

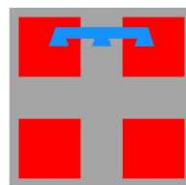


Interreg
ALCOTRA

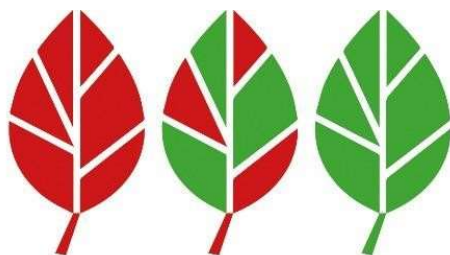
Fonds européen de développement régional
Fondo europeo di sviluppo regionale



UNION EUROPÉENNE
UNIONE EUROPEA



**REGIONE
PIEMONTE**



MITIMPACT

**Modellizzazioni a micro e a macroscale dei flussi di ozono,
valutazione e impatti e definizione strategie /
Modélisations à micro et macro définition des fluxes
d'ozone, évaluation des impacts et définition des
stratégies (WP4)**

**Prodotto 4.1.1 Mappatura delle concentrazioni di ozono e valutazione
dei contributi endogeni ed esogeni rispetto al territorio in studio /
Livrable 4.1.1 Cartographie des concentrations d'ozone et estimation
des contributions endo et exogènes en rapport au territoire étudié**

Luglio 2020 / Juillet 2020

Responsabile WP4: Arpa Piemonte

Dipartimento Rischi Ambientali e Naturali
Via Pio VII, 9
10135 Torino - Italia
tel. +39 011 19680448
fax +39 011 19681341
dip.rischi.naturali.ambientali@arpa.piemonte.it
www.arpa.piemonte.gov.it



Gruppo di lavoro:

Francesca Bissardella, Cinzia Cascone, Monica Clemente, Roberta De Maria, Stefania Ghigo, Marilena Maringo

4.1 Modellizzazione a scala regionale delle concentrazioni di ozono e delle variabili climatiche (ARPA Piemonte)

4.1 Modélisation à l'échelle régionale des concentrations d'ozone et des variables climatiques (ARPA Piemonte)

Prodotto 4.1.1 Mappatura delle concentrazioni di ozono e valutazione dei contributi endogeni ed esogeni rispetto al territorio in studio

Livrable 4.1.1 Cartographie des concentrations d'ozone et estimation des contributions endogènes et exogènes par rapport au territoire étudié

L'azione ha visto la realizzazione, da parte di Arpa Piemonte, di una modellizzazione a scala regionale delle concentrazioni di ozono e delle variabili climatiche per gli anni 2018 e 2019 sul dominio transfrontaliero oggetto di studio, al fine di ottenere una mappatura del territorio successivamente condivisa con i partner per la realizzazione delle loro attività progettuali e messa a disposizione degli attori locali.

Pour cette activité Arpa Piemonte a réalisé une modélisation à l'échelle régionale des concentrations d'ozone et des variables climatiques pour les années 2018 et 2019 sur le domaine transfrontalier étudié, afin d'obtenir une cartographie du territoire successivement partagée avec les partenaires pour la mise en œuvre de leurs activités de projet et la mise à disposition aux acteurs locaux.

Modellizzazione meteodispersiva e mappatura delle concentrazioni di ozono

Modélisation météo-dispersive et cartographie des concentrations d'ozone

Le simulazioni dispersive sono state condotte con la catena modellistica¹ implementata presso ARPA Piemonte e basata sul modello di chimica e trasporto CTM (*Chemistry Transport Model*) FARM² (*Flexible Air Regional Model*, ARIANET S.r.l.). FARM è in grado di calcolare le concentrazioni in atmosfera dei principali inquinanti atmosferici (aerosols e gas) su scale spaziali che vanno da quella urbana a quella continentale. Il modello è stato utilizzato con la versione aggiornata dello schema SAPRC-99 (Carter et al., 2000) per la chimica in fase gassosa e il modulo AERO3 (derivato da quello implementato nel modello CMAQ – *Community Multiscale Air Quality*) per gli aerosols.

Come tutti i CTM, il modello FARM necessita in ingresso di molteplici informazioni che devono essere fornite su tutti i domini di simulazione: campi meteorologici tridimensionali, concentrazioni tridimensionali degli inquinanti ai bordi dell'area di studio ed all'inizio del periodo di simulazione, ratei di emissioni (antropogeniche e naturali) per tutti gli inquinanti considerati. In Figura 24 è riportata la schematizzazione della catena modellistica utilizzata.

Come modello meteorologico è stato utilizzato il modello WRF³ (*Weather Research and Forecasting model*) con il quale sono state condotte le simulazioni sulle aree di studio. WRF è un modello fluidodinamico totalmente comprimibile e non-idrostatico di previsione meteorologica a mesoscala, creato per applicazioni di ricerca e per le previsioni in modalità operativa. 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: nel caso specifico sono stati utilizzati i campi meteorologici di analisi prodotti a scala continentale dal modello ECMWF (*European Centre for Medium Range Weather Forecast*).

¹ Sistema integrato di codici di calcolo che permette di produrre tutte le informazioni necessarie al modello CTM
[Système intégré de codes de calcul permettant de produire toutes les informations nécessaires au modèle CTM](#)

² G. Calori, C. Silibello, G.F. Marras, 2018. FARM (Flexible Air quality Regional Model) Model formulation and user's manual – Arianet R2018.22

³ NCAR – National Center for Atmospheric Research, UCAR – Mesoscale & Microscale Meteorology Laboratory: WRF, The Weather Research & Forecasting Model <https://www.mmm.ucar.edu/weather-research-and-forecasting-model>

Nell'ambito del progetto Arpa Piemonte ha affidato alla società ARIANET S.r.l. lo sviluppo di apposite procedure per l'esecuzione delle simulazioni con WRF e di un modulo software di interfaccia –WRF-EXTRACTOR – per effettuare il post-processing dei files in uscita in un formato compatibile con il sistema modellistico in uso presso Arpa (dal formato standard di WRF al formato idoneo per i codici GAP e SurfPRO, necessari per la rigigliatura dei dati e la ricostruzione dei parametri di turbolenza atmosferica).

Les simulations dispersives ont été menées à l'aide de la chaîne de modèles⁴ mise en œuvre auprès d'ARPA Piemonte qui se base sur le modèle de chimie et transport CTM (*Chemistry Transport Model*) FARM⁵ (*Flexible Air Regional Model*, ARIANET S.r.l.). FARM est à même de calculer les concentrations des principaux polluants atmosphériques (aérosols et gaz) dans l'atmosphère à des échelles spatiales qui vont de l'échelle urbaine à l'échelle continentale. Le modèle a été employé avec la version actualisée du schéma SAPRC-99 (Carter et al., 2000) pour la chimie en phase gazeuse et le module AERO3 (dérivé de celui réalisé dans le modèle CMAQ – *Community Multiscale Air Quality*) pour les aérosols.

Comme tous les CTM, le modèle FARM nécessite en entrée de plusieurs informations devant être fournies sur tous les domaines de simulation : champs météorologiques tridimensionnels, concentrations tridimensionnelles des polluants en bordure de la placette d'étude et au début de la période de simulation, taux d'émissions (anthropogéniques et naturelles) pour tous les polluants considérés. Dans la Figure 24 on montre la schématisation de la chaîne de modèles utilisées.

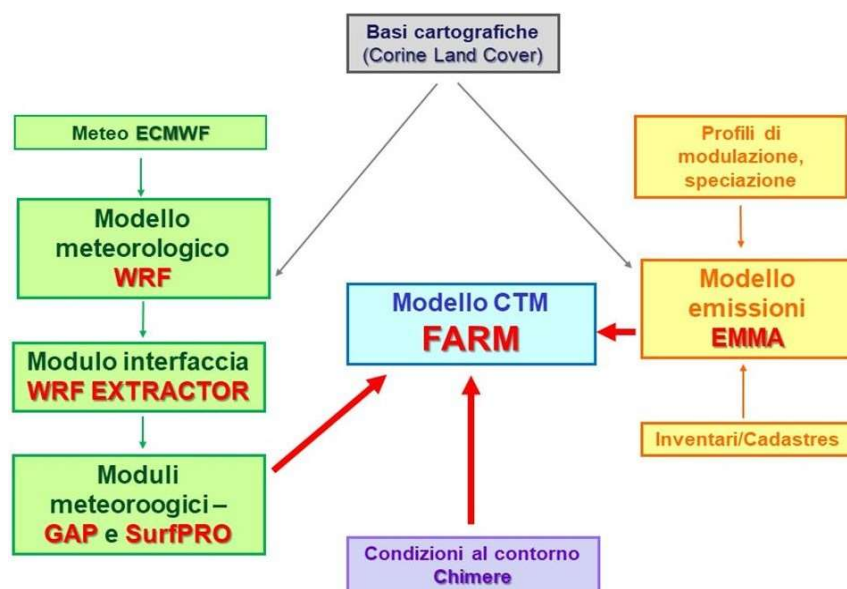


Figura 24: Schema di funzionamento, moduli e dati di ingresso del sistema modellistico utilizzato.
Figure 24 : Schéma de fonctionnement, modules et données d'entrée du système de modèles utilisé.

En tant que modèle météorologique, on a utilisé le WRF⁶ (*Weather Research and Forecasting model*) pour mener les simulations sur les placettes. WRF est un modèle hydrodynamique totalement compressible et non-hydrostatique de prévision météorologique à méso-échelle, créé pour des applications de recherche et pour les prévisions en modalité opérationnelle. Les données nécessaires à son fonctionnement sont essentiellement constituées des données physiographiques du territoire étudié (orographie, exploitation du sol, paramètres du terrain) et des données météorologiques tridimensionnelles aux abords du domaine de simulation : dans le cas d'espèce, on a utilisé les champs météorologiques d'analyses produits à l'échelle continentale par le modèle ECMWF (*European Centre for Medium Range Weather Forecast*).

Dans le cadre du projet, Arpa Piemonte a confié à la société ARIANET S.r.l. le développement de procédures adaptées pour l'exécution des simulations avec WRF et d'un module logiciel d'interface –WRF-EXTRACTOR – pour effectuer le post-traitement des fichiers en sortie dans un format compatible avec le système de modélisation utilisé par Arpa (du format standard de WRF au format adapté pour les codes GAP et SurfPRO,

nécessaires pour le redégrillage des données et la reconstruction des paramètres de turbulence atmosphérique).

Per la predisposizione dell'input emissivo al modello FARM è stato utilizzato il modello emissivo EMMA⁴ (ARIANET S.r.l.), in grado di disaggregare spazialmente i dati degli inventari delle emissioni, modulare temporalmente su base oraria le emissioni e riprodurre la speciazione chimica dei composti organici volatili non metanici (NMVOC) e del particolato (PM). Il risultato - per ogni attività antropica e naturale - è la ripartizione della sommatoria emissiva dei NMVOC e del PM nelle varie specie secondo il criterio di aggregazione previsto dal meccanismo chimico adottato da FARM, sulla base di profili di speciazione e dimensionali specifici per ogni categoria emissiva.

