



Sorveglianza sulla salute della  
Popolazione nei pressi del  
Termovalorizzatore di  
Torino



Programma SPoTT  
Report n° 19

**STUDIO MODELLISTICO DI DISPERSIONE DEGLI INQUINANTI  
IMMESSI IN ATMOSFERA DAL TERMOVALORIZZATORE DI TORINO  
ANNI 2016 E 2022**

Maggio 2024

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

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

Firmato digitalmente da: Manuela Bernardi  
Limite d'uso: Explicit Text. Questo certificato rispetta le raccomandazioni previste dalla Determinazione Agid N. 121/2019  
Data: 02/08/2024 07:48:03

Gli autori ringraziano i colleghi del Dipartimento Territoriale di Torino – Piemonte Nord Ovest (Servizio Territoriale di Tutela e Vigilanza 1 e Laboratorio Specialistico Strumentale) per la fornitura dei dati necessari alla caratterizzazione delle emissioni dell'impianto, i chiarimenti per il loro corretto utilizzo e la loro interpretazione.

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](mailto:coordinamento.spott@arpa.piemonte.it).



# Indice

<i>Sintesi del diciannovesimo rapporto di studio</i> .....	4
<i>Introduzione</i> .....	6
<i>Metodologia</i> .....	7
<i>Descrizione del sistema modellistico</i> .....	8
<i>Domini di simulazione</i> .....	10
<i>Dati di ingresso al sistema modellistico</i> .....	12
Dati di input geografico .....	12
Dati di input meteorologico .....	13
Dati di input emissivo .....	13
<i>Dati da controlli in continuo</i> .....	13
<i>Dati da controlli non in continuo</i> .....	16
<i>Simulazioni meteodispersive</i> .....	19
Simulazioni meteorologiche .....	19
Simulazioni dispersive .....	21
<i>Considerazioni sulla meteorologia degli anni di simulazione</i> .....	26
<b><i>Risultati 29</i></b>	
Biossido di zolfo (SO <sub>2</sub> ) .....	29
Ossidi di azoto (NO <sub>x</sub> ).....	31
Carbonio organico totale (COT) .....	35
Monossido di carbonio (CO).....	37
Particolato PM10 (primario) in aria e nelle deposizioni .....	37
Particolato PM2.5 (primario) in aria e nelle deposizioni .....	42
Ammoniaca (NH <sub>3</sub> ) .....	43
Acido cloridrico (HCl).....	47
Acido fluoridrico (HF).....	47
Mercurio (Hg) in aria e nelle deposizioni .....	48
Cadmio e Tallio (Cd, Tl) in aria e nelle deposizioni.....	54
Metalli (arsenico As, cobalto Co, cromo Cr, nichel Ni, piombo Pb, antimonio Sb, rame Cu, vanadio V, manganese Mn, stagno Sn) in aria e nelle deposizioni.....	56
Zinco (Zn) in aria e nelle deposizioni .....	60
Idrocarburi policiclici aromatici (IPA) in aria e nelle deposizioni .....	61
Policlorodibenzodiossine/policlorodibenzofurani (PCDD/DF) in aria e nelle deposizioni.....	65
Policlorobifenili (PCB) in aria e nelle deposizioni .....	66
<b><i>Conclusioni</i></b> .....	68

## Sintesi del diciannovesimo rapporto di studio

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

Il rapporto descrive le attività di modellistica meteodispersiva condotte, sul 2016 e sul 2022, con un sistema modellistico basato su un modello di dispersione lagrangiano a particelle: il modello è in grado di descrivere, ad elevato dettaglio spaziale e temporale, il trasporto, la dispersione, le deposizioni totali di sostanze chimicamente inerti rilasciate in condizioni meteorologicamente complesse. Il presente lavoro completa le valutazioni prodotte, con la stessa catena modellistica, sull'anno 2019 e contenute nel Report 12, i cui risultati vengono riassunti anche nel presente rapporto.

Al fine di una corretta stima delle ricadute associate al funzionamento dell'impianto, riveste fondamentale importanza - oltre alla ricostruzione meteorologica nell'area di studio - la descrizione delle emissioni. L'utilizzo in ingresso al modello dispersivo dei dati orari registrati dal Sistema di Monitoraggio in continuo delle Emissioni del termovalorizzatore (per ossidi di azoto, biossido di zolfo, monossido di carbonio, carbonio organico totale, particolato PM10 e PM2.5 primario, ammoniaca, acido fluoridrico, acido cloridrico e mercurio) e dei risultati delle analisi periodiche condotte fra il 2013 e il 2020 (per gli inquinanti non monitorati in continuo come metalli e microinquinanti) ha permesso una rappresentazione dettagliata delle emissioni prodotte dall'impianto.

Con i risultati della modellizzazione sono state prodotte mappe di concentrazione e deposizione 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.

Nonostante le differenze emissive e meteorologiche che hanno caratterizzato gli anni analizzati, il confronto dei dati modellizzati con quelli misurati conferma - come già visto in relazione al 2019 - per tutti gli inquinanti, sia a livello di concentrazioni in atmosfera sia di deposizioni, un contributo del termovalorizzatore decisamente modesto, spesso inferiore di uno o più ordini di grandezza rispetto ai valori misurati.

Per tutti gli anni simulati, l'unico inquinante per il quale la simulazione restituisce concentrazioni medie annue per le deposizioni totali inferiori alle misure ottenute presso la stazione di Beinasco, ma dello stesso ordine di grandezza, è il mercurio. Per tale inquinante sono stati analizzati con maggiore dettaglio i risultati relativi al 2016, anno durante il quale si sono verificati alcuni episodi emissivi significativi.



## GLOSSARIO

AIA: Autorizzazione Integrata Ambientale

B(a)P: Benzo(a)Pirene

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

IPA: Idrocarburi Policiclici Aromatici

LOQ: limite di quantificazione

NCAR: National Center for Atmospheric Research

PBL: Planetary Boundary Layer

PCB: Policlorobifenili

PCB-DL: Policlorobifenili diossina simili

PCDD/DF: Policlorodibenzodiossine/Policlorodibenzofurani

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 permette 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 meteodisperse condotte sugli anni 2016 e 2022 con il modello di dispersione lagrangiano a particelle Spray; al fine del confronto fra gli anni di simulazione, si riportano anche i risultati ottenuti sul 2019 e già illustrati nel Report 12.

## 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 stata utilizzata una catena modellistica di tipo tridimensionale, in grado di descrivere il trasporto e la dispersione di sostanze chimicamente inerti rilasciate in condizioni meteorologiche anche complesse (calme di vento, flussi su topografia complessa), in domini caratterizzati da disomogeneità spaziali e temporali delle variabili meteo-diffusive.

L'elemento centrale del sistema è rappresentato dal codice di dispersione lagrangiano a particelle, che può simulare il trasporto, la dispersione e la deposizione sia secca che umida di sostanze chimicamente inerti rilasciate in condizioni meteorologicamente complesse (calme di vento, flussi su orografia complessa) spesso caratterizzate da disomogeneità spaziali e temporali delle variabili meteo-diffusive. In un modello di questo tipo la dispersione dell'inquinante in atmosfera è descritta attraverso l'emissione di un certo numero di particelle virtuali, ognuna delle quali rappresenta una porzione di massa dell'inquinante; tali particelle seguono il moto turbolento delle particelle di aria nelle quali sono immerse, in modo che la loro distribuzione spaziale ad un certo istante permetta la determinazione della concentrazione della specie emessa.

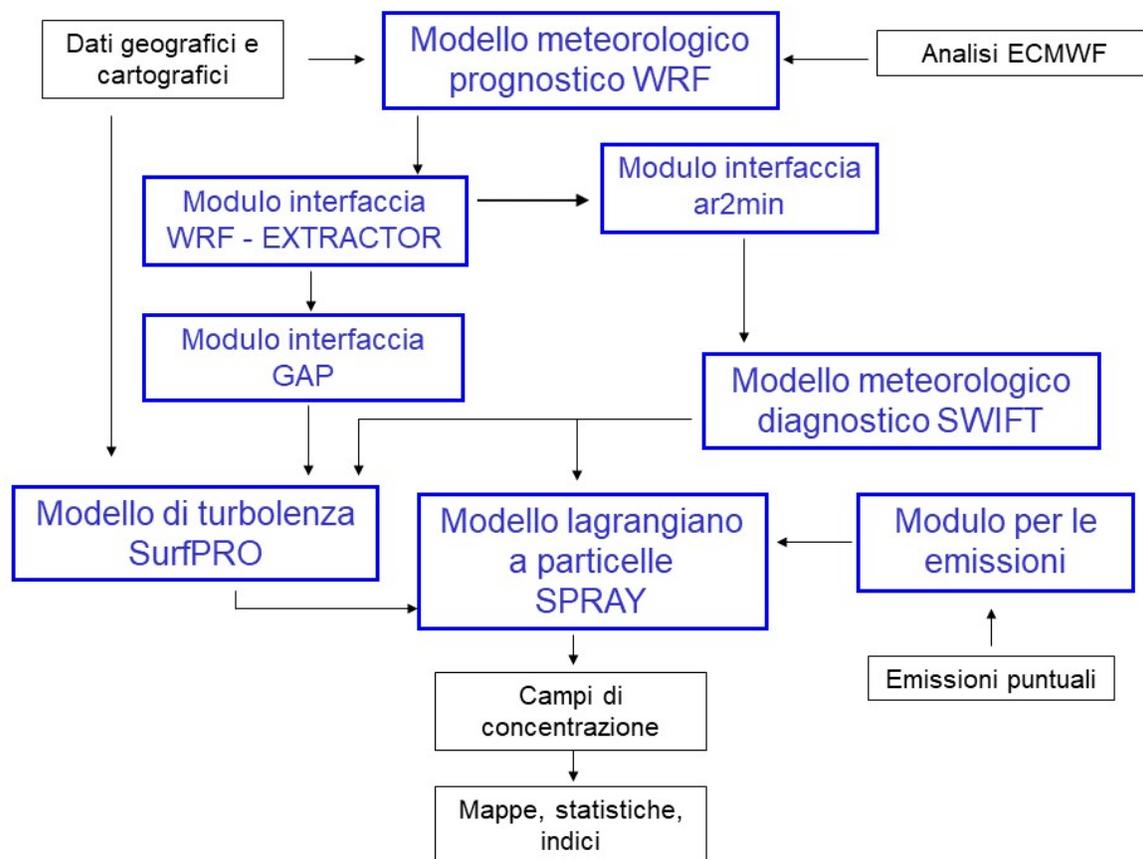
La meteorologia ed in particolare la micrometeorologia che caratterizzano gli strati inferiori dell'atmosfera e il *Planetary Boundary Layer* (PBL) ricoprono un ruolo fondamentale nei processi di trasporto e dispersione degli inquinanti, conseguentemente richiedono di essere riprodotti con grande attenzione. 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). In un successivo passaggio è stata quindi realizzata una ulteriore discesa di scala, attraverso l'applicazione di un modello mass-consistent e di un pre-processore per la turbolenza, che hanno permesso di ottenere, ad elevata risoluzione e su ogni cella del dominio di simulazione, le informazioni sulle grandezze meteorologiche (velocità e direzione vento, temperatura, umidità, radiazione solare, precipitazioni).

Parallelamente è stata condotta sul dominio dispersivo la modellizzazione delle emissioni del 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) e, per i parametri non monitorati in continuo (microinquinanti e metalli), i risultati delle analisi periodiche che vengono effettuate sulle tre linee sia da TRM sia da Arpa Piemonte.

I dati meteorologici ed emissivi rappresentano i dati di ingresso necessari alla realizzazione delle simulazioni di dispersione e trasporto degli inquinanti sul territorio di studio, condotte con il modello lagrangiano a particelle. Le simulazioni sono state condotte sugli anni 2016 (individuato a seguito della presenza di alcuni episodi con emissioni di mercurio significative da parte dell'impianto) e 2022 (identificato come anno più recente). Il dettaglio temporale delle simulazioni è orario e la risoluzione del dominio target è tale da tenere in conto la complessità orografica del territorio.

## Descrizione del sistema modellistico

Le simulazioni di dispersione sono state condotte con la catena modellistica tridimensionale implementata presso Arpa Piemonte, schematizzata in Figura 1, nella versione basata sul modello di dispersione e trasporto SPRAY<sup>1</sup> (Arianet s.r.l.). Tale catena è conforme alle indicazioni delle “Linee Guida per la selezione ed applicazione dei modelli di dispersione atmosferica per la valutazione della qualità dell'aria”<sup>2</sup>, che prevede l'utilizzo di sistemi modellistici di tipo tridimensionale per trattare situazioni territoriali ad orografia e anemologia complesse.



**Figura 1:** Diagramma di flusso della catena modellistica utilizzata

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 compongono, oltre al modello dispersivo 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;

<sup>1</sup> Tinarelli G., SPRAY 3.1 – General Description and User's guide – Code versions 3.1.15 and 3.2.0 – Arianet R2013.27 – January 2021

<sup>2</sup> Agenzia Nazionale per la Protezione dell'Ambiente ANPA, RTI CTN\_ACE 4/2001

- un modulo delle emissioni che, a partire dai dati orari acquisiti dallo SME o dai dati derivanti dai monitoraggi a camino, ricostruisce i campi orari dei ratei di emissione per tutte le specie trattate dal modello dispersione.

Nel dettaglio la catena modellistica è costituita dai seguenti codici:

- **WRF<sup>3</sup>** (versione 4.2.2, *Weather Research and Forecasting Model*, NCAR – *National Center for Atmospheric Research*, UCAR – *Mesoscale & Microscale Meteorology Laboratory*) modello open-source di previsione meteorologica a mesoscala fluidodinamico totalmente comprimibile e non-idrostatico che può lavorare su una vasta gamma di applicazioni a diversa scala, dalla scala sinottica (su uno spazio di migliaia di chilometri) fino alla scala locale (su uno spazio di pochi chilometri o poche centinaia di metri). 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. WRF è un modello efficiente per il calcolo parallelo, e può quindi essere utilizzato ed installato su sistemi di calcolo ad alte prestazioni (sistemi HPC, *High Parallel Computing*). 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** (Arianet S.r.l.) è un modulo software di interfaccia che consente di effettuare il post-processing dei files in uscita di WRF in un formato compatibile con il sistema modellistico in uso presso Arpa.
- **ar2min** (Arianet S.r.l.) è un codice che consente l’estrazione delle informazioni orarie di velocità, direzione vento e temperatura prodotti da WRF necessarie per la successiva discesa di scala con il modello meteorologico diagnostico.
- **GAP** (Arianet S.r.l.) modulo di interfaccia per l’estrazione e la rigrigliatura dei dati di radiazione e copertura nuvolosa prodotti da WRF.
- **SWIFT<sup>4</sup>** (versione 4.0, Aria Technologies), modello meteorologico *mass-consistent* di tipo diagnostico, basato sulla conservazione della massa e sulla minimizzazione della divergenza, utilizzato nella ricostruzione dei campi di vento, temperatura e umidità tridimensionali su base oraria in condizioni di orografia complessa a partire dai dati prodotti dal modello WRF.
- **SurfPRO3<sup>5</sup>** (versione 3.3.1, Arianet S.r.l.), pre-processore meteorologico diagnostico, basato su metodi di bilancio energetico superficiale e sulla teoria della similarità di Monin-Obukhov, in grado di ricostruire campi bidimensionali e tridimensionali di parametri geofisici, flussi superficiali, parametri di scala del PBL, diffusività turbolente orizzontali e verticali, velocità di deposizione secca e umida per le diverse specie chimiche. Gli input gestiti dal modello sono rappresentati dai campi meteorologici elaborati da SWIFT, dai dati osservati di precipitazione, dai campi di analisi di

<sup>3</sup> <https://www.mmm.ucar.edu/weather-research-and-forecasting-model>

<sup>4</sup> Swift diagnostic wind field model – User’s manual – Report ARIA/2008.02 - Aria Technologies

<sup>5</sup> SurfPRO3 User’s guide (SURFace-atmosphere interface PROcessor, Version 3) - Arianet

copertura nuvolosa o da dati osservati di radiazione solare e da un dataset di uso del suolo nel dominio di calcolo.

- **INEMOS** (Arianet S.r.l.) modulo emissivo utilizzato per produrre i file di input al modello SPRAY a partire dai dati registrati dallo SME.
- **TIM2PAR** (Arianet S.r.l.) modulo emissivo necessario per il calcolo delle particelle in input al modello SPRAY.
- **SPRAY** (versione 3.1.15, Arianet S.r.l.), modello di dispersione tridimensionale lagrangiano a particelle, in grado di riprodurre il trasporto, la dispersione, la deposizione secca e umida e il decadimento radioattivo di sostanze chimicamente inerti rilasciate in condizioni meteorologicamente complesse (es. flussi su orografia complessa, calme di vento). Il modello può simulare emissioni da sorgenti puntuali, areali o lineari, continue o discontinue; la dispersione in atmosfera è descritta attraverso l'emissione di particelle "virtuali", ognuna delle quali rappresenta una determinata massa di inquinante, che seguono i moti turbolenti dell'atmosfera nella quale sono introdotte. SPRAY è in grado di calcolare concentrazioni degli inquinanti su un grigliato tridimensionale, differenziando il calcolo per "specie chimica" o per "sorgente". La velocità delle particelle è caratterizzata principalmente da due componenti: una componente di "trasporto" definita dalla velocità del vento media ed una stocastica, che simula la dispersione e riproduce la turbolenza atmosferica.

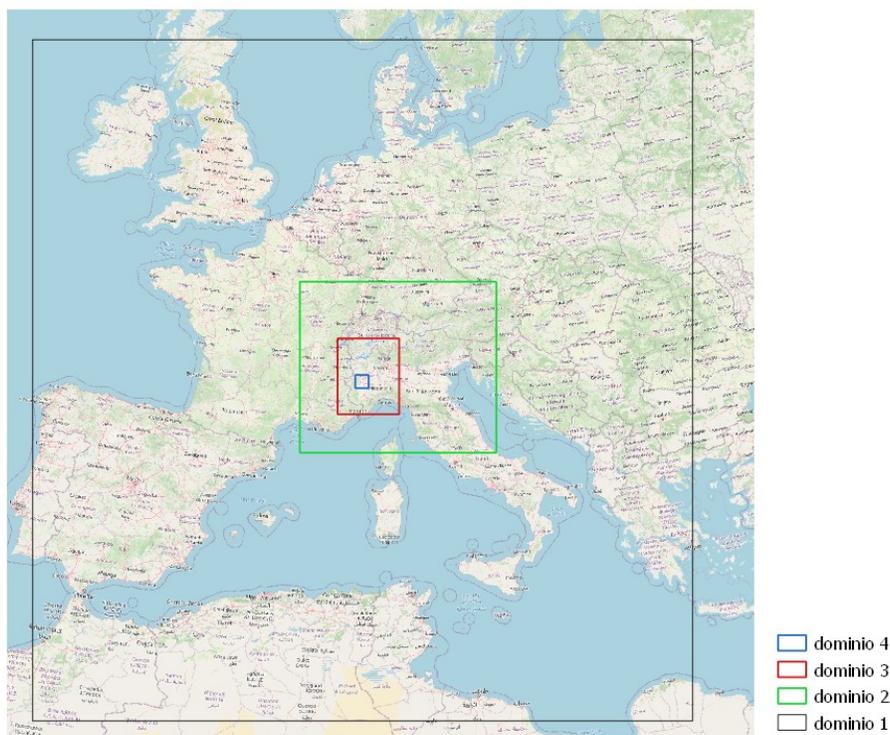
## Domini di simulazione

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, centrato approssimativamente sul camino del termovalorizzatore: su quest'area è stata realizzata la discesa di scala meteorologica alla risoluzione di 500 metri con i modelli diagnostici SWIFT e SurfPRO e, successivamente, la modellizzazione dispersiva con SPRAY ad una risoluzione di 250 metri.

Il dominio 5, illustrato in dettaglio 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.





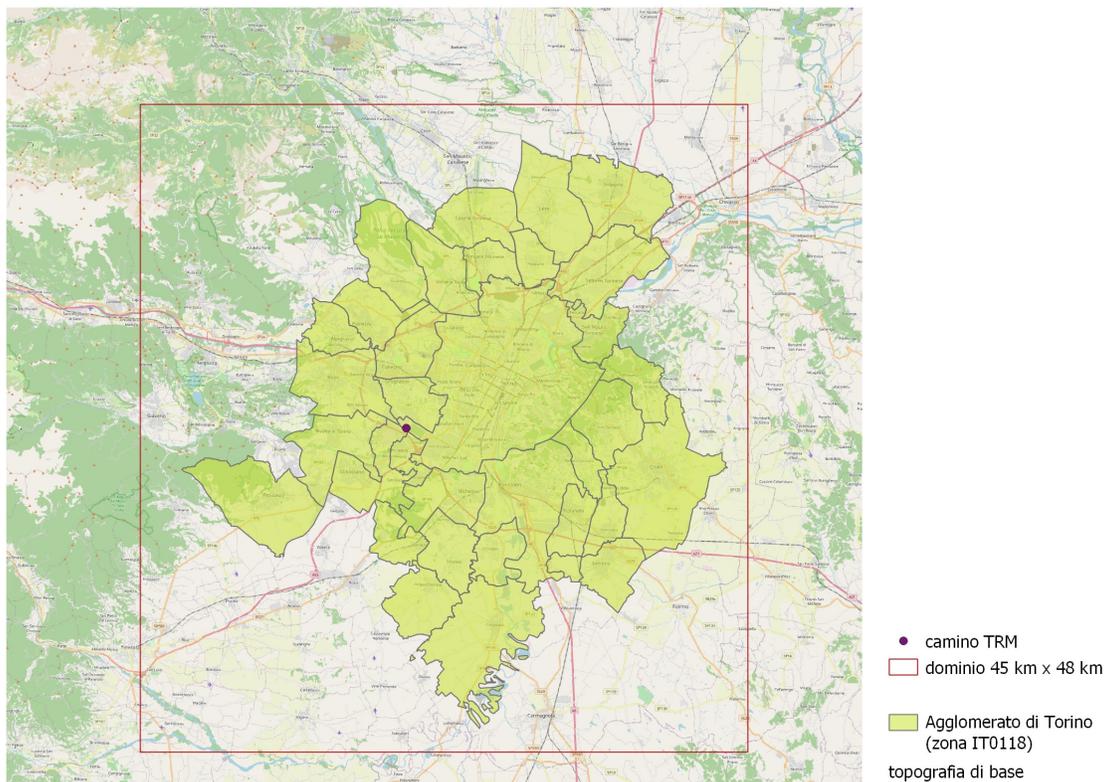
**Figura 2:** Domini di calcolo per le simulazioni meteorologiche con WRF

<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 = 42.30 LONG= 3.62	$n_x = 100$ $n_y = 85$	34	EPSG = 4326
d03	6 km	LAT = 43.78 LONG= 6.24	$n_x = 88$ $n_y = 109$	34	EPSG = 4326
d04	1 km	LAT = 44.78 LONG= 7.23	$n_x = 67$ $n_y = 64$	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	500 m	$x = 369000$ $y = 4964000$ m	$n_x = 91$ $n_y = 97$	22	EPSG = 32632

**Tabella 2:** caratteristiche del dominio di simulazione per SWIFT/SurfPRO



**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).

Per le simulazioni con il modello SWIFT l'orografia è stata estratta da un database a risoluzione di 3 gradi secondi - pari a circa 90 metri - e successivamente filtrata in modo da ottenere la risoluzione necessaria di 500 metri.

Analogamente, 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 500 metri necessaria ai modelli meteorologici SWIFT e SurfPRO.

Nella Figura 4 sono riportate la rappresentazione dell'orografia e dell'uso del suolo predisposti per l'utilizzo della catena modellistica nel dominio 5.

