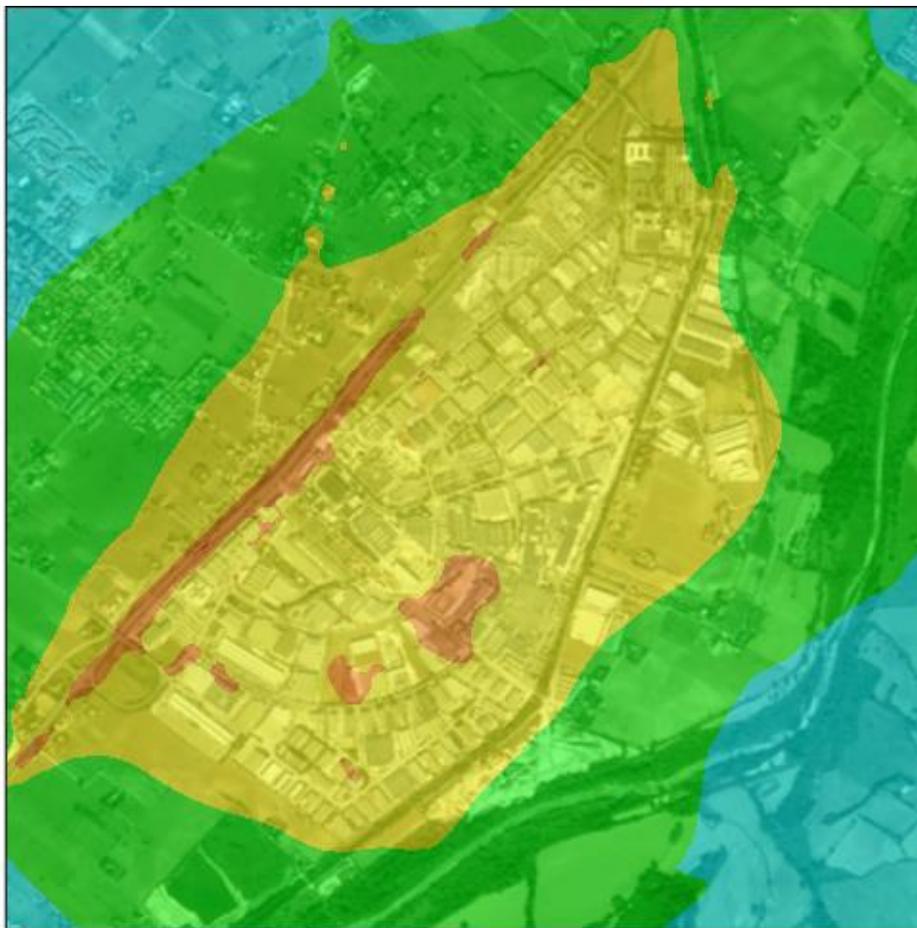




1506
UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI URBINO
CARLO BO

DISPEA
DIPARTIMENTO DI
SCIENZE PURE E
APPLICATE

Modelli numerici per lo studio della qualità dell'aria della zona industriale di Bellocchi di Fano



Gruppo di Lavoro

Prof. Umberto Giostra
Dott. Francesco Furlani, PhD
Dott.ssa Agnese Gasparini
Dott. Marco Zanardelli

20 Luglio 2020

INDICE

1	INTRODUZIONE	3
2	RIFERIMENTI NORMATIVI	3
3	ANALISI DEI DATI DI QUALITÀ DELL'ARIA	4
4	ANALISI DEI DATI METEOROLOGICI	10
4.1	Analisi dei dati di vento delle stazioni meteorologiche superficiali	11
4.2	Analisi dei dati di profilo meteorologico	13
5	I MODELLI NUMERICI.....	14
5.1	Il sistema modellistico CALMET - CALPUFF	14
5.2	Metodologia modellistica implementata	18
6	INVENTARIO DELLE EMISSIONI.....	21
6.1	Emissioni da traffico autoveicolare.....	21
6.1	Emissioni industriali	26
7	RISULTATI DELLE SIMULAZIONI NUMERICHE	29
7.1	Simulazioni delle polveri sottili PM10	29
7.2	Simulazioni degli ossidi di azoto NO2	33
8	CONCLUSIONI	36
	ALLEGATO 1 - FLUSSI DI TRAFFICO.....	38

1 Introduzione

Il presente studio, commissionato dal Comune di Fano all'Università di Urbino, ha come obiettivo l'analisi dello stato della qualità dell'aria della zona industriale di Bellocchi.

Il progetto prevedeva il reperimento, l'analisi ed una revisione critica dei dati già in possesso agli enti competenti in materia di qualità dell'aria (Comune, Provincia, ARPA). Esso prevedeva inoltre l'implementazione di modelli meteorologici e di qualità dell'aria per la zona industriale di Bellocchi. I modelli numerici, come previsto dalla norma quadro in materia di qualità dell'aria d.lgs. 155/2010, sono strumenti fondamentali per: i) comprendere la relazione fra emissioni ed immissioni, ovvero determinare il contributo delle diverse sorgenti alle concentrazioni di una determinata area (*source apportionment*); ii) valutare la qualità dell'aria nelle zone in cui non sono presenti stazioni di misurazione; iii) valutare la qualità dell'aria sulla base di scenari emissivi; iv) valutare l'efficacia delle misure di contenimento delle emissioni.

Il sistema modellistico adottato in questo studio ha consentito di stimare i contributi delle singole tipologie di sorgenti (veicolari, industriali) alle concentrazioni dei principali inquinanti presenti nella zona industriale e di estendere le informazioni derivanti dalle misure di concentrazioni a zone prive di rilevazioni dirette. Lo stesso strumento potrà inoltre essere impiegato per valutare la qualità dell'aria sulla base di possibili scenari emissivi futuri ed anche per valutare l'efficacia delle misure di contenimento delle emissioni.

2 Riferimenti normativi

La normativa di riferimento per la qualità dell'aria è il Decreto Legislativo 13 agosto 2010 n° 155, modificato ed integrato dal Decreto Legislativo 24 dicembre 2012, n. 250 e dal Decreto 26 gennaio 2017 del Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio.

Tale decreto recepisce la direttiva 2008/50/CE e sostituisce le disposizioni di attuazione della direttiva 2004/107/CE, istituendo un quadro normativo unitario in materia di valutazione e di gestione della qualità dell'aria ambiente.

In tabella 2.1 vengono riportati i valori limite di concentrazione in aria ambiente per i composti che verranno presi in considerazione in questo studio.

Inquinante	Periodo di mediazione	Parametro di riferimento	Valore Limite [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]
PM ₁₀	24 ore	90,4 percentile	50
	anno	Media	40
NO ₂	1 ora	99,8 percentile	200
	anno	Media	40
CO	8 ore	Media mobile	10000
O ₃	1 ora	Media	180
	8 ore	Media mobile	120
SO ₂	1 ora	99,7 percentile	350
	giorno	99,2 percentile	125
Benzene	anno	Media	5

Tabella 2.1 Limiti di legge per gli inquinanti presi in considerazione in questo studio.

3 Analisi dei dati di qualità dell'aria

Per lo studio della qualità dell'aria della zona industriale di Bellocchi ci si è principalmente basati sull'analisi dei dati rilevati della centralina di monitoraggio di proprietà della ditta Profilglass e gestita da Arpa Marche. Occorre ricordare che tale centralina a partire dal mese di giugno 2019 è collocata in via Filippini, mentre nel periodo gennaio 2016 – luglio 2017 era stata posizionata in via VIII strada. I parametri da essa rilevati in continuo riguardano le polveri sottili (PM10) e il biossido di azoto (NO₂).

In figura 3.1 viene mostrata la serie storica di concentrazioni di PM10 (denominata Bellocchi) dell'ultimo anno di misura (1 giugno 2019 – 31 maggio 2020); per un utile confronto, nello stesso grafico è stata riportata la serie storica di PM10 campionata, per lo stesso periodo, dalla centralina di traffico di via Montegrappa di Fano di proprietà di Arpam.

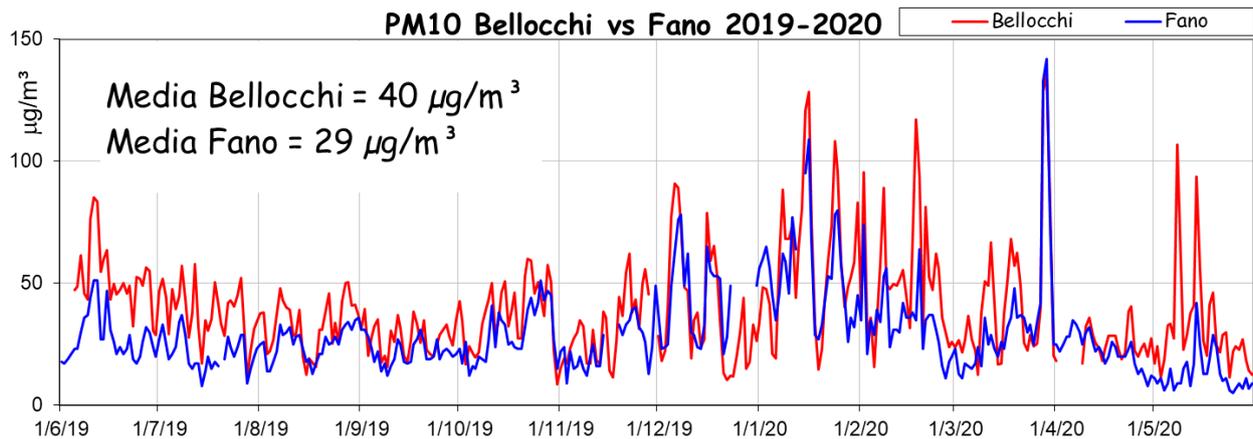


Figura 3.1 Serie storiche di concentrazione della centralina Profilglass denominata Bellocchi e di Fano di PM10 per il periodo 2019-2020.

La prima evidenza che emerge dal grafico è come i dati di Bellocchi siano sistematicamente più elevati di quelli campionati a Fano. Lo scarto medio, nel periodo analizzato, è di $11 \mu\text{g}/\text{m}^3$, con una media annua per la centralina di Bellocchi che raggiunge i $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ contro i $29 \mu\text{g}/\text{m}^3$ per la centralina di Fano. Si tratta ovviamente di una differenza molto significativa che in termini relativi corrisponde a valori medi per la centralina di Bellocchi più elevati di circa il 30% rispetto a Fano. Analizzando i dati in relazione ai limiti previsti dalla legge per questo inquinante, la centralina di Bellocchi sperimenta 79 superamenti del limite di $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ a fronte dei 35 consentiti; mentre Fano eguaglia il limite di legge con 35 superamenti nell'anno solare analizzato.

In figura 3.2 vengono riportate le serie storiche di concentrazione di PM10 per il precedente periodo di misura, quando la centralina denominata Bellocchi di proprietà di Profilglass era posizionata in via VIII strada. Come si può osservare il grafico descrive una situazione sensibilmente differente; anche in questo sito i dati di Bellocchi sono più elevati di quelli di Fano, ma in questo caso lo scarto sul periodo è di soli $3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ corrispondenti ad uno scarto percentuale di circa il 10%. Anche in questo sito il limite di legge su base giornaliera (35 sforanti della soglia di $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$) per l'anno solare 2016 non era stato rispettato in quanto si erano verificati 42 superamenti. Tuttavia appare evidente che le condizioni di qualità dell'aria per questo inquinante siano decisamente più critiche presso via Filippini rispetto a via VIII strada.

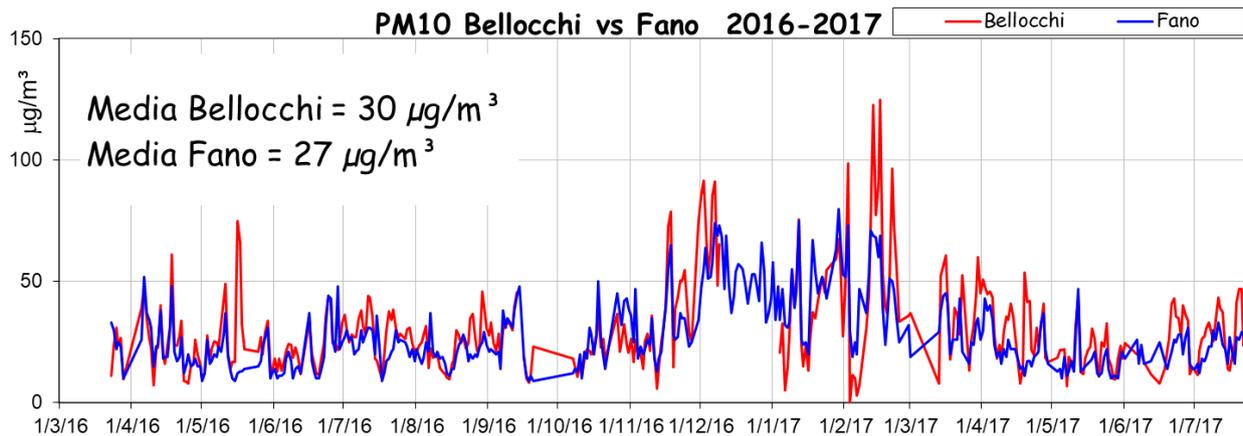


Figura 3.2 Serie storiche di concentrazione della centralina di Bellocchi e di Fano di PM10 per il periodo 2016-2017

Per investigare con maggior dettaglio questa eventuale variabilità spaziale delle concentrazioni di polveri sottili all'interno della zona industriale sono stati analizzati i dati di altre due brevi campagne di misura a nostra disposizione. Poiché le due campagne si riferiscono a periodi differenti fra loro, e diversi ai periodi di attività della centralina di proprietà di Profilglass descritti in precedenza, un modo utile per metterle a confronto è quello di riferire i dati di Bellocchi ai dati della centralina Arpam di Fano come fatto in precedenza.

In figura 3.3 vengono riportati i dati campionati nei pressi di Auchan nel luglio 2018 e in via De Nicola nel gennaio 2014. Pur trattandosi di campagne brevi e quindi con un valore statistico inferiore rispetto alle serie storiche annuali descritte in precedenza, in entrambi i siti di campionamento la situazione appare decisamente differente a via VIII strada ed in misura ancora maggiore a via Filippini. Sia in via De Nicola che in zona Auchan la media delle polveri sottili risulta inferiore a quelle campionate nello stesso periodo a Fano. Inoltre, su base giornaliera, i dati di via De Nicola appaiono superiori a quelli di Fano per soltanto 3 giorni su un totale di 20 giorni della campagna di misura; in zona Auchan i dati di concentrazione sono sistematicamente inferiori (7 giorni su 7) rispetto a quelli di Fano.

Appare quindi confermata la presenza di una disomogeneità spaziale del campo di concentrazioni di PM10 all'interno della zona industriale con massimo presso via Filippini e con valori più bassi un ogni altro sito sondato.

