Sorveglianza sulla salute della Popolazione nei pressi del Termovalorizzatore di Torino

Programma SPoTT
Report n° 12

STUDIO MODELLISTICO DI DISPERSIONE DEGLI INQUINANTI IMMESSI IN ATMOSFERA DAL TERMOVALORIZZATORE DI TORINO ANNO 2019

Agosto 2021

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

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

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 ed i chiarimenti per il loro corretto utilizzo.

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

Indice

Sintesi del dodicesimo rapporto di studio ***4***

Introduzione ***6***

Metodologia ***7***

Descrizione del sistema modellistico ***8***

Domini di simulazione ***10***

Dati di ingresso al sistema modellistico ***12***

Dati di input geografico 12
Dati di input meteorologico 13
Dati di input emissivo 13
Dati da controlli in continuo *13*
Dati da controlli non in continuo *14*

Simulazioni meteodispersive ***16***

Simulazioni meteorologiche 16
Simulazioni dispersive 19

Risultati ***23***

Biossido di zolfo (SO_2) 23
Ossidi di azoto (NO_x) 23
Carbonio organico totale (COT) 24
Monossido di carbonio (CO) 25
Particolato PM10 (primario) in aria e nelle deposizioni 26
Particolato PM2.5 (primario) in aria e nelle deposizioni 27
Ammoniaca (NH_3) 28
Acido cloridrico (HCl) 28
Acido fluoridrico (HF) 29
Mercurio (Hg) in aria e nelle deposizioni 29
Cadmio e Tallio (Cd, Tl) in aria e nelle deposizioni 30
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 31
Zinco (Zn) in aria e nelle deposizioni 32
Idrocarburi policiclici aromatici (IPA) in aria e nelle deposizioni 33
Policlorodibenzodiossine/policlorodibenzofurani (PCDD/DF) in aria e nelle deposizioni 34
Policlorobifenili (PCB) in aria e nelle deposizioni 35

Conclusioni ***36***

Sintesi del dodicesimo rapporto di studio

Nell'ambito del programma SPoTT-2 è 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 2019, 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.

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.

Il confronto dei dati modellizzati con quelli misurati mostra 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.

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. I risultati delle attività previste nel prosieguo del programma SPoTT-2 (ulteriori simulazioni modellistiche meteodispersive e i dati derivanti dal monitoraggio delle deposizioni di mercurio avviato presso la sede Arpa di Torino) permetteranno di approfondire lo studio del contributo del termovalorizzatore alle ricadute di questo inquinante nell'area di studio.

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 Meteorologhy Laboratory
UTC: Coordinated Universal Time
WRF: Weather Research and Forecasting Model

Introduzione

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

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

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

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

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

Nella presente relazione vengono descritte le simulazioni modellistiche meteodispersive condotte sull'anno 2019 con il modello di dispersione lagrangiano a particelle Spray.

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 della simulazione di dispersione e trasporto degli inquinanti sul territorio di studio, condotta con il modello lagrangiano a particelle. Le simulazioni sono state condotte sull'anno 2019 – individuato per la rappresentatività dal punto di vista emissivo dell'impianto - ad una risoluzione temporale oraria; 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[1] (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"[2], che prevede l'utilizzo di sistemi modellistici di tipo tridimensionale per trattare situazioni territoriali ad orografia e anemologia complesse.

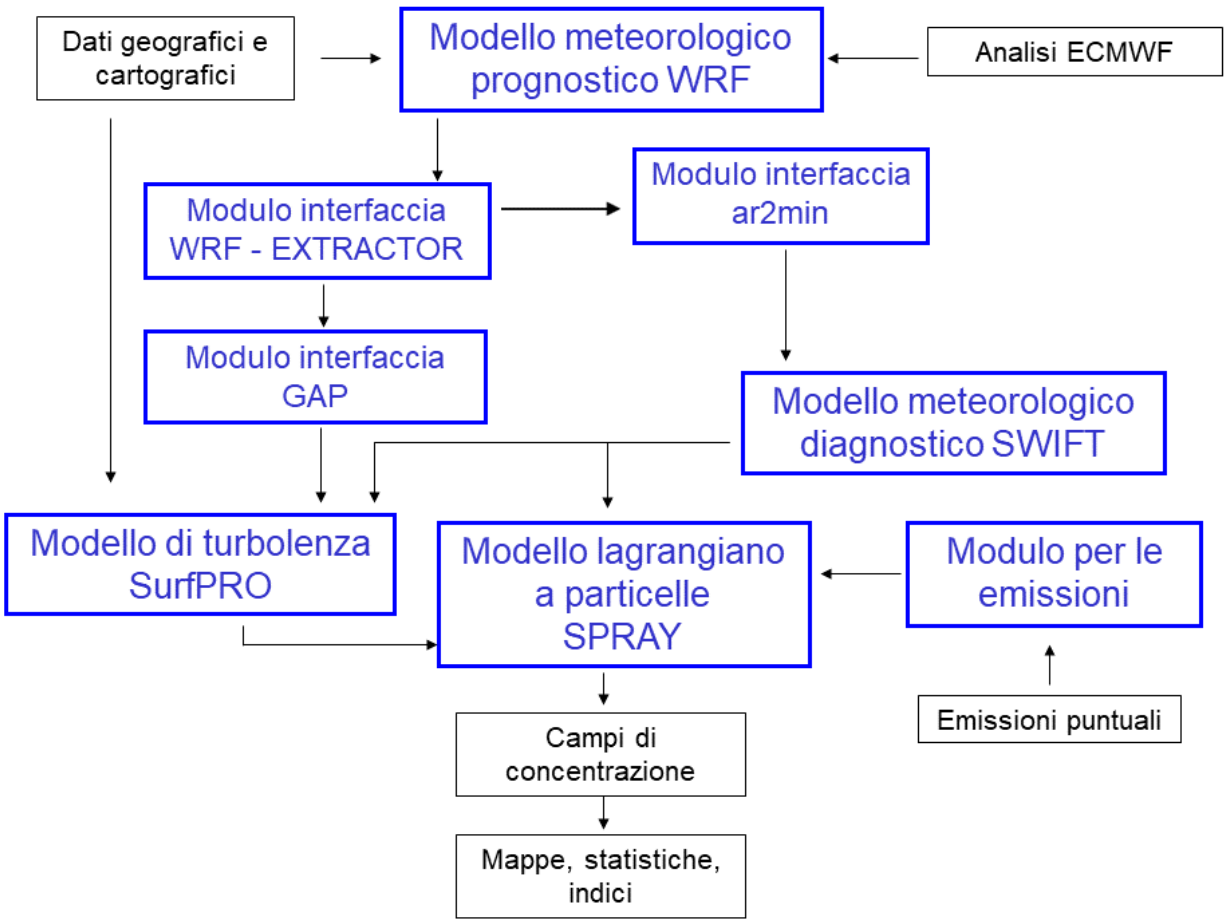

Figura 1: Diagramma di flusso della catena modellistica utilizzata

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;

[1] 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

[2] 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**[3] (versione 3.8.1, *Weather Research and Forecasting Model*, NCAR – *National Center for Atmospheric Research*, UCAR – *Mesoscale & Microscale Meteorologhy 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 risoluta (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 risoluta a quella più risoluta, 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**[4] (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**[5] (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

[3] https://www.mmm.ucar.edu/weather-research-and-forecasting-model
[4] Swift diagnostic wind field model – User's manual – Report ARIA/2008.02 - Aria Technologies
[5] 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.

