



Sorveglianza sulla salute della
Popolazione nei pressi del
Termovalorizzatore di
Torino



Programma SPoTT
Report n° 18

**STUDIO MODELLISTICO DI DISPERSIONE DEGLI INQUINANTI
IMMESSI IN ATMOSFERA DAL TERMOVALORIZZATORE DI TORINO
REALIZZATO CON MODELLO CTM**

ANNO 2019

Febbraio 2024

Rapporto a cura di
Roberta De Maria, Cinzia Cascone, Marilena Maringo, Francesca Bissardella, Stefania Ghigo, Stefano
Bande

SS Meteorologia, Clima e Qualità dell'Aria – ARPA Piemonte

Data la delicatezza dei temi affrontati e la complessità delle azioni messe in campo, il programma SPoTT si è dotato di uno specifico piano di comunicazione nel cui ambito si colloca questo rapporto. È possibile porre ulteriori domande di chiarimento attraverso l'apposito indirizzo e-mail coordinamento.spott@arpa.piemonte.it.



Indice

| | |
|--|-----------|
| <i>Sintesi del diciottesimo rapporto di studio</i> | 4 |
| <i>Introduzione</i> | 6 |
| <i>Metodologia</i> | 7 |
| <i>Descrizione del sistema modellistico</i> | 7 |
| <i>Domini di simulazione</i> | 11 |
| <i>Dati di ingresso al sistema modellistico</i> | 13 |
| Dati di input geografico | 13 |
| Dati di input meteorologico | 14 |
| Dati di input emissivo | 14 |
| Condizioni iniziali e al contorno | 18 |
| <i>Simulazioni meteodisperse</i> | 18 |
| Simulazioni meteorologiche | 18 |
| Simulazioni dispersive | 22 |
| Risultati | 25 |
| Biossido di zolfo (SO ₂) | 25 |
| Biossido di azoto e ossidi di azoto (NO ₂ e NO _x) | 25 |
| Benzene (C ₆ H ₆) | 27 |
| Monossido di carbonio (CO) | 28 |
| Particolato PM10 (primario e secondario) | 30 |
| Particolato PM2.5 (primario e secondario) | 32 |
| Ammoniaca (NH ₃) | 33 |
| Ozono (O ₃) | 34 |
| Conclusioni | 34 |

Sintesi del diciottesimo rapporto di studio

Nell'ambito del programma SPoTT-2 è prevista la realizzazione di una serie di simulazioni modellistiche, condotte su diversi anni meteorologici con due modelli di dispersione, finalizzate alla descrizione del contributo del termovalorizzatore alle concentrazioni atmosferiche e alle deposizioni nell'area circostante l'impianto.

Il documento completa, per l'anno 2019, quanto presentato con il dodicesimo rapporto di studio: la presente relazione descrive le attività di modellistica meteorodispersiva condotte con un sistema modellistico basato su un modello di dispersione e trasformazione chimica (*Chemical Transport Model CTM*) euleriano, in grado di descrivere, ad elevato dettaglio spaziale e temporale, il trasporto, la dispersione e la trasformazione chimica di inquinanti primari e secondari in condizioni meteorologicamente complesse.

Con i risultati della modellizzazione sono state prodotte mappe di concentrazione che descrivono le aree maggiormente interessate dalle ricadute dei diversi inquinanti; ulteriori elaborazioni hanno permesso il confronto fra le concentrazioni stimate dal modello e quelle misurate presso le stazioni di monitoraggio della qualità dell'aria presenti nella zona, nonché una comparazione con i risultati del dodicesimo rapporto che ha visto l'utilizzo di un diverso modello di dispersione.

Il confronto dei dati modellizzati con quelli misurati mostra, a livello di concentrazioni in atmosfera e per tutti gli inquinanti, un contributo del termovalorizzatore decisamente modesto, spesso inferiore di uno o più ordini di grandezza rispetto ai valori misurati.



GLOSSARIO

AIA: Autorizzazione Integrata Ambientale

CET: Central European Time

COT: Carbonio Organico Totale

CLC: Corine Land Cover

CTM: Chemical Transport Model

ECMWF: European Centre for Medium Range Weather Forecast

HPC: High Parallel Computing

IFS: Integrated Forecasting System

LOQ: limite di quantificazione

MASE: Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica

MINNI: Modello Integrato Nazionale a supporto della Negoziazione Internazionale sui temi dell'Inquinamento Atmosferico

NCAR: National Center for Atmospheric Research

PBL: Planetary Boundary Layer

SME: Sistema di Monitoraggio in continuo delle Emissioni

UCAR: Mesoscale & Microscale Meteorology Laboratory

UTC: Coordinated Universal Time

WRF: Weather Research and Forecasting Model



Introduzione

Il programma SPoTT (Sorveglianza sulla salute della Popolazione nei pressi del Termovalorizzatore di Torino) a partire dal 2013 ha avviato un sistema di sorveglianza che consente di valutare gli effetti avversi sulla salute dell'inquinamento ambientale nelle aree circostanti il termovalorizzatore di Torino. Attraverso studi epidemiologici e di biomonitoraggio, SPoTT permette di studiare le possibili relazioni tra fattori di rischio ambientali e patologie specifiche, valutando un possibile assorbimento di eventuali sostanze contaminanti.

A gennaio 2020 è stato avviato SPoTT-2, la seconda fase del Programma SPoTT finalizzata al mantenimento dell'attività di monitoraggio sui cittadini residenti nei pressi dell'impianto. Il progetto prevede dieci linee di attività (che vanno dal monitoraggio e la sorveglianza epidemiologici degli effetti sulla salute a breve e lungo termine, al monitoraggio tossicologico, delle matrici alimentari e della salute dei lavoratori dell'impianto, al monitoraggio delle deposizioni di mercurio, alla costruzione e gestione di una banca dati biologica per citarne alcune) e il coinvolgimento di un gruppo di lavoro multidisciplinare che include personale specializzato di ASL, ARPA, Istituto Zooprofilattico Sperimentale e Istituto Superiore di Sanità.

Nell'ambito di SPoTT-2 è stato previsto l'inserimento di una linea di attività per la realizzazione di uno studio modellistico di dispersione degli inquinanti in atmosfera finalizzato ad aggiornare, utilizzando i dati emissivi e di funzionamento reali dell'impianto, l'indagine modellistica redatta da Arpa nell'ambito dello studio di caratterizzazione del bianco ambientale (condotto sull'anno 2005 antecedentemente alla costruzione dell'impianto). L'obiettivo è quello di descrivere adeguatamente le emissioni dei diversi inquinanti prodotti dall'inceneritore e valutare il loro contributo rispetto ai livelli di qualità dell'aria e di deposizione al suolo, permettendo una maggiore comprensione degli impatti e come supporto agli studi epidemiologici.

Lo studio prevede la modellizzazione, su tre differenti anni meteorologici, della dispersione degli inquinanti prodotti dal termovalorizzatore, utilizzando modelli di dispersione con caratteristiche diverse al fine di fornire informazioni fra loro complementari sugli impatti associati al funzionamento dell'impianto:

- un modello lagrangiano a particelle in grado di rappresentare dettagliatamente la dispersione delle sostanze immesse in atmosfera anche nei pressi della sorgente, idoneo a lavorare - con risoluzione orizzontale elevata - su scale spaziali prevalentemente di tipo locale. Questa modellizzazione permetterà di fornire, per ognuno dei tre anni di simulazione e con risoluzione temporale oraria, una stima delle ricadute degli inquinanti e dei microinquinanti (fra cui IPA, PCB e PCDD/DF) emessi dal termovalorizzatore e non soggetti a trasformazione chimica (assimilandoli quindi ad inerti), nonché la stima delle loro deposizioni al suolo.
- un modello *Chemical Transport Model* CTM con il quale realizzare, su un unico anno di simulazione, l'aggiornamento dello studio condotto per il bianco ambientale ottenendo la quantificazione del contributo del termovalorizzatore anche sulla componente secondaria degli inquinanti atmosferici.

Nella presente relazione vengono descritte le simulazioni modellistiche meteorodispersive condotte sull'anno 2019 con il modello *Chemical Transport Model* CTM FARM.

Metodologia

Scopo della modellizzazione è quello di ricostruire, sul dominio centrato sul termovalorizzatore, le variabili meteorologiche e chimiche ad una risoluzione spaziale e temporale dettagliata. A tal fine è stato utilizzato un sistema modellistico di tipo tridimensionale, in grado di produrre una simulazione completa sia delle componenti meteorologiche sia di quelle di trasformazione chimica, trasporto e diffusione degli inquinanti atmosferici rilasciati in condizioni meteorologiche anche complesse (calme di vento, flussi su topografia complessa), in domini caratterizzati da disomogeneità spaziali e temporali delle variabili meteo-diffusive.

Il codice di dispersione utilizzato è un modello euleriano tridimensionale di chimica e trasporto (*Chemistry Transport Model*, di seguito CTM), che può simulare il trasporto, la trasformazione chimica e la deposizione degli inquinanti atmosferici rilasciati in condizioni meteorologicamente complesse (calme di vento, flussi su orografia complessa) spesso caratterizzate da disomogeneità spaziali e temporali delle variabili meteo-diffusive.

La meteorologia ed in particolare la micrometeorologia che caratterizzano gli strati inferiori dell'atmosfera e il *Planetary Boundary Layer* (PBL) ricoprono un ruolo fondamentale nei processi di trasporto e dispersione degli inquinanti, conseguentemente richiedono di essere riprodotti con grande attenzione. Per descrivere il moto degli inquinanti in atmosfera sono state realizzate, su 4 domini innestati a risoluzione crescente, le simulazioni meteorologiche con un modello totalmente compressibile e non-idrostatico che può lavorare su una vasta gamma di applicazioni a diversa scala, da quella sinottica (su uno spazio di migliaia di chilometri) fino a quella locale (su uno spazio di pochi chilometri o poche centinaia di metri). Successivamente, tramite un pre-processore meteorologico, sono stati calcolati i valori per i parametri descrittivi della turbolenza atmosferica.

Parallelamente è stata condotta sul dominio dispersivo la modellizzazione delle emissioni presenti nel dominio di calcolo, incluso il termovalorizzatore. Per riprodurre nel modo più accurato le emissioni dell'impianto sono stati utilizzati i dati acquisiti dal Sistema di Monitoraggio in continuo delle Emissioni (SME).

I dati meteorologici ed emissivi rappresentano i dati di ingresso necessari alla realizzazione delle simulazioni di dispersione degli inquinanti sul territorio di studio, condotte con il modello CTM. Le simulazioni condotte sull'anno 2019 ad una risoluzione temporale oraria vanno ad integrare, descrivendo sia le concentrazioni degli inquinanti primari che secondari associati al funzionamento dell'impianto, le informazioni prodotte con la simulazione condotta con il modello lagrangiano a particelle per la sola componente primaria (Report 12).

Descrizione del sistema modellistico

Le simulazioni di dispersione sono state condotte con la catena modellistica implementata presso ARPA Piemonte, basata sul modello di chimica e trasporto (*Chemistry Transport Model*, di seguito CTM) FARM¹ (*Flexible Air Regional Model*, ARIANET S.r.l.).

La catena modellistica è un sistema integrato di codici di calcolo che permette di produrre tutte le informazioni necessarie al modello di dispersione. I principali elementi che la

¹ G. Calori, C. Silibello, G.F. Marras, 2018. FARM (Flexible Air quality Regional Model) Model formulation and user's manual – Ariamet R2018.22

compongono (schematizzati in Figura 1), oltre al modello stesso, si possono sinteticamente riassumere in:

- un modulo territoriale, che a partire dalle basi di dati territoriali costruisce i campi dei parametri geofisici e territoriali (altezza dell'orografia, uso del suolo);
- un modulo di interfaccia meteorologico che, a partire dai dati meteorologici di ingresso (campi di modelli meteorologici a mesoscala), costruisce in vari passaggi i campi meteorologici e di turbolenza utilizzati dal modello di dispersione;
- un modulo delle emissioni che, a partire dagli inventari delle emissioni e dai dati emissivi del termovalorizzatore, ricostruisce i campi orari dei ratei di emissione per tutte le specie chimiche trattate dal modello CTM;
- un modulo per le condizioni iniziali e al contorno che, a partire dai campi tridimensionali di concentrazione di un modello di qualità dell'aria a scala regionale, prepara i relativi campi di concentrazione.

