



Rapport final

Report finale

Sommaire/Sommario

Gouvernance et gestion administrative/ Governance e gestione amministrativa .	17
1.1 Données générales du projet/Dati generali del progetto	17
1.2 Objectifs du projet/Obiettivi del Progetto	18
1.3 Coopération transfrontalière/ Cooperazione transfrontaliera.....	19
1.4 Activités du projet/Attività del Progetto.....	20
1.5 WP1–Gouvernance et gestion administrative/WP1–Governance e gestione amministrativa.....	22
1.6 Livrables de la composante/Prodotti della component	23
1.7 Groupes destinataires du projet/Gruppi destinatari del progetto	25
1.8 Indicateurs de réalisation/Indicatori di realizzazione	25
Communication/Comunicazione	26
2.1 Site internet/Sito web	26
2.2 Newsletters/Newsletter	26
2.3 Conférence internationale/Conferenza internazionale.....	26
2.4 Plaquette finale du projet/Opuscolo finale del progetto	27
2.5 Outil numérique/Strumento digitale	27
2.6 Réunion de sensibilisation/Riunione di sensibilizzazione.....	30
2.7 Matériel de diffusion/Materiali di disseminazione	42
Synthèse/ Sintesi	42
Impacts synergiques du changement climatique et de la pollution de l’air sur le territoire ALCOTRA / Impatti dei Cambiamenti Climatici e dell’inquinamento atmosfericos sul territorio ALCOTRA.....	44
3.1 Harmonisation des inventaires des émissions polluantes et des émissions de CO ₂ et gaz à effet de serre sur le territoire ALCOTRA / Armonizzazione e aggiornamento degli inventari delle emissioni in atmosfera e delle emissioni di CO ₂ e gas serra sul territorio ALCOTRA.....	45
3.1.1 Inventaire des émissions 2013/Scenario emissivo 2013	45

3.1.2	Analyse du parc technologique et de la consommation de la biomasse dans la région Auvergne Rhône-Alpes/ Analisi del parco tecnologico e del consumo di biomassa nella regione Alvernia Rodano-Alpi	50
3.1.3	Méthodologie commune pour estimer les émissions dérivées de la combustion de la biomasse/Metodologia di stima delle emissioni dalla combustione di biomassa legnosa	53
3.1.4	Scénario d'émissions de référence 2013/Scenario emissivo base 2013	57
3.2	Construction des scénarios émissifs et météorologiques futurs/Costruzione degli scenari emissivi e meteorologici futuri	61
3.2.1	Scénario émissifs 2030/Scenario emissivo al 2030.....	61
3.2.2	Scénarios météorologiques 2030 et 2050/Scenari meteorologici al 2030 e al2050.....	79
3.3	Modélisation de la dispersion des polluants atmosphériques et des gaz à effet de serre sur la région ALCOTRA/Modellistica di dispersione degli inquinanti atmosferici e dei gas serra sul territorio ALCOTRA.....	89
3.3.1	Scénario de la qualité de l'air 2013/Scenario di qualità dell'aria 2013	100
3.3.2	Scénario tendanciel de la qualité de l'air 2030/Scenario di qualità dell'aria tendenziale 2030	119
3.3.3	Scénario futur de la qualité de l'air 2030/Scenario di qualità dell'aria futuro 2030	125
3.3.4	Scénario climatique de la qualité de l'air 2050/Scenario di qualità dell'aria climatico 2050	134
	Synthèse/Sintesi	138

Analyse et évaluation des coûts/bénéfices des politiques dans le thème de l'adaptation au changement climatique et à la qualité de l'air/ Analisi e valutazione costi/benefici delle politiche sull'adattamento ai cambiamenti climatici e alla qualità dell'aria	141
---	-----

4.1	Mise en place de RIAT+/ Implementazione di RIAT+	141
4.1.1	Formation à l'utilisation de la nouvelle version de RIAT+/ Formazione all'uso della nuova versione di RIAT+.....	144
4.2	Identification des mesures en faveur de la qualité de l'air/ Individuazione di misure per migliorare la qualità dell'aria	168

4.2.1 Rapport concernant le choix de mesures optimales/ Report scelte delle misure ottimali	169
4.3 Estimation des coûts et bénéfices économiques et sociaux des mesures sélectionnées/ Stima dei costi e benefici economici e sociali delle misure selezionate.....	185
4.3.1 Scénario d'émissions 2030 avec les mesures optimales RIAT+/ Scénario d'émissions 2030 avec mesures optimales RIAT+	186
4.3.2 Scénario qualité de l'air 2030 avec les mesures optimales/ Scénario di qualità dell'aria con le misure ottimali 2030.....	196
4.3.3 Rapport sur la méthodologie expérimentale sur l'estimation des coûts et bénéfices économiques/ Report sulla metodologia sperimentale sulla valutazione dei costi e benefici economiche	204
4.3.4 Rapport sur l'évaluation de l'impact de la pollution atmosphérique et du changement climatique sur le patrimoine culturel/Report sulla valutazione degli impatti dell'inquinamento atmosferico e dei cambiamenti climatici sul patrimonio culturale.....	208
Synthèse/Sintesi	225

BIBLIOGRAPHIE/BIBLIOGRAFIA

- [1] **Pascal M., de Crouy Chanel P., Corso M., Medina S., Wagner V., Gorla S., et al.** Impacts de l'exposition chronique aux particules fines sur la mortalité en France continentale et analyse des gains en santé de plusieurs scénarios de réduction de la pollution atmosphérique. Saint-Maurice : Santé publique France ; 2016. 158 p. Disponible à partir de l'URL : <http://invs.santepubliquefrance.fr/Dossiers-thematiques/Environnement-et-sante/Air-et-sante/Publications>
- [2] **DREAL PROVENCE-ALPES-CÔTE-D'AZUR.** Plan de Protection de l'Atmosphère des Bouches-du-Rhône ; 2013. 192 p. Disponible à partir de l'URL : http://www.Provence-Alpes-Côte-d'Azur.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/Rapport_PPA13_version_finale_signee_17052013_cle577b2e.pdf
- [3] **P. Thunis, B. Degraeuwe, E. Pisoni, F. Ferrari, A. Clappier,** On the design and assessment of regional air quality plans: The SHERPA approach, Journal of Environmental Management, Volume 183, Part 3, 2016, Pages 952-958, ISSN 0301-4797, <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.09.049>.
- [4] **Gariazzo C, Silibello C, Finardi S, Radice P, Piersanti A, Calori G, Cecinato A, Perrino C, Nusio F, Cagnoli M, Pelliccioni A, Gobbi GP, Di Filippo P** (2007) A gas/aerosol air pollutants study over the urban area of rome using a comprehensive chemical transport model. Atmos Environ 41:7286–7303
- [5] **ARIA/ARIANET** (2008) EMMA (EMGR/make) User manual. Arianet, Milano, Italy, R2008.99
- [6] **Sandrine MATHY** (2019), Calcul des coûts : mode de fonctionnement de l'outil GAINS https://www.climaera.eu/images/rapports/Fiche_methodologique_couts_gains.pdf
- [7] **P. Thunis, A. Clappier, L. Tarrason, Cathy Cuvelier (2019):** Source apportionment to support air quality planning: strengths and weaknesses of existing approaches
- [8] **C. Carnevale, G. Finzi, E. Pisoni, M. Volta, G. Guariso, R. Gianfreda, G. Maffei, P. Thunis, L. White, G. Triacchini** (2012). An integrated assessment tool to define effective air quality policies at regional scale, Environmental Modelling and Software, 38, 306-315

LIVRABLES DU PROJET/ PRODOTTI DEL PROGETTO

WP2 : Communication/Comunicazione

- Résultat du sondage en ligne/Risultati del sondaggio online
- Rapport final/Report finale
- Plaquette des résultats/Opuscolo dei risultati
- Outil numérique/ Strumento digitale

WP3 : Impacts synergiques du changement climatique et de la pollution de l'air sur le territoire ALCOTRA / Impatti dei Cambiamenti Climatici e dell'inquinamento atmosfericos sul territorio ALCOTRA

- Enquête sur l'usage du chauffage individuel au bois en région Auvergne-Rhône-Alpes/Indagine sull'uso del riscaldamento individuale a legna nella regione Auvergne-Rhône-Alpes
- Méthodologie pour l'estimation des émissions provenant de la combustion de la biomasse ligneuse dans le secteur résidentiel/Metodologia di stima delle emissioni dalla combustione di biomassa legnosa nel settore residenziale
- Évaluation des performances de simulations climatiques régionales à haute résolution temporelle et spatiale pour le projet CLIMAERA/Valutazione delle prestazioni di simulazioni climatiche regionali ad alta risoluzione temporelle e spaziale per il progetto CLIMAERA

WP4 : Analyse et évaluation des coûts/bénéfices des politiques dans le thème de l'adaptation au changement climatique et à la qualité de l'air/ Analisi e valutazione costi/benefici delle politiche sull'adattamento ai cambiamenti climatici e alla qualità dell'aria

- Calculs des coûts : mode de fonctionnement de l'outil GAINS/Calcolo dei costi: modalità di funzionamento dello strumento GAINS
- Analyse et évaluation des coûts / bénéfices des politiques/mesures en termes d'adaptation au changement climatique et de qualité de l'air/Analisi e valutazione dei costi/benefici delle politiche/misure in tema di adattamento ai Cambiamenti Climatici e alla qualità

ABSTRACT

Le projet CLIMAERA s'intègre dans le programme de coopération franco-italienne ALCOTRA sous l'égide de l'union européenne sur une période de trois ans (2017-2020). Ce projet à plusieurs objectifs :

- Évaluer la qualité de l'air entre plusieurs régions françaises (Provence-Alpes-Côte d'Azur et Auvergne-Rhône-Alpes) et italiennes (Ligurie, Piémont et vallée d'Aoste) en tenant compte des changements climatiques,
- Élaborer des préconisations pour diminuer les gaz à effet de serre et polluants, grâce à des scénarios d'émissions à l'horizon 2030 et 2050 et à une hiérarchisation des mesures à prendre en compte. Ces modélisations pourront aider les décideurs politiques de ces territoires à anticiper des actions adaptées (renouvellement des équipements de chauffage et du parc automobile, développement des transports collectifs...),
- Mieux comprendre les freins du grand public face aux changements des comportements et définir les messages et outils les plus adaptés pour y répondre.

Il progetto CLIMAERA fa parte del programma di cooperazione franco-italiana ALCOTRA sotto l'egida dell'Unione Europea per un periodo di tre anni (2017-2020). Questo progetto ha diversi obiettivi:

- valutare la qualità dell'aria tra diverse regioni francesi (Provenza-Alpi-Costa Azzurra e Alvernia-Rodano-Alpi) e italiane (Liguria, Piemonte e Valle d'Aosta) tenendo conto dei cambiamenti climatici ;
- elaborare raccomandazioni per ridurre i gas serra e gli inquinanti, attraverso scenari di emissione per il 2030 e il 2050 e la definizione delle priorità delle misure da prendere in considerazione. Queste modellizzazioni possono aiutare i decisori politici di questi territori ad anticipare azioni appropriate (rinnovo dei sistemi di riscaldamento e del parco auto, sviluppo dei trasporti pubblici, ecc.) ;
- comprendere meglio la riluttanza del grande pubblico a cambiare i comportamenti e definire i messaggi e gli strumenti più appropriati per rispondere ad essi.

Les partenaires du projet, face à la thématique du changement climatique, ont fait appel au CMCC (Centre euro-Méditerranéen sur le Changement Climatique) pour modéliser à l'échelle du territoire ALCOTRA, l'évolution des paramètres météorologiques entre 2013, 2030 et 2050.

L'étude du CMCC a mis en évidence un réchauffement global de nos régions pouvant aller jusqu'à +2°C¹ en considérant un scénario d'évolution des émissions de gaz à effet de serre optimiste (RCP4.5²). Les jours d'enneigement pourraient être réduits jusqu'à -25 jours par an³ dans le cas du scénario pessimiste⁴ sur l'ensemble de la zone alpine. Sans adaptation, cette diminution pourrait induire de sévères pertes économiques pour les stations d'altitude.

Ces jeux de données météorologiques ont ensuite permis de modéliser la qualité de l'air avec le modèle FARM⁵ en considérant l'évolution des

Per quanto concerne la tematica dei cambiamenti climatici, i partner del progetto si sono rivolti al CMCC (Centro Euro-Mediterraneo sui Cambiamenti Climatici) per modellizzare l'evoluzione dei parametri meteorologici tra il 2013, il 2030 e il 2050 a livello di territorio ALCOTRA.

Lo studio del CMCC ha evidenziato un riscaldamento globale fino a +2°C⁸ nelle nostre regioni, considerando uno scenario ottimistico di evoluzione delle emissioni di gas serra (RCP4.5⁹). I giorni di neve potrebbero essere ridotti fino a -25 all'anno per l'intera area alpina¹⁰ in caso di scenario pessimistico¹¹. Senza un adattamento, questa riduzione potrebbe portare a gravi perdite economiche per le stazioni in alta quota.

Questi insiemi di dati meteorologici sono stati poi utilizzati per modellizzare la qualità dell'aria con il

¹ Evolution de la température pour la période 2036-2065 par rapport à la période de référence 1981-2010

² RCP4.5 (Representative Concentration Pathway +4.5 W/m²) : scénario de forçage radiatif du GIEC qui prévoit une stabilisation des émissions anthropiques à la moitié du niveau actuel en 2080 en appliquant des mesures restrictives importantes.

³ Evolution de la température pour la période 2036-2065 par rapport à la période de référence 1981-2010

⁴ RCP8.5 (Representative Concentration Pathways) : évolution des émissions de gaz à effet de serre le plus extrême où le forçage radiatif atteindrait 8.5W/m²

⁵ Flexible Air Regional Model (voir §3.3)

⁸ Evoluzione della temperatura per il periodo 2036-2065 rispetto al periodo di riferimento 1981-2010

⁹ RCP4.5 (Representative Concentration Pathway+4.5 W/m²): scenario di forzatura radioattiva del GIEC che prevede una stabilizzazione delle emissioni antropogeniche alla metà del livello attuale nel 2080 applicando misure restrittive importanti.

¹⁰ Evoluzione della temperatura per il periodo 2036-2065 rispetto al periodo di riferimento 1981-2010

¹¹ RCP8.5 (Representative Concentration Pathways): evoluzione delle emissioni di gas serra più estremo in cui la forzatura radioattiva raggiungerebbe 8.5W/m²

émissions de chaque région avec le modèle GAINS⁶. Les résultats ont montré que la qualité de l'air en 2030 et 2050 devrait s'améliorer par rapport à 2013 grâce à l'introduction et la mise sur le marché de technologies innovantes et moins polluantes, permettant de réduire d'année en année le bilan des émissions de chaque secteur d'activité.

L'impact du changement climatique a également été abordé en comparant deux scénarios d'années météorologiques différentes mais avec les mêmes émissions atmosphériques 2030 (un scénario « émissions 2030/météo 2013 » et un scénario « émissions 2030/météo 2030 »). La conclusion tirée est forte : la météorologie de 2030 aura pour effet d'augmenter sensiblement (jusqu'à +5 µg/m³ sur la moyenne annuelle) les concentrations de particules notamment sur la région Auvergne-Rhône-Alpes et le Piémont. Ce constat est alarmant car une évolution des gaz à effet de serre "optimiste" (RCP4.5) a été prise en compte pour les scénarios météorologiques.

En effet, la hausse des particules serait encore plus importante, si l'évolution des gaz à effet de serre s'avérait moins favorable.

modèle FARM¹² considering the evolution of emissions in each region with the GAINS¹³ model. The results have shown that the quality of the air in 2030 and 2050 should improve compared to 2013 thanks to the introduction and the launch of innovative and less polluting technologies, allowing to reduce year by year the emissions balance of each activity sector.

L'impatto dei cambiamenti climatici è stato affrontato anche confrontando due scenari di anni meteorologici diversi ma con le stesse emissioni atmosferiche nel 2030 (uno scenario "emissioni 2030/meteo 2013" e uno scenario "emissioni 2030/meteo 2030"). La conclusione tratta è forte: la meteorologia del 2030 avrà l'effetto di aumentare significativamente (fino a +5 µg/m³ sulla media annua) le concentrazioni di particolato, in particolare nella regione Alvernia-Rodano-Alpi e in Piemonte. Questa constatazione è allarmante perché per gli scenari meteorologici è stata presa in considerazione un'evoluzione "ottimistica" dei gas serra.

In effetti, l'aumento del particolato sarebbe ancora maggiore se

⁶ Greenhouse Gas - Air Pollution Interactions and Synergies <http://gains.iiasa.ac.at/models/>

¹² Flexible Air Regional Model (vedi [paragrafo 3.3](#))

¹³ Greenhouse Gas - Air Pollution Interactions and Synergies <http://gains.iiasa.ac.at/models/>

Fort de ce constat, l'équipe du projet a également testé un outil capable de trouver des solutions pour contrebalancer l'impact du changement climatique. L'outil RIAT+, logiciel développé dans le cadre d'un précédent projet européen⁷, hiérarchise les mesures les plus efficaces pour réduire les concentrations annuelles de particules fines PM10, PM2.5 et/ou de dioxyde d'azote NO₂. Il permet également de répondre aux attentes de collectivité et de décideurs. En effet, chaque action est associée à un coût en euro et à la réduction d'émissions de gaz à effet de serre. Il est possible pour chaque région de sélectionner les meilleures actions réduisant les émissions atmosphériques et de gaz à effet de serre et de visualiser le bénéfice sur la qualité de l'air en 2030. Le chauffage au bois résidentiel et le trafic routier sont les deux secteurs sur lesquels il convient d'agir pour améliorer au mieux la qualité de l'air dans la plupart des régions partenaires du projet.

Ces trois ans ont aussi été l'occasion de sensibiliser le plus grand nombre aux thématiques du projet lors de manifestations : séminaires scientifiques, ateliers ouverts au public, manifestations sportives pour enfants, vidéos explicatives des résultats sur les réseaux sociaux,

l'évolution des gaz à effet de serre fosse moins favorable.

Sulla base di questa constatazione, il team di progetto ha anche testato uno strumento in grado di trovare soluzioni per compensare l'impatto del cambiamento climatico. Lo strumento RIAT+, un software sviluppato nell'ambito di un precedente progetto europeo, dà priorità alle misure più efficaci per ridurre le concentrazioni annue di particolato atmosferico PM10, PM2.5 e/o di biossido di azoto NO₂. Permette inoltre di soddisfare le aspettative degli enti e dei decisori politici. Infatti, ogni azione è associata ad un costo in euro e alla riduzione delle emissioni di gas serra. È possibile per ogni regione selezionare le azioni migliori per ridurre le emissioni atmosferiche e i gas serra e visualizzare i benefici sulla qualità dell'aria nel 2030. Il riscaldamento domestico a legna e il traffico stradale sono i due settori su cui si dovrebbe intervenire per migliorare la qualità dell'aria nella maggior parte delle regioni partner del progetto.

Questi tre anni sono stati anche l'occasione per sensibilizzare un grande numero di persone sulle tematiche del progetto in occasione di manifestazioni: seminari scientifici, workshop aperti al

⁷ Programme LIFE

sondages réunissant plus de 1500 personnes...

Les résultats du projet ont été présentés lors d'un séminaire en ligne ouvert au grand public réunissant scientifiques et experts autour de ces questions mais également acteurs associatifs et collectivités locales. Ce fut l'occasion de vulgariser et illustrer les résultats de CLIMAERA mais aussi de présenter l'outil numérique créé au cours du projet. Ce dernier a pour but de former les collectivités et de sensibiliser les citoyens aux changements de comportement en lien avec les thématiques indissociables air/climat/énergie. Le format numérique de cet outil, semblable à un PowerPoint interactif, est idéal pour que chacun puisse le télécharger facilement et le prendre en main. Son contenu est divisé en deux parties : l'une à destination des citoyens; la seconde partie à destination des collectivités, pour les former à ces thématiques. Cette dernière présente les actions les plus efficaces pour améliorer la qualité de l'air et atténuer le changement climatique.

publico, eventi sportivi per bambini, video che spiegano i risultati sui social network, sondaggi che hanno coinvolto più di 1.500 persone, ecc.

I risultati del progetto sono stati presentati nel corso di un seminario online aperto al grande pubblico, che ha riunito scienziati ed esperti su questi temi, nonché attori di associazioni ed enti locali. E' stata l'occasione per divulgare e illustrare i risultati di CLIMAERA ma anche per presentare lo strumento digitale creato durante il progetto. Quest'ultimo mira a formare gli enti e a sensibilizzare i cittadini ai cambiamenti di comportamento in relazione ai temi inscindibili dell'aria/clima/energia. Il formato digitale di questo strumento, simile a quello di un PowerPoint interattivo, è ideale affinché tutti possano scaricarlo facilmente e prenderlo in mano. Il suo contenuto è diviso in due parti: una per i cittadini e una per gli enti, per formarli su queste tematiche. Quest'ultima presenta le azioni più efficaci per migliorare la qualità dell'aria e mitigare i cambiamenti climatici.

Introduction

CLIMAERA est un projet qui s'inscrit dans la lignée de projets ultérieurs de coopération franco-italienne, liés à la protection de l'air sur le territoire ALCOTRA. Les partenaires du projet, tous organismes de référence dédiés à la surveillance de la qualité de l'air, se sont réunis à nouveau pour une durée de 3 ans pour intégrer le changement climatique à la problématique de la pollution atmosphérique.

Fort de leur expérience dans les nombreux projets les ayant réunis par le passé¹⁴, ARPA Piémont, ARPA Vallée d'Aoste, la région Ligurie, Atmo Auvergne-Rhône-Alpes et AtmoSud Provence-Alpes-Côte d'Azur sont partis d'un résultat simple relevé dans plusieurs études¹⁵ : les scénarios climatiques futurs prévoient une aggravation de la qualité de l'air dans toute l'Europe Centrale, y compris dans les régions alpines et méditerranéennes.