Le simulazioni modellistiche sono state realizzate su tre domini innestati con risoluzione crescente (Figura 25), le cui caratteristiche sono riportate in Tabella 4.1. Il dominio di riferimento per i risultati del progetto (indicato in rosso) è il dominio più interno G3 avente risoluzione orizzontale pari a 0.03° (3 km x 3 km circa), che comprende l'area transfrontaliera delle regioni di PACA e Rhône-Alpes sul lato francese, delle province di Torino, Cuneo e Imperia sul lato italiano. I domini G2 e G1 (indicati rispettivamente in viola e in nero in Figura 25) includono Nord Italia e Sud Est della Francia (G2), Europa centro-occidentale (dominio continentale, G1): i due domini sono collegati tra di loro in modalità two-way nesting (lo scambio di informazioni tra le due griglie avviene in entrambi i versi). Il dominio continentale G1 è stato utilizzato per produrre le condizioni al contorno del dominio G2 che, a sua volta, permette di simulare gli effetti delle maggiori sorgenti emissive localizzate all'esterno del dominio principale G3, ma che possono comunque influenzarlo. Le condizioni al contorno sul dominio continentale sono state ricavate a partire dai dati messi a disposizione dal servizio Prev'Air nell'ambito del progetto SH'Air (Programma di Cooperazione Transfrontaliera ALCOTRA 2007-2013).

Pour la préparation de l'entrée émissive au modèle FARM le modèle émissif EMMA⁷ (ARIANET S.r.l.) a été utilisé ; il est en mesure de désagréger spatialement les données des inventaires des émissions, moduler temporellement les émissions sur base horaire et reproduire la spéciation chimique des composés organiques volatiles non méthaniques (COVNM) et des particules (PM). Le résultat, pour chaque activité anthropique et naturelle, est la ventilation de la sommation émissive des COVNM et des PM dans les différentes espèces selon le critère d'agrégation prévu par le mécanisme chimique adopté par FARM, sur la base de profils de spéciation et dimensionnels spécifiques pour chaque catégorie d'émissions.

Les simulations de la modélisation ont été réalisées sur trois domaines greffés avec résolution croissante (Figure 25), dont les caractéristiques sont illustrées dans le Tableau 9. Le domaine de référence pour les résultats du projet (indiqué en rouge) est le domaine plus interne G3 ayant une résolution horizontale égale à 0.03° (3 km x 3 km environ), qui comprend la zone transfrontalière des régions PACA et Rhône-Alpes du côté français, des provinces de Turin, Cuneo et Imperia du côté italien. Les domaines G2 et G1 (indiqués respectivement en violet et noir dans la Figure 25) comprennent le nord de l'Italie et le sud-est de la France (G2), l'Europe centre-occidentale (domaine continental, G1) : les deux domaines sont liés en modalité two-way nesting (l'échange d'informations entre les deux grilles va dans les deux directions). Le domaine continental G1 a été utilisé pour produire les conditions aux marges du domaine G2 qui, à son tour, permet de simuler les effets des plus grandes sources d'émissions localisées à l'extérieur du domaine principal G3, mais qui peuvent en tous cas l'influencer. Les conditions en bordure du domaine continental ont été tirées à partir des données mises à disposition par le service Prev'Air dans le cadre du projet SH'Air (Programme de Coopération Transfrontalière ALCOTRA 2007-2013).

⁴ Emission Manager - Modular processing system for model-ready emission input preparation v. 6.2 -December 2014 - <http://doc.aria-net.it/EmissionManager>

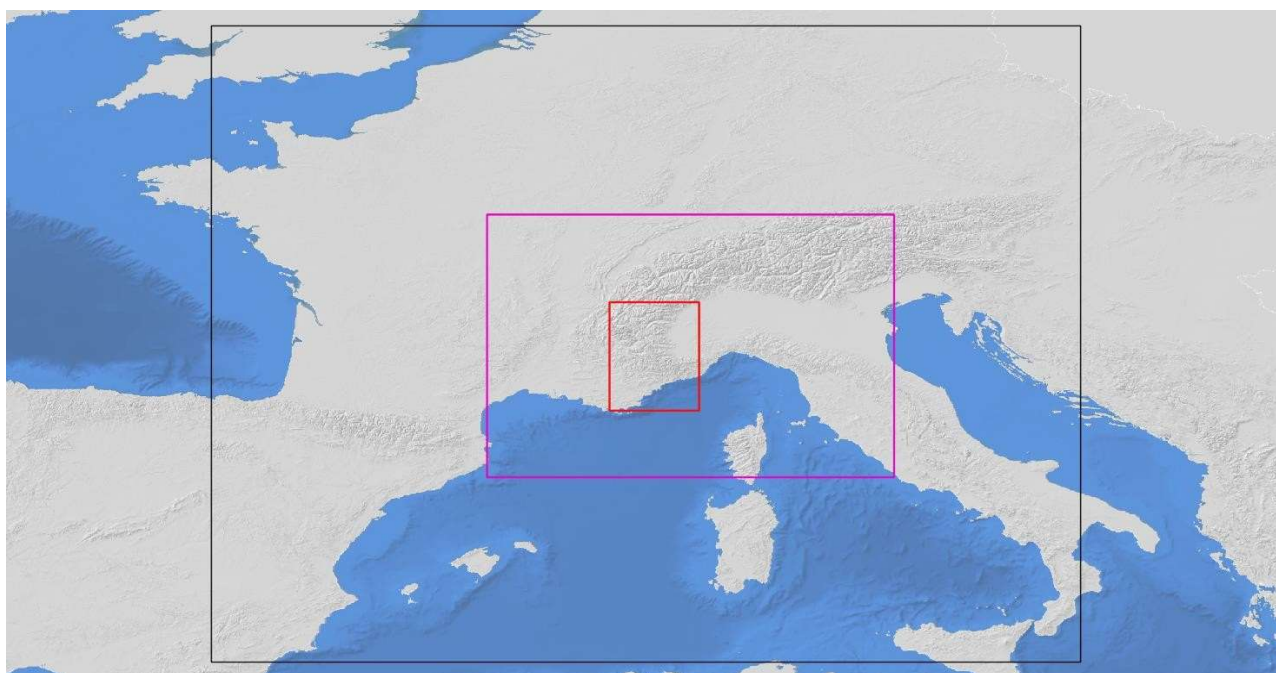


Figura 25: domini di simulazione: in rosso il dominio principale G3
Figure 25 : domaines de simulation : en rouge le domaine principal G3.

<i>Dominio</i>	<i>Risoluzione</i>	<i>Coordinate punto SW</i>	<i>Estensione</i>	<i>Livelli verticali</i>	<i>Proiezione</i>
G1	0.2°	LAT = 37.4 LONG= -3	nx = 99 ny = 73	24	EPSG = 4326
G2	0.09°	LAT = 41.54 LONG= 3.18	nx = 104 ny = 68	24	EPSG = 4326
G3	0.03°	LAT = 43.07 LONG= 5.97	nx = 69 ny = 84	24	EPSG = 4326

Tabella 9: caratteristiche dei domini di simulazione
Tableau 9 : caractéristiques des domaines de simulation

Per quanto riguarda la base dati emissiva necessaria per la realizzazione delle simulazioni modellistiche, sono stati utilizzati gli inventari/cadastre regionali di Piemonte, Liguria, Valle d'Aosta, Auvergne-Rhône-Alpes e PACA riferiti all'anno 2013, capitalizzando quanto realizzato nell'ambito del progetto CLIMAERA⁵, approvato sempre nell'Asse II della programmazione ALCOTRA 2017-2020. Gli inventari/*cadastre* stimano – sulla base di indicatori statistici e di variabili proxy – le quantità emesse dalle diverse tipologie di sorgente: le sorgenti puntuali (singoli impianti industriali), le sorgenti lineari (strade e autostrade) e le sorgenti areali (fonti di emissione diffuse sul territorio). Nel caso delle sorgenti areali, i dati emissivi messi a disposizione erano associati ai territori comunali (nel caso degli inventari) o alle maglie di una griglia regolare (nel caso dei *cadastre* francesi).

A completare l'input emissivo, per i territori al di fuori dell'area ALCOTRA, si è fatto riferimento per le regioni italiane all'inventario nazionale ISPRA 2015 (ultimo aggiornamento disponibile), mentre per i restanti territori all'inventario EMEP 2015.

Sempre nell'ottica della capitalizzazione, per tutti dati emissivi (NH₃, NO_x, particolato PM₁₀ e PM_{2,5}, SO₂ e VOC), è stata applicata l'armonizzazione delle categorie emissive realizzata da Arpa Piemonte e condivisa nell'ambito del partenariato di un altro progetto ALCOTRA approvato nella precedente programmazione, il progetto SH'Air⁶.

Nella predisposizione dell'input emissivo per il modello di dispersione, infine, per la speciazione dei VOC e del PM è stato adottato lo schema chimico in uso nel sistema modellistico di Arpa Piemonte (SAPRC99),

⁵ <https://www.climaera.eu/it/>

⁶ SH'Air *Système d'échange Atmosphérique Inter Régional sur la zone Alcotra* - Sistema di Scambio Atmosferico Inter Regionale sulla zona Alcotra

mentre per la modulazione delle emissioni dal livello annuale al livello orario sono stati adottati i profili temporali armonizzati – anche in questo caso - nell’ambito del progetto SH’Air (profili mensili, settimanali, giornalieri). Per spazializzare le emissioni areali sulle porzioni territoriali associate alle diverse fonti emissive è stata utilizzata la versione di Land Use più aggiornata (CLC – 2018).

Le simulazioni meteorodisperse sui 3 domini sono state realizzate per produrre informazioni - orarie e a risoluzione spaziale dettagliata - sulle grandezze meteorologiche (velocità e direzione vento, temperatura, umidità, radiazione solare, precipitazioni) e chimiche (gli inquinanti previsti dalla normativa vigente sulla qualità dell’aria, in particolare l’ozono). I risultati del modello chimico sono stati quindi integrati con le misure delle reti di monitoraggio della qualità dell’aria - italiana e francese - attraverso una procedura di assimilazione, condotta con una metodologia di interpolazione geostatistica (*kriging* con deriva esterna KDE). Si è scelto di assimilare solo i dati relativi all’ozono in qualità di inquinante di maggior interesse per il progetto MITIMPACT. Il set di stazioni da utilizzare per l’assimilazione è stato scelto sulla base della disponibilità dei dati validi (superiore al 90%) e della posizione nel dominio di calcolo, selezionando le stazioni in modo da realizzare – per quanto possibile – un insieme uniformemente distribuito.