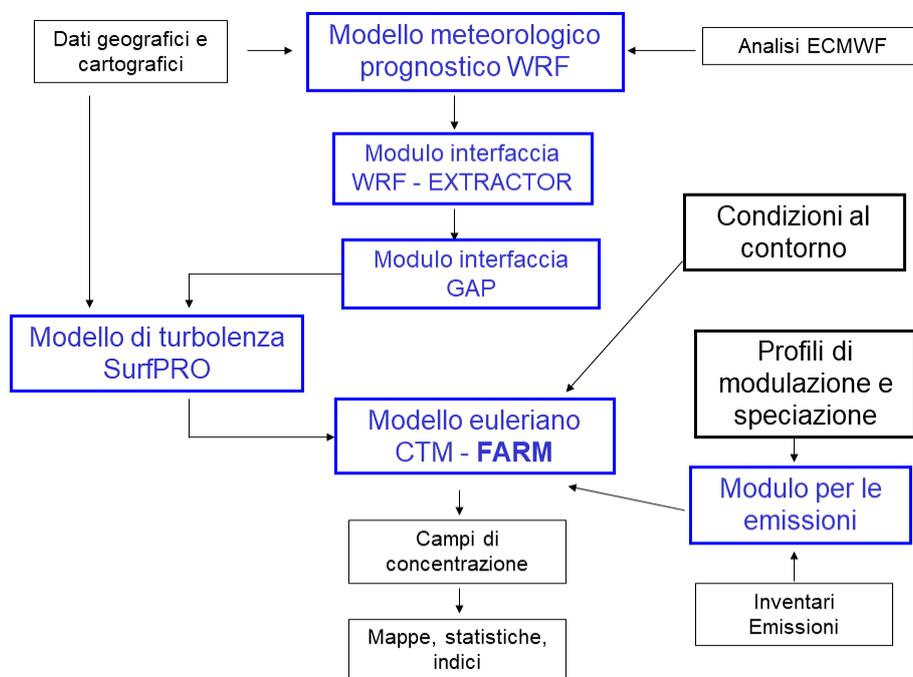


Figura 1: Diagramma di flusso della catena modellistica utilizzata

Nel dettaglio la catena modellistica è costituita dai seguenti codici:

FARM è un modello di chimica e trasporto in grado di calcolare le concentrazioni in atmosfera dei principali inquinanti atmosferici (aerosols e gas) su scale spaziali che vanno da quella urbana a quella continentale. Attualmente distribuito come codice “*open source*” è un modello ampiamente utilizzato a livello delle Agenzie Regionali e adottato anche da ENEA (Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, energia e lo sviluppo economico sostenibile) per conto del Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica (MASE) nell'ambito del progetto MINNI². Tra le sue principali caratteristiche si possono ricordare:

- la possibilità di trattare sorgenti diffuse e sorgenti puntuali, tenendo conto del *plume rise*;

² Modello Integrato Nazionale a supporto della Negoziazione Internazionale sui temi dell'inquinamento Atmosferico

- la possibilità di utilizzare diversi moduli chimici per la descrizione dei processi di trasformazione chimica che avvengono in atmosfera;
- la capacità di trattazione della chimica in fase condensata ed in fase acquosa;
- la possibilità di utilizzare griglie innestate (*nesting*) in comunicazione tra loro, sia in modalità *one-way* (modalità ad una via, in cui la comunicazione avviene solo dalla griglia a bassa risoluzione verso la griglia principale a più alta risoluzione), sia in modalità *two-way* (modalità a due vie, in cui la comunicazione tra le griglie avviene nei due versi);
- rimozione secca e umida degli inquinanti;
- integrazione del modulo TUV per il calcolo del trasporto radiativo e del modulo MEGAN per le emissioni biogeniche;
- parallelizzazione a memoria distribuita, a memoria condivisa ed ibrida.

Il meccanismo chimico adottato in FARM è SAPRC-99³, in grado di trattare le reazioni atmosferiche di composti organici volatili (VOC) e di ossidi di azoto (NO_x) in fase gassosa ed usata per simulare i processi fotochimici presenti nella bassa troposfera che producono ozono ed aerosol organici secondari.

Lo schema per gli aerosol AERO3 tratta la dinamica delle particelle e la loro interazione con le specie in fase gassosa secondo il sistema modellistico U.S. EPA Community Multiscale Air Quality (CMAQ)⁴; in questo schema, le particelle di aerosol sono descritte come sovrapposizione di tre mode⁵ aventi distribuzione lognormale.

FARM, come tutti i modelli CTM, necessita in ingresso di molteplici informazioni che devono essere fornite su tutti i domini di simulazione: campi meteorologici tridimensionali, concentrazioni tridimensionali degli inquinanti ai bordi dell'area di studio ed all'inizio del periodo di simulazione, ratei di emissioni (antropogeniche e naturali) per tutti gli inquinanti considerati.

Come modello meteorologico è stato utilizzato il modello WRF⁶ (*Weather Research and Forecasting model*) con il quale sono state condotte le simulazioni sulle aree di studio per l'anno 2019. I risultati ottenuti per le principali variabili meteorologiche (velocità e direzione vento, temperatura, umidità relativa, pressione, radiazione solare globale e precipitazioni) sono stati poi confrontati con le osservazioni disponibili sul territorio al fine di valutare la qualità delle simulazioni effettuate.

WRF è un modello *open-source* di previsione meteorologica a mesoscala, creato per applicazioni di ricerca e per previsioni in modalità operativa. Si tratta di un modello fluidodinamico totalmente comprimibile e non-idrostatico che può lavorare su una vasta gamma di applicazioni a diversa scala, da quella sinottica (su uno spazio di migliaia di chilometri) fino alla locale (su uno spazio di pochi chilometri o poche centinaia di metri). WRF

³ Carter W.P.L. (1990) *A detailed mechanism for the gas-phase atmospheric reactions of organic compounds*. Atmos. Environ., 24°, 481-518.

⁴ Binkowski F. S. (1999) *The aerosol portion of Models-3 CMAQ*. In *Science Algorithms of the EPA Models-3 Community Multiscale Air Quality (CMAQ) Modeling System*. Part II: Chapters 9-18. D.W. Byun, and J.K.S. Ching (Eds.). EPA-600/R-99/030, National Exposure Research Laboratory, U.S. Environmental Protection Agency, Research Triangle Park, NC, 10-1-10-16.

⁵ nuclei, accumulazione, particelle grossolane

⁶ NCAR – *National Center for Atmospheric Research*, UCAR – *Mesoscale & Microscale Meteorology Laboratory*: WRF, *The Weather Research & Forecasting Model* <https://www.mmm.ucar.edu/weather-research-and-forecasting-model>

è un modello efficiente per il calcolo parallelo che può quindi essere utilizzato ed installato su sistemi di calcolo ad alte prestazioni. I dati necessari al suo funzionamento sono essenzialmente costituiti dai dati fisiografici del territorio di studio (orografia, uso del suolo, parametri del terreno) e dai dati meteorologici tridimensionali ai bordi del dominio di simulazione.

Il sistema di simulazione di WRF, si compone di due moduli principali:

- il modulo di pre-processamento WPS (*WRF Preprocessing System*), che prepara i dati di ingresso necessari alla simulazione;
- il modello WRF ARW (*Advanced Research WRF*) che effettua propriamente la simulazione meteorologica.

Il pre-processore WPS è a sua volta costituito da tre distinti moduli:

- *geogrid*, che definisce il dominio di simulazione ed il sistema di griglie (numero di griglie, proiezione, numero di punti, risoluzione della cella) che si vuole adottare, interpolando su queste le basi dei dati fisiografici statici (invarianti nel periodo di simulazione);
- *ungrib*, che elabora i campi meteorologici provenienti da modelli ad area globale, necessari per la costruzione delle condizioni al contorno;
- *metgrid*, che interpola orizzontalmente i campi meteorologici estratti da *ungrib* sulle griglie definite da *geogrid*.

Il modello WRF-ARW è composto da:

- *real*, modulo che effettua l'interpolazione verticale dei campi meteorologici sui livelli del modello e crea le condizioni iniziali e al contorno sulle griglie di simulazione (solitamente la griglia più esterna);
- *wrf*, il cuore del sistema che effettua la simulazione meteorologica.

WRF può lavorare contemporaneamente con più griglie a differente risoluzione, utilizzando un sistema di innesti in cui la griglia meno risolta (dominio "genitore") contiene la/le griglia/e di dettaglio (dominio/i "figlio/i") con due differenti modalità: *one-way nesting*, in cui lo scambio di informazioni avviene tra il dominio genitore e il dominio figlio in maniera univoca, ossia dalla griglia meno risolta a quella più risolta, e il *two-way nesting*, in cui lo scambio di informazioni è biunivoco, ossia il dominio genitore fornisce le condizioni al contorno al dominio figlio ma è allo stesso tempo influenzato dal dominio figlio mediante un'azione detta *feedback*.

WRF-EXTRACTOR è un modulo di interfaccia utilizzato nel post-processing dei files in uscita di WRF in un formato compatibile con:

- **GAP** (Arianet S.r.l.), che effettua l'interpolazione dei dati meteorologici sul grigliato di FARM
- **SurfPRO** (Arianet S.r.l.), pre-processore meteorologico che calcola i parametri descrittivi della turbolenza atmosferica.

I dati emissivi necessari al funzionamento del modello CTM FARM sono stati elaborati dal modello emissivo **EMMA**⁷ (ARIANET S.r.l.) che permette di:

- disaggregare spazialmente i quantitativi emessi annualmente dai comuni sul dominio di simulazione: il processo consiste nell'attribuire le emissioni alle porzioni territoriali che ne sono effettivamente responsabili, tenendo conto degli elementi cartografici disponibili (uso del suolo, layer tematici);
- modulare temporalmente le emissioni, ripartendo la sommatoria emissiva (in tonnellate/anno) su base oraria, tenendo conto di profili di modulazione specifici per ogni singola categoria emissiva associata alle diverse tipologie di sorgente. La modulazione nel tempo delle emissioni si basa quindi sull'incrocio tra profili di modulazione giornalieri (distribuzione temporale nell'arco delle 24 ore), settimanali (distribuzione nell'arco della settimana) e annuali (distribuzione nell'arco dell'anno);
- riprodurre la speciazione chimica dei composti organici volatili non metanici (NMVOC) e del particolato (PM), seguendo il meccanismo chimico e lo schema per gli aerosol (SAPRC-99 e AERO3) adottati dal modello di chimica e trasporto. Il risultato - per ogni attività antropica e naturale - è la ripartizione della sommatoria emissiva dei NMVOC e del PM nelle varie specie sulla base di profili di speciazione e dimensionali specifici per ogni categoria emissiva. Consente inoltre di ripartire gli ossidi di azoto in monossido e biossido.

Domini di simulazione

Le simulazioni sono state condotte su:

- quattro domini innestati per WRF (Figura 2), con caratteristiche riportate in Tabella 1, il più interno dei quali (d04) ha una risoluzione orizzontale di circa 1 chilometro;
- un dominio interno al d04, denominato dominio 5, con caratteristiche riportate in Tabella 2 e centrato approssimativamente sul camino del termovalorizzatore: su quest'area è stata realizzata la rigrigliatura dei dati di WRF con il modello GAP, sono stati prodotti con SurfPRO i campi di turbolenza e, successivamente, condotta la modellizzazione dispersiva con FARM ad una risoluzione di 1000 metri.

Il dominio 5, illustrato nella Figura 3, ha dimensioni pari a 45 x 48 chilometri e comprende i comuni dell'agglomerato di Torino (zona IT0118 della zonizzazione di Regione Piemonte), parte della collina ad est e parte della bassa Val di Susa ad ovest.

⁷ Emission Manager - Modular processing system for model-ready emission input preparation v. 6.2 -December 2014 - <http://doc.aria-net.it/EmissionManager>

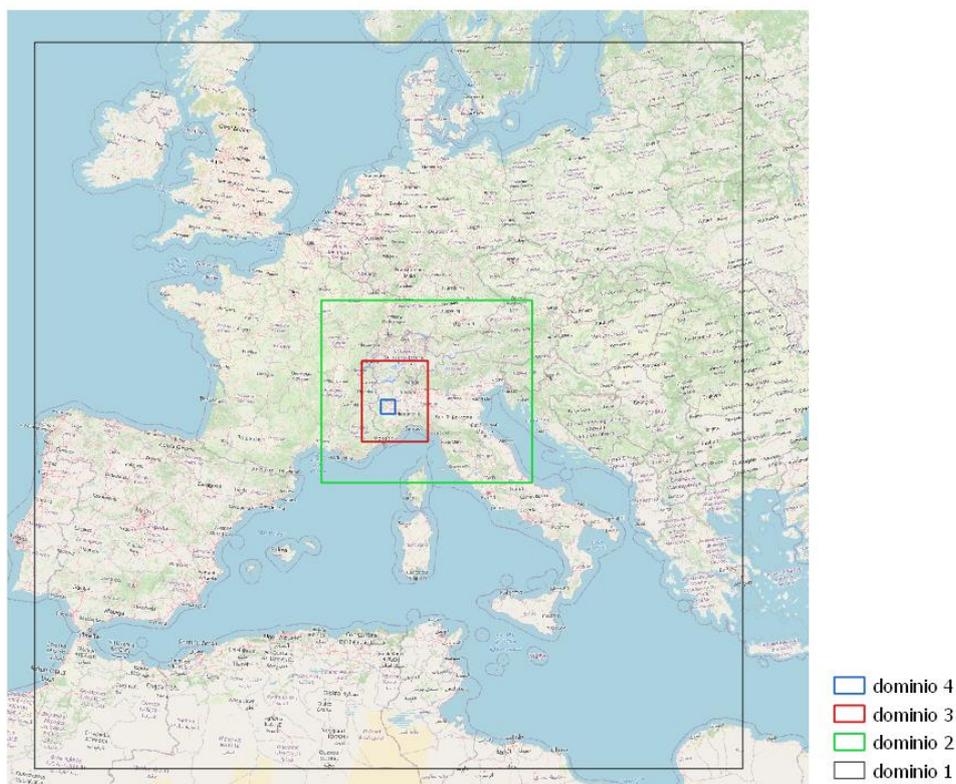


Figura 2: Domini di calcolo per le simulazioni meteorologiche con WRF

| <i>Dominio</i> | <i>Risoluzione</i> | <i>Coordinate punto SW</i> | <i>Estensione</i> | <i>Livelli verticali</i> | <i>Proiezione</i> |
|----------------|--------------------|----------------------------|-------------------------|--------------------------|-------------------|
| d01 | 27 km | LAT = 31.22 LONG= -14.59 | $n_x = 105$ $n_y = 107$ | 34 | EPSG = 4326 |
| d02 | 9 km | LAT = 42.17 LONG= 4.00 | $n_x = 94$ $n_y = 82$ | 34 | EPSG = 4326 |
| d03 | 6 km | LAT = 43.87 LONG= 6.24 | $n_x = 88$ $n_y = 109$ | 34 | EPSG = 4326 |
| d04 | 1 km | LAT = 44.78 LONG= 7.23 | $n_x = 58$ $n_y = 58$ | 34 | EPSG = 4326 |

Tabella 1: caratteristiche dei domini di simulazione per WRF

| <i>Dominio</i> | <i>Risoluzione</i> | <i>Coordinate punto SW</i> | <i>Estensione</i> | <i>Livelli verticali</i> | <i>Proiezione</i> |
|----------------|--------------------|------------------------------|-----------------------|--------------------------|-------------------|
| d5 | 1000 m | $x = 369000$ $y = 4964000$ m | $n_x = 46$ $n_y = 49$ | 16 | EPSG = 32632 |