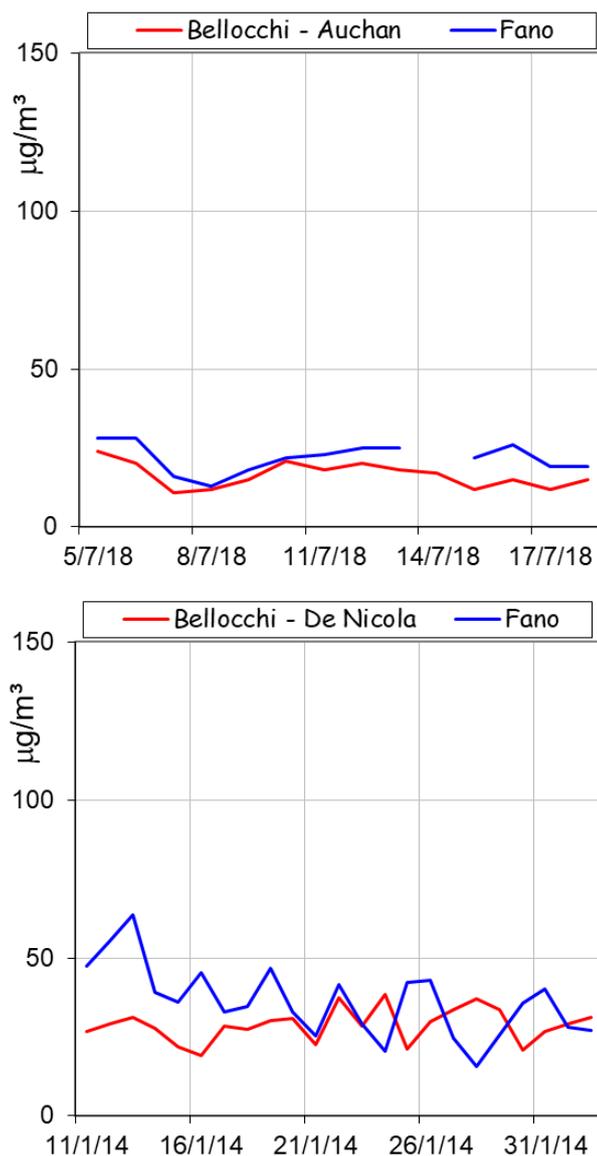


Figura 3.3 Campagne di misura effettuate presso Auchan (in alto) e via De Nicola (in basso) realizzate rispettivamente nel mese di luglio 2018 e gennaio 2014. In entrambe le campagne i dati sono stati raffrontati con i dati di Fano.

I grafici dei dati di concentrazione di NO₂ monitorati in continuo dalla centralina Profilglass sia nell'attuale posizione (via Filippini) e che nella precedente collocazione (via VIII strada), raffrontati con i dati della centralina di Fano, sono mostrati nella figura 3.4. Come si può osservare, per questo inquinante sia nell'attuale che nella precedente collocazione della centralina, i limiti di legge in media annua (40 µg/m³) sono ampiamente rispettati ed inferiori alla centralina di traffico di Fano.

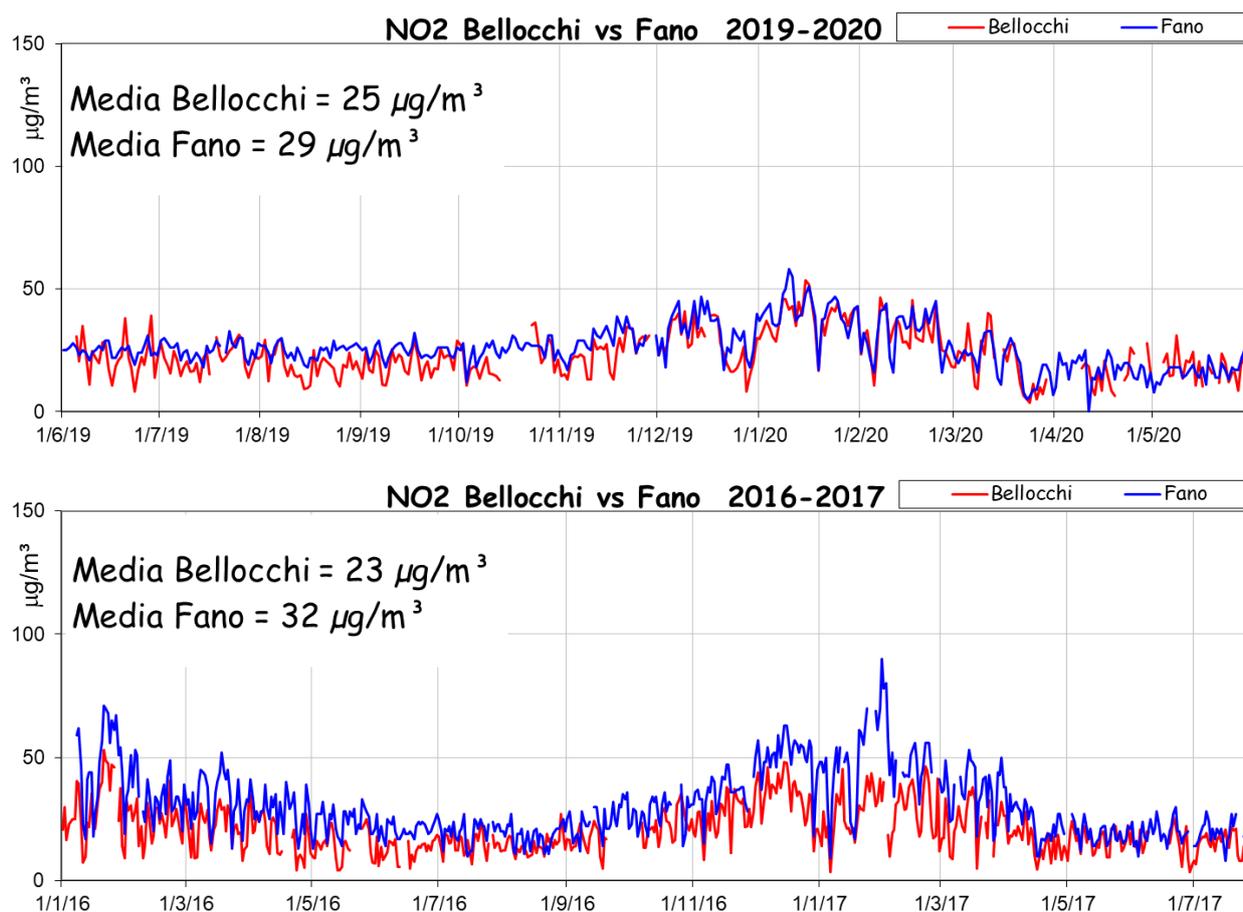


Figura 3.4 Serie storiche di concentrazione per gli NO2 campionati dalla centralina Profilglass; in alto in via Filippini, in basso in via VIII strada.

Per questo studio avevamo a disposizione i dati di concentrazione di altri inquinanti, campionati con mezzo mobile da Arpam in due differenti vie della zona industriale: Via Albertario per il periodo 23 gennaio - 5 febbraio 2009 e in Via Papiria per il periodo 15 – 27 dicembre 2011. Gli inquinanti monitorati sono stati: Monossido di Carbonio, Monossido di Azoto, Ozono, Benzene, Toluene ed Anidride solforosa (quest'ultima solo per la campagna del 2009).

I dati di concentrazione in media giornaliera sono riportati di figura 3.5 e 3.6. La brevità delle campagne di misura e, per alcuni inquinanti, la frequenza di campionamento, non consente un controllo rigoroso del rispetto dei limiti di legge. Ad esempio il benzene prevede un limite in media annua, l'ozono e il monossido di carbonio prevedono limiti delle concentrazioni orarie in media mobile calcolata su 8 ore. Tuttavia i valori rilevati sono sufficientemente bassi da non destare particolari preoccupazioni.

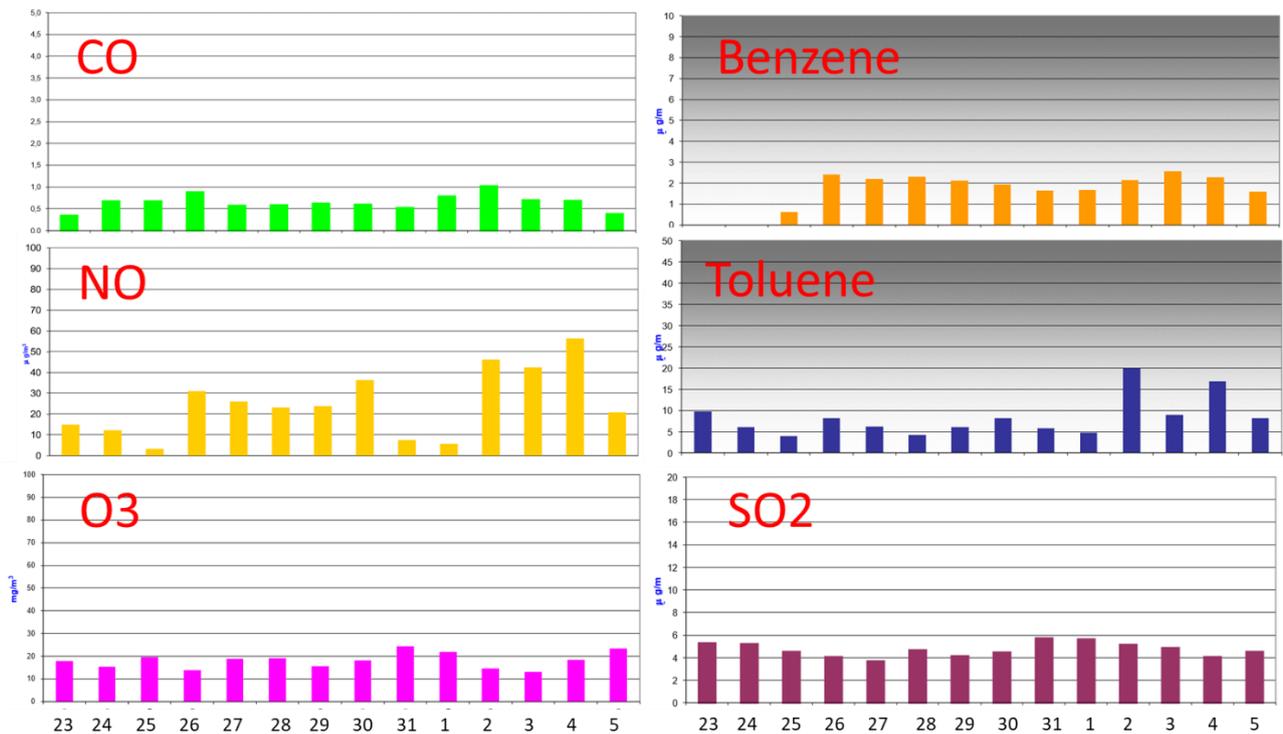


Figura 3.5 Valori di concentrazione in media giornaliera campionanti durante la campagna del 23 gennaio – 5 febbraio 2009 da Arpam. (Tratte da: Monitoraggio Aria Fano – Via Albertario. ARPAM)

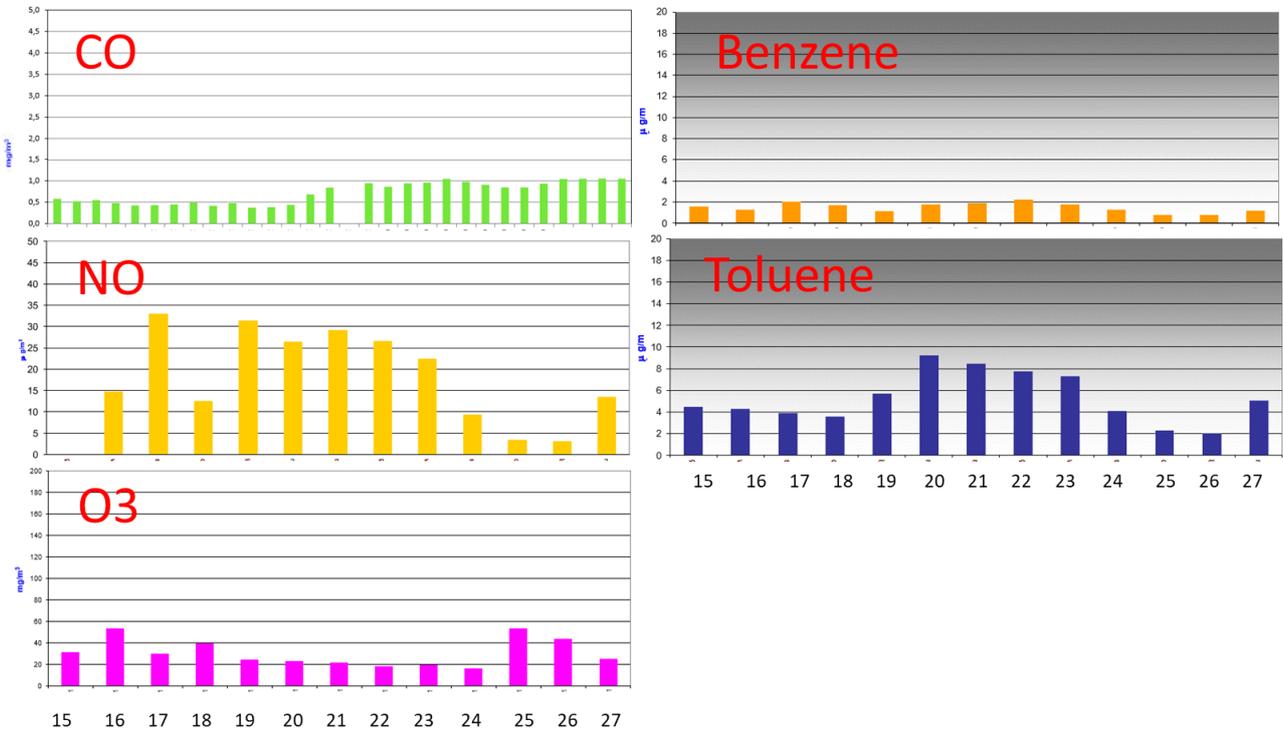


Figura 3.6 Valori di concentrazione in media giornaliera campionanti durante la campagna del 15 – 27 dicembre 2011 da Arpam. (Tratte da: Monitoraggio Aria Fano – Via Papiria. ARPAM)

4 Analisi dei dati meteorologici

Come noto, la qualità dell'aria dipende, oltre che dalle fonti emissive di inquinamento, anche dalle condizioni meteorologiche locali. Gli effetti della meteorologia sulla dispersione degli inquinanti possono essere sommariamente distinti in:

- trasporto, ad opera del campo di vento medio;
- diluizione, essenzialmente prodotta dalla turbolenza atmosferica che caratterizza lo strato limite atmosferico (PBL).

Tali effetti verranno valutati con idonei modelli numerici meteorologici i quali tuttavia necessitano di dati di input. I dati di input meteorologici, prima di essere impiegati sono stati analizzati allo scopo di verificare la loro adeguatezza/rappresentatività per questo studio ponendo particolare attenzione sui fenomeni meteorologici più significativi, quali:

- le calme di vento per il loro limitato potere di diluizione orizzontale degli inquinanti;
- le condizioni di stabilità atmosferica che inibiscono il rimescolamento verticale degli inquinanti;
- le condizioni di circolazione a larga scala (vento sinottico).

I dati utilizzati per lo studio sono stati campionati dalla centralina di rilevamento di ASET presso l'impianto di smaltimento in località Monteschiantello e dalla centralina di Fano TV collocata presso la propria sede. Ad integrazione di queste due centraline di rilevamento meteorologico superficiale (a livello del suolo) sono stati impiegati anche i dati di profilo meteorologico forniti da ARPA Emilia Romagna, per le ragioni che verranno descritte di seguito.

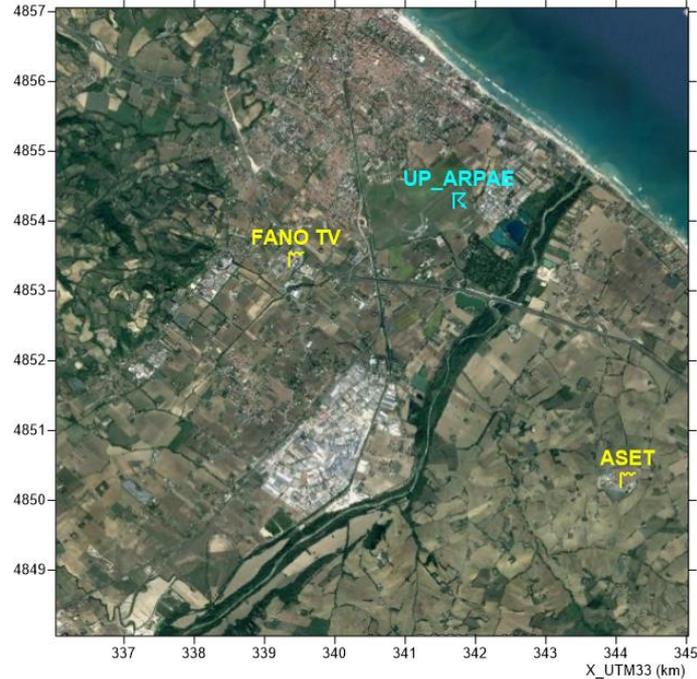
Per tutti e tre punti di misura i dati sono relativi al periodo Luglio 2018 – Luglio 2019 (un anno solare) con frequenza oraria di campionamento.