A valle delle simulazioni modellistiche meteorologiche e chimiche, i valori delle variabili prodotte da WRF e da FARM, estratti in corrispondenza delle stazioni di misura sono stati confrontati con i dati osservati disponibili nel dominio di studio, al fine di fornire una valutazione della capacità del modello di riprodurre i dati misurati. Per la componente meteorologica sono stati analizzati e confrontati i valori di velocità e direzione del vento, temperatura e umidità relativa calcolati dal modello sul dominio G3 con i valori misurati presso un sottoinsieme (individuato nel corso dell’Azione 2.1) delle stazioni meteorologiche al suolo appartenenti alla rete di Météo-France per il lato francese e alla rete Meteoidrografica di Arpa per il lato italiano.

Analogamente, i valori di concentrazione di O₃, PM₁₀, PM_{2.5} e NO₂ prodotti da FARM sono stati confrontati con le osservazioni disponibili nel dominio: i dati chimici delle stazioni nelle regioni PACA e Auvergne-Rhône-Alpes per la parte francese e del Sistema Regionale di Rilevamento della Qualità dell’Aria (SRRQA) di Regione Piemonte per la parte italiana, acquisiti e analizzati nell’ambito dell’Azione 2.1. In corrispondenza delle coordinate di ognuna delle stazioni sono stati estratti i dati simulati dal modello necessari per effettuare i confronti osservato - simulato sui punti di misura per entrambi gli anni di simulazione. In Figura 26 sono riportate le stazioni meteorologiche e di qualità dell’aria comprese nel dominio di calcolo.

En ce qui concerne la base de données émissive nécessaire pour la réalisation des simulations de modélisation, on a utilisé les inventaires/cadastres régionaux de Piémont, Ligurie, Vallée d’Aoste, Auvergne-Rhône-Alpes et PACA de l’année 2013, en capitalisant ce qui avait été réalisé dans le cadre du projet CLIMAERA⁸, approuvé dans l’Axe II de la programmation ALCOTRA 2017-2020. Les cadastres estiment, sur la base d’indicateurs statistiques et de variables proxy, les quantités émises par les différentes typologies de sources : les sources ponctuelles (installations industrielles), les sources linéaires (routes et autoroutes) et les sources des aires de répartition (sources d’émission diffusées sur le territoire). Dans ce dernier cas, les données des émissions mises à disposition étaient associées aux territoires communaux (dans le cas des cadastres) ou aux maillons d’une grille régulière (dans le cas des cadastres français).

Pour compléter l’entrée émissive, pour les territoires en dehors de la zone ALCOTRA, on a fait référence, pour les régions italiennes à l’inventaire national ISPRA 2015 (dernière mise à jour disponible), et au cadastre EMEP 2015 pour les autres territoires.

Toujours dans l’optique de la capitalisation, pour toutes les données des émissions (NH₃, NO_x, particules PM₁₀ et PM_{2.5}, SO₂ et COV), on a appliqué l’harmonisation des catégories d’émission réalisée par Arpa Piemonte et partagée dans le cadre du partenariat du projet SH’Air⁹ ALCOTRA, approuvé lors de la programmation précédente.

Finalement, pendant la préparation de l’entrée émissive pour le modèle de dispersion, pour la spéciation des COV et des PM on a adopté le schéma chimique utilisé dans le système de modélisation d’Arpa

Piemonte (SAPRC99), alors que pour la modulation des émissions du niveau annuel au niveau horaire, on a adopté les profils temporels harmonisés (même dans ce cas) dans le cadre du projet SH'Air⁹ (profils mensuels, hebdomadaires, journaliers). Afin de spatialiser les émissions des aires de répartition sur les parcelles territoriales associées aux différentes sources d'émissions, on a utilisé la version de Land Use la plus actualisée (CLC – 2018).

Les simulations météo-dispersives sur les 3 domaines ont été réalisées pour produire des informations - horaires et à résolution spatiale détaillée – sur les grandeurs météorologiques (vitesse et direction du vent, température, humidité, rayonnement solaire, précipitations) et chimiques (les polluants prévus par la réglementation en vigueur sur la qualité de l'air, notamment l'ozone). Les résultats du modèle chimique ont été intégrés avec les mesures des réseaux de suivi de la qualité de l'air - italien et français – à travers une procédure d'assimilation, menée avec une méthodologie d'interpolation géostatistique (*krigage* avec dérivation externe KDE). On a choisi de n'assimiler que les données relatives à l'ozone en qualité de polluant le plus pertinent pour le projet MITIMPACT. La série de stations à utiliser pour l'assimilation a été choisie sur la base de la disponibilité des données valables (supérieure à 90%) et de la position dans le domaine de calcul, en sélectionnant les stations de manière à réaliser, autant que possible, un ensemble uniformément distribué.

En aval des simulations de modélisation météorologiques et chimiques, les valeurs des variables produites par WRF et FARM, extraites en correspondance des stations de mesure ont été confrontées avec les données observées disponibles dans le domaine étudié, afin de fournir une évaluation de la capacité du modèle de reproduire les données mesurées. Pour la composante météorologique on a analysé et confronté les valeurs de vitesse et direction du vent, température et humidité relative calculées par le modèle sur le domaine G3 avec les valeurs mesurées auprès d'un sous-ensemble (identifié au cours de l'Activité 2.1) des stations météorologiques au sol appartenant au réseau de Météo-France du côté français et au réseau Meteoidrografica d'Arpa du côté italien.

De manière analogue, les valeurs de concentration d'O₃, PM₁₀, PM_{2.5} et NO₂ produits par FARM ont été confrontées avec les observations disponibles dans le domaine : les données chimiques des stations dans les régions PACA et Auvergne-Rhône-Alpes pour la partie française et du Sistema Regionale di Rilevamento della Qualità dell'Aria (SRRQA-Système Régional de Levé de la Qualité de l'Air) de la Région Piémont pour la partie italienne, acquises et analysées dans le cadre de l'Activité 2.1. En correspondance des coordonnées de chaque station on a extrait les données simulées par le modèle nécessaires pour effectuer les confrontations observées - simulées sur les points de mesure pour les deux années de simulation. Dans la Figure 26 on montre les stations météorologiques et de qualité de l'air comprises dans le domaine de calcul.

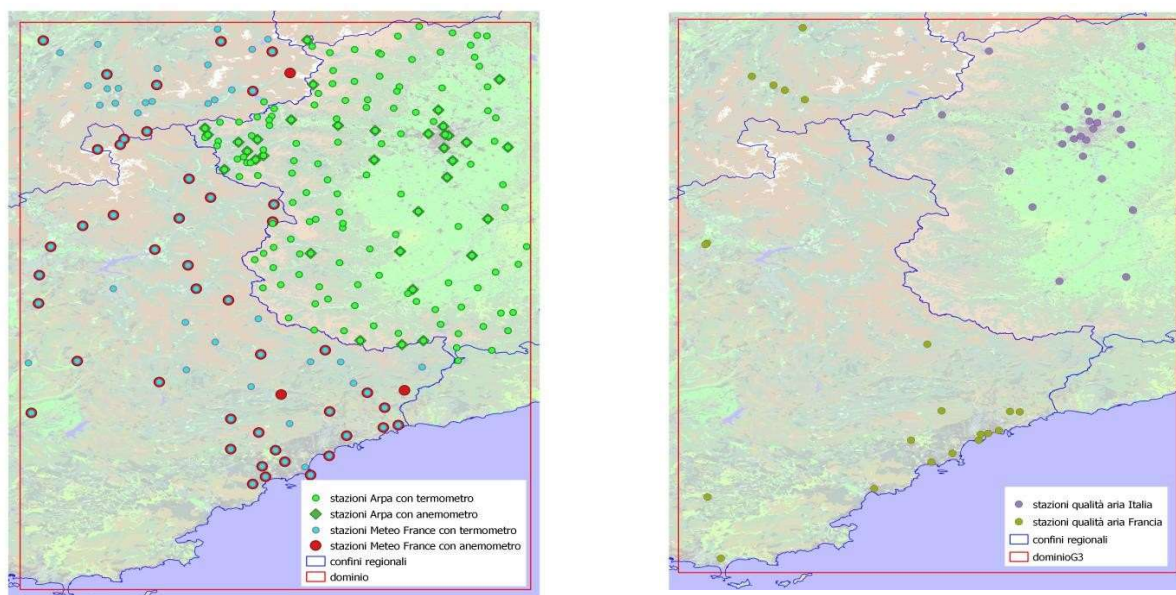


Figura 26: stazioni meteorologiche (sinistra) e chimiche (destra) presenti nel dominio G3
Figure 26 : stations météorologiques (gauche) et chimiques (droite) présentes dans le domaine G3

I risultati della modellizzazione dispersiva sono stati utilizzati sia per produrre la mappatura delle concentrazioni di ozono e degli inquinanti più rilevanti per il territorio in esame attraverso gli indicatori previsti dalla normativa vigente sia per eseguire il confronto con i valori osservati attraverso l'utilizzo di indicatori di qualità (secondo quanto stabilito dalla Direttiva 2008/50/CE) sulla media annuale, sia con l'indice di performance *Fractional Bias*, ampiamente utilizzato in letteratura. La distribuzione spaziale dei valori di concentrazione di ozono nel dominio di studio, descritta attraverso gli indicatori previsti dalla normativa vigente sulla qualità dell'aria per entrambi gli anni di simulazione, è riportata nelle Figure dalla 27 alla 31.

In generale si osserva come non vi siano, per i vari indicatori, differenze significative fra i risultati ottenuti dalle simulazioni nei due anni; tenuto conto che vengono utilizzati gli stessi dati emissivi – indipendentemente dall'anno in esame – in ingresso alle simulazioni, le variazioni riscontrate sono dovute alle differenze meteorologiche e ai precursori di cui si tiene conto con l'assimilazione delle misure nei risultati della modellistica.

La normativa europea (recepita in Italia dal D. Lgs. 155/2010) prevede un valore di soglia per la protezione della vegetazione (AOT40⁷ calcolato nel periodo da maggio a luglio) pari a 18000 $\mu\text{g}/\text{m}^3\cdot\text{h}$ calcolato come media su 5 anni. Pur non essendo possibile tale calcolo sul dominio in esame avendo a disposizione solamente due anni di simulazione, la Figura 27 mostra come la soglia di 18000 $\mu\text{g}/\text{m}^3\cdot\text{h}$ sia superata in gran parte del territorio in entrambi i periodi simulati.

Per quanto riguarda la soglia di protezione delle foreste (AOT40 calcolato nel periodo da aprile a settembre), la normativa europea non prevede una soglia di riferimento; i risultati delle simulazioni, in Figura 28, evidenziano valori superiori a 24000 $\mu\text{g}/\text{m}^3\cdot\text{h}$ in tutto il dominio.