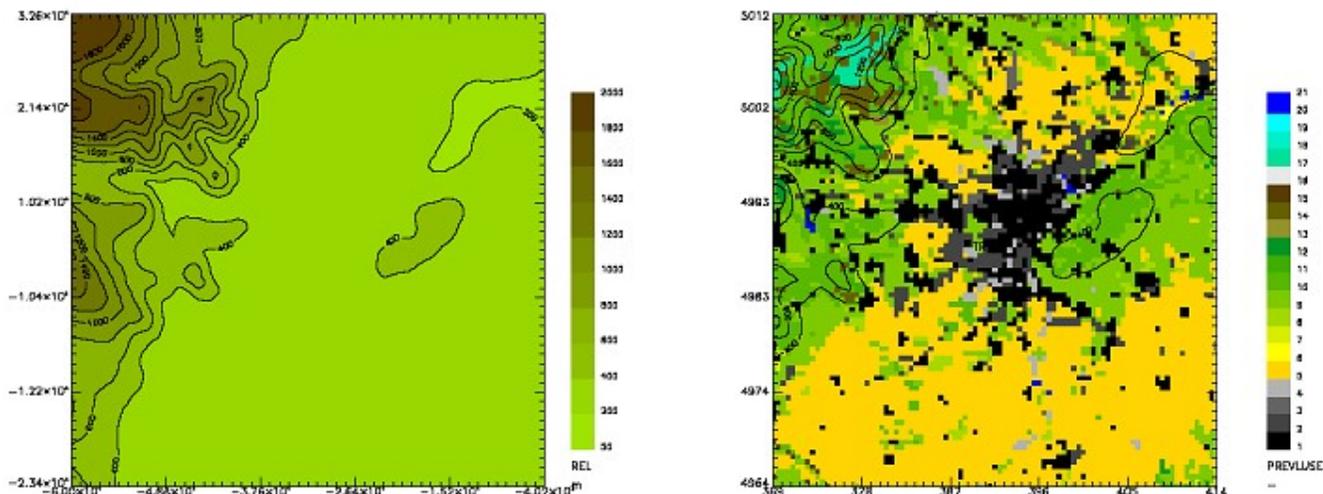


Figura 4: Orografia e uso del suolo utilizzati dalla catena modellistica per il dominio 5

## 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'impianto di termovalorizzazione è dotato di un camino di 120 metri di altezza, all'interno del quale sono presenti tre canne, ciascuna con diametro pari a 2.4 metri, corrispondenti alle diverse linee di lavorazione.

Il punto emissivo ha le seguenti coordinate WGS84-UTM32:

Est = 388694 metri; Nord = 4988016 metri

e quota sul livello del mare di 273 metri.

I dati disponibili per la descrizione delle emissioni del termovalorizzatore sono di due tipi: da controlli in continuo e da controlli non in continuo. Di seguito è descritta la trattazione di tali dati per l'ottenimento dell'input al modello di dispersione.

### ***Dati da controlli in continuo***

Il Sistema di Monitoraggio in continuo delle Emissioni (SME) permette il controllo delle emissioni delle tre linee attraverso l'analisi costante dei fumi dell'impianto, in modo tale da fornire un riscontro in tempo reale dell'andamento delle emissioni in atmosfera e degli eventuali superamenti di valori limite, mettendo in opera azioni correttive.

Gli inquinanti monitorati in continuo presso il termovalorizzatore e registrati a cadenza semioraria sono:

- polveri totali

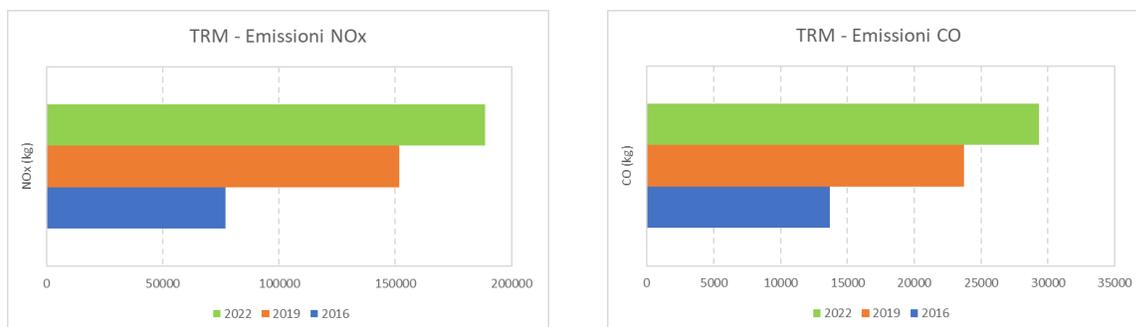
- sostanze organiche totali (espresse come carbonio organico totale, COT)
- acido cloridrico (HCl)
- acido fluoridrico (HF)
- ammoniaca (NH<sub>3</sub>)
- ossidi di azoto (NO<sub>x</sub> espressi come NO<sub>2</sub>)
- biossido di zolfo (SO<sub>2</sub>)
- monossido di carbonio (CO)
- mercurio (Hg)

Sono 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.

I dati acquisiti dallo SME nel corso del 2016 e del 2022 sono stati sottoposti ad una procedura di verifica, aggregati su base oraria ed elaborati<sup>6</sup> al fine di produrre, per ognuna delle tre linee di funzionamento dell'impianto, i dati necessari al modulo emissivo INEMOS, rappresentati da: flusso di massa per ogni inquinante, velocità e temperatura fumi, stato di funzionamento dell'impianto. INEMOS riscrive le informazioni fornitegli in input in un formato leggibile dal modello di dispersione SPRAY, mentre il successivo modulo TIM2PAR si occupa di calcolare, su base oraria, il numero di particelle nel quale viene discretizzata l'emissione.

I dati così elaborati sono stati forniti in ingresso a SPRAY che, al termine della simulazione, ha provveduto a sommare i risultati delle tre linee di funzionamento per ottenere, per ogni inquinante e ogni ora di simulazione, il contributo complessivo dell'impianto.

Nei grafici di Figura 5 sono riportati i dati relativi alle emissioni totali degli anni simulati nel progetto, ovvero 2016, 2019 e 2022.



<sup>6</sup> Ai fini del computo delle emissioni complessive dell'impianto, nelle elaborazioni finalizzate alle simulazioni modellistiche possono talvolta venire considerati anche dati relativi a condizioni che non vengono normalmente ritenute valide nei termini dei controlli previsti dalla prescrizione autorizzativa.



Figura 5: Monitoraggio in continuo delle emissioni: totali per anni 2016, 2019 e 2022

Negli anni si osserva un generale incremento delle emissioni di tutti gli inquinanti, ad eccezione del mercurio e del particolato. Tale incremento è dovuto in parte all'aumento dei rifiuti trattati dall'impianto, come si può osservare dal grafico<sup>7</sup> in Figura 6. L'impianto, infatti, originariamente autorizzato a processare 421.000 t/anno di rifiuti, ne brucia oggi più di 600.000 in virtù della subentrata possibilità di operare a saturazione del carico termico.

<sup>7</sup> Elaborazione a cura del Dipartimento Territoriale di Torino – Piemonte Nord Ovest di Arpa Piemonte

Per i parametri SO<sub>2</sub> e HF, l'incremento osservato è, in realtà, per lo più fittizio: si tratta infatti di concentrazioni rilevate prossime allo zero sulle quali le periodiche tarature di legge (QAL2) degli analizzatori incidono, percentualmente, in modo significativo.

Per quanto riguarda le emissioni di NO<sub>x</sub>, nella conferenza di servizi per il riesame dell'autorizzazione integrata ambientale è emerso che l'incremento delle emissioni è dovuto non solo all'aumento dei rifiuti conferiti, ma anche ad una perdita di efficienza del sistema di abbattimento (catalizzatore SCR) in condizioni di alto carico. A riguardo, nel rinnovo dell'AIA (atto. N. DD 7973 del 4/12/2023) l'autorità competente ha previsto una riduzione del valore limite di emissione medio giornaliero autorizzato dagli attuali 70 mg/Nm<sup>3</sup> a 50 mg/Nm<sup>3</sup>, a partire dal 01/01/2028. Al fine di poter rispettare i nuovi limiti, il gestore ha programmato il potenziamento progressivo dei catalizzatori delle tre linee in modo da mantenere alte le prestazioni di abbattimento anche ad alto carico.

Per quanto riguarda, infine, il parametro mercurio, si rileva, invece, nel 2022 una netta diminuzione delle emissioni a camino, dovuta al miglioramento della capacità di abbattimento di Hg dell'impianto.

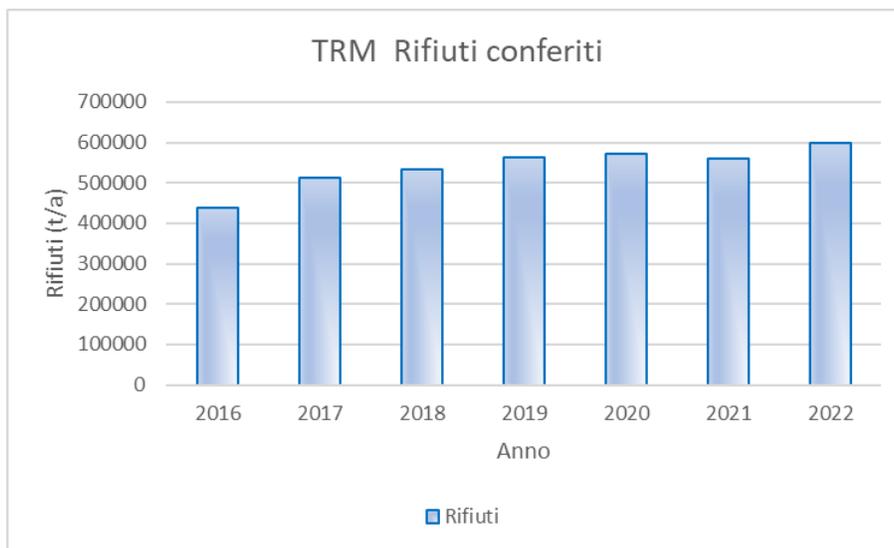


Figura 6: Rifiuti conferiti all'impianto di termovalorizzazione TRM negli anni dal 2016 al 2022

### **Dati da controlli non in continuo**

Per quanto riguarda gli inquinanti non monitorati dallo SME, ovvero microinquinanti (IPA, PCB, PCDD/DF) e metalli, si è fatto riferimento ai risultati dei campionamenti condotti in occasione dei controlli che vengono periodicamente svolti sia da Arpa Piemonte che dal gestore dell'impianto (questi ultimi messi a disposizione da Città Metropolitana di Torino).

I metalli monitorati, secondo quanto prescritto dall'AIA, sono:

- cadmio (Cd) e tallio (Tl) (espressi come sommatoria)
- zinco (Zn)
- antimonio (Sb), arsenico (As), piombo (Pb), cromo (Cr), cobalto (Co), rame (Cu), manganese (Mn), nichel (Ni), vanadio (V), stagno (Sn) (espressi come sommatoria).

Per quanto riguarda i microinquinanti:

- gli idrocarburi policiclici aromatici (IPA) sono determinati come somma di: benzo[a]antacene, dibenzo[a,h]antracene, benzo[b]fluorantene, benzo[j]fluorantene, benzo[k]fluorantene, benzo[a]pirene, dibenzo[a,e]pirene, dibenzo[a,h]pirene, dibenzo[a,i]pirene, dibenzo[a,l]pirene, indeno[1,2,3-cd]pirene;
- per le policlorodibenzodiossine e i policlorodibenzofurani (PCDD/DF) viene espressa la concentrazione “tossica equivalente” di una serie di congeneri<sup>8</sup>; le concentrazioni dei singoli composti vengono moltiplicate per i corrispondenti fattori di equivalenza tossica (FTE) rispetto alla 2,3,7,8-tetraclorodibenzodiossina prima di essere sommate;
- fra i congeneri dei policlorobifenili vengono considerati solo quelli che presentano caratteristiche chimico-fisiche e tossicologiche paragonabili alle diossine e ai furani (PCB diossina simili PCB-DL); anche in questo caso viene calcolata la concentrazione “tossica equivalente” ottenuta moltiplicando i singoli composti per il corrispondente FTE prima di effettuarne la somma.

Per disporre di un dato sufficientemente rappresentativo delle emissioni del termovalorizzatore per questi inquinanti, per la simulazione sull'anno 2019 (Report 12) erano stati elaborati i risultati dei campionamenti realizzati sulle tre linee negli anni dal 2013 al 2020; in Tabella 3 è riportato il numero di campioni considerati, suddiviso fra quelli realizzati da Arpa e dal gestore, ai fini della caratterizzazione delle emissioni di microinquinanti e metalli.

	<i>Numero campioni</i>					
	<i>Cd+Tl</i>	<i>Zn</i>	<i>Metalli</i>	<i>IPA</i>	<i>PCDD</i>	<i>PCB</i>
<i>ARPA</i>	21	21	21	63	63	63
<i>TRM</i>	69	69	69	68	68	45
<i>Totale</i>	90	90	90	131	131	108

**Tabella 3:** Numero campioni considerati per la caratterizzazione delle emissioni del termovalorizzatore

I due set di dati (fonte Arpa e fonte TRM) sono stati analizzati sia separatamente che congiuntamente, al fine di valutarne la coerenza; nel caso di concentrazioni risultate inferiori al limite di quantificazione analitico (LOQ), è stato utilizzato per convenzione un valore pari alla metà del limite di quantificazione<sup>9</sup>. I dati sono stati analizzati e sono stati calcolati gli indici di posizione (media, mediana e moda) delle due distribuzioni.

In Tabella 4 è riportata la mediana, scelta per rappresentare i dati esaminati, per i due gruppi di dati e per il loro insieme, confrontata con i corrispondenti valori limite alle emissioni previsti dall'Autorizzazione Integrata Ambientale (AIA) rilasciata dalla Città Metropolitana di Torino; si osserva come le mediane, sia dei due dataset che del totale dei dati, risultino sempre di almeno un ordine di grandezza inferiori al valore limite previsto dalle prescrizioni autorizzative.

<sup>8</sup> I congeneri si differenziano per il numero e la posizione degli atomi di cloro sugli anelli benzenici

<sup>9</sup> Approccio “medium-bound” (Rapporto ISTISAN 04/15)

	<i>Mediana</i>					
	<i>Cd+Tl</i>	<i>Zn</i>	<i>Metalli</i>	<i>IPA</i>	<i>PCDD/DF</i>	<i>PCB-DL</i>
	<i>mg/Nm<sup>3</sup></i>	<i>mg/Nm<sup>3</sup></i>	<i>mg/Nm<sup>3</sup></i>	<i>mg/Nm<sup>3</sup></i>	<i>ng/Nm<sup>3</sup></i>	<i>ng/Nm<sup>3</sup></i>
<b>ARPA</b>	<b>0.0015</b>	<b>0.031</b>	<b>0.042</b>	<b>0.000005</b>	<b>0.00179</b>	<b>0.000179</b>
<b>TRM</b>	<b>0.0002</b>	<b>0.058</b>	<b>0.054</b>	<b>0.000115</b>	<b>0.00265</b>	<b>0.000478</b>
<b>ARPA+TRM</b>	<b>0.001</b>	<b>0.041</b>	<b>0.050</b>	<b>0.00001</b>	<b>0.00214</b>	<b>0.000225</b>
<b>Valore limite</b>	<b>0.03</b>	<b>0.5</b>	<b>0.3</b>	<b>0.005</b>	<b>0.05</b>	<b>0.05</b>

**Tabella 4:** Mediane delle concentrazioni per i diversi gruppi di dati e valori limite previsti dall'AIA

Mentre nella maggior parte degli inquinanti i dati dei due dataset mostrano valori delle mediane confrontabili, in due casi si sono riscontrati valori di concentrazione differenti di un ordine di grandezza:

- sommatoria fra cadmio e tallio (Cd+Tl): la differenza è da attribuire al diverso limite di quantificazione delle metodiche analitiche. Il LOQ che accompagna le determinazioni di Arpa è di un ordine di grandezza superiore a quello di TRM. Poiché in entrambi i dataset i valori ottenuti analiticamente sono nella maggioranza dei casi risultati essere inferiori al LOQ, sono stati quantificati con un valore pari alla metà del rispettivo limite di quantificazione. La differenza fra i valori mediani dei due dataset è pertanto attribuibile a questa modalità di trattamento dei dati;
- IPA totali: anche qui la differenza è conseguenza del diverso LOQ delle metodiche analitiche; in questo caso le determinazioni analitiche di Arpa sono quelle caratterizzate da un limite di quantificazione inferiore.

In entrambi i casi si tratta comunque di concentrazioni decisamente inferiori al valore limite, sia per le mediane dei singoli gruppi di dati sia per quelle relative a tutti i dati.

Per le simulazioni modellistiche, a valle di un confronto con i tecnici di Città Metropolitana che seguono gli aspetti autorizzativi dell'impianto, si è scelto di utilizzare la mediana dell'intero set di dati per una maggiore rappresentatività dell'informazione inserita nel modello; questa scelta nel caso degli inquinanti Cd+Tl e IPA permette un approccio di tipo cautelativo, avendo adottato valori di concentrazione aventi un ordine di grandezza superiore a quello delle determinazioni con maggiore sensibilità analitica.

Ai fini delle simulazioni sugli anni 2016 e 2022, si è verificato che l'inserimento nel database dei campionamenti condotti negli anni 2021 e 2022 non avrebbe prodotto dati di ingresso al modello di dispersione significativamente diversi da quelli utilizzati per la simulazione 2019. Pertanto, anche per queste simulazioni sono stati utilizzati i dati riportati nella Tabella 5.

Per quanto riguarda la modulazione temporale dell'emissione, si è fatto riferimento ai dati dello SME relativi all'anno di simulazione. Il valore di concentrazione alle emissioni individuato - come precedentemente descritto - per il singolo inquinante è stato attribuito a ciascuna linea di funzionamento; il flusso di massa di ogni linea è stato poi calcolato a partire dall'andamento orario delle corrispondenti portate, associandolo ai dati di velocità, temperatura e stato di funzionamento della linea stessa.

Pertanto, nel caso di microinquinanti e metalli, le differenze che per ogni inquinante e i relativi indicatori si potranno riscontrare nei risultati della modellizzazione sono unicamente attribuibili alla diversa modulazione temporale delle emissioni e alle caratteristiche meteodispersive dei singoli anni.

## Simulazioni meteo-dispersive

### Simulazioni meteorologiche

Le simulazioni con il modello WRF, sui quattro domini innestati a risoluzione crescente precedentemente descritti, sono state condotte sugli anni 2016 e 2022 con risoluzione temporale oraria (ora UTC, *Coordinated Universal Time*) e organizzate su base giornaliera per limitare la dimensione dei files di output, iniziando ogni giorno con l'ultima cadenza della giornata precedente.

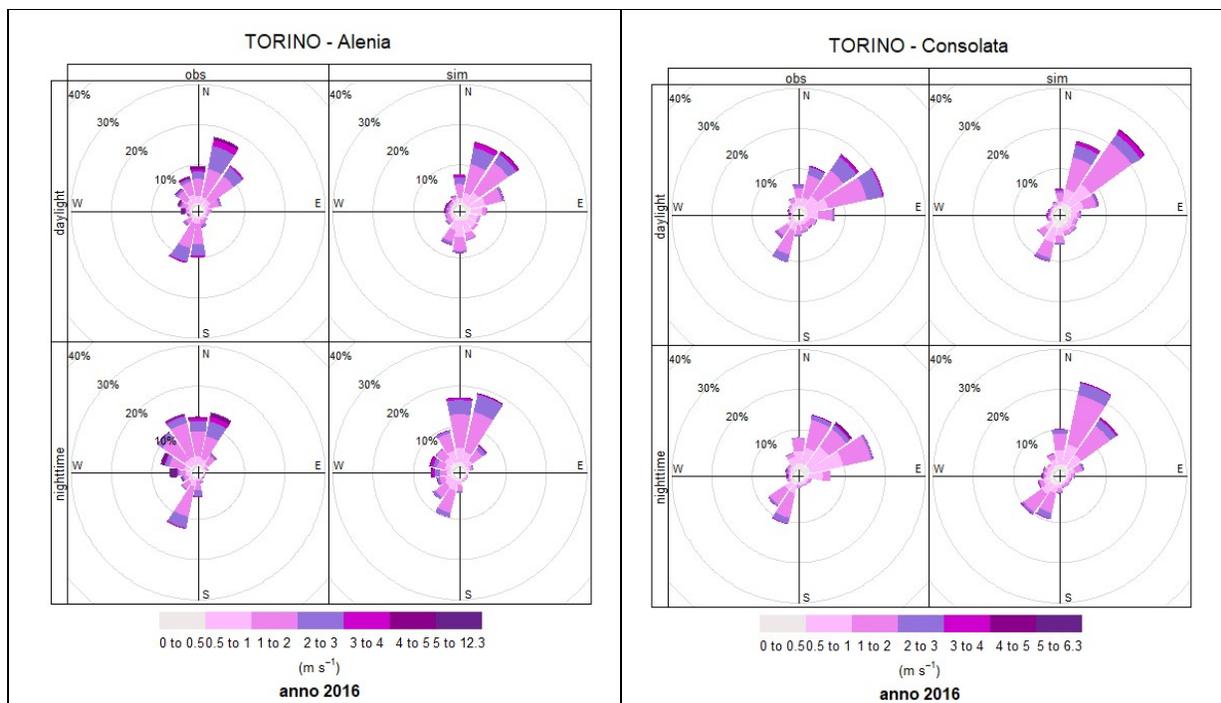
A partire dai risultati sul dominio più interno (d04) prodotti con WRF sono stati estratti, riportandoli in ora solare (CET, *Central European Time*, UTC+1):

- i dati di velocità e direzione vento, temperatura e umidità dell'aria, forniti in ingresso al modello *mass-consistent* SWIFT per la ricostruzione dei corrispondenti campi meteorologici;
- di copertura nuvolosa e precipitazione per la rigigliatura con il modulo di interfaccia GAP.

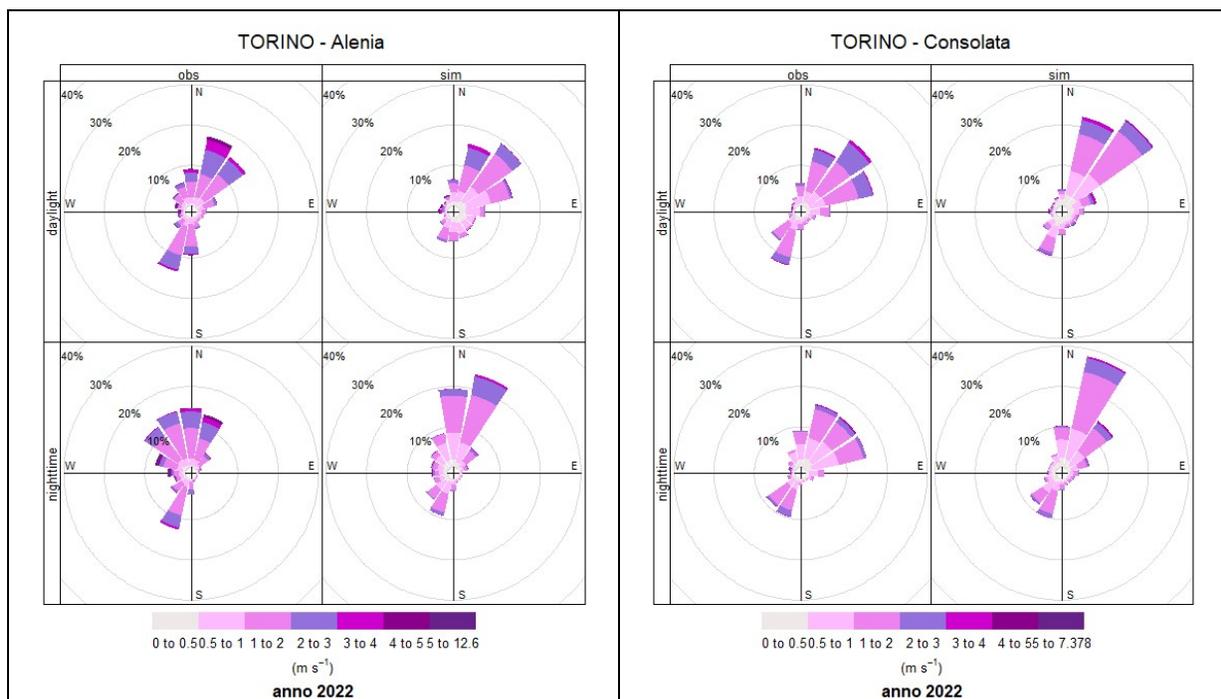
I dati ottenuti da SWIFT e GAP sono successivamente stati utilizzati dal modello SurfPRO3 per il calcolo delle variabili descrittive della turbolenza. Questi passaggi hanno permesso di realizzare una ulteriore discesa di scala (da una risoluzione orizzontale di 1000 m a una di 500 m) e ottenere una descrizione più dettagliata dei campi meteorologici in prossimità del suolo; per tenere conto degli effetti orografici presenti nell'area, il top del dominio meteorologico realizzato con SWIFT è stato fissato a 10800 m.