A travers ce constat global, l'équipe du projet a voulu dans un premier temps connaître quel pourrait être la qualité de l'air dans un futur plus ou moins proche (autour de 2030 puis 2050) sur le périmètre du territoire ALCOTRA. Pour cela, ils ont mandaté les experts du CMCC (Centre euro-Méditerranéen

CLIMAERA è un progetto in linea con altri progetti di cooperazione franco-italiana relativi alla protezione dell'aria nel territorio ALCOTRA. I partner del progetto, tutti enti di riferimento dedicati al monitoraggio della qualità dell'aria, si sono ritrovati nuovamente per una durata di 3 anni per integrare i cambiamenti climatici alla problematica dell'inquinamento atmosferico.

Forti della loro esperienza nei numerosi progetti che li hanno visti assieme in passato¹⁷, ARPA Piemonte, ARPA Valle d'Aosta, Liguria, Atmo Auvergne-Rhône-Alpes e AtmoSud Provence-Alpes-Côte d'Azur sono partiti da un semplice risultato rilevato in diversi studi¹⁸ : gli scenari climatici futuri prevedono un peggioramento della qualità dell'aria in tutta l'Europa centrale, anche nelle regioni alpine e mediterranee.

Attraverso questa constatazione globale, il team del progetto ha voluto prima di tutto conoscere quale potrebbe essere la qualità dell'aria in un futuro più o meno

¹⁴ <https://www.climaera.eu/fr/presentation/projets-antérieurs>

¹⁵ Rapport du GIEC : https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/WG1AR5_all_final.pdf

¹⁷ <https://www.climaera.eu/it/il-progetto/progetti-precedenti>

¹⁸ Rapporto del IP : https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/WG1AR5_all_final.pdf

sur le Changement Climatique) pour évaluer à plusieurs échéances l'évolution de la météorologie et notamment de la température, fortement influencée par les émissions de gaz à effet de serre qui ont un pouvoir de réchauffement. Ces scénarios météorologiques couplés à l'évolution estimée des émissions de nos territoires jusqu'à 2030 a été nécessaire pour établir un état des lieux de la qualité de l'air futur et ainsi connaître les axes d'améliorations à engager sur chaque région. Ces modélisations ont également permis de répondre à la question centrale du projet : « connaître l'impact du changement climatique sur la qualité de l'air ».

Ce projet est porteur de deux thématiques fortement liées : pollution atmosphérique et changement climatique, qui doivent être traités simultanément. C'est donc l'occasion de proposer aux collectivités et décideurs, des solutions efficaces et chiffrées pour bâtir une approche stratégique commune des politiques air/climat/énergie. Ce volet est en partie réalisé avec un logiciel (l'outil RIAT+) précédemment développé grâce à un autre projet européen¹⁶. Cet outil permet de hiérarchiser les actions ayant le plus d'impact sur la qualité de l'air d'une région pour un budget donné. Le choix des actions les plus efficaces sur la pollution

prossimo (intorno al 2030, poi al 2050) sul perimetro del territorio ALCOTRA. Per fare questo, hanno incaricato gli esperti del CMCC (Centro Euro-Mediterraneo per i Cambiamenti Climatici) di valutare l'evoluzione della meteorologia e in particolare della temperatura, che è fortemente influenzata dalle emissioni di gas serra che hanno un potere riscaldante, in diversi momenti. Questi scenari meteorologici, insieme alla stima dell'evoluzione delle emissioni nei nostri territori fino al 2030, sono stati necessari per stabilire un inventario della futura qualità dell'aria e quindi identificare le aree di miglioramento in ogni regione. Queste modellizzazioni hanno anche permesso di rispondere alla domanda centrale del progetto: "conoscere l'impatto dei cambiamenti climatici sulla qualità dell'aria".

Questo progetto ha due temi strettamente correlati: l'inquinamento atmosferico e il cambiamento climatico, che devono essere affrontati contemporaneamente. È quindi un'opportunità per proporre agli enti e ai decisori soluzioni efficaci e convenienti per costruire un approccio strategico comune delle politiche in materia di aria/clima/energia. Questa sezione del progetto è in parte realizzata

¹⁶ <http://operatool.terraria.com/html/fra/index.html>

atmosphérique et le bilan des gaz à effet de serre de chaque région a fait l'objet d'une modélisation de la qualité de l'air sur le territoire ALCOTRA afin d'évaluer les bénéfices d'une stratégie commune de réductions des émissions polluantes.

Toujours à destination des décideurs, un travail d'évaluation des coûts a été mené pour estimer l'impact chiffré de la pollution de l'air sur le bâti.

Enfin, un large travail a été entrepris pour sensibiliser au mieux le grand public et les collectivités, afin de les inciter au changement de comportement. Une première phase a permis de comprendre les freins et incompréhensions qui pouvaient exister par rapport aux thèmes du changement climatique et de la qualité de l'air : sondages, ateliers ouverts au grand public, séminaires... Consécutivement à ce diagnostic, un travail de synthèse a été réalisé sous la forme d'un outil numérique. Ce dernier a pour but d'approfondir les connaissances sur les 2 thèmes du projet et également de diffuser au plus grand nombre les conclusions du projet CLIMAERA.

Les différentes étapes de CLIMAERA sont décrites dans ce rapport. L'ensemble des rapports d'études menés par des experts mandatés pour

con un software (lo strumento RIAT+) precedentemente sviluppato grazie ad un altro progetto europeo¹⁹. Questo strumento permette di dare priorità alle azioni che hanno il maggior impatto sulla qualità dell'aria di una regione per un determinato budget. La scelta delle azioni più efficaci sull'inquinamento atmosferico e sul bilancio dei gas serra di ogni regione è stata oggetto di modellizzazione della qualità dell'aria sul territorio ALCOTRA per valutare i benefici di una strategia comune di riduzione delle emissioni inquinanti. Sempre a beneficio dei decisori, è stato effettuato uno studio di valutazione dei costi per stimare l'impatto dell'inquinamento atmosferico sugli edifici.

Infine, è stato intrapreso un ampio lavoro di sensibilizzazione del pubblico e delle comunità per incoraggiarli al cambiamento dei comportamenti. Una prima fase ha permesso di comprendere gli ostacoli e le incomprensioni che potevano esistere in relazione ai temi del cambiamento climatico e della qualità dell'aria: sondaggi, workshop aperti al pubblico, seminari, ecc. Successivamente a questa diagnosi, è stato realizzato un lavoro di sintesi in forma di strumento digitale. Quest'ultimo ha lo scopo di approfondire le

¹⁹<http://operatool.terraria.com/html/fra/index.html>


le projet sont consultables sur le site internet : <https://www.climaera.eu/fr/>

conoscenze sui 2 temi del progetto e anche di divulgare al più grande numero di persone le conclusioni del progetto CLIMAERA.

Le diverse fasi di CLIMAERA sono descritte in questa relazione, e tutte le relazioni degli studi effettuati dagli esperti incaricati del progetto possono essere consultate sul seguente sito web : <https://www.climaera.eu/it/>.

Gouvernance et gestion administrative/ Governance e gestione amministrativa

1.1 Données générales du projet/Dati generali del progetto

<p>Nom du projet/Nome del progetto</p>	 <p>CLIMAERA (n° 1606)</p>
<p>Programme/Programma</p>	 <p>Programme/Programma Interreg V-A ALCOTRA 2014-2020</p>
<p>Axe prioritaire/Asse prioritario</p>	<p>Environnement mieux maîtrisé Augmentation de la résilience des territoires ALCOTRA</p>  <p>2. Ambiente sicuro <i>Aumento della resilienza del territorio</i></p>
<p>Objectif spécifique/Obiettivo specifico</p>	<p>Objectifs Spécifiques 2.1 – Changement climatique Améliorer la planification territoriale des institutions publiques pour l’adaptation au changement climatique</p> <p>OS 2.1 – Cambiamento climatico <i>Migliorare la pianificazione territoriale delle istituzioni pubbliche per l’adattamento al cambiamento climatico</i></p>
<p>Partenariat/Partenariato:</p> <p>Regione Liguria (chef de file/capofila) ARPA Piemonte ARPA Valle d’Aosta Atmo Auvergne-Rhône-Alpes AtmoSud</p>	

Le projet est financé à 85% par le FEDER (Fonds européen de développement régional) et à 15% par des fonds nationaux.

Il Progetto è finanziato all'85% dal FESR (Fondo Europeo di Sviluppo regionale) e al 15 % da fondi nazionali.

1.2 Objectifs du projet/Obiettivi del Progetto

L'objectif du projet CLIMAERA est de préparer et de mettre à disposition les notions et les outils de planification pour accompagner les politiques publiques pour la gestion et le développement du territoire ALCOTRA de manière transversale et complémentaire sur les thèmes « Qualité de l'air » et « Climat-Energie » avec des retombées positives sur la qualité de vie de la population transfrontalière.

En effet, les activités de CLIMAERA visent à évaluer les impacts du changement climatique sur la qualité de l'air, complétées par des estimations économiques de l'impact de la pollution sur la santé et l'état des biens. Un autre axe est la sensibilisation des acteurs à des stratégies « gagnant-gagnant » pour le développement de politiques transfrontalières synergiques climat-air, en accord avec les objectifs de l'Axe II - OS 2.1 PO ALCOTRA 2014-2020.

L'obiettivo del progetto CLIMAERA è quello di preparare e mettere a disposizione delle nozioni e degli strumenti di pianificazione per accompagnare le politiche pubbliche di gestione e sviluppo del territorio ALCOTRA in modo trasversale e complementare sulle tematiche "Qualità dell'aria" e "Clima-Energia" con delle ricadute positive sulla qualità della vita della popolazione transfrontaliera.

Le attività di CLIMAERA, infatti, sono volte alla valutazione degli impatti del cambiamento climatico sulla qualità dell'aria, integrate da stime economiche dell'impatto dell'inquinamento sulla salute e sullo stato dei beni. Un altro *focus* è la sensibilizzazione degli attori sulle strategie "win-win" per lo sviluppo di politiche transfrontaliere sinergiche clima-aria, in linea con gli obiettivi dell'asse II - OS 2.1 PO ALCOTRA 2014-2020.

Cet objectif vise à contribuer à façonner une Europe plus résistante au changement climatique.

Tale obiettivo si propone di concorrere a forgiare un'Europa più resiliente ai cambiamenti climatici.

1.3 Coopération transfrontalière/ Cooperazione transfrontaliera

Le projet CLIMAERA est le dernier d'une série de projets qui ont été mis en œuvre au niveau du territoire ALCOTRA.

Il progetto CLIMAERA è l'ultimo di una serie di progetti che sono stati attuati a livello del territorio ALCOTRA

Le projet AERA, le projet PART'AERA et le projet SH'AIR, ainsi que CLIMAERA, ont permis de créer une équipe soudée qui travaille sur les questions de qualité de l'air depuis près de dix ans, jetant ainsi les bases d'une collaboration fructueuse entre les collectivités et les régions concernées.

Il progetto AERA, il progetto PART'AERA ed il progetto SH'AIR, insieme a CLIMAERA hanno permesso di creare una squadra ormai affiatata che lavora da quasi un decennio sui temi della qualità dell'aria gettando le premesse per una proficua collaborazione fra enti e regioni coinvolte.

La coopération transfrontalière ALCOTRA a donc pu se développer, se renforcer et créer une communauté de pratique capable de « se comprendre tout de suite » afin de mettre à disposition, dans le cadre des réglementations complexes concernant l'air et le climat, d'une part les outils pour mieux étudier l'atmosphère et d'autre part pour traduire en règles pratiques les indications issues des études et analyses.

La cooperazione transfrontaliera ALCOTRA ha potuto quindi accrescersi e rafforzarsi e creare una comunità di pratica in grado di "capirsi al volo" per porre mano, nell'ambito dei complessi regolamenti inerenti l'aria ed il clima, da un lato agli strumenti per indagare sempre meglio l'atmosfera dall'altro di tradurre in norme pratiche le indicazioni emerse dagli studi e dalle analisi.

Enfin, il convient de mentionner l'importante collaboration entamée avec le CCR (Centre Commun de Recherche) à Bruxelles pour adapter

Da ultimo è da segnalare l'importante collaborazione avviata con JRC (Joint Research Center) di Bruxelles per adattare ed

et mettre en œuvre dans la réalité des territoires ALCOTRA le logiciel RIAT+. Cela a été un moment intéressant de croissance et de partage avec une autre réalité transfrontalière engagée sur les mêmes enjeux.

implementare nella realtà dei territori ALCOTRA il software RIAT+; ciò ha costituito un interessante momento di crescita e condivisione con una altra realtà transfrontaliera impegnata sulle stesse tematiche.

1.4 Activités du projet/Attività del Progetto

Le projet CLIMAERA se décline en 4 composantes et, pour une gestion optimale, chacune d'entre elles a été coordonnée par un partenaire qui en est le pilote.

WP 1 – Gouvernance et gestion administrative du projet (Regione Liguria)

L'objectif est de gérer le projet du point de vue administratif et économique-financier, en établissant des relations fructueuses entre les partenaires et avec le programme ALCOTRA.

WP 2 – Communication (AtmoSud)

L'objectif est de mener des actions de sensibilisation aux questions liées au changement climatique et à la qualité de l'air sur le territoire d'ALCOTRA, à l'intention du grand public et des élus locaux.

WP 3 – Impacts synergiques du changement climatique et de la pollution de l'air sur le territoire ALCOTRA (ARPA Piemonte)

L'objectif de cette composante est de mettre à la disposition des autorités locales les résultats technico-scientifiques utiles à la définition de

Il progetto CLIMAERA è articolato in 4 componenti e, per una gestione ottimale, ognuna di esse è stata coordinata da un partner che ne ha monitorato lo stato di avanzamento.

WP 1 – Governance e gestione amministrativa del progetto (Regione Liguria)

L'obiettivo è di gestire dal punto amministrativo ed economico-finanziario il progetto instaurando rapporti proficui tra il partenariato e con il programma ALCOTRA.

WP 2 – Comunicazione (AtmoSud)

L'obiettivo è di effettuare attività di sensibilizzazione rispetto ai temi del cambiamento climatico e della qualità dell'aria sul territorio ALCOTRA, rivolte sia al grande pubblico sia agli amministratori locali

WP 3 – Impatti dei Cambiamenti Climatici e dell'inquinamento atmosferico sul territorio ALCOTRA (ARPA Piemonte)

L'obiettivo della componente è di mettere a disposizione delle autorità locali i risultati tecnico-scientifici utili

politiques durables et intégrées en matière de qualité de l'air et d'émissions de gaz à effet de serre, conformément aux politiques européennes d'adaptation au changement climatique.

WP 4 – Analyse et évaluation des coûts/bénéfices des politiques/mesures en matière d'adaptation au changement climatique et à la qualité de l'air (AtmoAURA).

L'objectif est de fournir une analyse méthodologique des estimations des coûts/bénéfices des impacts de la qualité de l'air et du changement climatique sur la santé et les bâtiments.

per la definizione di politiche sostenibili ed integrate rispetto alle problematiche della qualità dell'aria e delle emissioni di gas ad effetto serra, conformemente alle politiche europee di adattamento ai Cambiamenti Climatici.

WP 4 – Analisi e valutazione dei costi/benefici delle politiche/misure in tema di adattamento ai Cambiamenti Climatici e alla Qualità dell'Aria (AtmoAURA).

L'obiettivo è quello di fornire un'analisi metodologica delle stime costi-benefici degli impatti della qualità dell'aria e dei cambiamenti climatici sulla salute e sugli edifici.





1.5 WP1-Gouvernance et gestion administrative/WP1-Governance e gestione amministrativa

Cette composante comprend toutes les opérations de gestion administrative et de communication avec le Secrétariat conjoint et avec l'Autorité de Gestion et de gestion économique et financière entre les partenaires et l'Autorité de gestion (demande de fonds FEDER, leur transfert aux partenaires, etc.) et est coordonnée par le Chef de file (Regione Liguria).

Afin de mieux gérer cette composante, des réunions périodiques du Comité de pilotage pour le suivi technique et administratif ont été prévues. Ces réunions ont eu lieu dans les locaux des partenaires du projet, en faisant

Questa component comprende tutte le operazioni di gestione amministrativa e di comunicazione con il Segretariato Congiunto e con l'Autorità di Gestione e di gestione economica e finanziaria tra i partner e l'Autorità di Gestione (richiesta dei fondi FESR, loro trasferimento ai partner, ...) ed è coordinata dal capofila (Regione Liguria).

Al fine di gestire al meglio questa component, sono stati previste delle riunioni periodiche del Comitato di Pilotaggio per il monitoraggio tecnico ed amministrativo, che si sono svolte presso le sedi dei partner di progetto, avvalendosi, dove opportuno, di un servizio di interpretariato

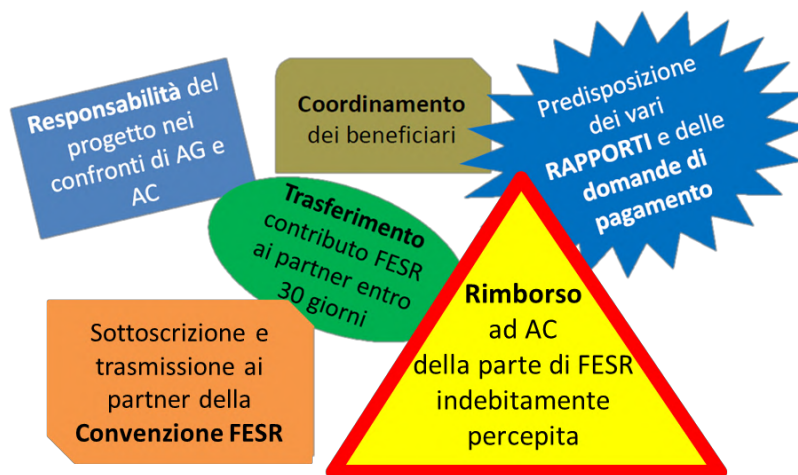
appel, le cas échéant, à un service d'interprétation italien/français, notamment pour les questions techniques.

Le Chef de file du projet (Région Ligurie) a également suivi en permanence l'avancement des activités grâce à des réunions en présence et virtuelles avec les référents techniques et au partage des résultats obtenus à chaque fois. Le Secrétariat conjoint et l'Autorité de gestion ont également été informés de l'avancement technique et financier du projet sur une base annuelle (par le biais de rapports d'exécution) et à chaque fois qu'il était nécessaire de partager les problèmes qui se sont posés et les solutions adoptées par le partenariat.

italiano/francese soprattutto per gli argomenti di carattere tecnico.

Il capofila del progetto (Regione Liguria) ha altresì monitorato costantemente l'avanzamento delle attività attraverso riunioni in presenza e virtuali con i referenti tecnici e la condivisione dei risultati di volta in volta raggiunti.

Anche il Segretariato Congiunto e l'Autorità di Gestione sono stati informati sull'avanzamento tecnico e finanziario del progetto con scadenza annuale (mediante report di esecuzione) ed ogni qualvolta si presentasse la necessità di condividere le problematiche sorte e le soluzioni adottate dal partenariato.



1.6 Livrables de la composante/Prodotti della component

Sept comités de pilotage ont été réalisés en présence et un en ligne, dans lesquels le partenariat a présenté l'état d'avancement des

Sono stati realizzati 7 comitati di pilotaggio in presenza e un online, in cui il partenariato ha presentato lo stato di avanzamento delle attività,

activités, tant d'un point de vue technique que financier, et a fait part des problèmes rencontrés, en demandant, le cas échéant, l'intervention et l'approbation du partenariat sur la manière de procéder.

Deux réunions ont eu lieu sur des sujets purement techniques (WP3 et WP 4) : les 19 et 20 juin 2019 à Gênes et les 3 et 4 octobre 2019 au Bourget-du-Lac.

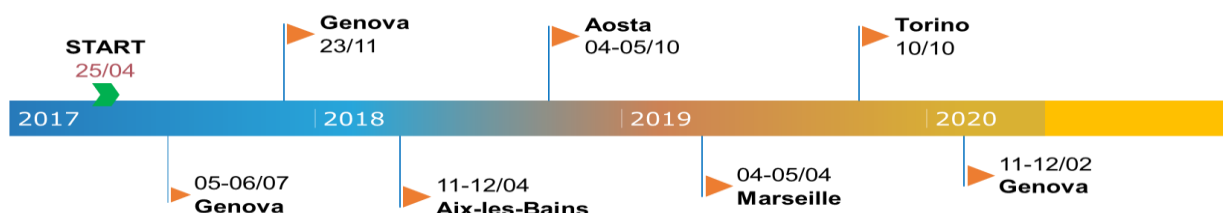
En outre, plusieurs réunions par vidéoconférence ont été organisées, en particulier dans la phase finale du projet, afin de finaliser les livrables et de les diffuser.

sia dal punto di vista tecnico sia finanziario, e ha condiviso le problematiche incontrate, richiedendo, quando necessario, l'intervento e l'approvazione del partenariato sulla modalità di procedere.

Sono state svolte due riunioni che hanno affrontato gli argomenti prettamente tecnici (WP3 e WP 4): il 19 e 20 giugno 2019 a Genova e il 3 e 4 ottobre 2019 a Le Bourget du Lac.

Inoltre, sono state organizzate numerose riunioni in videoconferenza, soprattutto nella fase finale del progetto, per finalizzare i prodotti e per la loro diffusione.

Riunioni del Comitato di pilotaggio



Le Chef de file, avec le soutien du partenariat, a rédigé 3 rapports annuels d'avancement technique et financier en italien et en français (31/01/2018, 31/01/2019 et 31/01/2020). A la fin du projet, un rapport final d'exécution contenant le résumé de toutes les activités réalisées a été prévu. Ce rapport sera envoyé au programme ALCOTRA.

Il capofila, con il supporto del partenariato ha redatto 3 Report annuali di avanzamento tecnico e finanziario in italiano e francese di (31/01/2018, 31/01/2019 e 31/01/2020).

Al termine del progetto è previsto un rapporto finale di esecuzione contenente il riepilogo di tutte le attività realizzate da inviare al programma ALCOTRA.

