



Agenzia Regionale per la Prevenzione
e Protezione Ambientale del Veneto



REGIONE DEL VENETO

Dipartimento Provinciale di Treviso

MONITORAGGIO PM10 NEL COMUNE DI CASTELFRANCO VENETO (TV)

confronto tra misure sperimentali e stime
modellistiche

PERIODO DI RIFERIMENTO
Ottobre 2018 – Aprile 2019



Agenzia Regionale per la Prevenzione
e Protezione Ambientale del Veneto



REGIONE DEL VENETO

ARPAV

Commissario Straordinario

Riccardo Guolo

Dipartimento Provinciale di Treviso

Rodolfo Bassan

Progetto e realizzazione

Servizio Monitoraggio e Valutazioni

Maria Rosa

Claudia Iuzzolino

Massimo Bressan

Gabriele Pick

Alessandro Mattiello

Con la collaborazione di:

Dipartimento Regionale Laboratori

Francesca Daprà

Servizio Osservatorio Regionale Aria

Salvatore Patti

È consentita la riproduzione di testi, tabelle, grafici ed in genere del contenuto del presente rapporto esclusivamente con la citazione della fonte.

Indice

1. Introduzione	2
2. Caratterizzazione del sito e tempistiche di realizzazione	3
3. Contestualizzazione meteo climatica dell'area	4
4. Gli inquinanti – stima delle emissioni	7
5. Accordo di Bacino e stima modellistica delle concentrazioni PM10	11
6. PM10 a Castelfranco Veneto: confronto tra misure sperimentali e stime modellistiche	13
6.1 Analisi statistica delle serie dati: misura vs. modello	14
7. Conclusioni	20

1. Introduzione

Come ormai noto, in Veneto, e in particolare anche nella zona di Castelfranco, a causa della somma degli effetti generati dalle diverse sorgenti di emissione in atmosfera e dalle condizioni atmosferiche di elevata stabilità e scarsa circolazione dei venti, si rilevano purtroppo superamenti ripetuti del valore limite giornaliero per il PM10, soprattutto nel periodo invernale.

Tali condizioni sono comuni a tutte le regioni del Bacino Padano, tra cui Veneto, Lombardia, Emilia Romagna e Piemonte, che hanno siglato il 9 giugno 2017, insieme al Ministero dell'Ambiente, il Nuovo Accordo di Bacino Padano. L'Accordo prevede, tra le altre cose, l'applicazione di modalità comuni a tutto il bacino, per l'individuazione di situazioni di perdurante accumulo del PM10 e per l'informazione al pubblico, affidando alle Agenzie regionali per l'ambiente il compito di realizzare gli strumenti tecnici per l'individuazione di tali situazioni di accumulo.

La valutazione del raggiungimento dei livelli di allerta nel Veneto viene effettuata da ARPAV nei Comuni con più di 30.000 abitanti, negli agglomerati di cui alla DGRV 2130/2012 e in tutti i comuni che hanno inviato, alla Regione Veneta, richiesta formale di adesione all'Accordo di Bacino.

Per ogni area di applicazione dell'Accordo ARPAV ha individuato una stazione di riferimento per la misura del PM10, dotata di strumentazione automatica e appartenente alla rete regionale della qualità dell'aria. Per i comuni che non sono dotati di centralina o di analizzatore automatico di PM10, come ad esempio il comune di Castelfranco Veneto, viene effettuata la valutazione del numero dei superamenti del valore limite giornaliero mediante stima modellistica, con il sistema modellistico SPIAIR (Sistema per la Previsione dell'Inquinamento dell'Aria).

Al fine di valutare la bontà dell'applicazione del modello SPAIR alla realtà del territorio comunale di Castelfranco Veneto, è stata eseguita una campagna di monitoraggio PM10 con strumentazione rilocabile posizionata presso la scuola primaria di via Monfenera nel periodo compreso tra Ottobre 2018 e Aprile 2019. I dati acquisiti sono stati confrontati con quelli stimati dal modello.

La presente relazione tecnica è scaricabile dal sito ARPAV all'indirizzo <http://www.arpa.veneto.it/arpav/chi-e-arpav/file-e-allegati/dap-treviso/aria/dap-treviso-campagne-di-monitoraggio-qualita>.

2. Caratterizzazione del sito e tempistiche di realizzazione

La campagna di monitoraggio per la determinazione delle polveri inalabili PM10 è stata eseguita con campionatore portatile posizionato in via Monfenera nel comune di Castelfranco Veneto nel periodo compreso tra il 6 Ottobre 2018 e il 7 Aprile 2019.

Si sottolinea che la campagna è stata realizzata allo scopo di rilevare le maggiori concentrazioni normalmente osservabili durante l'anno, ovvero durante il semestre invernale, allo scopo di confrontare i dati con quelli stimati dal modello matematico SPIAIR utilizzato da ARPAV per la valutazione del raggiungimento dei livelli di allerta PM10 secondo quanto previsto dal Nuovo Accordo di Bacino Padano. Tali dati non risultano pertanto acquisiti in un periodo rappresentativo di un anno civile e non possono essere confrontati direttamente con i limiti normativi specie se riferiti a periodi di osservazione a lungo termine.

Il comune di Castelfranco Veneto ricade nella zona "IT0513 Pianura e capoluogo bassa pianura", ai sensi della zonizzazione regionale approvata con DGR n. 2130/2012 e rappresentata in Figura 1. In Figura 2 è indicata l'ubicazione del punto sottoposto a monitoraggio avente le seguenti coordinate GBO: $x=1727323$ $y=5062073$.

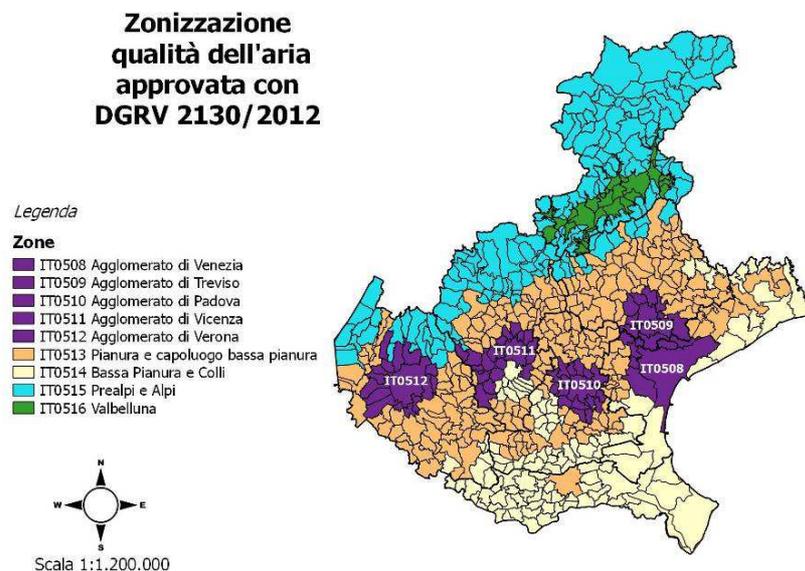


Figura 1. Zonizzazione del territorio regionale approvata con DGR n. 2130/2012

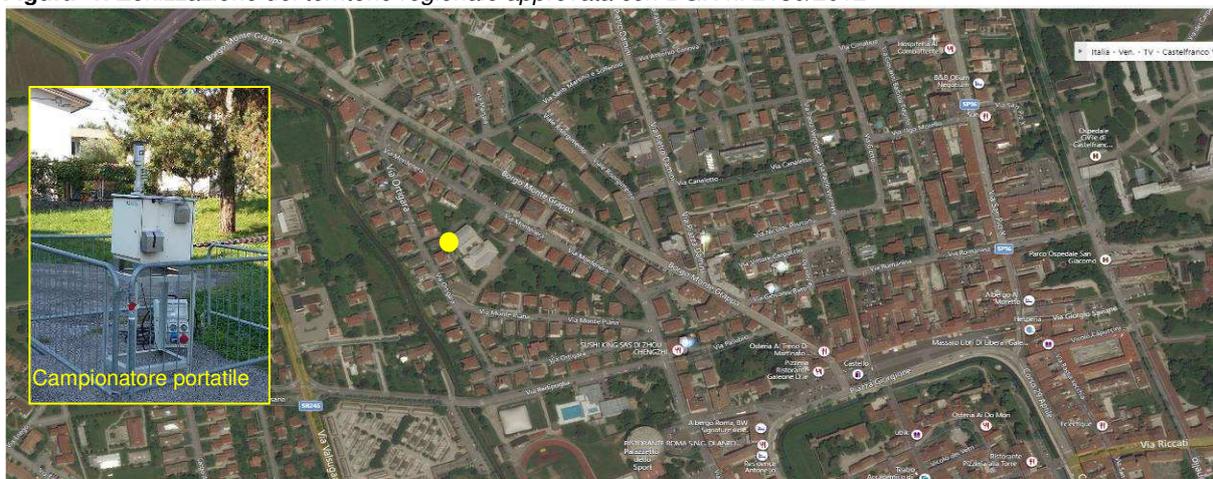


Figura 2. Localizzazione geografica del campionatore portatile a Castelfranco Veneto (via Monfenera presso la scuola primaria)

3. Contestualizzazione meteo climatica dell'area

Si ricorda che dai monitoraggi si ottengono i valori di *immissioni* degli inquinanti determinati in una certa posizione; questi vengono espressi come concentrazioni ovvero come quantità di sostanza inquinante presente in atmosfera per unità di volume.

Gli inquinanti prodotti dalle varie sorgenti (industriali, domestiche, veicolari, ecc) vengono invece espressi come *emissioni* ovvero come quantità di sostanza inquinante introdotta in atmosfera, da una certa fonte inquinante, in un determinato arco di tempo.