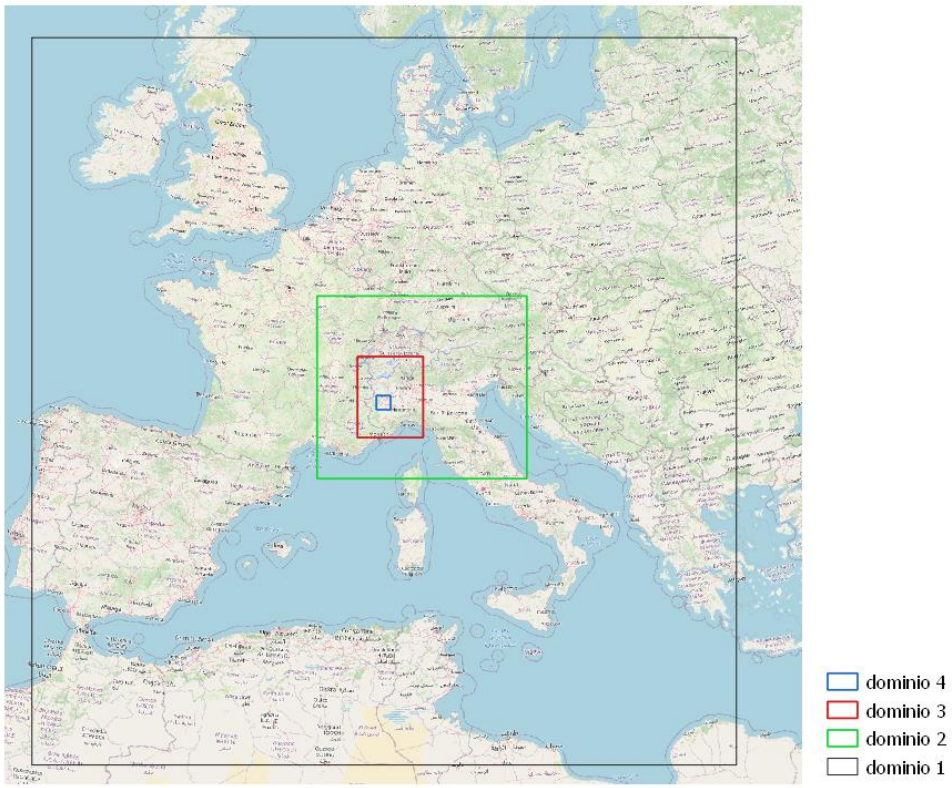

Figura 2: Domini di calcolo per le simulazioni meteorologiche con WRF

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

Tabella 1: caratteristiche dei domini di simulazione per WRF

Dominio	Risoluzione	Coordinate punto SW	Estensione	Livelli verticali	Proiezione
d5	500 m	x = 369000 m y= 4964000 m	nx = 91 ny = 97	22	EPSG = 32632

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

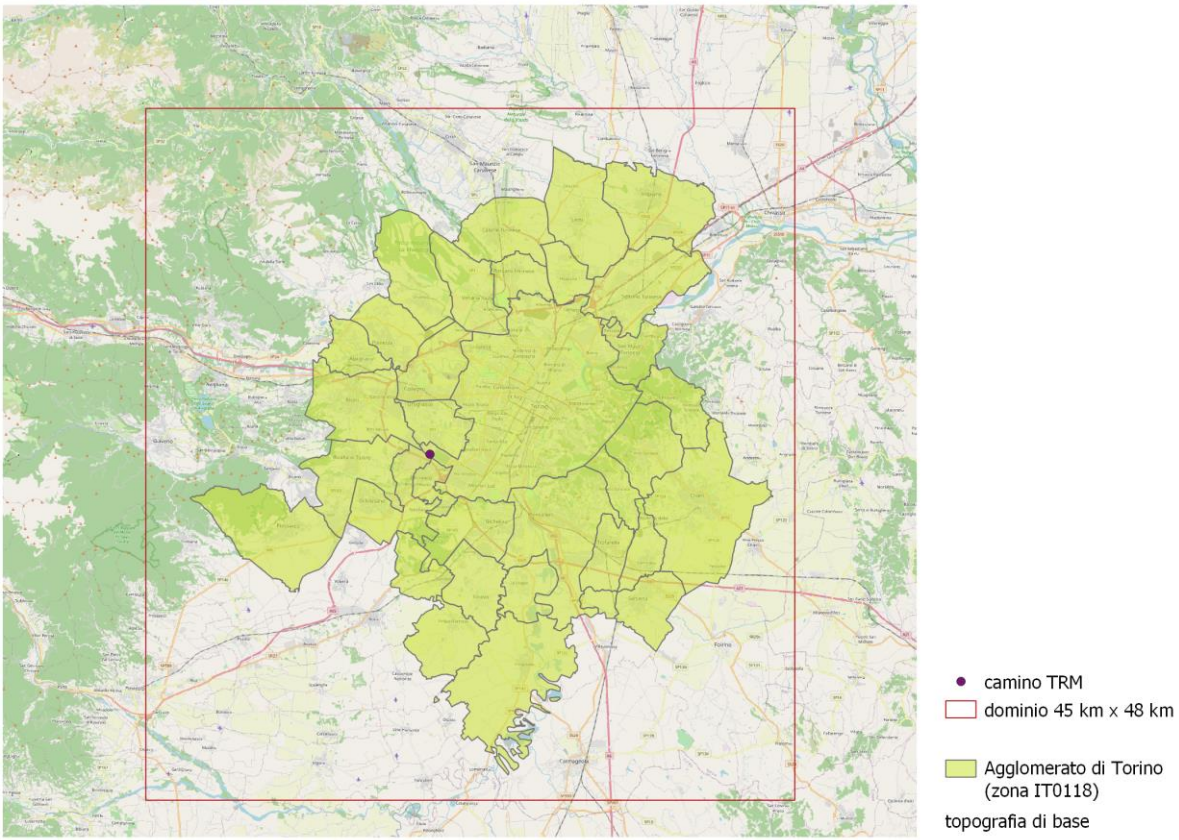

Figura 3: Dominio 5 utilizzato per le simulazioni di dettaglio meteorologica e dispersiva

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.