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, in Figura 5, è riportato il confronto osservato – simulato suddiviso nei periodi diurno e notturno presso le due stazioni più prossime al termovalorizzatore, Torino – Alenia e Torino – Via della Consolata per l'anno 2016 (Figura 6) e per l'anno 2022 (Figura 7), che evidenziano una buona ricostruzione anemologica nell'area in esame.





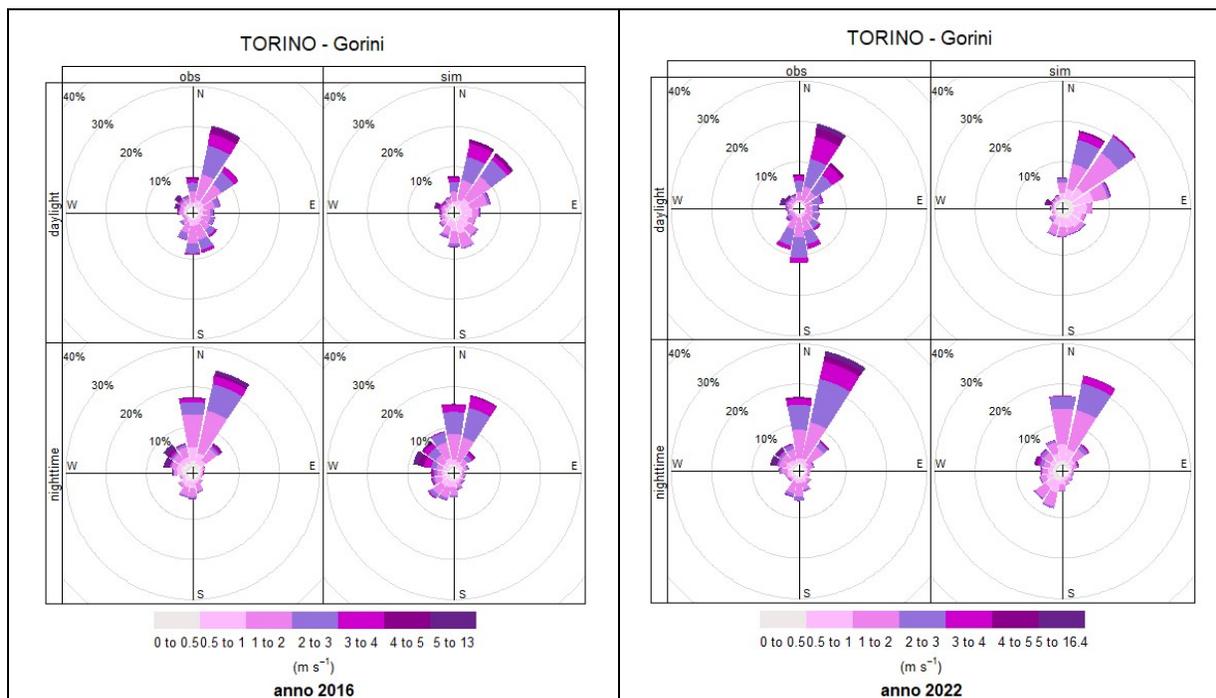
**Figura 7:** Rose del vento: confronto osservato – simulato in corrispondenza delle stazioni di Torino – Alenia (sinistra) e Torino – Consolata (destra) nell'anno 2016



**Figura 8:** Rose del vento: confronto osservato – simulato in corrispondenza delle stazioni di Torino – Alenia (sinistra) e Torino – Consolata (destra) nell'anno 2022

Anche il confronto della modellizzazione meteorologica con i dati registrati presso la stazione meteorologica di TRM installata in Via Gorini a Torino conferma una corretta ricostruzione, da parte del modello, dei dati anemologici misurati al suolo, come si può osservare dal confronto

delle rose del vento fra dati misurati e simulati relativi ai due anni di simulazione riportati in Figura 8 (a sinistra l'anno 2016, a destra il 2022<sup>10</sup>).



**Figura 9:** Rose del vento: dati simulati in corrispondenza della stazione di TRM Torino – Gorini – anni 2016 e 2022

## Simulazioni dispersive

Il modello SPRAY permette di calcolare - oltre ai i campi di concentrazione tridimensionale orari per tutti gli inquinanti gassosi considerati come inerti - anche le deposizioni atmosferiche, che rappresentano un importante meccanismo di rimozione delle sostanze presenti in atmosfera.

Distinguiamo due processi di deposizione<sup>11</sup>, la cui somma rappresenta le deposizioni atmosferiche totali:

- la deposizione secca, insieme dei processi di trasporto di gas e aerosol dall'atmosfera alla superficie terrestre in assenza di precipitazione; tiene conto di meccanismi quali l'interazione con gli elementi presenti al suolo (suolo nudo, vegetazione, specchi d'acqua, ecc.) nonché la sedimentazione per effetto della gravità delle particelle di dimensioni maggiori. Dipende, in generale, dalla turbolenza atmosferica nella parte di PBL più prossimo alla superficie terrestre, dalle proprietà chimico-fisiche della sostanza (solubilità o reattività degli inquinanti gassosi, dimensione o forma del particolato solido), dalla natura della superficie a contatto con il fluido atmosferico (ad es. le superfici naturali con copertura vegetale sono generalmente favorevoli alla deposizione secca);

<sup>10</sup> Nel 2016 la stazione di Torino – Gorini presenta una percentuale di dati disponibili pari al 99.9%, mentre nel 2022 la percentuale è pari al 77.5% (con dati mancanti dal 20/10/2022 a fine anno).

<sup>11</sup> Sozzi R. et al., 2003: La micrometeorologia e la dispersione degli inquinanti in atmosfera

- la deposizione umida, rappresentata dai processi di trasporto degli inquinanti atmosferici al suolo operata dalle precipitazioni (pioggia, neve, nebbia).

Nel caso del particolato atmosferico, le grandezze che influenzano maggiormente la deposizione secca sono la dimensione e la densità. In particolare:

- le particelle con diametro compreso fra 0.05  $\mu\text{m}$  e 2  $\mu\text{m}$  non subiscono quasi il fenomeno della deposizione secca e rappresentano parte dell'aerosol atmosferico con vita media anche di alcuni giorni;
- le particelle con diametro superiore a 2  $\mu\text{m}$  e inferiore a 20  $\mu\text{m}$  mostrano un comportamento dominato dalla velocità di deposizione, grandezza che definisce la relazione fra il flusso di deposizione verticale secco delle particelle (ossia la quantità di materiale che si deposita sull'unità di superficie nell'unità di tempo) e la concentrazione delle particelle;
- le particelle con diametro superiore a 20  $\mu\text{m}$  sono influenzate principalmente dalla gravità, con comportamento dominato dalla velocità di sedimentazione.

In questo lavoro, sono state calcolate le deposizioni totali (secche e umide) per:

- il particolato atmosferico PM10 e PM2.5;
- microinquinanti e metalli, ipotizzando che vengano veicolati dal particolato PM10 primario e, conseguentemente, una parte delle emissioni di queste sostanze depositi come questa frazione granulometrica.

In aria ambiente il mercurio è presente in diverse forme, principalmente mercurio elementare allo stato gassoso  $\text{Hg}^0$  (dal 90% al 99%) e, in percentuale molto inferiore, come mercurio sul particolato  $\text{Hg}(\text{p})$  e mercurio gassoso bivalente  $\text{Hg}(\text{II})$ .<sup>12</sup>

Il mercurio elementare gassoso, relativamente inerte alle reazioni chimiche in atmosfera e poco solubile in acqua, ha tempi di permanenza in atmosfera dell'ordine degli anni, con conseguente possibile trasporto su lunghe distanze, anche a scala globale.

Le deposizioni atmosferiche, sia secche che per dilavamento, coinvolgono il mercurio nelle forme gassosa bivalente e legata al particolato; infatti, le specie contenenti  $\text{Hg}(\text{II})$  sono significativamente meno volatili dell' $\text{Hg}^0$  e tendono a condensare sul particolato atmosferico o a depositarsi sulle superfici<sup>13</sup>.

Per quanto riguarda l'aspetto emissivo, le sorgenti antropogeniche contribuiscono al mercurio presente in atmosfera nelle diverse forme; più in particolare, studi di letteratura riportano che  $\text{Hg}(\text{II})$  rappresenta la maggior parte (60%) delle emissioni di mercurio dagli impianti di incenerimento dei rifiuti.<sup>14</sup>

Le misure a disposizione per l'impianto di termovalorizzazione sono:

- mercurio totale, per quanto riguarda le misure in continuo dello SME di TRM;
- $\text{Hg}^0$ , per quanto riguarda i dati di qualità dell'aria registrati presso la stazione di monitoraggio di Beinasco.

In assenza di informazioni di dettaglio sulla speciazione del mercurio presente nelle emissioni prodotte da questa tipologia di impianto e in considerazione del fatto che il modello di

<sup>12</sup> Ambient Air Pollution by Mercury (Hg) – Position Paper – 2001, pag. 4

<sup>13</sup> Ambient Air Pollution by Mercury (Hg) – Position Paper – 2001 – pag. 13

<sup>14</sup> Ambient Air Pollution by Mercury (Hg) – Position Paper – 2001 – Table 2.5, pag. 66:  $\text{Hg}^0$  20%,  $\text{Hg}(\text{II})$  60%,  $\text{Hg}(\text{p})$  20%

trasporto considera il mercurio come sostanza inerte, nella valutazione modellistica delle concentrazioni in aria e delle deposizioni di mercurio si è concordato con Città Metropolitana di adottare un approccio conservativo che permettesse di fornire un range di variabilità che massimizzi i valori attesi per questo inquinante sia in atmosfera che nelle deposizioni. Sono quindi state condotte due simulazioni che implementano le seguenti ipotesi:

- CASO 1: tutto il mercurio emesso dall'impianto di termovalorizzazione rimane in fase gassosa in aria;
- CASO 2: si ipotizza, come nel caso dei microinquinanti, che il mercurio sia veicolato dal particolato PM10 e, quindi, che una frazione di quanto emesso in atmosfera venga rimosso per deposizione.

I risultati delle simulazioni modellistiche 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 5) 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.

Al fine di agevolare il confronto fra le ricadute nei diversi anni di simulazione, a parità di inquinante ed indicatore si è provveduto, quando possibile, ad utilizzare nella realizzazione delle mappe di concentrazione la scala colore adottata per le simulazioni sull'anno 2019 (Report 12). Nei casi nei quali le ricadute mostrano ordini di grandezza differenti, si è scelto di utilizzare scale colori specifiche a seconda degli anni di simulazione, per evidenziare i diversi impatti.

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).

Per le deposizioni sono stati calcolati i valori medi annui (espressi in unità di massa/m<sup>2</sup>d), ottenuti mediando sul periodo di simulazione i flussi orari in uscita dal modello (in unità di massa/m<sup>2</sup>s) e riportandoli al valore giornaliero.

Di seguito verranno descritti i risultati delle simulazioni per i singoli inquinanti, facendo anche riferimento alla simulazione sull'anno 2019 (illustrata nel Report 12); nell'Allegato alla relazione al fine di agevolare il confronto sono riportate, oltre alle rappresentazioni cartografiche per gli anni 2016 e 2022, anche quelle del 2019.

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 AriaWeb<sup>15</sup> di Regione Piemonte;
- 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 2016" e il "Rapporto di sintesi sui dati prodotti dalla stazione di monitoraggio della qualità dell'aria ubicata nel Comune di Beinasco Giardino Pubblico

<sup>15</sup> <http://www.regione.piemonte.it/ambiente/aria/rilev/ariaday/ariaweb-new/>

Aldo Mei, di proprietà di TRM S.p.A. Anno 2022” redatti dal Dipartimento Territoriale Piemonte Nord Ovest di Arpa Piemonte.

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.



	LIMITE	PERIODO DI RIFERIMENTO	INDICATORE STATISTICO	VALORE DI RIFERIMENTO	SUPERAMENTI CONCESSI
BIOSSIDO DI ZOLFO SO <sub>2</sub>	Valore limite	1 ora	media	350 µg/m <sup>3</sup>	24 volte/anno civile
	Valore limite	1 giorno	media	125 µg/m <sup>3</sup>	3 volte/anno civile
	Livello critico per la protezione della vegetazione	anno civile	media	20 µg/m <sup>3</sup>	--
		inverno (1 ott ÷ 31 mar)			
Soglia di allarme	3 ore consecutive	media oraria	500 µg/m <sup>3</sup>	--	
BIOSSIDO DI AZOTO NO <sub>2</sub>	Valore limite	1 ora	media	200 µg/m <sup>3</sup>	18 volte/anno civile
	Valore limite	anno civile	media	40 µg/m <sup>3</sup>	--
	Livello critico per la protezione della vegetazione	anno civile	media	30 µg/m <sup>3</sup>	--
		Soglia di allarme	3 ore consecutive	media oraria	400 µg/m <sup>3</sup>
BENZENE	Valore limite	anno civile	media	5 µg/m <sup>3</sup>	--
MONOSSIDO DI CARBONIO CO	Valore limite	media massima giornaliera sulle 8 ore	media	10 mg/m <sup>3</sup>	--
PIOMBO	Valore limite	anno civile	media	0.5 µg/m <sup>3</sup>	--
PARTICOLATO PM10	Valore limite	1 giorno	media	50 µg/m <sup>3</sup>	35 volte/anno civile
	Valore limite	anno civile	media	40 µg/m <sup>3</sup>	--
PARTICOLATO PM2.5	Valore limite	anno civile	media	25 µg/m <sup>3</sup>	--
ARSENICO	Valore obiettivo	anno civile	media	0.6 ng/m <sup>3</sup>	--
CADMIO	Valore obiettivo	anno civile	media	5 ng/m <sup>3</sup>	--
NICHEL	Valore obiettivo	anno civile	media	20 ng/m <sup>3</sup>	--
BENZO(A)PIRENE	Valore obiettivo	anno civile	media	1 ng/m <sup>3</sup>	--

**Tabella 5:** Valori di riferimento per la qualità dell'aria previsti dal D. Lgs. 155/2010

## Considerazioni sulla meteorologia degli anni di simulazione

Prima di esaminare i risultati delle simulazioni e al fine di permetterne una corretta interpretazione, si ritiene utile riportare alcune considerazioni sulla meteorologia che ha caratterizzato gli anni 2016, 2019 e 2022.<sup>16</sup>

Dal punto di vista della temperatura, si è osservata una crescita dei valori nel corso dei tre anni considerati, con il 2022 risultato essere il 1° più caldo degli ultimi 65 anni. Prendendo come riferimento la climatologia del trentennio 1971 – 2000, i tre anni presentano anomalie termiche positive di circa +1.3° C (2016), +1.5° C (2019) e +2.3° C (2022).

Mentre nel 2016 l'anomalia termica positiva è abbastanza distribuita lungo il corso di tutto l'anno, nel 2019 spiccano da un lato il mese di maggio, risultato il 5° mese più freddo nella distribuzione storica degli ultimi 62 anni, dall'altro l'eccezionale ondata di calore dei giorni dal 26 al 29 giugno, durante la quale il giorno 27 giugno si è registrata la più elevata temperatura media misurata sul Piemonte dal 1958. Nel corso del 2022, l'unico mese ad avere avuto una temperatura nella norma degli anni 1971 – 2000 è quello di marzo; lo scostamento termico positivo è stato marcato soprattutto durante l'estate, risultata la seconda più calda dopo il 2003, pur senza record assoluti di temperatura massima; la caratteristica termica del 2022 è stata quindi quella di una temperatura frequentemente al di sopra della norma climatica, piuttosto che di periodi brevi di anomalie termiche positiva intense.

Dal punto di vista pluviometrico, le precipitazioni cumulate medie nell'anno 2016 in Piemonte sono state sostanzialmente nella media, ma distribuite in modo decisamente non uniforme durante l'anno, perché concentrate perlopiù in due mesi (febbraio e, soprattutto, novembre), lasciando molti altri mesi in condizioni di siccità, anche acuta e prolungata. Il 2019 è invece stato caratterizzato da un importante apporto delle precipitazioni, che lo collocano come il 9° anno più piovoso degli ultimi 62, con eventi alluvionali intensi nei mesi di ottobre e novembre. Infine, il 2022 si distingue con precipitazioni cumulate medie inferiori alla norma del periodo 1971 – 2000, posizionandosi come 2° anno meno piovoso nella distribuzione storica degli anni 1958 – 2022. A tale deficit pluviometrico hanno contribuito in particolar modo i primi tre mesi dell'anno; infatti, il 9 dicembre 2021 ha avuto inizio un lungo periodo di giornate secche terminato il 29 marzo 2022 (111 giorni in totale), che si è posizionato al 2° posto tra i periodi secchi invernali più lunghi degli ultimi 65 anni. Il grafico<sup>17</sup> di Figura 10 mostra il confronto fra le precipitazioni totali e il numero dei giorni di pioggia di una stazione (Torino – Giardini Reali) rappresentativa dell'area urbana torinese nel periodo 2012 – 2022.

---

<sup>16</sup> Le informazioni sono estratte dai capitoli "Considerazioni sulle caratteristiche meteorologiche" redatti a cura del Dipartimento Rischi Naturali e Ambientali di Arpa Piemonte, presenti nelle pubblicazioni "Uno sguardo all'aria" dei corrispondenti anni (<http://www.cittametropolitana.torino.it/cms/ambiente/qualita-aria/dati-qualita-aria/relazioni-annuali>)

<sup>17</sup> Uno sguardo all'aria 2022



**Figura 10:** Precipitazioni atmosferiche totali annuali e numero di giornate piovose per la stazione di Torino nel periodo 2012 – 2022

Infine, di particolare utilità ai fini dell’interpretazione dei risultati delle simulazioni modellistiche, è un indice denominato “numero di giorni favorevoli all’accumulo di PM10”, messo a punto da Arpa Piemonte<sup>18</sup> e volto ad identificare le giornate potenzialmente critiche per la qualità dell’aria, a partire da parametri meteorologici quali l’altezza di rimescolamento<sup>19</sup>, l’intensità del vento e la precipitazione. L’indice è definito e applicato su un’area corrispondente all’agglomerato metropolitano di Torino, quindi rappresentativo del dominio di calcolo delle simulazioni modellistiche condotte nel programma SPoTT.

In Figura 11 sono riportati i valori del numero di giornate critiche negli anni dal 2006 al 2022; come si può osservare, fra gli anni coincidenti con il periodo di valutazione delle ricadute prodotte dal termovalorizzatore di Torino (evidenziati in giallo), quello caratterizzato da un maggior numero di giornate sfavorevoli alla dispersione degli inquinanti in atmosfera risulta essere il 2022 (125), mentre il 2019 è quello con il numero minore di giornate critiche (96).

La distribuzione delle giornate a livello mensile per gli anni simulati nel programma SPoTT è stata confrontata con il periodo di riferimento dal 2006 al 2021, dal quale sono stati esclusi gli anni 2016 e 2019 (Figura 12).

Si osserva come il 2016 non sia stato, almeno fino al mese di ottobre, un anno particolarmente critico dal punto di vista meteorologico per i fenomeni di inquinamento, mentre dicembre è risultato avere un numero di occorrenze confrontabili con i valori mensili più alti del periodo di confronto.

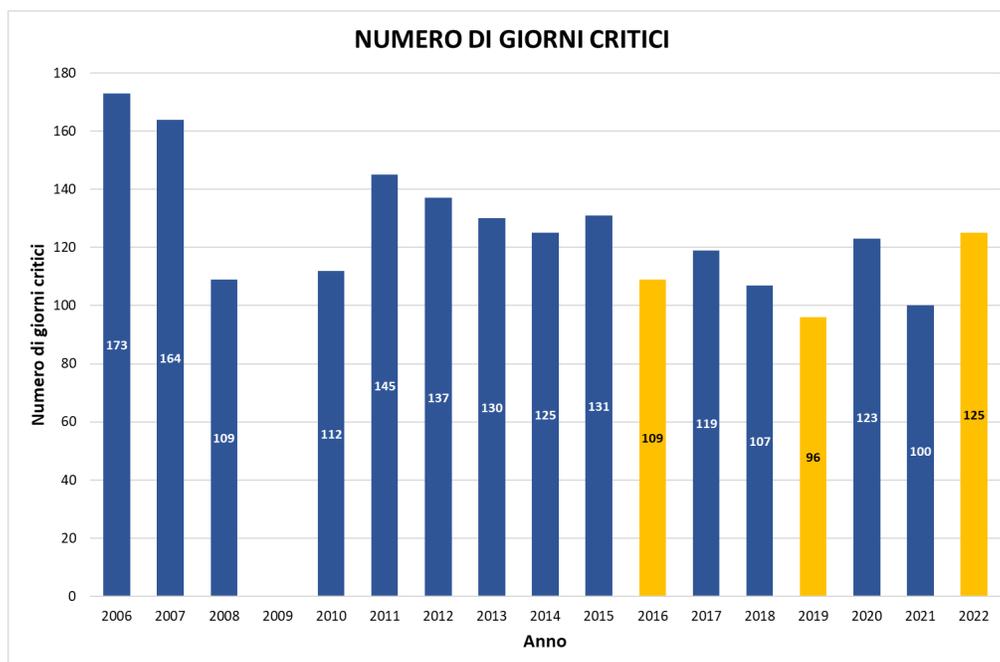
Nel 2019, i mesi di ottobre e novembre hanno valore dell’indice ampiamente inferiore ai minimi del periodo; il mese di gennaio è l’unico a presentare una criticità accentuata, con un numero di occorrenze superiore al massimo del periodo 2006-2021, mentre febbraio si colloca sui valori superiori della distribuzione.

Per l’anno 2022 l’andamento mensile dell’indice è quasi sovrapponibile a quello del 2019 nei primi mesi dell’anno, attestandosi su valori superiori al massimo del periodo in gennaio e sui

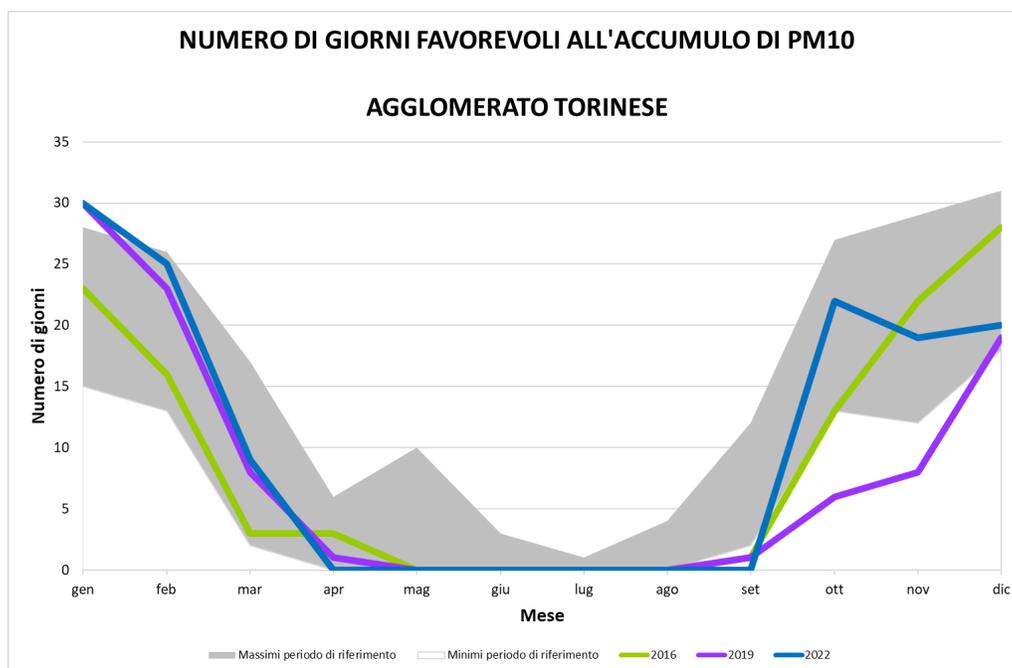
<sup>18</sup> La metodologia di calcolo dell’indice è descritta in “Uno sguardo all’aria 2016”

<sup>19</sup> Per altezza di rimescolamento si intende l’altezza dello strato adiacente alla superficie terrestre all’interno del quale un composto, introdotto a livello del suolo, viene disperso verticalmente per turbolenza meccanica e/o convettiva e diluito a concentrazione uniforme.

valori superiori della distribuzione a febbraio; un numero di giorni sfavorevoli relativamente elevato caratterizza anche il mese di ottobre, mentre il mese di dicembre risulta (come nel 2019) fra i meno critici del periodo di riferimento.