In Figura 29 è riportato il numero dei superamenti della soglia per la protezione della salute umana⁸, pari a 120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Le mappe mostrano come i superamenti siano concentrati prevalentemente nelle aree urbane e suburbane in entrambi gli anni simulati.

⁷ Somma della differenza tra le concentrazioni orarie superiori a 80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (=40 ppm) e 80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ in un dato periodo di tempo, utilizzando solo i valori orari rilevati ogni giorno tra le 8:00 e le 20:00, ora dell'Europa centrale (CET) - *Somme de la différence entre les concentrations horaires supérieures à 80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (=40 ppm) et 80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ dans une période donnée, en n'utilisant que les valeurs horaires relevées chaque jour entre 8h00 et 20h00, heure normale d'Europe centrale (HNEC).*

⁸ Media massima giornaliera calcolata su 8 ore - *Moyenne maximale journalière calculée sur 8 heures.*

Les résultats de la modélisation dispersive ont été utilisés aussi bien pour produire la cartographie des concentrations d’ozone et des polluants les plus pertinents pour le territoire étudié à travers les indicateurs prévus par la réglementation en vigueur, que pour effectuer la confrontation avec les valeurs observées à travers l’utilisation d’indicateurs de qualité (selon ce qui est établi par la Directive 2008/50/CE) sur la moyenne annuelle, qu’avec l’indice de performance *Fractional Bias*, largement utilisé en littérature.

La distribution spatiale des valeurs de concentration d’ozone dans le domaine étudié, décrite à travers les indicateurs prévus par la réglementation en vigueur sur la qualité de l’air pour les deux années de simulation, est illustrée dans les Figures de 27 à 31.

En général, on observe que, pour les différents indicateurs, il n’y a aucune différence significative entre les résultats obtenus par les simulations des deux années ; vu qu’on utilise les mêmes données émissives, indépendamment de l’année étudiée, en entrée aux simulations, les variations relevées sont dues aux différences météorologiques et aux précurseurs dont on tient compte avec l’assimilation des mesures dans les résultats de la modélisation.

La réglementation européenne (transposée en Italie par le Décret de Loi 155/2010) envisage une valeur de seuil pour la protection de la végétation (AOT40¹⁰ calculée dans la période de mai à juillet) égale à 18 000 $\mu\text{g}/\text{m}^3\cdot\text{h}$ calculée comme moyenne sur 5 ans. Même s’il n’est pas possible de faire ce calcul sur le domaine étudié en n’ayant à disposition que deux années de simulation, la Figure 27 montre comment le seuil de 18 000 $\mu\text{g}/\text{m}^3\cdot\text{h}$ a été dépassé dans la plupart du territoire dans les deux périodes simulées.

En ce qui concerne le seuil de protection des forêts (AOT40 calculé dans la période d’avril à septembre), la réglementation européenne n’envisage pas de seuil de référence ; les résultats des simulations, dans la Figure 28, mettent en évidence des valeurs supérieures à 24 000 $\mu\text{g}/\text{m}^3\cdot\text{h}$ dans le domaine tout entier.

Dans la Figure 29 est indiqué le nombre des dépassements du seuil pour la protection de la santé humaine¹¹, égal à 120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Les cartes montrent comment les dépassements sont concentrés essentiellement dans les aires urbaines et suburbaines dans les deux années simulées.

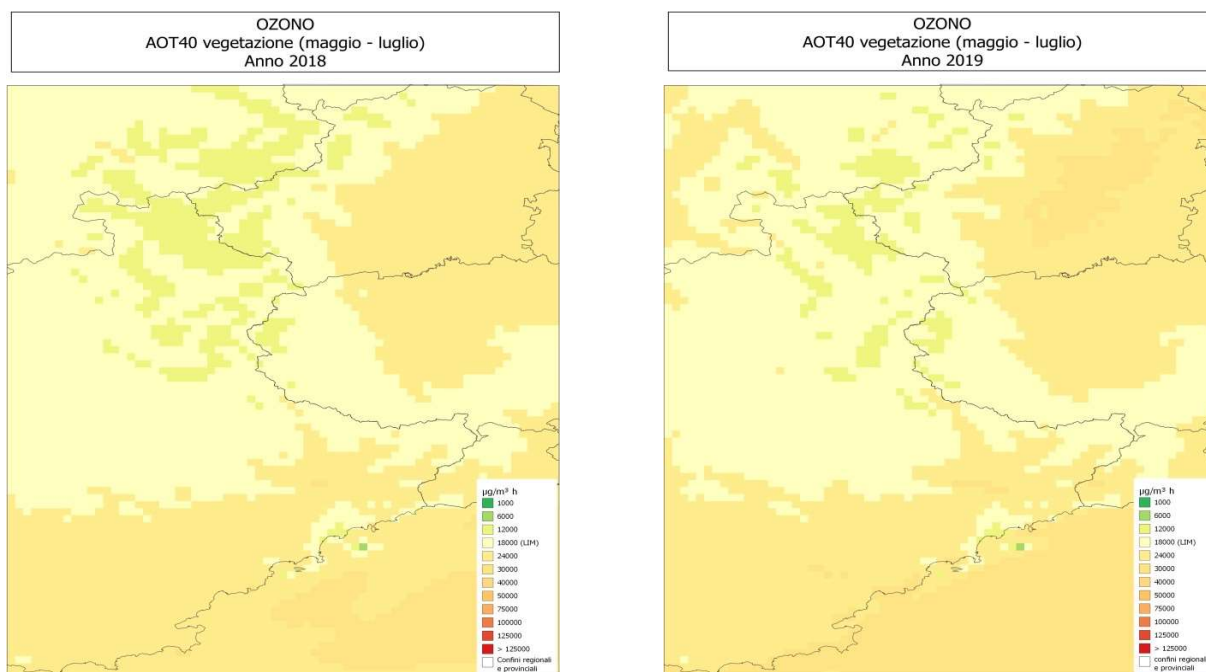


Figura 27: Ozono: AOT 40 per la protezione della vegetazione – anni 2018 e 2019
Figure 27 : ozone : AOT 40 pour la protection de la végétation – années 2018 et 2019

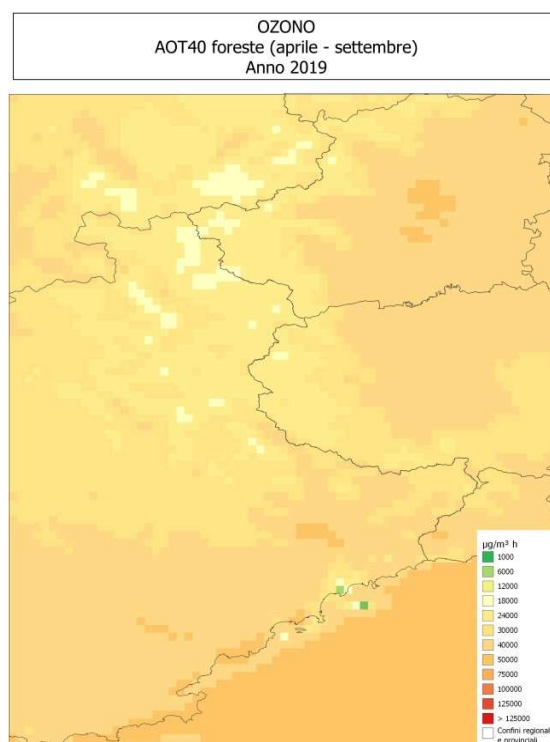
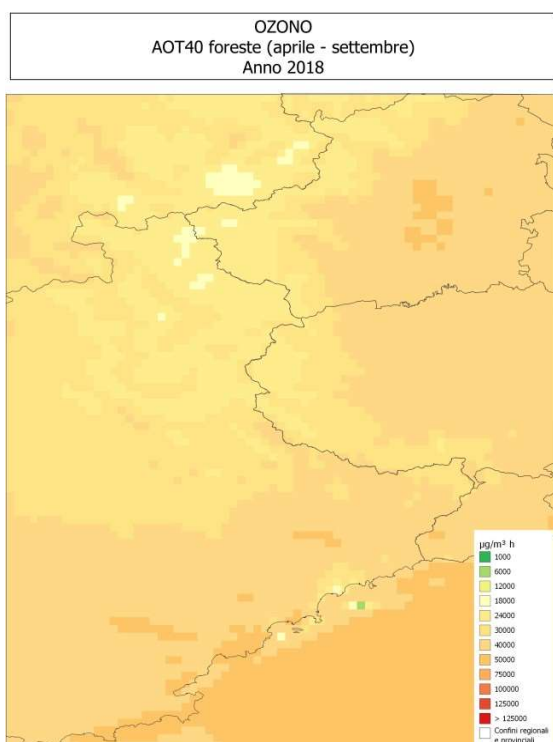


Figura 28: Ozono: AOT 40 per la protezione delle foreste – anni 2018 e 2019
Figure 28 : ozone : AOT 40 pour la protection des forêts – années 2018 et 2019

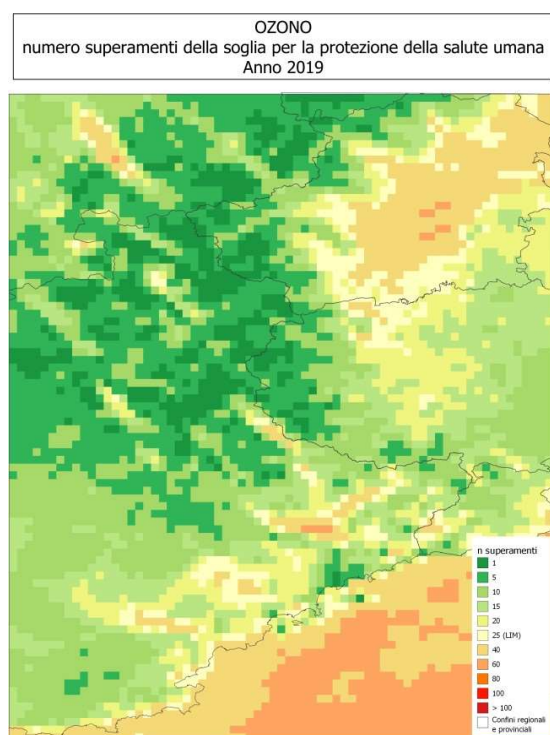
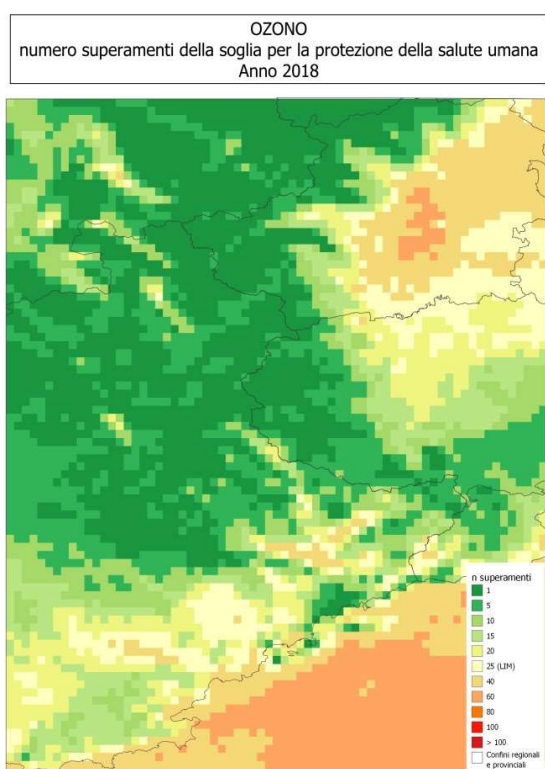