Poichè la stabilità atmosferica regola fortemente le caratteristiche diffusive dell'atmosfera e quindi la sua capacità di disperdere più o meno rapidamente gli inquinanti che vi vengono immessi, a parità di quantità di inquinanti emessi, le concentrazioni osservate possono essere molto diverse nei vari periodi dell'anno.

La diffusione verticale degli inquinanti risulta essere fortemente influenzata da fenomeni di stratificazione termica dell'atmosfera e dallo sviluppo di moti convettivi che possono interessare lo strato di atmosfera adiacente al suolo per uno spessore che va mediamente da alcune decine ad alcune centinaia di metri. I moti convettivi che operano il trasporto verticale dell'inquinante tendono a diffonderlo in modo uniforme in tutto lo strato in cui sono attivi, da cui il nome di strato di rimescolamento.

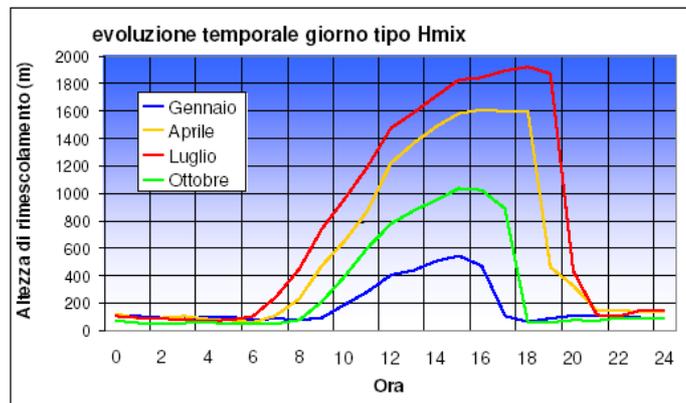


Figura 3 Esempio di evoluzione nelle 24 ore dell'altezza dello strato di rimescolamento e sua variazione stagionale

L'altezza di rimescolamento, di cui si rappresenta il tipico andamento giornaliero nella figura precedente, riportata a titolo di esempio e non riferita a Castelfranco Veneto, mostra variazioni nelle 24 ore (ciclo giorno-notte) e stagionali (stagione calda-fredda). Tale altezza agisce come una sorta di parete naturale mobile di un contenitore; in corrispondenza di basse altezze dello strato di rimescolamento, ovvero durante la sera e nelle stagioni fredde il "coperchio" del contenitore si abbassa e gli inquinanti hanno così a disposizione un volume più piccolo per la dispersione favorendo un aumento della loro concentrazione.

Di seguito viene descritta, a cura del Servizio Meteorologico di ARPAV – Ufficio Meteorologico di Teolo, la situazione meteorologica verificatasi durante la campagna di monitoraggio eseguita a Castelfranco Veneto.

La situazione meteorologica è stata analizzata mediante l'uso di diagrammi circolari nei quali si riporta la frequenza dei giorni con caratteristiche di piovosità e ventilazione definite in tre classi:

- in rosso (precipitazione giornaliera inferiore a 1 mm e intensità media del vento minore di 1.5 m/s): condizioni poco favorevoli alla dispersione degli inquinanti;
- in giallo (precipitazione giornaliera compresa tra 1 e 6 mm e intensità media del vento nell'intervallo 1.5 m/s e 3 m/s): situazioni debolmente dispersive;
- in verde (precipitazione giornaliera superiore a 6 mm e intensità media del vento maggiore di 3 m/s): situazioni molto favorevoli alla dispersione degli inquinanti.

I valori delle soglie per la ripartizione nelle tre classi sono state individuate in maniera empirica in base ad un campione pluriennale di dati.

Nella Figura 4 si mettono a confronto le caratteristiche di piovosità e ventilazione ricavate dai dati rilevati presso la stazione meteorologica ARPAV di Castelfranco Veneto (102 - TV, che è dotata di anemometro a 10 m), nei tre periodi:

- 6 ottobre 2018 – 7 aprile 2019, periodo di svolgimento della campagna di misura;
- 6 ottobre - 10 aprile, dall'anno 1990 all'anno 2018 (pentadi di riferimento, cioè PERIODO ANNI PRECEDENTI);
- 7 aprile 2018 – 7 aprile 2019 (ANNO CORRENTE).

DISTRIBUZIONE PIOVOSITA' E VENTILAZIONE

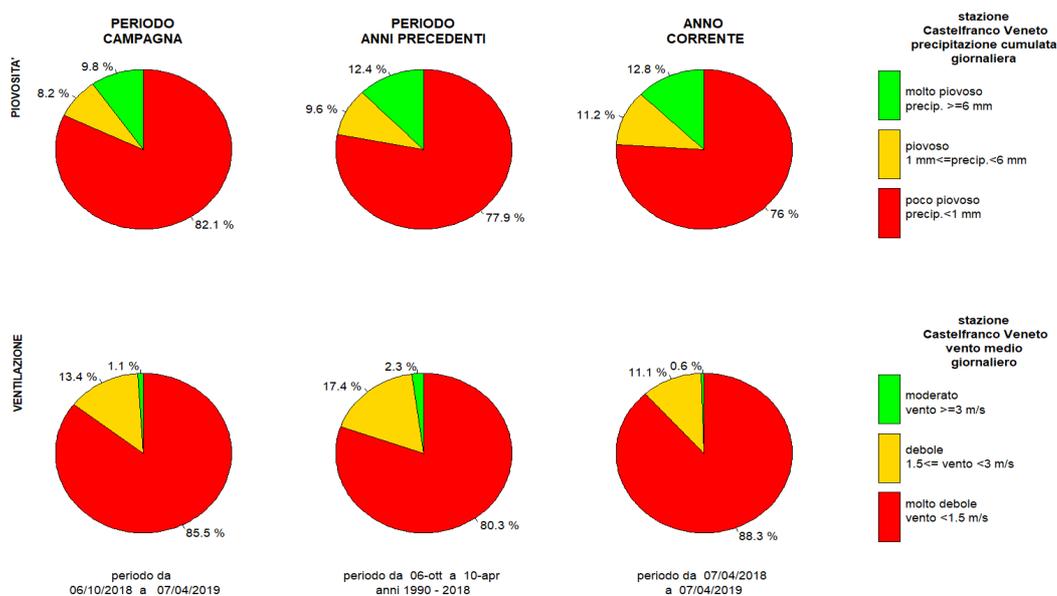


Figura 4. diagrammi circolari con frequenza dei casi di vento e pioggia nelle diverse classi: rosso (scarsa dispersione), giallo (debole dispersione), verde (forte dispersione). Confronto tra le condizioni in atto nel periodo di svolgimento della CAMPAGNA DI MISURA, nel periodo pentadale corrispondente degli anni precedenti (PERIODO ANNI PRECEDENTI) e durante l'intero anno in corso (ANNO CORRENTE).

Dal confronto dei diagrammi circolari risulta che durante il periodo di svolgimento della campagna di misura:

- i giorni poco piovosi sono un poco più frequenti rispetto ad entrambi i periodi di riferimento;
- i giorni con vento molto debole sono stati un po' più numerosi rispetto allo stesso periodo degli anni precedenti e leggermente meno frequenti rispetto all'anno corrente.

In Figura 5 si riporta la rosa dei venti a scansione oraria registrati presso la stazione di Castelfranco Veneto durante lo svolgimento della campagna di misura: da essa si evince che la direzione prevalente di provenienza del vento è nord-nordest (circa 9% dei casi), seguita da nord-nordovest e nord-ovest (entrambe circa 8%). La frequenza delle calme (venti di intensità inferiore a 0.5 m/s) è stata pari a circa 31% dei casi; la velocità media pari a circa 0.9 m/s.

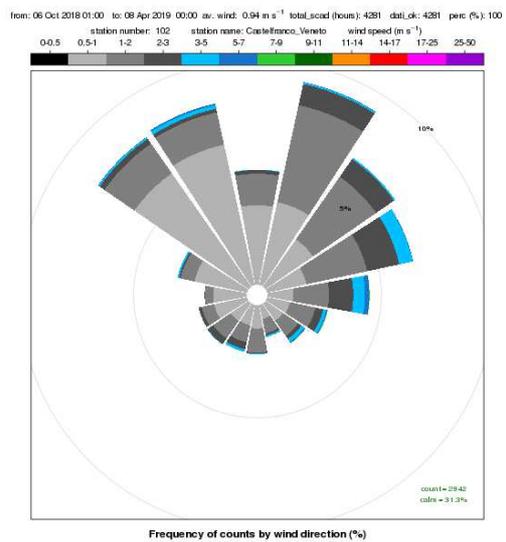


Figura 5 rosa dei venti a scansione oraria registrati presso la stazione meteorologica di Castelfranco Veneto nel periodo 6 ottobre 2018 – 7 aprile 2019.

4. Gli inquinanti – stima delle emissioni

A livello Europeo la relazione dell'EEA “[Air quality in Europe — 2018 report](https://www.eea.europa.eu/publications/air-quality-in-europe-2018)” (https://www.eea.europa.eu/publications/air-quality-in-europe-2018) presenta una panoramica aggiornata e un'analisi della qualità dell'aria per gli anni 2000-2016 sulla base di dati provenienti dalle stazioni di monitoraggio ufficiali in 39 paesi Europei.

Dai grafici riportati nel documento europeo (Figura 6), si osserva una chiara riduzione delle emissioni in atmosfera che ha portato a miglioramenti nella qualità dell'aria in Europa, ma non sufficienti per evitare superamenti dei limiti di legge. Nel grafico viene riportato inoltre l'andamento del PIL che risulta in crescita. Questo differente andamento è giustificato dal miglioramento della tecnologia e attenzione alla riduzione delle emissioni inquinanti. Gli interventi efficaci sono quindi fattibili, efficaci e compatibili con la crescita economica.