**Figura 11:** numero di giorni favorevoli alla formazione di particolato PM10 - confronto su base annuale sul periodo 2006 – 2022; in giallo sono evidenziati gli anni 2016, 2019 e 2022



**Figura 12:** numero di giorni favorevoli alla formazione di particolato PM10 - confronto su base annuale sul periodo di riferimento (in grigio, dal 2006 al 2021, esclusi gli anni 2016 e 2019) e gli anni 2016 (verde), 2019 (blu), 2022 (viola)

## Risultati

### Biossido di zolfo (SO<sub>2</sub>)

Come prevedibile osservando l'andamento delle emissioni di biossido di zolfo negli anni considerati, le corrispondenti concentrazioni al suolo, pur mantenendosi molto modeste, presentano una variabilità interannuale significativa.

Le mappe delle concentrazioni medie annue di SO<sub>2</sub> per il 2016 e il 2022 sono illustrate nelle Figure A1 ed A2; in Figura A3 è riportata la mappa delle concentrazioni medie annue di SO<sub>2</sub> per il 2019 (Report 12), realizzata utilizzando la scala colore coincidente con quella del 2022.

Le mappe delle concentrazioni medie annue presentano:

- nel 2016 un massimo di ricaduta pari a 0.0003 µg/m<sup>3</sup> collocato nella zona a sud - ovest dell'impianto, a circa 2 km dallo stesso;
- nel 2019 un massimo di ricaduta pari a 0.007 µg/m<sup>3</sup> collocato nella zona a sud - ovest dell'impianto, a circa 2 km dallo stesso;
- nel 2022 un massimo di ricaduta pari a 0.021 µg/m<sup>3</sup> a circa 1.6 km a sud - ovest dell'impianto.

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/m<sup>3</sup>.

Nelle Figure A4 e A5 è riportata la distribuzione del 99.17° percentile delle medie giornaliere (ovvero il valore che viene al massimo superato per tre volte nell'anno) rispettivamente per l'anno 2016 e l'anno 2022; in Figura A6 è riportata la mappa per il 2019 (Report 12), realizzata utilizzando la scala colore coincidente con quella del 2022.

Nelle mappe delle distribuzioni del 99.17° percentile si osserva:

- nel 2016 un massimo pari a 0.0067 µg/m<sup>3</sup> collocato nella zona a sud - ovest dell'impianto, a circa 2 km dallo stesso;
- nel 2019 un massimo pari a 0.081 µg/m<sup>3</sup> collocato a nord dell'impianto;
- nel 2022 un massimo pari a 0.166 µg/m<sup>3</sup> in direzione ovest a breve distanza dall'impianto.

Il valore limite previsto dal D. Lgs. 152/2010 per le concentrazioni medie giornaliere di SO<sub>2</sub> è pari a 125 µg/m<sup>3</sup>, da non superarsi per più di tre giorni all'anno.

La distribuzione del massimo delle medie giornaliere è riportata per il 2016 in Figura A7, mentre per il 2022 in Figura A8; in Figura A9 è riportata mappa per il 2019 (Report 12), realizzata utilizzando la scala colore coincidente con quella del 2022.

Le mappe delle distribuzioni delle massime medie giornaliere mostrano:

- nel 2016 un massimo pari a 0.0144 µg/m<sup>3</sup> collocato nella zona a sud - ovest dell'impianto, a circa 2 km dallo stesso;
- nel 2019 un massimo pari a 0.099 µg/m<sup>3</sup> collocato a nord - nord est a breve distanza dall'impianto;
- nel 2022 un massimo pari a 0.26 µg/m<sup>3</sup> ad ovest dell'impianto.

L'ultimo indicatore previsto dalla normativa per il biossido di zolfo è il valore limite per le concentrazioni medie orarie, pari a  $350 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , da non superarsi per più di 24 volte per anno civile. Le mappe di ricaduta del 99.72° percentile delle medie orarie sono illustrate nella Figura A10 per il 2016 e nella Figura A11 per il 2022; la Figura A9 riporta la mappa per il 2019 (Report 12), realizzata utilizzando la scala colore coincidente con quella del 2022.

Più in dettaglio, le mappe relative al 99.72° percentile delle medie orarie mostrano:

- nel 2016 un massimo pari a  $0.0229 \mu\text{g}/\text{m}^3$  collocato nella zona a sud - ovest dell'impianto, a circa 1.5 km dallo stesso;
- nel 2019 un massimo pari a  $0.28 \mu\text{g}/\text{m}^3$  collocato a breve distanza dall'impianto in direzione nord;
- nel 2022 un massimo pari a  $0.64 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ad ovest dell'impianto, a breve distanza dalla sorgente.

Il valore massimo delle medie orarie è illustrato nelle Figure A13 (anno 2016) e A14 (anno 2022); per comodità di consultazione è riportata in Figura A15 anche la mappa relativa al 2019 (con scala colore invariata rispetto al Report 12).

I valori delle massime medie orarie per i diversi anni sono:

- nel 2016 pari a  $0.199 \mu\text{g}/\text{m}^3$  collocato nella zona ad ovest dell'impianto, a breve distanza dalla sorgente;
- nel 2019 un massimo pari a  $0.76 \mu\text{g}/\text{m}^3$  collocato a nord dell'impianto ad una distanza di circa 1 km;
- nel 2022 un massimo pari a  $1.93 \mu\text{g}/\text{m}^3$  a breve distanza dall'impianto in direzione ovest.

In generale, le concentrazioni simulate relative al 2016 sono estremamente basse, con valori massimi per i diversi indicatori che presentano almeno un ordine di grandezza inferiore a quelle degli altri due anni, come ci si può attendere considerando i rapporti fra le emissioni. Va comunque ricordato che, nonostante il modello lagrangiano a particelle non tenga conto della chimica dell'atmosfera, non ci si può attendere - avendo come riferimento le emissioni totali - una esatta proporzionalità fra le concentrazioni simulate nei vari anni, a causa delle peculiarità meteorologiche che caratterizzano le singole annualità.

Anche in corrispondenza delle stazioni di monitoraggio della qualità dell'aria presenti nel dominio di calcolo il contributo del termovalorizzatore per gli anni considerati è poco significativo, come evidenziato nella Tabella 6.



2016										
BIOSSIDO DI ZOLFO	Media annuale ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )		Massimo media giornaliera ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )		99.17°percentile medie giornaliere ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )		Massimo orario ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )		99.72°percentile medie orarie ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	
	osservato	simulato	osservato	simulato	osservato	simulato	osservato	simulato	osservato	simulato
Torino - Consolata	6	0.0001	12	0.009	12	< 0.001	19	0.01	14	< 0.01
Torino - Rebaudengo	7	0.0001	16	0.008	16	< 0.001	25	0.01	20	< 0.01

(\*) Percentuale dati validi inferiore a 90%

2019										
BIOSSIDO DI ZOLFO	Media annuale ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )		Massimo media giornaliera ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )		99.17°percentile medie giornaliere ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )		Massimo orario ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )		99.72°percentile medie orarie ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	
	osservato	simulato	osservato	simulato	osservato	simulato	osservato	simulato	osservato	simulato
Torino - Consolata	7	0.0006	19	0.008	18	0.006	26	0.06	21	0.02
Torino - Rebaudengo	11 (*)	0.0006	19 (*)	0.010	19 (*)	0.008	21 (*)	0.10	20 (*)	0.02

(\*) Percentuale dati validi inferiore a 90%

2022										
BIOSSIDO DI ZOLFO	Media annuale ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )		Massimo media giornaliera ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )		99.17°percentile medie giornaliere ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )		Massimo orario ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )		99.72°percentile medie orarie ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	
	osservato	simulato	osservato	simulato	osservato	simulato	osservato	simulato	osservato	simulato
Torino - Consolata	4	0.0016	10	0.024	10	0.017	16	0.18	12	0.06
Torino - Rebaudengo	5	0.0017	12	0.047	12	0.021	31	0.22	21	0.07

(\*) Percentuale dati validi inferiore a 90%

**Tabella 6:** Biossido di zolfo: confronto osservato – simulato presso le stazioni del SRRQA negli anni 2016, 2019 e 2022

## Ossidi di azoto ( $\text{NO}_x$ )

I risultati del modello di dispersione rappresentano le concentrazioni di ossidi di azoto (monossido e biossido), espressi come biossido di azoto  $\text{NO}_2$ ; cautelativamente, non è stato considerato il rateo di trasformazione che avviene normalmente in atmosfera da monossido a biossido di azoto, confrontando quindi direttamente le concentrazioni di  $\text{NO}_x$  risultanti dalla modellizzazione con l' $\text{NO}_2$  previsto dalla normativa.

Le distribuzioni delle concentrazioni medie annue di ossidi di azoto per il 2016 e il 2022 sono riportate, rispettivamente, in Figura A16 e Figura A17; per agevolare il confronto fra gli anni, in Figura A18 è illustrata la mappa delle concentrazioni medie annue di ossidi di azoto per il 2019 (Report 12), realizzata utilizzando la stessa scala colore adottata per 2016 e 2022. Il valore limite annuo previsto dalla legislazione vigente per il biossido di azoto è pari a  $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Le mappe delle concentrazioni medie annue presentano:

- nel 2016 un massimo di ricaduta pari a  $0.25 \mu\text{g}/\text{m}^3$  collocato nella zona a sud – ovest dell'impianto, a circa 2 km dallo stesso;
- nel 2019 un massimo di ricaduta pari a  $0.32 \mu\text{g}/\text{m}^3$  collocato nella zona a sud – ovest dell'impianto, a circa 2 km dallo stesso;
- nel 2022 un massimo di ricaduta pari a  $0.62 \mu\text{g}/\text{m}^3$  a circa 1.5 km a sud – ovest dell'impianto.

La distribuzione del 99.79° percentile delle medie orarie (ovvero il valore che può venire al massimo superato in 18 ore all'anno) è illustrata nella Figura A19 (anno 2016) e nella Figura A20 (anno 2022); in Figura A21 viene riportata la distribuzione di questo indicatore calcolata per il 2019 (Report 12). Il valore limite per il 99.79° percentile delle medie orarie è pari a 200  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Nelle mappe delle distribuzioni del 99.79° percentile si osserva:

- nel 2016 un massimo pari a 11.2  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  collocato a breve distanza dall'impianto in direzione nord - est;
- nel 2019 un massimo pari a 15.9  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  collocato a circa 1 km a nord -est dell'impianto;
- nel 2022 un massimo pari a 18.8  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  a sud - ovest dell'impianto, a breve distanza dallo stesso.

Le mappe di concentrazione delle massime medie orarie per gli ossidi di azoto sono illustrate in Figura A22 (anno 2016) e Figura A23 (anno 2022); il risultato relativo all'anno 2019 (Report 12) è riportato, con la stessa scala colori, in Figura A24.

Le concentrazioni massime orarie risultano essere:

- nel 2016 pari a 35.9  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , posizionato a poco più di 1 km a nord dell'impianto;
- nel 2019 pari a 56.6  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  situato a breve distanza a nord dell'impianto;
- nel 2022 pari a 40.5  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  a breve distanza a sud dell'impianto.

Nel corso del 2022, nonostante le emissioni più elevate, il valore massimo orario di ossidi di azoto risulta inferiore a quello dell'anno 2019; ricordando che queste mappe esprimono le concentrazioni massime che, in ogni cella di calcolo e non necessariamente nello stesso istante temporale, si sono verificate per una sola ora durante l'anno, è evidente come la distribuzione venga fortemente influenzata dalle condizioni meteorologiche associate ai singoli accadimenti.

Il contributo dell'impianto in corrispondenza delle stazioni di monitoraggio della qualità dell'aria presenti nel dominio per gli anni simulati è illustrato in Tabella 7; i valori simulati - pur rappresentando gli ossidi di azoto totali a confronto con il solo biossido di azoto - sono sempre decisamente inferiori al valore misurato presso le centraline di qualità dell'aria.

Per quanto riguarda il contributo del termovalorizzatore alle medie annue, si osserva un incremento nel corso degli anni più evidente presso le stazioni prossime all'impianto (Beinasco e Orbassano); per il 99.79° percentile delle medie orarie e le massime medie orarie, pur rimanendo su valori di uno o (più frequentemente) due ordini di grandezza rispetto alle concentrazioni misurate, l'incremento è presente in gran parte delle stazioni incluse nel dominio di calcolo.

Per quanto riguarda le concentrazioni misurate presso le centraline della qualità dell'aria, il 2022 presenta, per tutti gli indicatori, valori inferiori agli anni precedenti; tale andamento è espressione di un trend di riduzione delle concentrazioni di biossido di azoto che si sta verificando nel corso degli anni più recenti.<sup>20</sup> Tenendo conto di questa riduzione e considerando che, nel corso degli anni sono andate aumentando le emissioni di  $\text{NO}_x$  dell'impianto di termovalorizzazione, si osserva come il rapporto del contributo dell'impianto rispetto alle concentrazioni misurate presso le varie centraline sia leggermente superiore nel 2022 rispetto agli altri anni simulati. In questo senso, la richiesta di ridurre le emissioni di questo inquinante, presente nel provvedimento di riesame per il rinnovo dell'AIA per

<sup>20</sup> La qualità dell'aria in Piemonte - Rapporto 2022 - Arpa Piemonte.

l'impianto TRM di recente emanazione, va nella direzione di contenere il contributo del termovalorizzatore alle concentrazioni atmosferiche di NO<sub>x</sub>, come anche previsto dal Piano Regionale della Qualità dell'Aria (PRQA) per gli stabilimenti esistenti in fase di riesame AIA.



BIOSSIDO DI AZOTO	2016						2019						2022					
	Media annuale ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )		Massimo orario ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )		99.79° percentile medie orarie ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )		Media annuale ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )		Massimo orario ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )		99.79° percentile medie orarie ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )		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	osservato	simulato	osservato	simulato	osservato	simulato	osservato	simulato	osservato	simulato	osservato	simulato	osservato	simulato	osservato	simulato	osservato	simulato
Baldissero	12	0.01	107	1.1	78	0.1	15	0.01	100	1.8	70	0.6	10 (*)	0.02	74 (*)	3.3	41 (*)	1.4
Beinasco	41	0.07	172	6.9	138	2.9	31	0.09	205	12.4	122	4.0	27	0.17	105	20.2	95	8.3
Borgaro	30	0.04	174	4.6	161	1.6	25	0.05	129	4.0	100	2.3	22	0.05	105	7.3	93	2.7
Carmagnola	39	0.01	213	0.5	145	0.2	34	0.01	134	0.8	107	0.4	29	0.01	112	1.1	96	0.6
Chieri	19	0.01	119	1.4	100	0.3	21	0.01	108	1.2	92	0.6	18	0.01	96	2.0	79	0.7
Collegno	46	0.08	211	8.3	182	2.9	46	0.11	189	9.4	159	4.6	25	0.15	111	9.7	92	4.3
Druento	11	0.01	103	1.0	79	0.5	11	0.02	90	2.0	65	0.7	9	0.02	79	2.1	66	0.8
Leinì	24	0.04	116	3.1	95	1.7	23	0.04	118	3.3	90	2.2	22	0.05	94	4.5	83	2.7
Orbassano	32	0.12	139	6.6	112	3.0	31	0.18	140	10.8	114	4.0	25	0.32	132	10.7	101	6.8
Settimo Torinese	36	0.01	167	1.2	149	0.5	36	0.02	163	1.8	143	0.9	28	0.03	112	5.3	104	1.2
Torino - Consolata	50	0.02	183	1.9	167	0.9	53	0.03	195	3.0	147	1.4	42	0.05	152	5.5	133	2.1
Torino - Lingotto	40	0.03	213	3.2	189	1.3	37	0.05	136	3.6	110	1.7	31 (*)	0.05	93 (*)	5.2	86 (*)	2.3
Torino - Rebaudengo	70	0.02	306	1.8	221	0.8	60 (*)	0.03	269 (*)	4.6	195 (*)	1.3	48	0.05	314	4.1	149	2.3
Torino - Rubino	35	0.04	158	4.3	121	1.5	33	0.05	135	4.3	118	2.2	28	0.09	92	10.2	86	4.0
Vinovo	33	0.02	102	1.6	93	0.8	28	0.03	140	2.4	109	1.1	24	0.05	102	4.3	90	1.7

(\*) Percentuale dati validi inferiore a 90%

**Tabella 7:** Biossido di azoto: confronto osservato ( $\text{NO}_2$ ) – simulato ( $\text{NO}_x$  espresso come  $\text{NO}_2$ ) presso le stazioni del SRRQA negli anni 2016, 2019 e 2022

## Carbonio organico totale (COT)

Per il carbonio organico totale la normativa vigente non prevede un valore di riferimento, mentre è previsto un valore limite per il benzene, sostanza organica che entra nel computo del COT, pari a  $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$  come media annua.

Le mappe di concentrazione media annua sono illustrate nella Figura A25 (anno 2016) e nella Figura A26 (anno 2022); in Figura A27 viene riportata la distribuzione di questo indicatore calcolata per il 2019 (Report 12). I valori di concentrazione massima risultano essere:

- nel 2016 pari a  $0.006 \mu\text{g}/\text{m}^3$  collocato a circa 2 km a sud - sud ovest dell'impianto;
- nel 2019 pari a  $0.006 \mu\text{g}/\text{m}^3$  collocato a nord dell'impianto<sup>21</sup>;
- nel 2022 pari a  $0.009 \mu\text{g}/\text{m}^3$  a circa 1.5 km a sud - ovest dell'impianto.

Le mappe delle concentrazioni massime medie orarie sono riportate nelle Figure A28 (anno 2016), A29 (anno 2022) e A30 (anno 2019, Report 12); si evidenziano i seguenti valori massimi:

- nel 2016 pari a  $2.58 \mu\text{g}/\text{m}^3$  collocato a circa 1.6 km a nord dell'impianto;
- nel 2019 pari a  $2.71 \mu\text{g}/\text{m}^3$  a circa 2.7 km a sud - est dall'impianto;
- nel 2022 pari a  $3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , a breve distanza dall'impianto in direzione sud - ovest.

In Tabella 8 è riportato il confronto con le concentrazioni di benzene misurate presso le stazioni di qualità dell'aria della zona in termini di media annua e massima media oraria; il contributo di TRM, che considera le sostanze organiche totali prodotte dall'impianto, risulta essere molto modesto, soprattutto in termini di media annua. A livello di massime medie orarie, la concentrazione di COT maggiore è stimata a Beinasco, con valori comunque di circa 4 volte inferiori a quelle massime del solo benzene.

---

<sup>21</sup> Nel Report 12, a causa di un refuso, era stata erroneamente indicata la direzione sud - ovest

CARBONIO ORGANICO TOTALE e BENZENE	2016				2019				2022			
	Media annuale ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )		Massimo orario ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )		Media annuale ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )		Massimo orario ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )		Media annuale ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )		Massimo orario ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	
	osservato	simulato	osservato	simulato	osservato	simulato	osservato	simulato	osservato	simulato	osservato	simulato
Stazione	benzene	COT	benzene	COT	benzene	COT	benzene	COT	benzene	COT	benzene	COT
Beinasco	1.3	0.0016	15.8	0.54	1.0 (*)	0.0017	12.7 (*)	0.56	0.9	0.0025	6.2	1.65
Borgaro	1.2	0.0010	10.9	0.78	1.0	0.0009	8.2	0.23	1.0	0.0007	7.9	0.11
Settimo Torinese	2.1	0.0002	15.2	0.14	1.1	0.0003	8.1	0.04	1.0	0.0004	7.4	0.12
Torino - Consolata	1.8	0.0004	15.4	0.14	1.2 (*)	0.0005	8.3 (*)	0.13	1.0	0.0007	6.7	0.11
Torino - Lingotto	1.1 (*)	0.0007	10.7	0.25	0.9 (*)	0.0008	6.8 (*)	0.29	1.0 (*)	0.0007	9.5 (*)	0.15
Torino - Rebaudengo	2.1	0.0003	17.1	0.06	1.8 (*)	0.0005	11.0 (*)	0.07	1.3 (*)	0.0008	11.3 (*)	0.27
Torino - Rubino	1.6	0.0009	8.5	0.50	1.0	0.0009	6.7	0.29	0.8	0.0012	6.4	0.23
Vinovo	1.4	0.0004	10.5	0.16	1.0	0.0006	7.8	0.26	0.9	0.0007	8.3	0.26

(\*) Percentuale dati validi inferiore a 90%

**Tabella 8:** Carbonio organico totale: confronto simulato con benzene osservato presso le stazioni del SRRQA negli anni 2016, 2019 e 2022

## 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 mg/m<sup>3</sup>. Il contributo per questo indicatore associato alle emissioni del termovalorizzatore TRM negli anni di simulazione è illustrato in Figura A31 per l'anno 2016 e Figura A32 per l'anno 2022; in Figura A33 è riportata la mappa relativa alle simulazioni sul 2019 (Report 12).

I valori massimi stimati per questo indicatore risultano essere di circa quattro ordini di grandezza inferiori al valore limite previsto dalla normativa sulla qualità dell'aria; in particolare:

- nel 2016 pari a 0.002 µg/m<sup>3</sup> collocato a circa 1.5 km a sud - ovest dell'impianto;
- nel 2019 pari a 0.003 mg/m<sup>3</sup>, localizzata a breve distanza dall'impianto, in direzione ovest - sud ovest;
- nel 2022 pari a 0.005 mg/m<sup>3</sup>, a poche centinaia di m dall'impianto in direzione nord.

Il confronto con le concentrazioni misurate presso le stazioni di monitoraggio della qualità dell'aria, riportato in Tabella 9, mostra un contributo del termovalorizzatore di quattro ordini di grandezza inferiore rispetto ai valori osservati.

MONOSSIDO DI CARBONIO	2016		2019		2022	
	Massimo media su 8h (mg/m <sup>3</sup> )		Massimo media su 8h (mg/m <sup>3</sup> )		Massimo media su 8h (mg/m <sup>3</sup> )	
Stazione	osservato	simulato	osservato	simulato	osservato	simulato
Baldissero	1.1	0.0002	1.2	0.0001	1.2	0.0003
Leinì	1.9	0.0007	2.1	0.0005	1.7	0.0004
Torino - Consolata	3.3	0.0001	2.8 (*)	0.0002	3.0	0.0004
Torino - Rebaudengo	3.6	0.0001	2.1	0.0002	2.2	0.0004

(\*) Percentuale dati validi inferiore a 90%

**Tabella 9:** Monossido di carbonio: confronto osservato – simulato presso le stazioni del SRRQA negli anni 2016, 2019 e 2022

## Particolato PM10 (primario) in aria e nelle deposizioni

Per questo inquinante va ricordato innanzitutto che il modello SPRAY simula unicamente il contributo del particolato primario; per la valutazione complessiva del particolato PM10 (componenti primaria e secondaria) dovuto al termovalorizzatore si rimanda ai risultati che si sono ottenuti a seguito dei run eseguiti sull'anno 2019 con il modello CTM FARM (Report 18).