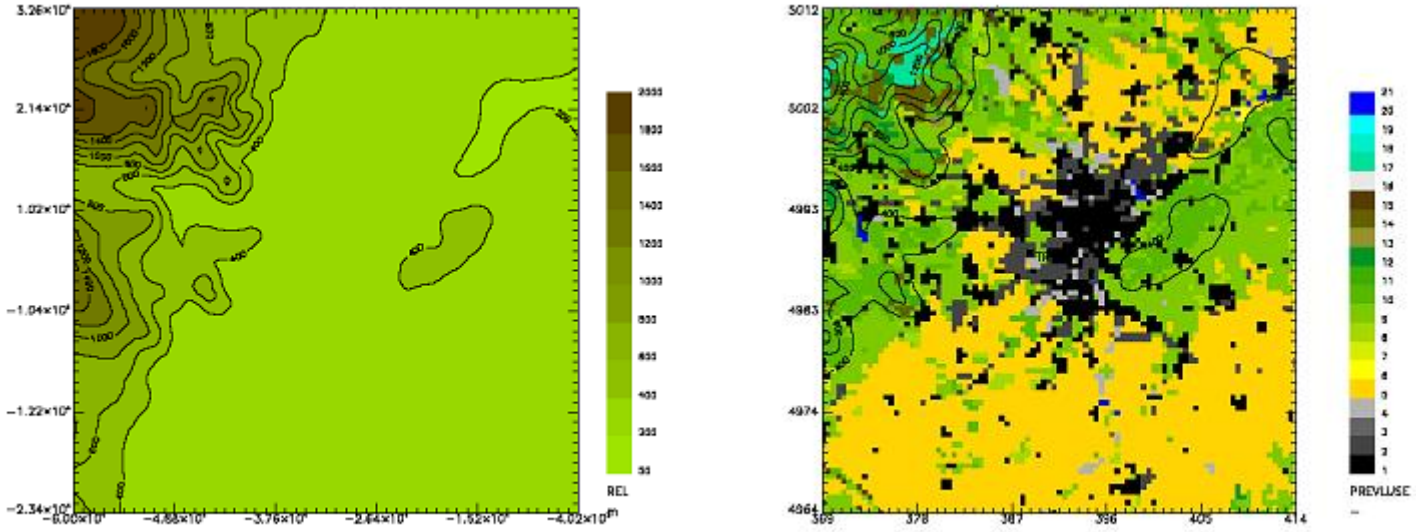

Figura 4: Orografia e uso del suolo utilizzati dalla catena modellistica per il dominio 5

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 da tale da fornire un riscontro in tempo reale dell'andamento delle emissioni in atmosfera e degli eventuali superamenti di valori limite, mettendo in opera tempestive 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_3)
- ossidi di azoto (NO_x espressi come NO_2)
- biossido di zolfo (SO_2)
- 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 2019 sono stati sottoposti ad una procedura di verifica, aggregati su base oraria ed elaborati 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.

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[6]; 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, sono 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.

	Numero campioni					
	Cd+Tl	Zn	Metalli	IPA	PCDD	PCB
ARPA	21	21	21	63	63	63
TRM	69	69	69	68	68	45
Totale	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[7]. 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.

	Mediana					
	Cd+Tl	Zn	Metalli	IPA	PCDD/DF	PCB-DL
	mg/Nm³	mg/Nm³	mg/Nm³	mg/Nm³	ng/Nm³	ng/Nm³
ARPA	0.0015	0.031	0.042	0.000005	0.00179	0.000179
TRM	0.0002	0.058	0.054	0.000115	0.00265	0.000478
ARPA+TRM	0.001	0.041	0.050	0.00001	0.00214	0.000225
Valore limite	0.03	0.5	0.3	0.005	0.05	0.05

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

[6] I congeneri si differenziano per il numero e la posizione degli atomi di cloro sugli anelli benzenici
[7] Approccio "medium-bound" (Rapporto ISTISAN 04/15)

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 in 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.

Per quanto riguarda la modulazione temporale dell'emissione, si è fatto riferimento ai dati dello SME. 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.

Simulazioni meteodispersive

Simulazioni meteorologiche

Le simulazioni con il modello WRF, sui quattro domini innestati a risoluzione crescente precedentemente descritti, sono state condotte sull'anno 2019 con risoluzione temporale oraria (ora UTC, *Coordinated Universal Time*) e organizzate su base giornaliera per limitare la dimensione dei files di output, inizializzando ogni giorno con l'ultima cadenza della giornata precedente.

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

- i dati di velocità e direzione vento, temperatura 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 rigrigliatura 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 (Figura 5) e Torino – Via della Consolata (Figura 6), che evidenziano una buona ricostruzione anemologica nell'area in esame.

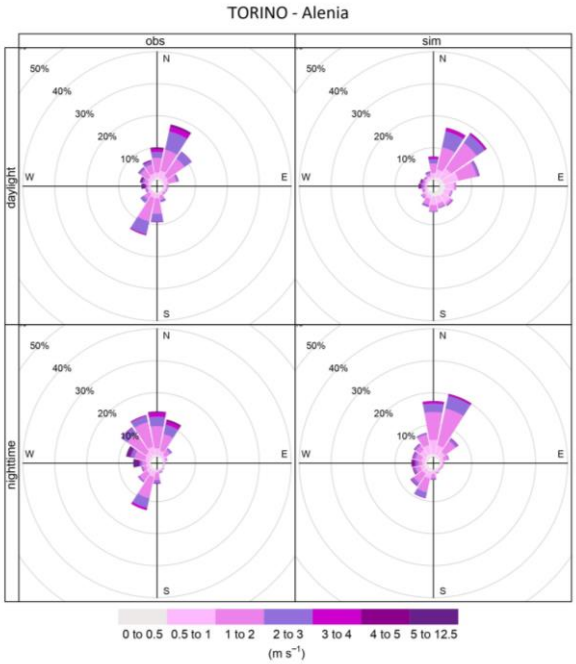

Figura 5: Rose del vento: confronto osservato – simulato in corrispondenza della stazione di Torino - Alenia

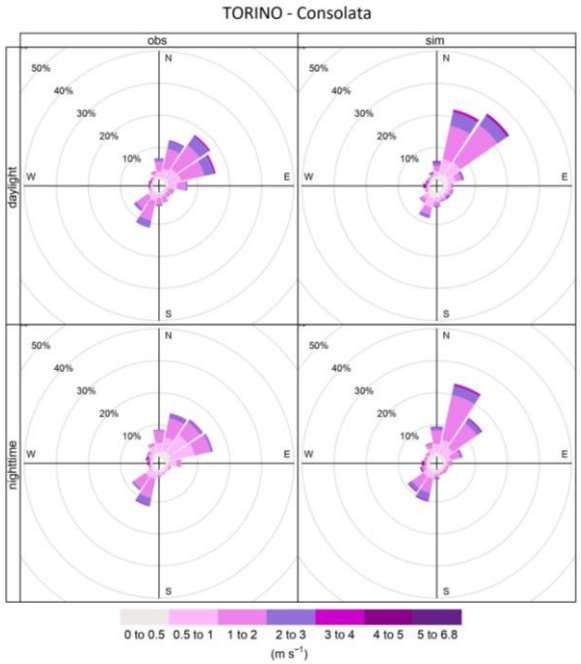

Figura 6: Rose del vento: confronto osservato – simulato in corrispondenza della stazione di Torino – Consolata

L'impianto di termovalorizzazione è inoltre dotato di una stazione meteorologica installata a Torino in Via Gorini i cui dati, tuttavia, non sono utilizzabili per l'anno 2019 a causa di una serie di problemi tecnici. E' stato comunque effettuato un confronto fra i dati simulati dal modello nel 2019 in corrispondenza della stazione di Via Gorini con i dati registrati dalla stazione negli anni 2016 e 2017[8]: anche in questo caso il confronto conferma, in termini di direzioni prevalenti, una corretta ricostruzione, da parte del modello, dei dati anemologici misurati al suolo.