1.7 Groupes destinataires du projet/Gruppi destinatari del progetto

Les livrables du projet s'adressent à un public varié :

- Élus locaux
- Centres de recherche
- Grand public.

I prodotti del progetto sono rivolti ad un pubblico variegato:

- amministratori locali
- centri di ricerca
- grande pubblico

Groupes	Objectif
Administrations publiques et privées	50
Techniciens des centres de recherche	25
Grand public	500

Gruppi destinatari	Valore obiettivo
Amministratori pubblici e privati	50
Tecnici dei centri di ricerca	25
Grande pubblico	500

1.8 Indicateurs de réalisation/Indicatori di realizzazione

Indicateur de réalisation	Quantité	Description
Scénarios émissions et météorologiques	3	Scénario émissif 2030 Scénario météorologique 2030 Scénario météorologique 2050
Scénario de la qualité de l'air	3	Scénario de qualité de l'air « tendanciel » 2030 Scénario de qualité de l'air « futur » 2030 Scénario de qualité de l'air « climatique » 2050
Installation du logiciel RIAT+	1	Prise en main de l'outil RIAT+ avec l'analyse coût-bénéfices des actions sur la qualité de l'air

Indicatore di realizzazione	Quantità	Descrizione
Scenari emissive e meteorologici	3	Scenari emissivo al 2030 Scenari meteorologico al 2030 Scenari meteorologico al 2050
Scenari di qualità dell'aria	3	Scenari di qualità dell'aria "tendenziale" 2030 Scenari di qualità dell'aria "futuro" 2030 Scenari di qualità dell'aria "climatico" 2050
Implementazione del software RIAT+	1	Implementazione del tool RIAT+ di supporto all'analisi costi-benefici delle misure /politiche di qualità dell'aria

Communication/Comunicazione

2.1 Site internet/Sito web

Le site web <https://www.climaera.eu/fr/> est dédié au projet. Il présente l'ensemble des résultats et actions menées pendant toute la durée du projet. La maintenance de ce site sera assurée pendant 5 ans.

Il sito web <https://www.climaera.eu/it/> è dedicato al progetto e presenta i risultati e le azioni svolte nel corso dell'intera durata. La manutenzione del sito verrà garantita per 5 anni.

2.2 Newsletters/Newsletter

Six newsletters ont été mises en ligne sur le site Internet du projet et également diffusées aux adhérents des différents partenaires. Ces différentes lettres permettent de faire un point régulier sur l'avancée du projet (novembre 2017, juillet 2018, mai 2019, novembre 2019 et mai 2020).

Sei newsletter sono state pubblicate online sul sito web del progetto e inviate ai membri dei vari partner. Le newsletter permettono un aggiornamento periodico sullo stato di avanzamento del progetto (novembre 2017, luglio 2018, maggio 2019, novembre 2019 e maggio 2020).

2.3 Conférence internationale/Conferenza internazionale

Les partenaires du projet européen CLIMAERA et des intervenants extérieurs présenteront les résultats finaux des travaux menés sur la période 2017-2020 et des exemples d'actions menées dans certaines collectivités lors d'une journée de colloque en ligne. La conférence internationale est organisée en 4 tables rondes :

I partner del progetto europeo CLIMAERA insieme a relatori esterni presenteranno i risultati finali dei lavori svolti nel periodo 2017-2020 e dei esempi delle azione effettuate negli enti locali in una giornata di convegno online.

La conferenza internazionale si articola in 4 tavole rotonde:

- Cambiamenti climatici & qualità dell'aria, il contesto, il progetto CLIMAERA,

- Changement climatique & qualité de l'air, le contexte, le projet CLIMAERA,
- L'engagement citoyen au cœur des luttes pour la préservation du climat et de la qualité de l'air,
- Santé,
- Chiffrage économique et mise en œuvre des actions.

Cette journée sera animée par une modératrice.

- L'impegno dei cittadini per preservare il clima e la qualità dell'aria,
- Salute,
- Calcolo dei costi economici e realizzazione delle azioni.

La giornata sarà condotta da una moderatrice.

2.4 Plaquette finale du projet/Opuscolo finale del progetto

Une plaquette, format A4 de 6 pages en franco-italien, présente les principaux résultats du projet. La plaquette est adressée au grand public et aux collectivités. Elle est [en ligne sur le site de CLIMAERA](#). Elle a été envoyée aux personnes invitées au colloque et aux membres adhérents de chaque partenaire.

Un opuscolo di 6 pagine in italiano e in francese in formato A4 presenta i principali risultati del progetto e si rivolge a cittadini ed enti. E' pubblicato [online sul sito web di CLIMAERA](#) ed è stato inviato alle persone invitate alla conferenza e ai membri di ogni partner.

2.5 Outil numérique/Strumento digitale

La plateforme numérique proposée par l'équipe du projet CLIMAERA a pour objectif d'engager, via des propositions ludiques, des changements de comportements citoyens vers une meilleure qualité environnementale.

Afin de rendre cet outil en ligne le plus attrayant et efficace, des étapes préalables ont permis de préparer son lancement et d'identifier les

La piattaforma digitale proposta dal team del progetto CLIMAERA mira a incentivare i cittadini, attraverso proposte ludiche, a modificare i propri comportamenti per una migliore qualità ambientale.

Affinché lo strumento online fosse il più possibile attraente ed efficace, alcune fasi preliminari hanno permesso di prepararne il lancio e di

principaux leviers incitatifs à la mise en place de nouvelles pratiques plus responsables.

Parmi celles-ci, un sondage intitulé "Être acteur de l'air que l'on respire... Oui mais comment ?" a été mené sur un panel de plus de 1500 personnes. Le sondage en ligne, accessible pendant un mois, a été diffusé par chacun des partenaires sur leur territoire.

Composé de questions ouvertes et fermées, il a permis de recueillir les représentations du public sur la qualité de l'air & le climat et d'identifier les pistes d'actions envisageables pour sensibiliser sur le sujet.

L'ensemble des résultats sont en ligne et exploités en parallèle des enquêtes qualitatives réalisées selon la méthode du **focus group** (voir **2.6 Réunion de sensibilisation**).

Information technique concernant l'outil numérique :

Cet outil est créé avec un support html5 utilisable depuis n'importe quel appareil, ne nécessitant aucune maintenance technique et corrective.

- Un support enrichi :
 - Les pages sont animées et enrichies d'extraits vidéo, de cartes et illustrations interactives.
 - Un commentaire off illustre chaque page.
 - Des activités ludo-pédagogiques sont

individuer les principales levées de l'incentivazione per l'adozione di nuove pratiche più responsabili.

Un sondaggio intitolato "Essere attori nell'aria che respiriamo... Sì, ma come?" è stato condotto su un panel di oltre 1.500 persone. Il sondaggio online, accessibile per un mese, è stato diffuso da ciascun partner sul proprio territorio.

Composto da domande aperte e chiuse, ha permesso di conoscere le impressioni dei cittadini sulla qualità dell'aria e sul clima e di individuare possibili azioni di sensibilizzazione sul tema.

Tutti i risultati sono online e utilizzati parallelamente a quelli delle indagini qualitative effettuate con il metodo dei **focus group**. (cfr. **2.6 Réunion de sensibilisation**).

Informazioni tecniche sullo strumento digitale:

L'applicativo è creato con un supporto html5 accessibile da qualsiasi dispositivo e che non richiede alcuna manutenzione tecnica e correttiva.

- Un supporto più ricco:
 - Le pagine sono animate e arricchite da video, cartine e illustrazioni interattive.
 - Una voce fuori campo commenta ogni pagina.

proposées à l'issue de chaque partie

- Avec un double usage :
 - On-line : le support est ainsi utilisable de façon autonome par les internautes.
 - Off-line : le support peut être utilisé en présentiel. Le support devient un outil de présentation interactif projetable. Il embarque un guide d'animation téléchargeable permettant à chaque intervenant d'animer tables rondes, ateliers de formation et manifestations
- Avec une double entrée :
 - Un "parcours citoyens" conçu sous forme de storytelling afin de capter l'attention des internautes jusqu'à la fin du parcours (durée 10 minutes).
 - Un "parcours collectivités" : Les parties sont enrichies de différents médias afin de proposer une expérience interactive enrichie (durée 20 minutes)

Outil numérique composé de 3 parties :

- Partie 1 : Comprendre pourquoi l'air, le climat, et l'énergie sont indissociables

- Alla fine di ogni sezione vengono proposte attività ludico-educative.
- Una doppia modalità di utilizzo:
 - Online: il supporto può essere utilizzato autonomamente dagli utenti Internet.
 - Offline: l'applicativo può essere utilizzato in modalità presenziale. Il supporto diventa uno strumento di presentazione interattivo proiettabile. Include una guida di animazione scaricabile che permette a ciascun moderatore di condurre tavole rotonde, workshop di formazione ed eventi.
- Due percorsi diversificati:
 - Un «percorso cittadini» progettato sotto forma di narrazione per catturare l'attenzione degli utenti Internet fino alla fine (durata del percorso 10 minuti).
 - Un «percorso enti»: le sezioni sono arricchite con diversi contenuti multimediali per offrire un'esperienza interattiva più ricca (durata del percorso 20 minuti)

Expliquer la convergence entre les 3 problématiques

- Partie 2 : L'air, le climat, et l'énergie dans ma région

Faire prendre conscience aux publics concernés les impacts directs pour la santé et l'environnement.

- Partie 3 : Comment agir ?

Présenter des actions concrètes qui peuvent être mises en place de façon cohérente et simultanée à chacun des niveaux des publics concernés.

Strumento digitale articolato in 3 sezioni:

- Sezione 1: Scoprire perché aria, clima ed energia vanno di pari passo.

Spiegare la convergenza fra le 3 problematiche

- Sezione 2: L'aria, il clima e l'energia nella mia regione

Sensibilizzare i diversi destinatari sugli impatti diretti sulla salute e sull'ambiente.

- Sezione 3: Come agire?

Presentare azioni concrete che possano essere attuate in modo coerente e simultaneo a ciascun livello di destinatari.

2.6 Réunion de sensibilisation/Riunione di sensibilizzazione

Focus groupes et analyse/Focus group e analisi

Les 11 et 19 juin 2018, à Nice et à Marseille, deux focus group (entretiens collectifs dirigés) ont été organisés avec un panel de répondants volontaires.

L'objectif ? Identifier les principaux leviers incitatifs à la mise en place de nouvelles pratiques plus responsables.

Constitués d'un nombre limité de participants, réunis dans un cadre convivial, "les focus group" constituent une méthodologie d'enquête qualitative en sciences sociales à l'efficacité éprouvée permettant la production d'une forme d'intelligence collective.

L'11 e il 19 giugno 2018, a Nizza e a Marsiglia, sono stati organizzati due focus group (interviste collettive) con un panel di volontari intervistati.

L'obiettivo? Individuare le principali leve di incentivazione per l'adozione di nuove pratiche più responsabili.

I focus group, costituiti da un numero limitato di partecipanti riuniti in un ambiente conviviale, sono una metodologia di indagine qualitativa appartenente alle scienze sociali, di comprovata efficacia nel produrre una forma di intelligenza collettiva. Guidate da un'esperta in tema ambientale, queste sessioni di

Animées par une experte de la thématique environnementale, ces séances de réflexion d'une demi-journée chacune ont fait émerger les bases du déploiement de l'outil numérique.

Compte-rendu des focus group en ligne : [Nice](#) et [Marseille](#).

brainstorming di mezza giornata ciascuna, hanno posto le basi per lo sviluppo dello strumento digitale.

Relazione dei focus group online:

[Nizza](#) e [Marsiglia](#).

Atelier de formation et sensibilisation/Workshop di formazione e sensibilizzazione

[ARPA Vallée d'Aoste] Parler de la qualité de l'air... en s'amusant ! - 5/10/2019

Samedi 5 octobre 2019, ARPA Vallée d'Aoste a organisé "Tutto per aria!", une manifestation destinée aux enfants et familles sur la qualité de l'air et le changement climatique. L'événement a été conçu dans le cadre du projet dont l'objectif est d'évaluer les solutions les plus efficaces pour améliorer la qualité de l'air. Il accorde une attention particulière à la sensibilisation du public afin de susciter des comportements respectueux de l'environnement dans lequel nous vivons.

Avec l'initiative "Tutto per aria!", ARPA Vallée d'Aoste s'est concentrée sur les plus jeunes (6-13 ans), la génération la plus impliquée dans ces questions. Au cours de la journée, des ateliers, des expériences et des jeux ont été organisés sur les thèmes du projet, afin de transmettre des messages importants, tout en s'amusant. Les familles participantes

[ARPA Valle d'Aosta] Parlare della qualità dell'aria... divertendosi! - 5/10/2019

Sabato 5 ottobre 2019 ARPA Valle d'Aosta ha organizzato "Tutto per aria!", un evento rivolto a bambini e famiglie sui temi della qualità dell'aria e dei cambiamenti climatici. La manifestazione è stata ideata nell'ambito del progetto il cui obiettivo è quello di valutare le soluzioni più efficaci per migliorare la qualità dell'aria. Una particolare attenzione è rivolta alla sensibilizzazione dell'opinione pubblica, al fine di indurre comportamenti rispettosi dell'ambiente in cui viviamo.

Con l'iniziativa "Tutto per aria!", ARPA Valle d'Aosta si è concentrata sui più giovani (6-13 anni), la generazione che sarà più coinvolta da queste problematiche. Nel corso della giornata sono stati svolti laboratori, esperimenti e giochi sui temi del progetto, con la finalità di veicolare messaggi importanti, sempre divertendosi. Le famiglie che

étaient nombreuses, l'interaction entre les enfants et les experts a été positive et conviviale. L'espoir est que "Tutto per aria!" permette de clarifier certains aspects scientifiques liés aux thèmes de la qualité de l'air et du changement climatique, mais surtout suscite chez les jeunes et les moins jeunes une curiosité et des questions sur ces thèmes. ARPA Vallée d'Aoste espère que ceux-ci pourront à leur tour mettre en place des échanges constructifs en classe ou en famille. En effet, le développement d'une conscience environnementale collective est la méthode la plus efficace pour traiter consciemment des problèmes et améliorer les conditions actuelles de notre planète.

[ARPA Vallée d'Aoste & ARPA Piemonte] Au Pavillon du Mont Fréty (Skyway) et à Turin, on a parlé de communication scientifique avec les journalistes - 28/09/2019 & 11/12/2019

Au fil des années, le nombre de questions sur l'environnement et le développement durable a connu une croissance exponentielle, notamment grâce aux réseaux sociaux et la télévision. ARPA Vallée d'Aoste et ARPA Piemonte ont discuté de ce thème au cours d'un atelier dédié aux journalistes les 28 septembre et 11 décembre 2019 intitulé "Pollution de l'air et le changement climatique – une communication informée". Ce

hanno partecipato sono state numerose e l'interazione tra i bambini e gli esperti è stata positiva e vivace. La speranza è che "Tutto per aria!" aiuti a chiarire alcuni aspetti scientifici alla base delle tematiche della qualità dell'aria e dei cambiamenti climatici, ma soprattutto che generi, in giovani e meno giovani, curiosità e domande su queste tematiche. ARPA Valle d'Aosta spera che i partecipanti possano a loro volta avviare discussioni costruttive in classe o in famiglia. Lo sviluppo di una coscienza ambientale collettiva è infatti il metodo più efficace per affrontare consapevolmente i problemi e migliorare le condizioni attuali del nostro pianeta.

[ARPA Valle d'Aosta e ARPA Piemonte] Al Pavillon du Mont Fréty (Skyway) e a Torino si è parlato di comunicazione scientifica con i giornalisti - 28/09/2019 e 11/12/2019

Nel corso degli anni le domande sull'ambiente e sullo sviluppo sostenibile sono cresciute in modo esponenziale, grazie soprattutto ai social network e alla televisione. ARPA Valle d'Aosta e ARPA Piemonte hanno affrontato questi temi in un workshop dedicato ai giornalisti dal titolo "Inquinamento dell'aria e cambiamenti climatici – Comunicare informati" il 28 settembre e l'11 dicembre 2019. Il seminario,

séminaire prévu sur les trois régions italiennes, afin de donner l'occasion au plus grand nombre de journalistes de se familiariser avec les sujets traités, n'a pas pu avoir lieu en Ligurie à cause de la crise liée au COVID-19. L'événement, né de la collaboration avec les Ordres des journalistes de la Vallée d'Aoste, du Piémont et de la Ligurie, régions partenaires du projet CLIMAERA, s'est déroulé dans le magnifique paysage du Mont Blanc et a vu la participation de nombreux acteurs de l'information scientifique, journalistes et experts de l'environnement. Le modérateur de l'atelier était Piero Bianucci, fondateur du supplément "Tuttoscienze", l'une des premières expériences de communication scientifique dans les journaux nationaux.

Pourquoi un atelier dédié aux journalistes ?

Tout découle de la prise de conscience que les citoyens d'aujourd'hui sont quotidiennement assaillis par un flux continu et constant d'informations : il est souvent difficile de démêler et de décider quelle information est correcte ou, du moins, la plus pertinente ! Dans le chaos médiatique actuel, les journalistes jouent le rôle fondamental de "lien" entre la communauté scientifique et le citoyen : même dans le domaine de l'environnement, la "nouvelle" est un produit à vendre, mais elle doit être

previsto in tutte e tre le regioni italiane per dare la possibilità al maggior numero possibile di giornalisti di familiarizzare con i temi trattati, non ha potuto svolgersi in Liguria a causa della crisi legata al COVID-19.

L'evento, nato dalla collaborazione con gli Ordini dei Giornalisti della Valle d'Aosta, del Piemonte e della Liguria, regioni partner del progetto CLIMAERA, si è svolto nello splendido scenario del Monte Bianco e ha visto la partecipazione di numerosi attori dell'informazione scientifica, giornalisti ed esperti ambientali. Moderatore del workshop è stato Piero Bianucci, fondatore del supplemento "Tuttoscienze", una delle prime esperienze di comunicazione scientifica sui giornali nazionali.

Perché un workshop dedicato ai giornalisti?

Tutto nasce dalla consapevolezza che i cittadini di oggi sono quotidianamente assaliti da un flusso continuo e costante di informazioni: spesso non è facile districarsi e decidere quali siano le informazioni corrette, o comunque quelle più rilevanti! Nel caos mediatico attuale, i giornalisti rivestono il ruolo fondamentale di "tramite" tra la comunità scientifica e il cittadino: anche in campo ambientale la "notizia" è un prodotto da vendere, ma essa deve essere

scientifiquement valable et mise à la disposition des citoyens de façon appropriée afin de constituer un moyen précieux de sensibilisation. Les experts qui sont intervenus au cours du séminaire ont abordé divers problèmes et phénomènes environnementaux dont nous entendons parler tous les jours (interaction entre qualité de l'air et changement climatique, météorologie, cryosphère, trou d'ozone...) en essayant de fournir aux journalistes présents dans la salle les bonnes clés pour une interprétation correcte.

L'objectif commun des scientifiques et des communicants doit être celui de faire un effort pour créer une conscience environnementale collective. Actuellement, celui-ci semble le seul système efficace pour limiter les dégâts et améliorer l'état de notre planète.

[ARPA Vallée d'Aoste] Sensibilisation des jeunes lors du tournoi de football SNOOPY TROPHY du 14 au 17 juin 2018

La sensibilisation du grand public et la diffusion des connaissances sur les questions liées à la pollution de l'air et au changement climatique sont des objectifs du projet. Dans ce contexte, l'ARPA Vallée d'Aoste a décidé de se concentrer sur les jeunes, la

scientifiquement solide et messa a disposizione dei cittadini nel modo giusto, così da costituire un prezioso strumento di sensibilizzazione ambientale. Gli esperti intervenuti al seminario hanno trattato vari temi e fenomeni ambientali di cui ogni giorno si sente parlare (interazione tra qualità dell'aria e cambiamenti climatici, meteorologia, criosfera, buco dell'ozono...) cercando di fornire ai giornalisti presenti in sala le chiavi di lettura giuste per una corretta interpretazione.

L'obiettivo comune di scienziati e comunicatori deve essere quello di impegnarsi a creare una coscienza ambientale collettiva. Ad oggi sembra essere questo l'unico sistema efficace per arginare i danni fatti e migliorare lo stato del nostro pianeta.

[ARPA Valle d'Aosta] Sensibilizzazione dei giovani al torneo di calcio SNOOPY TROPHY dal 14 al 17 giugno 2018

La sensibilizzazione dell'opinione pubblica e la diffusione delle conoscenze sui temi legati all'inquinamento atmosferico e ai cambiamenti climatici sono obiettivi del progetto. In questo contesto ARPA Valle d'Aosta ha deciso di puntare sui giovani, la generazione

génération la plus impliquée dans l'évolution du climat. Afin de transmettre les messages, ARPA Vallée d'Aoste a choisi les événements sportifs car ils attirent un grand nombre de personnes.

Le premier événement auquel participe l'Agence est le **tournoi de football SNOOPY TROPHY 2018**, qui réunit environ 250 équipes de football et 4000 jeunes âgés de 6 à 18 ans. Il s'est déroulé du 14 au 17 juin 2018 en Vallée d'Aoste. Dans le cadre de l'événement, ARPA Vallée d'Aoste a mené des activités de sensibilisation avec la distribution de gadgets, l'organisation de jeux et la présentation des bonnes pratiques à mettre en œuvre pour la qualité de l'air et le chauffage au bois.

[ARPA Piémont] Evènement publique de sensibilisation « Air et Climat : les défis actuels et les perspectives futures. L'approche synergique aux politiques sur la qualité de l'air et le climat : les connaissances et les outils » à Turin le 10 octobre 2019

Cet événement a été l'occasion d'une première confrontation de la démarche et des premiers résultats du projet CLIMAERA au grand public et aux décideurs politiques.

La journée, à laquelle ont participé plus de 200 personnes, était divisée en deux parties.

più coinvolta nei cambiamenti climatici. Per veicolare i messaggi ARPA Valle d'Aosta ha scelto gli eventi sportivi perché attirano un pubblico numeroso.