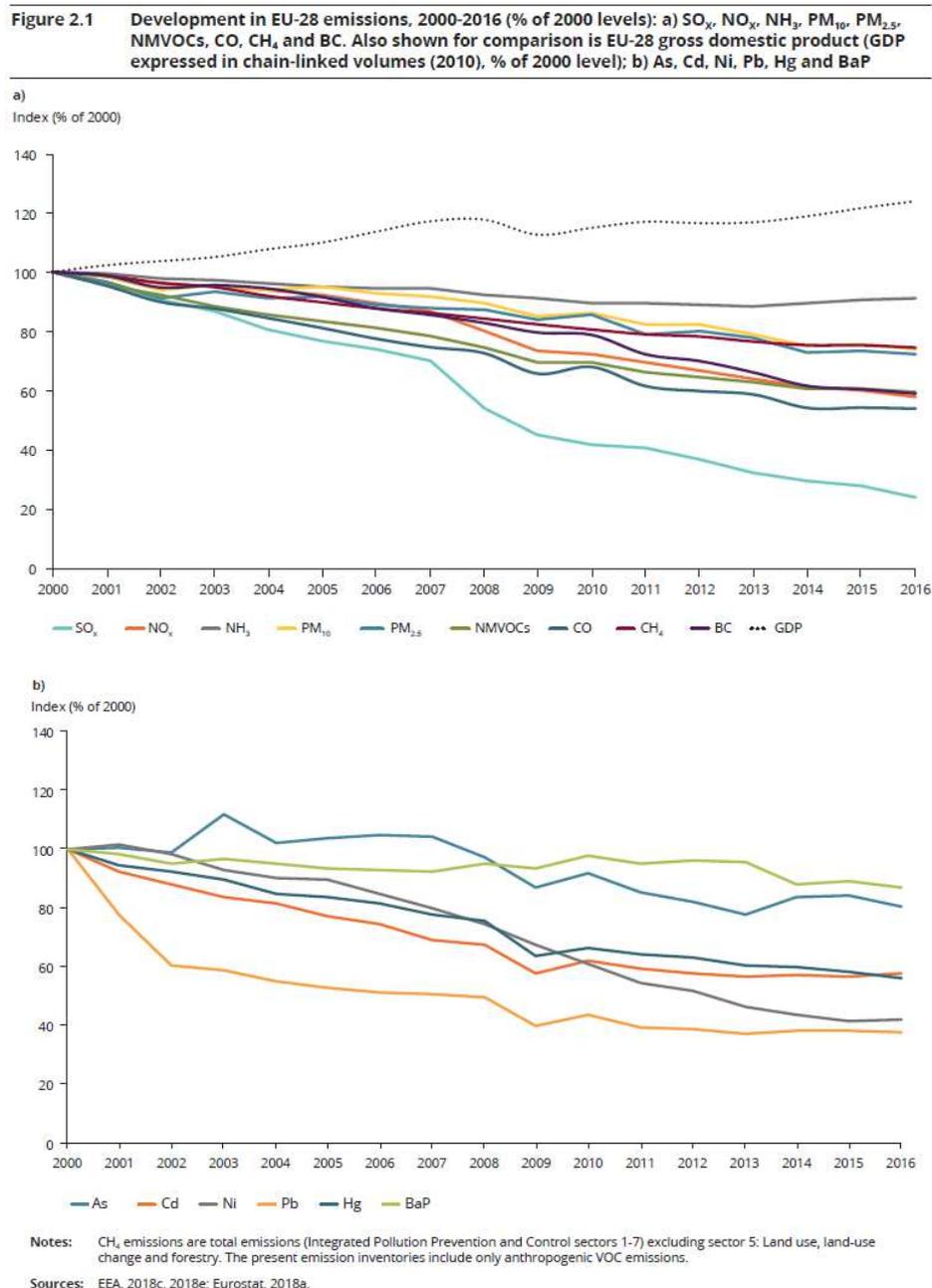


Figura 6 Stima emissioni inquinanti 2000 – 2016 in Europa – estratto da [Air quality in Europe — 2018 report](https://www.eea.europa.eu/publications/air-quality-in-europe-2018) .

Coerentemente con quanto osservato in Europa, la lenta riduzione dei livelli di PM10 e NO₂ in Italia nell'ultimo decennio (dati ISPRA -Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale), è il risultato della riduzione congiunta delle emissioni di particolato primario e dei principali precursori del particolato secondario (ossidi di azoto, ossidi di zolfo, ammoniaca).

L'andamento generalmente decrescente delle emissioni è dovuto principalmente alla forte penetrazione del gas naturale sul territorio nazionale in sostituzione di combustibili come carbone e olio, all'introduzione dei catalizzatori nei veicoli, alle azioni di fluidificazione del traffico, all'adozione di misure volte al miglioramento dei processi di combustione nella produzione energetica e di tecniche di abbattimento dei fumi nonché agli interventi finalizzati al risparmio ed alla riqualificazione energetica.

A livello regionale l'inventario delle emissioni in atmosfera viene realizzato mediante il software INEMAR dal 2005. I dati dell'ultimo aggiornamento relativo all'anno 2015 sono scaricabili dal sito di ARPAV all'indirizzo <http://www.arpa.veneto.it/temi-ambientali/aria/emissioni-di-inquinanti/inventario-emissioni#dati>.

Il software INEMAR consente di stimare le emissioni degli inquinanti atmosferici, fino al livello comunale secondo la metodologia EMEP/CORINAIR che prevede che le attività antropiche e naturali in grado di produrre emissioni in atmosfera siano catalogate secondo una nomenclatura (denominata SNAP97), che si articola in 11 Macrosettori riportati nella seguente tabella, 76 Settori e 378 Attività emissive.

Macrosettore CORINAIR	Descrizione
M01	Combustione - Energia e Industria di Trasformazione
M02	Combustione non industriale
M03	Combustione nell'industria
M04	Processi produttivi
M05	Estrazione e distribuzione di combustibili fossili ed energia geotermica
M06	Uso di solventi ed altri prodotti
M07	Trasporto su strada
M08	Altre sorgenti mobili e macchinari
M09	Trattamento e smaltimento rifiuti
M10	Agricoltura
M11	Altre sorgenti e assorbimenti

Le Figure 7 a) e 7 b) riportano rispettivamente, in base ai dati INEMAR 2015, le emissioni dei diversi inquinanti suddivise per territorio provinciale.