Tabella 2: caratteristiche del dominio di simulazione per GAP, SurfPRO e FARM

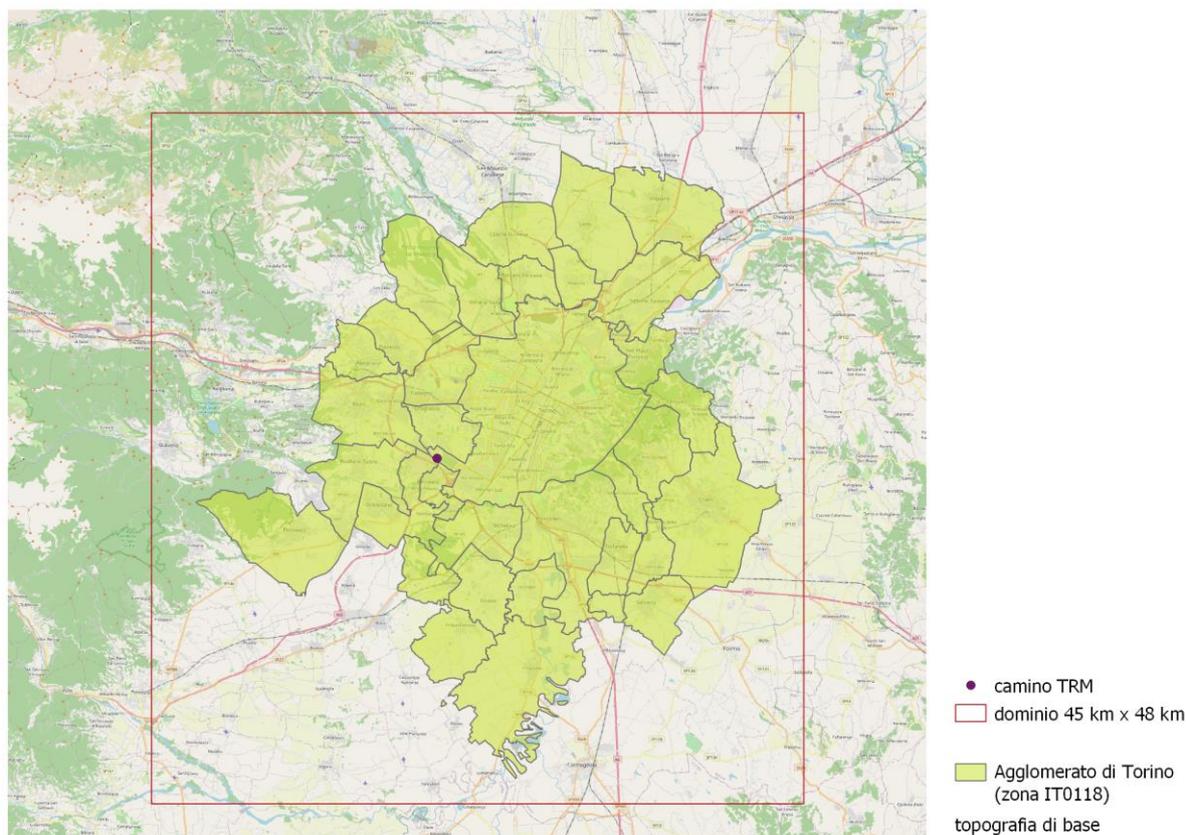


Figura 3: Dominio 5 utilizzato per le simulazioni di dettaglio meteorologica e dispersiva

Dati di ingresso al sistema modellistico

Dati di input geografico

Per le simulazioni con il modello WRF sono state utilizzate le basi dei dati fisiografici e geografici integrate nella distribuzione del modulo WPS alla risoluzione di 30" (circa 1 chilometro).

L'uso del suolo è stato ricavato a partire dal *Corine Land Cover* CLC del 2018 a 21 classi (ottenuto aggregando le 44 classi ordinarie in classi prevalenti secondo criteri finalizzati alla modellistica di dispersione di inquinanti in atmosfera) e a 100 metri, filtrato successivamente per ottenere la risoluzione di 1000 metri necessaria al modello meteorologico SurfPRO.

Nella Figura 4 è riportata la rappresentazione dell'uso del suolo predisposto per l'utilizzo della catena modellistica nel dominio 5.

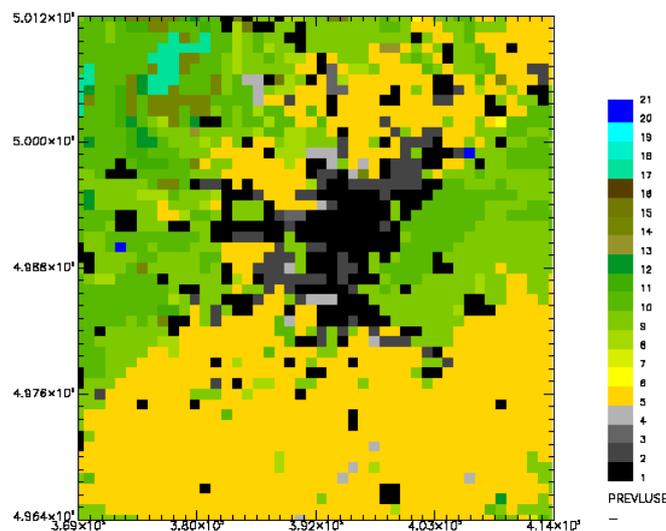


Figura 4: Uso del suolo utilizzato dalla catena modellistica per il dominio 5

Dati di input meteorologico

La meteorologia dell'area di studio è stata ricostruita con il modello WRF fornendo in input le analisi sui livelli di pressione del modello IFS (*Integrated Forecasting System*) di ECMWF (*European Centre for Medium Range Weather Forecast*).

Dati di input emissivo

L'Inventario Regionale delle Emissioni in Atmosfera (IREA) della Regione Piemonte nella versione più aggiornata disponibile (IREA 2015) costituisce la base con cui viene predisposto l'input emissivo al modello FARM. I dati presenti in IREA vengono integrati con le informazioni riguardanti particolari sorgenti puntuali: tali quantitativi vengono sostituiti, ove disponibili, con i dati registrati a livello orario dai Sistemi di Monitoraggio Emissioni (SME) nel corso dell'anno oggetto della simulazione.

La suite modellistica EMMA elabora i dati contenuti nell'inventario regionale mantenendo il massimo livello di dettaglio possibile, ovvero:

- l'attività, per quanto riguarda la classificazione SNAP delle sorgenti emissive, associata all'informazione sul combustibile,
- il singolo camino per le sorgenti puntuali (impianti produttivi),
- il singolo arco stradale per le sorgenti lineari (strade e autostrade),
- il comune per le sorgenti areali (fonti di emissione diffuse sul territorio).

I dati SME, acquisiti presso i Dipartimenti territoriali di Arpa, vengono elaborati da un modulo specifico della suite EMMA (INEMOS), il quale li processa direttamente con dettaglio orario, escludendone pertanto la fase di modulazione temporale.

In questo studio, sono state prese in considerazione le emissioni dei principali inquinanti, ovvero particolato PM10 e PM2.5, ossidi totali di azoto NO_x, biossido di zolfo SO₂, monossido di carbonio CO, composti organici volatili non metanici NMVOC e ammoniaca NH₃.

I due scenari emissivi per cui è stato fornito l'input al modello dispersivo sul dominio 5 possono essere così sintetizzati:

- SIMULAZIONE 1: input emissivo relativo a tutte le fonti emissive (diffuse, lineari e puntuali) presenti all'interno del dominio, compresa quella relativa al termovalorizzatore;
- SIMULAZIONE 2: input emissivo relativo a tutte le fonti emissive (diffuse, lineari e puntuali) presenti all'interno del dominio, esclusa quella relativa al termovalorizzatore.

La Figura 5 rappresenta le emissioni diffuse di NO_x relative a tutti i comparti emissivi per l'anno 2019 sul dominio di studio: la mappa identifica in maniera chiara la rete stradale primaria, rendendo evidente come la principale fonte di questo inquinante - fra le emissioni diffuse - sia il trasporto su strada. Le emissioni diffuse di PM10, invece, si concentrano essenzialmente dove è collocata la maggior parte dell'edificato dei centri abitati (Figura 6).

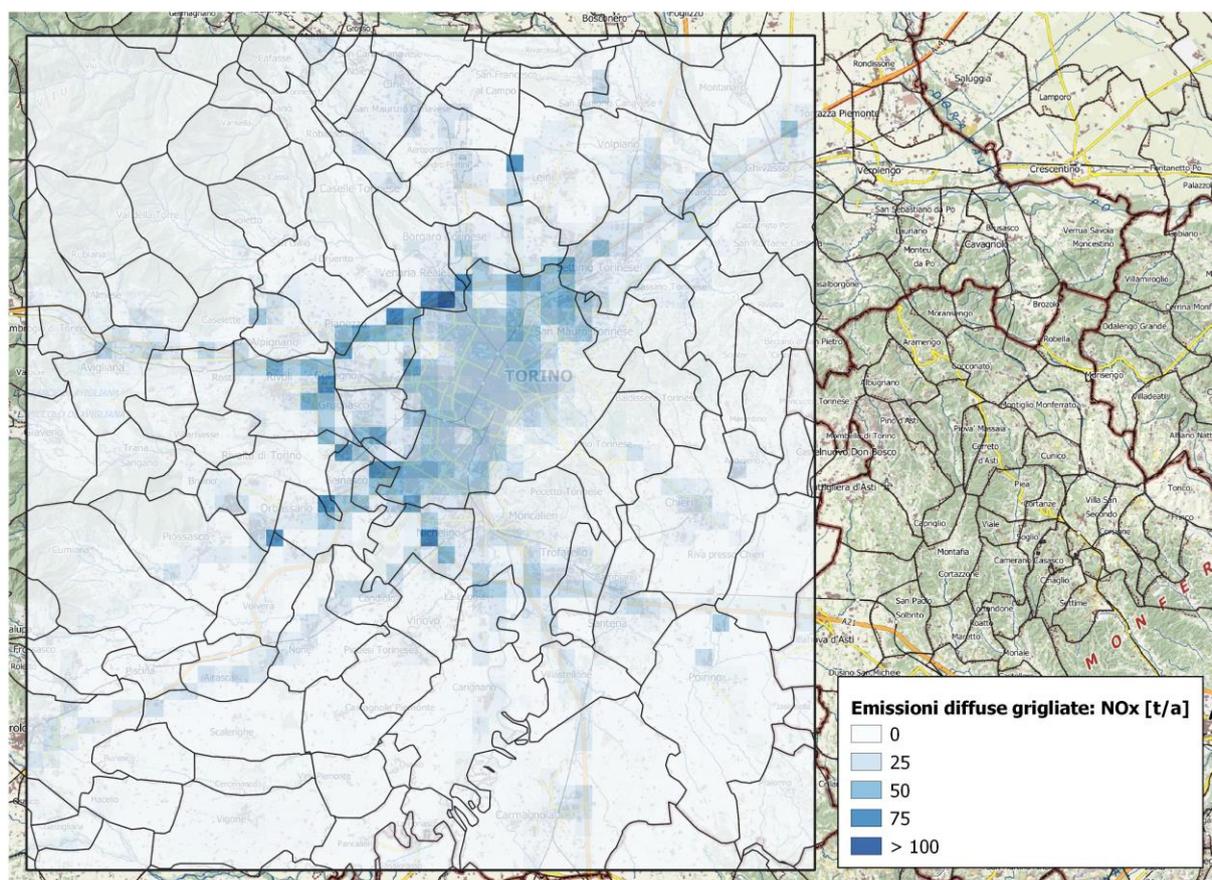


Figura 5: Mappa di distribuzione delle emissioni diffuse di NO_x relative a tutti i macrosettori sul dominio 5

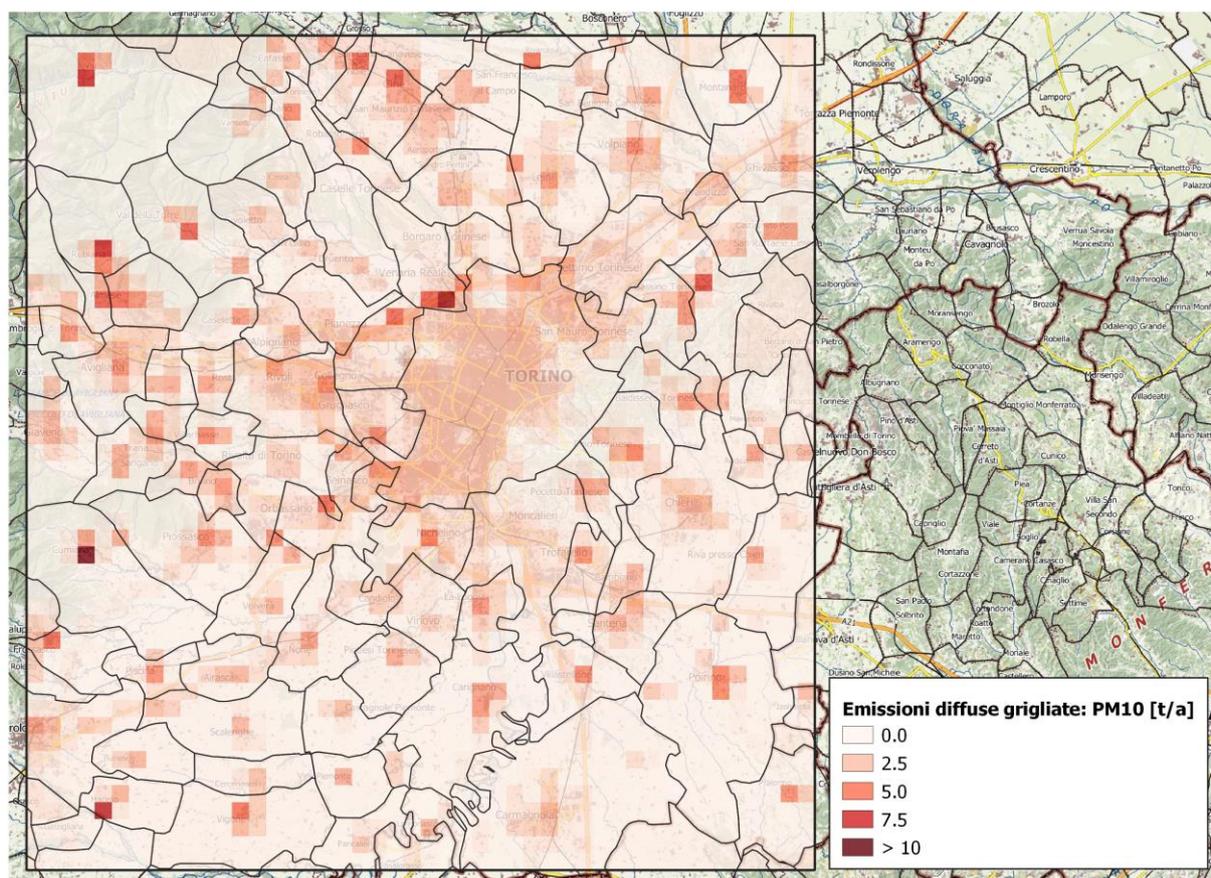


Figura 6: Mappa di distribuzione delle emissioni diffuse di PM10 relative a tutti i macrosettori sul dominio 5