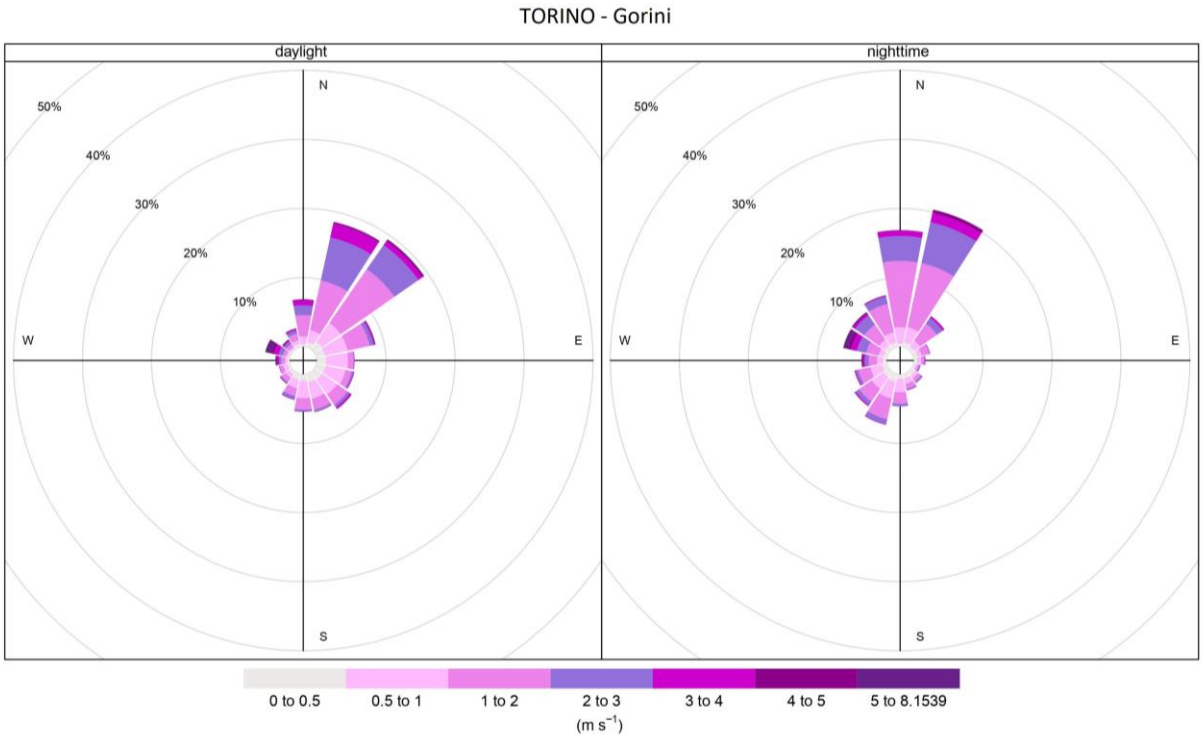

Figura 7: Rose del vento: dati simulati in corrispondenza della stazione di Torino – Gorini di TRM – anno 2019

[8] Anni più recenti per i quali è disponibile una serie completa di dati.

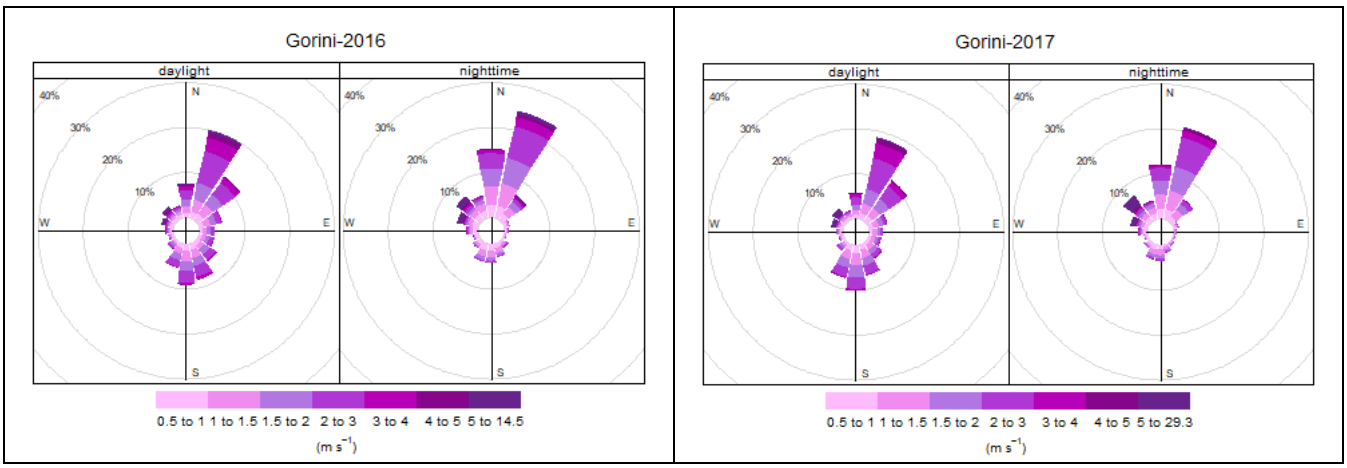

Figura 8: Rose del vento: dati misurati dalla stazione di Torino – Gorini di TRM – anni 2016 e 2017

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[9], 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);
- 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 µm e 2 µm 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 µm e inferiore a 20 µm 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;

[9] Sozzi R. et al., 2003: La micrometeorologia e la dispersione degli inquinanti in atmosfera

- le particelle con diametro superiore a 20 µm 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 Hg^0 (dal 90% al 99%) e, in percentuale molto inferiore, come mercurio sul particolato Hg(p) e mercurio gassoso bivalente Hg(II). [10]

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 Hg(II) sono significativamente meno volatili dell'Hg^0 e tendono a condensare sul particolato atmosferico o a depositarsi sulle superfici[11].

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 Hg(II) rappresenta la maggior parte (60%) delle emissioni di mercurio dagli impianti di incenerimento dei rifiuti. [12]

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

- mercurio totale, per quanto le misure in continuo dello SME di TRM;
- 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 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 inquinate 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

[10] Ambient Air Pollution by Mercury (Hg) – Position Paper – 2001, pag. 4
[11] Ambient Air Pollution by Mercury (Hg) – Position Paper – 2001 – pag. 13
[12] Ambient Air Pollution by Mercury (Hg) – Position Paper – 2001 – Table 2.5, pag. 66: Hg^0 20%, Hg(II) 60%, Hg(p) 20%

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.

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^2d), ottenuti mediando sul periodo di simulazione i flussi orari in uscita dal modello (in unità di massa/m^2s) e riportandoli al valore giornaliero.

Di seguito verranno descritti i risultati delle simulazioni per i singoli inquinanti; le rappresentazioni cartografiche sono riportate nell'Allegato alla relazione. Per permettere il confronto con i risultati delle analoghe simulazioni con SPRAY che verranno realizzate nel corso del progetto, cautelativamente si è deciso di non utilizzare il valore massimo di ricaduta come fondo scala per le rappresentazioni cartografiche, incrementandolo di circa il 50%.

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[13] di Regione Piemonte, per quanto riguarda le concentrazioni atmosferiche degli inquinanti normati;
- il "Rapporto di sintesi sui dati prodotti dalla stazione di monitoraggio della qualità dell'aria ubicata nel Comune di Beinasco Giardino Pubblico Aldo Mei, di proprietà di TRM S.p.A. Anno 2019" redatto dal Dipartimento Territoriale Piemonte Nord Ovest di Arpa Piemonte per le concentrazioni dei metalli non normati e le deposizioni atmosferiche.