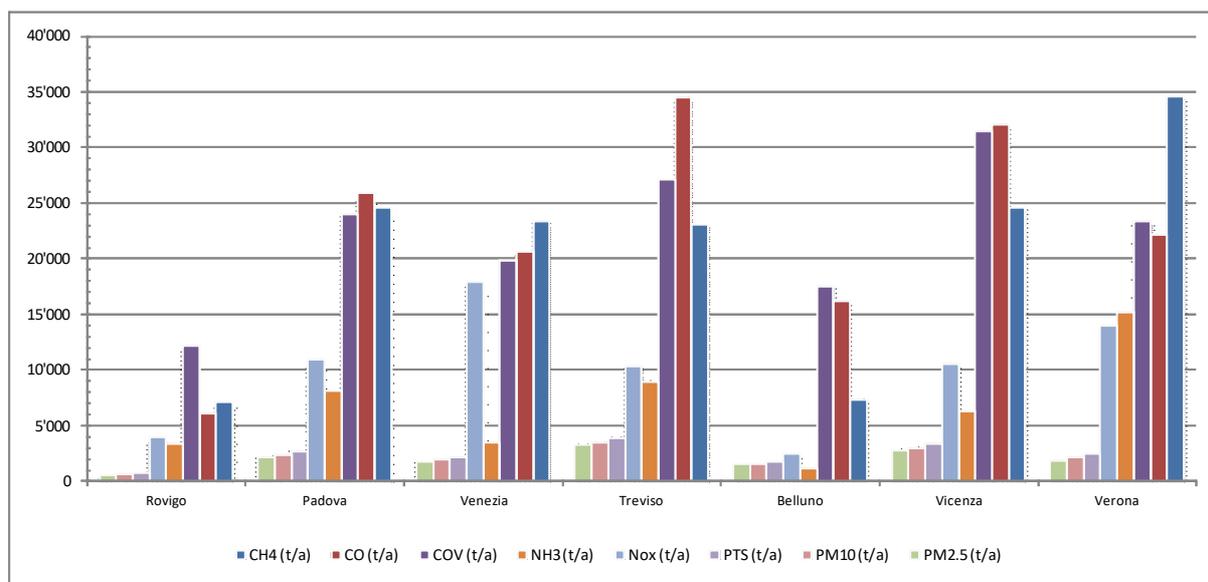


Figura 7 a) INEMAR Veneto. Emissioni totali a livello provinciale edizione 2015

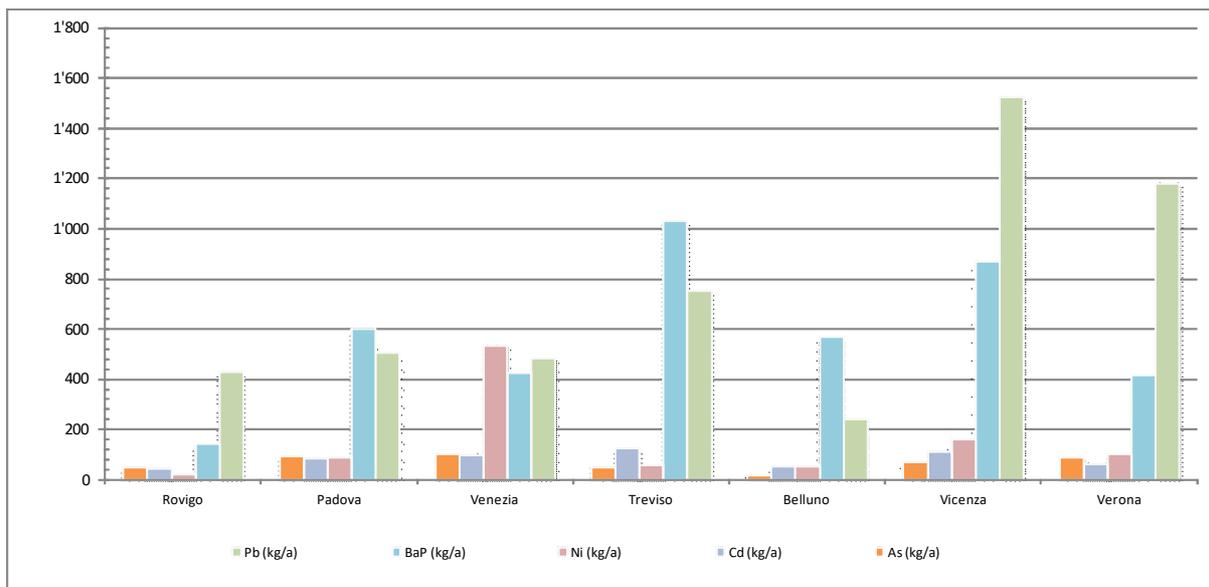


Figura 7 b) INEMAR Veneto. Emissioni totali a livello provinciale edizioni 2015

Il PM10 costituisce il particolato inalabile avente diametro aerodinamico inferiore o uguale a 10 µm. In parte è emesso come tale direttamente dalle sorgenti in atmosfera (PM10 primario) ed è in parte formato attraverso reazioni chimiche fra altre specie inquinanti (PM10 secondario).

L'emissione diretta di particolato fine è associata a tutti i processi di combustione, in particolare quelli che prevedono l'utilizzo di combustibili solidi (carbone, legna) o distillati petroliferi con numero di atomi di carbonio medio-alto (gasolio, olio combustibile). Particelle fini sono dunque emesse dai gas di scarico dei veicoli a combustione interna, dagli impianti per la produzione di energia e dai processi di combustione nell'industria, dagli impianti per il riscaldamento domestico, dagli incendi boschivi.

La Figura 8 riporta in veste grafica la stima delle emissioni di PM10 in base ai dati INEMAR 2015.

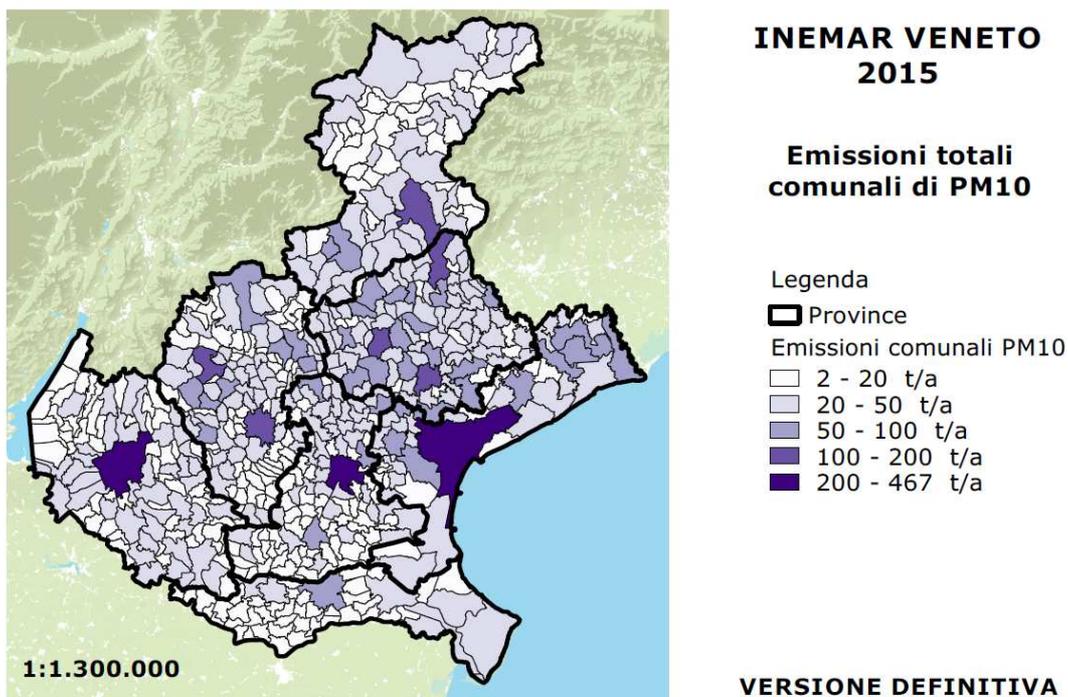


Figura 8 Emissioni totali PM10 a livello comunale edizione 2015 (<http://www.arpa.veneto.it/temi-ambientali/aria/immagini/inemar-veneto-2015>)

Da una valutazione della stima delle emissioni INEMAR 2015, si osserva che nella provincia di Treviso il 76% delle emissioni di PM10 sono dovute al Macrosettore M02 – Combustione non

industriale (Figura 9). Tale emissione risulta essere dovuta per il 44% all'utilizzo di stufe di tipo tradizionale a legna (Figura 10).

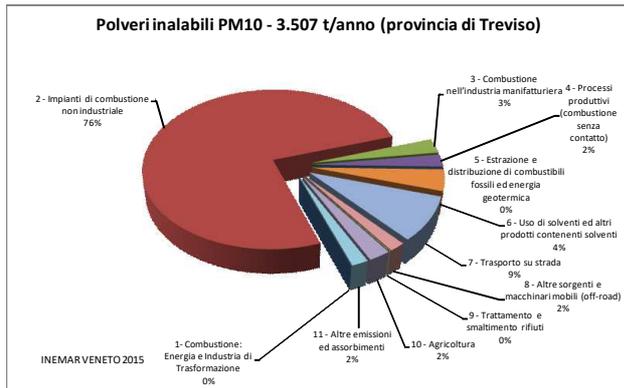


Figura 9 INEMAR Veneto. Stima emissioni PM10 in provincia di Treviso

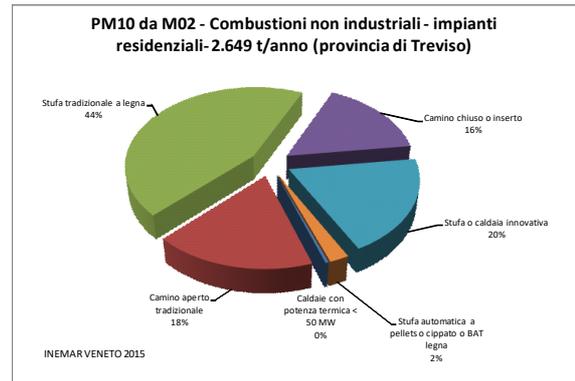


Figura 10 INEMAR Veneto. Stima emissioni PM10 in provincia di Treviso da Macrosettore M02 - Combustione non industriale

Il dettaglio delle emissioni a livello del comune di Castelfranco Veneto è confrontabile a quello provinciale. In questo caso il 71% delle emissioni di PM10 sono dovute al Macrosettore M02 - Combustione non industriale.

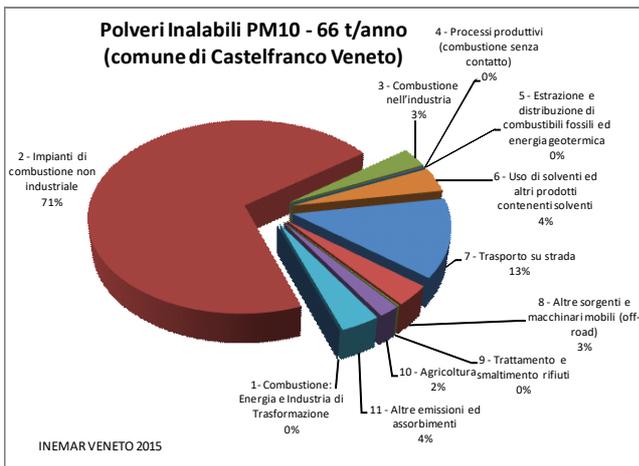


Figura 11 INEMAR Veneto. Stima emissioni PM10 in comune di Castelfranco Veneto

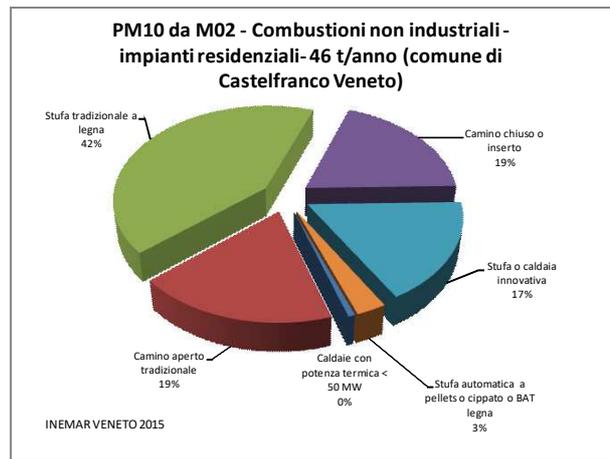


Figura 12 INEMAR Veneto. Stima emissioni PM10 in comune di Castelfranco Veneto da Macrosettore M02 - Combustione non industriale

5. Accordo di Bacino e stima modellistica delle concentrazioni PM10

Come premesso soprattutto nel periodo invernale, a causa della somma degli effetti generati dalle diverse sorgenti di emissione in atmosfera e dalle condizioni atmosferiche di elevata stabilità e scarsa circolazione dei venti, si rilevano superamenti ripetuti del valore limite giornaliero per il PM10. Tali condizioni sono comuni a tutte le regioni del Bacino Padano, tra cui Veneto, Lombardia, Emilia Romagna e Piemonte, che hanno siglato, insieme al Ministero dell'Ambiente, il Nuovo Accordo di Bacino Padano. Il documento, firmato a Bologna il 9 giugno 2017, prevede una serie di impegni da parte delle Regioni finalizzati all'adozione di limitazioni e divieti, principalmente nel settore dei trasporti, della combustione di biomassa per il riscaldamento domestico e dell'agricoltura, allo scopo di contenere il numero di superamenti del valore limite giornaliero.