Le sorgenti puntuali presenti nell'Inventario Emissioni regionale che rientrano all'interno del dominio 4 sono 65 e sono dislocate come mostra la Figura 7: tra queste, 7 impianti dispongono di dati monitorati in continuo. Mentre per gli impianti non monitorati in continuo si dispone di un rateo emissivo annuale che viene modulato temporalmente da EMMA seguendo dei profili di modulazione specifici (giornaliera, settimanale e annuale), i dati ottenuti dagli SME permettono il controllo delle emissioni di una sorgente puntuale attraverso l'analisi costante dei fumi dell'impianto, in modo tale da fornire un riscontro in tempo reale dell'andamento delle emissioni in atmosfera: pertanto, nel momento in cui si verificano eventuali superamenti di valori limite, è possibile una messa in opera tempestiva di azioni correttive.

I dati SME acquisiti nel corso del 2019 sono stati sottoposti ad una procedura di verifica, aggregati su base oraria ed elaborati al fine di produrre, per ogni cammino monitorato in continuo di ciascuna sorgente, i dati necessari al modulo emissivo INEMOS, ovvero flusso di massa per ogni inquinante analizzato, velocità e temperatura fumi, stato di funzionamento dell'impianto.

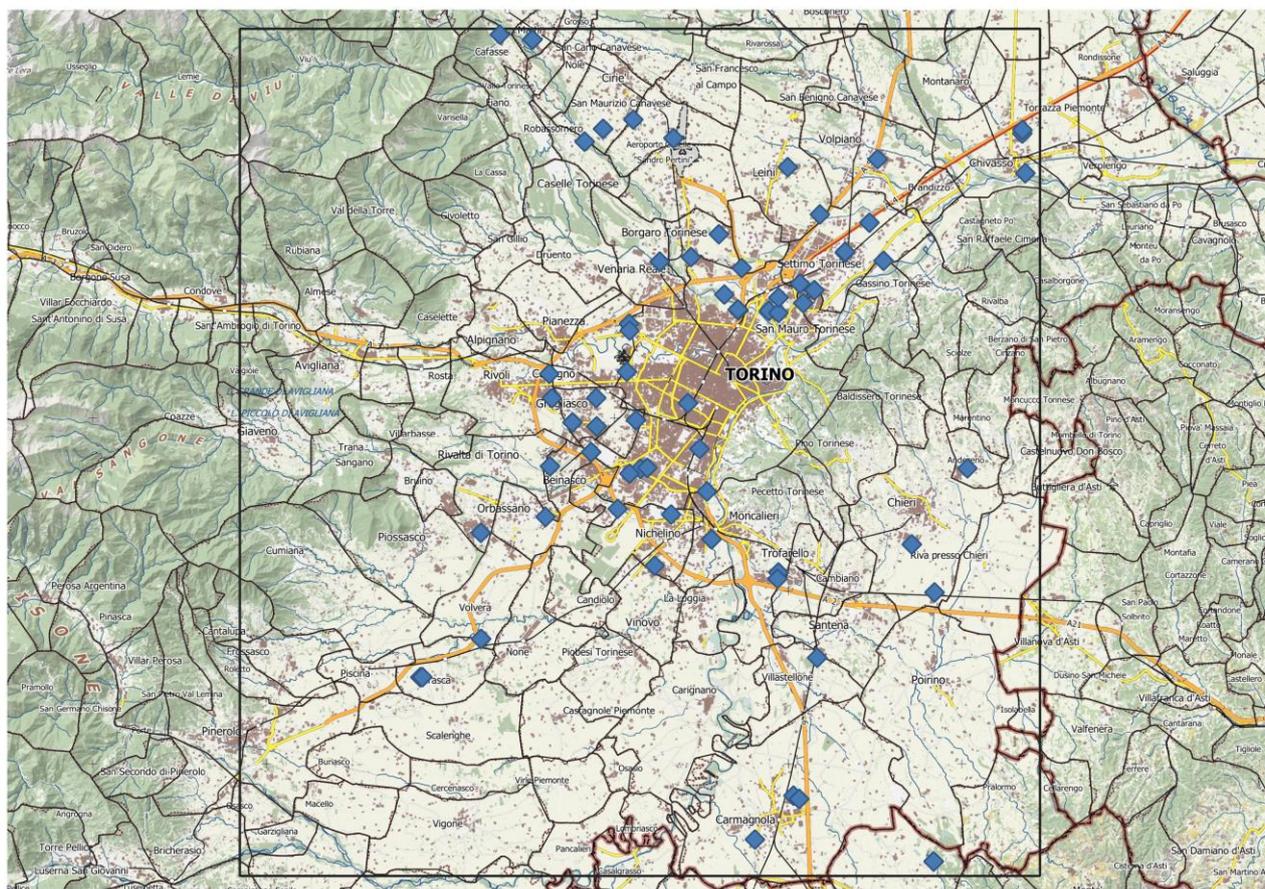


Figura 7: Posizionamento delle sorgenti puntuali presenti all'interno del dominio 5

Guardando più specificatamente all'impianto di termovalorizzazione, esso è dotato di un camino di 120 m di altezza, all'interno del quale sono presenti tre canne, ciascuna con diametro pari a 2.4 m, corrispondenti alle diverse linee di lavorazione. Il punto emissivo ($X = 388694$; $Y = 4988016$, WGS84-UTM32N) si trova a una quota sul livello del mare pari a 273 m.

Il termovalorizzatore registra a cadenza semioraria le polveri totali, le sostanze organiche totali (esprese come carbonio organico totale, COT), l'acido cloridrico (HCl), l'acido fluoridrico (HF), l'ammoniaca (NH_3), gli ossidi di azoto (NO_x espressi come NO_2), il biossido di zolfo (SO_2), il monossido di carbonio (CO) e il mercurio (Hg).

La Figura 8 e la Figura 9 rappresentano l'andamento dei flussi di massa a livello orario, per l'anno 2019, rispettivamente di NO_x e PM10, sommati su tutte le tre linee del TRM. Le due serie storiche evidenziano un fermo impianto dalla mattinata del 25 agosto alle prime ore del mattino del 1° settembre. I flussi di massa massimi registrati sull'intero impianto di termovalorizzazione risultano pari a 95.4 kg/h di NO_x e 1.7 kg/h di PM10.

La strumentazione rende inoltre disponibili in continuo anche i valori dei parametri fisici che caratterizzano l'emissione, quali la portata, la temperatura, la pressione, l'umidità dei fumi, il tenore di ossigeno, oltre a numerosi parametri di processo che consentono di determinare lo stato di funzionamento dell'impianto.

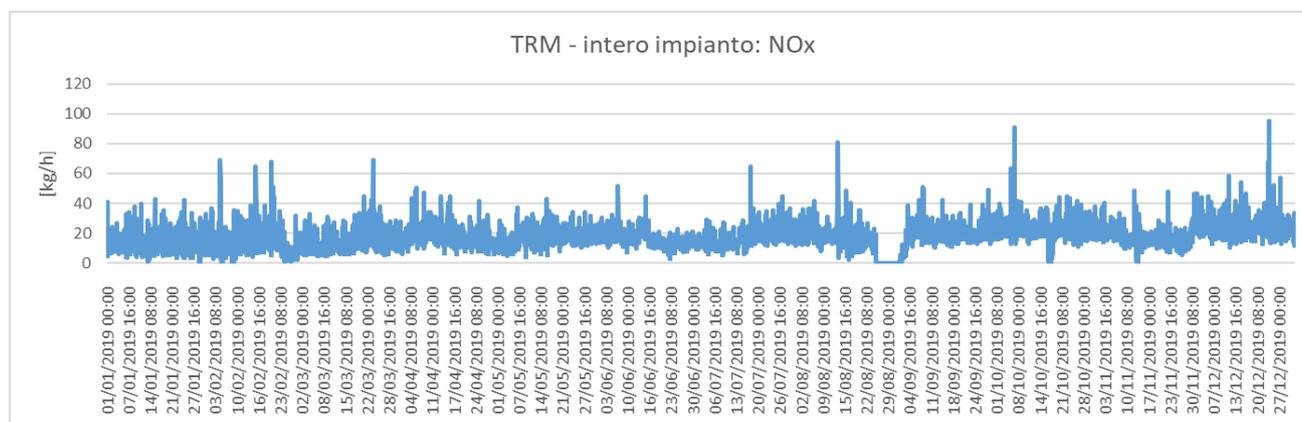


Figura 8: Serie storica dei flussi di massa di NO_x (in kg/h) relativi all'intero impianto TRM con dettaglio orario, per l'anno 2019

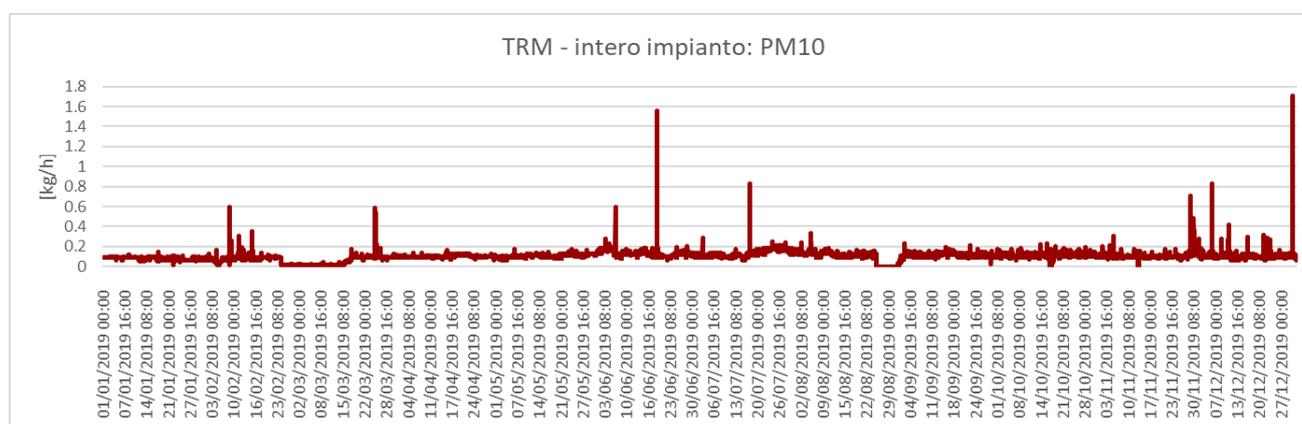


Figura 9: Serie storica dei flussi di massa di PM10 (in kg/h) relativi all'intero impianto TRM con dettaglio orario, per l'anno 2019

Condizioni iniziali e al contorno

Le simulazioni con modelli di dispersione di tipo fotochimico necessitano di informazioni riguardanti i valori di concentrazione di fondo (all'istante iniziale) e ai bordi del dominio di calcolo (per tutta la durata della simulazione).

Per le simulazioni con FARM tali valori sono stati ricavati dai risultati delle simulazioni realizzate da Arpa Piemonte ai fini della Valutazione Annuale della Qualità dell'Aria (VAQA) per l'anno 2019; queste simulazioni vengono condotte con il sistema modellistico utilizzato nel presente studio, ad una risoluzione orizzontale pari a 4 chilometri.

Simulazioni meteo-dispersive

Simulazioni meteorologiche

Le simulazioni con il modello WRF, sui quattro domini innestati a risoluzione crescente precedentemente descritti, sono state condotte sull'anno 2019 con risoluzione temporale oraria (ora UTC, *Coordinated Universal Time*) e organizzate su base giornaliera per limitare la

dimensione dei files di output, inizializzando ogni giorno con l'ultima cadenza della giornata precedente.

A partire dai risultati sul dominio più interno (d04) prodotti con WRF sono stati estratti, riportandoli in ora solare (CET, *Central European Time*, UTC+1) i dati di velocità e direzione vento, temperatura, umidità dell'aria, copertura nuvolosa e precipitazione per la rigrigliatura con il modulo di interfaccia GAP. I dati così ottenuti sono successivamente stati utilizzati dal modello SurfPRO3 per il calcolo delle variabili descrittive della turbolenza.