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

[13] http://www.regione.piemonte.it/ambiente/aria/rilev/ariaday/ariaweb-new/

	LIMITE	PERIODO DI RIFERIMENTO	INDICATORE STATISTICO	VALORE DI RIFERIMENTO	SUPERAMENTI CONCESSI
BIOSSIDO DI ZOLFO SO_2	Valore limite	1 ora	media	350 µg/m³	24 volte/anno civile
	Valore limite	1 giorno	media	125 µg/m³	3 volte/anno civile
	Livello critico per la protezione della vegetazione	anno civile inverno (1 ott ÷ 31 mar)	media	20 µg/m³	--
	Soglia di allarme	3 ore consecutive	media oraria	500 µg/m³	--
BIOSSIDO DI AZOTO NO_2	Valore limite	1 ora	media	200 µg/m³	18 volte/anno civile
	Valore limite	anno civile	media	40 µg/m³	--
	Livello critico per la protezione della vegetazione	anno civile	media	30 µg/m³	--
	Soglia di allarme	3 ore consecutive	media oraria	400 µg/m³	--
BENZENE	Valore limite	anno civile	media	5 µg/m³	--
MONOSSIDO DI CARBONIO CO	Valore limite	media massima giornaliera sulle 8 ore	media	10 mg/m³	--
PIOMBO	Valore limite	anno civile	media	0.5 µg/m³	--
PARTICOLATO PM10	Valore limite	1 giorno	media	50 µg/m³	35 volte/anno civile
	Valore limite	anno civile	media	40 µg/m³	--
PARTICOLATO PM2.5	Valore limite	anno civile	media	25 µg/m³	--
ARSENICO	Valore obiettivo	anno civile	media	0.6 ng/m³	--
CADMIO	Valore obiettivo	anno civile	media	5 ng/m³	--
NICHEL	Valore obiettivo	anno civile	media	20 ng/m³	--
BENZO(A)PIRENE	Valore obiettivo	anno civile	media	1 ng/m³	--

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

Risultati

Biossido di zolfo (SO_2)

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

La mappa delle concentrazioni medie annue di SO_2, illustrata in Figura A1, presenta un massimo di ricaduta con concentrazione pari a 0.007 µg/m^3 collocato nella zona a sud – ovest dell'impianto, a circa 2 km dallo stesso; 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^3.

Nelle Figure A2 e A3 sono riportate rispettivamente le distribuzioni del 99.17° percentile delle medie giornaliere e delle massime medie giornaliere; nel primo caso il modello stima una concentrazione massima pari a 0.081 µg/m^3 (ovvero il valore che viene al massimo superato per tre volte nell'anno) a nord dell'impianto, mentre nel secondo una concentrazione massima di 0.099 µg/m^3. Il valore limite previsto dal D. Lgs. 152/2010 per le concentrazioni medie giornaliere di SO_2 è pari a 125 µg/m^3, da non superarsi per più di tre giorni all'anno.

L'ultimo indicatore previsto per il biossido di zolfo è il valore limite per le concentrazioni medie orarie, pari a 350 µg/m^3, da non superarsi per più di 24 volte per anno civile. Le mappe di ricaduta del 99.72° percentile delle medie orarie (Figura A4) e delle massime medie orarie (Figura A5) mostrano per il contributo del termovalorizzatore rispettivamente valori massimi di 0.28 µg/m^3 (a breve distanza dall'impianto in direzione nord) e di 0.76 µg/m^3.

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

BIOSSIDO DI ZOLFO	Media annuale (µg/m³)		Massimo media giornaliera (µg/m³)		99.17°percentile medie giornaliere (µg/m³)		Massimo orario (µg/m³)		99.72°percentile medie orarie (µg/m³)	
Stazione	osservato	simulato	osservato	simulato	osservato	simulato	osservato	simulato	osservato	simulato
Torino - Consolata	7.3	0.0006	19	0.008	18	0.006	26	0.06	21	0.02
Torino - Rebaudengo	11.3 (*)	0.0006	19 (*)	0.010	19 (*)	0.008	21 (*)	0.10	20 (*)	0.02

(*) Percentuale dati validi inferiore a 90%

Tabella 6: Biossido di zolfo: confronto osservato – simulato presso le stazioni del SRRQA

Ossidi di azoto (NO_x)

I risultati del modello di dispersione rappresentano le concentrazioni di ossidi di azoto (monossido e biossido), espressi come biossido di azoto 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 NO_x risultanti dalla modellizzazione con l'NO_2 previsto dalla normativa.

La distribuzione delle concentrazioni medie annue di ossidi di azoto (Figura A6) presenta una concentrazione massima pari a 0.32 µg/m^3 nell'area sud - ovest a circa 2 km dall'impianto; il valore limite annuo previsto dalla legislazione vigente è pari a 40 µg/m^3.

Le mappe relative agli indicatori sul breve termine sono illustrate in Figura A7 e A8, rispettivamente per il 99.79° percentile delle medie orarie e il massimo delle medie orarie. La massima concentrazione per il 99.79° percentile, ovvero il valore che viene al più superato per 18 ore l'anno, è di 15.9 µg/m^3 stimata dal modello a poca distanza dall'impianto in direzione nord, mentre il massimo delle medie orarie è pari a 56.6 µg/m^3 stimato nelle immediate vicinanze dell'impianto. Il valore limite per il 99.79° percentile delle medie orarie è pari a 200 µg/m^3.

BIOSSIDO DI AZOTO	Media annuale (µg/m^3)		Massimo orario (µg/m^3)		99.79°percentile medie orarie (µg/m^3)	
Stazione	osservato	simulato	osservato	simulato	osservato	simulato
Baldissero	15.2	0.01	100	1.8	70	0.6
Beinasco	30.8	0.09	205	12.4	122	4.0
Borgaro	24.9	0.05	129	4.0	100	2.3
Carmagnola	34.1	0.01	134	0.8	107	0.4
Chieri	21	0.01	108	1.2	92	0.6
Collegno	45.8	0.11	189	9.4	159	4.6
Druento	11.3	0.02	90	2.0	65	0.7
Leinì	22.8	0.04	118	3.3	90	2.2
Orbassano	31.1	0.18	140	10.8	114	4.0
Settimo Torinese	36.3	0.02	163	1.8	143	0.9
Torino - Consolata	53.3	0.03	195	3.0	147	1.4
Torino - Lingotto	37.3	0.05	136	3.6	110	1.7
Torino - Rebaudengo	59.9 (*)	0.03	269 (*)	4.6	195 (*)	1.3
Torino - Rubino	33	0.05	135	4.3	118	2.2
Vinovo	27.5	0.03	140	2.4	109	1.1

(*) Percentuale dati validi inferiore a 90%

Tabella 7: Biossido di azoto: confronto osservato – simulato presso le stazioni del SRRQA

Il contributo dell'impianto in corrispondenza delle stazioni di monitoraggio della qualità dell'aria presenti nel dominio è illustrato in Tabella 7; fra queste, la concentrazione massima oraria è stimata in corrispondenza della stazione di Beinasco con un valore di 12.4 µg/m^3, mentre il 99,79° percentile più elevato pari a 4.6 µg/m^3 si colloca a Collegno. Le concentrazioni medie annue sono molto ridotte, con valori più elevati ad Orbassano (0.18 µg/m^3) e Collegno (0.11 µg/m^3).

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 µg/m^3 come media annua. Le mappe di concentrazione media annua (Figura A9) e di massima media oraria (Figura A10) mostrano valori massimi rispettivamente di 0.006 µg/m^3 (a sud – ovest dell'impianto) e 2.71 µg/m^3 (a sud – est).

Si è ritenuto utile riportare, in Tabella 8, 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.

