016). (ineris-01863109)
- Carmichael, G. R., Uno I., Phadnis M. J., Zhang Y., Sunwoo, Y. (1998) Tropospheric ozone production and transport in the springtime in east Asia, J. Geophysical Research, 103, 10649-10671.
- Carmichael, G. R., Uno I., Phadnis M. J., Zhang Y., Sunwoo, Y. (1998) Tropospheric ozone production and transport in the springtime in east Asia, J. Geophysical Research, 103, 10649-10671.
- Yamartino R.J., Scire J.S., Carmichael G.R., Chang Y.S. (1992) The CALGRID mesoscale photochemical grid model - I. Model formulation. Atmos. Environ., 26A, 1493-1512.