Figura 29: Ozono: numero di superamenti della soglia per la protezione della salute umana – anni 2018 e 2019
Figure 29 : ozone : nombre de dépassements du seuil pour la protection de la santé humaine – années 2018 et 2019

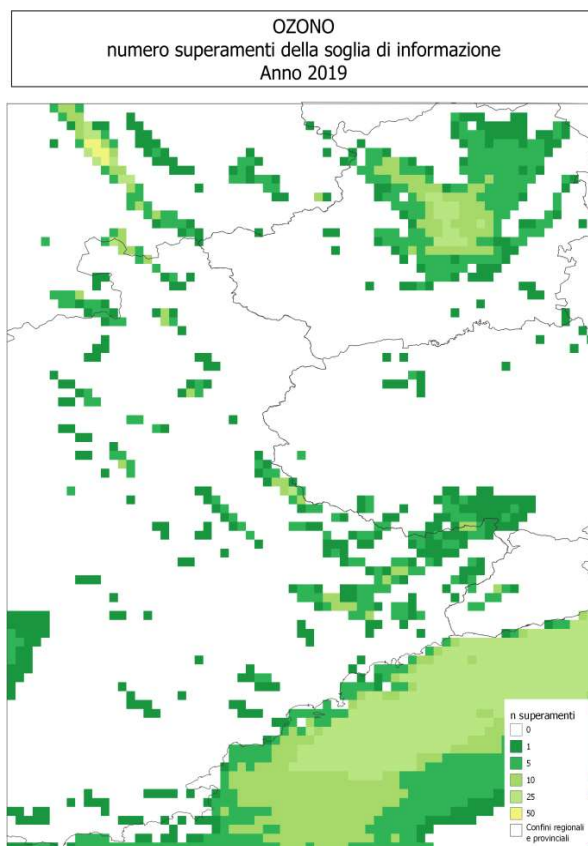
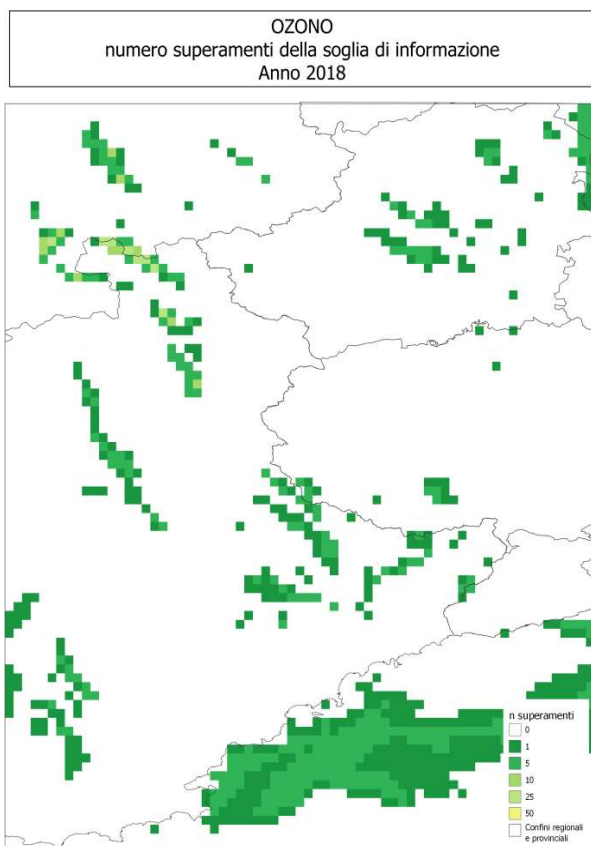


Figura 30: Ozono: numero di superamenti della soglia di informazione – anni 2018 e 2019
Figure 30 : ozone : nombre de dépassements du seuil d'information – années 2018 et 2019

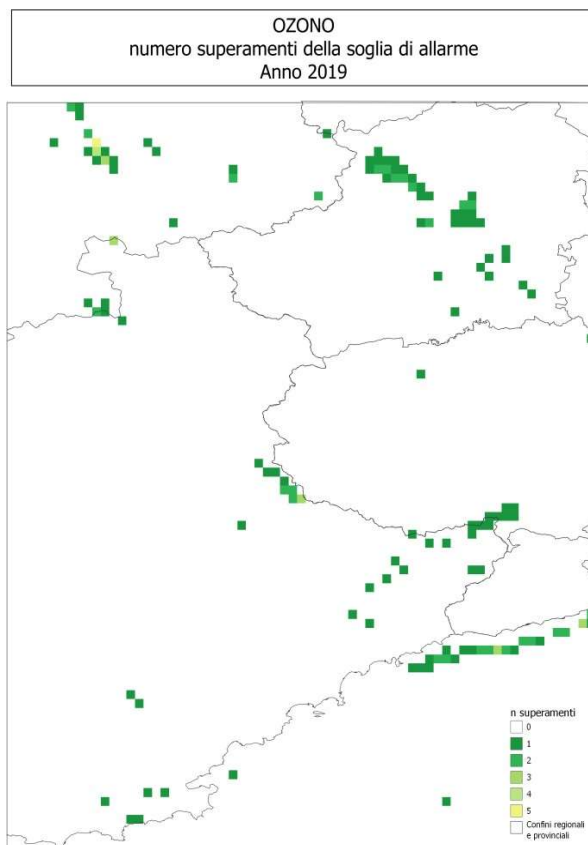
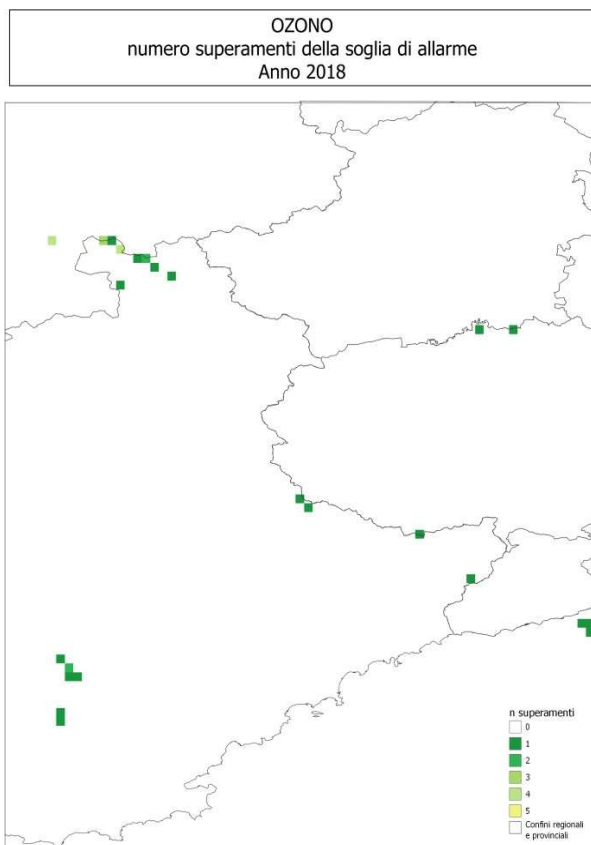


Figura 31: Ozono: numero di superamenti della soglia di allarme – anni 2018 e 2019
Figure 31 : ozone : nombre de dépassements du seuil d'alarme – années 2018 et 2019

In Figura 30 e 31 sono illustrate le mappe relative al numero dei superamenti rispettivamente per le soglie di informazione⁹ e di allarme¹⁰. Le simulazioni indicano un numero limitato di superamenti della soglia di informazione, specie nel 2018.

Per completare il quadro descrittivo relativo alla distribuzione delle concentrazioni di ozono sul territorio studiato, sono state inoltre prodotte mappe per alcuni indicatori non previsti dalla normativa vigente: massima media sulle 8 ore, massima oraria e media annua (riportate nel documento “Attività Arpa Piemonte – Relazione tecnica”). Nel corso del 2019 vengono stimate concentrazioni massime più elevate rispetto all’anno precedente (sia in termini di massima media sulle 8 ore che come massima media oraria) in particolare nelle aree urbane e suburbane, ma tali differenze non influiscono in modo significativo nel calcolo degli indicatori previsti dalla normativa. La mappa relativa alla media annua evidenzia valori omogenei su tutto il territorio ed inferiori nei principali centri urbani.

Complessivamente la situazione descritta dalla modellizzazione conferma come l’ozono rappresenti nel periodo estivo un inquinante critico sia per la salute umana sia per la vegetazione. Purtroppo, il complesso meccanismo di formazione di questo inquinante, le cui concentrazioni sono regolate principalmente dalla presenza in atmosfera di ossidi di azoto e NMVOC (questi ultimi prevalentemente di origine biogenica), rende difficoltosa la programmazione di politiche di limitazione delle emissioni finalizzate alla riduzione di questo inquinante in atmosfera.

Sono inoltre state prodotte le mappe per gli indicatori di legge per biossido di azoto, particolato PM10 e PM2.5 ed elaborati gli indicatori statistici per la valutazione delle prestazioni del modello come previsto dalla normativa (si rimanda nel documento “Attività Arpa Piemonte – Relazione tecnica”).

Dans les Figures 30 et 31 sont illustrées les cartes relatives au nombre des dépassements respectivement pour les seuils d’information¹² et d’alarme¹³. Les simulations indiquent un nombre limité de dépassements du seuil d’information, surtout en 2018.

En outre, pour achever le cadre descriptif relatif à la distribution des concentrations d’ozone sur le territoire étudié, on a produit des cartes pour certains indicateurs non prévus par la réglementation en vigueur : le maximum moyen sur 8 heures, le maximum horaire et moyenne annuelle (indiquées dans le document « Activités Arpa Piemonte – Rapport technique »). Au cours de 2019 on estime les concentrations maximales plus élevées par rapport à l’année précédente (aussi bien en termes de maximum moyen sur 8 heures que comme maximum moyen horaire) en particulier dans les zones urbaines et suburbaines, mais ces différences n’influencent pas de manière significative le calcul des indicateurs prévus par la réglementation. La carte relative à la moyenne annuelle met en évidence des valeurs homogènes sur tout le territoire et inférieures dans les principaux centres urbains.