A valle delle simulazioni modellistiche, per valutare la bontà della ricostruzione meteorologica sull'area di studio, i dati di velocità e direzione vento ottenuti in corrispondenza delle stazioni appartenenti alla rete meteoidrografica di Arpa Piemonte incluse nel dominio sono stati confrontati con le corrispondenti misure. A titolo di esempio, di seguito è riportato il confronto osservato – simulato suddiviso nei periodi diurno e notturno presso le due stazioni più prossime al termovalorizzatore, Torino – Alenia (Figura 10) e Torino – Via della Consolata (Figura 11), che evidenziano una buona ricostruzione anemologica nell'area in esame.

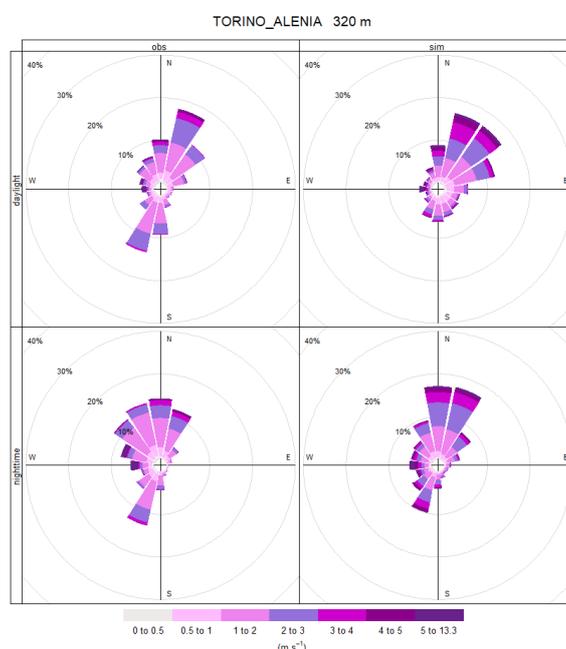


Figura 10: Rose del vento: confronto osservato – simulato (risoluzione 1000m) in corrispondenza della stazione di Torino – Alenia

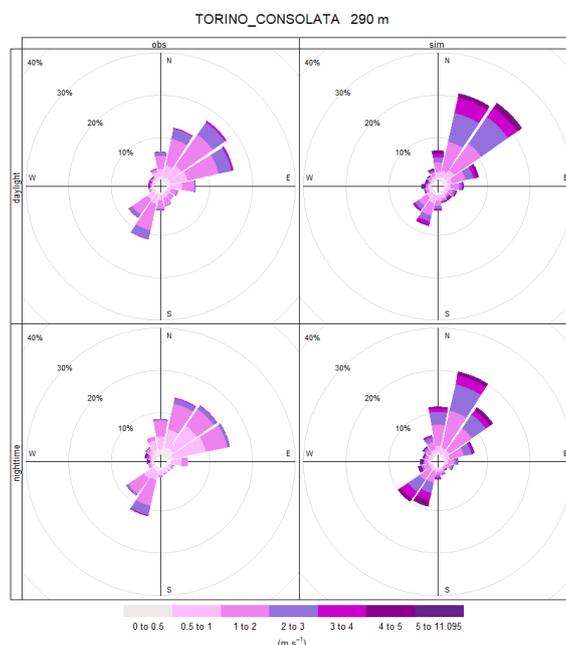


Figura 11: Rose del vento: confronto osservato – simulato (risoluzione 1000 m) in corrispondenza della stazione di Torino – Consolata

L'impianto di termovalorizzazione è inoltre dotato di una stazione meteorologica installata a Torino in Via Gorini i cui dati, tuttavia, non sono utilizzabili per l'anno 2019 a causa di una serie di problemi tecnici. E' stato comunque effettuato un confronto fra i dati simulati dal modello nel 2019 in corrispondenza della stazione di Via Gorini (Figura 12) con i dati registrati dalla stazione negli anni 2016, 2017 (per i quali è disponibile una serie completa di dati) e, fra gli anni più recenti, 2022 (serie non completa, con 22.4% di dati mancanti) (Figura 13): anche in questo caso il confronto conferma, in termini di direzioni prevalenti, una corretta ricostruzione, da parte del modello, dei dati anemologici misurati al suolo.

Il confronto con le rose del vento ricostruite per il 2019 ad una risoluzione di 500 m per la simulazione con il modello SPRAY (Report n° 12) evidenzia, nella simulazione a 1000 m, intensità maggiori del vento; questa differenza è attribuibile al fatto che, nella catena modellistica con il modello lagrangiano a particelle, per la discesa di scala a 500 m è stato inserito il modello diagnostico SWIFT che ha interpolato (imponendo la conservazione della massa) i dati su una griglia a maggiore dettaglio, con conseguente riduzione delle intensità dei venti.

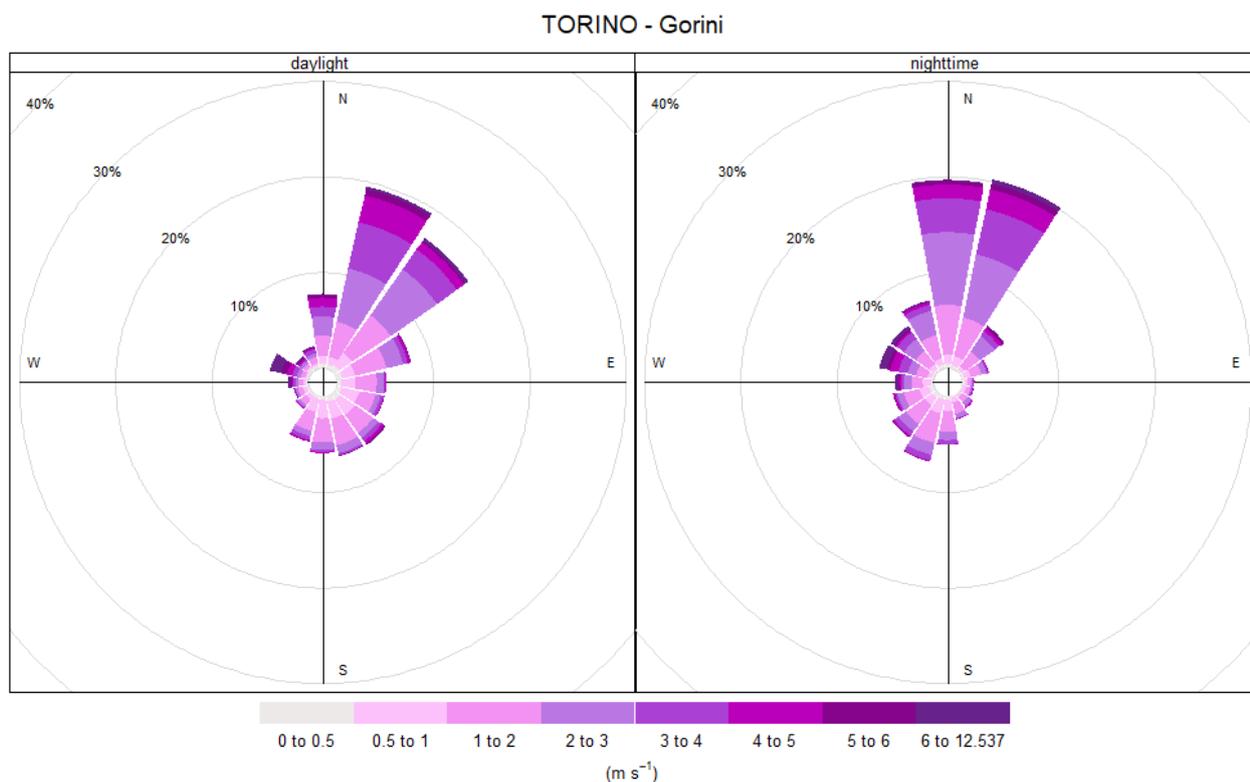


Figura 12: Rose del vento: dati simulati in corrispondenza della stazione di Torino - Gorini di TRM - anno 2019

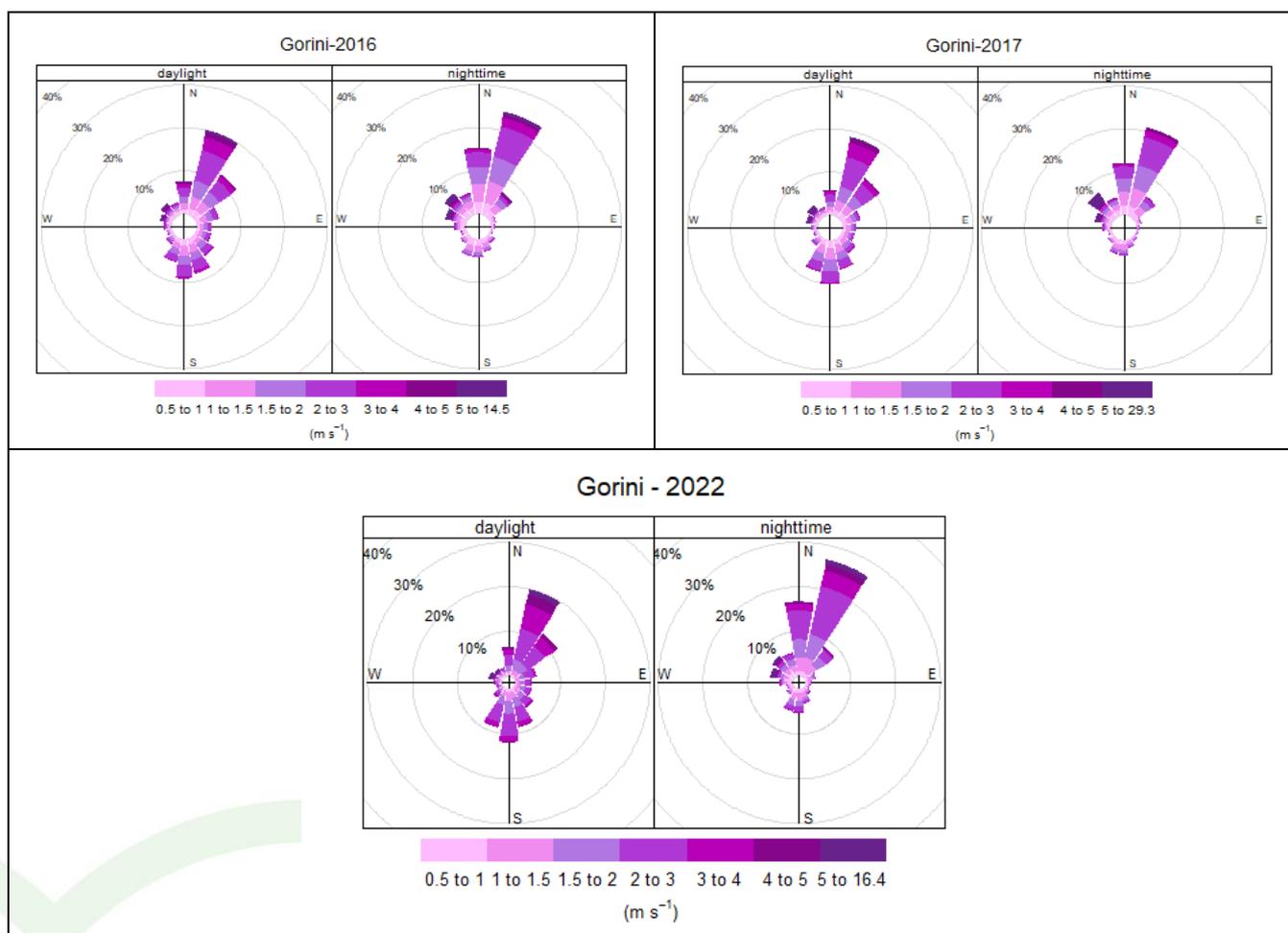


Figura 13: Rose del vento: dati misurati dalla stazione di Torino - Gorini di TRM - anni 2016, 2017 e 2022

Simulazioni dispersive

Il modello FARM permette di calcolare - oltre ai campi di concentrazione tridimensionale orari per tutti gli inquinanti gassosi considerati dal meccanismo chimico SAPRC-99 e per il particolato come calcolato con lo schema per gli aerosol AERO3 - anche le deposizioni atmosferiche (sia secche che umide), che rappresentano un importante meccanismo di rimozione delle sostanze presenti in atmosfera.

Con il modello FARM, sono state condotte due serie di simulazioni annuali:

- SIMULAZIONE 1: rappresenta lo stato di qualità dell'aria nel 2019 ricostruito dal modello considerando tutte le sorgenti presenti nell'area;
- SIMULAZIONE 2: rappresenta l'ipotetico stato di qualità dell'aria nel 2019 ricostruito dal modello nell'ipotesi in cui il termovalorizzatore fosse spento.

La differenza dei campi di concentrazione orari così prodotti (ovvero la SIMULAZIONE 1 sottratta della SIMULAZIONE 2) permette di stimare l'impatto, in termini di inquinanti sia primari sia secondari, del solo termovalorizzatore.

I risultati dei campi di concentrazione associati al solo funzionamento del termovalorizzatore sono stati sottoposti ad opportune procedure di calcolo che - a partire dai valori di concentrazione media oraria al suolo, eventualmente aggregati su intervalli temporali più estesi - permettono la valutazione degli indicatori previsti dalla normativa vigente (D. Lgs. 155/2010, riassunti in Tabella 3) per ogni cella del dominio di calcolo. Sono quindi state create le mappe di concentrazione relative ai diversi indicatori ed estratti i dati simulati, al fine del confronto con le misure, in corrispondenza delle stazioni di monitoraggio della qualità dell'aria.

Le elaborazioni statistiche condotte sui risultati delle simulazioni corrispondono, in generale, agli indicatori previsti dalla normativa vigente per i diversi indicatori; in assenza di riferimenti di legge e, talvolta, a loro integrazione sono stati calcolati:

- medie annuali;
- massimi degli indicatori di breve periodo (medie orarie e giornaliere).

I campi di concentrazione così prodotti tengono conto delle deposizioni sia secche che umide; disponendo di dati a maggior risoluzione spaziale ottenuti con la simulazione modellistica prodotta con il modello SPRAY (Report 12), nel presente studio non sono stati elaborati i risultati riguardanti le deposizioni atmosferiche prodotte con FARM.