Il primo evento a cui ha partecipato l'Agenzia è stato il **torneo di calcio SNOOPY TROPHY 2018**, che ha coinvolto circa 250 squadre di calcio e 4000 giovani dai 6 ai 18 anni. Si è svolto dal 14 al 17 giugno 2018 in Valle d'Aosta. Nell'ambito dell'evento ARPA Valle d'Aosta ha svolto attività di sensibilizzazione con distribuzione di gadget, organizzazione di giochi e la spiegazione delle buone pratiche da attuare per la qualità dell'aria e il riscaldamento a legna.

[ARPA Piemonte] Evento pubblico di sensibilizzazione "Aria e Clima: sfide odierne e prospettive future. L'approccio sinergico alle politiche su qualità dell'aria e clima: le conoscenze e gli strumenti" a Torino il 10 ottobre 2019

Questo evento è stato l'occasione per un confronto sull'approccio e sui primi risultati del progetto CLIMAERA con i cittadini e con i decisori politici.

La giornata, alla quale hanno partecipato oltre 200 persone, si è articolata in due parti.

Le matin, une table ronde animée par le climatologue Luca Mercalli s'est tenue :

- Présentation de chaque région participant au projet des actions menées sur leur territoire pour améliorer la qualité de l'air et lutter contre le changement climatique.
- Réflexion sur la manière dont le projet CLIMAERA peut aider à la planification régionale future.

L'après-midi, en revanche, a été consacrée à un approfondissement technico-scientifique des nouvelles frontières de l'interaction entre le climat et la qualité de l'air, avec la participation de plusieurs chercheurs qualifiés issus des principaux instituts de recherche italiens.

Quatre rapports ont été proposés au public d'experts et du grand public :

- Scénarios climatiques pour l'Europe, intervenante Paola Mercogliano (CMCC-REMHI),
- Scénarios d'émissions et interaction entre le climat et la qualité de l'air, intervenante Ilaria d'Elia (ENEA),
- Forêts, agriculture et climat : atténuation et adaptation dans un monde en mutation rapide, intervenant Lucia Perugini (CMCC - IAFES),
- L'impact du changement climatique et de la modification des émissions humaines sur la composition de l'atmosphère

La mattina si è tenuta una tavola rotonda moderata dal climatologo Luca Mercalli:

- Presentazione da parte di ogni regione partecipante al progetto delle azioni realizzate sul proprio territorio per migliorare la qualità dell'aria e contrastare i cambiamenti climatici.
- Riflessione su come il progetto CLIMAERA può aiutare la pianificazione regionale futura.

Il pomeriggio è stato invece dedicato ad un approfondimento tecnico-scientifico sulle nuove frontiere dell'interazione tra clima e qualità dell'aria, con la partecipazione di ricercatori qualificati appartenenti ai principali istituti di ricerca italiani.

Quattro relazioni sono state proposte agli esperti e al grande pubblico:

- Scenari climatici sull'Europa, relatrice Paola Mercogliano (CMCC-REMHI),
- Scenari emissivi e interazione clima/qualità dell'aria, relatrice Ilaria d'Elia (ENEA),
- Foreste, agricoltura e clima: mitigazione e adattamento in un mondo in rapida trasformazione, relatrice Lucia Perugini (CMCC - IAFES),
- L'impatto dei cambiamenti climatici e della variazione delle emissioni antropiche sulla composizione dell'atmosfera e la

et la qualité de l'air, intervenant Stefano Decesari (ISAC - CNR).

À la fin des interventions, les intervenants ont échangé avec le public.

Au cours de la journée, deux autres activités liées à la sensibilisation du public ont été réalisées sur les thèmes couverts par le projet :

- Relance de l'enquête intitulée "Être acteurs de l'air que nous respirons ... Oui, mais comment ?" déjà présent sur le portail du projet
- Tournage d'un court métrage dans lequel quelques questions ad hoc sur le climat et la qualité de l'air ont été posées au hasard dans le public et aux experts du domaine.

[ARPA Vallée d'Aoste, ARPA Liguria et Regione Liguria] Séminaire « Air et climat : quels scénarios pour l'avenir ? Premières réflexions du projet CLIMAERA » le 16 juin 2020

Le séminaire « Air et climat : quels scénarios pour l'avenir ? Premières réflexions du projet CLIMAERA » a eu lieu le 16 juin 2020. Le workshop a été organisé par ARPA Vallée d'Aoste, ARPA Liguria et Regione Liguria dans le cadre du projet CLIMAERA. L'événement fait suite aux deux séminaires intitulés "Pollution de l'air et changement climatique : une communication informée" qui ont eu

qualità dell'aria, relatore Stefano Decesari (ISAC - CNR).

Al termine degli interventi, i relatori si sono confrontati con il pubblico.

Durante la giornata sono state svolte altre due attività di sensibilizzazione del pubblico sui temi del progetto:

- Rilancio del sondaggio intitolato "Essere attori nell'aria che respiriamo... Sì, ma come?" già presente sul portale del progetto.
- Riprese di un cortometraggio in cui, in modo casuale, sono state poste al pubblico e agli esperti del settore alcune domande ad hoc sul clima e sulla qualità dell'aria.

[ARPA Valle d'Aosta, ARPA Liguria e Regione Liguria] Seminario "Aria e clima: quali scenari futuri? Prime riflessioni dal progetto CLIMAERA", 16 giugno 2020

Il seminario "Aria e clima: quali scenari futuri? Prime riflessioni dal progetto CLIMAERA" si è tenuto il 16 giugno 2020. Il workshop è stato organizzato da ARPA Valle d'Aosta, ARPA Liguria e Regione Liguria nell'ambito del progetto CLIMAERA. L'evento segue i due seminari intitolati "Inquinamento dell'aria e cambiamenti climatici: comunicare informati" realizzati lo scorso anno, il

lieu l'année passée, le 28 septembre, à Courmayeur-Pavillon du Mont Fréty, et le 11 décembre à Turin. Ces deux premiers ateliers étaient dédiés aux "communicateurs environnementaux", les journalistes, dont le rôle d'"intermédiaires" entre la communauté scientifique productrice d'informations et les citoyens a, aujourd'hui plus que jamais, une importance fondamentale pour la diffusion correcte des informations.

Le séminaire du 16 juin 2020 s'adresse cependant à un public plus large : il s'agit d'un "dialogue" sur la qualité de l'air et le changement climatique entre une équipe d'experts qui essayent d'expliquer les différents aspects de deux questions étroitement liées. L'événement a été modéré par Luca Mercalli, président de la Società Meteorologica italiana, climatologue, vulgarisateur scientifique et illustre universitaire, connu par le public italien pour sa participation à la populaire émission télévisée « *Che tempo che fa?* ».

Lors du débat, Matteo Graziani (pour compte de la Région Ligurie) présente le projet transfrontalier CLIMAERA et illustre les objectifs et le partenariat. Cette étude est née afin d'étudier les relations entre la pollution atmosphérique et le changement climatique et de développer une série de modèles prédictifs de pollution sur tous les territoires de la zone d'étude du projet (domaine ALCOTRA, qui

28 settembre a Courmayeur-Pavillon du Mont Fréty e l'11 dicembre a Torino. I primi due workshop sono stati dedicati ad una particolare categoria di "comunicatori ambientali", i giornalisti, il cui ruolo di "tramite" tra la comunità scientifica produttrice dell'informazione e il cittadino riveste, oggi più che mai, un'importanza fondamentale nella diffusione corretta delle notizie.

Il seminario del 16 giugno 2020 si è rivolto invece ad un pubblico più ampio: si è trattato di un "dialogo" su qualità dell'aria e cambiamenti climatici tra un pool di esperti, che hanno cercato di sviscerare i vari aspetti di queste due problematiche strettamente correlate. L'evento è stato moderato da Luca Mercalli, Presidente della Società Meteorologica italiana, climatologo, divulgatore scientifico e illustre accademico, noto al pubblico televisivo italiano per la sua partecipazione alla popolare trasmissione "*Che tempo che fa?*"

Durante il dibattito Matteo Graziani (a nome di Regione Liguria) ha presentato il progetto transfrontaliero CLIMAERA illustrandone finalità e partenariato. Questo studio è nato con lo scopo di studiare il rapporto tra inquinamento atmosferico e cambiamenti climatici e sviluppare una serie di modelli predittivi di inquinamento su tutti i

comprend les régions alpines et méditerranéennes italo-françaises). Stefano Bande (ARPA Piemonte) montre, ensuite, les résultats des scénarios prédictifs qui ont été réalisés au cours du projet en tant que outils à même de fournir aux décideurs politiques des indications utiles pour une planification territoriale respectueuse de l'environnement. Quant aux changements climatiques, il est important de souligner leur influence non seulement sur l'air mais également sur l'eau. Tania Del Giudice de Arpa Liguria aborde ce sujet de façon très efficace, en soulignant comme le réchauffement climatique cause une augmentation du niveau moyen de la mer de 3 mm par année. L'entité peut paraître petite mais, dans la réalité, elle rend les côtes de la mer de plus en plus vulnérables et sujettes à des tempêtes violentes et destructrices.

Le dernier événement qui s'est produit en Italie a été la tempête Vaia qui a impacté la côte de la Ligurie en octobre 2018, avec des vagues atteignant 6 à 10 m de haut. Les deux dernières interventions au débat ont été tenues par les scientifiques de ARPA Vallée d'Aoste : Edoardo Cremonese a fait le point sur l'état des connaissances au sujet des changements climatiques et Henri Diémoz a montré la complexité des

territoires dell'area di studio del progetto (dominio ALCOTRA, che include le regioni alpine e mediterranee italo-francesi). Stefano Bande (ARPA Piemonte) ha poi mostrato i risultati degli scenari predittivi che sono stati realizzati nel corso del progetto: si tratta di importanti strumenti in grado di fornire ai decisori politici una serie di indicazioni indispensabili per una pianificazione territoriale rispettosa dell'ambiente. Parlando di cambiamenti climatici è importante sottolineare quanto essi influiscano non solo sull'aria ma anche sull'acqua. Tania Del Giudice di Arpa Liguria ha trattato questo argomento in modo davvero efficace, sottolineando come il riscaldamento globale determina ogni anno un innalzamento del livello medio del mare pari a 3 mm. Può sembrare un aumento minimo ma, in realtà, esso sta rendendo le coste marine sempre più vulnerabili e soggette a violente, e quanto mai distruttive, mareggiate.

L'ultimo esempio che si è verificato in Italia è stata la tempesta Vaia che ha flagellato le coste liguri nell'ottobre 2018, con onde alte fino a 6-10 metri. Gli ultimi due interventi del workshop sono stati quelli di due ricercatori di ARPA Valle d'Aosta: Edoardo Cremonese, che ha fatto il punto su quanto si sa oggi sui cambiamenti climatici, e Henri Diémoz, che ha mostrato la complessità delle interazioni tra

liens entre la qualité de l'air et l'augmentation de la température de notre planète. L'objectif a été de fournir les bonnes clés pour interpréter les phénomènes climatiques trop souvent traités de manière superficielle et trompeuse. Dans une société où il y a trop de faux experts, souvent légitimé par les médias, il est important d'avoir des informations scientifiquement solides et des moyens qui permettent aux citoyens de distinguer les sources fiables de celles qui ne le sont pas.

La pandémie COVID19 nous a montré bien évidemment et prioritairement la criticité sanitaire, mais elle a également mis en évidence les problèmes environnementaux : pendant le confinement en effet la nature nous a parlé fort et clair en nous montrant à quel point notre écosystème est malade et comme il est nécessaire d'intervenir urgemment pour restaurer les équilibres naturels. Les sujets abordés lors du séminaire (interaction entre qualité de l'air et changement climatique, météorologie, cryosphère, trou d'ozone, phénomène des tempêtes ...) vont précisément dans ce sens : la nécessité de comprendre combien l'action de l'homme a appauvri notre planète et combien il est maintenant important de créer une conscience environnementale collective visant à bien agir pour contrecarrer les

qualità dell'aria e aumento della temperatura sul nostro pianeta. L'obiettivo era quello di fornire le giuste chiavi di lettura e di interpretazione di fenomeni climatici troppo spesso trattati in modo superficiale e fuorviante. In una società in cui pullulano i falsi esperti, spesso legittimati dai social, è importante avere sia informazioni scientificamente corrette sia i mezzi che consentano ai cittadini di distinguere le fonti attendibili da quelle che invece non lo sono.

La pandemia dovuta al virus COVID-19 è stata, prima di tutto, un'emergenza sanitaria, ma essa ha anche puntato i riflettori sui problemi ambientali: durante il periodo di confinamento, infatti, la natura ci ha parlato forte e chiaro mostrandoci come il nostro ecosistema sia malato e occorra agire in fretta per ristabilire gli equilibri naturali. I temi trattati nel corso di questo seminario (interazione tra qualità dell'aria e cambiamenti climatici, meteorologia, criosfera, buco dell'ozono, il fenomeno delle mareggiate ...) vanno proprio in questa direzione: la necessità di comprendere quanto l'azione dell'uomo abbia depauperato il nostro pianeta e come ora sia importante creare una coscienza ambientale collettiva volta a rimediare ai danni fatti in questi ultimi anni.

dommages causés ces dernières années.

[Atmo Auvergne-Rhône-Alpes] réunion des comités territoriaux de sensibilisation et vidéos thématiques

Atmo Auvergne-Rhône-Alpes a fait le choix d'utiliser des vidéos thématiques expliquant et contextualisant les résultats du projet obtenus sur la région Auvergne-Rhône-Alpes pour sensibiliser le public et des décideurs de la région. Ces vidéos sont dans un format très court et rythmé, inspiré de la forme de « vidéo d'actualité » popularisé en France par le média « Brut » (voir exemple [ici](#)). Ce format est très adapté pour une diffusion sur les réseaux sociaux. Chaque reportage présente un sujet lié à une des solutions de réduction des émissions des polluants et gaz à effet de serre pronostiquée dans le projet CLIMAERA et ses principales conclusions. Chaque sujet est suivi par au moins une action concrète sur le territoire. Le discours est commenté par 1 ou 2 intervenants :

- 1 intervenant sur la partie théorique (scientifique, ingénieur),
- 1 intervenant pour la partie terrain (action concrète).

Ces vidéos ont été planifiées en fin de projet pendant la période de l'été 2020.

[Atmo Auvergne-Rhône-Alpes] riunione dei comitati territoriali di sensibilizzazione e video tematici

Atmo Auvergne-Rhône-Alpes ha scelto di utilizzare video tematici, che spiegano e contestualizzano i risultati del progetto ottenuti in Alvernia Rodano-Alpi, per sensibilizzare i cittadini e i decisori della regione. I video sono girati in un format molto breve e ritmato che si ispira al "video di attualità" reso popolare in Francia dal media online "Brut" (vedi esempio [qui](#)) e che si presta molto bene ad essere diffuso sui social network. Ogni video presenta un argomento correlato ad una delle soluzioni per la riduzione delle emissioni di inquinanti e di gas climalteranti contemplate nel progetto CLIMAERA e nelle principali conclusioni. Ogni argomento è seguito da almeno un'azione concreta sul territorio. Il discorso è commentato da 1 o 2 speaker:

- 1 speaker per la parte teorica (ricercatore, ingegnere),
- 1 speaker per la parte sul campo (azione concreta).

Questi video sono stati programmati per la fine del progetto nell'estate 2020.

2.7 Matériel de diffusion/Materiali di disseminazione

Les différents moyens de communication au cours du projet sont :

- le site Internet,
- les newsletters,
- les conférences publiques,
- diverses vidéos et publications mettant en avant le projet,
- la conférence de presse menée à Marseille en avril 2019,
- les groupes techniques de travail,
- l'outil numérique pour accompagner au changement de comportements.

I diversi mezzi di comunicazione nel corso del progetto sono:

- il sito web,
- le newsletter,
- le conferenze pubbliche,
- i diversi video e le pubblicazioni per dare risalto al progetto,
- la conferenza stampa tenutasi a Marsiglia nell'aprile 2019,
- i gruppi di lavoro tecnici,
- lo strumento digitale a supporto dei cambiamenti di comportamento.

Synthèse/ Sintesi

L'objectif de la partie communication du projet est de mieux comprendre les freins du grand public face aux changements des comportements et définir les messages & outils les plus adaptés pour y répondre.

La partie communication a permis l'élaboration d'un outil numérique pour inciter le grand public au changement des comportements et également d'accompagner les collectivités dans cette voie. Cet outil s'est basé sur plus de 1500 réponses reçues sur l'ensemble du territoire suite à un questionnaire en ligne "Être acteur de l'air que l'on respire... Oui mais comment ?" et à deux focus

L'obiettivo della componente Comunicazione del progetto è quello di comprendere meglio cosa freni i cittadini dall'adottare cambiamenti comportamentali e definire i messaggi e gli strumenti più appropriati per incentivarli.

La componente Comunicazione ha permesso lo sviluppo di uno strumento digitale per stimolare i cittadini a cambiare i propri comportamenti e supportare gli enti in questa direzione. Lo strumento è stato sviluppato a partire dalle oltre 1.500 risposte ricevute su tutto il territorio in seguito a un questionario online "Essere attori nell'aria che respiriamo... Sì, ma come?" e a due focus group. Sono stati

group. Des ateliers ont permis de former et de sensibiliser les jeunes à la qualité de l'air et au changement climatique.

Une plaquette finale résume les principaux résultats du projet. Un colloque international réunit des experts présentant et commentant les résultats concernant l'impact du changement climatique sur la qualité de l'air, la santé et l'économie. A cette occasion, une démonstration de l'outil numérique a été réalisée.

Six newsletters ont été diffusées pour informer sur l'avancement du projet. Le site Internet annonce les actualités et informe sur les différentes parties du projet.

organizzati workshop che hanno permesso di formare e sensibilizzare i giovani sulla qualità dell'aria e sui cambiamenti climatici.

Un opuscolo finale riassume i principali risultati del progetto. Un convegno internazionale riunisce esperti che presentano e commentano i risultati relativi all'impatto dei cambiamenti climatici sulla qualità dell'aria, la salute e l'economia. In questa occasione è effettuata una dimostrazione dello strumento digitale.

Sono state pubblicate sei newsletter per informare sullo stato di avanzamento del progetto. Il sito web riporta le notizie e informa sulle diverse componenti del progetto.

Impacts synergiques du changement climatique et de la pollution de l'air sur le territoire ALCOTRA / Impatti dei Cambiamenti Climatici e dell'inquinamento atmosfericos sul territorio ALCOTRA

Afin d'évaluer les effets du changement climatique sur la qualité de l'air future on doit disposer de scénarios météorologiques futurs (pour le projet on a choisi les années 2030 et 2050). Les scénarios sont produits avec des modèles climatiques, c'est-à-dire des modèles météorologiques qui simulent les conditions futures prenant en considérations non seulement les composantes du système climatique (atmosphère, cryosphère, usage du sol...) mais aussi comment celles-ci sont influencées par les scénarios des émissions futures des gaz à effet de serre et des autres polluants (scénarios RCP²⁰).

Pour le projet CLIMAERA, les scénarios climatiques 2030 et 2050 ont été élaborés par le CMCC (Centro Euro Mediterraneo per i Cambiamenti Climatici) avec le modèle COSMO-CLM qui est la version climatique du modèle de prévision météorologique à méso-échelle COSMO-LM.

Per valutare gli effetti dei cambiamenti climatici sulla qualità dell'aria futura è necessario disporre di scenari meteorologici futuri (per il progetto sono stati scelti il 2030 e il 2050). Questi scenari si ottengono utilizzando dei modelli climatici, cioè di modelli meteorologici che simulano le condizioni future considerando non solo le componenti del sistema climatico (atmosfera, criosfera, idrosfera, uso del suolo...) ma anche come queste sono influenzate dagli scenari di emissione di gas ad effetto serra ed altri inquinanti (scenari RCP, Representative Concentration Pathways).

Per il progetto CLIMAERA gli scenari climatici al 2030 e al 2050 sono stati elaborati dal CMCC, Centro Euro Mediterraneo per i Cambiamenti Climatici, utilizzando il modello COSMO-CLM che è la versione climatica del modello atmosferico previsionale a mesoscala operativo e non-idrostatico COSMO-LM.

²⁰ Representative Concentration Pathways

3.1 Harmonisation des inventaires des émissions polluantes et des émissions de CO₂ et gaz à effet de serre sur le territoire ALCOTRA / Armonizzazione e aggiornamento degli inventari delle emissioni in atmosfera e delle emissioni di CO₂ e gas serra sul territorio ALCOTRA

3.1.1 Inventaire des émissions 2013/Scenario emissivo 2013

Pour la base d'émissions, on a utilisé les inventaires/cadastres régionaux fournis par chaque partenaire :

- pour le Piémont on a utilisé l'inventaire régional IREA 2013, mettant ainsi à jour la base de données du projet SH'AIR ;
- pour la Ligurie, des coefficients d'"actualisation" à 2013 ont été appliqués à l'inventaire régional 2011, en se limitant aux macro-secteurs ayant le plus grand impact sur la qualité de l'air, à savoir "02 - Combustion non industrielle" et "07 - Transport routier" ;
- pour la Vallée d'Aoste on a retenu l'inventaire régional 2013, déjà utilisé dans SH'AIR ;
- Enfin, pour les deux régions françaises Auvergne-Rhône-Alpes et Provence-Alpes-Côte d'Azur, on a utilisé les cadastres 2013 dans une version plus actualisée que celle du projet SH'AIR.