Globalement, la situation décrite par la modélisation confirme que, pendant l’été, l’ozone représente un polluant critique aussi bien pour la santé de l’homme que pour la végétation. Malheureusement, le mécanisme complexe de formation de ce polluant, dont les concentrations sont réglées principalement par la présence dans l’atmosphère d’oxydes d’azote et COVNM (ces derniers essentiellement d’origine biogénique), rend difficile la programmation de politiques de limitation des émissions finalisées à la réduction de ce polluant dans l’atmosphère.

En outre, on a produit les cartes pour les indicateurs envisagés par la loi pour le dioxyde d’azote et les particules PM10 et PM2.5 et on a élaboré les indicateurs statistiques pour l’évaluation des prestations du modèle comme prévu par la réglementation (on renvoie au document « Activité Arpa Piemonte – Rapport technique »).

⁹ Pari a 180 µg/m³ come media oraria - Egal à 180 µg/m³ comme moyenne horaire.

¹⁰ Pari a 240 µg/m³ come media oraria, per 3 ore consecutive. Nella mappa è riportato il numero dei superamenti a livello di singola media oraria - Egal à 240 µg/m³ comme moyenne horaire, pendant 3 heures consécutives. La carte indique le nombre des dépassements au niveau de chaque moyenne horaire.

Simulazioni dispersive: confronto con campionatori passivi

Simulations dispersives : confrontation avec les échantillonneurs passifs

I valori di concentrazione di ozono determinati tramite analisi dei campionatori passivi esposti da IPLA (Attività 2.1) nei due anni di progetto nel territorio italiano sono stati confrontati con i dati prodotti dal sistema modellistico nel dominio di studio. L'attività di confronto ha lo scopo di fornire elementi utili all'utilizzo comparativo dei dati di ozono derivanti dal monitoraggio con campionatori passivi e quelli delle concentrazioni simulate modellisticamente nello stesso territorio. I campionatori passivi sono strumenti di facile impiego e costo limitato, che permettono una mappatura di dettaglio, ma rappresentano valori mediati su intervalli temporali piuttosto lunghi (circa un mese). Viceversa, il modello CTM, che necessita di ingenti risorse di calcolo, fornisce informazioni ad un elevato dettaglio temporale (orario), ma con dettaglio spaziale più limitato.

In Figura 32 è riportata la mappa con i siti in cui sono stati posizionati da IPLA i campionatori passivi nel periodo da maggio a settembre degli anni 2018 e 2019.

Les valeurs de concentration d'ozone déterminées à travers l'analyse des échantillonneurs passifs exposés par IPLA (Activité 2.1) pendant les deux ans du projet dans le territoire italien ont été confrontées avec les données produites par le système de modélisation dans le domaine étudié. L'activité de confrontation a le but de fournir des éléments utiles à l'utilisation comparative des données d'ozone découlant du suivi avec les échantillonneurs passifs et celles des concentrations simulées par la modélisation dans le même territoire. Les échantillonneurs passifs sont des instruments faciles à employer, ils ont un coût limité et ils permettent une cartographie détaillée, mais qui représentent des valeurs médianes sur des intervalles temporaires plutôt longues (un mois environ). Vice-versa, le modèle CTM, qui nécessite de ressources conséquentes de calcul, fournit des informations très détaillées du point de vue temporel (horaire), mais avec un détail spatial plus limité.

Dans la Figure 32 on montre la carte avec les sites dans lesquels IPLA a positionné les échantillonneurs passifs dans la période de mai à septembre des années 2018 et 2019.

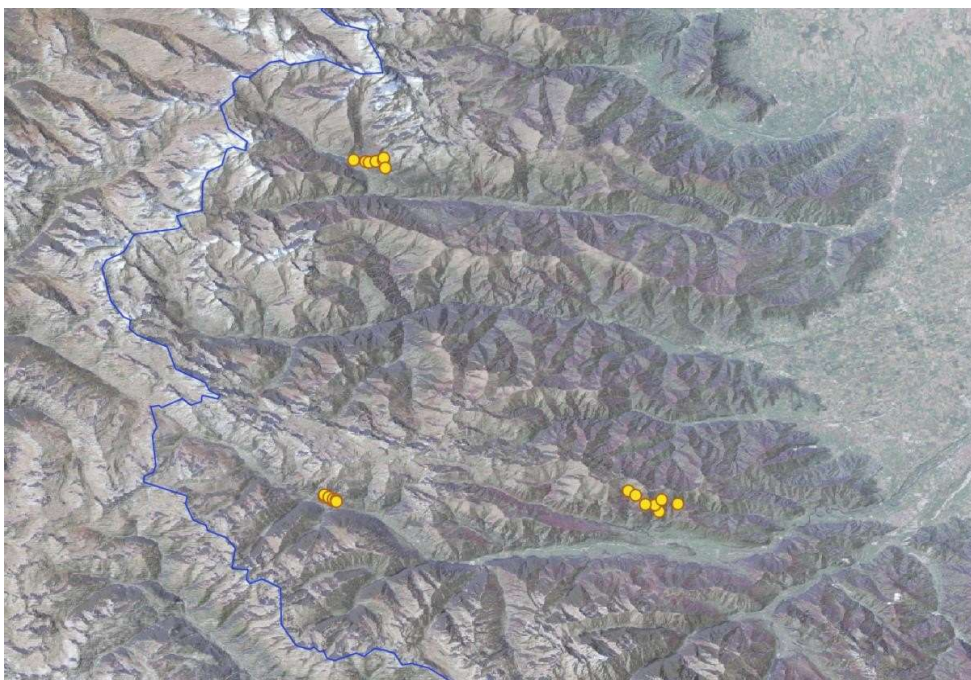


Figura 32: Localizzazione punti di misura con campionatori passivi IPLA

Figure 32 : Localisation des points de mesure avec échantillonneurs passifs IPLA

Per il confronto, i risultati orari della modellizzazione sono stati estratti in corrispondenza dei punti di monitoraggio con campionatori passivi, calcolandone la media sul periodo coincidente con la durata del campionamento. Il confronto tra i dati misurati e i dati simulati dal modello è stato realizzato elaborando *boxplot* e *scatter plot* delle distribuzioni delle concentrazioni e l'indice di performance *Fractional Bias*.

Pour la confrontation, les résultats horaires de la modélisation ont été extraits en correspondance des points de suivi avec échantillonneurs passifs, en en calculant la moyenne sur la période coïncidente avec la durée de l'échantillonnage. La confrontation entre les données mesurées et les données simulées par le modèle a été réalisée en élaborant des *boxplots* et des *scatter plots* des distributions des concentrations et l'indice de performance *Fractional Bias*.

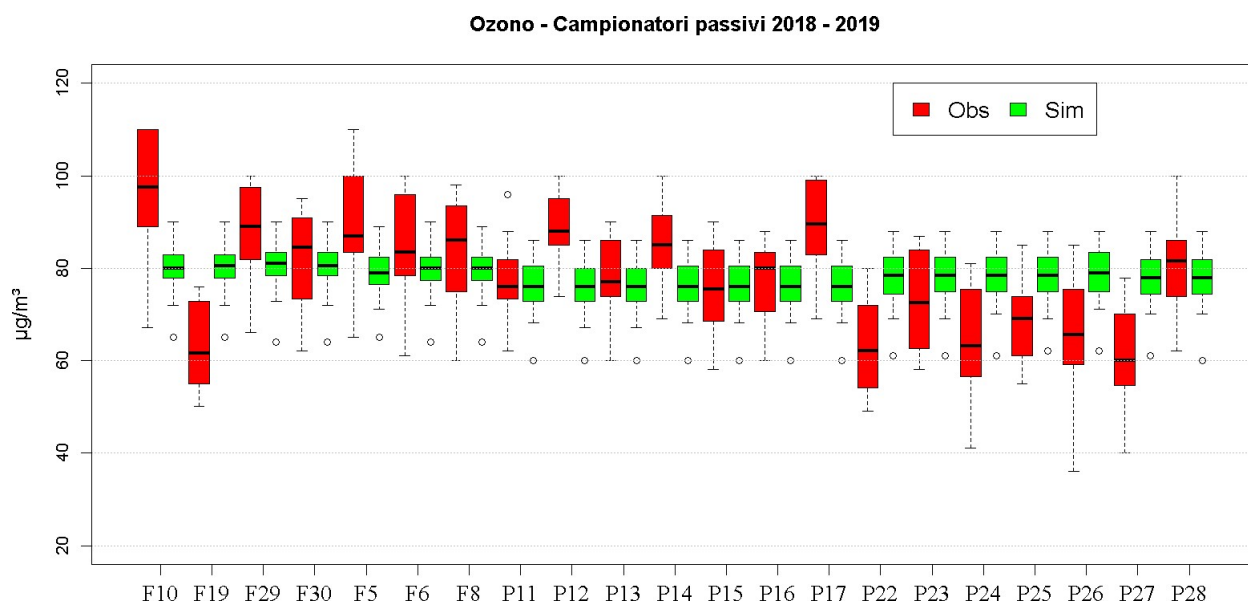


Figura 33: Confronto fra le distribuzioni delle concentrazioni di ozono ottenute con campionatori passivi (IPLA) e con la modellizzazione

Figure 33 : Confrontation entre les distributions des concentrations d'ozone obtenues avec les échantillonneurs passifs (IPLA) et avec la modélisation

In Figura 33 è riportato il *boxplot* che rappresenta la distribuzione delle concentrazioni ottenute in ogni sito nei due anni di monitoraggio (solitamente 6 campioni ogni anno in ciascuna postazione) confrontata con i dati ricostruiti dal modello. Come ci si può attendere le concentrazioni, prodotte dal modello su celle aventi una risoluzione orizzontale di circa 3 km x 3 km, mostrano valori piuttosto omogenei nei vari siti di monitoraggio che ricadono quasi sempre nella stessa cella di calcolo del modello (la distanza massima fra i punti di misura con campionatori passivi nei vari cluster supera solo in un caso i 3 km), mentre le misure ottenute con i campionatori passivi mostrano ovviamente una maggiore variabilità spaziale. Da una prima analisi si osserva che il modello riproduce meglio i punti di monitoraggio collocati nell'area di Pietraporzio (in basso a sinistra nella figura), in particolare è molto ben riprodotto il sito P11.

In Figura 34 sono riportati gli *scatter plot* delle concentrazioni misurate con i campionatori passivi rispetto a quelle simulate dal modello per alcuni dei siti meglio riprodotti.