Di seguito verranno descritti i risultati delle simulazioni per i singoli inquinanti; le rappresentazioni cartografiche sono riportate nell'Allegato 1 alla relazione. Per permettere un più agevole confronto con i risultati delle simulazioni condotte con SPRAY sullo stesso anno meteorologico, quando possibile le rappresentazioni cartografiche del presente report presentano lo stesso fondo scala di quelle illustrate nel Report 12.

I dati misurati presso i diversi punti di monitoraggio presenti nel dominio di calcolo utilizzati nei confronti con la modellizzazione sono stati estratti da:

- software AriaWeb⁸ di Regione Piemonte, per quanto riguarda le concentrazioni atmosferiche degli inquinanti normati;

⁸ <http://www.regione.piemonte.it/ambiente/aria/rilev/ariaday/ariaweb-new/>

- il “Rapporto di sintesi sui dati prodotti dalla stazione di monitoraggio della qualità dell’aria ubicata nel Comune di Beinasco Giardino Pubblico Aldo Mei, di proprietà di TRM S.p.A. Anno 2019” redatto dal Dipartimento Territoriale Piemonte Nord Ovest di Arpa Piemonte per le concentrazioni dei metalli non normati e le deposizioni atmosferiche.

Si precisa che, nel confronto osservato – simulato presso le stazioni di monitoraggio della qualità dell’aria, i valori massimi degli indicatori sul breve periodo (concentrazioni massime medie orarie, giornaliere, etc.) sono valori assoluti sull’anno di riferimento, pertanto non c’è necessariamente coincidenza temporale fra dato misurato e simulato.

I risultati della SIMULAZIONE 1 sono stati sottoposti ad ulteriori elaborazioni finalizzate a migliorare la descrizione delle concentrazioni degli inquinanti di maggiore interesse (NO₂, PM₁₀, PM_{2.5} e ozono) sul territorio in esame, mediante uno studio sperimentale - affidato alla società di consulenza Arianet – per l’applicazione di un algoritmo *machine learning ML* denominato *Random Forest*⁹ ML-RF.

Per gli inquinanti di maggiore criticità, ovvero il particolato PM₁₀ e PM_{2.5}, il biossido di azoto e l’ozono, i risultati delle simulazioni per la valutazione della qualità dell’aria a scala regionale sono solitamente integrati da Arpa Piemonte con le misure della rete di rilevamento della qualità dell’aria attraverso una procedura di assimilazione geostatistica¹⁰, al fine di permettere di ridurre lo scostamento fra dato simulato ed osservato. L’aspetto innovativo della metodologia ML-RF¹¹ permette non solo di ridurre il bias fra osservato e simulato, ma consente anche la produzione di mappe ad una risoluzione spaziale superiore a quella del modello attraverso due fasi:

- una prima fase finalizzata all’addestramento dell’algoritmo, ovvero alla sua capacità di riprodurre le concentrazioni osservate nei siti di monitoraggio (fase di *training*) sulla base di un insieme di predittori, fra i quali le concentrazioni misurate presso le stazioni di monitoraggio presenti sul territorio;
- una seconda fase, detta di inferenza o generalizzazione, volta a stimare le concentrazioni nelle celle della griglia dove non sono disponibili dati misurati.

Nel caso specifico si è passati dalla risoluzione originaria pari a 1 km ad una risoluzione di 200 m.

I risultati della sperimentazione, illustrati nella relazione riportata nell’Allegato 2, aprono nuove prospettive applicative che permetteranno di ottenere, attraverso l’impiego di un opportuno insieme di predittori, campi di maggiore dettaglio nelle applicazioni di valutazione della qualità dell’aria a patto di disporre di un numero sufficiente di informazioni provenienti dalle stazioni di monitoraggio della qualità dell’aria.

⁹ Breiman, L., 2001. Random Forests. Machine Learning, 45, 5–32.

¹⁰ Si utilizza il kriging a deriva esterna (*kriging with external drift*), con la deriva costituita dal modello di qualità dell’aria e dall’altezza orografica del terreno

¹¹ La metodologia è già stata testata in ambito piemontese sul dominio regionale (dominio 3) per produrre campi di concentrazione ad una risoluzione di 1 km partendo dalla risoluzione del modello pari a 4 km

| | LIMITE | PERIODO DI RIFERIMENTO | INDICATORE STATISTICO | VALORE DI RIFERIMENTO | SUPERAMENTI CONCESSI |
|-----------------------------------|--|---------------------------------------|-----------------------|-----------------------|----------------------|
| BIOSSIDO DI ZOLFO SO ₂ | Valore limite | 1 ora | media | 350 µg/m ³ | 24 volte/anno civile |
| | Valore limite | 1 giorno | media | 125 µg/m ³ | 3 volte/anno civile |
| | Livello critico per la protezione della vegetazione | anno civile | media | 20 µg/m ³ | -- |
| | | inverno (1 ott ÷ 31 mar) | | | |
| Soglia di allarme | 3 ore consecutive | media oraria | 500 µg/m ³ | -- | |
| BIOSSIDO DI AZOTO NO ₂ | Valore limite | 1 ora | media | 200 µg/m ³ | 18 volte/anno civile |
| | Valore limite | anno civile | media | 40 µg/m ³ | -- |
| | Livello critico per la protezione della vegetazione Soglia di allarme | anno civile | media | 30 µg/m ³ | -- |
| | | 3 ore consecutive | media oraria | 400 µg/m ³ | -- |
| BENZENE | Valore limite | anno civile | media | 5 µg/m ³ | -- |
| MONOSSIDO DI CARBONIO CO | Valore limite | media massima giornaliera sulle 8 ore | media | 10 mg/m ³ | -- |
| PARTICOLATO PM ₁₀ | Valore limite | 1 giorno | media | 50 µg/m ³ | 35 volte/anno civile |
| | Valore limite | anno civile | media | 40 µg/m ³ | -- |
| PARTICOLATO PM _{2.5} | Valore limite | anno civile | media | 25 µg/m ³ | -- |

Tabella 3: Valori di riferimento per la qualità dell'aria previsti dal D. Lgs. 155/2010

Risultati

Biossido di zolfo (SO₂)

I risultati della modellizzazione confermano per questo inquinante ricadute molto modeste in tutta l'area di studio.

La mappa delle concentrazioni medie annue di SO₂, illustrata in Figura A1, presenta un massimo di ricaduta con concentrazione pari a 0.007 µg/m³, posizionato nella cella dove si trova il termovalorizzatore; la normativa non prevede, per il biossido di zolfo, un valore limite per questo indicatore ma un livello critico per la protezione della vegetazione pari a 20 µg/m³.

Nella Figura A2 è riportata la distribuzione del 99.17° percentile delle medie giornaliere, per il quale il modello stima una concentrazione massima pari a 0.028 µg/m³ (ovvero il valore che viene al massimo superato per tre volte nell'anno). Il valore limite previsto dal D. Lgs. 152/2010 per le concentrazioni medie giornaliere di SO₂ è pari a 125 µg/m³, da non superarsi per più di tre giorni all'anno.

L'ultimo indicatore previsto per il biossido di zolfo è il valore limite per le concentrazioni medie orarie, pari a 350 µg/m³, da non superarsi per più di 24 volte per anno civile; la mappa di ricaduta per questo indicatore (Figura A3) mostra un contributo del termovalorizzatore con valore massimo di 0.1 µg/m³ (nella cella di calcolo che include l'impianto).

Anche in corrispondenza delle stazioni di monitoraggio della qualità dell'aria presenti nel dominio di calcolo il contributo del termovalorizzatore è poco significativo, come evidenziato nella Tabella 4.

| BIOSSIDO DI ZOLFO | Media annuale (µg/m ³) | | Massimo media giornaliera (µg/m ³) | | 99.17°percentile medie giornaliere (µg/m ³) | | Massimo orario (µg/m ³) | | 99.72°percentile medie orarie (µg/m ³) | |
|---------------------|------------------------------------|-----------|--|-----------|---|-----------|-------------------------------------|-----------|--|-----------|
| | Stazione | osservato | simulato | osservato | simulato | osservato | simulato | osservato | simulato | osservato |
| Torino - Consolata | 7 | 0.0005 | 19 | 0.005 | 18 | 0.004 | 26 | 0.04 | 21 | 0.02 |
| Torino - Rebaudengo | 11 ^(*) | 0.0005 | 19 ^(*) | 0.005 | 19 ^(*) | 0.004 | 21 ^(*) | 0.04 | 20 ^(*) | 0.02 |

(*) Percentuale dati validi inferiore a 90%

Tabella 4: Biossido di zolfo: confronto osservato – simulato presso le stazioni del SRRQA

I risultati, tenendo conto delle differenze fra le due simulazioni¹², sono in linea con quanto ottenuto dalle simulazioni condotte, sempre sull'anno 2019, con il modello SPRAY e descritte nel Report 12.

Biossido di azoto e ossidi di azoto (NO₂ e NO_x)

Di seguito sono riportati i risultati del modello di dispersione relativi al biossido di azoto NO₂ e quelli relativi agli ossidi di azoto NO_x (monossido e biossido) espressi come biossido di azoto.

La distribuzione delle concentrazioni medie annue di biossido di azoto (Figura A4) presenta una concentrazione massima pari a 0.25 µg/m³ localizzata nella cella che include il

¹² Oltre al differente modello di dispersione, le simulazioni presentano differenze anche nella risoluzione della griglia di calcolo: 1000 m per il modello CTM e 250 m per il modello lagrangiano a particelle

termovalorizzatore; il valore limite annuo previsto dalla legislazione vigente è pari a 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

La mappa relativa al 99.79° percentile delle medie orarie è illustrata in Figura A5; la massima concentrazione per questo indicatore, ovvero il valore che viene al più superato per 18 ore l'anno, è di 3.96 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ stimata dal modello in corrispondenza del punto di emissione, a fronte di un valore limite previsto dalla normativa vigente pari a 200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

| BIOSSIDO DI AZOTO | Media annuale ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) | | Massimo orario ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) | | 99.79°percentile medie orarie ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) | |
|--------------------------|--|-----------------|---|-----------------|--|-----------------|
| | Stazione di monitoraggio | <i>misurato</i> | <i>simulato</i> | <i>misurato</i> | <i>simulato</i> | <i>misurato</i> |
| Baldissero | 15 | 0.01 | 100 | 1.0 | 70 | 0.5 |
| Beinasco | 31 | 0.12 | 205 | 4.4 | 122 | 2.3 |
| Borgaro | 25 | 0.02 | 129 | 2.4 | 100 | 1.0 |
| Carmagnola | 34 | 0.01 | 134 | 0.8 | 107 | 0.3 |
| Chieri | 21 | 0.01 | 108 | 1.3 | 92 | 0.3 |
| Collegno | 46 | 0.06 | 189 | 7.5 | 159 | 2.1 |
| Druento | 11 | 0.02 | 90 | 2.3 | 65 | 1.0 |
| Leini | 23 | 0.02 | 118 | 2.3 | 90 | 0.8 |
| Orbassano | 31 | 0.09 | 140 | 5.2 | 114 | 1.8 |
| Settimo Torinese | 36 | 0.01 | 163 | 1.0 | 143 | 0.4 |
| Torino - Consolata | 53 | 0.01 | 195 | 1.8 | 147 | 0.8 |
| Torino - Lingotto | 37 | 0.03 | 136 | 2.9 | 110 | 1.2 |
| Torino - Rebaudengo | 60 (*) | 0.01 | 269 (*) | 1.5 | 195 (*) | 0.6 |
| Torino - Rubino | 33 | 0.03 | 135 | 5.0 | 118 | 1.6 |
| Vinovo | 28 | 0.02 | 140 | 2.2 | 109 | 0.8 |

(*) Percentuale dati inferiore a 90%

Tabella 5: Biossido di azoto: confronto osservato – simulato presso le stazioni del SRRQA

Il contributo dell'impianto in corrispondenza delle stazioni di monitoraggio della qualità dell'aria presenti nel dominio è illustrato in Tabella 5; fra queste, la concentrazione massima oraria è stimata in corrispondenza della stazione di Collegno con un valore di 7.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, mentre il 99,79° percentile più elevato pari a 2.3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ si colloca a Beinasco. Le concentrazioni medie annue sono molto ridotte, con valori più elevati a Beinasco (0.12 $\mu\text{g}/\text{m}^3$).

Per quanto riguarda gli ossidi di azoto, la distribuzione delle concentrazioni medie annue (Figura A6) mostra un massimo pari a 0.39 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ nella cella che include il termovalorizzatore. Il 99.79° percentile delle medie orarie (Figura A7) ha il suo valore massimo pari a 7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ a circa 2 km a nord dell'impianto.