En plus des émissions de polluants (NH₃, CO₂, CH₄, NO_x, N₂O, particules fines PM₁₀ et PM_{2.5}, SO₂ et COV)

Per la base emissiva sono stati utilizzati gli inventari/cadastre regionali, messi a disposizione da ogni partner:

- per il Piemonte si è utilizzato l'inventario regionale IREA 2013, aggiornando così la base dati del progetto SH'AIR;
- per la Liguria sono stati applicati all'inventario regionale 2011 dei coefficienti di "attualizzazione" al 2013 limitatamente ai macrosettori maggiormente impattanti per la qualità dell'aria, ovvero "02 - Combustione non industriale" e "07 - Trasporto stradale";
- per la Valle d'Aosta si è considerato l'inventario regionale 2013, già utilizzato in SH'AIR;
- infine, per entrambe le regioni francesi Auvergne-Rhône-Alpes e Provence-Alpes-Côte d'Azur, sono stati utilizzati i cadastre riferiti all'anno 2013 in versione più aggiornata rispetto a quella utilizzata per il progetto SH'AIR.

Oltre alle emissioni inquinanti (NH₃, CO₂, CH₄, NO_x, N₂O, particolato PM₁₀ e PM_{2.5}, SO₂ e VOC) già

déjà utilisées dans le projet précédent, chaque partenaire a fourni les données sur les émissions de CO₂ et les gaz à effet de serre.

Pour capitaliser les acquis du projet SH'AIR, on a utilisé la même harmonisation des catégories d'émissions partagée entre partenaires. Cette harmonisation a également été appliquée aux données d'émission de la Région Ligurie, qui n'avait pas participé au partenariat SH'AIR.

Les données d'émission se rapportant aux différentes activités humaines et naturelles - aussi bien dans le cas des inventaires régionaux que des cadastres - sont classées par un code à trois chiffres (macro-secteur, secteur et activité) selon la nomenclature SNAP (Selected Nomenclature for Air Pollution), comme le prévoit la méthodologie EMEP-CORINAIR adoptée au niveau européen. Les macro-secteurs sont les suivants :

- Macro-secteur 1 : combustion dans les industries de l'énergie et de la transformation de l'énergie
- Macro-secteur 2 : combustion hors industrie
- Macro-secteur 3 : combustion dans l'industrie manufacturière
- Macro-secteur 4 : procédés de production
- Macro-secteur 5 : extraction et distribution de combustibles fossiles/ énergie géothermique

utilizzate nel progetto precedente, ogni partner ha consegnato i dati relativi alle emissioni di CO₂ e ai gas ad effetto serra.

Per capitalizzare quanto già fatto nel progetto SH'AIR, è stata utilizzata la stessa armonizzazione delle categorie emissive condivisa tra i partner. Tale armonizzazione è stata estesa anche ai dati emissivi della Regione Liguria, che non faceva parte del partenariati di SH'AIR.

I dati emissivi riferiti alle diverse attività antropiche e naturali – sia nel caso degli inventari regionali che nel caso dei cadastre – sono classificati con un codice a tre cifre (macrosettore, settore e attività) secondo la nomenclatura SNAP (Selected Nomenclature for Air Pollution), come previsto dalla metodologia EMEP-CORINAIR adottata a livello europeo. I macrosettori sono i seguenti:

- Macrosettore 1 : combustione/energia e industria di trasformazione
- Macrosettore 2 : combustione/non industriale
- Macrosettore 3 : combustione/industria
- Macrosettore 4 : processi produttivi
- Macrosettore 5 : estrazione, distribuzione combustibili fossili/geotermico
- Macrosettore 6 : uso di solventi

- Macro-secteur 6 : utilisation de solvants
- Macro-secteur 7 : transports routiers
- Macro-secteur 8 : autres sources mobiles
- Macro-secteur 9 : traitement et élimination des déchets
- Macro-secteur 10 : agriculture et sylviculture
- Macro-secteur 11 : autres source set puits

En plus des trois niveaux de classification SNAP, les inventaires/cadastres fournissent également des informations détaillées sur le combustible associé aux différents secteurs d'émissions, selon la Nomenclature NAPFUE (Nomenclature for Air Pollution Fuel).

Vous trouverez ci-dessous quelques graphiques expliquant la répartition des émissions de NO_x, PM₁₀ et CO₂ (**Figure/Figura 1**, **Figure/Figura 2** et **Figure/Figura 3**) par rapport aux différents secteurs d'émissions pour chaque région de la zone ALCOTRA. Pour les émissions de PM₁₀, le secteur du chauffage civil est prédominant dans quatre régions de la zone ALCOTRA (Vallée d'Aoste, Piémont, Ligurie et Auvergne-Rhône-Alpes), alors qu'en région Provence-Alpes-Côte d'Azur, le secteur

- Macrosettore 7 : trasporti Stradali
- Macrosettore 8 : altre Sorgenti Mobili
- Macrosettore 9 : trattamento e Smaltimento Rifiuti
- Macrosettore 10 : agricoltura
- Macrosettore 11 : altre sorgenti di Emissione ed Assorbimenti

Oltre ai tre livelli di classificazione SNAP, gli inventari/cadastre forniscono anche l'informazione di dettaglio relativa al combustibile associato alle varie attività emmissive, secondo la nomenclatura NAPFUE (Nomenclature for Air Pollution Fuel).

Di seguito sono stati inseriti alcuni grafici esplicativi con la suddivisione delle emissioni di NO_x, PM₁₀ e CO₂ (**Figure/Figura 1**, **Figure/Figura 2** e **Figure/Figura 3**) rispetto ai differenti comparti emmissivi per ogni regione presente nell'area ALCOTRA.

Si può notare che, per quanto riguarda le emissioni di PM₁₀, il settore del riscaldamento civile risulta il comparto preponderante per quattro regioni dell'area ALCOTRA (Valle d'Aosta, Piemonte,

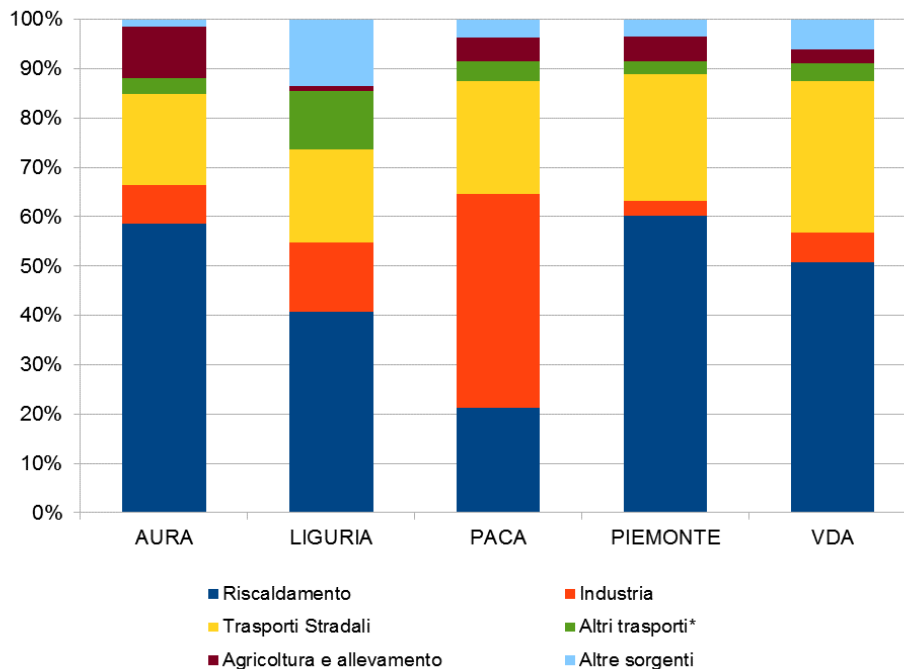
industriel est celui qui a le plus d'impact.

En ce qui concerne les émissions de NOx, en revanche, le transport routier représente la source principale dans toutes les régions de la zone ALCOTRA²¹.

Liguria e Auvergne-Rhone-Alpes), mentre per Provenza-Alpi-Costa Azzurra il settore maggiormente impattante è quello industriale.

Per quanto riguarda le emissioni di NOx, invece, si può notare come i Trasporti su Strada siano la principale sorgente per tutte le regioni dell'area ALCOTRA²².

Emissioni PM10 - anno 2013

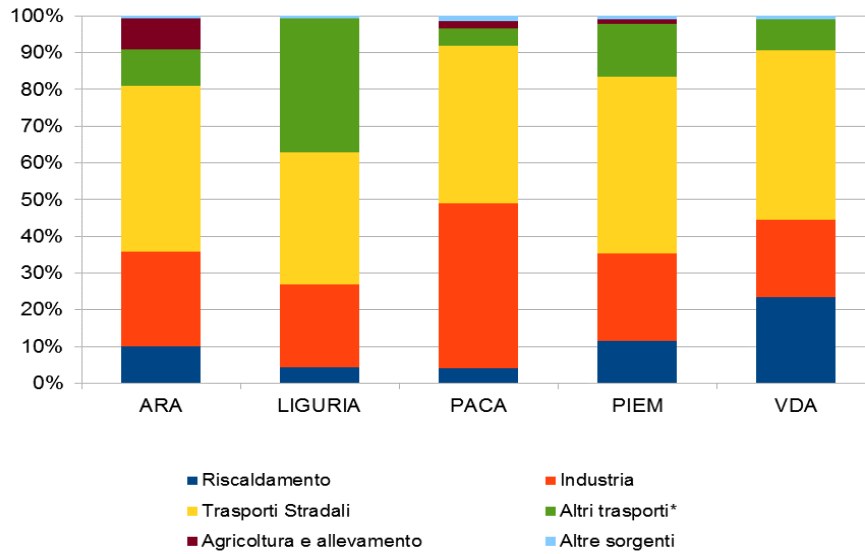


Figure/Figura 1 : Émissions de PM10 en 2013 / Emissioni di PM10 per l'anno 2013

²¹Les émissions de NOx de Provence-Alpes-Côte d'Azur liées au transport maritime n'étant pas disponibles dans le cadastre, elles ont été saisies dans le modèle en tant qu'émissions EMEP.

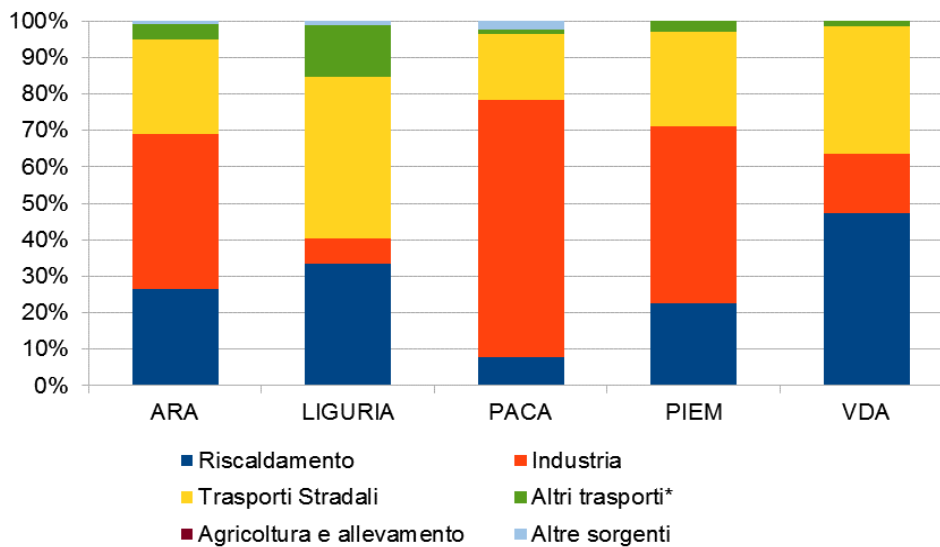
²² Le emissioni di NOx di Provenza-Alpi-Costa Azzurra relative al trasporto marittimo non essendo disponibili nel cadastre sono state inputate nel modello come emissioni EMEP.

Emissioni NOx - anno 2013



Figure/Figura 2: Émissions de NOx en 2013/Emissioni di NOx per l'anno 2013

Emissioni CO2 - anno 2013



Figure/Figura 3: Émissions de CO2 en 2013/Emissioni di CO2 per l'anno 2013

3.1.2 Analyse du parc technologique et de la consommation de la biomasse dans la région Auvergne Rhône-Alpes/ Analisi del parco tecnologico e del consumo di biomassa nella regione Alvernia Rodano-Alpi

Dans la région Auvergne-Rhône-Alpes, le chauffage au bois individuel est responsable en grande partie de nombreux dépassements réglementaires du seuil journalier des particules PM10. L'estimation des contributions du chauffage au bois individuel dans ces épisodes repose sur des techniques de mesures chimiques spécifiques, de la modélisation mais aussi sur des inventaires des émissions de toutes les activités polluantes de la région permettant de connaître les proportions de chaque polluant émis dans la région. Ces bilans sont utilisés directement pour estimer la part de chaque émetteur mais également pour alimenter les modélisations atmosphériques permettant d'évaluer l'impact en termes de concentration et *in fine* d'impact sur la population.

Dans le cas du chauffage au bois, la méthode d'estimation des émissions se base à la fois sur un recensement des types d'appareils mais aussi sur une estimation des consommations. Malgré la progression importante dans l'expertise des inventaires d'émissions ces dernières années, les cadastres sont encore incomplets en termes de détails et notamment dans celui du chauffage au bois.

Nella regione Alvernia Rodano-Alpi, il riscaldamento individuale a legna è largamente responsabile di molti superamenti del valore limite giornaliero del particolato PM10 previsto dalla normativa. La stima del contributo del riscaldamento a legna individuale in questi episodi si basa su specifiche tecniche di misurazione chimica, sulla modellistica, ma anche sugli inventari delle emissioni di tutte le attività inquinanti della regione, che permettono di conoscere le percentuali di ogni inquinante emesso. Tali bilanci sono utilizzati direttamente per stimare la quota di ciascun emettitore, ma anche per alimentare i modelli atmosferici che permettono di valutare l'impatto in termini di concentrazione e infine sulla popolazione.

Nel caso del riscaldamento a legna, il metodo per stimare le emissioni si basa contemporaneamente su un censimento della tipologia di apparecchi e su una stima dei consumi. Nonostante i notevoli progressi compiuti durante gli ultimi anni nella conoscenza degli inventari delle emissioni, i cadastre sono ancora incompleti in termini di dettaglio, soprattutto per il riscaldamento a legna.

Afin d'améliorer cet inventaire, grâce au financement de la région Auvergne-Rhône-Alpes, AtmoAURA a commandé la réalisation d'une enquête statistique²³ sur l'utilisation et les pratiques du chauffage individuel au bois dans la région. Cette enquête a été réalisée en 2017 par la société Junior-Entreprise « Marketing Méditerranée ». La réalisation de ce sondage, la traduction de ces résultats dans le cadastre et son analyse ont permis de constituer une base plus réaliste d'informations sur le parc de chauffage au bois.

Le premier enseignement de l'enquête concerne la composition du parc régional d'appareils domestiques au bois. Les foyers fermés, poêles, cuisinières et chaudières non performants représentent près de la moitié du parc et les cheminées ouvertes environ un quart, ce qui signifie que plus des trois quarts du parc d'appareils domestiques au bois ne seraient pas performants.

Un autre élément marquant concerne le niveau de consommation des appareils utilisés en chauffage d'appoint, qui selon les résultats de l'enquête, serait relativement proche du niveau des appareils utilisés en tant que chauffage principal. Ces résultats se sont traduits par une

Per migliorare questo inventario, grazie ai finanziamenti della Région Auvergne-Rhône-Alpes, AtmoAURA ha commissionato un'indagine statistica²⁴ sull'uso e le pratiche del riscaldamento a legna individuale nella regione, che è stata effettuata nel 2017 dalla società Junior-Entreprise "Marketing Méditerranée". La realizzazione dell'indagine, la traduzione dei risultati nel cadastre e l'analisi dello stesso hanno permesso di costituire una banca dati più realistica sul parco tecnologico di riscaldamento a legna. Una prima constatazione risultante dall'indagine riguarda la composizione del parco regionale di apparecchi domestici a legna. Caminetti chiusi, stufe, cucine e caldaie non efficienti rappresentano quasi la metà del parco e i caminetti aperti circa un quarto. Ciò significa che oltre tre quarti del parco di apparecchi domestici a legna sarebbero inefficienti.

Altro elemento degno di nota è il livello dei consumi degli apparecchi utilizzati come riscaldamento integrativo, che, stando ai risultati dell'indagine, sarebbe relativamente vicino a quello degli apparecchi utilizzati come riscaldamento principale. Questi risultati hanno

²³ Rapport :

https://www.climaera.eu/images/rapports/enquete_chauffage_bois_individuel_region_auvergne_rhone_alpes.pdf

²⁴ Rapporto :

https://www.climaera.eu/images/rapports/enquete_chauffage_bois_individuel_region_auvergne_rhone_alpes.pdf

hausse significative des émissions de PM10 en Auvergne-Rhône-Alpes entre les versions 2017 et 2018 du cadastre des émissions.

Des informations sur les habitudes de consommations (horaire, utilisation en chauffage d'appoint, etc.), type d'usage en fonction du secteur géographique ont aussi été sondés permettant d'améliorer l'estimation temporelle et spatiale de ces émissions.

Toutes ces informations ont servi à mettre à jour le cadastre des émissions de la région Auvergne-Rhône-Alpes dans le projet CLIMAERA.

determinato un aumento significativo delle emissioni di PM10 nel Rodano-Alpi tra la versione 2017 e quella 2018 del cadastre delle emissioni.

Sono state inoltre rilevate informazioni sulle abitudini di consumo (orari, utilizzo come riscaldamento integrativo, ecc.) e sul tipo di utilizzo in base al settore geografico, al fine di migliorare la stima temporale e spaziale delle emissioni.

Tutte queste informazioni sono servite ad aggiornare il cadastre delle emissioni della regione Alvernia Rodano-Alpi nell'ambito del progetto CLIMAERA.

3.1.3 Méthodologie commune pour estimer les émissions dérivées de la combustion de la biomasse/Metodologia di stima delle emissioni dalla combustione di biomassa legnosa

Le projet CLIMAERA a permis d'actualiser l'estimation des émissions dérivées de la combustion de la biomasse ligneuse dans le secteur résidentiel de la Région Ligurie²⁵. Ce travail a été enrichi par l'examen des sources de données et des méthodologies adoptées par les autres partenaires du projet.

L'estimation des émissions et de leur évolution dans le temps est cependant affectée par une grande incertitude, c'est pourquoi de nombreuses études, enquêtes et comparaisons sont nécessaires.

La complexité et l'incertitude découlent d'une part de la nécessité d'estimer la consommation, les technologies de combustion et leur répartition sur le territoire en réalisant des études ponctuelles, d'autre part du facteur d'émission à attribuer à chaque technologie étudiée, parmi ceux qui existent dans la littérature, quantifiés expérimentalement. En outre, les facteurs d'émission dépendent fortement des techniques et des méthodes utilisées pour mesurer, de

Il progetto CLIMAERA ha consentito di aggiornare la stima delle emissioni della Regione Liguria che derivano dalla combustione di biomassa legnosa nel settore residenziale²⁶, lavoro valorizzato dall'esame delle fonti di dati e delle metodologie adottate dagli altri partner del progetto.

La stima delle emissioni e della loro evoluzione nel tempo è però affetta da forte incertezza, motivo per il quale sono necessari numerosi studi, indagini e confronti.

La complessità ed incertezza deriva da un lato dalla necessità di stimare i consumi, le tecnologie di combustione e la loro distribuzione nel territorio effettuando indagini ad hoc, d'altro lato dal fattore di emissione da assegnare a ciascuna tecnologia indagata, tra quelli disponibili in letteratura, quantificati sperimentalmente. Inoltre i fattori di emissione dipendono fortemente dalle tecniche e metodi utilizzati per la misurazione, dall'umidità della legna, dalla tipologia di impianto e da

²⁵Rapport de l'étude : https://www.climaera.eu/images/rapports/methodologie_estimation_emissions_combustion_biomasse_bois_secteur_residentiel.pdf

²⁶ Rapporto : https://www.climaera.eu/images/rapports/metodologia_stima_emissioni_combustione_biomassa_legnosa_settore_residenziale.pdf

l'humidité du bois, du type d'installation et d'autres facteurs liés à la combustion elle-même.

L'estimation des émissions de la région Ligurie a été réalisée sur la base du guide EMEP/AEE 2019. En particulier, la consommation globale de la région Ligurie a été évaluée dans le cadre de la mise en œuvre du bilan énergétique régional basé sur les données du GSE (Gestore dei Servizi Energetici) concernant l'énergie issue de la biomasse solide dans le secteur résidentiel.

Afin d'estimer la répartition des technologies de combustion des installations, on a utilisé les données collectées dans le cadre d'une enquête sur un échantillon de ménages résidents dans les communes de la région Ligurie, auxquels des questionnaires ont été administrés. Cette enquête a été commanditée par la région Ligurie au titre des activités de soutien à la conception d'outils de suivi du Burden Sharing.

Les estimations obtenues pour la région Ligurie en référence à 2016 sont présentées ci-dessous. Elles présentent des valeurs plus élevées que celles de l'édition 2013 de l'inventaire, en raison de l'actualisation de la méthode utilisée pour estimer la consommation et les émissions.

L'histogramme suivant représente la répartition des émissions entre les

autres facteurs liés à la combustion elle-même.

La stima delle emissioni della Regione Liguria è stata effettuata sulla base del guidebook 2019 EMEP/EEA. In particolare i consumi complessivi della Regione Liguria sono stati valutati nell'ambito della realizzazione del bilancio energetico regionale a partire dai dati del GSE (Gestore dei Servizi Energetici) sull'Energia da biomasse solide nel settore residenziale.