In Tabella 4.1 sono riportate le stazioni utilizzate, i parametri in esse rilevati e le loro coordinate, mentre la Figura 4.1 riporta la loro collocazione sul territorio.

Tabella 4.1. Dati meteorologici impiegati per lo studio

Siti meteo	UTM33 (km)	UTM33 (km)	Quota (m s.l.m.)	Temperatura (°C)	Umidità Relativa (%)	Velocità (m/s) e Direzione del vento(°N)	Radiazione Solare globale (W/m ²)	Pressione Atmosferica (mbar)
ASET	344.166	4850.287	125	Sì	Sì	Sì	SI	SI
Fano TV	339.489	4853.480	25	Sì	Sì	Sì	No	SI
UP ARPAE	341.768	4854.296	100-3300	Sì	No	Sì	No	SI

Figura 4.1 Localizzazione dei dati meteorologici utilizzati per lo studio.



4.1 Analisi dei dati di vento delle stazioni meteorologiche superficiali

I dati di vento sono estremamente importanti in uno studio di dispersione in atmosfera. Come noto la relazione che lega l'intensità del vento con la concentrazione degli inquinanti è di tipo inverso nel senso che maggiore è l'intensità del vento e maggiore è il volume in cui questi ultimi si diluiscono, con una conseguente riduzione della concentrazione a parità di distanza dalla sorgente. Viceversa a calme di vento possono corrispondere periodi di accumulo degli inquinanti.

L'analisi mostrata di seguito rappresenta la distribuzione della direzione di provenienza del vento suddiviso nelle seguenti cinque classi di intensità: 1-2, 2-4, 4-8, 8-12 e maggiore di 12 metri al secondo (d'ora in poi m/s). La suddivisione del vento in classi di intensità può rivelarsi utile per distinguere il verificarsi di fenomeni di circolazione termicamente indotti, in genere con intensità al di sotto dei 4 m/s, da sistemi di circolazione a larga scala con intensità superiori.

In aggiunta, è stato eseguito anche il conteggio delle calme di vento (considerate tali quelle per cui l'intensità è inferiore a 1 m/s) poiché, come detto, possono rappresentare delle condizioni di criticità dal punto di vista dell'accumulo degli inquinanti.

Di seguito sono descritti nel dettaglio i risultati dell'analisi dei dati di vento. Tali risultati sono rappresentati nella Figura 4.2.

La stazione meteorologica di Fano TV è posta in posizione di fondo valle, alla quota di 25 m.s.l.m., e ad una distanza di circa 4 km dalla linea di costa. Come si può osservare dalla rosa dei venti, questo fa sì che le direzioni prevalenti di provenienza del vento siano quelle dai quadranti nord-orientali e sud-occidentali: ciò è dovuto alla coincidenza di due fenomeni di brezza termicamente

indotti ovvero quella di monte-valle e quella di terra-mare che spesso si verificano in tale zona. Anche le intensità del vento confermano questa interpretazione con una netta prevalenza delle intensità in regime di brezza (circa il 90 % dell'anno). Le calme di vento sono piuttosto frequenti con percentuali attorno al 40%.

La stazione meteorologica di ASET, seppur posta a soli 6 km dalla precedente, mostra delle condizioni di vento sensibilmente differenti. Questa stazione è collocata in un massimo orografico rispetto al suo intorno ad una quota di circa 125 m.s.l.m. Ciò è sufficiente a far sì che essa sperimenti un più ampio range di direzioni di provenienza del vento e non risulti vincolata ai soli due quadranti paralleli alla valle come accade per la stazione di Fano TV. Anche le intensità del vento sono relativamente più intense con una frequenza di venti superiori alla soglia di 4 m/s per circa il 20% dell'anno. Conseguentemente anche le calme di vento risultano più contenute in questo sito rispetto al fondovalle (circa il 15%)

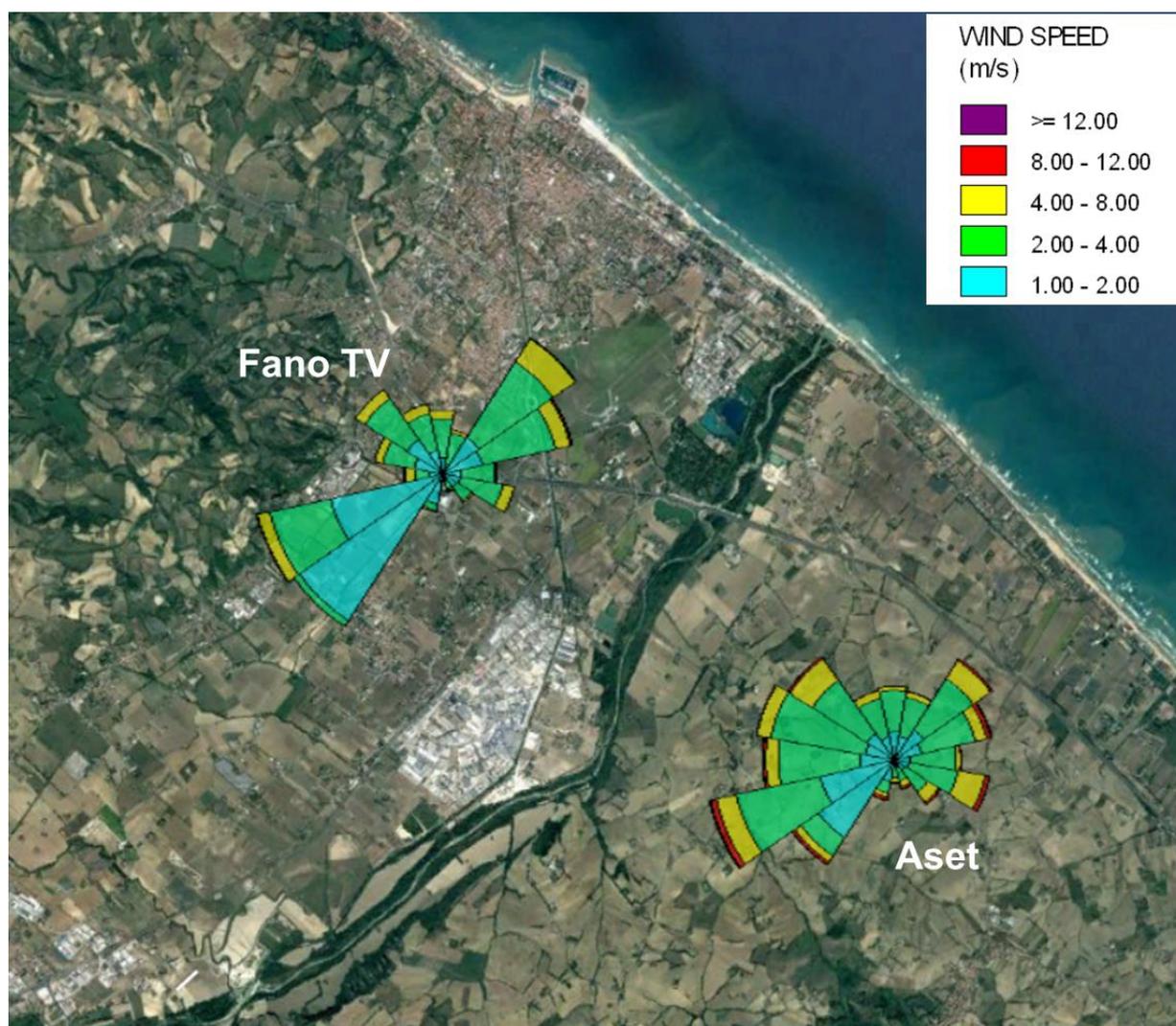


Figura 4.2: Rosa dei venti per le due stazioni superficiali: Aset spa e Fano TV.

4.2 Analisi dei dati di profilo meteorologico

In condizioni orografiche complesse, quali quelle vallive e/o costiere come nel caso in studio, le grandezze meteorologiche che influiscono sulla qualità dell'aria, sovente assumono un grado di complessità tale da non poter essere correttamente ricostruite con i soli dati meteorologici superficiali.

Ad esempio, i fenomeni di circolazione atmosferica termicamente indotti (i.e. brezza di terra/mare o monte/valle) sono caratterizzati da flussi contrapposti con venti al suolo che provengono da direzione opposta da quella da cui proviene il vento in quota. Allo stesso modo, nelle zone di fondo valle, tipicamente nelle ore notturne si possono verificare delle condizioni dette di inversione termica; tali condizioni sono molto sfavorevoli alla diluizione degli inquinanti e non possono essere simulate a partire dai soli dati superficiali.

Per tali ragioni, per le simulazioni effettuate in questo studio sono stati impiegati anche dei dati di profilo meteorologico forniti da Arpa Emilia Romagna e prodotti attraverso l'impiego di idonei modelli meteorologici. In Figura 4.3 vengono riportati a titolo di esempio profili, diurni e notturni, di temperatura e vento per il giorno 1 giugno 2019.

Come si può osservare, il profilo diurno di temperatura presenta un andamento decrescente con la quota denotando una condizione cosiddetta instabile; in questa condizioni il rimescolamento degli inquinanti è favorita. Viceversa, per l'ora notturna la temperatura presenta un andamento crescente con la quota fino alla quota di circa 250 metri indicando una condizione di inversione termica; questa condizione è la più sfavorevole alla dispersione degli inquinanti i quali tendono ad accumularsi alla quota in cui sono stati emessi.

Entrambi i profili di direzione del vento, diurno e notturno, presentano una netta discontinuità fra la provenienza del vento in quota rispetto alla superficie. Questa condizione sono tipiche delle celle di brezza termicamente indotte composte da due semicelle con venti contrapposti.

Come si può ben comprendere, tale complessità verticale sia termica che dinamica non potrebbero essere correttamente ricostruite senza l'impiego di profili verticali e utilizzando unicamente dati meteo campionati al suolo.

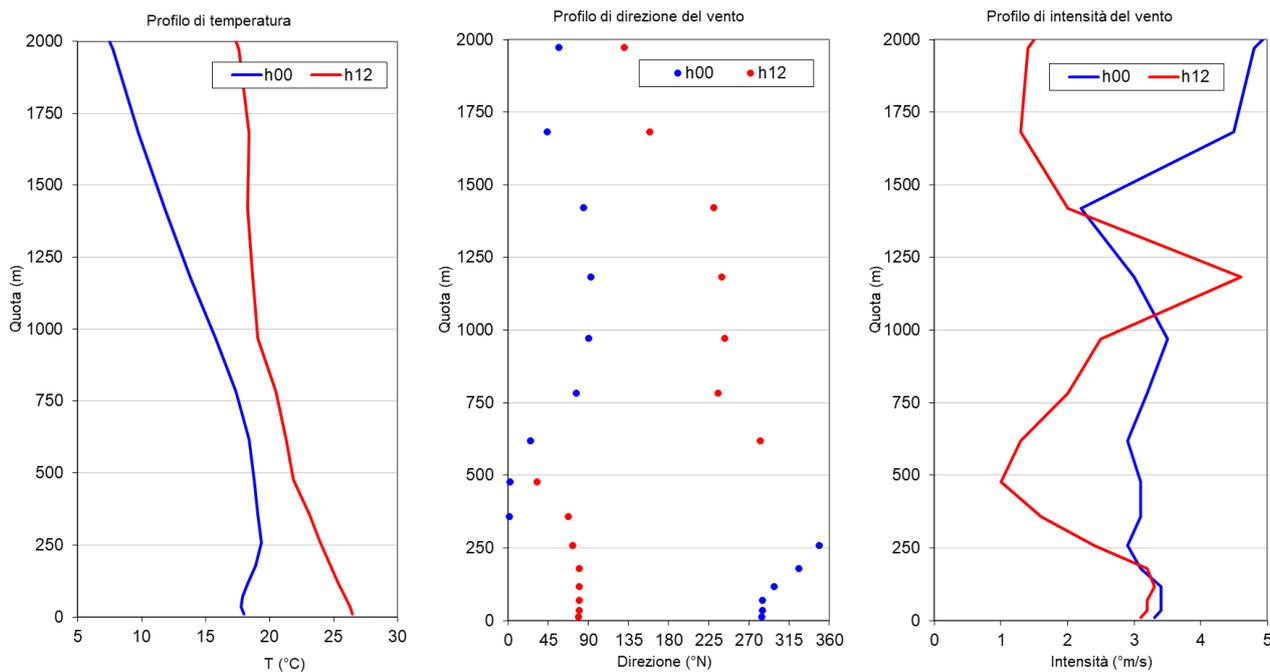


Figura 4.3. Esempi di profili di temperatura e vento impiegati in questo studio.

5 I modelli numerici

5.1 Il sistema modellistico CALMET - CALPUFF

Come discusso nel paragrafo precedente, il territorio in cui si colloca l'area industriale di Bellocchi, presenta caratteristiche tali da rendere particolarmente complessa la simulazione della qualità dell'aria. In questo territorio infatti le variabili meteorologiche da cui dipende la qualità dell'aria, possono evidenziare una notevole variabilità sia spaziale che temporale e ciò implica la necessità di impiego, oltre che di dati di input idonei, anche di modelli numerici appositamente progettati a operare in tali condizioni.

Il sistema modellistico impiegato in questo studio costituisce uno standard a livello internazionale per studi a scopo regolatorio ed è composto da due modelli numerici posti in cascata: il preprocessore meteorologico CALMET ed il modello di dispersione degli inquinanti CALPUFF.

Il preprocessore meteorologico CALMET ha il compito di ricostruire per ogni ora simulata, i campi tridimensionali delle grandezze meteorologiche importanti per la dispersione degli inquinanti: campo di vento, campo di temperatura, altezza dello strato limite atmosferico, etc... Per far ciò esso necessita di dati meteo misurati che nella fattispecie corrispondono ai dati analizzati e discussi nel capitolo 4. Inoltre dispone di apposite parametrizzazioni che a partire dai dati misurati integra tali dati puntuali in ogni punto del dominio tridimensionale (ad esempio parametrizzazioni di flusso di pendio, di flussi di drenaggio, di evoluzione dell'altezza dello strato limite atmosferico per ogni

condizione di stabilità). Tali parametrizzazioni necessitano, oltre a dati meteo anche di dati geofisici del territorio in cui deve operare come ad esempio il modello digitale del terreno e la mappa delle classi di uso del suolo. In figura 5.1 vengono riportate le rappresentazioni grafiche del modello digitale del suolo e la mappa delle classi di uso del suolo per il dominio di interesse.

Il dominio di simulazione è stato dimensionato in modo tale da ricomprendere al suo interno, oltre ai dati meteo disponibili, anche le caratteristiche geografiche più importanti del territorio: una porzione sufficientemente ampia della bassa valle del Metauro, parte delle colline che la confinano, una porzione di mare. In particolare, il dominio di calcolo ha una estensione di $9 \times 9 \text{ km}^2$ ed un passo di griglia pari a 200 metri.