In Tabella 6, ai fini di un confronto con i risultati delle simulazioni condotte con il modello SPRAY, è riportato il contributo dell'impianto stimato in corrispondenza delle stazioni di monitoraggio della qualità dell'aria presenti nel dominio di calcolo. La concentrazione massima oraria, pari a 26.3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, è stimata presso la stazione di Collegno, seguita da

Beinasco con $14.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$; anche il valore massimo del 99.79° percentile è posizionato a Collegno, con $4.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$, seguito da Beinasco con $4 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

| OSSIDI DI AZOTO | Media annuale ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) | Massimo orario ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) | 99.97°percentile medie orarie ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) |
|---------------------------------|--|---|--|
| Stazione di monitoraggio | simulato | simulato | simulato |
| Baldissero | 0.01 | 1.0 | 0.5 |
| Beinasco | 0.19 | 14.1 | 4.0 |
| Borgaro | 0.05 | 5.3 | 2.4 |
| Carmagnola | 0.01 | 1.3 | 0.4 |
| Chieri | 0.01 | 2.2 | 0.6 |
| Collegno | 0.13 | 26.3 | 4.7 |
| Druento | 0.04 | 6.2 | 2.1 |
| Leini | 0.04 | 3.5 | 1.6 |
| Orbassano | 0.17 | 5.9 | 3.2 |
| Settimo Torinese | 0.02 | 2.8 | 1.0 |
| Torino - Consolata | 0.03 | 3.6 | 1.3 |
| Torino - Lingotto | 0.05 | 3.4 | 1.5 |
| Torino - Rebaudengo | 0.03 | 3.6 | 1.4 |
| Torino - Rubino | 0.06 | 10.0 | 2.9 |
| Vinovo | 0.03 | 2.9 | 1.1 |

Tabella 6: Ossidi di azoto: concentrazioni simulate presso le stazioni del SRRQA

I risultati relativi agli ossidi di azoto ottenuti con il modello CTM confermano in termini generali quanto stimato con il modello SPRAY (Report 12): i valori massimi degli indicatori ottenuti con FARM sono inferiori a quelli di SPRAY, anche in considerazione della risoluzione inferiore delle celle di calcolo, mentre a livello di massimi orari (valore che si è verificato per una sola ora durante l'anno di simulazione) si notano, presso alcune stazioni, concentrazioni più elevate di quelle stimate dal modello lagrangiano a particelle.

Benzene (C_6H_6)

Per il benzene la normativa vigente prevede un valore limite pari a $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ come media annua. La mappa di concentrazione media annua (Figura A8) mostra un valore massimo di $0.003 \mu\text{g}/\text{m}^3$ nella cella che include il termovalorizzatore.

In Tabella 7 si osserva il contributo dell'impianto stimato in corrispondenza delle stazioni di monitoraggio della qualità dell'aria presenti nel dominio di calcolo: le concentrazioni massima media annua e massima media oraria sono a Beinasco, con valori rispettivamente di $0.0014 \mu\text{g}/\text{m}^3$ e $0.22 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

| BENZENE | Media annuale ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) | | Massimo orario ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) | |
|---------------------|---|----------|--|----------|
| | osservato | simulato | osservato | simulato |
| Stazione | | | | |
| Beinasco | 1.0 ^(*) | 0.0014 | 12.7 ^(*) | 0.22 |
| Borgaro | 1.0 | 0.0004 | 8.2 | 0.10 |
| Settimo Torinese | 1.1 | 0.0002 | 8.1 | 0.04 |
| Torino - Consolata | 1.2 ^(*) | 0.0002 | 8.3 ^(*) | 0.06 |
| Torino - Lingotto | 0.9 ^(*) | 0.0004 | 6.8 ^(*) | 0.11 |
| Torino - Rebaudengo | 1.8 ^(*) | 0.0002 | 11.0 ^(*) | 0.06 |
| Torino - Rubino | 1.0 | 0.0004 | 6.7 | 0.13 |
| Vinovo | 1.0 | 0.0002 | 7.8 | 0.18 |

(*) Percentuale dati validi inferiore a 90%

Tabella 7: Benzene: confronto osservato - simulato presso le stazioni del SRRQA

Monossido di carbonio (CO)

L'indicatore di legge per il monossido di carbonio è la media massima giornaliera calcolata su 8 ore, con un valore limite pari a $10 \text{ mg}/\text{m}^3$. La mappa delle concentrazioni per questo indicatore attribuite al termovalorizzatore è illustrata in Figura A9 e presenta una concentrazione massima pari a $0.006 \text{ mg}/\text{m}^3$, localizzata a circa 13 km ad ovest dell'impianto. Nonostante i valori più elevati di tale indicatore siano di scarso rilievo ai fini della qualità dell'aria in quanto ampiamente inferiori ai valori imposti dalla normativa vigente (tre ordini di grandezza inferiori al valore limite), si è ritenuto utile approfondire l'episodio.

Il valore massimo della concentrazione media sulle 8 ore è stato calcolato il giorno 18 febbraio 2019, a seguito di un incremento delle concentrazioni orarie stimate dal modello fra le ore 7 e le ore 10 di mattina a circa 13 km ad ovest dell'impianto.

In corrispondenza di tale intervallo orario le emissioni dell'impianto sono risultate essere molto modeste, come illustrato nella Figura 14, dove sono riportate sia le emissioni distinte per linea sia come totale dell'impianto; ne consegue che il massimo di ricaduta stimato non è attribuibile ad un incremento delle emissioni in atmosfera di monossido di carbonio dell'impianto.

Escluse problematiche emissive, per verificare che si sia trattato di un episodio isolato, si sono valutate le frequenze di accadimento dei valori più elevati delle medie sulle 8 ore, andando ad individuare il percentile (a partire dai valori delle medie mobili sulle 8 ore di tutto il 2019) per il quale non si evidenziano più le concentrazioni massime riscontrate nel calcolo del massimo della media sulle 8 ore. Come si può osservare nella Figura 15, già nel 99.8° percentile delle medie sulle 8 ore, ovvero escludendo i 17 valori di medie mobili sulle 8 ore più elevati su 8760, non è più presente l'incremento di concentrazioni a circa 13 km ad ovest dell'impianto; tale elaborazione conferma come le concentrazioni relativamente più elevate si siano effettivamente riscontrate nel solo episodio del 18 febbraio 2019, presumibilmente attribuibili a condizioni meteorologiche specifiche e al complesso insieme di reazioni in atmosfera descritto dal modello.

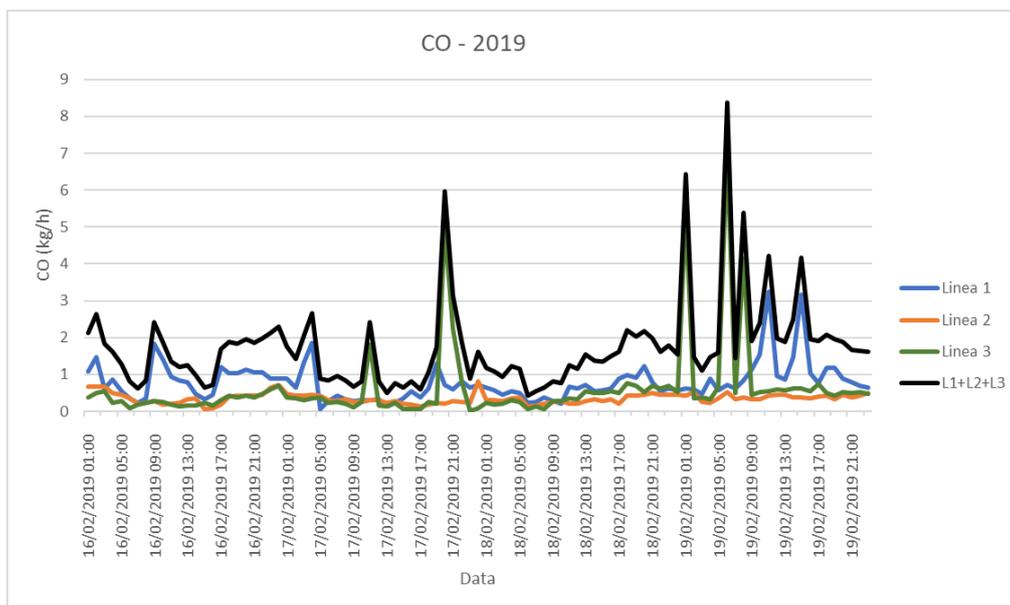


Figura 14: Monossido di carbonio: emissioni delle tre linee dell'impianto TRM dal 16 al 19 febbraio 2019

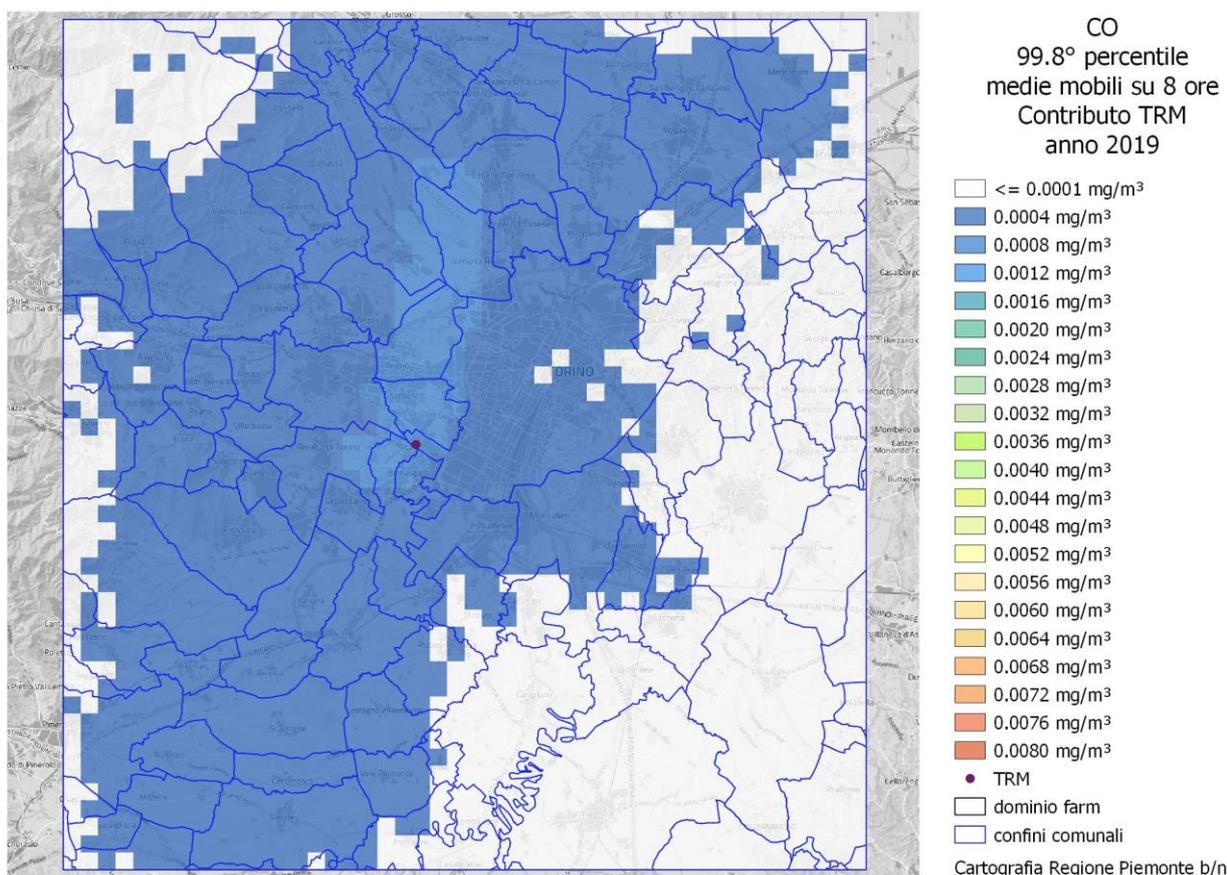


Figura 15: Monossido di carbonio con modello CTM - 99.8° percentile delle medie mobili su 8 ore - 2019

A completamento dell'indagine e al fine di valutare ulteriormente la distribuzione dell'inquinante nel dominio di calcolo, è stata calcolata la media annua¹³ delle concentrazioni orarie di monossido di carbonio, riportata in Figura A10; il valore massimo, pari a 0.00006

¹³ Indicatore non previsto dalla normativa vigente per il monossido di carbonio

mg/m³ stimato nella cella coincidente con il termovalorizzatore, non evidenzia alcun tipo di criticità per questo inquinante.

Il confronto con le concentrazioni misurate presso le stazioni di monitoraggio della qualità dell'aria, riportato in Tabella 8, mostra un contributo del termovalorizzatore di quattro ordini di grandezza inferiore rispetto ai valori osservati, coerentemente a quanto ottenuto con il modello lagrangiano a particelle SPRAY (Report 12).

| MONOSSIDO DI CARBONIO | Massimo media su 8h (mg/m³) | |
|------------------------------|---|------------------|
| | Stazione | osservato |
| Baldissero | 1.2 | 0.0001 |
| Leinì | 2.1 | 0.0005 |
| Torino - Consolata | 2.8 (*) | 0.0001 |
| Torino - Rebaudengo | 2.1 | 0.0002 |

(*) Percentuale dati validi inferiore a 90%

Tabella 8: Monossido di carbonio: confronto osservato – simulato presso le stazioni del SRRQA

Particolato PM10 (primario e secondario)

Il modello CTM FARM, a differenza del modello lagrangiano a particelle SPRAY, tiene conto delle reazioni che avvengono in atmosfera permettendo così di valutare il contributo dell'impianto alle varie componenti (primarie e secondarie) che concorrono alle concentrazioni del particolato atmosferico, permettendo un confronto più esaustivo con i valori limite previsti dal D.Lgs. 155/2010.

Le mappe di ricaduta delle concentrazioni di particolato PM10 associate al funzionamento del termovalorizzatore sono riportate nelle Figure A11 e A12, rispettivamente per la media annua e il 90.4° percentile delle concentrazioni medie giornaliere.

Per la media annua, il valore massimo stimato è pari a 0.0069 µg/m³, nella cella di calcolo che include l'impianto; il valore limite per questo indicatore è pari a 40 µg/m³. Nel caso del 90.4° percentile delle medie giornaliere (il cui valore limite è pari a 50 µg/m³ da non superarsi per più di 35 volte all'anno), le ricadute del modello indicano una concentrazione massima di 0.015 µg/m³, posizionata in direzione sud - ovest a circa 1.3 km dall'impianto.

In Tabella 9 sono riportati i confronti osservato – simulato presso le stazioni di monitoraggio della qualità dell'aria; anche in questo caso, pur tenendo conto delle diverse componenti del particolato PM10, le concentrazioni simulate sono estremamente modeste rispetto ai valori misurati.