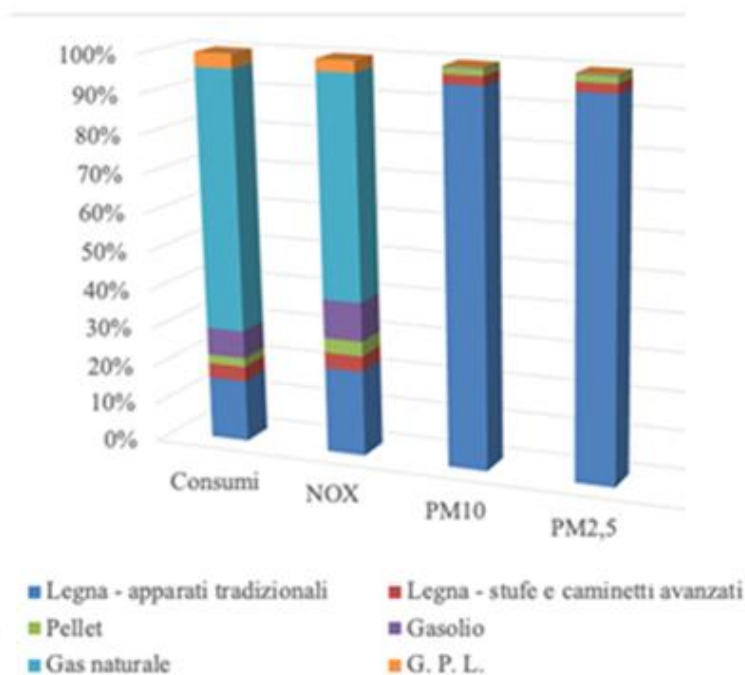
Per stimare la ripartizione tra le tecnologie di combustione degli impianti sono stati valorizzati i dati raccolti con un'indagine campionaria basata sulla somministrazione di questionari alle famiglie residenti nei comuni della Liguria, commissionata da Regione Liguria tra le attività di supporto alla progettazione di strumenti di monitoraggio del Burden Sharing.

Di seguito sono riportate le stime ottenute per la Regione Liguria con riferimento al 2016 le quali mostrano valori più elevati rispetto a quelli dell'edizione dell'inventario 2013 in conseguenza all'aggiornamento del metodo utilizzato per la stima dei consumi ed emissioni.

L'istogramma che segue rappresenta la distribuzione delle emissioni tra i

différents combustibles utilisés dans le secteur résidentiel.

differenti combustibili utilizzati nel settore residenziale.



Figure/Figura 4 : Répartition des émissions entre les différents combustibles utilisés dans le secteur résidentiel en région Ligurie/Distribuzione delle emissioni per la regione Liguria tra i differenti combustibili utilizzati nel settore residenziale

Le **Tableau/Tabella 1** ci-dessous indique les émissions totales estimées des principaux polluants par technologie dans le secteur résidentiel en Ligurie. Les données au niveau des communes, obtenues en utilisant les besoins énergétiques des logements par commune et par type de chauffage, montrent des émissions par habitant plus élevées dans les communes de l'arrière-pays et vers la vallée du Pô que dans les centres côtiers les plus grands, qui comptent moins de logements individuels et un climat plus doux.

Nella **Tableau/Tabella 1** che segue sono riportate le emissioni totali stimate per la Liguria di inquinanti principali per tecnologia nel settore residenziale. I dati a livello comunale, ottenuti, utilizzando il fabbisogno energetico delle abitazioni per comune e per tipologia di riscaldamento, mostrano una emissione pro capite più elevata nei comuni dell'entroterra e del versante padano rispetto ai centri della costa più grandi, con meno abitazioni individuali e dal clima più mite.

Codice	Attività	Combustibile	CO	COVNM	NOx	PM10	PM2.5	SOx	NH ₃
2020300	Caldaie	Legna	3235	283	65	388	380	9	60
2020620	Caminetti tradizionali	Legna	1819	273	23	382	373	5	34
2020621	Caminetti avanzati	Legna	2022	177	40	192	187	6	19
2020630	Stufe tradizionali	Legna	3841	576	48	730	711	11	67
2020631	Stufe tradizionali ad alta efficienza	Legna	6873	601	138	653	636	19	64
2020633	Stufe avanzate	Legna	1213	152	58	58	56	7	22
2020632	Stufe a pellets	Pellet	200	7	53	40	40	7	8
TOTALE			19646	2106	1421	2452	2392	165	273

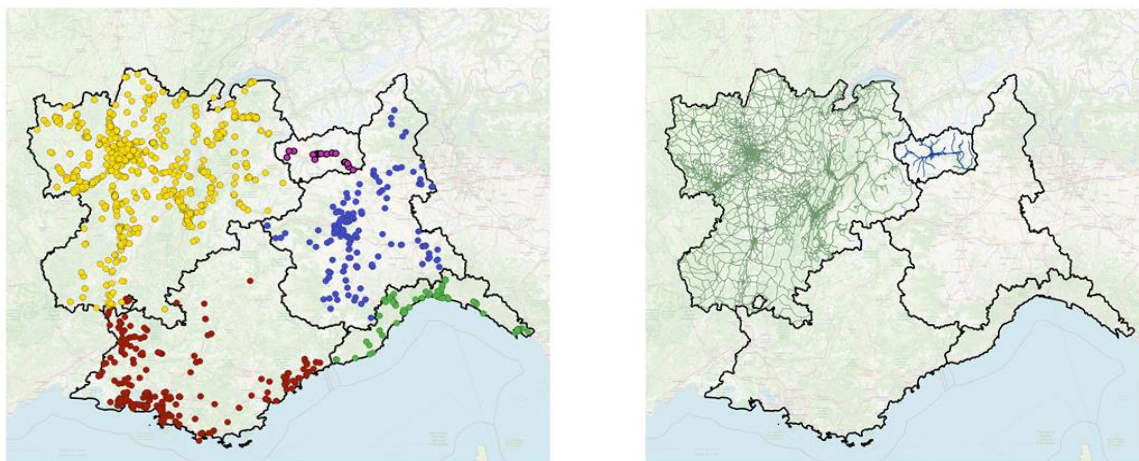
Code	Activité	Combustible	CO	COVNM	NOx	PM10	PM2.5	SOx	NH ₃
2020300	Chaudières	Bois	3235	283	65	388	380	9	60
2020620	Foyers traditionnels	Bois	1819	273	23	382	373	5	34
2020621	Foyers à la pointe	Bois	2022	177	40	192	187	6	19
2020630	Poêles traditionnels	Bois	3841	576	48	730	711	11	67
2020631	Poêles traditionnels haut rendement	Bois	6873	601	138	653	636	19	64
2020633	Poêles à la pointe	Bois	1213	152	58	58	56	7	22
2020632	Poêles à granulés	Granulés	200	7	53	40	40	7	8
TOTAL			19646	2106	1421	2452	2392	165	273

Tableau/Tabella 1 : Émissions totales estimées des principaux polluants par technologie dans le secteur résidentiel en Ligurie/Emissioni totali stimate per la regione Liguria di inquinanti principali per tecnologia nel settore residenziale

3.1.4 Scénario d'émissions de référence 2013/Scenario emissivo base 2013

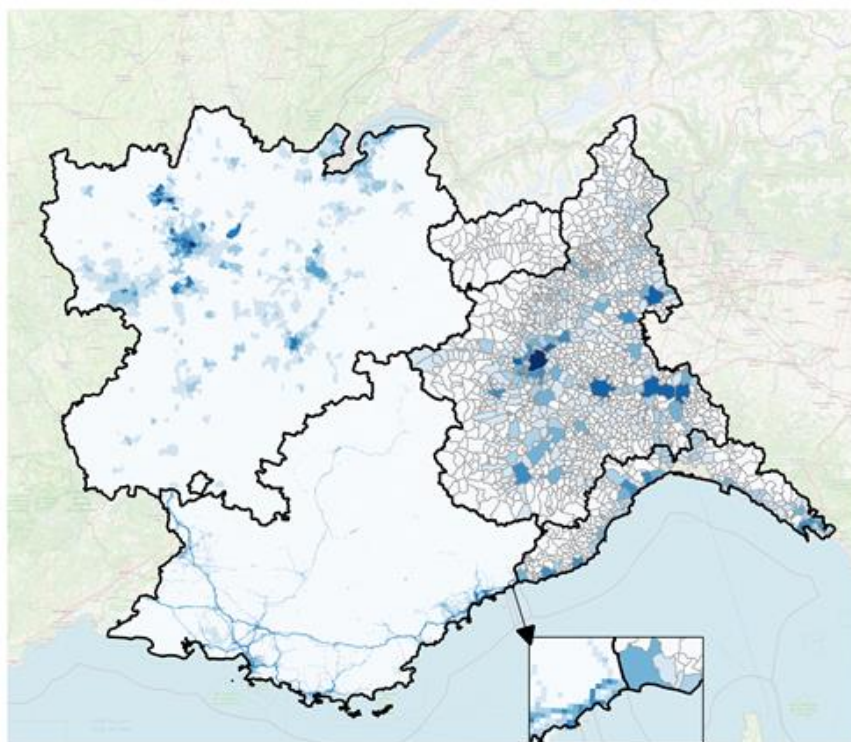
Les inventaires des régions Piémont, Ligurie et Vallée d'Aoste et les cadastres des régions Provence-Alpes-Côte d'Azur et Auvergne-Rhône-Alpes estiment - sur la base d'indicateurs statistiques et de variables proxy - les émissions pour l'année 2013 des différents types de sources : sources ponctuelles (installations industrielles individuelles, [Figure/Figura 5](#)), sources linéaires (routes et autoroutes, [Figure/Figura 6](#)) et sources diffuses (sources d'émissions présentes sur tout le territoire). Dans le cas des sources diffuses, les données d'émission peuvent être associées aux territoires communaux (inventaires) ou aux mailles d'une grille régulière (cadastre), comme le montre la [Figure/Figura 7](#).

Gli inventari delle regioni Piemonte, Liguria e Valle d'Aosta e i cadastre delle regioni Provence-Alpes-Côte d'Azur e Rhône-Alpes stimano - sulla base di indicatori statistici e di variabili proxy - le quantità emesse per l'anno 2013 dalle diverse tipologie di sorgente: sorgenti puntuali (singoli impianti industriali, in [Figure/Figura 5](#)), sorgenti lineari (strade e autostrade, in [Figure/Figura 6](#)) e sorgenti areali (fonti di emissione diffuse sul territorio). Nel caso delle sorgenti areali, i dati emissivi possono essere associati ai territori comunali (inventari) o alle maglie di una griglia regolare (cadastre), come rappresentato in [Figure/Figura 7](#).



Figure/Figura 5 : Sources ponctuelles dans le territoire ALCOTRA (à gauche) /Sorgenti puntuali sul territorio ALCOTRA (sinistra)

Figure/Figura 6: Sources linéaires dans les régions Auvergne-Rhône-Alpes et Vallée d'Aoste (à droite) /Sorgenti lineari sulle regioni Auvergne-Rhône-Alpes e Valle d'Aosta (destra)



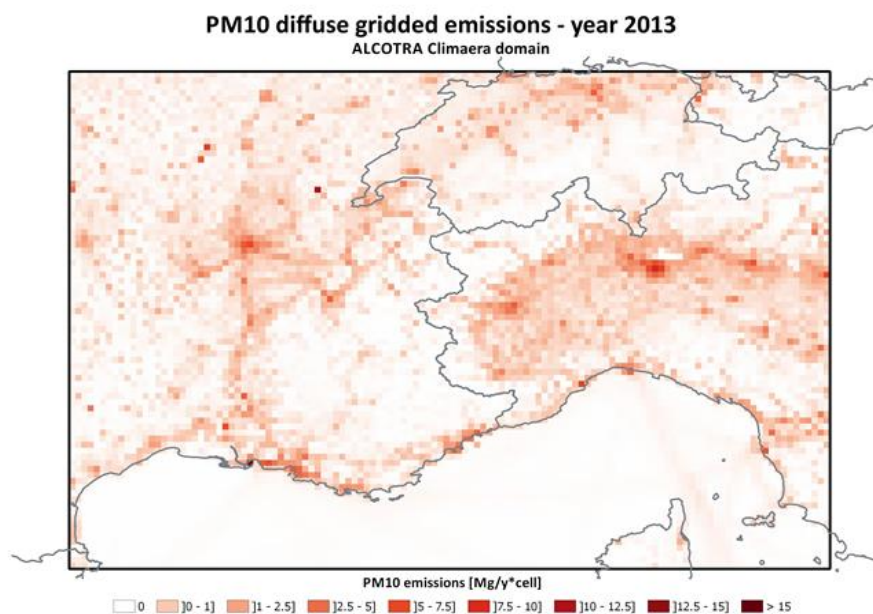
Figure/Figura 7 : Sources diffuses dans le territoire ALCOTRA/Sorgenti areali sul territorio ALCOTRA

Pour compléter les données d'entrée des émissions, pour les territoires situés 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), tandis que pour les territoires restants on a adopté l'inventaire EMEP 2015.

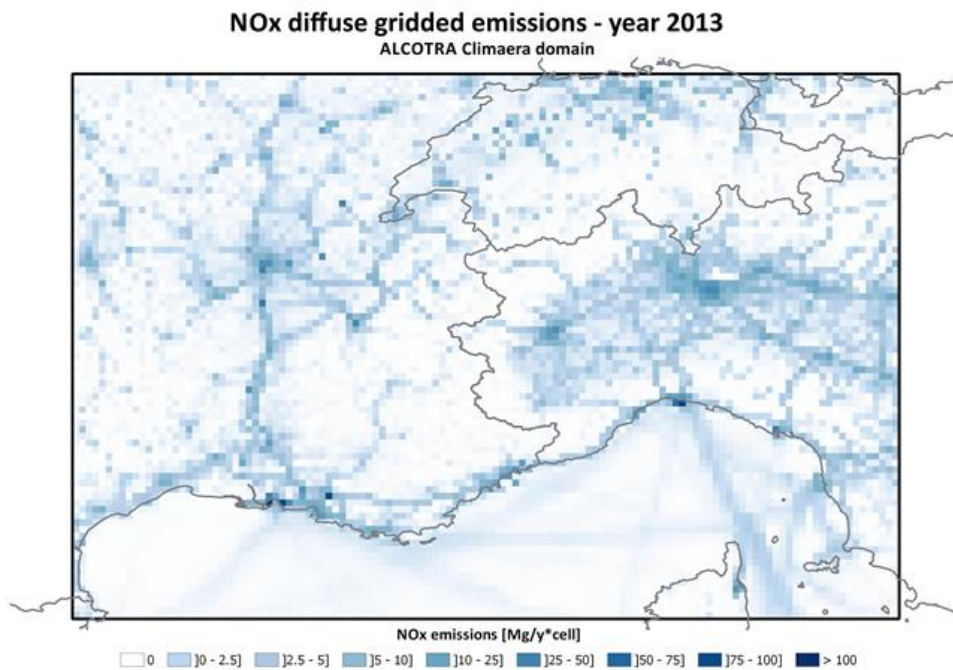
Afin d'améliorer la simulation par rapport à celle du projet SH'AIR, une nouvelle version, plus actualisée, de l'utilisation des sols (CLC - 2018) a été utilisée pour spatialiser les émissions diffuses sur les zones territoriales associées aux différentes sources d'émission. Cette action a permis de créer les cartes d'émissions pour tous les principaux polluants et gaz à effet de serre.

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 si è adottato l'inventario EMEP 2015.

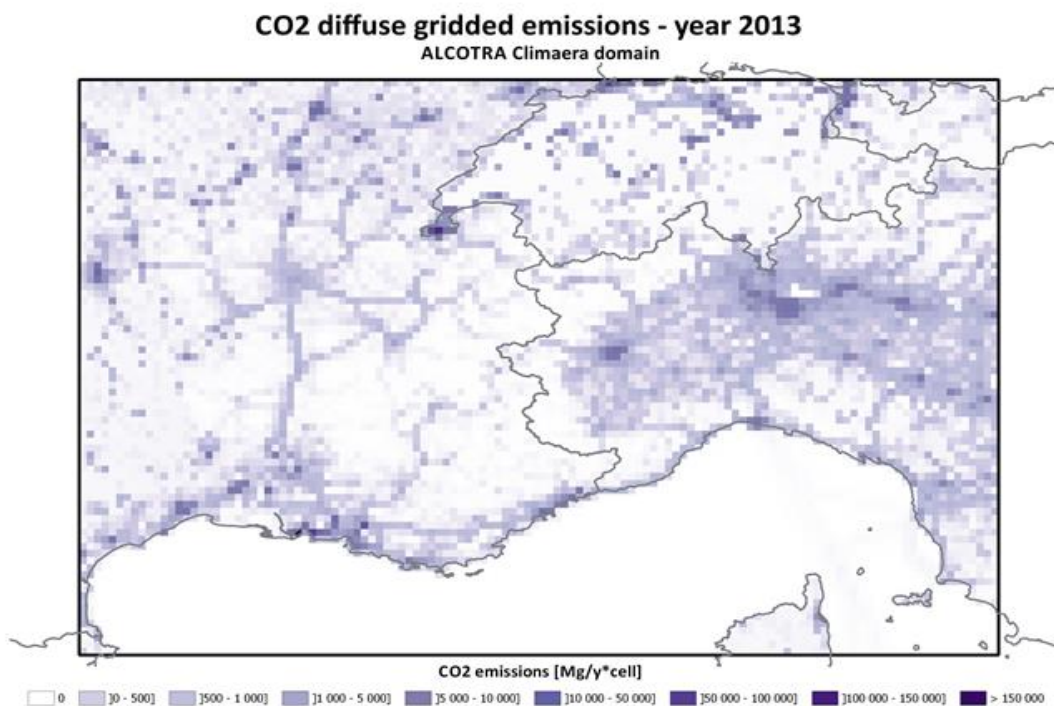
Per migliorare la simulazione rispetto a quanto fatto nel progetto SH'AIR, per spazializzare le emissioni areali sulle porzioni territoriali associate alle diverse fonti emissive, è stato utilizzato un nuovo Land Use più aggiornato (CLC - 2018). Come prodotto di questa azione, sono state create le mappe emissive per tutti i principali inquinanti e per i gas ad effetto serra.



Figure/Figura 8 : Émissions maillées de PM10 dans le territoire ALCOTRA/Emissioni grigliate di PM10 sul territorio ALCOTRA



Figure/Figura 9: Émissions maillées de NOx dans le territoire ALCOTRA/Emissioni grigliate di NOx sul territorio ALCOTRA



Figure/Figura 10: Émissions maillées de CO₂ dans le territoire ALCOTRA/Emissioni grigliate di CO₂ sul territorio ALCOTRA

3.2 Construction des scénarios émissifs et météorologiques futurs/Costruzione degli scenari emissivi e meteorologici futuri

3.2.1 Scénario émissifs 2030/Scenario emissivo al 2030

Le modèle GAINS Europe pour la France et sa version nationale GAINS Italie pour les trois régions italiennes de la zone ALCOTRA ont été utilisés pour évaluer les émissions de polluants et de gaz à effet de serre dans l'atmosphère. Pour les autres pays européens présents dans le domaine de calcul de la zone ALCOTRA, la référence était également GAINS Europe.

Les scénarios de référence étaient les suivants :

- pour les régions italiennes, dans GAINS Italie (ENEA) : scénario dénommé "**SEN2014**"
- pour les départements français et les autres pays présents dans le domaine ALCOTRA, dans GAINS Europe (IIASA) : scénario dénommé "**WPE 2014 CLE**", compatible avec celui choisi pour l'Italie.

Les années évaluées dans les données GAINS sont les suivantes : 2005 - 2010 - 2015 - 2020 - 2025 - 2030.

L'année de référence du projet CLIMAERA étant 2013, la variation 2015 - 2030 a été calculée avec GAINS puis reportée à 2013, année de l'inventaire des émissions pour la zone ALCOTRA.

Per la valutazione delle emissioni di inquinanti e gas serra in atmosfera sono state utilizzate le valutazioni del modello GAINS Europe per la Francia e la sua declinazione nazionale del GAINS Italy per le tre regioni italiane dell'area ALCOTRA. Anche per le altre nazioni europee presenti all'interno del dominio di calcolo dell'area ALCOTRA il riferimento è stato il GAINS Europe.

Gli scenari di riferimento sono stati i seguenti:

- per le Regioni italiane dal GAINS Italy (ENEA): scenario denominato "**SEN2014**"
- per i Dipartimenti francesi e le altre nazioni presenti nel dominio ALCOTRA dal GAINS Europe (IIASA): scenario denominato "**WPE 2014 CLE**", compatibile con quanto scelto per l'Italia.

Gli anni valutati nei dati GAINS sono: 2005 – 2010 – 2015 – 2020 – 2025 – 2030.

Essendo l'anno base del progetto CLIMAERA il 2013, è stata calcolata con il GAINS la variazione 2015 – 2030, per poi riportarla al 2013, anno dell'inventario delle emissioni per la zona ALCOTRA.

Les tableaux suivants montrent l'évolution en pourcentage des émissions des principaux polluants liés à la qualité de l'air et des gaz à effet de serre entre 2013 et 2030 pour les cinq régions partenaires du projet.

Pour mettre davantage en évidence les changements par rapport à l'année de référence 2013, les réductions ont été notées en bleu et les augmentations de plus de 20 % en rouge.

Ensuite, pour chaque polluant, l'évolution des émissions régionales est présentée, entre le scénario de référence pour 2013 et le scénario futur pour 2030.

Nelle tabelle seguenti vengono riportate le variazioni percentuali delle emissioni dei principali inquinanti per la qualità dell'aria e dei gas serra tra al 2013 e il 2030 per le cinque regioni partners del progetto.

Per meglio evidenziare le variazioni si sono segnate in blu le riduzioni ed in rosso gli aumenti superiori al 20% rispetto all'anno base 2013.

Seguono gli andamenti delle emissioni regionali passando dallo scenario base al 2013 a quello futuro del 2030 per ogni inquinante.