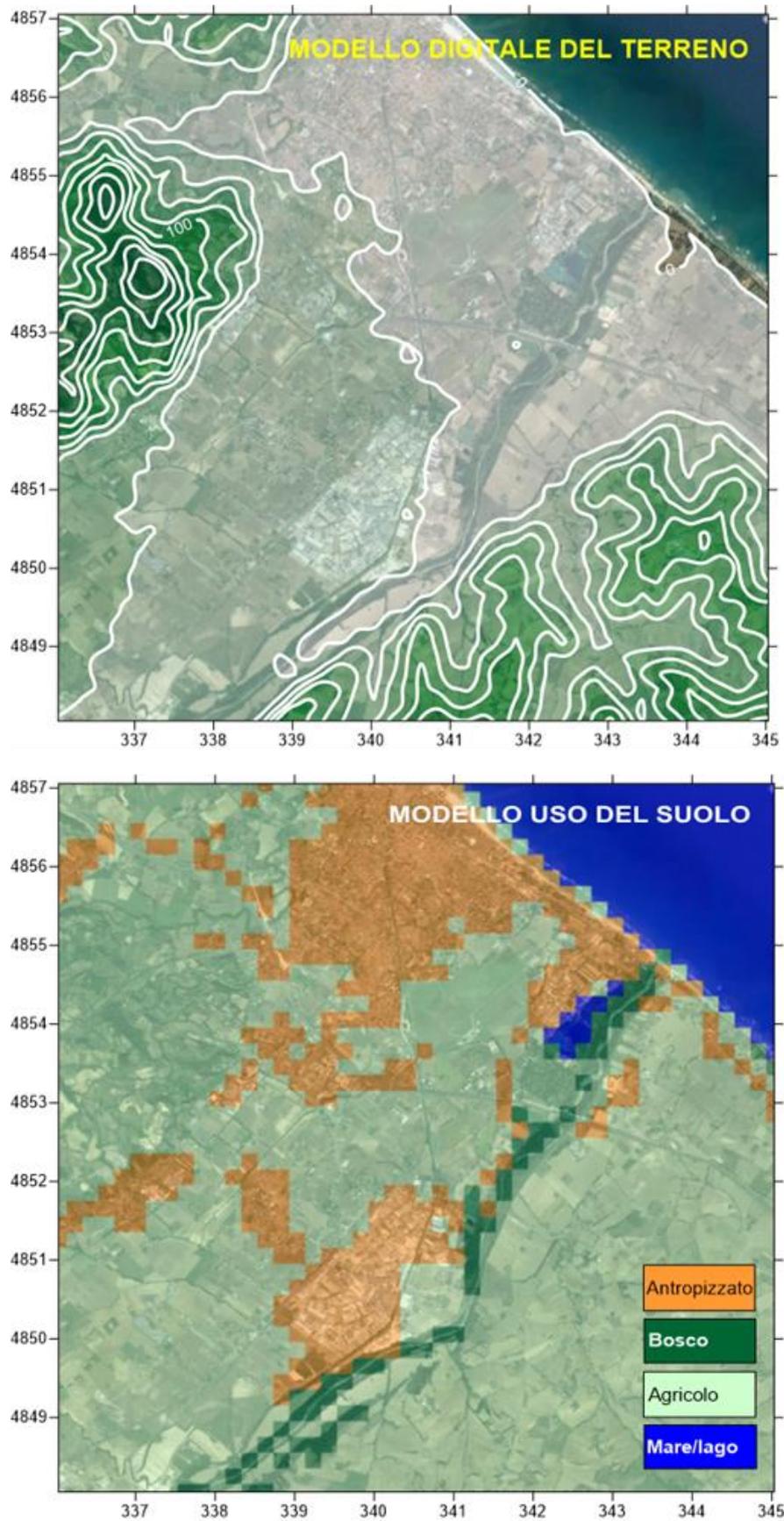
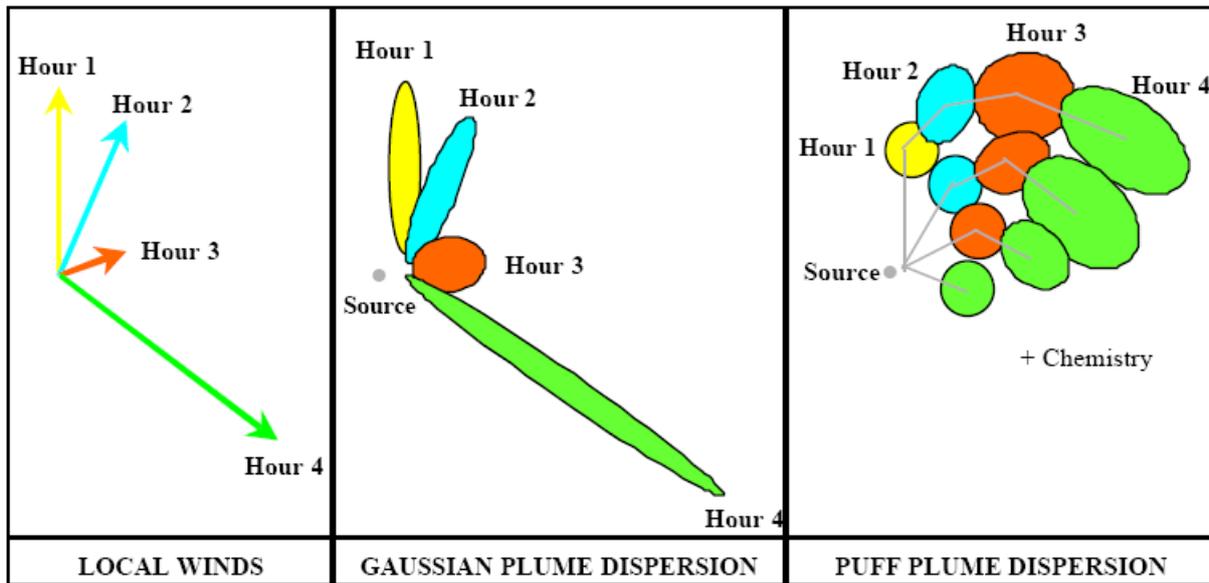


Figura 5.1. Modello digitale del terreno e mappa di uso del suolo per il dominio di simulazione del modello CALMET

Gli output meteorologici del modello CALMET, insieme alle sorgenti degli inquinanti, costituiscono gli input per il modello di dispersione degli inquinanti CALPUFF.

CALPUFF è un modello di dispersione lagrangiano a puff. A differenza dei modelli di prima generazione (modelli gaussiani a plume) esso è di tipo non stazionario, ovvero il calcolo della concentrazione in ogni punto del dominio ad un determinato istante dipende dell'emissione in quello stesso istante e a tutti gli istanti precedenti, come esemplificato nello schema seguente:



In questo modo ogni puff (segmento dell'emissioni discretizzata) ha una propria evoluzione indipendente dagli altri puff e può quindi meglio simulare gli effetti della disomogeneità e non stazionarietà delle condizioni meteorologiche. Esso è inoltre in grado di simulare la dispersione degli inquinanti emessi da sorgenti puntuali (ad es. camini), lineari (ad es. strade) e di volume (ad es. aree urbane).

Nel nostro studio, il dominio in cui ha operato CALMET non risulta ottimizzato per le simulazioni di dispersione: per le ragioni discusse in precedenza, il dominio di CALMET è stato esteso a dimensioni sicuramente maggiori di quelli in cui impatteranno significativamente le sorgenti della zona industriale. Per tali casi (molto comuni) CALPUFF possiede una opzione che consente di effettuare le simulazioni di dispersione in sottodomini rispetto al dominio di CALMET; questa opzione detta di nesting consente di ottimizzare i tempi di calcolo. Il dominio di simulazione della dispersione degli inquinanti ha una estensione di 3x3 km². Si tenga presente che le simulazioni effettuate in questo sottodominio, su un personal computer di medie caratteristiche, hanno richiesto più di un giorno di tempo macchina ciascuna e sarebbero state proibitive se effettuate sull'intero dominio di CALMET.

In figura 5.2 vengono rappresentati i domini di calcolo del modello CALMET e del modello CALPUFF; in essa vengono anche riportati i dati meteorologici impiegati come input del modello CALMET.

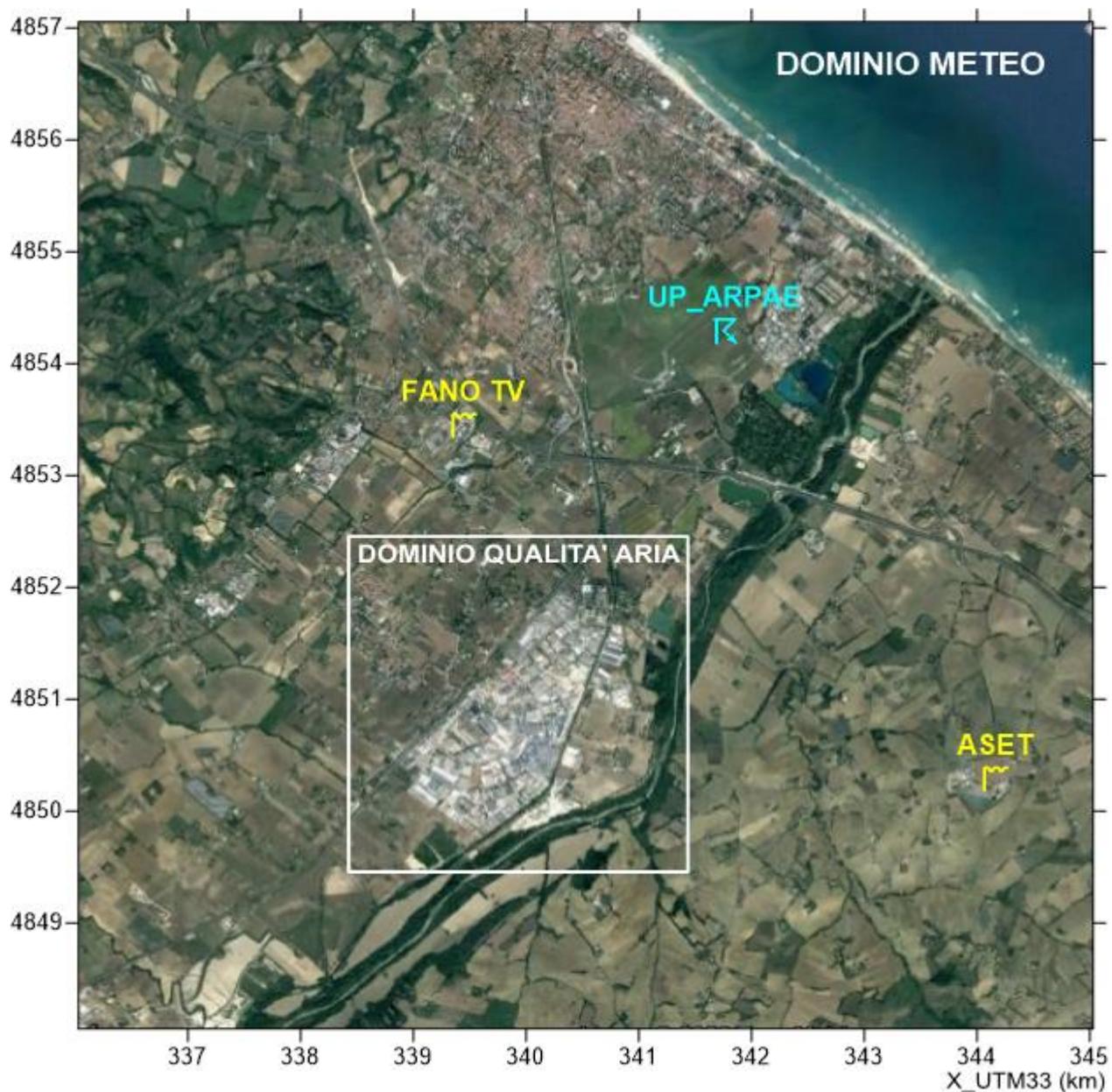


Figura 5.2. Domini di simulazione dei modelli CALMET (meteo) e CALPUFF (di qualità dell'aria)

5.2 Metodologia modellistica implementata

Il principale scopo del presente studio è stato quello di individuare, tramite l'impiego di modelli numerici, le principali cause dei fenomeni di inquinamento atmosferico che si verificano nella zona industriale precedentemente discussi nel capitolo 3.

Nell'analisi dei dati di qualità dell'aria è emerso che il principale problema di cui soffre la zona industriale sono le elevate concentrazioni di polveri sottili e il non rispetto dei limiti di legge per questo inquinante. In una zona industriale le potenziali sorgenti di polveri sottili sono molteplici le più importanti delle quali vanno ovviamente ricercate fra gli effluenti delle attività produttive e le emissioni veicolare indotto dalle attività ivi presenti.

Tuttavia è importante sottolineare che i livelli di concentrazione di polveri sottili che si rilevano all'interno della zona industriale non corrispondono unicamente e totalmente alle sorgenti in essa presenti; è ragionevole pensare che una certa quota di inquinamento venga "importato" e prodotto da sorgenti esterne alla zona industriale. E' ampiamente dimostrato in letteratura che dati i lunghi tempi di permanenza del particolato in atmosfera, i contributi all'inquinamento di ogni luogo possono avere provenienze anche molto remote: una parte di esse sarà prodotta a scala regionale, una parte a scala nazionale fino a raggiungere la scala internazionale (un esempio di quest'ultimo caso sono i fenomeni di dust sahariani).

Quindi, per ben comprendere quali fra le sorgenti proprie della zona industriale, e in quale misura, contribuiscono ai fenomeni di inquinamento da polveri sottili è prima necessario "scorporare" le concentrazioni rilevate nella zona industriale ma che originano altrove. Tali contributi prendono il nome di concentrazioni di "fondo".

E' evidente che per una corretta valutazione del fondo locale sarebbe stata necessaria una campagna di misura ad hoc. Tale campagna avrebbe dovuto coprire un periodo di tempo sufficientemente lungo da poter valutare sia le variazioni temporali delle emissioni che delle condizioni meteo diffusive locali. Inoltre particolarmente delicata sarebbe stata la scelta del sito di misura in grado di fornire misure rappresentative dal fondo. In linea teorica una misura del fondo locale deve essere fatta, da un lato, in un luogo sufficientemente lontano dalla zona industriale tale da non risentirne gli effetti diretti, dall'altro lato sufficientemente vicina da risentire di tutte le altre sorgenti che caratterizzano quel territorio (solo per fare alcuni esempi possiamo senz'altro citare l'autostrada, l'area urbana di Fano, l'influenza della pianura padana i cui effetti è ormai ampiamente dimostrato che si risentono anche nella parte costiera della nostra regione).

Poiché in questo studio non era prevista l'esecuzione di campagne di misure di qualità dell'aria appositamente realizzate, i dati disponibili che meglio rappresentano le caratteristiche di concentrazioni di fondo sopra descritte sono quelle campionate da Aset in località Monteschiannello durante il periodo 28 novembre – 12 dicembre 2019.

Il sito di campionamento è mostrato in figura 5.3 mentre le serie di concentrazione del fondo e di quelle campionate dalla centralina Profilglass sono mostrate in figura 5.4. Come si può osservare dalla figura 5.4, la differenza media di concentrazione misurata a Bellocchi rispetto ai valori considerati come fondo è pari a $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Per le considerazioni sopra esposte si può pertanto stimare che le sorgenti presenti nella zona industriale di Bellocchi siano responsabili di un contributo aggiuntivo al carico inquinante totale di circa $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$, mentre i restati $35 \mu\text{g}/\text{m}^3$ siano invece attribuibili a sorgenti non ricomprese nella zona industriale stessa.

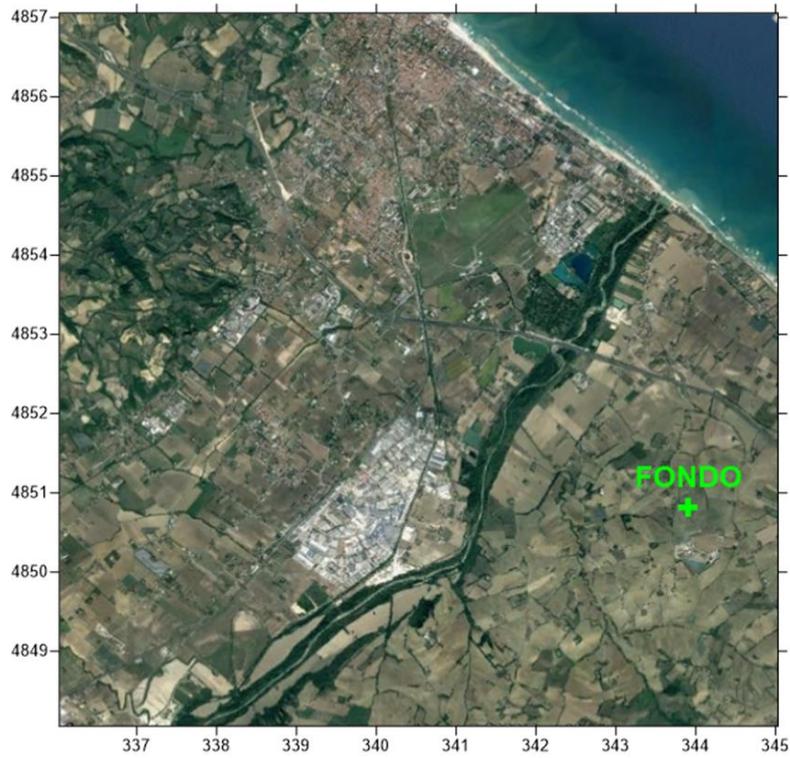


Figura 5.3. Sito di campionamento di dati impiegati come valori di fondo.