CARBONIO ORGANICO TOTALE e BENZENE	Media annuale (µg/m³)		Massimo orario (µg/m³)	
	osservato	simulato	osservato	simulato
Stazione	benzene	COT	benzene	COT
Beinasco	1.0 (*)	0.0017	12.7 (*)	0.56
Borgaro	1.0	0.0009	8.2	0.23
Settimo Torinese	1.1	0.0003	8.1	0.04
Torino - Consolata	1.2 (*)	0.0005	8.3 (*)	0.13
Torino - Lingotto	0.9 (*)	0.0008	6.8 (*)	0.29
Torino - Rebaudengo	1.8 (*)	0.0005	11.0 (*)	0.07
Torino - Rubino	1.0	0.0009	6.7	0.29
Vinovo	1.0	0.0006	7.8	0.26

(*) Percentuale dati validi inferiore a 90%

Tabella 8: Carbonio organico totale: confronto simulato con benzene osservato presso le stazioni del SRRQA

Monossido di carbonio (CO)

L'indicatore di legge per il monossido di carbonio è la media massima giornaliera calcolata su 8 ore, con un valore limite pari a 10 mg/m^3. Il contributo per questo indicatore associato alle emissioni del termovalorizzatore TRM è illustrato in Figura A11 e presenta una concentrazione massima pari a 0.003 mg/m^3, localizzata a poche centinaia di metri dall'impianto, in direzione ovest – sud ovest.

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

(*) Percentuale dati validi inferiore a 90%

Tabella 9: Monossido di carbonio: confronto osservato – simulato presso le stazioni del SRRQA

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, pertanto per la valutazione complessiva del particolato PM10 (componenti primaria e secondaria) dovuto al termovalorizzatore si rimanda ai risultati che si otterranno a seguito dei run eseguiti con il modello CTM FARM.

Le mappe di ricaduta delle concentrazioni di particolato PM10 primario associate al funzionamento del termovalorizzatore sono riportate nelle Figure dalla A12 alla A14 rispettivamente per la media annua, il 90.4° percentile delle concentrazioni medie giornaliere e il massimo della media giornaliera.

Per la media annuale, il valore massimo stimato da SPRAY è pari a 0.0017 $\mu g/m^3$, posizionato in direzione sud – ovest a circa 2 km dall'impianto; il valore limite per questo indicatore[14] è pari a 40 $\mu g/m^3$. Nel caso del 90.4° percentile delle medie giornaliere (il cui valore limite è pari a 50 $\mu g/m^3$ da non superarsi per più di 35 volte all'anno), le ricadute del modello indicano una concentrazione massima di 0.004 $\mu g/m^3$, posizionata a poche centinaia di metri in direzione sud – ovest dall'impianto; il valore della massima media giornaliera sull'anno è invece risultato pari a 0.031 $\mu g/m^3$.

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.

In Figura A15 è riportata la mappa delle deposizioni totali (secche e umide) per il particolato PM10; la deposizione massima media annua si ottiene nella cella di calcolo adiacente al camino del termovalorizzatore, con un valore di 6.31 $\mu g/m^2 d$. Il posizionamento del massimo delle deposizioni a ridosso del camino è attribuibile alle deposizioni umide (che contribuiscono in modo più significativo, rispetto a quelle secche, alle deposizioni totali); queste hanno un maggiore impatto vicino alla sorgente in quanto agiscono per dilavamento sul pennacchio nel punto in cui questo ha maggiore concentrazione (ovvero all'uscita dal camino).

[14] I valori limite per il particolato PM10 si riferiscono al contributo delle componenti primaria e secondaria.

PM10	Media annuale (µg/m³)		Massimo giornaliero (µg/m³)		90.4° percentile medie giornaliere (µg/m³)	
Stazione	osservato	simulato	osservato	simulato	osservato	simulato
Baldissero	18 (*)	0.0001	57 (*)	0.001	30 (*)	0.0002
Beinasco	27	0.0005	93	0.007	55	0.0012
Borgaro	26 (*)	0.0002	86 (*)	0.005	50 (*)	0.0008
Carmagnola	35	0.0000	104	0.001	65	0.0002
Chieri	30 (**)	0.0001	72 (**)	0.002	58 (**)	0.0002
Collegno	30	0.0006	105	0.019	60	0.0017
Druento	19	0.0001	93	0.002	36	0.0003
Leinì	27	0.0002	90	0.006	54	0.0007
Settimo Torinese	34	0.0001	117	0.001	74	0.0003
Torino - Consolata	28	0.0001	100	0.002	59	0.0004
Torino - Grassi	38	0.0003	127	0.004	73	0.0011
Torino - Lingotto	27	0.0002	91	0.002	57	0.0007
Torino - Rebaudengo	34	0.0001	115	0.002	68	0.0004
Torino - Rubino	28	0.0003	96	0.004	57	0.0007

(*) Percentuale dati validi inferiore a 90%
(**) Percentuale dati validi pari a 15%

Tabella 10: Particolato PM10: confronto osservato – simulato presso le stazioni del SRRQA

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.

La mappa di ricaduta delle concentrazioni medie annue di particolato PM2.5 primario è riportata in Figura A16 ed evidenzia un valore massimo di 0.0013 µg/m^3, a circa 2 km in direzione sud – ovest dall'impianto. Per questo indicatore la normativa prevede un valore pari a 25 µg/m^3[15].

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

In Figura A17 è riportata la mappa delle deposizioni totali (secche e umide) per il particolato PM2.5; la deposizione massima media annua si ottiene in prossimità del camino del termovalorizzatore, con un valore di 2.6 µg/m^{2}d.

[15] Anche nel caso del particolato PM2.5 il valore limite della normativa si riferisce al contributo delle componenti primaria e secondaria.

PM2.5	Media annuale (µg/m³)	
Stazione	osservato	simulato
Beinasco	19.6	0.0004
Borgaro	19.3	0.0002
Chieri	19.6	0.0000
Leinì	19.7 (*)	0.0002
Settimo Torinese	21.8	0.0001
Torino - Lingotto	19.3	0.0002
Torino - Rebaudengo	24.6 (*)	0.0001
Torino - Rubino	20.2	0.0002

(*) Percentuale dati validi inferiore a 90%

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

Ammoniaca (NH_3)

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 A18) e massima media oraria (Figura A19).

La massima concentrazione media annua stimata dal modello è pari a 0.008 µg/m^3, posizionata a circa 2 km dall'impianto in direzione sud – ovest, mentre la concentrazione massima oraria è di 1.24 µg/m^3 prevista nelle immediate vicinanze dell'impianto in direzione ovest – sud ovest.

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

AMMONIACA	Media annuale (µg/m³)		Massimo orario (µg/m³)	
Stazione	osservato	simulato	osservato	simulato
Torino - Lingotto	15	0.001	81	0.11

Tabella 12: Ammoniaca: confronto osservato – simulato presso le stazioni del SRRQA

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 A20) e massima media oraria (Figura A21).

La concentrazione massima media annua stimata da SPRAY è pari a 0.015 μg/m^3, a circa 2 km in direzione sud – ovest dal termovalorizzatore, mentre la massima media oraria è di 2.32 μg/m^3 nei pressi dell'impianto.

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 (Figura A22) e massima media oraria (Figura A23).

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

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 A24 alla A26. Le concentrazioni medie annue (Figura A24) mostrano un massimo di 0.074 ng/m^3 posizionato a circa 2 km in direzione sud - ovest rispetto all'impianto, mentre le concentrazioni massime medie giornaliere 2.3 ng/m^3 (Figura A25) a nord dell'impianto, nelle vicinanze dello stesso. La concentrazione massima media oraria (Figura A26) è pari a 20.5 ng/m^3, stimata in direzione est – nord est a poche centinaia di metri dall'impianto.