A differenza di altri inquinanti e per gli anni simulati, le emissioni del particolato PM10 primario si sono ridotte a partire dal 2016, con una progressiva diminuzione delle concentrazioni massime attese, comunque sempre estremamente contenute.

Le mappe di ricaduta delle concentrazioni medie annue di particolato PM10 primario associate al funzionamento del termovalorizzatore per gli anni 2016 e 2022 sono riportate

nelle Figure A34 ed A35; in Figura A36 è illustrata la corrispondente mappa per il 2019 (Report 12). I valori massimi delle medie annue risultano essere:

- nel 2016 pari a  $0.0028 \mu\text{g}/\text{m}^3$  collocato a circa 2 km a sud - ovest dell'impianto;
- nel 2019 pari a  $0.0017 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , posizionato in direzione sud - ovest a circa 2 km dall'impianto;
- nel 2022 pari a  $0.0016 \mu\text{g}/\text{m}^3$  a circa 1.7 km in direzione sud - ovest dalla sorgente.

Il valore limite per questo indicatore<sup>22</sup> è pari a  $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Nel caso del 90.4° percentile delle medie giornaliere (il cui valore limite è pari a  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  da non superarsi per più di 35 volte all'anno), le ricadute del modello sono riportate nelle figure A37 ed A38, rispettivamente per gli anni 2016 e 2022; in Figura A39 è illustrata la mappa di concentrazioni per l'anno 2019 (Report 12).

Le concentrazioni massime per il 90.4° percentile risultano:

- nel 2016 pari a  $0.006 \mu\text{g}/\text{m}^3$  collocato a circa 3 km a sud - ovest dell'impianto;
- nel 2019 pari a  $0.004 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , posizionata a poche centinaia di metri in direzione sud - ovest dall'impianto;
- nel 2022 pari a  $0.005 \mu\text{g}/\text{m}^3$  a circa 3 km a sud - ovest dell'impianto.

La distribuzione delle concentrazioni medie massime giornaliere è descritta per l'anno 2016 in Figura A40, per l'anno 2022 in Figura A41; i risultati sul 2019 (Report 12) sono illustrati in Figura A42. Le concentrazioni medie massime giornaliere stimate dal modello sono:

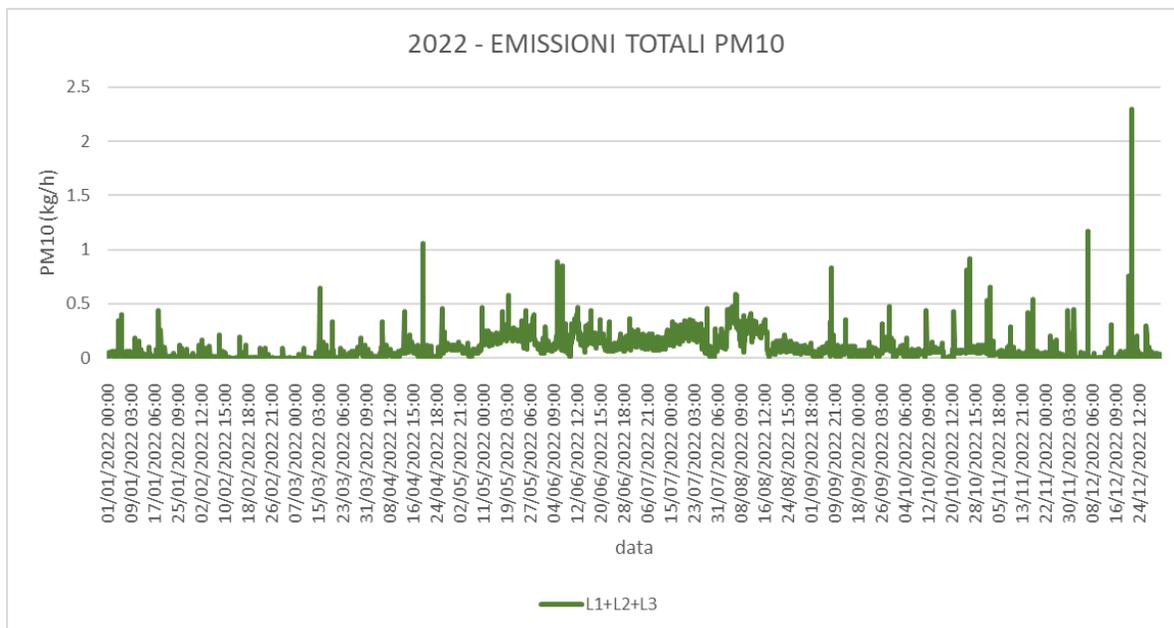
- nel 2016 pari a  $0.034 \mu\text{g}/\text{m}^3$  nelle immediate vicinanze dell'impianto;
- nel 2019 pari a  $0.031 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , posizionata a circa 2 km dall'impianto in direzione nord;
- nel 2022 pari a  $0.05 \mu\text{g}/\text{m}^3$  a circa 7 km a nord - est dell'impianto.

Quest'ultimo dato, limitato peraltro ad una sola cella del dominio di calcolo, sembra essere in controtendenza con quanto atteso a seguito della riduzione delle emissioni di PM10 primario nel 2022 rispetto al 2016. A seguito di approfondimento, è emerso che il valore massimo si è verificato nella giornata del 20 dicembre 2022. Analizzando le emissioni totali di PM10 del termovalorizzatore non emergono particolari criticità nella giornata in esame, come illustrato nel grafico di Figura 13: si osserva infatti come picchi emissivi simili o più elevati si siano verificati anche in altri periodi dell'anno.

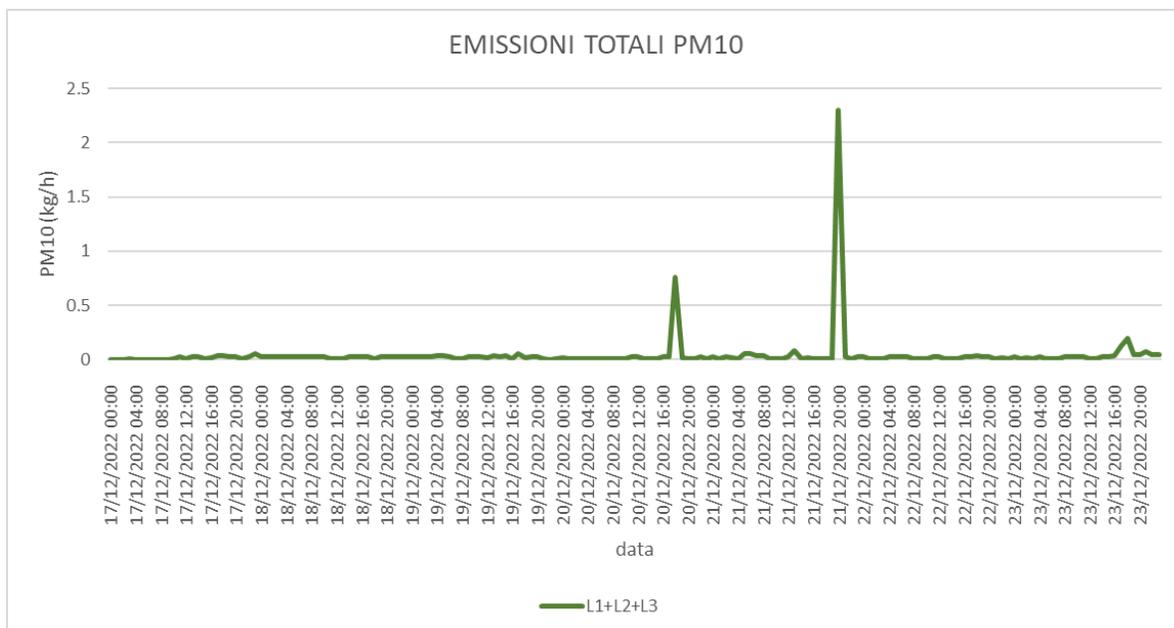
In particolare, come evidenziato nel dettaglio di Figura 14, la giornata successiva del 21 dicembre 2022 è caratterizzata dal maggior valore emissivo di tutto l'anno senza che a questo corrispondano ricadute al suolo di particolare rilievo, come si può constatare osservando le mappe riportate in Figura 15 che confrontano le concentrazioni medie giornaliere del 20 e del 21 dicembre 2022. Se ne può quindi dedurre che nel corso della giornata del 20 dicembre 2022, in corrispondenza di un picco emissivo non particolarmente elevato, si siano verificate condizioni meteorologiche sfavorevoli alla dispersione degli inquinanti emessi dall'impianto, che hanno dato luogo al picco di concentrazione - peraltro assolutamente modesto - localizzato in una cella a nord -est dell'impianto di termovalorizzazione.

In Tabella 10 sono riportati i confronti osservato (che tiene conto delle componenti primaria e secondaria) - simulato presso le stazioni di monitoraggio della qualità dell'aria; anche in questo caso le concentrazioni simulate sono estremamente modeste rispetto ai valori misurati.

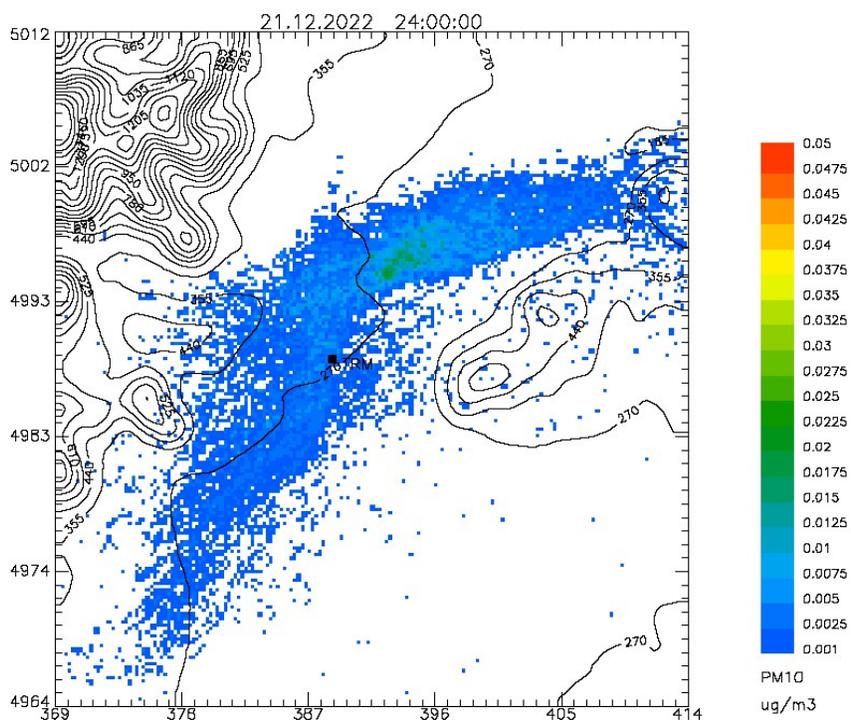
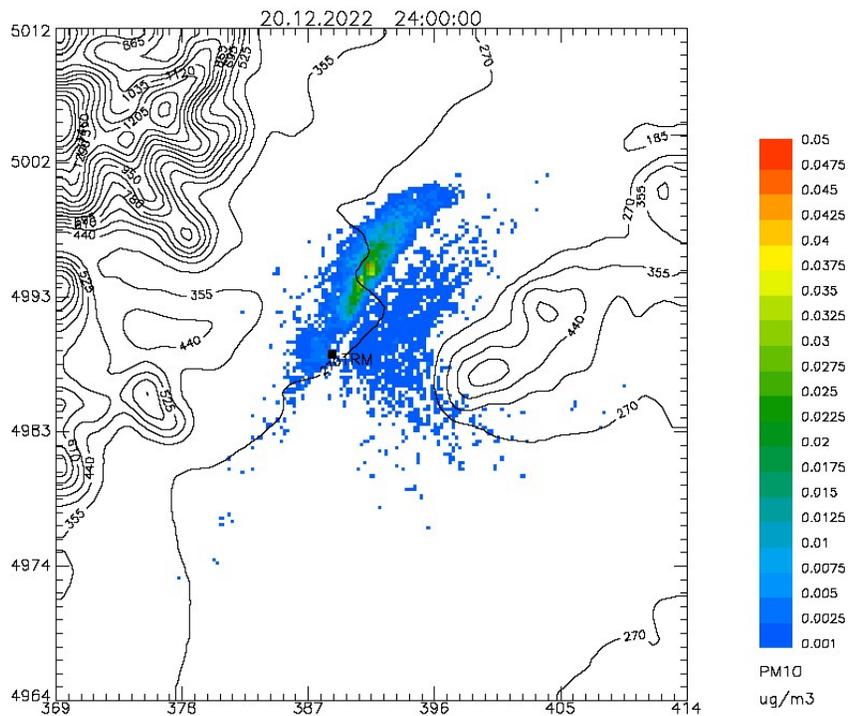
<sup>22</sup> I valori limite per il particolato PM10 si riferiscono al contributo delle componenti primaria e secondaria.



**Figura 13:** Emissioni totali di PM10 primario nell'anno 2022



**Figura 14:** Emissioni totali di PM10 primario nel periodo dal 17 al 23 dicembre 2022



**Figura 15:** PM10 primario: concentrazioni medie giornaliere per le giornate del 20 dicembre 2022 (sopra) e del 21 dicembre 2022 (sotto)

PM10	2016						2019						2022					
	Media annuale ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )		Massimo giornaliero ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )		90.4° percentile medie giornaliere ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )		Media annuale ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )		Massimo giornaliero ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )		90.4° percentile medie giornaliere ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )		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	osservato	simulato	osservato	simulato	osservato	simulato	osservato	simulato	osservato	simulato	osservato	simulato
Baldissero	14	0.0001	51	0.002	23	0.0002	18 (*)	0.0001	57 (*)	0.001	30 (*)	0.0002	18 (*)	0.0001	79 (*)	0.004	34 (*)	0.0001
Beinasco	29	0.0008	111	0.007	60	0.0022	27	0.0005	93	0.007	55	0.0012	29	0.0004	90	0.008	53	0.0011
Borgaro	31	0.0004	115	0.006	62	0.0010	26 (*)	0.0002	86 (*)	0.005	50 (*)	0.0008	31	0.0001	78	0.002	52	0.0003
Carmagnola	37	0.0001	125	0.001	70	0.0002	35	0.0000	104	0.001	65	0.0002	37	0.0000	97	0.001	65	0.0001
Chieri	-	0.0001	-	0.001	-	0.0002	-	0.0001	-	0.002	-	0.0002	31	0.0000	94	0.001	54	0.0001
Collegno	32	0.0009	125	0.012	65	0.0024	30	0.0006	105	0.019	60	0.0017	36	0.0003	99	0.006	64	0.0009
Druento	21	0.0001	82	0.002	43	0.0004	19	0.0001	93	0.002	36	0.0003	21	0.0000	67	0.001	36	0.0002
Leinì	30	0.0003	119	0.005	66	0.0010	27	0.0002	90	0.006	54	0.0007	27	0.0001	88	0.002	51	0.0002
Settimo Torinese	35	0.0001	134	0.001	75	0.0004	34	0.0001	117	0.001	74	0.0003	35	0.0000	108	0.003	65	0.0001
Torino - Consolata	35	0.0002	130	0.002	74	0.0006	28	0.0001	100	0.002	59	0.0004	33 (*)	0.0001	104 (*)	0.002	57 (*)	0.0003
Torino - Grassi	42	0.0004	127	0.004	81	0.0010	38	0.0003	127	0.004	73	0.0011	40	0.0001	112	0.009	72	0.0004
Torino - Lingotto	34	0.0003	128	0.004	73	0.0009	27	0.0002	91	0.002	57	0.0007	28 (*)	0.0001	92 (*)	0.004	52 (*)	0.0004
Torino - Rebaudengo	37	0.0002	121	0.002	80	0.0006	34	0.0001	115	0.002	68	0.0004	37	0.0001	98	0.005	66	0.0002
Torino - Rubino	32	0.0004	127	0.005	70	0.0012	28	0.0003	96	0.004	57	0.0007	32	0.0002	99	0.004	61	0.0006

(\*) Percentuale dati validi inferiore a 90%

**Tabella 10:** Particolato PM10: confronto osservato – simulato presso le stazioni del SRRQA negli anni 2016, 2019 e 2022

Nelle Figure A43 e A44 sono riportate le mappe delle deposizioni totali (secche e umide) per il particolato PM10 negli anni 2016 e 2022; in Figura A45 è illustrata la mappa per la simulazione sull'anno 2019 (Report 12).

La deposizione massima media annua si colloca, per tutti gli anni, nella cella di calcolo adiacente al camino del termovalorizzatore. Valori elevati di deposizione in corrispondenza del camino sono attribuibili all'effetto di dilavamento delle precipitazioni atmosferiche che agiscono sul punto di emissione, ovvero dove il pennacchio è caratterizzato dalle concentrazioni più elevate; tale effetto si attenua significativamente già nelle celle limitrofe a quella per la quale si prevede il valore massimo e, comunque, rapidamente allontanandosi dalla sorgente.

I valori calcolati dal modello sono:

- anno 2016 massimo pari a 8.49  $\mu\text{g}/\text{m}^2\text{d}$ ;
- anno 2019 pari a 6.31  $\mu\text{g}/\text{m}^2\text{d}$ ;
- anno 2022 pari a 3.93  $\mu\text{g}/\text{m}^2\text{d}$ .

### **Particolato PM2.5 (primario) in aria e nelle deposizioni**

Anche nel caso del particolato PM2.5 valgono le considerazioni fatte per il particolato PM10, relativamente al fatto che la modellizzazione condotta con SPRAY stima unicamente le ricadute della componente primaria.

Le mappe di ricaduta delle concentrazioni medie annue di particolato PM2.5 primario sono riportate in Figura A46 per l'anno 2016 e in Figura A47 per il 2022; in Figura A48 sono illustrati i risultati per l'anno 2019 (Report 12). I valori massimi evidenziati risultano:

- nel 2016 pari a 0.0022  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , a circa 2 km dall'impianto in direzione sud -ovest;
- nel 2019 pari a 0.0014  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , posizionato a circa 2 km in direzione sud - ovest rispetto all'impianto;
- nel 2022 pari a 0.0013  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  a circa 2 km dalla sorgente, in direzione sud - ovest.

Per questo indicatore la normativa prevede un valore pari a 25  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ <sup>23</sup>.

Nella Tabella 11 è riportato il confronto fra misurato (componenti primaria e secondaria) e simulato in corrispondenza delle stazioni del SRRQA per i tre anni di simulazione; anche in questo caso il contributo dell'impianto alla frazione primaria del PM2.5 misurato è estremamente limitato.

Nelle Figure dalla A49 alla A51 sono riportate la mappa delle deposizioni totali (secche e umide) per il particolato PM2.5 rispettivamente per gli anni 2016, 2022 e 2019 (Report 12); i valori di deposizione massima media annua si ottengono in prossimità del camino del termovalorizzatore, con i seguenti valori:

- 3.6  $\mu\text{g}/\text{m}^2\text{d}$  nel 2016;
- 2.6  $\mu\text{g}/\text{m}^2\text{d}$  nel 2019;
- 1.7  $\mu\text{g}/\text{m}^2\text{d}$  nel 2022.

<sup>23</sup> Anche nel caso del particolato PM2.5 il valore limite della normativa si riferisce al contributo delle componenti primaria e secondaria.

PM2.5	2016		2019		2022	
	Media annuale ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )		Media annuale ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )		Media annuale ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	
Stazione	osservato	simulato	osservato	simulato	osservato	simulato
Beinasco	23	0.00060	20	0.00036	19	0.00031
Borgaro	23	0.00030	19	0.00019	21	0.00007
Chieri	22	0.00004	20	0.00004	22	0.00002
Leinì	24	0.00028	20 (*)	0.00017	16	0.00006
Settimo Torinese	26	0.00009	22	0.00007	24	0.00004
Torino - Lingotto	23	0.00023	19	0.00018	21 (*)	0.00010
Torino - Rebaudengo	29 (*)	0.00015	25 (*)	0.00011	23	0.00008
Torino - Rubino	23 (*)	0.00033	20	0.00020	20 (*)	0.00015

(\*) Percentuale dati validi inferiore a 90%

**Tabella 11:** Particolato PM2.5: confronto osservato – simulato presso le stazioni del SRRQA negli anni 2016, 2019 e 2022

## Ammoniaca (NH<sub>3</sub>)

La normativa sulla qualità dell'aria non prevede un valore limite per questo inquinante. Sono state pertanto elaborate le mappe relative alle concentrazioni medie annue e massima media oraria.

Le distribuzioni delle medie annue sono illustrate nelle Figure A52 (anno 2016) e A53 (anno 2022); nella Figura A54 è riportato il risultato relativo all'anno 2019 (Report 12). I valori massimi stimati dal modello risultano molto bassi, in particolare:

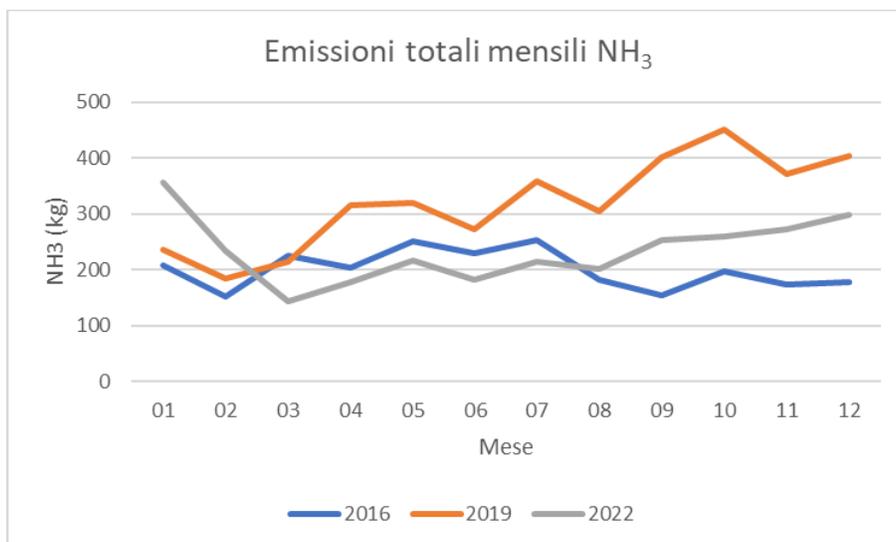
- 0.008  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  nel 2016, situato a circa 2 km a sud – ovest dell'impianto;
- 0.008  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  nel 2019, a circa 2 km a sud – ovest della sorgente;
- 0.01  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  nel 2022, posizionato a circa 1.5 km a sud – ovest del termovalorizzatore.

Il confronto delle mappe di distribuzione (con i relativi massimi) delle medie annuali può, a prima vista, sembrare poco coerente con l'andamento delle emissioni di ammoniaca dell'impianto nei tre anni considerati; infatti le emissioni totali annuali maggiori risultano quelle del 2019, mentre le emissioni del 2022 superano di poco quelle del 2016.

La spiegazione può trovare riscontro nella distribuzione delle emissioni e nelle caratteristiche meteodispersive nel corso delle singole annualità. Il maggior numero di giorni critici per la dispersione degli inquinanti in atmosfera che caratterizzano il 2022 (125) rispetto al 2019 (96) potrebbe già far ipotizzare un incremento delle concentrazioni medie annue di ammoniaca attese nel 2022 rispetto a quelle del 2019, nonostante le minori emissioni totali su base annua.

Analizzando i totali mensili delle emissioni di ammoniaca riportati in Figura 16, si osserva come nel 2022 i valori più elevati siano distribuiti nei mesi invernali, in particolare nel mese

di gennaio, nel 2016 i valori maggiori siano collocati nel periodo primaverile – estivo, mentre nel 2019 le emissioni totali mensili siano molto basse nel primo trimestre, quindi salgano per raggiungere il massimo a ottobre. Ricordando l'andamento dei giorni critici nel corso delle tre annualità (Figura 12) emerge come le condizioni meteorologiche sfavorevoli, in particolare di mesi quali gennaio e ottobre 2022, combinati con le maggiori emissioni di  $\text{NH}_3$ , possano avere apportato un contributo significativo alle concentrazioni medie di quell'anno.