L'Accordo prevede anche l'applicazione di modalità comuni a tutto il bacino, per l'individuazione di situazioni di perdurante accumulo del PM10 e per l'informazione al pubblico, affidando alle Agenzie regionali per l'ambiente il compito di realizzare gli strumenti tecnici per l'individuazione di tali situazioni di accumulo.

L'Osservatorio Regionale di ARPAV, in linea con i dettami dell'Accordo di Bacino, nel periodo compreso tra il 1 ottobre e il 31 marzo effettua la valutazione del superamento dei livelli di allerta nelle giornate di lunedì e giovedì ed emana negli stessi giorni un bollettino che contiene il livello di allerta associato a ciascun comune.

Sono previsti due livelli di allerta: Il livello di allerta 1 si attua con 4 giorni consecutivi di superamento del valore limite giornaliero del PM10, mentre il livello di allerta 2 si attua con 10 giorni consecutivi di superamento di tale limite.

La valutazione del raggiungimento dei livelli di allerta è effettuata nei Comuni con più di 30.000 abitanti, negli agglomerati di cui alla DGRV 2130/2012 e in tutti i comuni che hanno inviato, alla Regione Veneta, richiesta formale di adesione all'Accordo di Bacino.

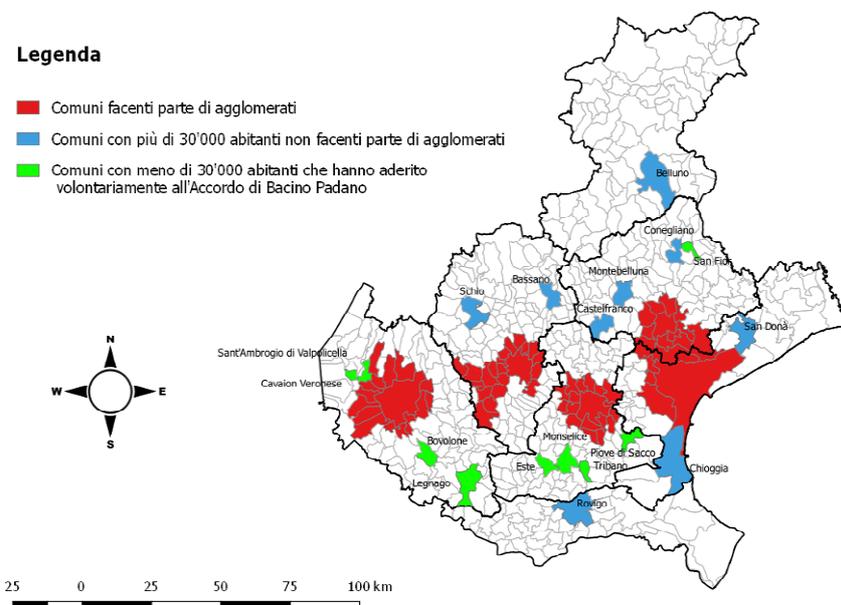


Figura 13 Comuni interessati alla valutazione del superamento dei livelli di allerta PM10 secondo quanto previsto dall'Accordo di Bacino Padano

Per ogni area di applicazione dell'Accordo ARPAV ha individuato una stazione di riferimento per la misura del PM10, dotata di strumentazione automatica e appartenente alla rete regionale della qualità

dell'aria. Per i comuni che non sono dotati di centralina o di analizzatore automatico di PM10, come ad esempio il comune di Castelfranco Veneto, viene effettuata, dall'Osservatorio Aria, la valutazione del numero dei superamenti del valore limite giornaliero mediante stima modellistica, con il sistema modellistico SPIAIR (Sistema per la Previsione dell'Inquinamento dell'Aria).

Il sistema SPIAIR, oltre a produrre quotidianamente le previsioni numeriche fino a + 72 ore delle concentrazioni di PM10 (media giornaliera) e O3max (massimo giornaliero su base oraria), produce anche una mappa di analisi delle medesime grandezze relativa al giorno precedente, mediante una tecnica di interpolazione degli scarti tra modello e misura, calcolati in corrispondenza dei siti delle stazioni provviste di analizzatore automatico. In particolare produce con un ritardo di poche ore (il cosiddetto "near real time"), una mappa delle concentrazioni di PM10 giornaliera sul territorio regionale con un dettaglio di 4 km.

Per maggiori dettagli in merito al modello SPIAR si rimanda al sito dell'Agenzia <http://www.arpa.veneto.it/temi-ambientali/aria/informazione-al-pubblico-sui-livelli-di-pm10> e alla relazione regionale della qualità dell'aria (<http://www.arpa.veneto.it/temi-ambientali/aria/file-e-allegati/documenti/relazioni-regionali-della-qualita-dellaria/RELAZIONE%20ANNUALE%20QA%202018.pdf>)

6. PM10 a Castelfranco Veneto: confronto tra misure sperimentali e stime modellistiche

Il campionamento PM10 (diametro aerodinamico inferiore a 10 μm) a Castelfranco Veneto è stato realizzato con una linea di prelievo sequenziale che utilizza filtri da 47 mm di diametro e cicli di prelievo di 24 ore. Detti campionamenti sono stati condotti con l'utilizzo di apparecchiature conformi alle specifiche tecniche dettate dal D.Lgs.155/2010 (il volume campionato si riferisce alle condizioni ambiente in termini di temperatura e di pressione atmosferica alla data delle misurazioni).

Si ricorda che il D.Lgs 155/2010 stabilisce per il PM10 i limiti riportati nella seguente tabella.

Inquinante	Tipo limite	Parametro statistico	Valore
PM10	Valore limite di 24 h per la protezione della salute umana da non superare più di 35 volte per anno civile	Media 24 h	50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
	Valore limite annuale per la protezione della salute umana	Media annuale	40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

Durante il monitoraggio svolto nel periodo invernale tra ottobre e dicembre 2018, la concentrazione di polveri PM10 ha superato il valore limite giornaliero per la protezione della salute umana, pari a 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, da non superare per più di 35 volte per anno civile, per 24 giorni su 79 di misura. Il modello matematico SPIAIR ha stimato per lo stesso periodo il superamento del valore limite giornaliero per 18 giorni su 82 di misura come mostrato in Tabella 1.

La media di periodo delle concentrazioni giornaliere di PM10 misurate a Castelfranco è risultata pari a 46 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ superiore a quella stimata con il modello e pari a 39 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Poiché i dati acquisiti durante tre mesi invernali dell'anno 2018 non sono rappresentativi dell'intero anno civile, i valori riscontrati non possono essere confrontati direttamente con i limiti di legge e sono da considerarsi indicativi.

	PM10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) Castelfranco Veneto	
	Dati misurati	Dati stimati
MEDIA campagna 2018	46	39
n. superamenti	24	18
n. dati	79	82
MEDIA campagna 2019	57	52
n. superamenti	44	44
n. dati	92	97
MEDIA totale	52	46
n. superamenti	68	62
n. dati	171	179

Tabella 1 – Confronto delle concentrazioni giornaliere di PM10 misurate e stimate a Castelfranco Veneto

Per quanto riguarda il periodo invernale di monitoraggio compreso tra gennaio e aprile 2019, la concentrazione di polveri PM10 ha superato il valore limite giornaliero per la protezione della salute umana, pari a 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, da non superare per più di 35 volte per anno civile, per 44 giorni su 92 di misura. Il modello matematico SPIAIR ha stimato per lo stesso periodo il superamento del valore limite giornaliero per 44 giorni su 97 di misura.

La media di periodo delle concentrazioni giornaliere di PM10 misurate a Castelfranco è risultata pari a 57 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ superiore a quella stimata con il modello e pari a 52 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Sebbene anche i dati acquisiti nell'anno 2019 non siano sufficienti a rappresentare l'intero anno civile, e pertanto non sia possibile un confronto diretto con i limite di legge a lungo termine previsto dal D.Lgs. 155/2010, si riscontra, già nei primi mesi dell'anno 2019, il superamento per 44 giorni del limite giornaliero per la protezione della salute umana da non superare per più di 35 volte in un anno.

Le Figura 14 e 15 riportano rispettivamente i dati giornalieri di PM10 rilevati e stimati nel periodo ottobre- dicembre 2018 e nel periodo gennaio-aprile 2019.