Il fractional bias è stato utilizzato per valutare la capacità del modello di riprodurre i dati misurati: i valori dell'indicatore statistico calcolato per i due anni di simulazione rientrano nell'intervallo di accettabilità evidenziando un accordo soddisfacente del modello con le osservazioni, con mediana che si discosta poco dal valore ottimale pari a zero.

Il confronto conferma i punti di forza di entrambe le tecniche e permette di affermare che, in assenza della disponibilità di un monitoraggio puntuale con campionatori passivi, la modellizzazione può fornire indicazioni caratterizzate da una buona attendibilità, aventi dettaglio temporale elevato e in grado di

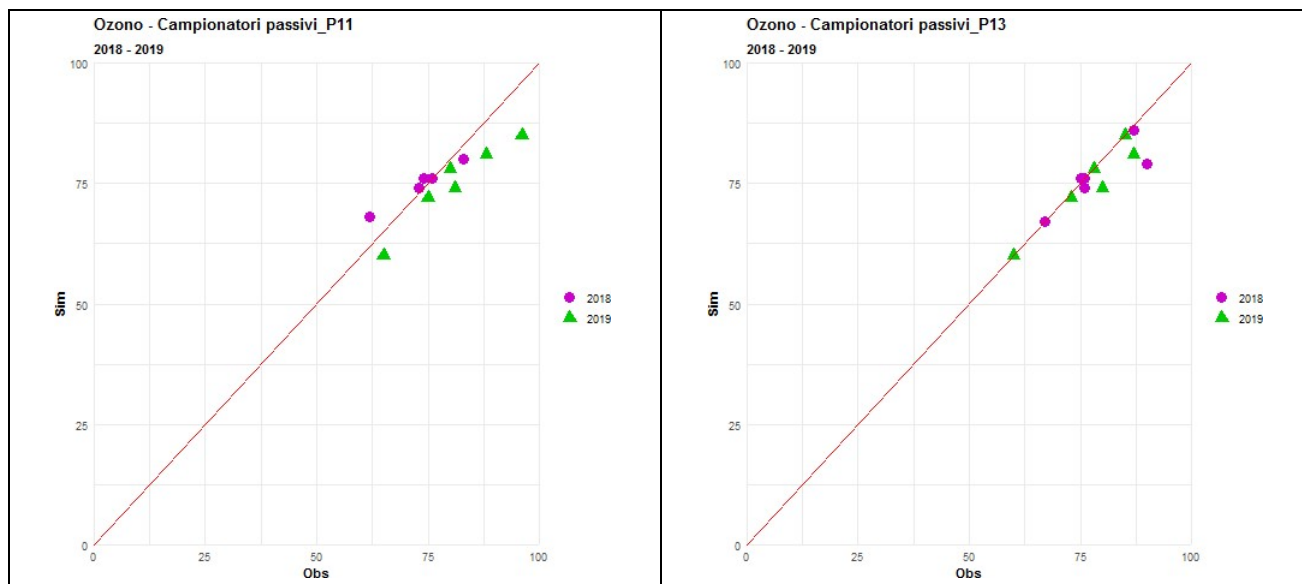
rapresentare le concentrazioni di picco di ozono (informazione che, nella misura mediata su lunghi periodi, viene persa) seppure con risoluzione spaziale più ridotta.

La Figure 33 montre le *boxplot* représentant la distribution des concentrations obtenues dans chaque site sur les deux années de suivi (généralement 6 échantillons chaque année dans chaque poste) confrontée avec les données reconstruites par le modèle. Comme on peut supposer, les concentrations, produites par le modèle sur les cellules ayant une résolution horizontale de 3 km x 3 km environ, montrent des valeurs plutôt homogènes dans les différents sites de suivi qui rentrent presque toujours dans la même cellule de calcul du modèle (la distance maximum entre les points de mesure avec les échantillonneurs passifs dans les différentes grappes ne dépasse les 3 km qu'en un cas), alors que les mesures obtenues avec les échantillonneurs passifs montrent bien sûr une variabilité spatiale plus importante. D'une première analyse, on observe que le modèle reproduit mieux les points de suivi placés dans l'aire de Pietraporzio (en bas à gauche dans la figure), notamment le site P11 est très bien reproduit.

Dans la Figure 34 on montre les *scatter plots* des concentrations mesurées avec les échantillonneurs passifs par rapport à celles simulées par le modèle pour quelques-uns des sites mieux reproduits.

Le *fractional bias* a été utilisé pour évaluer la capacité du modèle de reproduire les données mesurées : les valeurs de l'indicateur statistique calculé pour les deux années de simulation rentrent dans l'intervalle d'acceptabilité en mettant en évidence un accord satisfaisant du modèle avec les observations, avec la médiane qui ne s'éloigne pas beaucoup de la valeur optimale égale à zéro.

La confrontation confirme les points de force des deux techniques et permet d'affirmer que, en l'absence de la disponibilité d'un suivi ponctuel avec les échantillonneurs passifs, la modélisation peut fournir des indications caractérisées par une bonne fiabilité, ayant un détail temporel élevé et étant à même de représenter les concentrations des pics d'ozone (une information qui n'est pas retenue dans la mesure médiate sur des longues périodes), même si avec une résolution spatiale plus réduite.



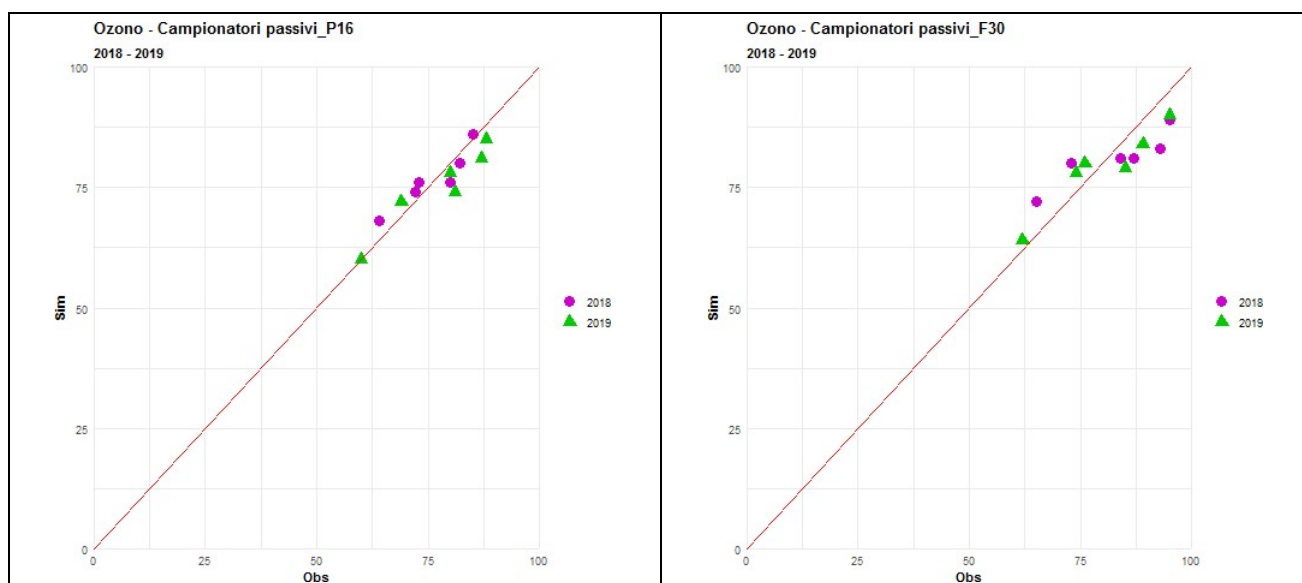


Figura 34: Scatter plot delle concentrazioni medie di ozono simulate con FARM rispetto a quelle misurate con i campionatori passivi presso i siti P11, P13, P16 e F30 negli anni 2018 e 2019

Figure 34 : *Scatter plot des concentrations moyennes d'ozone simulées avec FARM par rapport à celles mesurées avec les échantillonneurs passifs dans les sites P11, P13, P16 et F30 dans les années 2018 et 2019*

Valutazione dei contributi endogeni ed esogeni rispetto al territorio in studio

Evaluation des contributions endogènes et exogènes par rapport au territoire étudié

La metodologia del *source apportionment* modellistico permette di identificare e quantificare – a partire da uno scenario emissivo base – il contributo alle concentrazioni degli inquinanti in aria ambiente da parte dei principali comparti emissivi (*source apportionment* settoriale) e da parte dei territori confinanti con l'area di studio (*source apportionment* geografico).

Attraverso il *source apportionment* geografico è quindi possibile valutare i contributi endogeni ed esogeni all'inquinamento atmosferico di una determinata area attraverso la separazione delle differenti sorgenti emissive sulla base della regione di appartenenza per la ricerca delle responsabilità su base geografica.

Per indagare il ruolo del trasporto esogeno nell'inquinamento da ozono nella zona transfrontaliera che comprende le regioni italiane Piemonte e Valle d'Aosta e le regioni francesi Rhône-Alpes e Paca, sono stati capitalizzati i risultati ottenuti – con la metodologia del *source apportionment* geografico realizzata con una catena modellistica analoga a quella utilizzata nel progetto MITIMPACT - da Arpa Piemonte nel progetto SH'Air. Le simulazioni di interesse per l'inquinamento da ozono state condotte su un episodio estivo della durata di un mese (22 luglio-22 agosto 2013). Le sorgenti emissive considerate, sulla base della regione di appartenenza, sono:

- Piemonte
- Valle d'Aosta
- Rhône-Alpes
- Paca (Provence-Alpes-Côte d'Azur)
- Altre regioni (porzioni territoriali esterne alle 4 regioni sopra indicate).

Elemento fondamentale per il *source apportionment* modellistico sono le informazioni riguardanti le sorgenti emissive; va infatti sottolineato che i risultati di questa metodologia dipendono fortemente dai dati presenti negli Inventari delle emissioni/Cadastre des émissions relativi all'area di studio.

Al fine di realizzare il *source apportionment*, è stato utilizzato un modulo specifico – integrato nel sistema modellistico di Arpa - che adotta la metodologia del *3D sensitivity runs/Brute Force Method* – BFM;

tale modulo, denominato FARM/BFM¹¹ (Arianet S.r.l.), effettua le simulazioni di *source apportionment* integrando direttamente il modello FARM ed il modulo delle emissioni EMMA, permettendo così – definiti in fase iniziale l'insieme delle sorgenti, la configurazione dei dati di base e delle risorse di calcolo da utilizzare – una gestione diretta delle variazioni del quadro emissivo, dell'esecuzione delle simulazioni di sensibilità e della combinazione di tutte le fasi successive.