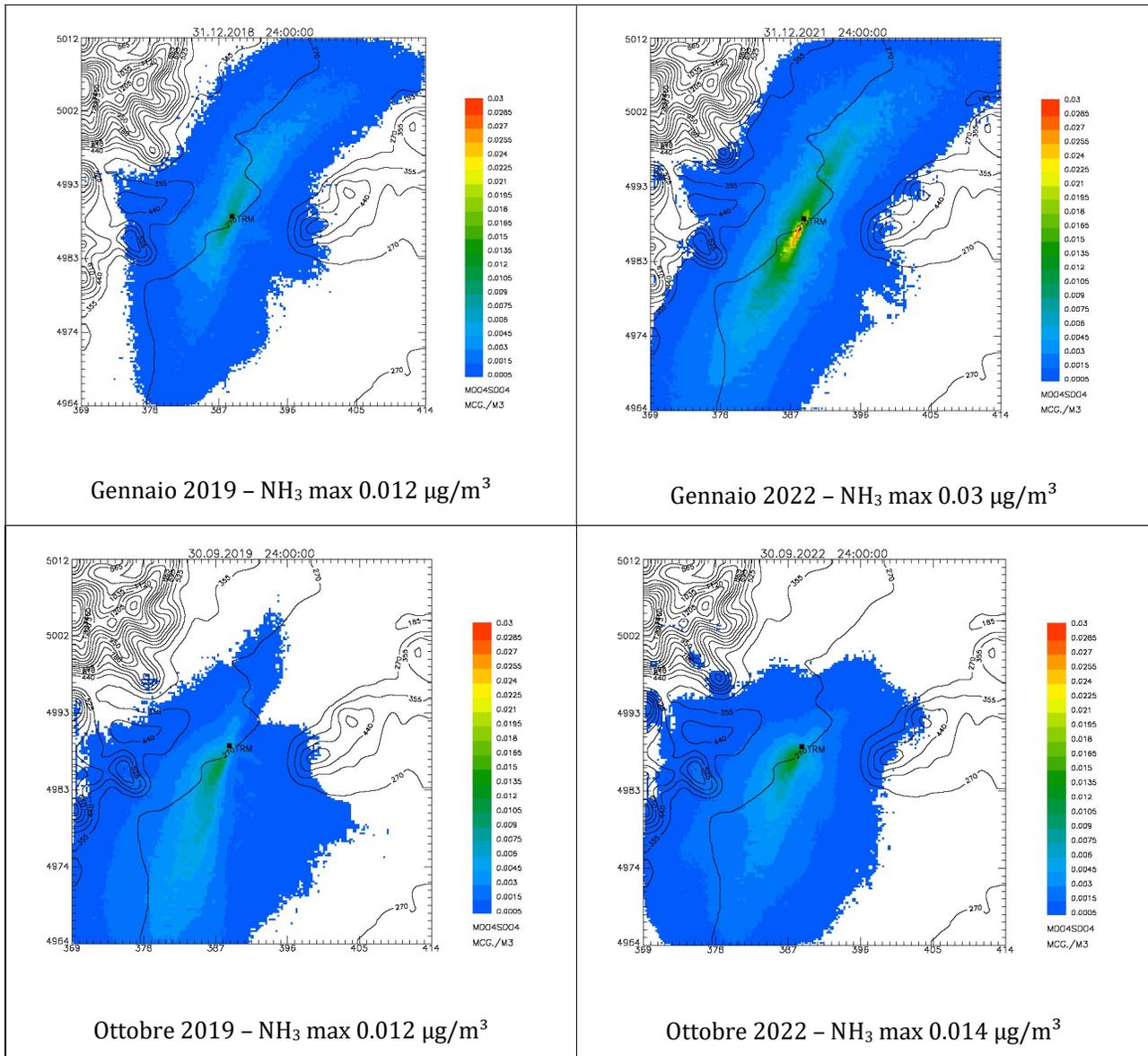


**Figura 16:** Emissioni ammoniache: totali mensili negli anni 2016, 2019 e 2022

Esaminando le mappe delle concentrazioni medie mensili di ammoniaca dei due anni, appare chiaramente l'influenza delle condizioni dispersive. In Figura 17 sono riportate le mappe delle concentrazioni medie di ammoniaca relative ai mesi di gennaio e ottobre per i due anni 2019 e 2022, con i relativi valori massimi. Il mese di gennaio 2022, pur con un'emissione totale di ammoniaca inferiore (357 kg) presenta concentrazioni medie superiori al mese di ottobre 2019, caratterizzato da emissioni superiori (450 kg) ma condizioni meteorologiche più favorevoli alla dispersione. Allo stesso modo, le concentrazioni medie dei due mesi di ottobre sono confrontabili, ma nel 2022 le emissioni sono inferiori (260 kg) al corrispondente mese del 2019 (450 kg) ed il numero di giorni critici è più che doppio rispetto a quello di ottobre 2019. Infine, i mesi di gennaio e ottobre 2019 hanno concentrazioni medie simili, ma a gennaio il numero di giorni critici è molto più elevato e le emissioni sono circa la metà di quelle di ottobre.

Le distribuzioni delle concentrazioni massime medie orarie sono illustrate nelle Figure A55 (2016) e A56 (2022); in Figura A57 si riportano i risultati relativi all'anno 2019 (Report 12). I valori massimi per i rispettivi anni sono:

- 0.63  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  nel 2016, posizionato nella cella di calcolo attigua alla sorgente;
- 1.24  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  nel 2019, prevista nelle immediate vicinanze dell'impianto in direzione ovest – sud ovest;
- 0.95  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  nel 2022, in direzione sud – ovest a poco meno di 1 km dal termovalorizzatore.



**Figura 17:** Concentrazioni medie mensili di ammoniaca: mesi di gennaio e ottobre 2019 e 2022

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 modesto contributo dell'impianto rispetto ai dati misurati è illustrato in Tabella 12.

AMMONIACA	2016				2019				2022			
	Media annuale ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )		Massimo orario ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )		Media annuale ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )		Massimo orario ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )		Media annuale ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )		Massimo orario ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	
	Stazione	osservato	simulato	osservato	simulato	osservato	simulato	osservato	simulato	osservato	simulato	osservato
Torino - Lingotto	-	0.001	-	0.08	15	0.001	81	0.11	13	0.001	88	0.09

**Tabella 12:** Ammoniaca: confronto osservato – simulato presso le stazioni del SRRQA negli anni 2016, 2019 e 2022

## Acido cloridrico (HCl)

La normativa sulla qualità dell'aria non prevede un valore limite per questo inquinante. Sono state pertanto elaborate le mappe relative alle concentrazioni medie annue (Figura A58 per il 2016 e Figura A59 per il 2022; in Figura A60 è riportata, con la stessa scala colore, la mappa relativa al 2019 elaborata nel Report 12) e alle massime medie orarie (Figura A62 per il 2016, Figura A63 per il 2022; i risultati della simulazione sul 2019 sono riportati in Figura A64).

La concentrazione massima media annua stimata da SPRAY è pari a:

- 0.013  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , a circa 2 km a sud - ovest dalla sorgente per il 2016;
- 0.015  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , a circa 2 km in direzione sud - ovest dal termovalorizzatore per il 2019;
- 0.027  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , a circa 1.5 km a sud - ovest dell'impianto per il 2022.

La concentrazione massima media oraria calcolata dal modello, collocata per tutti gli anni a breve distanza dalla sorgente, è pari a:

- 1.07  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  in direzione nord, per il 2016;
- 2.32  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  in direzione nord, per il 2019;
- 1.97  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  in direzione ovest, per il 2022.

La concentrazione massima media oraria stimata nel 2022 risulta di poco inferiore a quella ottenuta nel 2019, nonostante le emissioni di HCl siano di poco maggiori nell'anno più recente. Il fatto è spiegabile tenendo conto che l'indicatore rappresenta un valore verificatosi - in ogni differente cella - per una sola ora durante l'anno, in presenza di condizioni emissive e meteorologiche non coincidenti nelle diverse annualità.

L'inquinante non viene monitorato dalle stazioni della qualità dell'aria.

## Acido fluoridrico (HF)

La normativa sulla qualità dell'aria non prevede un valore limite per questo inquinante. Sono state pertanto elaborate le mappe relative alle concentrazioni medie annue e massima media oraria.

Le mappe riguardanti le distribuzioni medie annue sono riportate nelle Figure A64 per l'anno 2016 e A65 per l'anno 2022, realizzate con scale colori differenti in modo tale da permetterne una migliore visualizzazione. In particolare, l'anno 2016 è rappresentato con scala colore coincidente con quella utilizzata per la simulazione sul 2019 (Report 12), inserita nell'allegato in Figura A66, mentre l'anno 2022 ha una scala colori a sé stante.

La concentrazione massima media annua per HF stimata da SPRAY è pari a:

- 0.00003  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , a circa 2 km a nord -est dalla sorgente nel 2016;
- 0.0004  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , a circa 1 km in direzione nord dal termovalorizzatore per il 2019;
- 0.0032  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , a circa 1.5 km a sud - ovest dell'impianto per il 2022.

Le mappe che illustrano la distribuzione delle massime medie orarie sono riportate in Figura A67 per il 2016 e Figura A68 per il 2022; in Figura A69 è inserita la mappa relativa all'anno 2019 (elaborazioni Report 12). I valori massimi medi orari sono pari a:

- 0.08  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  nel 2016, posizionato circa 3 km a nord del termovalorizzatore;
- 0.17  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  nel 2019, in direzione nord - nord est a poche centinaia di metri dall'impianto;
- 0.2  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  nel 2022, nella cella adiacente alla sorgente.

Nonostante la differenza in termini emissivi fra l'anno 2019 e il 2022, la concentrazione massima oraria del 2022 risulta solo di poco superiore a quella del 2019. Anche in questo caso valgono le considerazioni riportate per le massime medie orarie di acido cloridrico.

L'inquinante non viene monitorato dalle stazioni della qualità dell'aria.

## Mercurio (Hg) in aria e nelle deposizioni

Anche per questo inquinante non sono previsti valori limite per quanto riguarda la qualità dell'aria.

Come illustrato nel paragrafo "Simulazioni dispersive", i risultati della modellizzazione esprimono le seguenti ipotesi:

- permanenza totale del mercurio in atmosfera senza attivarne la deposizione (CASO 1);
- il mercurio viene veicolato dal particolato PM10 e ne subisce l'analogo processo di deposizione (CASO 2).

Le concentrazioni in atmosfera relative al CASO 1 sono riportate nelle Figure dalla A70 alla A78. Le concentrazioni annue di Hg in atmosfera presentano i seguenti valori massimi:

- 0.11  $\text{ng}/\text{m}^3$  nel 2016 (Figura A70), posizionato a circa 1 km a nord della sorgente;
- 0.074  $\text{ng}/\text{m}^3$  nel 2019 (Figura A72, ripresa dal Report 12), a circa 2 km in direzione sud - ovest rispetto all'impianto;
- 0.017  $\text{ng}/\text{m}^3$  nel 2022 (Figura A71), a circa 1.8 km a sud - ovest del termovalorizzatore.

Per le concentrazioni massime medie giornaliere il modello stima i seguenti valori massimi:

- 2.89  $\text{ng}/\text{m}^3$  nel 2016 (Figura A73), a circa 1 km a nord - ovest di TRM;
- 2.3  $\text{ng}/\text{m}^3$  nel 2019 (Figura A75, ripresa dal Report 12), a poche centinaia di metri a nord dell'impianto;
- 0.32  $\text{ng}/\text{m}^3$  nel 2022 (Figura A74), a circa 2.8 km a sud - sud ovest della sorgente.

Le concentrazioni massime medie orarie presentano i seguenti valori massimi:

- 21.9  $\text{ng}/\text{m}^3$  nel 2016 (Figura A76), a poche centinaia di metri a nord - nord ovest dell'impianto;
- 20.5  $\text{ng}/\text{m}^3$  nel 2019 (Figura A78), stimata in direzione est - nord est a meno di 1 km dalla sorgente;
- 3.7  $\text{ng}/\text{m}^3$  nel 2022 (Figura A77), a circa 4 km in direzione sud - sud ovest rispetto al camino.

Per il CASO 2, tutte le concentrazioni di mercurio in aria risultano inferiori, a parità di indicatore, rispetto al CASO 1, a causa dell'attivazione delle deposizioni per il mercurio sul

particolato PM10; le mappe di concentrazione per gli indicatori esaminati sono riportate nelle Figure dalla A79 alla A90.

Le concentrazioni annue di Hg in atmosfera presentano i seguenti valori massimi:

- 0.01 ng/m<sup>3</sup> nel 2016 (Figura A79), posizionato a circa 1 km a nord della sorgente;
- 0.06 ng/m<sup>3</sup> nel 2019 (Figura A81, ripresa dal Report 12), a circa 2 km in direzione sud - ovest rispetto all'impianto;
- 0.015 ng/m<sup>3</sup> nel 2022 (Figura A80), a circa 2.9 km a sud - ovest del termovalorizzatore.

Per le concentrazioni massime medie giornaliere, i valori massimi calcolati dal modello sono:

- 2.45 ng/m<sup>3</sup> nel 2016 (Figura A82), a poche centinaia di metri ad ovest di TRM;
- 1.84 ng/m<sup>3</sup> nel 2019 (Figura A84, ripresa dal Report 12), a poche centinaia di metri a nord dell'impianto;
- 0.3 ng/m<sup>3</sup> nel 2022 (Figura A83), a circa 2.8 km a sud - sud ovest della sorgente.

Le concentrazioni massime medie orarie presentano i seguenti valori massimi:

- 17.7 ng/m<sup>3</sup> nel 2016 (Figura A85), a poche centinaia di metri a nord - nord ovest dell'impianto;
- 18.3 ng/m<sup>3</sup> nel 2019 (Figura A87), stimata in direzione est - nord est a circa 1 km dalla sorgente;
- 3.5 ng/m<sup>3</sup> nel 2022 (Figura A86), a circa 3 km in direzione sud - sud ovest rispetto al camino.

Le concentrazioni in aria di mercurio stimate dal modello mostrano valori maggiori e confrontabili nei due anni, fra quelli simulati, caratterizzati da emissioni maggiori (2016 e 2019); l'anno 2022 presenta concentrazioni decisamente inferiori, coerentemente con le ridotte emissioni a camino.

Nelle Tabelle 13 e 14 è illustrato il confronto fra le concentrazioni simulate nei due casi e quelle osservate negli anni 2016, 2019 e 2022 presso la stazione di monitoraggio di Beinasco; le concentrazioni stimate sono, per media annua, massima media giornaliera e massima oraria, ampiamente inferiori a quanto misurato.

Il D.Lgs. 155/200 e s.m.i. prevede la determinazione del mercurio nelle deposizioni atmosferiche, senza però fornirne valori di riferimento o limite; in tal caso è utile far riferimento alla letteratura scientifica o alla legislazione di altri Paesi. In Europa, Germania<sup>24</sup> e Croazia<sup>25</sup> hanno identificato il valore di 1000 ng/m<sup>2</sup>d come valore medio annuale per la protezione di effetti dannosi inclusi quelli di alterazione dei suoli.

Le deposizioni totali (secche e umide) medie annue relative al CASO 2 presentano valori massimi sempre posizionati in direzione sud, nella cella di calcolo più vicina alla sorgente. Come illustrato nel paragrafo relativo al particolato PM10, valori elevati di deposizione simulati in corrispondenza del camino sono attribuibili all'effetto di dilavamento delle precipitazioni atmosferiche che agiscono sul punto di emissione, ovvero dove il pennacchio è caratterizzato dalle concentrazioni più elevate; tale effetto si attenua rapidamente

<sup>24</sup> German Regulation concerning Mercury – Immission protection (Air quality control)

<sup>25</sup> Regulation on limit values of pollutants in air. Official Gazette 178/2004, the Government of the Republic of Croatia at its session on 3 November 2005. Zagreb, 3 November 2005.

allontanandosi dalla sorgente. Per tale ragione nel caso del mercurio, uno degli inquinanti di maggiore significatività emessi dal termovalorizzatore, si ritiene utile fornire anche l'indicazione del secondo valore massimo stimato dal modello di dispersione, con il relativo posizionamento.

Nel dettaglio, i valori delle deposizioni totali medie annue sono pari a:

- 1005 ng/m<sup>2</sup>d nel 2016 a ridosso del camino in direzione sud (di poco superiore al valore limite pari a 1000 ng/m<sup>2</sup>d, indicato da Germania e Croazia come valore medio annuale per la protezione di effetti dannosi), con secondo valore massimo pari a 497 ng/m<sup>3</sup>d in direzione sud a poche centinaia di m dalla sorgente (Figura A88);
- 545 ng/m<sup>2</sup>d nel 2019 a ridosso del camino in direzione sud, con secondo valore massimo pari a 310 ng/m<sup>3</sup>d in direzione sud a poche centinaia di m dalla sorgente (Figura A90, ottenuta rielaborando i risultati del Report 12 con diversa scala colore);
- 103 ng/m<sup>2</sup>d nel 2022 a ridosso del camino in direzione sud, con secondo valore massimo di 86 ng/m<sup>2</sup>d a ridosso del camino in direzione nord (Figura A89).

Nonostante le emissioni totali annuali di mercurio negli anni 2016 e 2019 siano confrontabili, il massimo delle deposizioni calcolate dal modello nel 2016 è quasi doppio rispetto al 2019: considerando che, in presenza di precipitazioni, il meccanismo di rimozione per deposizione è più efficace (il flusso di inquinante è di circa due ordini di grandezza superiore<sup>26</sup>), si può ipotizzare che l'apparente mancanza di proporzionalità fra emissioni e deposizioni stimate sia attribuibile, oltre che alle diverse caratteristiche metodologiche, alla diversa piovosità simulata nei due anni e al fatto che vi sia o meno coincidenza temporale fra picchi emissivi e precipitazioni stimate dal modello meteorologico.

Il confronto fra le deposizioni medie annuali in corrispondenza del sito di Beinasco (Tabella 15) mostra valori simulati inferiori alle misure di un ordine di grandezza nel 2016 e 2022, inferiori ma dello stesso ordine di grandezza nel 2019.

---

<sup>26</sup> Sozzi R.: "La micrometeorologia e la dispersione degli inquinanti in aria" – APAT - RTI CTN\_ACE 2003

		2016						2019						2022					
Mercurio CASO 1	Media annuale (ng/m <sup>3</sup> )		Massimo media giornaliera (ng/m <sup>3</sup> )		Massimo orario (ng/m <sup>3</sup> )		Media annuale (ng/m <sup>3</sup> )		Massimo media giornaliera (ng/m <sup>3</sup> )		Massimo orario (ng/m <sup>3</sup> )		Media annuale (ng/m <sup>3</sup> )		Massimo media giornaliera (ng/m <sup>3</sup> )		Massimo orario (ng/m <sup>3</sup> )		
	Stazione	osservato	simulato	osservato	simulato	osservato	simulato	osservato	simulato	osservato	simulato	osservato	simulato	osservato	simulato	osservato	simulato	osservato	simulato
Beinasco	2	0.031	7	0.836	28	4.54	3	0.019	9	0.377	42	1.63	4	0.005	8	0.107	10	1.33	

**Tabella 13:** Mercurio – CASO 1: confronto osservato – simulato presso le stazioni del SRRQA negli anni 2016, 2019 e 2022

		2016						2019						2022					
Mercurio CASO 2	Media annuale (ng/m <sup>3</sup> )		Massimo media giornaliera (ng/m <sup>3</sup> )		Massimo orario (ng/m <sup>3</sup> )		Media annuale (ng/m <sup>3</sup> )		Massimo media giornaliera (ng/m <sup>3</sup> )		Massimo orario (ng/m <sup>3</sup> )		Media annuale (ng/m <sup>3</sup> )		Massimo media giornaliera (ng/m <sup>3</sup> )		Massimo orario (ng/m <sup>3</sup> )		
	Stazione	osservato	simulato	osservato	simulato	osservato	simulato	osservato	simulato	osservato	simulato	osservato	simulato	osservato	simulato	osservato	simulato	osservato	simulato
Beinasco	2	0.025	7	0.684	28	3.62	3	0.015	9	0.300	42	1.38	4	0.004	8	0.090	10	1.16	

**Tabella 14:** Mercurio – CASO 2: confronto osservato – simulato presso le stazioni del SRRQA negli anni 2016, 2019 e 2022

	2016		2019		2022	
<i>Hg Deposizioni</i>	<i>Media annuale (ng/m<sup>2</sup>d)</i>		<i>Media annuale (ng/m<sup>2</sup>d)</i>		<i>Media annuale (ng/m<sup>2</sup>d)</i>	
<i>Stazione</i>	<i>osservato</i>	<i>simulato</i>	<i>osservato</i>	<i>simulato</i>	<i>osservato</i>	<i>simulato</i>
Beinasco	122	35.8	30	18.5	17	5.0

**Tabella 15:** Mercurio, deposizioni totali: confronto osservato – simulato presso le stazioni del SRRQA negli anni 2016, 2019 e 2022

Come ulteriore approfondimento, sono infine state analizzate le deposizioni di mercurio dell'anno 2016, anno nel corso del quale presso la stazione di Beinasco si sono registrati, relativamente al triennio analizzato, i valori più elevati. L'anno 2016 è stato caratterizzato dalla presenza di eventi con emissioni anomale di Hg rilevate dallo SME: tali misurazioni, pur non avendo valore fiscale<sup>27</sup>, avevano comportato in alcuni casi - come stabilito dalla Città Metropolitana di Torino - il blocco dell'alimentazione dei rifiuti. A seguito di tali accadimenti sono stati apportati dall'azienda accorgimenti tecnici finalizzati ad un maggiore controllo delle emissioni di mercurio e, come evidente per l'anno 2022, ad una significativa riduzione delle stesse.

Nel grafico di Figura 18 sono analizzate le deposizioni (espresse come media giornaliera in ng/m<sup>2</sup> d) misurate presso la stazione di Beinasco (area verde chiaro), confrontate con i valori di media giornaliera stimati dal modello (linea verde, dati aggregati sullo stesso periodo di campionamento delle deposizioni) e le emissioni di mercurio sia cumulate giornaliere delle tre linee emmissive registrate dal sistema di monitoraggio dell'impianto di termovalorizzazione (linea blu) sia le medie giornaliere sui periodi di monitoraggio dei deposimetri (linea rossa tratteggiata). Per valutare l'impatto delle precipitazioni sui dati di deposizione, nella Figura 19 le deposizioni sono confrontate con i dati di pioggia cumulata giornaliera simulata dal modello WRF nell'area dell'impianto (linea gialla) e misurati presso una delle stazioni della rete meteorografica di Arpa più prossime all'area in esame<sup>28</sup> (linea marrone tratteggiata).

L'andamento delle deposizioni simulate presso la stazione di Beinasco è coerente con le emissioni del termovalorizzatore, con valori più elevati in corrispondenza dei picchi emissivi. La differenza fra i periodi dal 11 ottobre al 8 novembre e dal 8 novembre al 15 dicembre, durante i quali le emissioni medie di ciascun periodo sono simili, può essere attribuita in parte alla distribuzione delle precipitazioni simulate da WRF: fra ottobre e novembre le piogge sono distribuite lungo il periodo di campionamento mentre fra novembre e dicembre sono concentrate in un unico episodio, con conseguente minore efficacia nell'effetto di abbattimento delle concentrazioni atmosferiche di mercurio.