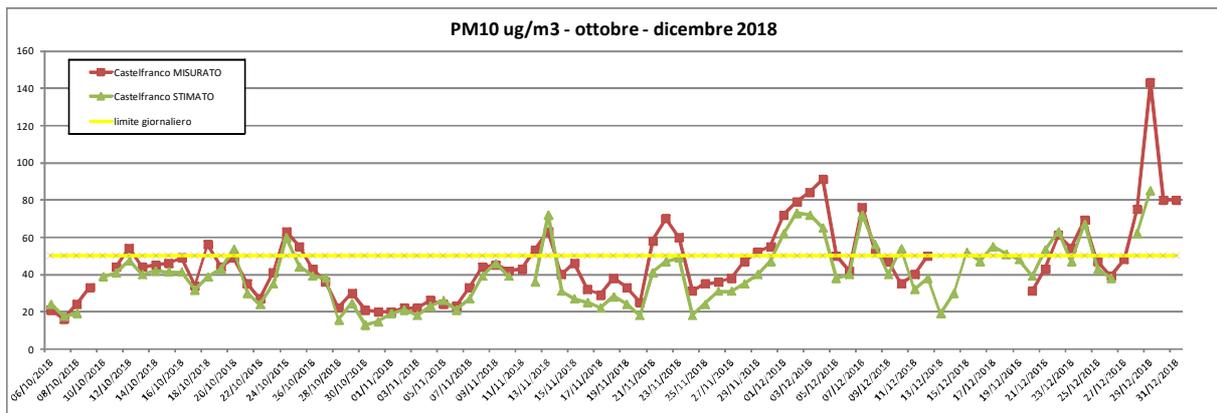


Figura 14 Concentrazioni giornaliere di PM10 rilevate a Castelfranco Veneto nel periodo ottobre – dicembre 2018 e i relativi dati stimati con modello SPIAIR

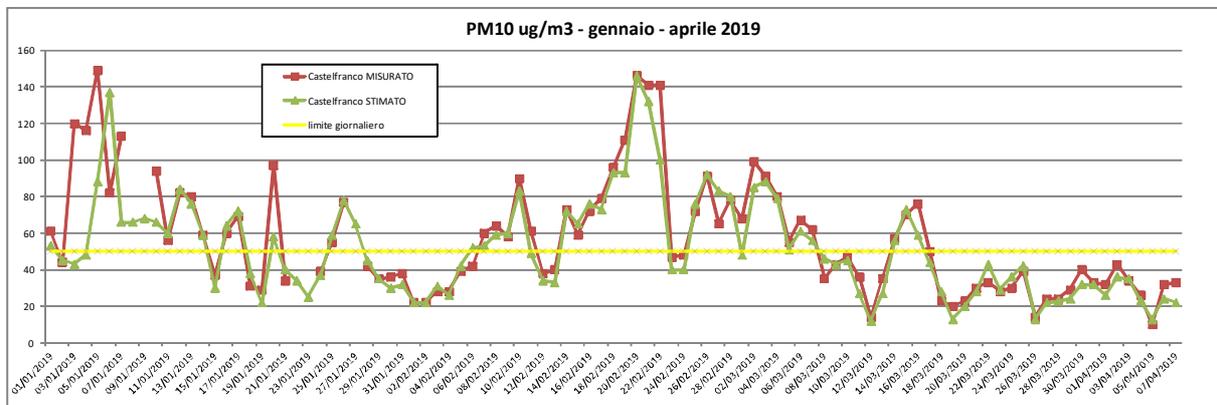


Figura 15 Concentrazioni giornaliere di PM10 rilevate a Castelfranco Veneto nel periodo gennaio – aprile 2019 e i relativi dati stimati con modello SPIAIR

Dai dati sopra riportati risulta evidente una lieve sottostima delle concentrazioni di PM10 da parte del modello SPIAIR rispetto ai valori determinati sperimentalmente, tuttavia le differenze più sensibili sono concentrate nel periodo che va da Natale all'Epifania; in tale periodo la stima modellistica si discosta sensibilmente dalle concentrazioni rilevate, probabilmente a causa della modifica del regime delle emissioni sia da traffico che residenziali, di cui attualmente il modello non tiene conto, oltre che all'emissione eccezionale di inquinanti a seguito dei festeggiamenti di rito. Questa riduzione della performance sarà quantificata nel paragrafo successivo mediante il calcolo differenziato di opportuni indicatori statistici.

6.1 Analisi statistica delle serie dati: misura vs. modello

L'obiettivo del presente paragrafo è verificare, tramite l'utilizzo di opportuni test ed indici statistici, la congruenza tra stime modellistiche e misure in campo delle concentrazioni ambientali di PM10 nell'area di Castelfranco Veneto al fine di valutare in modo obiettivo e ripercorribile la possibilità di utilizzare i valori ambientali da modello come "sostitutivi efficaci" delle misure strumentali tradizionali.

In Figura 16 è riportato un confronto grafico tra le concentrazioni giornaliere di PM10 (misura vs. modello) da cui si evince che, eccezion fatta per il periodo natalizio, il sistema modellistico utilizzato riesce a "catturare" in modo abbastanza preciso il trend giornaliero (sequenza temporale dei valori minimi e massimi) anche se, d'altro canto, risulta evidente una tendenza di tipo sistematico alla sottostima dei valori la cui significatività statistica sarà oggetto delle successive valutazioni di approfondimento.

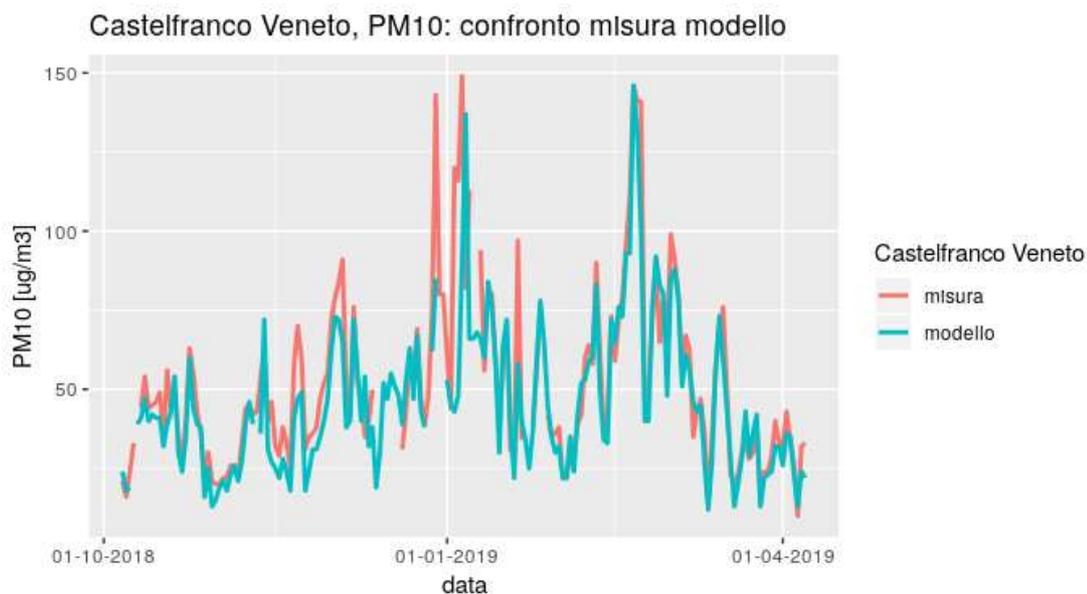


Figura 16 Andamento giornaliero delle concentrazioni di PM10 nell'area di Castelfranco Veneto stimate da modello ed effettivamente misurate con campionatore rilocabile nel periodo Ottobre 2018 – Aprile 2019.

In Figura 17 è riportato un confronto grafico (*Notched Box-Plot*) tra i valori di concentrazione riferiti ai principali quantili (25°, 50°, 75°) ed ai valori minimi e massimi (compresi eventuali *outliers*, indicati dai punti) delle concentrazioni stimate da modello rispetto a quelle effettivamente misurate in campo nel corso dello stesso periodo di riferimento (Ottobre 2018 – Aprile 2019).

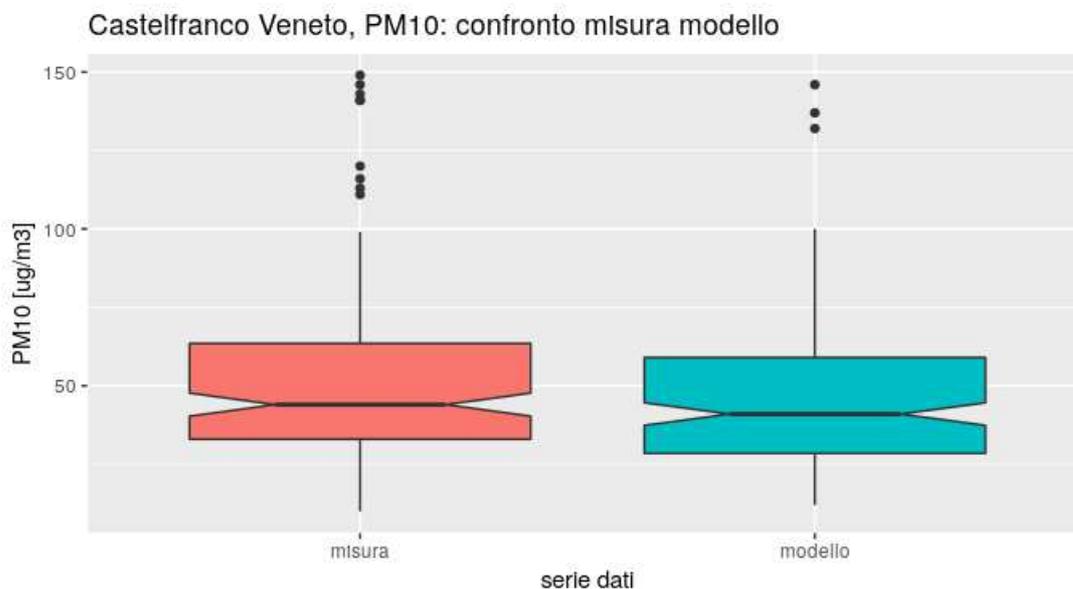


Figura 17 *Notched Box-Plot*: PM10 a Castelfranco Veneto: misure vs. modello.

Nel grafico in Figura 17, l'intaccatura (*notch*) della scatola (*box*) che mostra l'intervallo di confidenza della mediana rende subito evidente l'indicazione statistica (di tipo non parametrico) che le mediane delle due serie di dati non differiscono in modo significativo (intervallo di confidenza al 95%, ex Chambers et al., 1983).

Tale indicazione preliminare (sostanzialmente di tipo “visuale-speditivo”) sarà successivamente supportata e validata dall'applicazione di ulteriori test statistici di tipo parametrico e non parametrico che verranno ampiamente discussi nel seguito del presente paragrafo.