I risultati del *source apportionment* geografico, relativamente alle regioni incluse nel dominio di calcolo MITIMPACT e riportate in Figura 35, evidenziano come – nel periodo estivo – il contributo alle concentrazioni di ozono da parte delle sorgenti esterne al territorio piemontese risulti abbastanza rilevante su tutta l'area montuosa occidentale, con punte del 25% attribuibili alla regione Rhône-Alpes nelle zone di confine della provincia di Torino; più modesto l'apporto della regione PACA. La regione Piemonte contribuisce in quantità modesta (15% circa) alle concentrazioni di ozono nella regione PACA limitatamente all'area sud-est.

La méthodologie de la répartition des sources sur modélisation permet d'identifier et de quantifier – à partir d'un scénario d'émissions de base – la contribution aux concentrations des polluants dans l'air ambiant de la part des principaux volets d'émission (répartition des sources sectorielles) et de la part des territoires limitrophes de l'aire étudiée (répartition des sources géographiques).

Donc, à travers la répartition des sources géographiques, il est possible d'évaluer les contributions endogènes et exogènes à la pollution atmosphérique d'une aire donnée à travers la séparation des différentes sources d'émission à partir de la région d'appartenance pour la recherche des responsabilités sur base géographique.

Pour comprendre le rôle du transport exogène dans la pollution d'ozone dans la zone transfrontalière comprenant les régions italiennes Piémont et Vallée d'Aoste et les régions françaises Rhône-Alpes et Paca, on a capitalisé les résultats obtenus – avec la méthodologie de la répartition des sources géographiques réalisée avec une chaîne de modélisation analogue à celle utilisée dans le projet MITIMPACT par Arpa Piemonte dans le projet SH'Air. Les simulations concernant la pollution causée par l'ozone ont été menées pendant l'été (22 juillet-22 août 2013). Les sources d'émission considérées, sur la base de la région d'appartenance, sont :

- Piémont
- Vallée d'Aoste
- Rhône-Alpes
- Paca (Provence-Alpes-Côte d'Azur)
- D'autres régions (portions territoriales externes aux 4 régions susmentionnées).

Un élément fondamental pour la répartition des sources de modélisation sont les informations concernant les sources d'émission ; en effet, il faut souligner que les résultats de cette méthodologie dépendent fortement des données présentes dans le cadastre des émissions relatives à l'aire étudiée.

Afin de réaliser la répartition des sources, on a utilisé un module spécifique – intégré dans le système de modélisation d'Arpa – qui adopte la méthodologie du *3D sensitivity runs*/Méthode par Force Brute (BFM) ; ce module, appelé FARM/BFM¹⁴ (Arianet S.r.l.), effectue les simulations de répartition des sources en intégrant directement le modèle FARM et le module des émissions EMMA, en permettant ainsi – après avoir défini au début l'ensemble des sources, la configuration des données de base et des ressources de calcul à utiliser – une gestion directe des variations du cadre des émissions, de l'exécution des simulations de sensibilité et de la combinaison de toutes les phases successives.

Les résultats de la répartition des sources géographiques, relativement aux régions incluses dans le domaine de calcul MITIMPACT et montrée dans la Figure 35, indiquent que, pendant l'été, la contribution aux concentrations d'ozone de la part de sources externes au territoire piémontais est assez pertinente sur toute l'aire occidentale de montagne, avec des pics de 25% qui peuvent être attribués à la région Rhône-Alpes dans les zones de frontière avec la province de Turin ; l'apport de la région PACA est plus modeste. La région Piémont contribue en quantité limitée (15% environ) aux concentrations d'ozone dans la région PACA seulement dans la zone sud-est.

¹¹ Arianet, 2018. FARM/BFM users' guide: An integrated system for source apportionment calculations – Wikiprint Book

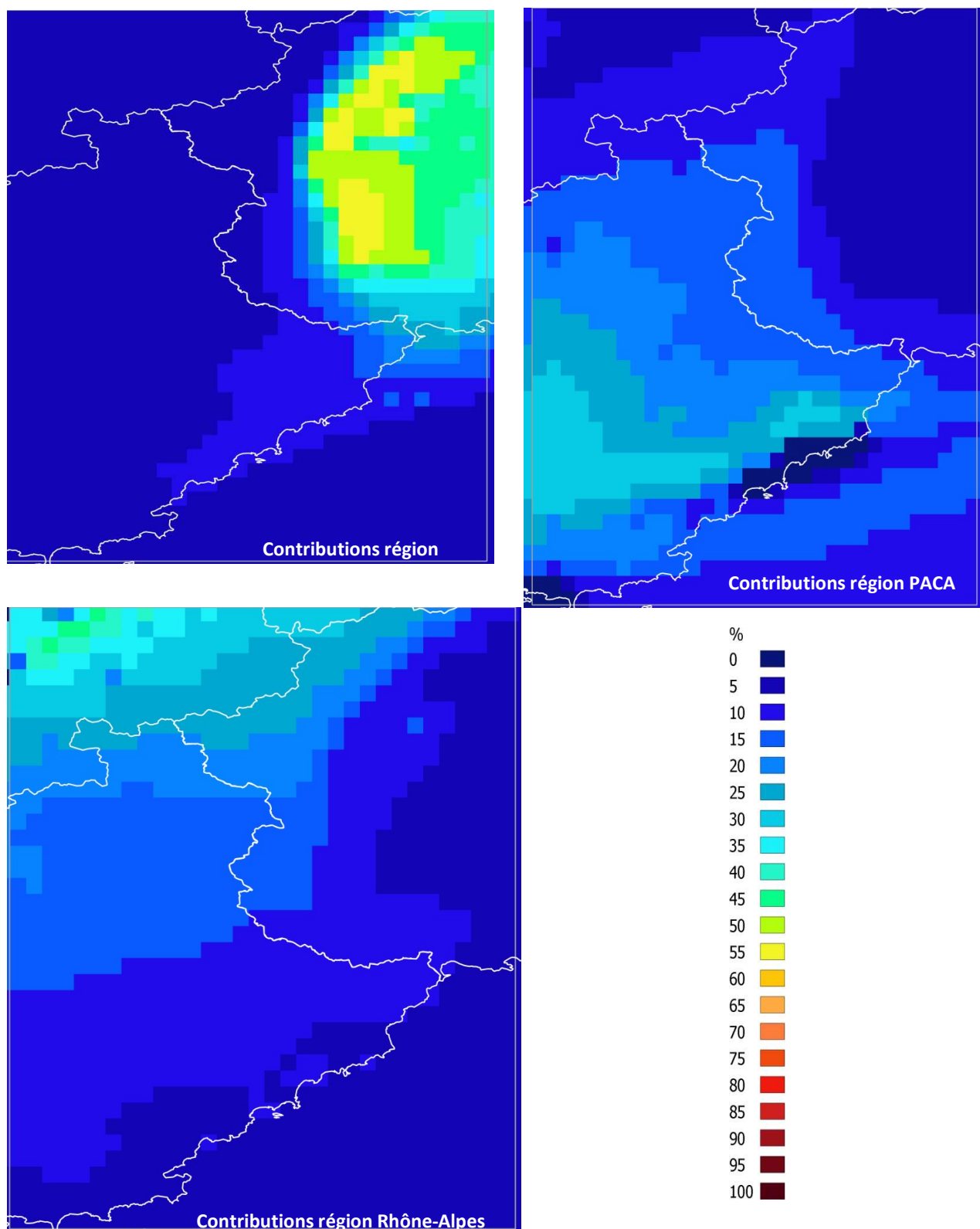


Figura 35: Mappe dei contributi di ozono originati da ogni regione sugli altri territori – episodio estivo

Figure 35 : Cartes des contributions d’ozone engendrées par chaque région sur les autres territoires – épisode estival

3.1.2 Un conjunto di dati trasferibile secondo i bisogni di ogni attore locale

3.1.2 Un jeu de données transférables en fonction des besoins spécifiques de chaque acteur local

I risultati delle simulazioni modellistiche meteorologiche, estratti in corrispondenza delle stazioni di monitoraggio con campionatori passivi sul lato italiano, sono stati forniti ai partner GIEFS e CNR-IRET per le rispettive attività progettuali; a CNR-IRET sono inoltre stati forniti i campi meteorologici orari in prossimità del suolo e per i due anni di simulazione, delle variabili velocità e direzione vento, temperatura, umidità relativa, radiazione solare globale, umidità del suolo.

In relazione alle concentrazioni di ozono, per entrambi gli anni di simulazione, sono stati forniti a CNR-IRET i valori estratti in corrispondenza dei punti di monitoraggio con campionatori passivi, i campi orari al suolo, le mappe di AOT40 calcolate per la protezione della vegetazione e per la protezione delle foreste. Arpa ha inoltre effettuato il confronto fra le concentrazioni di ozono rilevate da IPLA attraverso il monitoraggio con campionatori passivi e i risultati delle simulazioni modellistiche, in modo da permettere il confronto fra le due metodologie di mappatura del territorio.

Le mappe di AOT40 sono state inoltre utilizzate, per la valutazione economica dei danni da ozono, dal Dipartimento di Statistica dell'Università di Torino

Le mappe che descrivono gli indicatori previsti dalla normativa per l'ozono nonché quelle relative ad altri indicatori utili ad una maggiore comprensione della distribuzione delle concentrazioni di questo inquinante sono state fornite a GeographR per la pubblicazione sulla webapp prodotta nell'ambito del progetto e resa disponibile ai vari attori locali.

Les résultats des simulations de modélisation météorologique, extraits en correspondance des stations de suivi avec échantillonneurs passifs du côté italien, ont été transmis aux partenaires GIEFS et CNR-IRET par les activités de projet respectives ; de plus, on a fourni à CNR-IRET les champs météorologiques horaires à proximité du sol et pendant les deux années de simulation, les variables vitesse et direction du vent, température, humidité relative, rayonnement solaire global, humidité du sol.

A l'égard des concentrations d'ozone, pour les deux années de simulation, on a fourni à CNR-IRET les valeurs extraites en correspondance des points de suivi avec les échantillonneurs passifs, les plages horaires au sol, les cartes d'AOT40 calculées pour la protection de la végétation et pour la protection des forêts. En outre, Arpa a effectué la confrontation entre les concentrations d'ozone relevées par IPLA à travers le suivi avec échantillonneurs passifs et les résultats des simulations de modélisation, de manière à permettre la confrontation entre les deux méthodologies de cartographie du territoire.

Les cartes d'AOT40 ont été en plus utilisées, pour l'évaluation économique des dommages causés par l'ozone, par le Département de Statistique de l'Université de Turin.

Les cartes qui décrivent les indicateurs prévus par la réglementation sur l'ozone ainsi que celles relatives aux autres indicateurs utiles pour mieux comprendre la distribution des concentrations de ce polluant ont été fournies à GeographR pour la publication sur l'appli web produite dans le cadre du projet et mise à disposition des acteurs locaux.