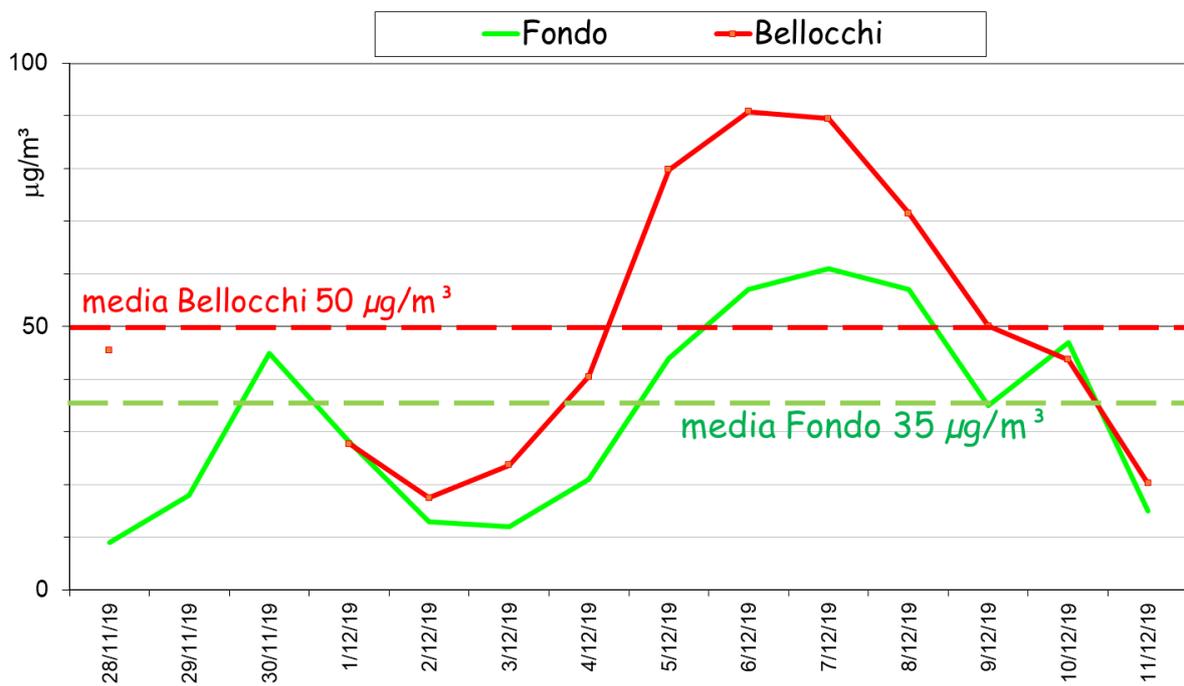


Figura 5.4. Concentrazioni impiegate come valori di fondo (in verde) e concentrazioni misurate dalla centralina Profilglass; le linee tratteggiate rappresentano le rispettive medie.

In sintesi, l'approccio metodologico utilizzato in questo studio è consistito essenzialmente nel quantificare i contributi delle diverse tipologie di sorgenti, traffico veicolare ed emissioni industriali, e ancor più in dettaglio dei singoli tratti stradali e delle singole attività produttive, al carico inquinante complessivo della zona industriale al netto delle concentrazioni di fondo locali.

6 Inventario delle emissioni

6.1 Emissioni da traffico autoveicolare

Per la stima delle emissioni prodotte dal traffico circolante all'interno ed in prossimità della zona industriale di Bellocchi è stato prima necessario effettuare un censimento del traffico. Il censimento del traffico è stato affidato ad una ditta specializzata (MIT Ambiente srl) ed è stata eseguito con rilevatori di traffico basati su tecnologia radar doppler mostrato in figura 6.1. Tali strumenti sono in grado di rilevare, oltre al numero di mezzi in entrambi i sensi di marcia, anche la loro velocità e le loro dimensioni. Come verrà illustrato di seguito queste informazioni sono necessarie alla corretta stime delle emissioni per ogni tipologia di veicolo.



Figura 6.1. Rilevatori di traffico impiegati in questo studio.

Le rilevazioni di traffico sono state effettuate in pressoché tutte le strade interne della zona industriale e, data la sua importanza e vicinanza alla zona industriale stessa, è stata monitorata anche la Strada Provinciale 92. I punti di rilevamento, 14 in totale, sono indicati nella figura 6.2.



Figura 6.1. Punti di misura del traffico

Per quanto riguarda la strada statale 3 bis (superstrada), non sono stata fatte misure di traffico in quanto erano disponibili i dati del censimento Anas per l'anno 2017.

In ciascuno dei punti di rilevamento le misure si sono protratte per almeno una settimana in modo da includere sia giornate festive che feriali. Dalla serie di misure con frequenza oraria è stata poi

ricavato il “giorno tipico” di traffico. I grafici per ciascun punto di rilevamento sono riportati nel Allegato 1 – Flussi di traffico.

Come si può osservare dai grafici, poiché lo strumento è in grado di fornire anche le dimensioni/tipologie di mezzi, i dati di traffico sono stati dettagliati in 4 tipologie: motocicli, Autoveicoli, Veicoli commerciali leggeri e veicoli commerciali pesanti.

Una volta noti i flussi di traffico per ogni tipologia di mezzi, avvalendosi dei fattori emissivi prodotti da ISPRA (2017) è stato possibile ricavare i tassi emissivi per ogni tratto stradale dei due inquinanti più importanti fra quelli presi in considerazione in questo studio.

Come si può osservare in tabella 6.1, ISPRA fornisce i tassi emissivi per ogni tipologia di mezzi e per i regimi di guida urbano e autostradale periodicamente aggiornati al parco mezzi medio circolante; il più recente aggiornamento impiegato in questo studio è quello che risale al 2017.

	Fattori di emissione ISPRA 2017			
	Urbani		Autostradali	
	NO2 (g/km)	PM10 (g/km)	NO2 (g/km)	PM10 (g/km)
Autoveicoli	0.1348	0.0420	0.1825	0.0272
Veicoli commerciali leggeri	0.4379	0.0970	0.5258	0.0848
Veicoli commerciali pesanti	0.8589	0.2841	0.4699	0.1647
Motocicli	0.0052	0.0304	0.0151	0.0236

Tabella 6.1. Tassi emissivi per ogni tipologia di mezzo e due differenti regimi di guida (urbano ed autostradale) forniti da ISPRA 2017.

In figura 6.2 vengono rappresentati i tratti stradali le cui emissioni sono state simulate in questo studio; si fa notare che per le strade più importanti e con intersezioni che possono far variare i flussi di traffico (Via Einaudi e Via Toniolo) sono state effettuate più misure di traffico lungo il loro percorso. In questo modo è stato possibile differenziare i tassi emissivi in differenti segmenti.

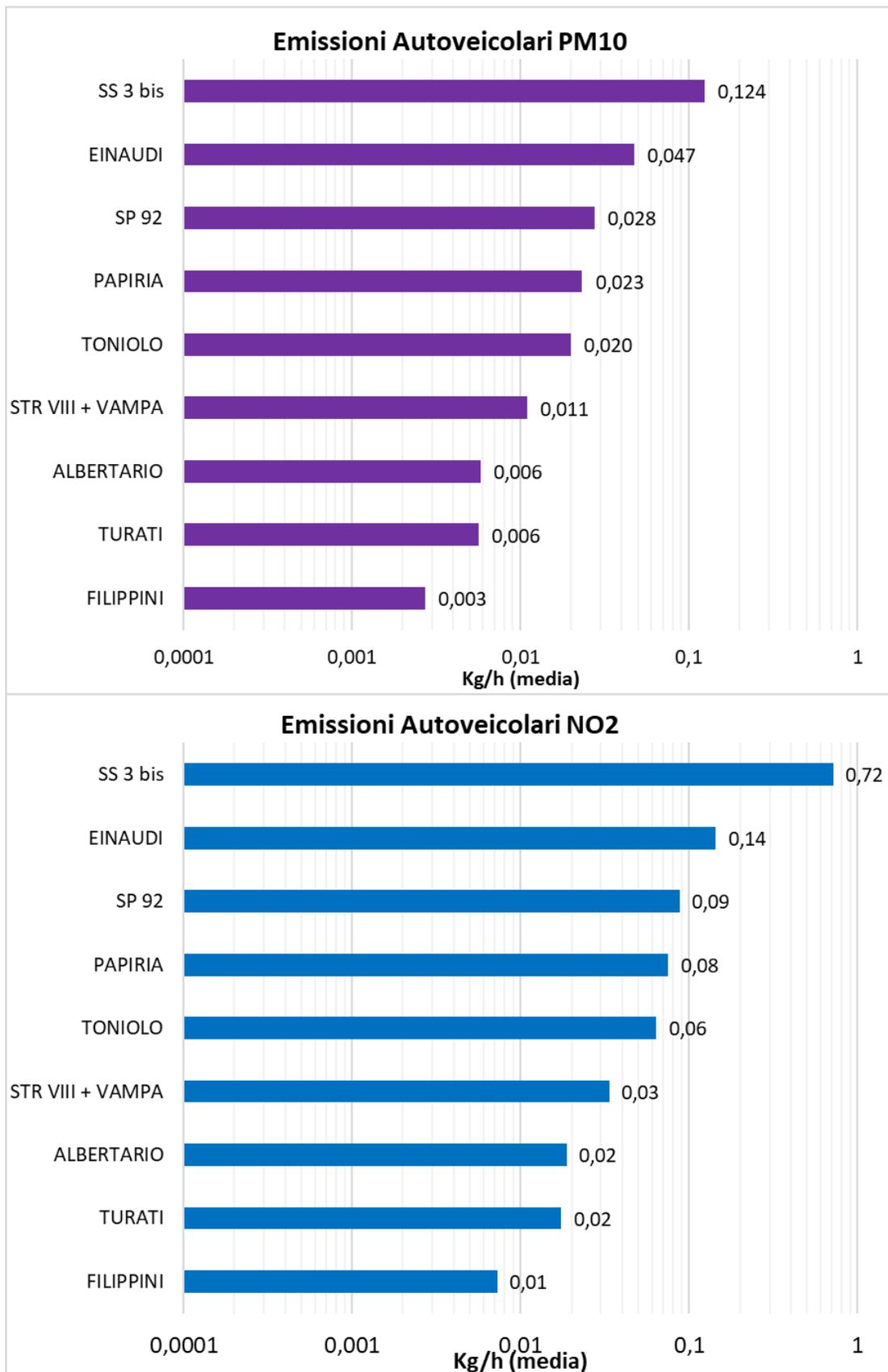


Figura 6.3. Tassi emissivi medi giornalieri per ogni tratto stradale simulato

6.1 Emissioni industriali

Per ricostruzione dell'inventario delle emissioni industriali in atmosfera si è provveduto a redigere, attraverso i dati in possesso della Camera di Commercio Industria Artigianato Agricoltura, l'elenco delle attività produttive che insistono presso la zona industriale di Bellocchi. Di queste stesse attività, il Comune di Fano, con la collaborazione della Provincia di Pesaro, ha messo a disposizione i titoli autorizzativi delle attività produttive. In questo modo sono state censite un totale di 137 attività produttive, 70 delle quali costituite da attività soggette ad autorizzazione alle emissioni in atmosfera. Le restanti 67 attività non soggette ad autorizzazione alle emissioni in atmosfera non sono state incluse in questo studio in quanto, come previsto dalla normativa, i loro impatti sono stati considerati trascurabili al carico inquinante complessivo della zona industriale.

Dai titoli autorizzativi delle attività soggette ad autorizzazione alle emissioni sono stati invece reperiti i dati necessari alle simulazioni numeriche di qualità dell'aria per ogni loro sorgente emissiva: localizzazione, altezza, diametro, temperatura, portata, e tassi emissivi massimi autorizzati. Inoltre, poiché queste stesse attività sono soggette a controlli delle emissioni, per ciascuna di esse sono stati recuperati i più recenti certificati di analisi effettuati ottenendo in questo modo anche i tassi emissivi misurati.

Nelle figure 6.4 e 6.5 sono riportati i tassi emissivi autorizzati e misurati per ogni azienda e per entrambi gli inquinanti presi in considerazione per le simulazioni modellistiche. Nei grafici, per tutela dei dati sensibili, sono stati omessi i nomi delle aziende.

La prima caratteristica che appare evidente dai grafici di entrambi gli inquinanti è che per tutte le aziende i valori delle emissioni misurate risultano mediamente circa 10 volte inferiori alle emissioni autorizzate.

Altra evidenza è che il numero di aziende che emettono ossidi di azoto sono molto meno numerose rispetto a quelle che emettono polveri sottili. Ciò era per altro atteso in quanto nella zona industriale di Bellocchi sono poche le attività nelle quali avvengono dei processi di combustione dai quali originano gli ossidi di azoto. Nonostante questo l'emissione complessiva di ossidi di azoto è molto maggiore di quella delle polveri. Occorre tuttavia fare una precisazione. Le autorizzazioni alle emissioni, così come le misure ai camini, prendono in considerazione gli ossidi di azoto intesi come NO_x. Gli ossidi di azoto sono in realtà una miscela di composti emessi principalmente sotto forma di monossido di azoto (NO). Il monossido di azoto è un composto molto reattivo che reagendo con i costituenti atmosferici si trasforma molto rapidamente in biossido di azoto (NO₂), l'unico composto per il quale è previsto un limite di legge per la tutela della salute. Nel capitolo successivo verrà descritta la parametrizzazione che è stata impiegata per la conversione degli ossidi di azoto (NO_x) in biossido di azoto (NO₂).

Infine, una ulteriore precisazione riguarda le polveri sottili. Sia i titoli autorizzativi, che le misure delle emissioni ai camini, si riferiscono per ogni azienda alle polveri totali sospese, mentre l'inquinante regolato dal d.lgs.155/2010, per la tutela della salute, sono soltanto la loro frazione con diametro aerodinamico inferiore a 10 micrometri: le PM10. Data l'eterogeneità dei processi produttivi che le originano, non esistono parametrizzazioni che consentono di ricavare le seconde a partire dalle prime. Per tale ragione, in questo studio, a scopo cautelativo, la totalità delle polveri sospese è stata assimilata alle PM10.

Nei capitoli dedicati alla discussione dei risultati delle simulazioni numeriche, verranno discusse anche le incertezze che possono avere introdotto le inevitabili assunzioni/approssimazioni introdotte nella redazione dell'inventario delle emissioni.