Oxydes d'azote/Ossidi d'azoto (NO_x)

Emissions Sectors	Valle d'Aosta	Piemonte	Liguria	France
01 – Energy sector	0%	-8%	-65%	-24%
02 – Residential heating – wood fuel	+16%	+16%	+17%	-27%
02 – Residential heating – diesel	-42%	-40%	-46%	-27%
02 – Residential heating – heavy fuel oil	-42%	-40%	-46%	-54%
02 – Residential heating – biogas	-7%	-36%	-35%	-24%
02 – Residential heating – gpl	+15%	-51%	-52%	-23%
03 – Industrial combustion	+11%	-21%	-44%	-2%
04 – Industrial processes	0%	+5%	+15%	-8%
07 – Road traffic – cars	-66%	-66%	-69%	-66%
07 – Road traffic – light duty vehicles	-52%	-53%	-55%	-64%
07 – Road traffic – heavy duty vehicles	+40%	-74%	-69%	-87%
07 – Road traffic – motorcycles	+24%	+16%	+23%	+4%
08 – Sea transport	not applied	not applied	+14%	-23%
08 – Other non road traffic	-36%	-55%	-30%	-50%
09 – Waste management	0%	0%	0%	0%

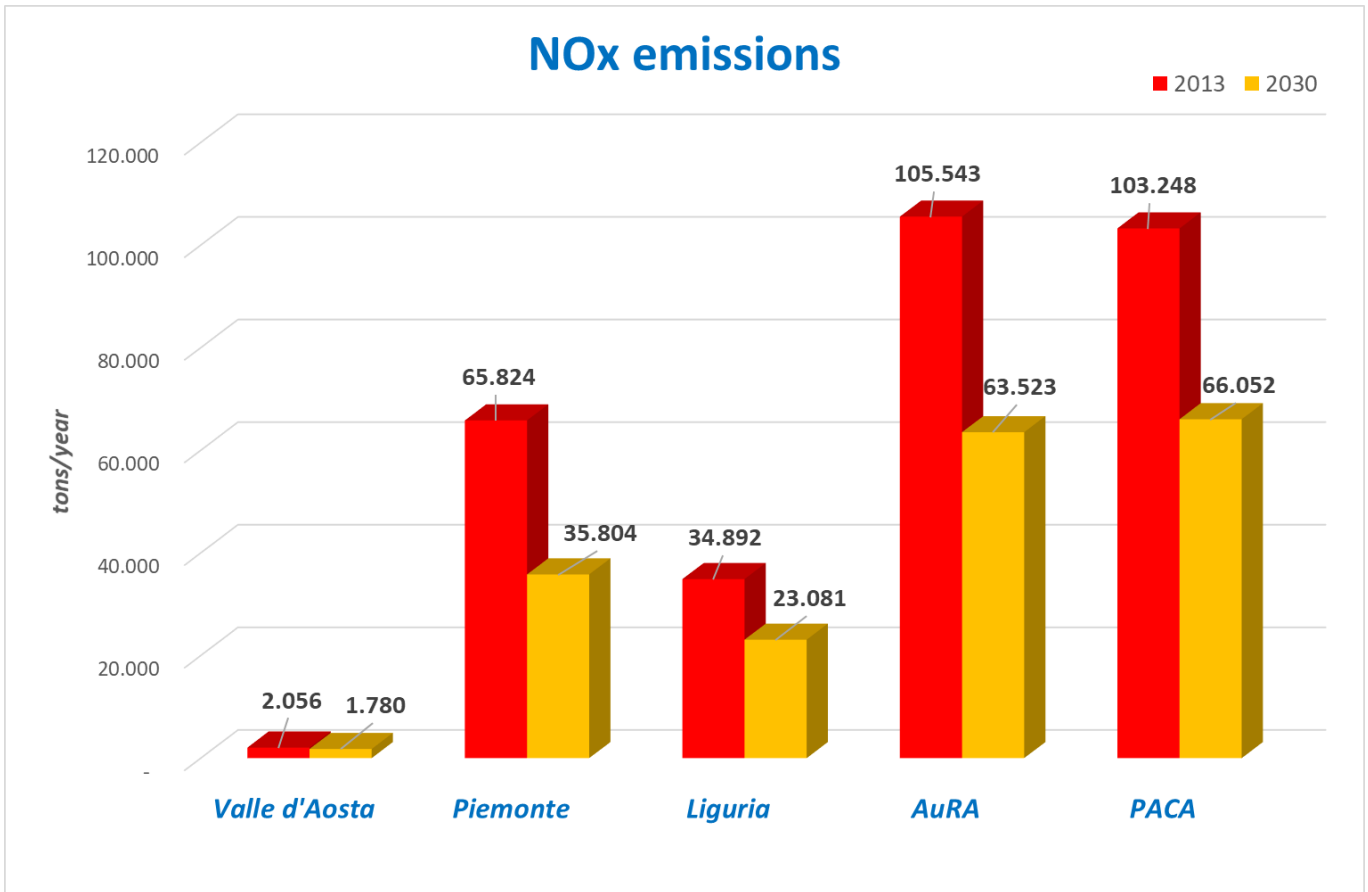
Tableau/Tabella 2 : Évolution des émissions régionales d'oxydes d'azote entre le scénario de référence pour 2013 et le scénario futur pour 2030/Andamenti delle emissioni regionali passando dallo scenario base al 2013 a quello futuro del 2030 per gli ossidi d'azoto

GAINS prévoit de bonnes réductions des émissions d'oxydes d'azote pour le chauffage domestique aux combustibles fossiles et pour le trafic routier de véhicules légers. On remarque une légère augmentation pour les motocyclettes.

En appliquant les variations prévues par GAINS pour 2030, les émissions d'oxyde d'azote diminuent pour les cinq régions du territoire ALCOTRA (de -13 % à -46 %).

Sono previste dal GAINS delle buone riduzioni di emissioni degli ossidi d'azoto per il riscaldamento domestico a combustibili fossili e per il traffico stradale di veicoli leggeri. Si registra un leggero aumento per i motocicli.

Applicate le variazioni previste dal GAINS per il 2030, le emissioni di ossidi di azoto risultano in riduzione per tutte e cinque le Regioni ALCOTRA (da -13 % a -46 %).



Figure/Figura 11 : Variations des oxydes d'azote prévues par GAINS pour 2030/Variazioni previste di ossidi d'azoto dal GAINS per il 2030

Oxydes de soufre/Ossidi di zolfo (SO_x)

Emissions Sectors	Valle d'Aosta	Piemonte	Liguria	France
01 – Energy sector	0%	0%	-89%	-55%
02 – Residential heating – wood fuel	+16%	+16%	+17%	-29%
02 – Residential heating –diesel	-34%	-38%	-45%	-27%
02 – Residential heating – heavy fuel oil	-34%	-38%	-45%	-54%
03 – Industrial combustion	+38%	-75%	-79%	-20%
04 – Industrial processes	0%	0%	+44%	-24%
07 – Road traffic – cars	-16%	-22%	-18%	-20%
07 – Road traffic – light duty vehicles	+7%	0%	0%	-5%
07 – Road traffic – heavy duty vehicles	+5%	-7%	0%	-1%
07 – Road traffic – motorcycles	+25%	+100%	0%	+17%
08 – Sea transport	not applied	not applied	+23%	-71%
08 – Other non road trafic	+12%	+12%	+17%	-68%
09 – waste management	0%	+3%	0%	0%

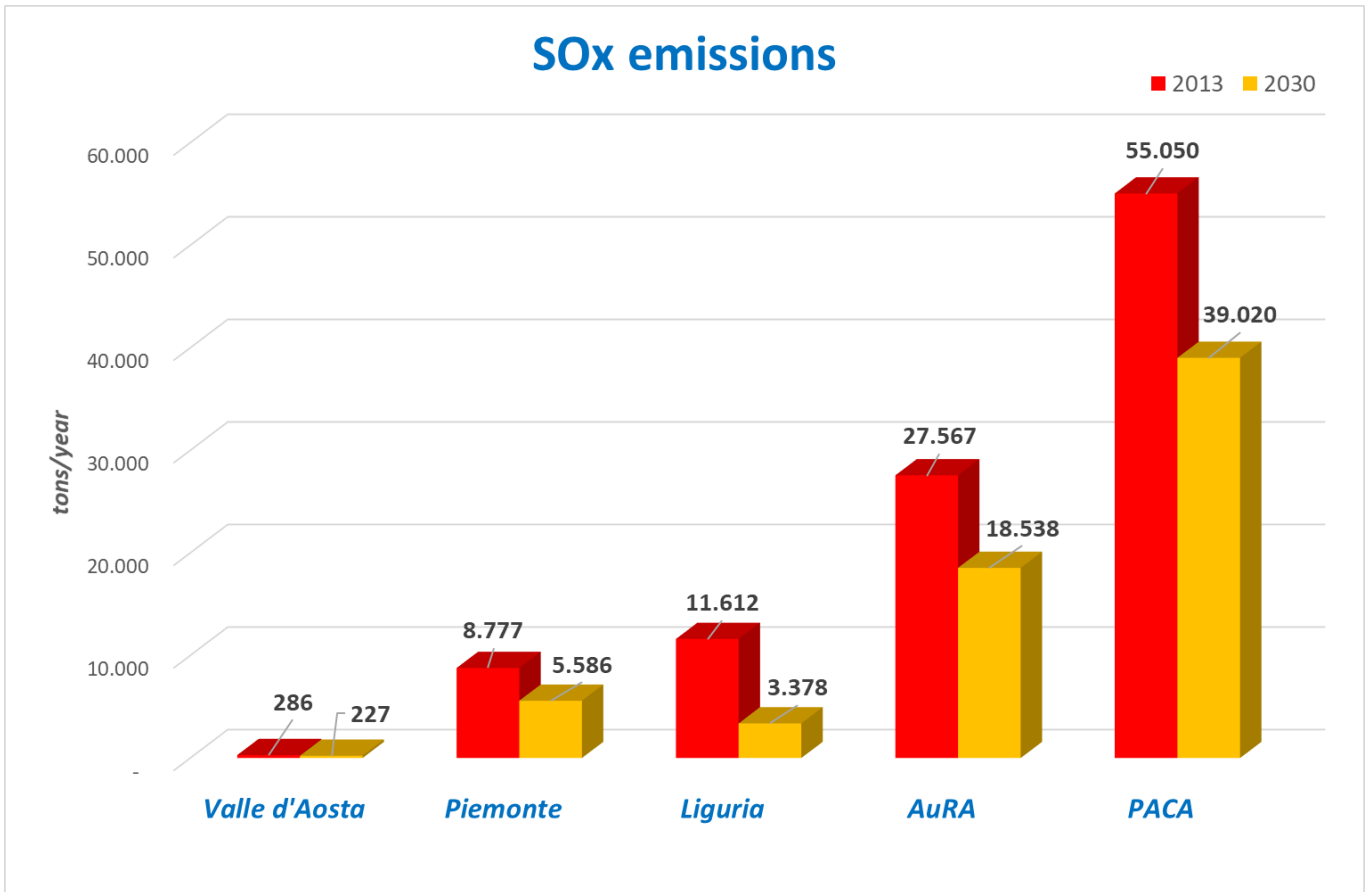
Tableau/Tabella 3: Évolution des émissions régionales d'oxydes de soufre entre le scénario de référence pour 2013 et le scénario futur pour 2030/Andamenti delle emissioni regionali passando dallo scenario base al 2013 a quello futuro del 2030 per gli ossidi di zolfo

GAINS estime pour 2030 une réduction des émissions du chauffage résidentiel aux combustibles fossiles et des voitures, et une augmentation pour les motocyclettes et le transport non routier dans les régions italiennes.

On prévoit une diminution des émissions totales d'oxydes de soufre pour les cinq régions partenaires du projet (de -21 % à -71 %).

GAINS valuta per il 2030 una riduzione di emissione per i combustibili fossili del riscaldamento residenziale e le automobili ed un aumento per le moto ed i trasporti non stradali per le regioni italiane.

Le emissioni totali degli ossidi di zolfo sono previste in riduzione per le cinque Regioni partners del progetto (da -21 % a -71 %).



Figure/Figura 12 : Variations des oxydes de soufre prévues par GAINS pour 2030/Variazioni previste di ossidi di zolfo dal GAINS per il 2030

Composés organiques volatils non-méthaniques/Composti organici volatili non metanici (COVNM)

Emissions Sectors	Valle d'Aosta	Piemonte	Liguria	France
01 – Energy sector	0%	-5%	-94%	-7%
02 – Residential heating – wood fuel	-7%	-3%	-2%	-63%
02 – Residential heating –diesel	-34%	-35%	-44%	-27%
02 – Residential heating – heavy fuel oil	-34%	-35%	-44%	-50%
02 – Residential heating – biogas	-12%	-33%	-33%	-24%
02 - Residential heating – gpl	-51%	-56%	-67%	-23%
03 – Industrial combustion	+36%	-15%	+244%	+76%
04 – Industrial processes	+12%	+1%	+3%	+4%
05 – Fuel extraction	-18%	+1%	+1%	-18%
06 – Solvents	-1%	-3%	+5%	0%
07 – Road traffic – cars	-69%	-68%	-75%	-32%
07 – Road traffic – light duty vehicles	-31%	-47%	-49%	-44%
07 – Road traffic – heavy duty vehicles	+87%	-79%	-59%	-83%
07 – Road traffic – motorcycles	-66%	-61%	-39%	-29%
08 – Sea transport	not applied	not applied	-5%	-8%
08 – Other non road trafic	-77%	-24%	-5%	-43%
09 – Waste management	0%	-14%	-51%	0%

Tableau/Tabella 4 : Évolution des émissions régionales de Composés organiques volatils non méthaniques entre le scénario de référence pour 2013 et le scénario futur pour 2030/Andamenti delle emissioni regionali passando dallo scenario base al 2013 a quello futuro del 2030 per i Composti Organici Volatili Non Metanici

Des réductions importantes sont attendues pour ces composés organiques, en particulier pour les secteurs du chauffage domestique et du transport.

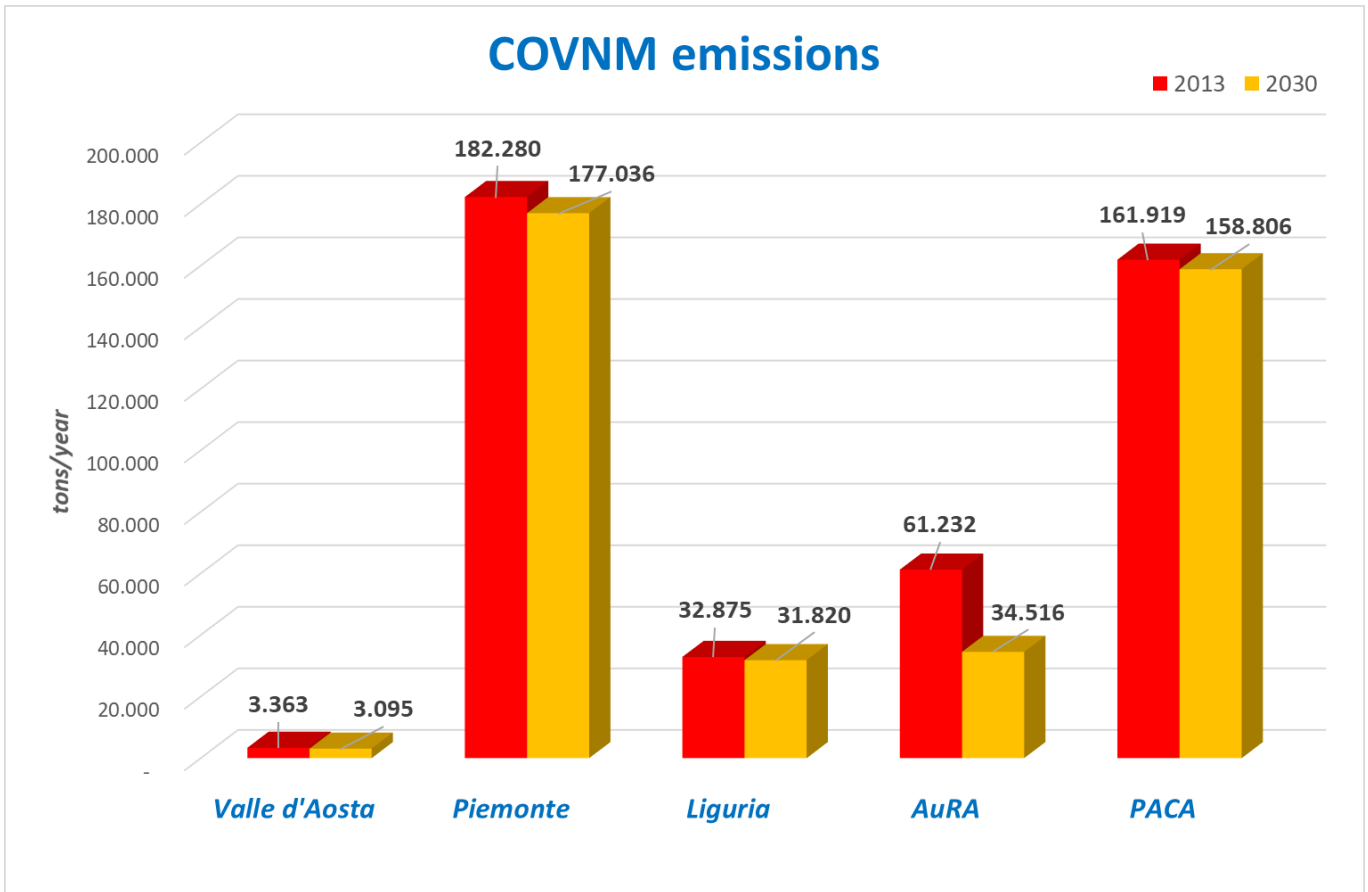
Pour la Ligurie, une forte augmentation est prévue pour la combustion industrielle utilisant du mazout, tandis que pour la Vallée d'Aoste, une forte hausse est liée aux véhicules lourds au diesel.

On prévoit également une réduction des émissions de composés organiques volatils d'ici 2030, bien qu'elle soit inférieure à celle des polluants précédents (-2 % à -44 %).

Decise riduzioni sono attese per questi composti organici in particolare per riscaldamento domestico e trasporti.

Per la Liguria è previsto un forte aumento legato alla combustione industriale con olio combustibile, mentre per la Valle d'Aoste ne è previsto uno legato ai veicoli pesanti diesel.

Anche per i composti organici volatili si prevede una riduzione delle emissioni al 2030, anche se ridotta rispetto agli inquinanti precedenti (da -2 % a -44 %).



Figure/Figura 13 : Variations des Composés organiques volatils non méthaniques prévues par GAINS pour 2030/Variazioni previste di Composti Organici Volatili Non Metanici dal GAINS per il 2030

Particules PM10/Particolato PM10

Emissions Sectors	Valle d'Aosta	Piemonte	Liguria	France
01 – Energy sector	0%	-8%	-65%	-26%
02 – Residential heating – wood fuel	-6%	-1%	-5%	-50%
02 – Residential heating – diesel	-34%	-38%	-45%	-28%
02 – Residential heating – heavy fuel oil	-34%	-38%	-45%	-54%
02 – Residential heating – biogas	-12%	-33%	-32%	-24%
02 – Residential heating – gpl	-51%	-51%	-51%	-22%
03 – Industrial combustion	+16%	-65%	-85%	+6%
04 – Industrial processes	+3%	+2%	-5%	+15%
07 – Road traffic – cars	-50%	-47%	-43%	-17%
07 – Road traffic – light duty vehicles	-63%	-64%	-59%	-42%
07 – Road traffic – heavy duty vehicles	+56%	-50%	-39%	-15%
07 – Road traffic – motorcycles	-53%	-64%	-47%	-26%
08 – Sea transport	not applied	not applied	+22%	-30%
08 – Other non road trafic	-58%	-86%	-52%	-53%
09 – Waste management	0%	0%	0%	+5%
10 – Agriculture and manure	-2%	0%	-1%	+4%

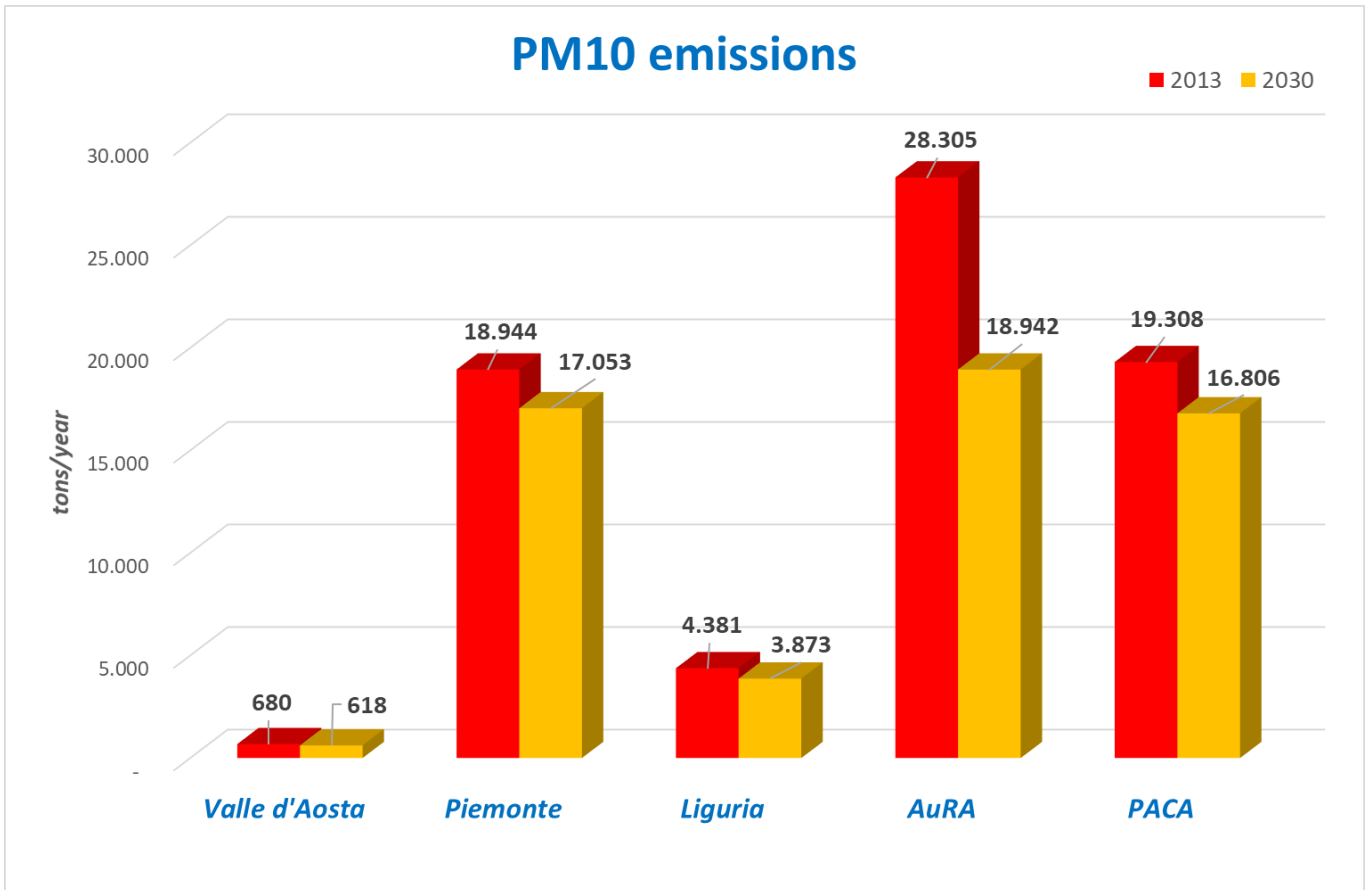
Tableau/Tabella 5 : Évolution des émissions régionales de PM10 entre le scénario de référence pour 2013 et le scénario futur pour 2030/Andamenti delle emissioni regionali passando dallo scenario base al 2013 a quello futuro del 2030 per i PM10

Pour 2030, des réductions plus ou moins importantes sont prévues par GAINS pour la production d'énergie, le chauffage domestique et les transports.