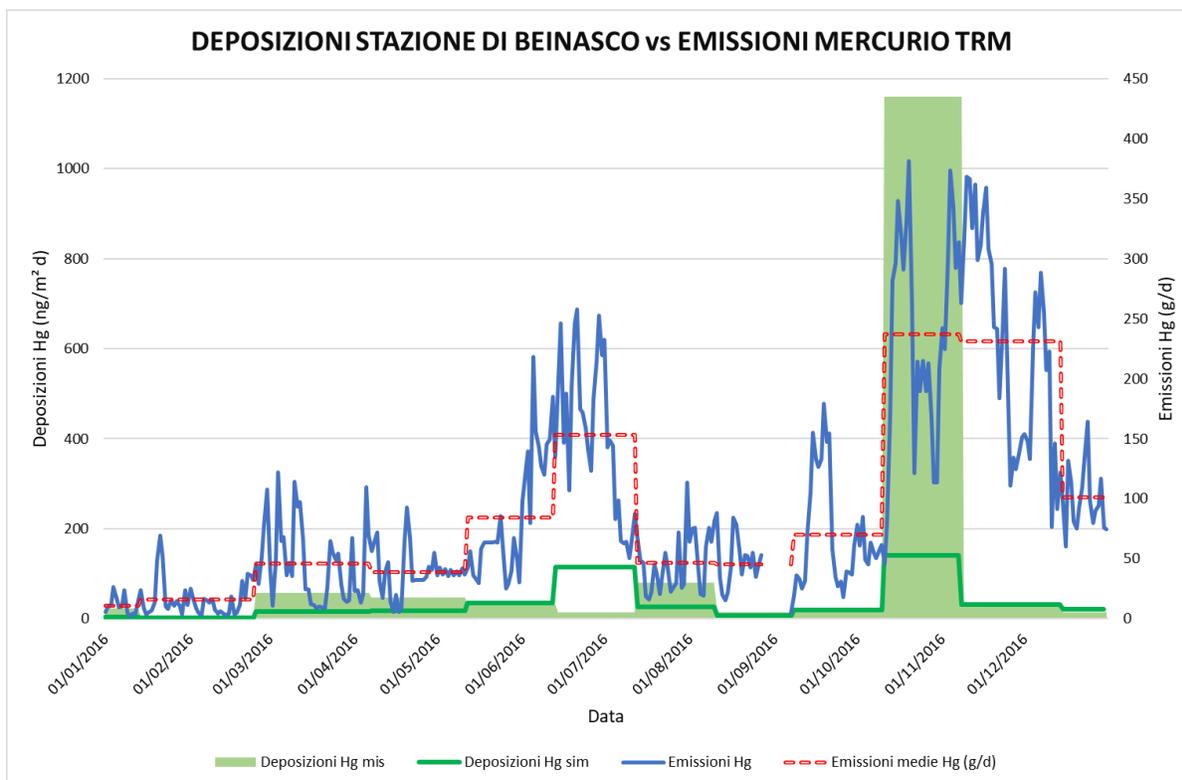
Il confronto con i flussi di deposizione misurati mostra una discreta coerenza in termini di andamento; gli scostamenti maggiori si hanno nei seguenti periodi di campionamento:

- dal 13 giugno al 13 luglio 2016: in questo periodo si verifica un incremento delle emissioni di mercurio e le deposizioni simulate appaiono coerenti con l'andamento emissivo, mentre il flusso di deposizione misurato è piuttosto basso. Dal punto di vista

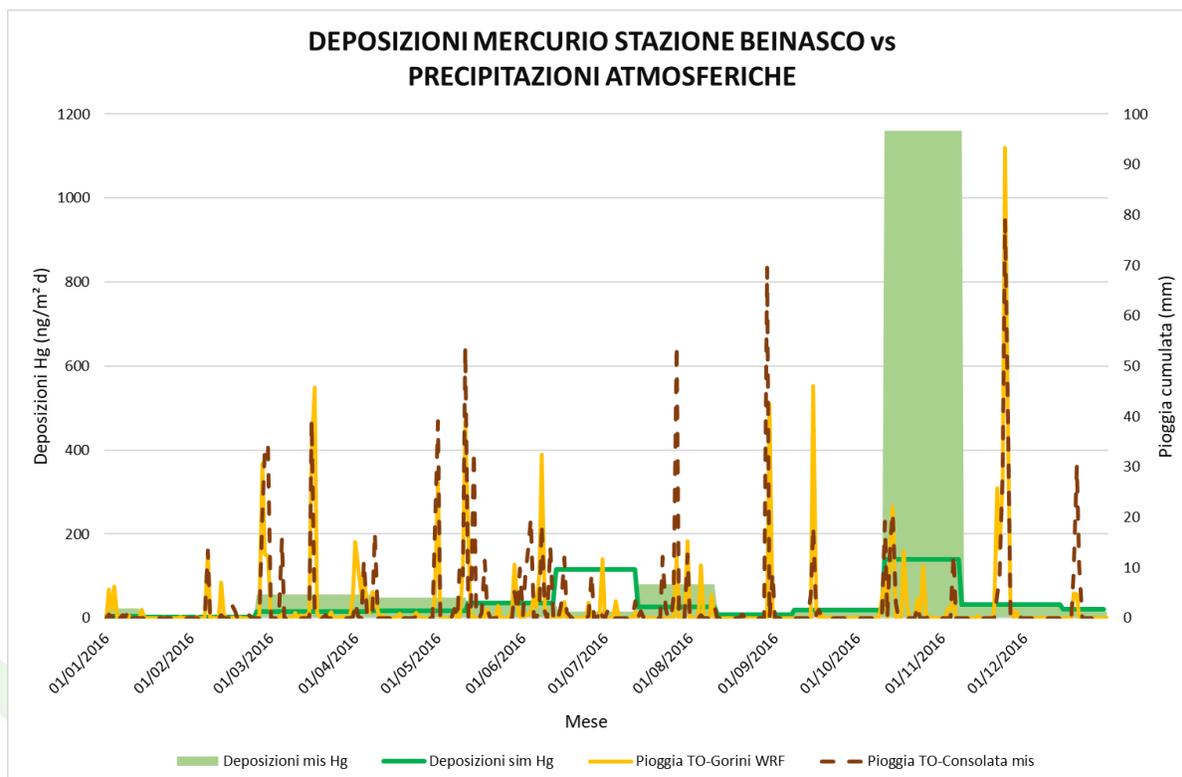
<sup>27</sup> La metodologia ufficiale prevista dalla normativa vigente prevede il campionamento discontinuo su base oraria.

<sup>28</sup> Non sono stati utilizzati per il confronto i dati di precipitazione acquisiti dalla stazione di Torino – Gorini di TRM in quanto per gran parte dell'anno 2016 i valori registrati risultavano di molto inferiori rispetto a quelli delle stazioni della rete Arpa più prossime.

quantitativo le precipitazioni cumulate simulate nell'area del termovalorizzatore e quelle misurate a Torino - Consolata sono confrontabili, ma gli eventi non sempre coincidono temporalmente;



**Figura 18:** Dati giornalieri anno 2016: Deposizioni medie di Hg misurate (area verde chiaro) e simulate (linea verde) presso la stazione di Beinasco, emissioni di Hg (linea blu)



**Figura 19:** Dati giornalieri anno 2016: Deposizioni medie di Hg misurate (area verde chiaro) e simulate (linea verde) presso la stazione di Beinasco, precipitazioni atmosferiche misurate a Torino – Consolata (tratteggio marrone) e simulate a Torino – Gorini (linea gialla)

- dal 13 luglio al 11 agosto 2016: in questo periodo le emissioni di Hg non sono particolarmente elevate e le precipitazioni cumulate misurate presso la stazione di Torino – Consolata sono maggiori (circa il doppio) di quelle stimate dal modello; la sottostima delle precipitazioni da parte del modello meteorologico unita alla differente collocazione temporale degli episodi di pioggia potrebbe avere contribuito alla differenza dei flussi di deposizione calcolati dal modello dispersivo rispetto a quelli misurati;
- dal 11 ottobre al 8 novembre 2016: in corrispondenza di tale periodo di misura si verifica un nuovo incremento delle emissioni di mercurio dal termovalorizzatore che risultano, a livello di media del periodo, le più elevate dell'anno. Le misure forniscono un valore molto elevato del flusso di deposizione a Beinasco (pari a 1160 ng/m<sup>2</sup> d, il valore più elevato registrato, a tutt'oggi, dall'avvio dell'impianto nel 2013) e anche il modello stima un incremento nelle deposizioni atmosferiche, pur senza raggiungere i valori misurati. Le precipitazioni complessive misurate a Torino – Consolata risultano circa doppie di quelle stimate dal modello nell'area prossima alla stazione di Beinasco e non sempre sono coincidenti temporalmente, ma questo non sembra poter giustificare adeguatamente la significativa differenza fra deposizioni misurate e simulate; si può ipotizzare la presenza di altri fenomeni (quali condizioni micrometeorologiche non completamente riprodotte dal modello e/o non completa descrizione dei complessi meccanismi di deposizione da parte dello stesso, eventuale presenza concomitante di altri contributi emissivi) che potrebbero essere stati responsabili di tale discrepanza.

## Cadmio e Tallio (Cd, Tl) in aria e nelle deposizioni

Il D. Lgs. 155/2010 prevede un valore obiettivo pari a 5 ng/m<sup>3</sup> per le concentrazioni di cadmio in atmosfera, determinato sul particolato PM10. Dal punto di vista del controllo delle emissioni, viene invece espressa la somma di cadmio e tallio al fine della valutazione del rispetto delle prescrizioni presenti in AIA; di conseguenza, i risultati delle simulazioni modellistiche esprimono il contributo complessivo dei due metalli.

I valori massimi delle concentrazioni medie annue di Cd e Tl, tutti ampiamente inferiori al valore obiettivo previsto per il solo cadmio, sono risultati pari a:

- 0.008 ng/m<sup>3</sup> nel 2016 (Figura A91);
- 0.006 ng/m<sup>3</sup> nel 2019 (Figura A93);
- 0.01 ng/m<sup>3</sup> nel 2022 (Figura A92),

posizionati a circa 2 km in direzione sud – ovest rispetto all'impianto.

Le massime medie giornaliere stimate dal modello sono pari a:

- 0.09 ng/m<sup>3</sup> nel 2016 (Figura A94), posizionato in direzione sud nella cella di calcolo adiacente alla sorgente;
- 0.08 ng/m<sup>3</sup> nel 2019 (Figura A96), posizionato a poche centinaia di metri in direzione nord rispetto all'impianto;

- 0.11 ng/m<sup>3</sup> nel 2022 (Figura A95), a poche centinaia di metri in direzione nord – est rispetto al termovalorizzatore.

Le immagini relative all'anno 2019 sono riprese dal Report 12.

In Tabella 16 è riportato il confronto delle concentrazioni atmosferiche modellizzate di cadmio e tallio con quelle misurate di cadmio presso le stazioni della rete regionale nei diversi anni; in tutti i casi i dati simulati sono di almeno due ordini di grandezza inferiori ai dati osservati.

Le deposizioni totali (secche e umide) medie annue di Cd e Tl presentano, nella cella a ridosso dell'impianto, i seguenti massimi:

- 0.06 µg/m<sup>2</sup>d nel 2016 (Figura A97);
- 0.05 µg/m<sup>2</sup>d nel 2019 (Figura A99, Report 12);
- 0.04 µg/m<sup>2</sup>d nel 2022 (Figura A98).

Le concentrazioni in atmosfera stimate dal modello per Cd e Tl (e, più in generale, per tutti i metalli simulati)<sup>29</sup> sono più elevate nel 2022 - rispetto al 2016 e 2019 - in conseguenza delle caratteristiche meteorologiche dell'anno, particolarmente sfavorevoli alla dispersione degli inquinanti in atmosfera; coerentemente, a causa delle ridotte precipitazioni, le deposizioni totali dei metalli (in generale) sono inferiori nel 2022 rispetto agli altri anni di simulazione.

Il confronto fra le deposizioni misurate presso la rete dei deposimetri inclusi nel dominio di calcolo e i risultati delle simulazioni meteodispersive è illustrato in Tabella 17; anche in questo caso le concentrazioni stimate dal modello sono di circa due ordini di grandezza inferiori al misurato.

---

<sup>29</sup> Si ricorda che le concentrazioni alle emissioni di metalli e microinquinanti sono uguali nei tre anni. Pertanto le differenze nelle concentrazioni stimate dal modello sono influenzate solamente dalle modulazioni temporali, regolate dalle caratteristiche fisiche dell'emissione delle singole linee di trattamento rifiuti, e dalle caratteristiche meteorologiche della specifica annualità.

<i>Cd + Tl</i>	2016		2019		2022	
	<i>Media annuale (ng/m<sup>3</sup>)</i>		<i>Media annuale (ng/m<sup>3</sup>)</i>		<i>Media annuale (ng/m<sup>3</sup>)</i>	
	<i>osservato</i>	<i>simulato</i>	<i>osservato</i>	<i>simulato</i>	<i>osservato</i>	<i>simulato</i>
<i>Stazione</i>	<i>Cd</i>	<i>simulato</i>	<i>Cd</i>	<i>simulato</i>	<i>Cd</i>	<i>simulato</i>
Beinasco	0.2	0.0021	0.1	0.0016	0.1	0.0026
Druento	0.1	0.0003	0.1	0.0003	0.1	0.0004
Settimo Torinese	--	0.0003	0.1	0.0003	--	0.0004
Torino - Consolata	0.2	0.0005	0.1	0.0005	0.1 (*)	0.0007
Torino - Grassi	0.2	0.0010	0.2	0.0010	0.2	0.0011
Torino - Lingotto	0.2	0.0008	0.1	0.0007	0.1 (*)	0.0008
Torino - Rebaudengo	0.3	0.0005	0.3	0.0005	0.2	0.0007
Torino - Rubino	0.2	0.0011	0.1 (*)	0.0009	0.1	0.0013

(\*) Percentuale dati validi inferiore a 90%

**Tabella 16:** Cadmio e Tallio: confronto osservato – simulato presso le stazioni del SRRQA negli anni 2016, 2019 e 2022

<i>Cd+Tl Deposizioni</i>	2016		2019		2022	
	<i>Media annuale (µg/m<sup>2</sup>d)</i>		<i>Media annuale (µg/m<sup>2</sup>d)</i>		<i>Media annuale (µg/m<sup>2</sup>d)</i>	
	<i>osservato</i>	<i>simulato</i>	<i>osservato</i>	<i>simulato</i>	<i>osservato</i>	<i>simulato</i>
<i>Stazione</i>	<i>Cd</i>	<i>simulato</i>	<i>Cd</i>	<i>simulato</i>	<i>Cd</i>	<i>simulato</i>
Beinasco	0.1	0.003	0.3	0.002	0.1	0.003
Grugliasco	0.1	0.002	0.1	0.001	0.0	0.001
Orbassano	0.4	0.004	0.2	0.003	0.1	0.005
Rivalta	0.2	0.001	0.1	0.001	0.0	0.001

**Tabella 17:** Cadmio e Tallio, deposizioni atmosferiche: confronto osservato – simulato presso i deposimetri negli anni 2016, 2019 e 2022

### **Metalli (arsenico As, cobalto Co, cromo Cr, nichel Ni, piombo Pb, antimonio Sb, rame Cu, vanadio V, manganese Mn, stagno Sn) in aria e nelle deposizioni**

Fra i metalli simulati, anche in questo caso aggregati in un unico gruppo come previsto per la valutazione del rispetto dei limiti emissivi, la normativa di qualità dell'aria prevede un valore obiettivo per piombo (0.5 µg/m<sup>3</sup>), arsenico (0.6 ng/m<sup>3</sup>) e nichel (20 ng/m<sup>3</sup>) determinati sul particolato PM10 atmosferico.

I valori massimi delle concentrazioni medie annue per l'insieme dei metalli, tutte inferiori al valore obiettivo più basso (relativo all'arsenico) fra quelli degli inquinanti normati, sono risultati pari a:

- 0.4 ng/m<sup>3</sup> nel 2016 (Figura A100);
- 0.3 ng/m<sup>3</sup> nel 2019 (Figura A102);
- 0.5 ng/m<sup>3</sup> nel 2022 (Figura A101),

situate a circa 2 km a sud - ovest rispetto al camino di TRM.

Le massime medie giornaliere stimate dal modello sono pari a:

- 4.6 ng/m<sup>3</sup> nel 2016 (Figura A103), posizionato in direzione sud nella cella di calcolo adiacente alla sorgente;
- 4 ng/m<sup>3</sup> nel 2019 (Figura A105), posizionato a poche centinaia di metri in direzione nord rispetto all'impianto;
- 5.2 ng/m<sup>3</sup> nel 2022 (Figura A104), a poche centinaia di metri in direzione nord - est rispetto al termovalorizzatore.

Le immagini relative all'anno 2019 sono riprese dal Report 12.

In Tabella 18 nella colonna simulato sono riportate le concentrazioni stimate dal modello per il gruppo dei metalli, messe a confronto con i valori misurati dei singoli metalli (quando determinati sul particolato PM10) presso le stazioni della rete regionale. In tutti gli anni simulati, le concentrazioni stimate sono inferiori di almeno un ordine di grandezza rispetto ai metalli presenti in atmosfera in concentrazione minore (arsenico e vanadio), ad eccezione del sito di Beinasco dove sia nel 2016 che nel 2022 le concentrazioni dell'insieme dei metalli, pur rimanendo inferiori, hanno lo stesso ordine di grandezza di quelle relative all'arsenico (per il 2016 anche al vanadio).



2016									
Metalli (As, Co, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb, Sb, Sn, V)	Media annuale (ng/m <sup>3</sup> )								
	osservato								simulato
	Stazione	As	Cr	Cu	Mn	Ni	Sb	Pb	
Beinasco	0.7	4.1 (*)	28.2	10.9	2.2	1.9	7	1.0	0.10
Druento	0.7	--	--	--	1.1	--	4	--	0.02
Settimo Torinese	--	--	--	--	--	--	--	--	0.01
Torino - Consolata	0.7	--	--	--	3.7	--	8	--	0.03
Torino - Grassi	0.7	10	61.3 (*)	18.7	3.9	4.5	11	0.9	0.05
Torino - Lingotto	0.7	3.8 (*)	29.2 (*)	10 (*)	2.2	1.8 (*)	7	0.9 (*)	0.04
Torino - Rebaudengo	0.7	8.1	54.8	13.5	3.0	4.0	13	0.9	0.02
Torino - Rubino	0.7	--	--	--	2.0	--	6	--	0.06

(\*) Percentuale dati validi inferiore a 90%

2019									
Metalli (As, Co, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb, Sb, Sn, V)	Media annuale (ng/m <sup>3</sup> )								
	osservato								simulato
	Stazione	As	Cr	Cu	Mn	Ni	Sb	Pb	
Beinasco	0.7	6.2	21	12.4	2.4	1.6	5	0.9	0.08
Druento	0.7	--	--	--	1.8	--	3	--	0.02
Settimo Torinese	0.7	7.6	25	12	5.6	1.7	6	0.8	0.01
Torino - Consolata	0.7	--	--	--	3.3	--	6	--	0.02
Torino - Grassi	0.7	--	--	--	4.6	--	10	--	0.05
Torino - Lingotto	0.7	--	--	--	1.6	--	5	--	0.04
Torino - Rebaudengo	0.7	11.6	46	14.5	4.0	2.9	10	0.8	0.02
Torino - Rubino	0.7 (*)	5.7 (*)	25 (*)	11.5 (*)	2.4 (*)	1.5 (*)	5 (*)	0.7 (*)	0.04

(\*) Percentuale dati validi inferiore a 90%

2022									
Metalli (As, Co, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb, Sb, Sn, V)	Media annuale (ng/m <sup>3</sup> )								
	osservato								simulato
	Stazione	As	Cr	Cu	Mn	Ni	Sb	Pb	
Beinasco	0.7	6.3	22.7	14.2	2.2	1.4	5	0.7	0.13
Druento	0.7	--	--	--	1.1	--	3	--	0.02
Settimo Torinese	--	--	--	--	--	--	--	--	0.02
Torino - Consolata	0.7 (*)	--	--	--	3.2 (*)	--	6 (*)	--	0.03
Torino - Grassi	0.7	--	--	--	3.8	--	10	--	0.05
Torino - Lingotto	0.7 (*)	--	--	--	1.3 (*)	--	5 (*)	--	0.04
Torino - Rebaudengo	0.7	5.0	36.7	11.8	1.9	2.1	10	0.7	0.04
Torino - Rubino	0.7	8.0	20.1	11.9	1.7	1.5	5	0.7	0.07

(\*) Percentuale dati validi inferiore a 90%

**Tabella 18:** Metalli: confronto osservato – simulato presso le stazioni del SRRQA negli anni 2016, 2019 e 2022  
Le deposizioni totali (secche e umide) medie annue dei metalli presentano, nella cella a ridosso dell'impianto, i seguenti massimi:

- 3  $\mu\text{g}/\text{m}^2\text{d}$  nel 2016 (Figura A106);
- 2.6  $\mu\text{g}/\text{m}^2\text{d}$  nel 2019 (Figura A108, Report 12);
- 2.1  $\mu\text{g}/\text{m}^2\text{d}$  nel 2022 (Figura A107).

Anche nel caso delle concentrazioni di metalli (in aria e nelle deposizioni) valgono le considerazioni relative all'influenza della meteorologia sul 2022 riportate nel paragrafo "Cadmio e Tallio (Cd, Tl) in aria e nelle deposizioni".

Il confronto osservato – simulato dei metalli nelle deposizioni totali con le concentrazioni misurate presso la rete dei deposimetri è illustrato in Tabella 19; il contributo complessivo dei metalli stimati dal modello è inferiore ad ogni singolo contributo dei metalli determinati nelle deposizioni.

		2016							
Metalli Depositioni (As, Co, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb, Sb, Sn, V)		Media annuale ( $\mu\text{g}/\text{m}^2\text{d}$ )							
		osservato							simulato
		Stazione	As	Co	Cr	Cu	Ni	Pb	
	Beinasco	1.3	1.5	6.3	12.2	2.9	6.6	1.9	0.14
	Grugliasco	1.0	1.0	4.7	11.9	2.7	4.4	1.5	0.10
	Orbassano	0.9	1.0	6.0	13.9	3.9	21.1	2.1	0.18
	Rivalta	1.0	1.0	5.6	7.6	2.2	3.4	1.7	0.05

		2019							
Metalli Depositioni (As, Co, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb, Sb, Sn, V)		Media annuale ( $\mu\text{g}/\text{m}^2\text{d}$ )							
		osservato							simulato
		Stazione	As	Co	Cr	Cu	Ni	Pb	
	Beinasco	2	1.7	4.2	15.8	4.4	8	2.3	0.11
	Grugliasco	0.9	0.9	3.1	11.0	2.8	3.9	1.7	0.05
	Orbassano	0.8	0.9	3.9	11.8	4.4	16.6	1.7	0.17
	Rivalta	0.8	0.8	1.7	9.2	2.2	4.4	1.7	0.05

		2022							
Metalli Depositioni (As, Co, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb, Sb, Sn, V)		Media annuale ( $\mu\text{g}/\text{m}^2\text{d}$ )							
		osservato							simulato
		Stazione	As	Co	Cr	Cu	Ni	Pb	
	Beinasco	2.1	0.7	3.6	8.9	2.8	7.6	1.1	0.17
	Grugliasco	0.4	0.3	3.1	5.4	2.0	3.3	0.7	0.07
	Orbassano	0.4	0.4	4.1	7.8	2.8	17.4	0.8	0.25
	Rivalta	0.4	0.3	2.7	3.9	1.3	2.3	0.5	0.06

**Tabella 19:** Metalli, deposizioni atmosferiche: confronto osservato – simulato presso i deposimetri negli anni 2016, 2019 e 2022

## Zinco (Zn) in aria e nelle deposizioni

Lo zinco è un metallo non normato ai sensi del D. Lgs. 155/2010, pertanto non sono stabiliti valori limite per questo inquinante.

I valori massimi delle concentrazioni medie annue per lo zinco sono pari a:

- 0.33 ng/m<sup>3</sup> nel 2016 (Figura A109);
- 0.25 ng/m<sup>3</sup> nel 2019 (Figura A111);
- 0.41 ng/m<sup>3</sup> nel 2022 (Figura A110),

situate a circa 2 km in direzione sud – ovest rispetto alla sorgente.