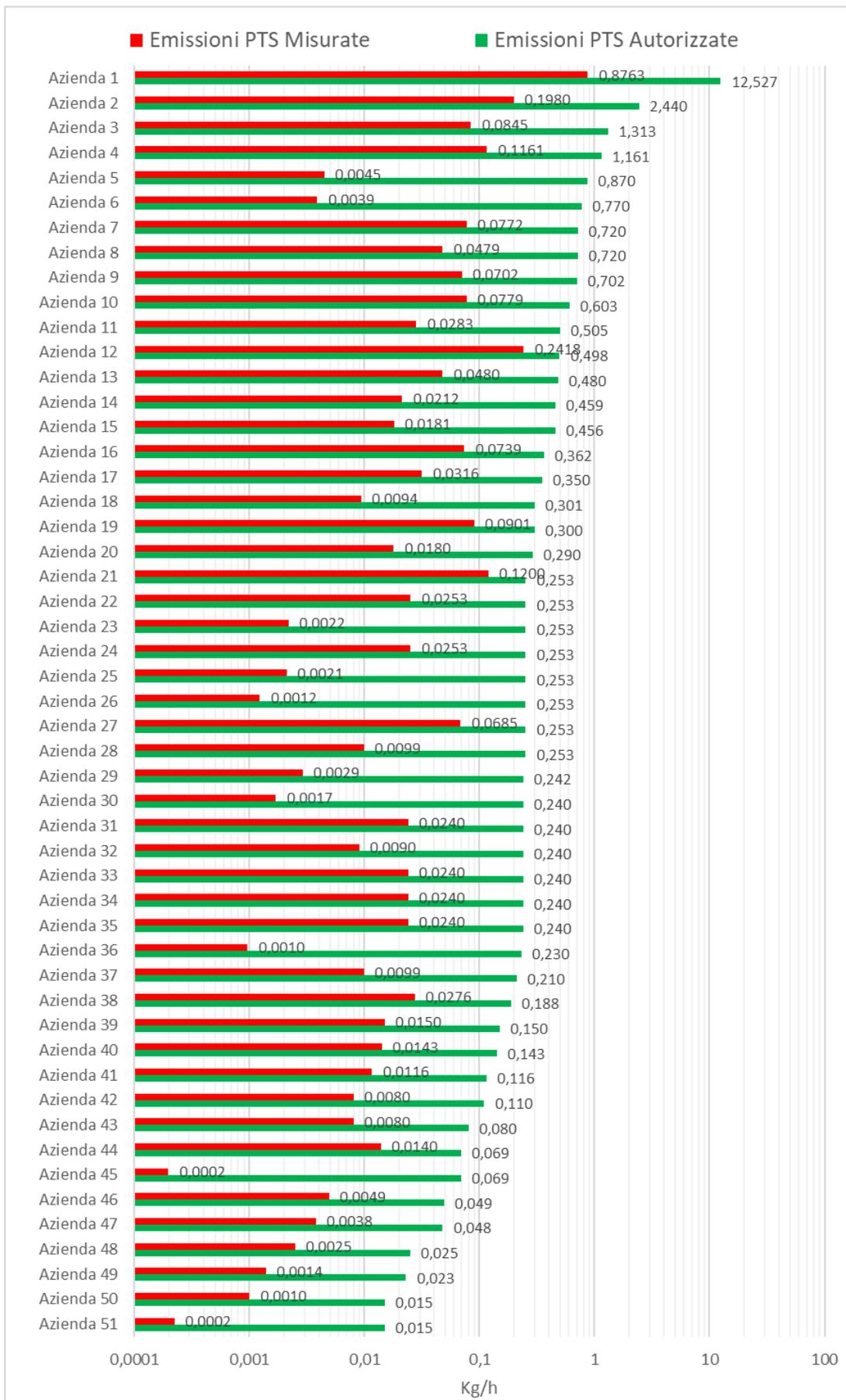


Figura 6.4. Tassi emissivi di Polveri Totali Sospese autorizzati e misurati per ogni azienda

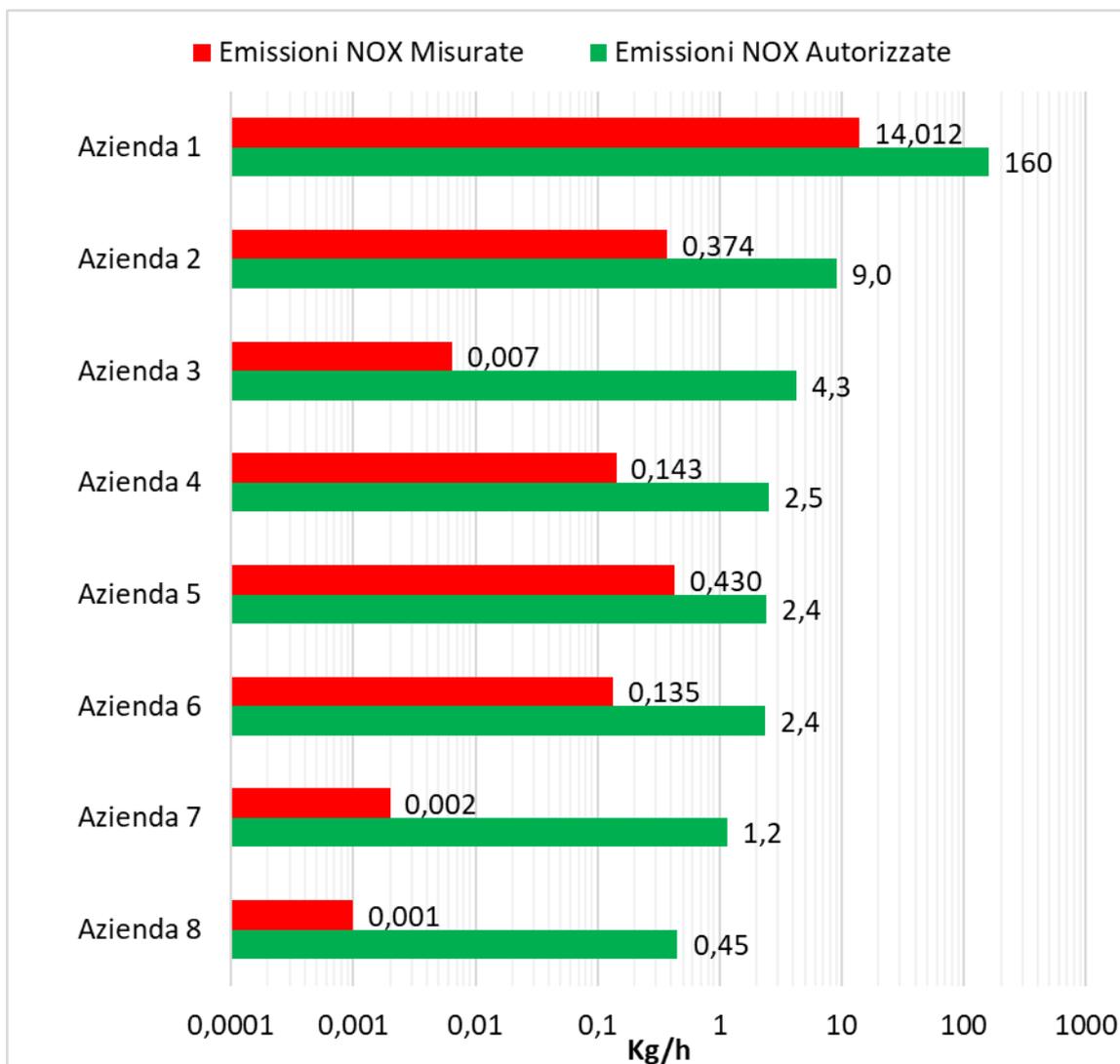


Figura 6.4. Tassi emissivi di ossidi di azoto (NOx) autorizzati e misurati per ogni azienda

7 Risultati delle simulazioni numeriche

7.1 Simulazioni delle polveri sottili PM10

Come discusso nel paragrafo 5.2, la stima del carico inquinante complessivo delle sorgenti presenti nella zona industriale di Bellocchi rispetto al fondo locale, è di circa $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Lo scopo delle simulazioni numeriche è quello di allocare il contributo di ogni tipologia di sorgente e valutarne il carico inquinante complessivo della zona industriale.

Per tale ragione sono state eseguite delle simulazioni distinte nella quali venivano valutati i soli effetti del traffico o delle sole industrie, oltre alle simulazioni in cui veniva valutato il loro effetto complessivo.

In figura 7.1, in alto, vengono riportate le concentrazioni medie annue di PM10 prodotte impiegando le sole emissioni autoveicolari (a sinistra), le sole emissioni industriali misurate ai camini (al centro),

la somma dei contributi di entrambe le tipologie di sorgenti, a destra. Come si può osservare, i contributi all'inquinamento della zona industriale delle due tipologie di sorgenti per questo inquinante sono confrontabili: in entrambe le mappe infatti le concentrazioni medie annue raggiungono valori massimi compresi fra 1 e 2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. La forma dei campi di concentrazione è ovviamente dipendente dai campi emissivi: con i massimi localizzati sulla SS 3 bis per quanto riguarda il traffico, sulle industrie con emissioni più importanti, per quanto riguarda le emissioni industriali.

In ogni mappa è indicata, con la stella, la posizione dell'attuale posizione della centralina Profilglass. Come si può osservare in prossimità della centralina, i contributi risultano molto bassi: inferiori ad 1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ per le due simulazioni parziali (solo traffico o solo industrie) e di circa 1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ in quella con tutte le sorgenti attive. Appare quindi evidente che gli elevati valori medi di concentrazione che rileva la centralina Profilglass non trovano giustificazione con quelle che sono le sorgenti note della zona industriale.

A questo punto una ipotesi che è stata valutata è che i tassi emissivi misurati non rappresentino correttamente le reali emissioni industriali. Per tale ragione le simulazioni sono state ripetute utilizzando i tassi emissivi autorizzati per ogni industria. Come si può osservare in figura 7.1 (in basso), gli impatti complessivi aumentano significativamente raggiungendo valori medi nei pressi della centralina Profilglass intorno a 4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Tuttavia, anche impiegando i tassi emissivi autorizzati, gli elevati valori di concentrazione misurati risultano ancora molto maggiori (circa il triplo) dei valori simulati anche nell'ipotesi conservativa che le aziende emettano i valori massimi consentiti.

Tali differenze fra concentrazioni simulate e misurate sono di entità tale da non poter essere giustificabili né con le assunzioni introdotte nell'inventario delle emissioni (ad esempio l'aver trascurato le attività non soggette ad autorizzazione alle emissioni in atmosfera) né con le approssimazioni della metodologia adottata (ad esempio le approssimazioni modellistiche, o ancora la valutazione delle concentrazioni di fondo a partire da una campagna di misura non appositamente realizzata).

L'ipotesi che appare più ragionevole è che nella zona industriale siano presenti delle sorgenti non note alle autorità competenti (o non note nella loro reale potenza emissiva). Si fa osservare inoltre che mentre le simulazioni mostrano un campo di concentrazione medio piuttosto omogeneo all'interno dell'area industriale (sia nell'ipotesi di emissioni misurate che autorizzate), dall'analisi dei dati misurati emergeva un forte gradiente spaziale: le concentrazioni misurate nella attuale posizione della centralina Profilglass (via Filippini) sono sensibilmente più elevate rispetto alla sua precedente collocazione (via VIII strada). Le concentrazioni appaiono ancor più basse negli altri due siti dei quali si disponeva di dati osservati (zona Auchan e via de Nicola).

Questo gradiente di concentrazione misurato avvalorla la tesi della presenza di una o più sorgenti, non debitamente considerate nelle simulazioni in quanto non note alle autorità competenti, in prossimità della attuale collocazione della centralina Profilglass.

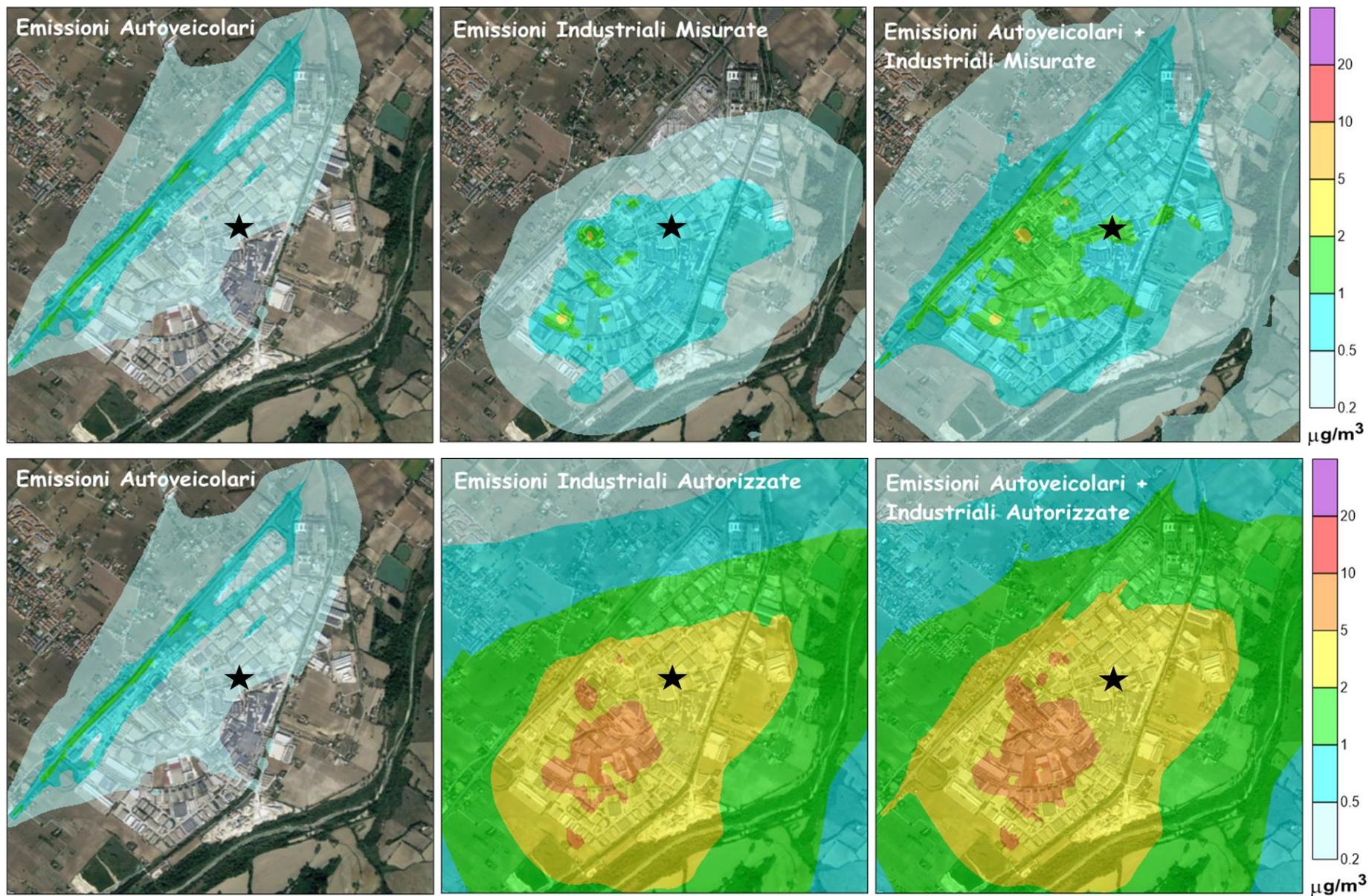


Figura 7.1. Concentrazioni di PM10 simulate utilizzando i tassi emissivi industriali misurati (in alto) ad autorizzati (in basso). La stella indica la attuale posizione della centralina Profilglass

7.2 Simulazioni degli ossidi di azoto NO₂

Come descritto nel capito 3 i dati campionati dalla centralina Profilglass nella collocazione attuale (via Filippini) e nella precedente (via VIII strada) mostrano delle medie annue di 25 e 23 µg/m³ rispettivamente, denotando quindi un ampio rispetto del limite di legge in media annua che per questo inquinante è pari a 40 µg/m³.

Pur non presentando nessuna criticità laddove si dispone di misure di concentrazione, poiché disponevamo di dati emissivi sia autoveicolari che industriali anche per questo inquinante, si è provveduto ugualmente ad effettuare le simulazioni numeriche allo scopo di stimare le concentrazioni anche in zone prive rilevazioni; si ricorda infatti che i modelli numerici possono essere impiegati anche a tale scopo.