Con l'obiettivo di valutare in modo più approfondito il grado di congruenza tra misure e stime in Figura 18 viene riportato un grafico di sintesi che ha l'obiettivo di confrontare i valori dei quantili notevoli delle due distribuzioni dati (stratificati per prefissati intervalli di concentrazione).

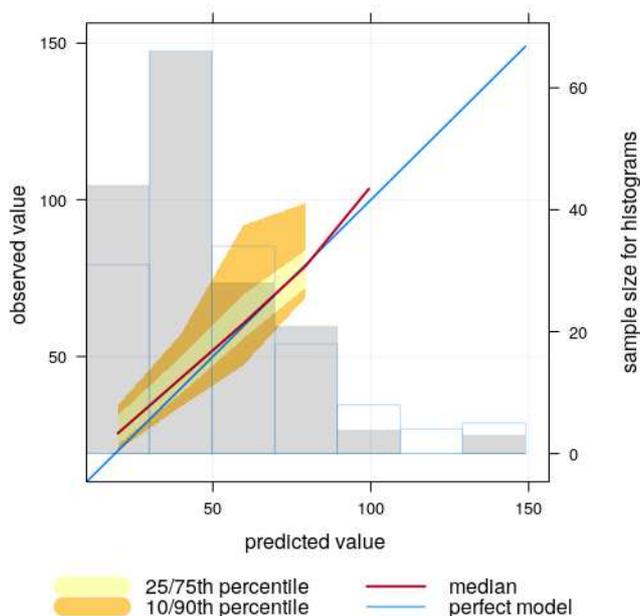


Figura 18 Conditional quantile plot: confronto tra valori misurati (observed) e stimati (predicted).

Si tratta di un grafico (*conditional quantile plot*), simile al quantile-quantile (*Q-Q plot*) spesso utilizzato per confrontare serie di dati, che ha la particolarità di “condizionare” la valutazione dei dati osservati (“misura”) rispetto ad un prefissato intervallo di predizione (“modello”).

La rappresentazione grafica delle due serie di dati messe a confronto secondo questa modalità di valutazione permette di ben evidenziare il grado di accordo tra misura e modello superando al contempo i limiti tipici della rappresentazione tradizionale (*Q-Q plot*) che non fornisce la possibilità di valutare in dettaglio la performance modellistica per ciascun intervallo di concentrazione (ma solo in termini complessivi, cumulati).

Le osservazioni (valori di concentrazione di PM10) riferite alle due serie di dati (misura vs. modello) sono state preliminarmente ripartite in un numero di “intervalli di concentrazione” prefissato che garantisca una adeguata numerosità e significatività statistica.

Successivamente, per ciascun intervallo di concentrazione sono stati calcolati i corrispondenti percentili notevoli che nel grafico sono stati rappresentati tramite una linea rossa (per la mediana), una fascia giallo chiaro (per i valori tra il 25° ed il 75° percentile) e una fascia ancora più ampia di colore giallo scuro (per i valori tra il 10° ed il 90° percentile).

La diagonale rappresentata con una linea azzurra (“perfect model”) indica l’andamento di un ipotetico modello di tipo “perfetto” nel caso del tutto teorico in cui i valori da modello siano perfettamente congruenti con i valori misurati. Infine, nel grafico sono riprodotti anche gli istogrammi della numerosità delle due serie di dati all’interno degli intervalli di concentrazione prefissati, sia per quanto riguarda la serie dati “modello” (istogrammi in grigio pieno) che per la serie “misura” (istogrammi con cornice azzurra).

In estrema sintesi, il grafico in Figura 18 evidenzia l’ottimo grado di accordo tra modello e misura (la linea rossa - mediana - approssima bene la la linea azzurra - caso teorico, almeno entro i 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) anche se appare chiara la sistematica tendenza ad una sotto-stima da parte del modello.

Tali considerazioni sono rafforzate dal punto di vista quantitativo attraverso l’analisi dei principali indici statistici riportati in Tabella 2, che sono tipicamente utilizzati nella valutazione della *performance* dei modelli di stima (Chang and Hanna, 2004).

indici	n	FAC2	MBE	RMSE	r
<i>valore</i>	166	0.98	-5.60	14.85	0.87
Note: n = numero completo di coppie campioni a confronto FAC2 = fraction of predictions within a factor of two MBE = mean bias error RMSE = root mean squared error r = spearman rank correlation					

Tabella 2 *Principali indici statistici di confronto tra misura e modello.*

Gli indici statistici riportati in Tabella 2 forniscono sinteticamente le seguenti informazioni.

Su 166 coppie (complete) di dati analizzati, il 98% soddisfa la condizione che il rapporto tra modello e misura sia compreso nell'intervallo tra 0.5 e 2 (FAC2), cioè in altri termini il valore stimato risulta quasi sempre compreso entro un fattore 2 (approssimato in difetto od in eccesso) rispetto al corrispondente misurato. Il valore dell'indice FAC2 viene considerato "buono" quando è superiore a 0.5: nel caso in esame si raggiunge un valore pari a 0.98. L'errore sistematico di stima (MBE) è pari a circa $-6 \mu\text{g}/\text{m}^3$, indicando una tendenza alla stima per difetto, mentre l'ampiezza dell'errore medio di stima (RMSE) è in valore assoluto pari a circa $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$, indicando un valore di errore più consistente ma comunque contenuto. Il coefficiente di correlazione non parametrico di Spearman, che misura in grado di "accordo" (alto-alto, basso-basso) tra i valori delle due serie di dati, è risultato significativamente elevato ($r = 0.87$).

Si rileva che, se escludiamo dalla valutazione delle performance del sistema modellistico il periodo dal 27/12/2018 al 07/01/2019, cioè un periodo di difficile caratterizzazione della variabilità delle emissioni da traffico, residenziali ed industriali, gli indici statistici di performance migliorano in modo sensibile (Tabella 2 bis).

indici	n	FAC2	MBE	RMSE	r
<i>valore</i>	157	1	-4.16	9.27	0.94

Tabella 2 bis *Principali indici statistici di confronto tra misura e modello.*

In Tabella 3 è presentato un confronto tra le principali le principali statistiche descrittive delle concentrazioni ambientali di PM10 per l'area di Castelfranco Veneto nel periodo di osservazione Ottobre 2018 – Aprile 2019 relative alle misurazioni effettuate in campo con campionatore rilocabile ("misure") e alle stime prodotte dal sistema previsionale SPIAIR ("modello").

Statistica	misure	modello
<i>Minimo</i>	10.00	12.00
<i>Primo quartile (25° percentile)</i>	27.50	33.00
<i>Mediana</i>	44.00	41.00
<i>Media</i>	51.79	46.04
<i>Terzo quartile (75° percentile)</i>	63.50	59.00
<i>Massimo</i>	146.00	149.00

Tabella 3 *Principali statistiche descrittive delle due serie dati: misura vs. modello.*

Nel prosieguo del presente paragrafo sarà presentata un'articolata serie di considerazioni statistiche atte a verificare la bontà della proposta di utilizzare per l'area di Castelfranco Veneto la stima modellistica quale efficace "surrogato" delle misure in campo di PM10.

E' d'altro canto evidente che non si tratta qui di porsi nella condizione di verificare una sostituzione di tipo "perfetto" (per altro, tecnicamente impossibile), ma di appurare, sulla base di considerazioni il più possibile oggettive, se le informazioni ambientali restituite dai due alternativi sistemi di valutazione (misura vs. modello) sono da ritenersi sufficientemente sovrapponibili.

Con questo obiettivo verranno prima discussi i risultati dell'applicazione di metodi di tipo "generalista", che consentono di valutare la significatività statistica "complessiva ed indistinta" dovuta ad eventuali differenze riconducibili a più fattori in contemporanea (ad esempio: momenti di tendenza centrale, dispersione, simmetria, curtosi, etc.), e solo successivamente, si passerà all'applicazione di test di tipo "specifico", che consentono di verificare "singolarmente e distintamente" la significatività statistica rispetto ad un singolo fattore per volta (ad esempio: media, mediana, etc.).

Un metodo statistico "generalista" per la verifica delle differenze nelle mediane, nella variabilità e nella forma di due distribuzioni di dati è il test non parametrico di Kolmogorov-Smirnov per due campioni indipendenti con dati continui. L'applicazione di questo test per l'area di Castelfranco Veneto ha confermato che le due serie di dati di PM10 (misura vs. modello) non possono essere riferite a popolazioni statisticamente differenti (ipotesi bilaterale, $D = 0.09$, $p\text{-value} = 0.48$) cioè, in altri termini, dati "misurati" e "stimati" fanno parte di un'unica indistinguibile serie, quindi di fatto, esprimono la stessa informazione statistica complessiva.

Il test "generalista" non parametrico delle successioni (*runs*) per due campioni indipendenti, detto anche test di Wald-Wolfowitz con la correzione per la continuità, viene utilizzato per verificare simultaneamente la significatività di qualunque differenza tra due distribuzioni campionarie dovuta agli effetti singoli o combinati dei parametri fondamentali di una distribuzione (tendenza centrale, dispersione, simmetria e curtosi): l'applicazione del test al caso studio di Castelfranco Veneto, ha evidenziato valori di criticità ($z = -5.6137$, $\text{runs} = 123$, $m = 171$, $n = 179$, $p\text{-value} = 1.98e-08$) che permettono rigettare l'ipotesi nulla (estrazione casuale di due campioni indipendenti della stessa popolazione). E' quindi evidente la necessità di ricorrere all'utilizzo di altri test "specifici" per individuare la causa che ha contribuito in maniera esclusiva o preponderante alla differenza riscontrata (cioè le due serie di dati provengono da popolazioni differenti).