Volendo confrontare i risultati del modello FARM con quelli del modello SPRAY¹⁴ (Report 12) sull'anno 2019, sono state elaborate le concentrazioni risultanti dal modello CTM per la sola componente primaria. Nelle Figure A13 e A14 sono illustrate, rispettivamente, le concentrazioni media annua e il 90.4° percentile delle concentrazioni medie giornaliere per la sola componente primaria del PM10; per la realizzazione di queste mappe la scala colori

¹⁴ Il modello SPRAY, non considerando le reazioni chimiche in atmosfera ma solo la dispersione ed il trasporto degli inquinanti, descrive unicamente la componente primaria del particolato atmosferico

utilizzata coincide con quella del modello SPRAY, al fine di facilitare il confronto dei risultati ottenuti con i due modelli. La concentrazione massima media annua stimata per la componente primaria del PM10 è pari a $0.0013 \mu\text{g}/\text{m}^3$, mentre il 90.41° percentile delle concentrazioni medie giornaliere ha un massimo di $0.003 \mu\text{g}/\text{m}^3$; tali valori confermano i risultati del modello SPRAY per componente primaria di questa frazione del particolato atmosferico.

Per completezza, in Tabella 10 sono riportate le concentrazioni per i diversi indicatori, estratte presso le stazioni di monitoraggio della qualità dell'aria, relativamente alla componente primaria del particolato PM10, al fine del confronto con i risultati del modello SPRAY (Report 12).

| PM10 | Media annuale ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) | | Massimo giornaliero ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) | | 90.4° percentile medie giornaliere ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) | |
|----------------------------|--|-----------------|--|-----------------|---|-----------------|
| | osservato | simulato | osservato | simulato | osservato | simulato |
| Baldissero | 18 ^(*) | 0.001 | 57 ^(*) | 0.03 | 30 ^(*) | 0.003 |
| Beinasco | 27 | 0.003 | 93 | 0.05 | 55 | 0.009 |
| Borgaro | 26 ^(*) | <0.001 | 86 ^(*) | 0.10 | 50 ^(*) | 0.003 |
| Carmagnola | 35 | 0.001 | 104 | 0.04 | 65 | 0.003 |
| Chieri | 30 ^(**) | 0.001 | 72 ^(**) | 0.03 | 58 ^(**) | 0.003 |
| Collegno | 30 | 0.002 | 105 | 0.07 | 60 | 0.007 |
| Druento | 19 | 0.002 | 93 | 0.11 | 36 | 0.005 |
| Leini | 26 | 0.001 | 90 | 0.10 | 54 | 0.003 |
| Settimo Torinese | 34 | <0.001 | 117 | 0.03 | 74 | 0.002 |
| Torino - Consolata | 28 | 0.001 | 100 | 0.04 | 59 | 0.003 |
| Torino - Grassi | 38 | <0.001 | 127 | 0.05 | 73 | 0.004 |
| Torino - Lingotto | 27 | 0.001 | 91 | 0.04 | 57 | 0.004 |
| Torino - Rebaudengo | 34 | <0.001 | 115 | 0.04 | 68 | 0.003 |
| Torino - Rubino | 28 | 0.001 | 96 | 0.04 | 57 | 0.005 |

(*) Percentuale dati validi inferiore a 90%

(**) Percentuale dati validi pari a 15%

Tabella 9: Particolato PM10: confronto osservato – simulato presso le stazioni del SRRQA

| PM10 (primario) | Media annuale ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) | | Massimo giornaliero ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) | | 90.4° percentile medie giornaliere ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) | |
|---------------------|--|-----------|--|-----------|---|-----------|
| | Stazione | osservato | simulato | osservato | simulato | osservato |
| Baldissero | 18 ^(*) | < 0.0001 | 57 ^(*) | 0.001 | 30 ^(*) | 0.0001 |
| Beinasco | 27 | 0.0006 | 93 | 0.005 | 55 | 0.0014 |
| Borgaro | 26 ^(*) | 0.0002 | 86 ^(*) | 0.009 | 50 ^(*) | 0.0004 |
| Carmagnola | 35 | < 0.0001 | 104 | 0.003 | 65 | 0.0002 |
| Chieri | 30 ^(**) | < 0.0001 | 72 ^(**) | 0.001 | 58 ^(**) | 0.0001 |
| Collegno | 30 | 0.0004 | 105 | 0.003 | 60 | 0.0010 |
| Druento | 19 | 0.0001 | 93 | 0.003 | 36 | 0.0004 |
| Leini | 26 | 0.0001 | 90 | 0.011 | 54 | 0.0003 |
| Settimo Torinese | 34 | 0.0001 | 117 | 0.003 | 74 | 0.0003 |
| Torino - Consolata | 28 | 0.0001 | 100 | 0.002 | 59 | 0.0003 |
| Torino - Grassi | 38 | 0.0002 | 127 | 0.008 | 73 | 0.0005 |
| Torino - Lingotto | 27 | 0.0001 | 91 | 0.002 | 57 | 0.0005 |
| Torino - Rebaudengo | 34 | 0.0001 | 115 | 0.007 | 68 | 0.0003 |
| Torino - Rubino | 28 | 0.0002 | 96 | 0.007 | 57 | 0.0006 |

(*) Percentuale dati validi inferiore a 90%

(**) Percentuale dati validi pari a 15%

Tabella 10: Particolato PM10: confronto osservato – simulato (componente primaria) presso le stazioni del SRRQA

Come si può osservare, la componente primaria del PM10 attribuita all'impianto ha, in generale, concentrazioni di circa un ordine di grandezza inferiore a quelle stimate dal modello CTM per il particolato PM10 totale (primario + secondario).

Particolato PM2.5 (primario e secondario)

Anche nel caso del particolato PM2.5 valgono le considerazioni fatte precedentemente, relativamente alla capacità del modello CTM FARM di stimare le concentrazioni delle diverse componenti (primaria e secondaria) del particolato.

La mappa di ricaduta delle concentrazioni medie annue di particolato PM2.5 è riportata in Figura A15 ed evidenzia un valore massimo di $0.0065 \mu\text{g}/\text{m}^3$ nella cella che include l'impianto. Per questo indicatore la normativa prevede un valore pari a $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Nella Tabella 11 è riportato il confronto fra misurato e simulato in corrispondenza delle stazioni del SRRQA; anche in questo caso il contributo dell'impianto alle concentrazioni di PM2.5 misurato è estremamente limitato, con un valore massimo per la media annua pari a $0.003 \mu\text{g}/\text{m}^3$ presso la stazione di Beinasco.

In Figura A16, analogamente al caso del PM10, è riportata la distribuzione delle concentrazioni medie annue del particolato PM2.5 primario, per un confronto più agevole con i risultati ottenuti con il modello SPRAY. La concentrazione massima media annua è pari a $0.0009 \mu\text{g}/\text{m}^3$, posizionata in prossimità del camino del termovalorizzatore, dato coerente con quanto risulta dalla simulazione con il modello lagrangiano a particelle.

Il confronto fra le concentrazioni di PM2.5 primario stimate con FARM e i dati misurati presso le stazioni di monitoraggio della qualità dell'aria presenti nel dominio di calcolo è riportato in Tabella 12; i dati confermano i risultati ottenuti con il modello SPRAY (Report 12).

| <i>PM2.5</i> | <i>Media annuale ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)</i> | |
|---------------------|--|-----------------|
| | <i>osservato</i> | <i>simulato</i> |
| <i>Stazione</i> | | |
| Beinasco | 20 | 0.0030 |
| Borgaro | 19 | 0.0004 |
| Chieri | 20 | 0.0006 |
| Leinì | 20 ^(*) | 0.0005 |
| Settimo Torinese | 22 | < 0.0001 |
| Torino - Lingotto | 19 | 0.0011 |
| Torino - Rebaudengo | 25 ^(*) | 0.0003 |
| Torino - Rubino | 20 | 0.0009 |

(*) Percentuale dati validi inferiore a 90%

Tabella 11: Particolato PM2.5: confronto osservato – simulato presso le stazioni del SRRQA

| <i>PM2.5 (primario)</i> | <i>Media annuale ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)</i> | |
|-------------------------|--|-----------------|
| | <i>osservato</i> | <i>simulato</i> |
| <i>Stazione</i> | | |
| Beinasco | 20 | 0.00043 |
| Borgaro | 19 | 0.00013 |
| Chieri | 20 | < 0.0001 |
| Leinì | 20 ^(*) | 0.00011 |
| Settimo Torinese | 22 | 0.00005 |
| Torino - Lingotto | 19 | 0.00011 |
| Torino - Rebaudengo | 25 ^(*) | 0.00010 |
| Torino - Rubino | 20 | 0.00014 |

(*) Percentuale dati validi inferiore a 90%

Tabella 12: Particolato PM2.5: confronto osservato – simulato (componente primaria) presso le stazioni del SRRQA

Ammoniaca (NH₃)

La normativa sulla qualità dell'aria non prevede un valore limite per questo inquinante.

La distribuzione delle concentrazioni medie annue è illustrata in Figura A17; la massima concentrazione media annua stimata dal modello è pari a 0.008 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, in corrispondenza dell'impianto.

L'unica stazione di monitoraggio della qualità dell'aria interna al dominio di calcolo presso la quale si misura l'ammoniaca è quella di Torino – Lingotto; il contributo dell'impianto rispetto ai dati misurati è illustrato in Tabella 12.

Anche per l'ammoniaca, i risultati ottenuti con il modello CTM FARM confermano, a meno di differenze legate alla diversa risoluzione della griglia di calcolo, quanto evidenziato nella simulazione con SPRAY (Report 12).

| AMMONIACA | <i>Media annuale ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)</i> | | <i>Massimo orario ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)</i> | |
|--------------------------|--|-----------------|---|-----------------|
| | <i>osservato</i> | <i>simulato</i> | <i>osservato</i> | <i>simulato</i> |
| Stazione | | | | |
| Torino - Lingotto | 15 | 0.001 | 81 | 0.072 |

Tabella 13: Ammoniaca: confronto osservato – simulato presso le stazioni del SRRQA

La concentrazione massima media annua stimata da SPRAY è pari a $0.0004 \mu\text{g}/\text{m}^3$, in direzione nord, mentre la massima media oraria è di $0.17 \mu\text{g}/\text{m}^3$ in direzione nord – nord est entrambe a poche centinaia di metri dall'impianto.

Ozono (O_3)

L'ozono è un inquinante di tipo secondario che, negli strati di atmosfera più prossimi alla superficie terrestre (troposfera), si può formare a seguito di reazioni che coinvolgono precursori quali gli ossidi di azoto (di origine antropica) e i composti organici volatili (sia di origine antropica che naturale), favorite dalla presenza di intensa radiazione solare e temperature elevate.

L'ozono non è una sostanza emessa in atmosfera dal termovalorizzatore; al contrario, il contributo delle emissioni in atmosfera dell'impianto, in particolare degli ossidi di azoto che entrano nel ciclo di reazioni di produzione/distruzione dell'ozono atmosferico, portano – rispetto ad uno scenario nel quale non vi fossero emissioni da parte di TRM - ad una lieve riduzione delle concentrazioni di ozono. Tale effetto è descritto nella mappa di Figura A18 che illustra l'effetto delle emissioni dell'impianto sulle concentrazioni medie annue di ozono, con una riduzione massima di $-0.21 \mu\text{g}/\text{m}^3$ nei pressi della sorgente.

Conclusioni

Nell'ambito del programma SPoTT-2 (proseguimento di SPoTT, Sorveglianza sulla salute della Popolazione nei pressi del Termovalorizzatore di Torino) sono state condotte una serie di simulazioni modellistiche meteorodisperse finalizzate a valutare il contributo alle concentrazioni e deposizioni atmosferiche prodotte dall'impianto di termovalorizzazione TRM nell'anno 2019.

Il sistema modellistico impiegato è basato sul modello di previsione meteorologica a mesoscala WRF e permette l'utilizzo di due differenti codici per la stima delle concentrazioni in atmosfera originate da sorgenti puntuali: il modello di dispersione lagrangiano a particelle SPRAY, i cui risultati sono stati oggetto del Report 12, e il modello di chimica e trasporto CTM FARM che, tenendo conto delle reazioni chimiche che avvengono in atmosfera, permette di ricostruire l'impatto prodotto dalle emissioni dell'impianto, sia per gli inquinanti primari che per quelli secondari.

Le emissioni dell'impianto sono state descritte con l'uso dei dati acquisiti dal Sistema di Monitoraggio in continuo delle Emissioni, in modo da rappresentare nel modo più fedele possibile l'andamento orario delle emissioni dell'impianto. Non sono state modellizzate le

emissioni di metalli e microinquinanti in quanto queste sostanze sarebbero state trattate dal modello come inerti, non rientrando nel meccanismo chimico utilizzato da FARM; conseguentemente i risultati ottenibili non avrebbero fornito indicazioni aggiuntive rispetto a quanto illustrato nel Report 12.

I risultati della modellizzazione con il modello CTM FARM, dopo le necessarie elaborazioni, hanno permesso la realizzazione di mappe di dispersione sull'area di studio e il confronto con gli indicatori previsti dalla legislazione vigente sulla qualità dell'aria (D. Lgs. 155/2010), nonché con le concentrazioni misurate presso i punti di campionamento (stazioni fisse) presenti all'interno del dominio di calcolo.

Per tutti gli inquinanti i risultati delle simulazioni modellistiche mostrano un contributo del termovalorizzatore alle concentrazioni misurate decisamente modesto, spesso inferiore di uno o più ordini di grandezza rispetto ai valori misurati; per gli inquinanti considerabili inerti, i risultati di FARM confermano, a meno di lievi differenze attribuibili alla diversa risoluzione della griglia di calcolo, quanto descritto nel Report 12.

Per quanto riguarda gli inquinanti con una significativa componente secondaria, i valori degli indicatori per il PM10 e il PM2.5 risultano, come atteso, superiori a quelli determinati con il modello lagrangiano a particelle SPRAY (che descrive unicamente la componente primaria dell'inquinata); si conferma comunque un contributo del termovalorizzatore estremamente limitato anche per queste sostanze.