Circa la disponibilità dei dati emissivi occorre tuttavia fare una precisazione. Per quanto riguarda le emissioni industriali disponibili, sia massime autorizzate sia misurate, esse si riferivano in realtà agli NO_x; come discusso nel capitolo 6 la normativa di riferimento per questa classe di inquinanti prevede dei limiti per la tutela della salute soltanto per la specie biossido di azoto NO₂. In letteratura esistono diverse parametrizzazioni che consentono di stimare le concentrazioni in aria di NO₂ a partire dalle concentrazioni di NO_x. In questo studio è stata utilizzata la parametrizzazione Vilà-Guerau de Arellano J., 1990 (Vilà-Guerau de Arellano J., Talmon A.M., Builtjes P.J.H., 1990, "A chemically reactive plume model for the NO-NO₂-O₃ system", Atmospheric Environment, 24A, 2237-2246) nella quale il rapporto NO₂/NO_x varia con la distanza dalla sorgente come espresso in tabella 7.1.

Tabella 7.1 Valori stimati del rapporto NO₂/NO_x in funzione della distanza da punto di emissione.

distanza (m)	500	1000	2000	3000	4000	5000	6000	7000
$\frac{NO_2}{NO_x}$	0,14	0,21	0,29	0,33	0,35	0,39	0,48	0,57

La figura 7.2 riporta i risultati delle simulazioni numeriche. Come si può osservare dalla terna di mappe nella parte superiore del pannello, ottenute adottando per le emissioni industriali i valori misurati, gli impatti maggiori per questo inquinante sono derivanti dal traffico autoveicolare. I massimi di concentrazione si osservano infatti in prossimità della SS 3 bis, ed in particolare laddove questa è più prossima alle altre due strade più trafficate, via Einaudi e SP 92, che ne potenziano i propri effetti. La differenza di concentrazione fra il luogo in cui si dispone di misure, ovvero la centralina Profilglass indicata con una stella sulla mappa, ed il massimo di concentrazione su tutto il dominio è stimabile in circa 4-5 µg/m³. Sommando questo scarto ai valori medi annuali misurati dalla centralina, che si ricorda essere 23-25 µg/m³, si ottengono valori comunque inferiori al limite di legge: 40 µg/m³. Da ciò se ne deduce che questo inquinante non presenta criticità in nessuna porzione della zona industriale.

Come per le polveri sottili, anche per questo inquinante sono state ripetute le simulazioni assumendo come emissioni industriali i loro valori massimi autorizzati. I risultati sono riportati in figura 7.2, in basso. In questo caso gli impatti industriali risulterebbero all'incirca confrontabili, come concentrazione medie annue prodotte, a quelli autoveicolari. Tuttavia, anche in questa ipotesi le concentrazioni medie annua complessive prodotte risultano piuttosto contenute e tali non costituire particolari pregiudizi alla qualità dell'aria della zona industriale.

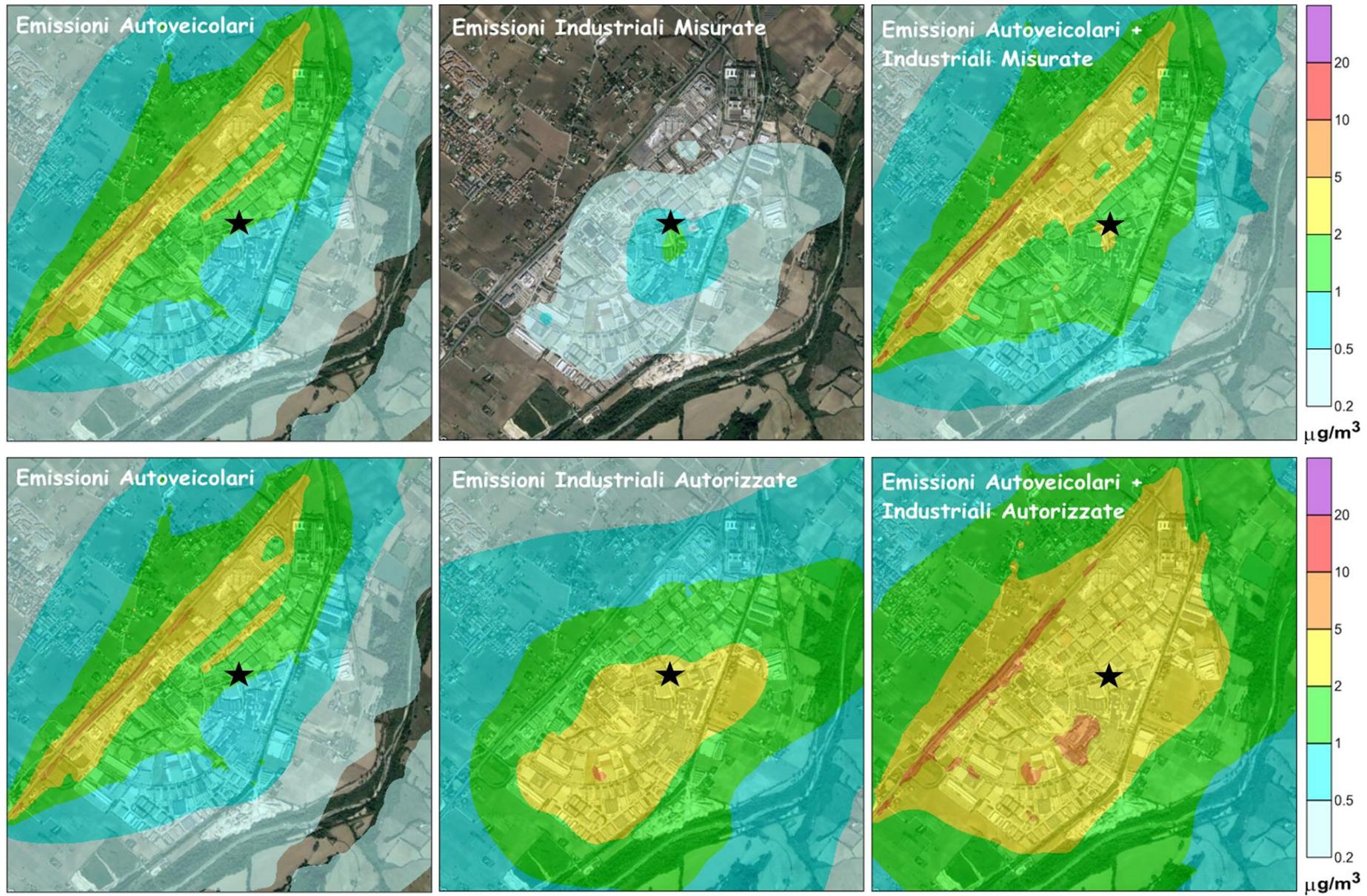


Figura 7.2. Concentrazioni di NO₂ simulate utilizzando i tassi emissivi industriali misurati (in alto) ad autorizzati (in basso). La stella indica la attuale posizione della centralina Profilglass

8 Conclusioni

Il presente progetto aveva come obiettivo lo studio dello stato della qualità dell'aria della zona industriale di Bellocchi di Fano attraverso un'analisi/revisione di tutti i dati messi a disposizione degli enti territorialmente competenti (Comune di Fano, Provincia di Pesaro, Arpam). Per una più accurata interpretazione dei fenomeni di inquinamento atmosferico, lo stesso progetto prevedeva l'implementazione di modello numerico di qualità dell'aria.

Dall'analisi dei dati della centralina di proprietà di Profilglass, sia nell'attuale (via Filippini) che nella precedente collocazione (via VIII strada), è emerso chiaramente che la maggior criticità della zona industriale è costituita dalle elevate concentrazioni di polveri sottili (PM10). In via Filippini le concentrazioni di PM10 risultano molto elevate e non rispettano i limiti di legge in media giornaliera per questo inquinante: i superamenti annui della soglia di $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$, nell'ultimo anno solare, sono risultati 79 a fronte dei 35 consentiti. Anche in via VIII strada, nel precedente periodo di campionamento della centralina Profilglass, il limite di legge non era rispettato. Tuttavia in questo sito le condizioni appaiono sensibilmente meno critiche in quanto il numero di superamenti della soglia prevista dalla legge era di circa 40 l'anno.

La conferma della disomogeneità spaziale dell'entità del fenomeno di inquinamento da PM10 all'interno della stessa zona industriale, è stata fornita confrontando le serie storiche di concentrazione rilevate in via Filippini, in via VIII strada ed in altre due campagne brevi in via De Nicola ed in zona Auchan, con le concentrazioni rilevate per gli stessi periodi dalla centralina di traffico di proprietà di Arpam di Fano. Da questa analisi è emerso che in via Filippini le concentrazioni sono in media il 30% più elevate di quelle rilevate a Fano; in via VIII strada lo scarto percentuale scende al 10% rispetto a Fano; in via De Nicola ed in zona Auchan sono mediamente inferiori a Fano.

Il modello numerico di qualità dell'aria implementato era finalizzato alla stima dei contributi delle varie tipologie di sorgenti al carico inquinante complessivo della zona industriale. A tale scopo è stato ricostruito un dettagliato inventario delle emissioni le quali possono essere classificate in due tipologie: emissioni autoveicolari ed emissioni industriali.

Le emissioni autoveicolari sono state stimate eseguendo una campagna di rilevazione di traffico ed adottando i tassi emissivi per il parco medio dei veicoli circolanti fornito da ISPRA (2017).

Il censimento delle emissioni industriali è stato effettuato attraverso il reperimento e la consultazione dei titoli autorizzativi ed i più recenti risultati delle misure delle emissioni cui sono sottoposte le attività produttive soggette alle autorizzazioni alle emissioni in atmosfera.

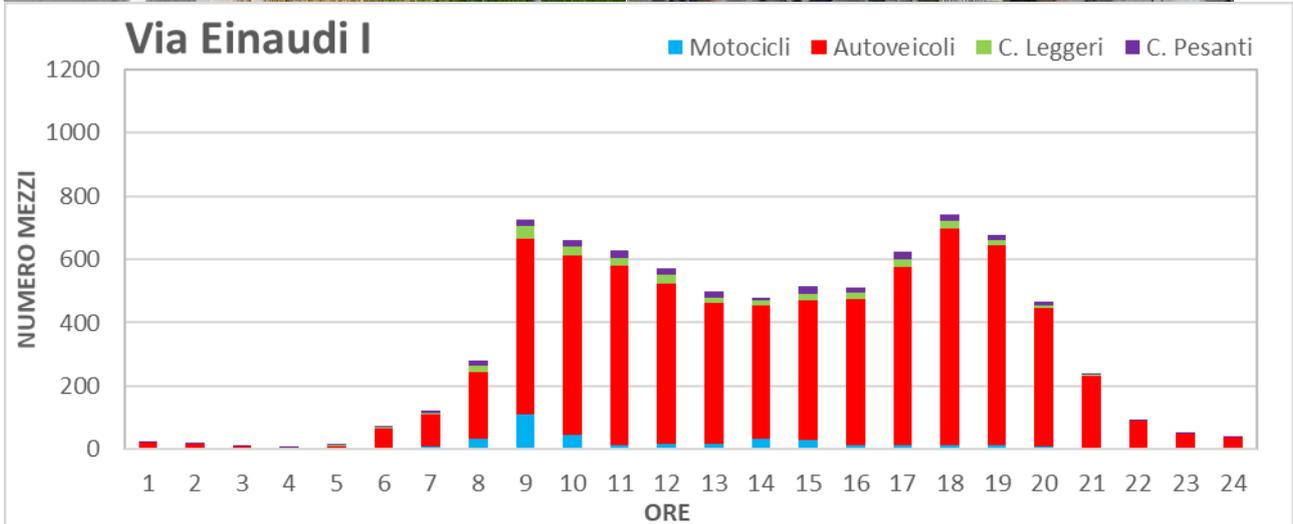
Le simulazioni numeriche di qualità dell'aria per le PM10 hanno evidenziato che gli elevati livelli di concentrazione rilevati dalla centralina Profilglass non possono essere giustificati con le attuali emissioni autoveicolari ed industriali, sia misurate che autorizzate. Nemmeno la disomogeneità spaziale delle concentrazioni nella zona industriale evidenziate dalle misure disponibili, con un massimo nell'attuale collocazione della centralina Profilglass, trova riscontro nelle simulazioni numeriche. L'ipotesi che appare più realistica è che in prossimità dell'attuale centralina Profilglass insistano una o più fonti emissive, puntuali o diffuse, non note agli enti preposti al controllo e al rilascio delle autorizzazioni delle emissioni.

Sulla base dei dati in nostro possesso non risulta possibile investigare la natura e la reale potenza emissiva di tali fonti di inquinamento non note. A tale scopo sarebbe necessario predisporre una campagna di misura appositamente progettata nella quale, oltre alle concentrazioni di polveri sottili, venga eseguita anche una loro caratterizzazione chimica che indentifichi un marker univoco della fonte di tali polveri.

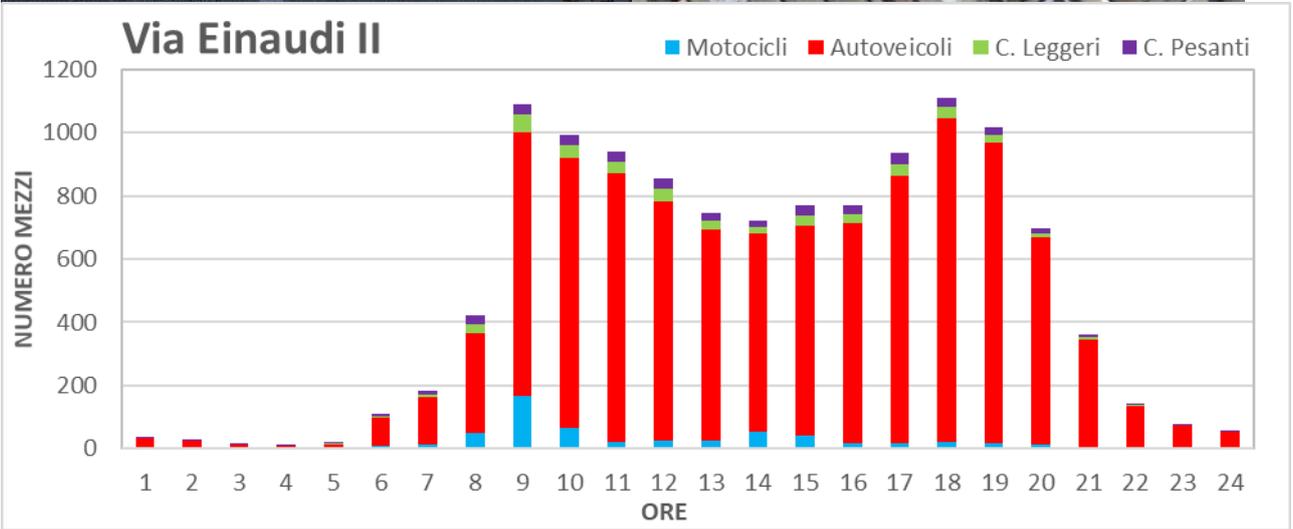
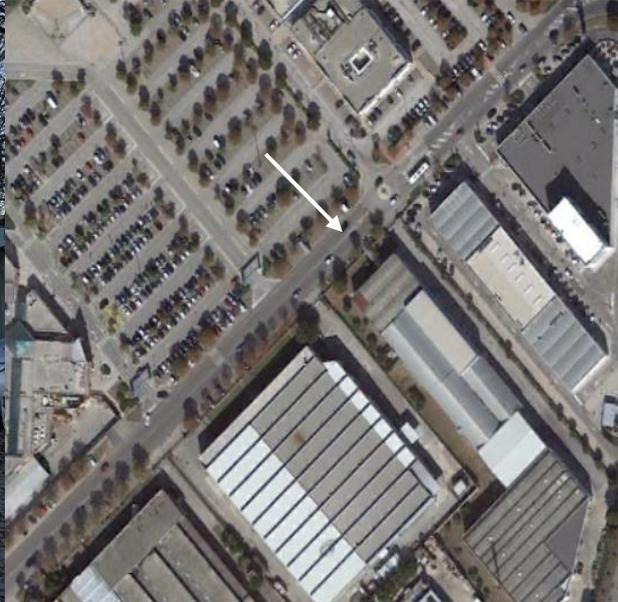
Per quanto riguarda gli altri inquinanti di cui si dispone di rilevazioni non si evidenziano ulteriori criticità. In particolare, per il biossido di azoto (NO₂) rilevato dalla centralina Profilglass, il limite di legge in media annua risulta ampiamente rispettato sia nella attuale che nella precedente collocazione della centralina stessa. Le simulazioni effettuate ad integrazione dei dati misurati mostrano che, anche laddove questo inquinante raggiunge le massime concentrazioni (vie più trafficate) il limite di legge per questo inquinante è rispettato.