Le massime medie giornaliere stimate dal modello sono pari a:

- 3.8 ng/m<sup>3</sup> nel 2016 (Figura A112), posizionato in direzione sud nella cella di calcolo adiacente alla sorgente;
- 3.3 ng/m<sup>3</sup> nel 2019 (Figura A114), posizionato a poche centinaia di metri in direzione nord rispetto all'impianto;
- 4.3 ng/m<sup>3</sup> nel 2022 (Figura A113), a poche centinaia di metri in direzione nord – est rispetto al termovalorizzatore.

Le immagini relative all'anno 2019 sono riprese dal Report 12.

Il confronto fra le concentrazioni misurate in atmosfera sul particolato PM10 e quelle simulate è descritto dalla Tabella 20, nella quale i valori stimati dal modello risultano quasi sempre di tre ordini di grandezza inferiori alle misure.

Le deposizioni totali (secche e umide) medie annue dei metalli presentano, nella cella a ridosso dell'impianto, i seguenti massimi:

- 2.47 µg/m<sup>2</sup>d nel 2016 (Figura A115);
- 2.21 µg/m<sup>2</sup>d nel 2019 (Figura A117, Report 12);
- 1.75 µg/m<sup>2</sup>d nel 2022 (Figura A116).

Nella Tabella 21 è presente il confronto osservato – simulato dello zinco nelle deposizioni totali con le concentrazioni misurate presso la rete dei deposimetri; il contributo stimato dal modello è inferiore di almeno due ordini di grandezza rispetto ai valori misurati.



Zn	2016		2019		2022	
	Media annuale (ng/m <sup>3</sup> )		Media annuale (ng/m <sup>3</sup> )		Media annuale (ng/m <sup>3</sup> )	
	Stazione	osservato	simulato	osservato	simulato	osservato
Beinasco	40.1	0.08	28.8	0.06	41.1	0.11
Settimo Torinese	--	0.01	27.8	0.01	--	0.02
Torino - Rebaudengo	45.3	0.02	32.7	0.02	36.4	0.03
Torino - Rubino	--	0.05	28.7 (*)	0.04	38	0.05

(\*) Percentuale dati validi inferiore a 90%

**Tabella 20:** Zinco: confronto osservato – simulato presso le stazioni del SRRQA negli anni 2016, 2019 e 2022

Zn Deposizioni	2016		2019		2022	
	Media annuale (µg/m <sup>2</sup> d)		Media annuale (µg/m <sup>2</sup> d)		Media annuale (µg/m <sup>2</sup> d)	
	Stazione	osservato	simulato	osservato	simulato	osservato
Beinasco	98	0.12	145	0.08	98	0.14
Grugliasco	45	0.08	57	0.04	34	0.06
Orbassano	103	0.15	73	0.14	63	0.20
Rivalta	37	0.04	54	0.04	35	0.05

**Tabella 21:** Zinco, deposizioni atmosferiche: confronto osservato – simulato presso i depositometri negli anni 2016, 2019 e 2022

## Idrocarburi policiclici aromatici (IPA) in aria e nelle deposizioni

L'unico idrocarburo policiclico aromatico normato ai sensi del D. Lgs. 155/2010 è il benzo(a)pirene (B(a)P), determinato sul particolato PM10, per il quale è previsto un valore obiettivo annuale di 1 ng/m<sup>3</sup>. Dal punto di vista delle emissioni, l'Autorizzazione Integrata Ambientale fa riferimento alla classe degli IPA, pertanto i risultati verranno espressi come totale dei contributi delle diverse molecole.

I valori massimi delle concentrazioni medie annue stimate dal modello per il totale degli IPA, posizionate a circa 2 km a sud – ovest dell'impianto per tutti gli anni di simulazione, sono pari a:

- 0.08 pg/m<sup>3</sup> nel 2016 (Figura A118);
- 0.06 pg/m<sup>3</sup> nel 2019 (Figura A120);
- 0.1 pg/m<sup>3</sup> nel 2022 (Figura A119),

ampiamente inferiori al valore obiettivo previsto per il solo benzo(a)pirene<sup>30</sup>.

Le massime medie giornaliere stimate dal modello sono pari a:

<sup>30</sup> Si ricorda che 1 ng/m<sup>3</sup> = 1000 pg/m<sup>3</sup>.

- 0.92  $\text{pg}/\text{m}^3$  nel 2016 (Figura A121), posizionato in direzione sud nella cella di calcolo adiacente alla sorgente;
- 0.81  $\text{pg}/\text{m}^3$  nel 2019 (Figura A123), posizionato a poche centinaia di metri in direzione nord rispetto all'impianto;
- 1.06  $\text{pg}/\text{m}^3$  nel 2022 (Figura A122), a poche centinaia di metri in direzione nord – est rispetto al termovalorizzatore.

Le immagini relative all'anno 2019 sono riprese dal Report 12.

La Tabella 22 riporta le concentrazioni misurate, in corrispondenza alle stazioni di monitoraggio della qualità dell'aria, sia di IPA (ottenute sommando i contributi di benzo(a)antracene, benzo(b+j+k)fluorantene, benzo(a)pirene e indeno(1,2,3-cd)pirene determinati sul particolato PM10) sia di B(a)P per il confronto con le concentrazioni simulate di IPA totali; come si può osservare, le concentrazioni simulate nei tre anni hanno valori con diversi ordini di grandezza inferiori a quelle misurate, anche considerando il solo B(a)P.

Le deposizioni totali (secche e umide) medie annue degli IPA presentano, nella cella a ridosso dell'impianto, i seguenti massimi:

- 0.6  $\text{ng}/\text{m}^2\text{d}$  nel 2016 (Figura A124);
- 0.54  $\text{ng}/\text{m}^2\text{d}$  nel 2019 (Figura A126, Report 12);
- 0.43  $\text{ng}/\text{m}^2\text{d}$  nel 2022 (Figura A125).

La Tabella 23, che mostra il confronto fra le deposizioni misurate (IPA totali<sup>31</sup> e B(a)P) e simulate (IPA totali), conferma il modesto contributo del termovalorizzatore per questi inquinanti anche nelle deposizioni totali.

---

<sup>31</sup> Sommatore di benzo(a)antracene, benzo(b+j+k)fluorantene, benzo(a)pirene e indeno(1,2,3-cd)pirene determinati nelle deposizioni

IPA e B(a)P	2016			2019			2022		
	Media annuale (ng/m <sup>3</sup> )			Media annuale (ng/m <sup>3</sup> )			Media annuale (ng/m <sup>3</sup> )		
	osservato		simulato	osservato		simulato	osservato		simulato
Stazione	IPA	B(a)P		IPA	B(a)P		IPA	B(a)P	
Beinasco	4.26	0.8	0.000021	2.82	0.5	0.000016	2.21	0.4	0.000026
Borgaro	4.33	0.8	0.000010	3.03 (*)	0.6 (*)	0.000009	2.17 (*)	0.4 (*)	0.000008
Carmagnola	4.04	0.8	0.000001	3.04	0.6	0.000001	2.44	0.4	0.000002
Druento	2.06	0.4	0.000003	1.38	0.2	0.000003	1.20	0.2	0.000002
Settimo Torinese	5.56	1.1	0.000003	4.18	0.8	0.000003	4.11	0.8	0.000004
Torino - Consolata	4.12	0.8	0.000005	2.33	0.4	0.000005	2.37 (*)	0.4 (*)	0.000007
Torino - Grassi	4.79	0.9	0.000010	3.65	0.7	0.000010	2.95	0.5	0.000011
Torino - Lingotto	3.90	0.7	0.000008	2.86	0.5	0.000007	2.25 (*)	0.4 (*)	0.000008
Torino - Rebaudengo	5.74	1.1	0.000005	4.43	0.9	0.000005	2.51	0.4	0.000007
Torino - Rubino	3.57	0.7	0.000011	2.28 (*)	0.4 (*)	0.000009	2.08	0.4	0.000013

(\*) Percentuale dati validi inferiore a 90%

**Tabella 22:** Idrocarburi policiclici aromatici: confronto osservato – simulato presso le stazioni del SRRQA negli anni 2016, 2019 e 2022

<i>IPA e B(a)P Deposizioni</i>	<i>2016</i>			<i>2019</i>			<i>2022</i>		
	<i>Media annuale (ng/m<sup>2</sup>d)</i>			<i>Media annuale (ng/m<sup>2</sup>d)</i>			<i>Media annuale (ng/m<sup>2</sup>d)</i>		
	<i>osservato</i>		<i>simulato</i>	<i>osservato</i>		<i>simulato</i>	<i>osservato</i>		<i>simulato</i>
	<i>IPA</i>	<i>B(a)P</i>		<i>IPA</i>	<i>B(a)P</i>		<i>IPA</i>	<i>B(a)P</i>	
<i>Stazione</i>	<i>IPA</i>	<i>B(a)P</i>	<i>simulato</i>	<i>IPA</i>	<i>B(a)P</i>	<i>simulato</i>	<i>IPA</i>	<i>B(a)P</i>	<i>simulato</i>
<b>Beinasco</b>	<b>38.8</b>	<b>6.2</b>	<b>0.03</b>	<b>38.7</b>	<b>6.6</b>	<b>0.02</b>	<b>19.4</b>	<b>3.2</b>	<b>0.03</b>
<b>Grugliasco</b>	<b>39.3</b>	<b>6.9</b>	<b>0.02</b>	<b>31.7</b>	<b>3.8</b>	<b>0.01</b>	<b>19.4</b>	<b>7.4</b>	<b>0.01</b>
<b>Orbassano</b>	<b>53.6</b>	<b>8.9</b>	<b>0.37</b>	<b>48.5</b>	<b>6.6</b>	<b>0.03</b>	<b>16.9</b>	<b>4.9</b>	<b>0.05</b>
<b>Rivalta</b>	<b>47.0</b>	<b>10.1</b>	<b>0.01</b>	<b>29.8</b>	<b>4.0</b>	<b>0.01</b>	<b>20.5</b>	<b>4.7</b>	<b>0.01</b>

**Tabella 23:** Idrocarburi policiclici aromatici, deposizioni atmosferiche: confronto osservato – simulato presso i deposimetri negli anni 2016, 2019 e 2022

## Policlorodibenzodiossine/policlorodibenzofurani (PCDD/DF) in aria e nelle deposizioni

Per le PCDD/DF in aria non sono previste indicazioni normative, mentre alcune indicazioni possono essere reperite in letteratura<sup>32</sup>.

Per le deposizioni si può fare riferimento ai valori guida proposti da alcune organizzazioni a partire dai valori di “dose tollerabile per l’organismo umano” (TDI – *Tolerable daily intake*<sup>33</sup>) stabiliti dall’Unione Europea e dall’Organizzazione Mondiale della Sanità. In particolare, in analogia a quanto effettuato nel Report 12 facendo riferimento al documento Arpa che riassume i dati dei monitoraggi condotti presso la stazione di Beinasco nel corso dell’anno 2019<sup>34</sup>, si prenderà in considerazione il valore di deposizione media annua di PCDD/DF di 14 pg I-TEQ/m<sup>2</sup>d correlata a un’assunzione giornaliera (TDI) pari a 4 pg I-TEQ/kg di peso corporeo<sup>35</sup>.

I valori massimi delle concentrazioni medie annue stimate dal modello per PCDD/DF sono pari a:

- 0.017 fg/m<sup>3</sup> nel 2016 (Figura A127);
- 0.013 fg/m<sup>3</sup> nel 2019 (Figura A129);
- 0.021 fg/m<sup>3</sup> nel 2022 (Figura A128),

posizionate a circa 2 km in direzione sud – ovest rispetto all’impianto.

Le massime medie giornaliere calcolate dal modello sono pari a:

- 0.199 fg/m<sup>3</sup> nel 2016 (Figura A130), posizionato in direzione sud nella cella di calcolo adiacente alla sorgente;
- 0.173 fg/m<sup>3</sup> nel 2019 (Figura A132), posizionato a poche centinaia di metri in direzione nord rispetto all’impianto;
- 0.228 fg/m<sup>3</sup> nel 2022 (Figura A131), a poche centinaia di metri in direzione nord – est rispetto al termovalorizzatore.

Le immagini relative all’anno 2019 sono riprese dal Report 12.

Nella Tabella 24 è riportato il confronto fra le concentrazioni in aria di PCDD/DF misurate e simulate presso la stazione di Beinasco; le concentrazioni misurate sono di diversi ordini di grandezza superiori a quelle simulate.

Le deposizioni totali (secche e umide) medie annue di PCDD/DF presentano, nella cella a ridosso dell’impianto, valori massimi ampiamente inferiori al valore di riferimento di 14 pg I-TEQ/m<sup>2</sup>d; in particolare:

- 0.13 pg/m<sup>2</sup>d nel 2016 (Figura A133);
- 0.12 pg/m<sup>2</sup>d nel 2019 (Figura A135, Report 12);

<sup>32</sup> Un valore di 150 fg I-TEQ/m<sup>3</sup> in aria ambiente è stato proposto nel 1994 dal LAI (Commissione degli Stati Federali per la protezione dalle Immissioni); in un successivo aggiornamento (2004) il LAI ha proposto un limite per la concentrazione totale in aria di miscele di PCDD, PCDF e PCB-DL pari a 150 fg WHO-TEQ/m<sup>3</sup>.  
<https://www.lanuv.nrw.de/fileadmin/lanuv/gesundheit/pdf/LAI2004.pdf>

<sup>33</sup> Quantità cumulativa di PCDD/DF e PCB “diossina-simili” che può essere giornalmente assunta, per la durata di vita media, senza che si abbiano effetti tossici apprezzabili

<sup>34</sup> “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” – Arpa Piemonte

<sup>35</sup> L. Van Lieshout et al Deposition of dioxin in Flanders (Belgium) and a proposition for guide values. *Atm. Env.* 35 suppl. n. 1 2001 S83-S90

- 0.09 pg/m<sup>2</sup>d nel 2022 (Figura A134).

	2016		2019		2022	
<i>PCDD/DF</i>	<i>Media annuale (fg/m<sup>3</sup>)</i>		<i>Media annuale (fg/m<sup>3</sup>)</i>		<i>Media annuale (fg/m<sup>3</sup>)</i>	
<i>Stazione</i>	<i>osservato</i>	<i>simulato</i>	<i>osservato</i>	<i>simulato</i>	<i>osservato</i>	<i>simulato</i>
<b>Beinasco</b>	<b>15</b>	<b>0.0045</b>	<b>12</b>	<b>0.0034</b>	<b>8</b>	<b>0.0056</b>

**Tabella 24:** Policlorodibenzodiossine/policlorodibenzofurani: confronto osservato – simulato presso le stazioni del SRRQA negli anni 2016, 2019 e 2022

Il confronto fra le deposizioni simulate e misurate presso la stazione di Beinasco è riportato in Tabella 25, con concentrazioni stimate come contributo del termovalorizzatore di tre ordini di grandezza inferiori a quelle misurate.

	2016		2019		2022	
<i>PCDD/DF Deposizioni</i>	<i>Media annuale (pg/m<sup>2</sup>d)</i>		<i>Media annuale (pg/m<sup>2</sup>d)</i>		<i>Media annuale (pg/m<sup>2</sup>d)</i>	
<i>Stazione</i>	<i>osservato</i>	<i>simulato</i>	<i>osservato</i>	<i>simulato</i>	<i>osservato</i>	<i>simulato</i>
<b>Beinasco</b>	<b>2.72</b>	<b>0.0062</b>	<b>4.13</b>	<b>0.0045</b>	<b>4.13</b>	<b>0.0072</b>

**Tabella 25:** Idrocarburi policiclici aromatici, deposizioni atmosferiche: confronto osservato – simulato presso i deposimetri negli anni 2016, 2019 e 2022

## Policlorobifenili (PCB) in aria e nelle deposizioni

Anche nel caso dei PCB non sono disponibili valori limite per le concentrazioni in aria, mentre per le deposizioni sono disponibili riferimenti per la sommatoria di PCDD e PCB-DL (diossina simile)<sup>36</sup>.

Le simulazioni sono state condotte considerando i PCB-DL, le cui medie annuali in aria sono illustrate nelle Figure dalla A136 alla A138. I valori massimi stimati sono:

- 0.0018 fg/m<sup>3</sup> nel 2016 (Figura A136);
- 0.0014 fg/m<sup>3</sup> nel 2019 (Figura A138);
- 0.0022 fg/m<sup>3</sup> nel 2022 (Figura A137),

posizionati a circa 2 km in direzione sud – ovest rispetto alla sorgente

Le massime medie giornaliere calcolate dal modello sono pari a:

- 0.02 fg/m<sup>3</sup> nel 2016 (Figura A139), posizionato in direzione sud nella cella di calcolo adiacente alla sorgente;

<sup>36</sup> Deposizione media annua per la sommatoria di PCDD/DF + PCB dl: 8,2 pg WHO-TEQ/m<sup>2</sup>d correlata a un'assunzione giornaliera (TDI) pari a 2 pg WHO-TEQ/kg di peso corporeo - Cornelis et al. (2007)

- 0.018 fg/m<sup>3</sup> nel 2019 (Figura A141), posizionato a poche centinaia di metri in direzione nord rispetto all'impianto;
- 0.024 fg/m<sup>3</sup> nel 2022 (Figura A140), a poche centinaia di metri in direzione nord - est rispetto al termovalorizzatore.

Le immagini relative all'anno 2019 sono riprese dal Report 12.

Nella Tabella 26 è riportato il confronto fra le concentrazioni in aria di PCB-DL misurate e simulate presso la stazione di Beinasco; le concentrazioni misurate sono di diversi ordini di grandezza superiori a quelle simulate.

	2016		2019		2022	
<b>PCB DL</b>	<i>Media annuale (fg/m<sup>3</sup>)</i>		<i>Media annuale (fg/m<sup>3</sup>)</i>		<i>Media annuale (fg/m<sup>3</sup>)</i>	
<i>Stazione</i>	<i>osservato</i>	<i>simulato</i>	<i>osservato</i>	<i>simulato</i>	<i>osservato</i>	<i>simulato</i>
<b>Beinasco</b>	<b>3.2</b>	<b>0.0005</b>	<b>2.9</b>	<b>0.0004</b>	<b>2.3</b>	<b>0.0006</b>

**Tabella 26:** Policlorobifenili DL: confronto osservato - simulato presso le stazioni del SRRQA negli anni 2016, 2019 e 2022

Le deposizioni totali (secche e umide) medie annue di PCB presentano, nella cella a ridosso dell'impianto, i seguenti valori massimi:

- 0.013 pg/m<sup>2</sup>d nel 2016 (Figura A142);
- 0.012 pg/m<sup>2</sup>d nel 2019 (Figura A144, Report 12);
- 0.01 pg/m<sup>2</sup>d nel 2022 (Figura A143).

La Tabella 27 mostra il confronto fra le deposizioni medie annue misurate e simulate a Beinasco; la modellizzazione indica, per il contributo dell'impianto, concentrazioni almeno di tre ordini di grandezza inferiori a quelle misurate.

	2016		2019		2022	
<b>PCB DL Deposizioni</b>	<i>Media annuale (pg/m<sup>2</sup>d)</i>		<i>Media annuale (pg/m<sup>2</sup>d)</i>		<i>Media annuale (pg/m<sup>2</sup>d)</i>	
<i>Stazione</i>	<i>osservato</i>	<i>simulato</i>	<i>osservato</i>	<i>simulato</i>	<i>osservato</i>	<i>simulato</i>
<b>Beinasco</b>	<b>0.84</b>	<b>0.0006</b>	<b>0.83</b>	<b>0.0005</b>	<b>2.91</b>	<b>0.0008</b>

**Tabella 27:** Policlorobifenili DL, deposizioni atmosferiche: confronto osservato - simulato presso i deposimetri negli anni 2016, 2019 e 2022

## 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 meteo-dispersive finalizzate a valutare il contributo alle concentrazioni e deposizioni atmosferiche prodotte dall'impianto di termovalorizzazione TRM in tre anni (2016, 2019 e 2022) aventi peculiarità emissive e meteorologiche diverse fra loro, in modo tale da rappresentare un quadro completo delle ricadute degli inquinanti emessi da questa sorgente nel corso degli anni.

Il sistema modellistico utilizzato, basato sul modello di previsione meteorologica a mesoscala WRF e sul modello di dispersione lagrangiano a particelle SPRAY, ha permesso di ricostruire, ad elevato dettaglio spaziale (risoluzione orizzontale pari a 250 metri) e temporale, le concentrazioni e le deposizioni degli inquinanti emessi in atmosfera dall'impianto, considerandoli come inerti. Nel presente Report sono riportati i risultati riguardanti gli anni 2016 e 2022; per agevolare la comparazione, sono stati ripresi anche i dati relativi al 2019 (oggetto del precedente Report 12) prodotti con lo stesso sistema modellistico.

Sull'anno 2019 sono state inoltre condotte - con un modello di chimica e trasporto - ulteriori simulazioni modellistiche, aventi come obiettivo anche la stima delle concentrazioni degli inquinanti secondari (oggetto del Report 18), a completamento del quadro descrittivo delle concentrazioni in atmosfera prodotte dal termovalorizzatore di Torino.

Le emissioni dell'impianto di termovalorizzazione sono state descritte, per ognuno dei diversi anni, 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. Gli anni analizzati descrivono l'evoluzione delle caratteristiche emissive del termovalorizzatore, che ha visto sia un incremento della quantità dei rifiuti trattati sia una evoluzione dal punto di vista delle tecnologie adottate nell'abbattimento delle emissioni stesse.

Per quanto riguarda gli inquinanti non monitorati in continuo, metalli e microinquinanti, i dati modellizzati sono stati ricostruiti a partire dalle analisi periodiche condotte fra il 2013 e il 2020 da TRM e da Arpa Piemonte; l'approccio adottato per questa tipologia di inquinanti, ovvero la sostituzione di un valore pari a metà del limite di quantificazione in corrispondenza dei numerosi dati risultati inferiori al LOQ stesso, risulta cautelativo in quanto permette una parziale sovrastima delle emissioni. Nel caso di questi inquinanti, pur mantenendo costante nei tre anni analizzati le concentrazioni emesse, i flussi di massa sono stati fatti variare con le caratteristiche fisiche dell'emissione.

I risultati della modellizzazione, dopo le necessarie elaborazioni, hanno permesso la realizzazione - per ognuno degli anni considerati - 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 e deposimetri) presenti all'interno del dominio di calcolo.

Le concentrazioni stimate dal modello di dispersione nei diversi anni sono state analizzate e confrontate nei tre anni di simulazione: i risultati presentano una variabilità interannuale significativamente influenzata dalle caratteristiche meteo-dispersive ed emissive dei singoli anni che, per alcuni inquinanti, hanno richiesto specifici approfondimenti. Si sottolinea comunque come, per tutti gli inquinanti, sia a livello di concentrazioni in atmosfera sia di deposizioni, i risultati delle simulazioni modellistiche mostrino un contributo del termovalorizzatore alle concentrazioni misurate decisamente modesto, spesso inferiore di uno

o più ordini di grandezza rispetto ai valori misurati e, comunque, generalmente inferiore ai limiti di rilevabilità strumentali e analitici.

L'unico inquinante per il quale le simulazioni restituiscono concentrazioni medie annue per le deposizioni totali confrontabili con le misure ottenute presso la stazione di Beinasco è il mercurio, a conferma della significatività del termovalorizzatore quale sorgente di questo inquinante. Sono inoltre stati condotti approfondimenti sull'anno 2016, caratterizzato da concentrazioni alle emissioni di mercurio elevate nonché a valori di flussi di deposizione misurati presso la stazione di Beinasco superiori rispetto agli altri anni. A seguito di tale evento, erano state attivate, da parte del gestore, misure aggiuntive per il controllo delle emissioni di mercurio dal termovalorizzatore che hanno portato a significative riduzioni delle emissioni di questo inquinante.

I valori massimi di deposizione di metalli e microinquinanti nelle immediate vicinanze del camino del termovalorizzatore (in particolare nella cella di calcolo adiacente al camino) sono spiegabili con l'effetto di dilavamento simulato dal modello quando il pennacchio in uscita dalla sorgente incontra le precipitazioni atmosferiche, con un conseguente significativo abbattimento delle concentrazioni; le mappe mostrano come i valori di deposizione media annua si riducano rapidamente allontanandosi dalla sorgente.