Il test non parametrico di Levene, modificato nella forma robusta di Brown-Forsythe, che è basato sulle deviazioni assolute dalla mediana, non ha confermato differenze significative (Test Statistic = 1.6703, $p\text{-value} = 0.1971$) nella varianza "di gruppo" permettendo di concludere che nelle due serie di dati originali (misura vs. modello) la variabilità non è statisticamente differente.

I risultati del test non parametrico di Wilcoxon-Mann-Whitney della somma dei ranghi ($W = 17048$, $p\text{-value} = 0.06534$), affermano che non è possibile rigettare l'ipotesi nulla perché le distribuzioni delle due serie di dati a confronto (misura vs. modello) hanno un indice di tendenza centrale (mediana) statisticamente uguale (l'ipotesi alternativa, definita come "true location shift is not equal to 0", e che in questo caso non si può accettare - cfr. $p\text{-value}$ - prevederebbe che la distribuzione di una delle due serie di dati risulti spostata a destra o a sinistra rispetto all'altra implicando così una differenza reale nelle mediane – cioè un'ipotesi non verificata sulla base dei risultati del test).

Da rilevare, che il test di tipo parametrico t di Student modificato con la correzione di Welch per varianze diseguali, che lo rende sufficientemente robusto anche per serie di dati non rigorosamente "normali", ha evidenziato indici di criticità statistica ($t = 2.105$, $df = 333.98$, $p\text{-value} = 0.03604$) per cui è possibile affermare una differenza statisticamente significativa nelle medie di periodo delle due serie dati ("misura" circa $52 \mu\text{g}/\text{m}^3$ vs. modello circa $46 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

Il test di permutazione (permutation test) o di casualizzazione è il test non parametrico più potente per il confronto delle tendenze centrali (medie) tra due campioni. Non richiede la verifica di alcun postulato sulla forma della distribuzione e non richiede il ricorso a tavole dei valori critici perché è in grado di calcolare le probabilità esatte. Il risultati del test applicato alle serie dati per l'area di Castelfranco Veneto ha confermato una differenza significativa nelle medie con un grado di probabilità $p\text{-value} = 0.03553$ (media "misura" = $52 \mu\text{g}/\text{m}^3$ vs. media "modello" = $46 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

I risultati di questi due ultimi test (t Student Welch e permutation test) riferiti specificamente all'indice di tendenza centrale "valore medio" confermano di fatto quanto già esposto in precedenza riguardo alla

sistematica sottostima delle previsioni modellistiche che sono mediamente quantificabili in circa $-6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (cfr. Tabella 2).

In sintesi, la forte convergenza di valutazioni basate su metodi statistici differenti (parametrici e non parametrici) riferiti ai vari indici di tendenza centrale (mediana, media) e di dispersione (varianza) conferma la robustezza e l'affidabilità statistica dell'affermazione che le due serie dati di PM10 relative utilizzo di differenti metodologie di caratterizzazione dei livelli ambientali di PM10 (misura vs. modello) per l'area di Castelfranco Veneto non sono significativamente differenti, fatta eccezione per un sistematico errore di sottostima a carico delle valutazioni modellistiche previsionali ("errore" che dopo essere stato opportunamente individuato e quantificato – in media $6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ - può essere facilmente considerato come un "aggiustamento" *ex post*).

Per concludere, rimane da discutere in dettaglio l'eventuale significatività delle differenze riscontrate nel numero di superamenti del valore limite giornaliero di $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (protezione della salute) che sono stati effettivamente conteggiati vs. previsti, rispettivamente nelle serie dati "misura" vs. "modello".

Come riportato nella precedente Tabella 1 (al paragrafo 6), la serie di dati "misurati", cioè rilevati dal campionatore PM10 rilocabile, ha fornito evidenza di un numero di superamenti del limite giornaliero di protezione della salute che è sensibilmente superiore rispetto a quello della serie dati "stimati, cioè previsti dal sistema modellistico (rispettivamente, superamenti 68 vs. 62).

La significatività di tali differenze, ancorché riferite ad un diverso numero di campioni disponibili nelle serie di dati a confronto (rispettivamente $n = 103$ vs. $n = 117$), dovrà essere verificata ed attestata tramite opportuni test statistici che permetteranno di concludere in modo oggettivo e ripercorribile se, per l'area di Castelfranco Veneto, l'output modellistico può essere considerato una *proxy* efficace dei dati rilevati con misure in campo.

L'applicazione del test Chi-quadro (con la correzione di Yates per la continuità) ha confermato che le differenze riscontrate nel numero totale di superamenti del valore limite giornaliero di $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (per la protezione della salute) non è statisticamente significativo ($X\text{-squared} = 0.77804$, $df = 1$, $p\text{-value} = 0.3777$), cioè, in altri termini, non è possibile rigettare l'ipotesi nulla (di verifica del test) per cui il numero di superamenti "visti" dai due alternativi sistemi di valutazione (misura vs. modello) è di fatto uguale (cioè, ancora una volta, utilizzare le misure od il modello non cambia significativamente il numero complessivo di superamenti rilevati per il periodo in esame).

Conclusioni del tutto analoghe si ottengono dall'applicazione del test esatto di Fischer ($p\text{-value} = 0.3761$) che non permette di rigettare con sufficiente grado di attendibilità statistica l'ipotesi nulla (iniziale) che le eventuali differenze nei valori di risposta ottenuti siano sostanzialmente determinati dal caso, cioè la conclusione per cui non esiste una differenza reale (statisticamente robusta) nel numero di superamenti conteggiati tramite i due alternativi sistemi di valutazione (misura vs. modello) per l'area di Castelfranco Veneto nel periodo di osservazione Ottobre 2017 – Aprile 2019.

Infine, si rileva che, dal punto di vista operativo e di eventuale verifica di conformità rispetto agli standard normativi, il periodo Ottobre 2018 – Aprile 2019 comprende i mesi dell'anno più critici per l'inquinamento atmosferico rispetto ai quali il sistema modellistico previsionale adottato ha comunque conteggiato un numero di superamenti molto più elevato rispetto alla soglia critica di protezione della salute stabilita dal D.Lgs. 155/2010 (limite di 35 superamenti/anno).

E' quindi evidente che i risultati dell'analisi statistica qui presentata restituiscono una valutazione complessiva del sistema modellistico previsionale delle concentrazioni ambientali di PM10 nell'area di Castelfranco Veneto che risulta adeguato sia per l'adozione delle eventuali azioni locali di gestione del territorio (conteggio del numero di superamenti per i provvedimenti di limitazione delle emissioni) sia per la valutazione dei possibili effetti sulla salute (sia a breve che a lungo termine).

Tutta l'analisi qui riportata è stata effettuata con l'utilizzo del linguaggio di programmazione R e di specifici pacchetti per la valutazione dei test statistici e la rappresentazione grafica dei risultati.

7. Conclusioni

Al fine di valutare la bontà dell'applicazione del sistema modellistico SPIAIR, utilizzato da ARPAV per la valutazione del raggiungimento dei livelli di allerta PM10 nel Veneto, è stato effettuato un monitoraggio con strumentazione rilocabile del PM10 per la durata di circa sei mesi invernali, da Ottobre 2018 ad Aprile 2019, nel comune di Castelfranco Veneto, in via Monfenera presso la scuola primaria.

I dati rilevati dalla strumentazione in campo non possono essere utilizzati per un confronto diretto con i limiti normativi a lungo termine in quanto non rappresentativi di un intero anno civile, così come espressamente richiesto dal D.Lgs 155/2010.

I dati tuttavia permettono di osservare, per l'anno 2019, il superamento del valore limite giornaliero di $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ da non superare per più di 35 volte in un anno civile in quanto, già nei primi tre mesi dell'anno si sono rilevati 44 superamenti.

Il confronto tra i dati misurati sperimentalmente e quelli stimati dal sistema modellistico SPIAIR ha evidenziato una tendenza di tipo sistematico alla sottostima da parte del modello ($- 6 \mu\text{g}/\text{m}^3$) che può essere facilmente compensata con un aggiustamento ex post dei valori stimati.

E' emersa una riduzione della performance del sistema modellistico nel periodo tra Natale ed Epifania, in cui il regime delle emissioni cambia radicalmente a seguito del mutamento della circolazione stradale e degli orari di accensione del riscaldamento domestico, oltre a emissioni supplementari che il modello non considera.

Nel complesso la valutazione della performance modellistica è risultata perfettamente adeguata al monitoraggio delle concentrazioni ambientali di PM10 nell'area di Castelfranco Veneto.

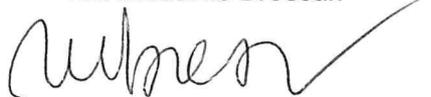
Sia dal punto di vista delle informazioni necessarie all'adozione di eventuali provvedimenti amministrativi di gestione locale del territorio che della valutazione dei possibili effetti sulla salute la stima modellistica garantisce un'adeguata rappresentazione dei livelli di inquinamento da PM10.

Redazione a cura di

Dr.ssa Claudia Iuzzolino



Dr. Massimo Bressan



Il Direttore del Dipartimento
Provinciale ARPAV di Treviso
Dr. Rodolfo Bassan



Dipartimento di Treviso
Servizio Monitoraggio e Valutazioni
Via Santa Barbara, 5/A
31100 Treviso (TV)
Italy
Tel. +39 0422 558541/2
Fax +39 0422 558516
e-mail: daptv@arpa.veneto.it

Giugno 2019



ARPAV

Agenzia Regionale
per la Prevenzione e
Protezione Ambientale
del Veneto

Direzione Generale
Via Ospedale Civile, 24
35137 Padova

Italy

tel. +39 049 82 39 301

fax. +39 049 66 09 66

e-mail: urp@arpa.veneto.it

e-mail certificata: protocollo@pec.arpav.it

www.arpa.veneto.it