Per il CASO 2, le concentrazioni medie annuali (Figura A27) mostrano un massimo pari a 0.064 ng/m^3[16] in posizione analoga al CASO 1, le massime medie giornaliere (Figura A28) un massimo pari a 1.84 ng/m^3 in direzione nord nei pressi dell'impianto e le massime medie orarie (Figura A29) un massimo di 18.3 ng/m^3 in direzione est – nord est a circa 1 km dall'impianto.

Le deposizioni totali (secche e umide) medie annue (Figura A30) relative al CASO 2 presentano un massimo di 544.6 ng/m^{2}d nella cella di calcolo più prossima alla sorgente. Come illustrato nel paragrafo relativo al particolato PM10, 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 rapidamente allontanandosi dalla sorgente.

[16] La concentrazione è inferiore rispetto al CASO 1 a causa dell'attivazione delle deposizioni per il mercurio sul particolato PM10

In Tabella 13 è illustrato il confronto fra le concentrazioni simulate nei due casi e quelle osservate 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.

Mercurio	Media annuale (ng/m³)			Massimo media giornaliera (ng/m³)			Massimo orario (ng/m³)		
Stazione	osservato	simulato CASO 1	simulato CASO2	osservato	simulato CASO 1	simulato CASO2	osservato	simulato CASO 1	simulato CASO2
Beinasco	3	0.019	0.015	9	0.377	0.300	42	1.63	1.38

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

Il confronto fra le deposizioni medie annuali in corrispondenza del sito di Beinasco mostra valori simulati che, sebbene inferiori alle misure, hanno lo stesso ordine di grandezza, evidenziando un contributo significativo dell'impianto alle concentrazioni misurate.

Hg Deposizioni	Media annuale (ng/m²d)	
Stazione	osservato	simulato
Beinasco	30	18.5

Tabella 14: Mercurio, deposizioni totali: confronto osservato – simulato presso le stazioni del SRRQA

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

Il D. Lgs. 155/2010 prevede un valore obiettivo pari a 5 ng/m^3 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.

Il valore massimo della concentrazione media annuale di Cd e Tl (Figura A31) è pari a 0.006 ng/m^3, ampiamente inferiore al valore obiettivo previsto per il solo cadmio, a circa 2 km dall'impianto in direzione sud – ovest; la massima media giornaliera (Figura A32) è pari a 0.081 ng/m^3 in direzione nord a poca distanza dal termovalorizzatore.

In Tabella 15 è riportato il confronto delle concentrazioni atmosferiche modellizzate di cadmio e tallio con quelle misurate di cadmio presso le stazioni della rete regionale; 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 (Figura A33) presentano un massimo di 0.05 µg/m^{2}d a ridosso dell'impianto.

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 16; anche in questo caso le concentrazioni stimate dal modello sono di circa due ordini di grandezza inferiori al misurato.

Cd + Tl	Media annuale (ng/m³)	
	osservato	simulato
Stazione	Cd	
Beinasco	0.10	0.0016
Druento	0.07	0.0003
Settimo Torinese	0.10	0.0003
Torino - Consolata	0.10	0.0005
Torino - Grassi	0.18	0.0010
Torino - Lingotto	0.11	0.0007
Torino - Rebaudengo	0.26	0.0005
Torino - Rubino	0.1 (*)	0.0009

(*) Percentuale dati validi inferiore a 90%

Tabella 15: Cadmio e Tallio: confronto osservato – simulato presso le stazioni del SRRQA

Cd+Tl Deposizioni	Media annuale (µg/m²d)	
	osservato	simulato
Stazione	Cd	
Beinasco	0.3	0.002
Grugliasco	0.1	0.001
Orbassano	0.2	0.003
Rivalta	0.1	0.001

Tabella 16: Cadmio e Tallio, deposizioni atmosferiche: confronto osservato – simulato presso i deposimetri

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 il rispetto dei limiti emissivi, la normativa di qualità dell'aria prevede un valore obiettivo per piombo (0.5 µg/m^3), arsenico (0.6 ng/m^3) e nichel (20 ng/m^3) determinati sul particolato PM10 atmosferico.

La mappa delle concentrazioni medie annue (Figura A34) presenta un massimo per l'insieme dei metalli pari a 0.31 ng/m^3, inferiore al valore obiettivo più basso (relativo all'arsenico) fra quelli degli inquinanti normati, collocato in direzione sud – ovest a circa 2 km dall'impianto; le concentrazioni massime medie giornaliere (Figura A35) presentano un massimo di 4 ng/m^3 in direzione nord a poca distanza dal termovalorizzatore.

In Tabella 17 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. Anche in questo caso le concentrazioni stimate sono inferiori di almeno un ordine di grandezza rispetto ai metalli presenti in atmosfera in concentrazione minore (arsenico e vanadio).

Metalli (As, Co, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb, Sb, Sn, V)	Media annuale (ng/m³)								
	osservato								simulato
Stazione	As	Cr	Cu	Mn	Ni	Sb	Pb	V	
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%

Tabella 17: Metalli: confronto osservato – simulato presso le stazioni del SRRQA

La mappa delle deposizioni totali per i metalli è riportata in Figura A36; il valore massimo stimato dal modello è pari a 2.6 µg/m^{2}d, posizionato a ridosso dell'impianto.

Il confronto osservato – simulato dei metalli nelle deposizioni totali con le concentrazioni misurate presso la rete dei deposimetri è illustrato in Tabella 18; anche in questo caso il contributo complessivo dei metalli è inferiore ad ogni singolo contributo dei metalli determinati nelle deposizioni.

Metalli Deposizioni (As, Co, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb, Sb, Sn, V)	Media annuale (µg/m²d)							
	osservato							simulato
Stazione	As	Co	Cr	Cu	Ni	Pb	V	
Beinasco	1.7	1.7	4.2	15.8	4.2	8.4	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

Tabella 18: Metalli, deposizioni atmosferiche: confronto osservato – simulato presso i deposimetri

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.

Le mappe delle concentrazioni media annua, massima media giornaliera e delle deposizioni totali dello zinco sono riportate nelle Figure dalla A37 alla A39.

Il massimo della concentrazione media annua stimato dal modello è pari a 0.25 ng/m^3, posizionato a circa 2 km dal termovalorizzatore in direzione sud - ovest, mentre la massima media giornaliera è pari a 3.3 ng/m^3 in direzione nord a breve distanza dall'impianto.

Il confronto fra le concentrazioni misurate in atmosfera sul particolato PM10 e quelle simulate è descritto dalla Tabella 19, nella quale i valori stimati dal modello risultano di tre ordini di grandezza inferiori alle misure.

Il massimo delle deposizioni totali medie annue è di 2.21 µg/m^{2}d nei pressi del camino; questo metallo non viene determinato nelle deposizioni pertanto non sono disponibili misure per il confronto con i dati simulati.

Zn	Media annuale (ng/m³)	
Stazione	osservato	simulato
Beinasco	28.8	0.06
Settimo Torinese	27.8	0.01
Torino - Rebaudengo	32.7	0.02
Torino - Rubino	28.7 (*)	0.04

(*) Percentuale dati validi inferiore a 90%

Tabella 19: Zinco: confronto osservato – simulato presso le stazioni del SRRQA

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^3. 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.

La concentrazione media annua di IPA stimata dal modello è rappresentata in Figura A40, con un massimo stimato pari a 0.06 pg/m^3, ovvero 0.00006 ng/m^3, ampiamente inferiore al valore obiettivo previsto per il solo benzo(a)pirene; la ricaduta della massima media annuale è posizionata a circa 2 km dall'impianto in direzione sud – ovest. La concentrazione massima media giornaliera (Figura A41) è pari a 0.81 pg/m^3, in direzione nord a poca distanza dal termovalorizzatore.