Il monossido di carbonio, l'ozono, il benzene, l'anidride solforosa sono stati rilevati in due differenti siti (via Albertario 2009, via Papiria 2011) con campagne di misura con mezzo mobile della durata di due settimane ciascuna. La brevità delle campagne di misura non consente un confronto con i rispettivi limiti di legge; tuttavia i valori osservati risultano sufficientemente bassi da non destare preoccupazioni.

Allegato 1 - Flussi di traffico



Via Einaudi II

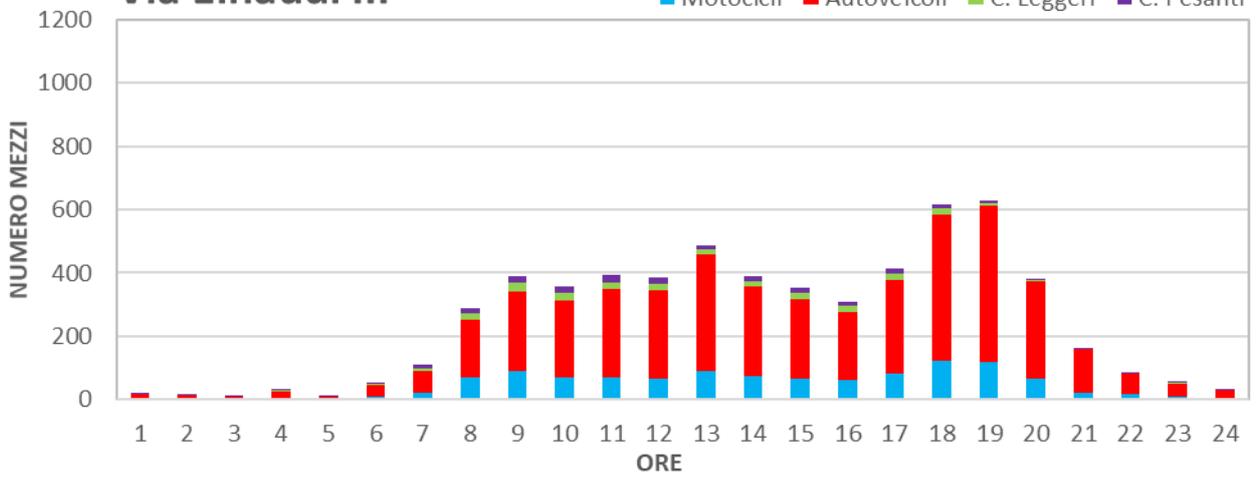


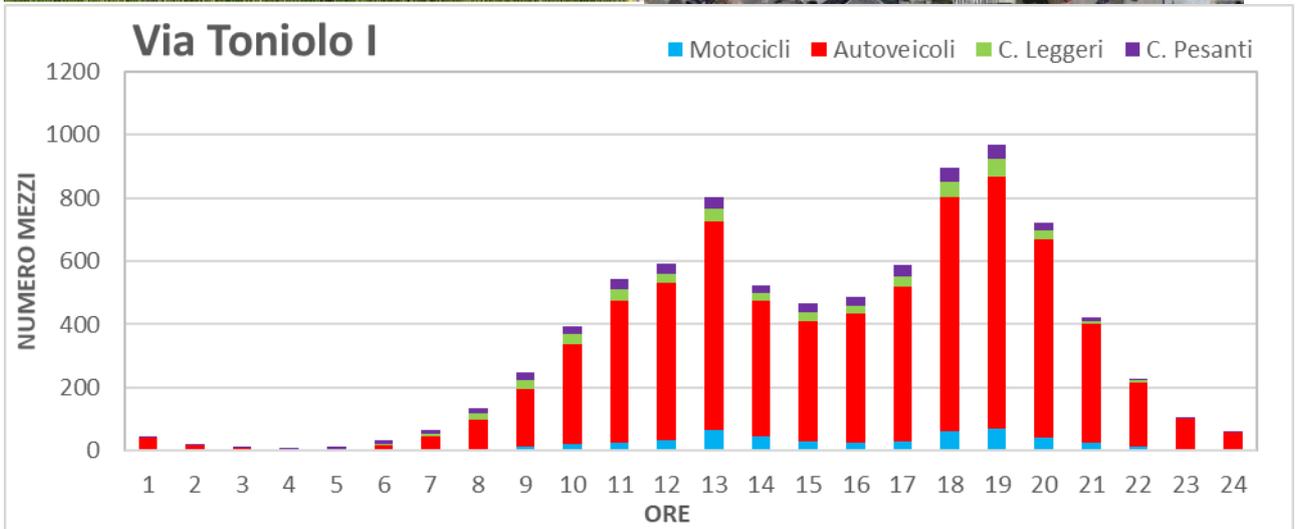
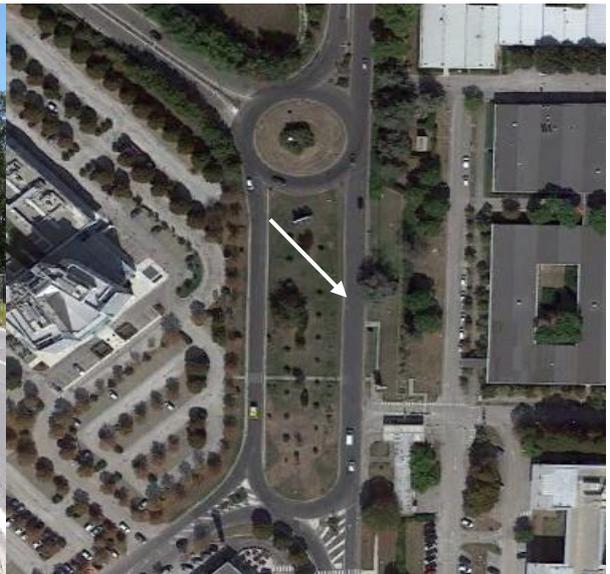
Via Einaudi III

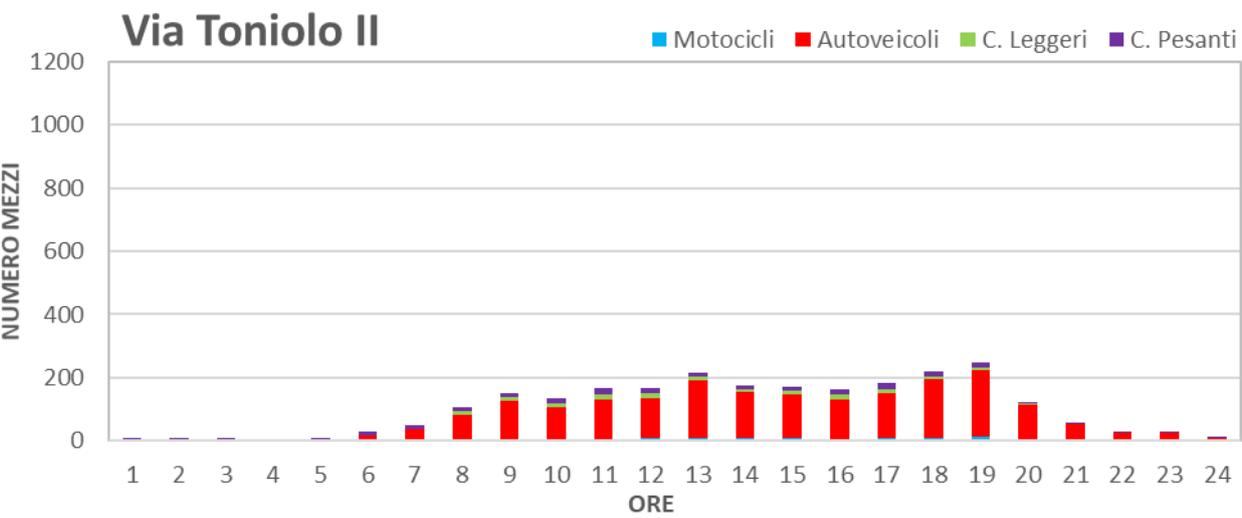
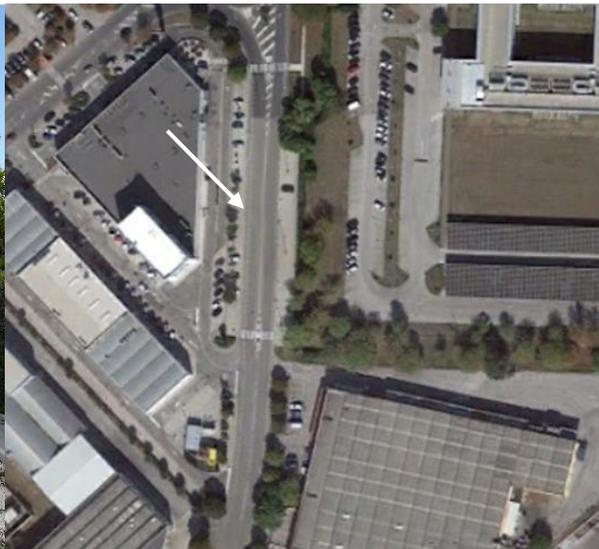


Via Einaudi III

Motocicli Autoveicoli C. Leggeri C. Pesanti



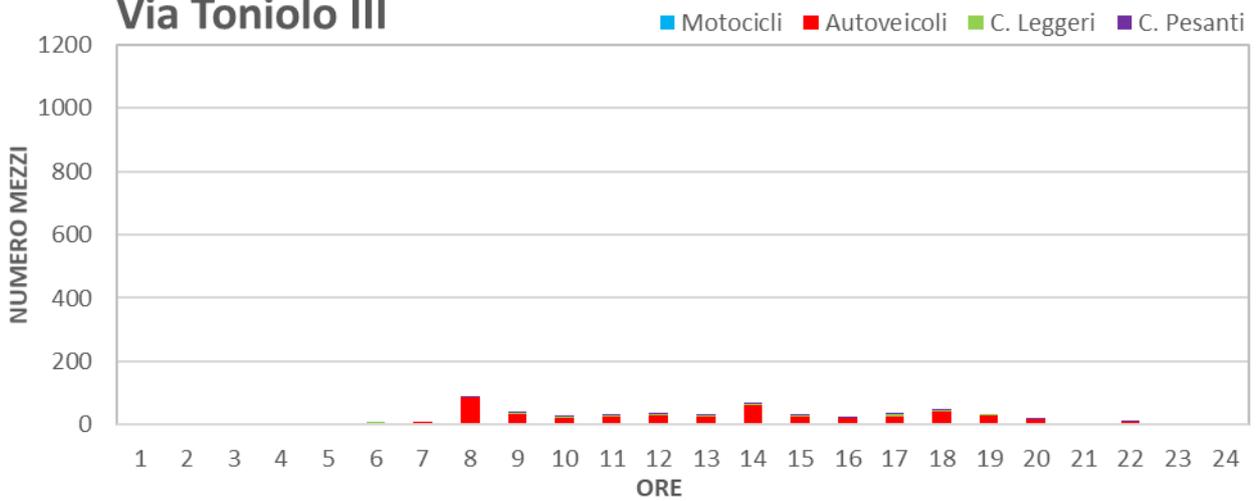




Via Toniolo III



Via Toniolo III

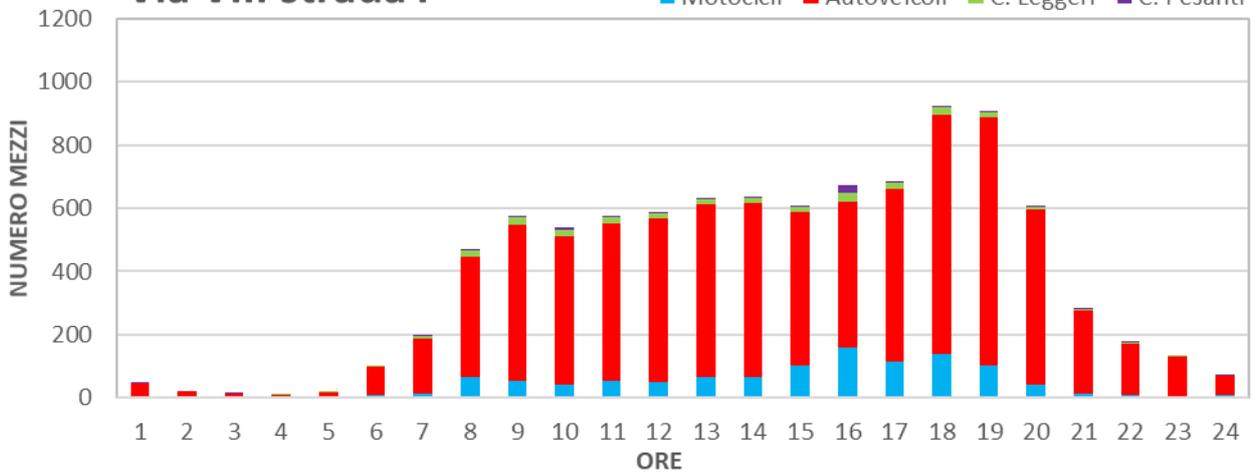


Via VIII strada



Via VIII strada I

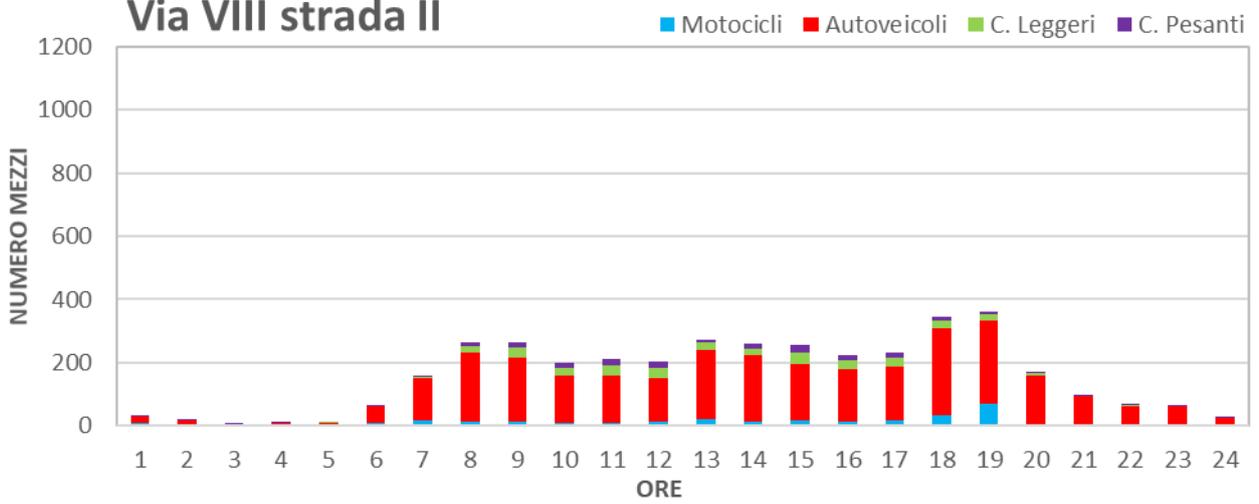
■ Motocicli ■ Autoveicoli ■ C. Leggeri ■ C. Pesanti



Via VIII strada II



Via VIII strada II



Strada Provinciale



Strada Provinciale 92