La Tabella 20 riporta le concentrazioni misurate, in corrispondenza con le 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 hanno valori con diversi ordini di grandezza inferiori a quelle simulate, anche considerando il solo B(a)P.

Le mappe che descrivono la distribuzione delle deposizioni medie annue sono riportate in Figura A42; il valore massimo delle deposizioni totali è pari a 0.54 ng/m^{2}d, nella cella adiacente la sorgente emissiva.

La Tabella 21 che, mostra il confronto fra le deposizioni misurate (IPA totali[17] e B(a)P) e simulate (IPA totali), conferma il modesto contributo del termovalorizzatore per questi inquinanti anche nelle deposizioni totali.

[17] Sommatoria 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	Media annuale (ng/m³)		
	osservato		simulato
Stazione	IPA	B(a)P	
Beinasco	2.82	0.5	0.000016
Borgaro	3.03 (*)	0.6 (*)	0.000009
Carmagnola	3.04	0.6	0.000001
Druento	1.38	0.2	0.000003
Settimo Torinese	4.18	0.8	0.000003
Torino - Consolata	2.33	0.4	0.000005
Torino - Grassi	3.65	0.7	0.000010
Torino - Lingotto	2.86	0.5	0.000007
Torino - Rebaudengo	4.43	0.9	0.000005
Torino - Rubino	2.28 (*)	0.4 (*)	0.000009

(*) Percentuale dati validi inferiore a 90%

Tabella 20: Idrocarburi policiclici aromatici: confronto osservato – simulato presso le stazioni del SRRQA

IPA e B(a)P Deposizioni	Media annuale (ng/m²d)		
	osservato		simulato
Stazione	IPA	B(a)P	
Beinasco	38.7	6.6	0.02
Grugliasco	31.7	3.8	0.01
Orbassano	48.5	6.6	0.03
Rivalta	29.8	4.0	0.01

Tabella 21: Idrocarburi policiclici aromatici, deposizioni atmosferiche: confronto osservato – simulato presso i deposimetri

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[18].

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*[19]) stabiliti dall'Unione Europea e dall'Organizzazione Mondiale della Sanità. In particolare, per

[18] Un valore di 150 fg I-TEQ/m³ 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/m³.
https://www.lanuv.nrw.de/fileadmin/lanuv/gesundheit/pdf/LAI2004.pdf

[19] 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

analogia a quanto riportato nel documento Arpa che riassume annualmente i dati dei monitoraggi condotti presso la stazione di Beinasco[20], si farà riferimento al valore di deposizione media annua di PCDD/DF di 14 pg I-TEQ/m^{2}d correlata a un'assunzione giornaliera (TDI) pari a 4 pg I-TEQ/kg di peso corporeo[21].

La concentrazione media annua di PCDD/DF in aria, illustrata in Figura A43, mostra un valore massimo di 0.013 fg/m^3 in direzione sud – ovest rispetto all'impianto a circa 2 km di distanza; la concentrazione media massima giornaliera (Figura A44) è invece di 0.173 fg/m^3 posizionata in direzione nord nei pressi del termovalorizzatore.

Nella Tabella 22 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.

PCDD/DF	Media annuale (fg/m³)	
Stazione	osservato	simulato
Beinasco	12.1	0.0034

Tabella 22: Policlorodibenzodiossine/policlorodibenzofurani: confronto osservato – simulato presso le stazioni del SRRQA

La distribuzione delle deposizioni totali (secche e umide) medie annue (Figura A45) mostra un valore massimo pari a 0.12 pg/m^{2}d, ampiamente inferiore al valore di riferimento di 14 pg I-TEQ/m^{2}d, posizionato a ridosso del camino.

Il confronto fra le deposizioni simulate e misurate presso la stazione di Beinasco è riportato in Tabella 23, con concentrazioni stimate come contributo del termovalorizzatore di tre ordini di grandezza inferiori a quelle misurate.

PCDD/DF Deposizioni	Media annuale (pg/m²d)	
Stazione	osservato	simulato
Beinasco	4.13	0.0045

Tabella 23: Idrocarburi policiclici aromatici, deposizioni atmosferiche: confronto osservato – simulato presso i deposimetri

Policlorobifenili (PCB) in aria e nelle deposizioni

Anche nel caso dei PCB non sono disponibili valori limite per le concentrazioni in aria, mentre sono disponibili riferimenti per la sommatoria di PCDD e PCB-DL (diossina simile)[22].

[20] "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

[21] 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

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

Le simulazioni sono state condotte considerando i PCB-DL, la cui media annuale in aria è illustrata in Figura A46; il valore massimo stimato è pari a 0.0014 fg/m^3, situato in direzione sud – ovest a circa 2 km dall'impianto. Le concentrazioni medie massime giornaliere sono riportate in Figura A47, con un valore massimo di 0.018 fg/m^3, in direzione nord a poca distanza dalla sorgente.

Nella Tabella 24 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.

PCB DL	Media annuale (fg/m³)	
Stazione	osservato	simulato
Beinasco	2.9	0.0004

Tabella 24: Policlorobifenili DL: confronto osservato – simulato presso le stazioni del SRRQA

Le deposizioni totali (secche e umide) medie annue sono illustrate in Figura A48, con un massimo pari a 0.012 pg/m^{2}d a ridosso del camino.

PCB DL Deposizioni	Media annuale (pg/m²d)	
Stazione	osservato	simulato
Beinasco	0.83	0.0005

Tabella 25: Policlorobifenili DL, deposizioni atmosferiche: confronto osservato – simulato presso i deposimetri

La Tabella 25 mostra il confronto fra le deposizioni medie annue misurate e simulate a Beinasco; la modellizzazione indica, per il contributo dell'impianto, concentrazioni di tre ordini di grandezza inferiori a quelle misurate.

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 meteodispersive finalizzate a valutare il contributo alle concentrazioni e deposizioni atmosferiche prodotte dall'impianto di termovalorizzazione TRM nell'anno 2019.

Il sistema modellistico utilizzato, basato sul modello di previsione meteorologica a mesoscala WRF e sul modello di dispersione lagrangiano a particelle SPRAY, permette di ricostruire, ad elevato dettaglio spaziale (risoluzione orizzontale pari a 250 metri) e temporale, le concentrazioni e deposizioni degli inquinanti emessi in atmosfera dall'impianto, considerandoli come inerti.

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

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

Per tutti gli inquinanti, sia a livello di concentrazioni in atmosfera sia di deposizioni, i risultati delle simulazioni modellistiche mostrano un contributo del termovalorizzatore alle concentrazioni misurate decisamente modesto, spesso inferiore di uno o più ordini di grandezza rispetto ai valori misurati.

L'unico inquinante per il quale la simulazione restituisce 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 emissione di rilievo per questo inquinate. Approfondimenti in merito verranno condotti anche a seguito dei risultati della simulazione che verrà realizzata, con la stessa catena modellistica, sul 2016, anno caratterizzato da emissioni di mercurio più significative rispetto a quelle del 2019; ulteriori utili indicazioni potranno pervenire dal monitoraggio delle deposizioni di mercurio, avviato nell'ambito di SPoTT-2, presso il sito di Torino – Lingotto (sede Arpa).

Per quanto riguarda i valori massimi di deposizione nelle immediate vicinanze del camino del termovalorizzatore (in particolare nella cella di calcolo adiacente al camino), sono spiegabili con l'effetto di dilavamento che si verifica 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.