On prévoit que les particules PM10 seront réduites (de -9 % à -33 %) à l'horizon 2030 en raison des changements technologiques dans le domaine du chauffage domestique et du transport routier.

Per il 2030 sono previste dal GAINS riduzioni più o meno marcate per la produzione energetica, il riscaldamento domestico ed i trasporti.

Le polveri PM10 sono previste in riduzione al 2030 (da -9 % a -33 %) per le modifiche tecnologiche del riscaldamento domestico ed i trasporti stradali.



Figure/Figura 14 : Variations des PM10 prévues par GAINS pour 2030/Variazioni previste di PM10 dal GAINS per il 2030

Ammoniac/Ammoniaca (NH₃)

Emissions Sectors	Valle d'Aosta	Piemonte	Liguria	France
01 – Energy sector	0%	+74%	-24%	+25%
02 – Residential heating – wood fuel	+16%	+16%	+16%	-29%
02 – Residential heating – diesel	-46%	-50%	-33%	-27%
02 – Residential heating – heavy fuel oil	-46%	-50%	-33%	-50%
02 – Residential heating – biogas	-9%	-36%	-29%	-24%
02 – Residential heating – gpl	+1086%	-100%	0%	-22%
03 – Industrial combustion	+4%	-11%	-50%	+100%
07 – Road traffic – cars	-36%	-37%	-27%	-35%
07 – Road traffic – light duty vehicles	+13%	+20%	+57%	-23%
07 – Road traffic – heavy duty vehicles	+12%	+64%	+314%	+6%
07 – Road traffic – motorcycles	+32%	+17%	+25%	+12%
08 – Sea transport	not applied	not applied	+29%	+7%
08 – Other non road traffic	+13%	+57%	+9%	+50%
09 – Waste management	-8%	-40%	0%	+3%
10 – Agriculture and manure	-2%	-3%	-3%	-6%

Tableau/Tabella 6: Évolution des émissions régionales d'ammoniac entre le scénario de référence pour 2013 et le scénario futur pour 2030/Andamenti delle emissioni regionali passando dallo scenario base al 2013 a quello futuro del 2030 per l'ammoniaca

Des réductions sont attendues pour l'ammoniac dans le chauffage domestique au méthane, au diesel et au mazout et pour les voitures, tandis que des augmentations sont prévues pour les véhicules commerciaux, les motocyclettes et le transport non routier.

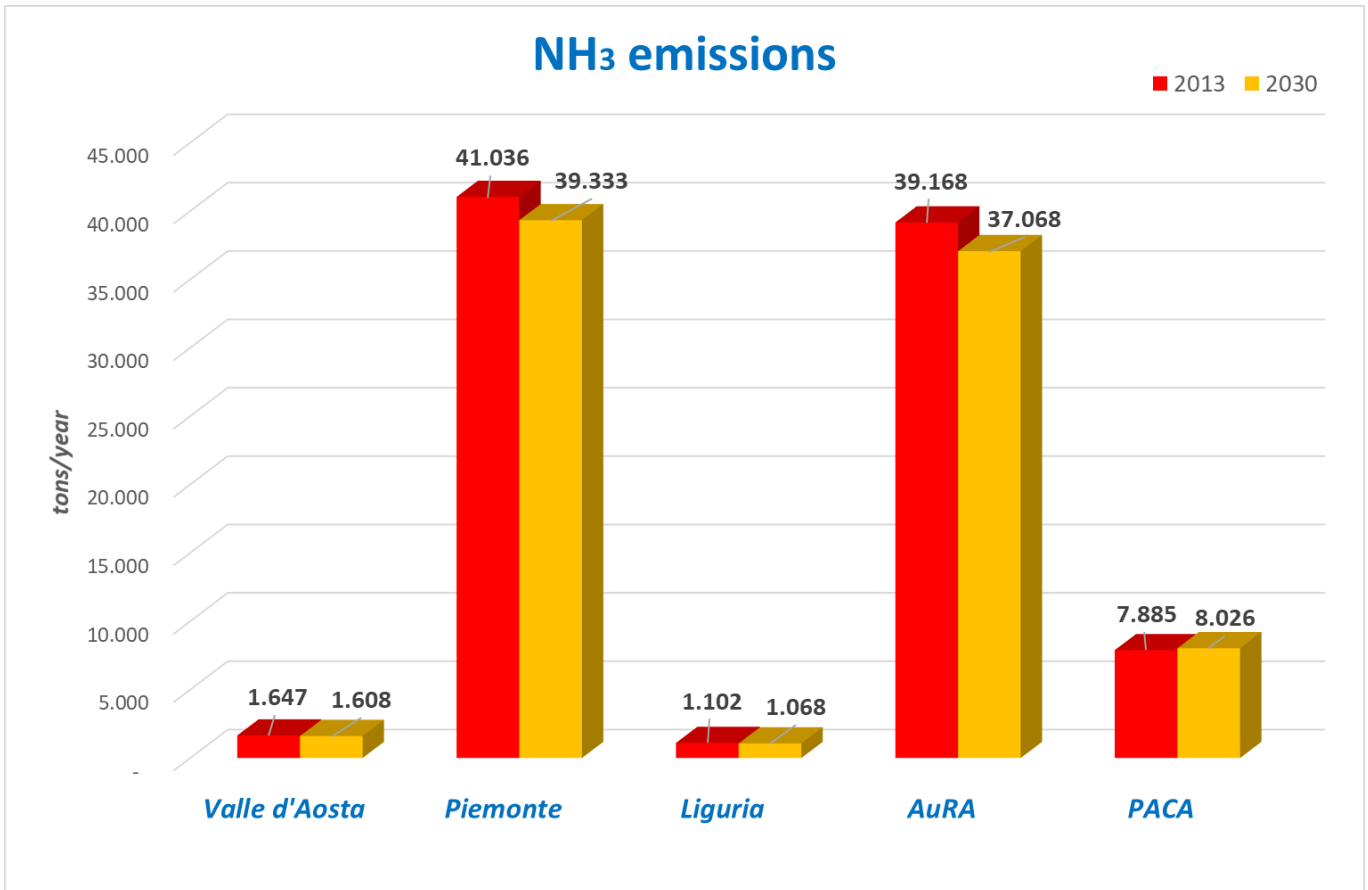
Des hausses considérables sont prévues pour la Vallée d'Aoste en raison de l'utilisation accrue du GPL dans le chauffage domestique et pour la Ligurie en raison de l'augmentation du nombre de véhicules lourds fonctionnant au gaz.

La réduction des émissions d'ammoniac entre 2013 et 2030 est très faible (de -2 % à +2 %).

Riduzioni sono attese per l'ammoniaca per riscaldamento domestico a metano, gasolio ed olio combustibile e per le automobili, mentre aumenti per veicoli commerciali, motocicli e trasporti offroad.

Forti aumenti sono previsti per la Valle d'Aosta per la previsione di maggior utilizzo del gpl nel riscaldamento domestico e per la Liguria per l'aumento di mezzi pesanti a gas.

Molto bassa è la riduzione delle emissioni di ammoniaca dal 2013 al 2030 (da -2 % a +2 %).



Figure/Figura 15 : Variations d'ammoniac prévues par GAINS pour 2030/ Variazioni previste di ammoniaca dal GAINS per il 2030

Anidride carbonica (CO₂)

Emissions Sectors	Valle d'Aosta	Piemonte	Liguria	France
01 – Energy sector	0%	-1%	-55%	-43%
02 – Residential heating –diesel	-34%	-38%	-45%	-27%
02 – Residential heating – heavy fuel oil	-34%	-38%	-45%	-54%
02 – Residential heating – biogas	-12%	-33%	-32%	-24%
02 - Residential heating – gpl	-51%	-51%	-51%	-23%
03 – Industrial combustion	+28%	-8%	-18%	-11%
04 – Industrial processes	0%	+12%	+15%	+1%
05 – Fuel extraction	0%	+18%	+9%	-25%
07 – Road traffic – cars	-21%	-22%	-14%	-22%
07 – Road traffic – light duty vehicles	-1%	-2%	+10%	-8%
07 – Road traffic – heavy duty vehicles	-3%	-3%	+11%	-5%
07 – Road traffic – motorcycles	+14%	+7%	+22%	+14%
08 – Sea transport	not applied	not applied	+16%	0%
08 – Other non road traffic	-8%	-12%	-1%	-6%
09 – Waste management	0%	+8%	0%	+2%

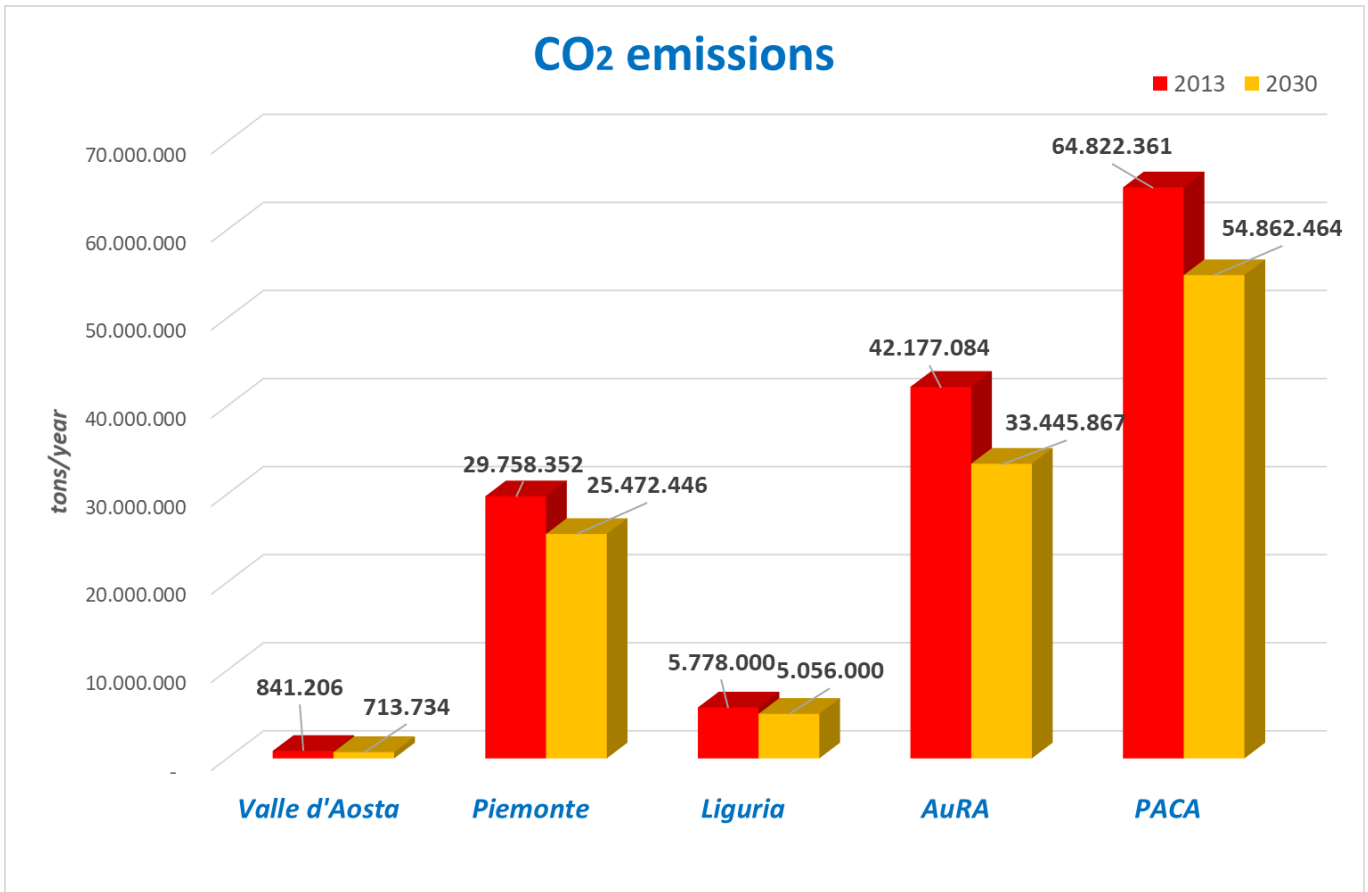
Tableau/Tabella 7: Évolution des émissions régionales de dioxyde de carbone entre le scénario de référence pour 2013 et le scénario futur pour 2030/Andamenti delle emissioni regionali passando dallo scenario base al 2013 a quello futuro del 2030 per l'anidride carbonica

Pour le principal gaz à effet de serre, des réductions liées à la production d'énergie, au chauffage résidentiel et aux voitures sont attendues. Une légère augmentation en revanche est liée aux motocyclettes.

Le principal gaz à effet de serre, le dioxyde de carbone, montre une légère réduction des émissions en 2030 (de -12 % à -21 %).

Per il principale gas climalterante si prevedono riduzioni legate alla produzione energetica, il riscaldamento residenziale e le automobili. Un lieve aumento è invece collegato ai motocicli.

Il principale gas serra, l'anidride carbonica, registra un lieve abbassamento delle emissioni al 2030 (da -12 % a -21 %).



Figure/Figura 16 : Variations de CO₂ prévues par GAINS pour 2030/Variazioni previste di CO₂ dal GAINS per il 2030

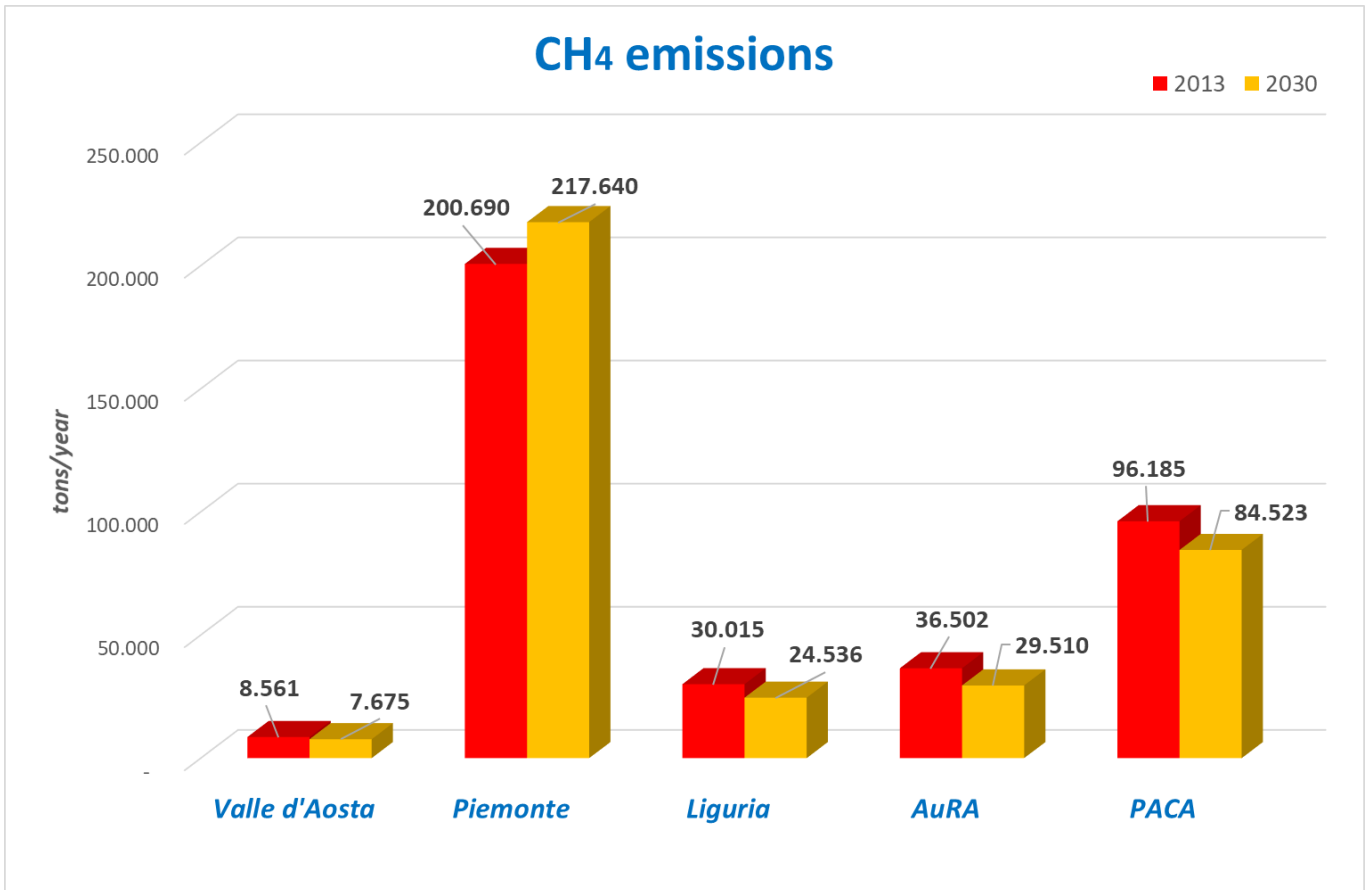
Méthane/Metano (CH₄)

Emissions Sectors	Valle d'Aosta	Piemonte	Liguria	France
01 – Energy sector	0%	+13%	+7%	-30%
02 – Residential heating – wood fuel	-17%	-5%	-8%	-20%
02 – Residential heating – diesel	-34%	-35%	-44%	-34%
02 – Residential heating – heavy fuel oil	-34%	-35%	-44%	-53%
02 – Residential heating – biogas	-12%	-33%	+33%	-67%
02 – Residential heating – gpl	-51%	-67%	-97%	-19%
03 – Industrial combustion	+12%	-13%	-19%	-42%
04 – Industrial processes	0%	0%	+3%	-1%
05 – Fuel extraction	+8%	+7%	+8%	-69%
07 – Road traffic – cars	-88%	-76%	-61%	-90%
07 – Road traffic – light duty vehicles	-85%	-74%	-35%	-93%
07 – Road traffic – heavy duty vehicles	+56%	-13%	+90%	-71%
07 – Road traffic – motorcycles	-28%	-35%	-21%	-19%
08 – Sea transport	not applied	not applied	+23%	0%
08 – Other non road traffic	-1%	-5%	+10%	0%
09 – Waste management	-26%	+54%	-37%	-12%
10 – Agriculture and manure	+3%	-1%	-2%	-2%

Tableau/Tabella 8 : Évolution des émissions régionales de méthane entre le scénario de référence pour 2013 et le scénario futur pour 2030/Andamenti delle emissioni regionali passando dallo scenario base al 2013 a quello futuro del 2030 per il metano

Des réductions des émissions de méthane sont attendues en 2030 dans le chauffage domestique et le transport routier de véhicules légers. Les prévisions d'émissions de méthane pour 2030 indiquent une légère augmentation pour le Piémont (+8 %) et une faible réduction pour les autres régions du territoire ALCOTRA (de -19 % à +8 %).

Riduzioni di emissioni di metano sono attese al 2030 per riscaldamento domestico ed il trasporto stradale di veicoli leggeri. Le previsioni delle emissioni di metano al 2030 danno un leggero aumento per il Piemonte (+8 %) ed una bassa riduzione per le altre Regioni Alcotra (da -19 % a +8 %).



Figure/Figura 17 :Variations de méthane prévues par GAINS pour 2030/Variations previste di metano dal GAINS per il 2030

Protoxyde d'azote/Protossido d'azoto (N₂O)

Emissions Sectors	Valle d'Aosta	Piemonte	Liguria	France
01 – Energy sector	0%	+8%	-57%	+19%
02 – Residential heating – wood fuel	+16%	+16%	+17%	-29%
02 – Residential heating – diesel	-34%	-33%	-50%	-27%
02 – Residential heating – heavy fuel oil	-34%	-33%	-50%	-50%
02 – Residential heating – biogas	-51%	-33%	-33%	-24%
02 – Residential heating – gpl	-51%	-50%	-55%	-23%
03 – Industrial combustion	+41%	-17%	-94%	+86%
04 – Industrial processes	+10%	+18%	0%	-21%
06 – Solvents	+10%	+10%	+10%	+6%
07 – Road traffic – cars	-5%	-22%	-19%	-14%
07 – Road traffic – light duty vehicles	+11%	+18%	+29%	-7%
07 – Road traffic – heavy duty vehicles	+18%	+63%	+100%	+47%
07 – Road traffic – motorcycles	+25%	+20%	+33%	+21%
08 – Sea transport	not applied	not applied	0%	+6%
08 – Other non road trafic	-2%	-3%	0%	0%
09 – Waste management	+3%	+3%	+3%	+6%
10 – Agriculture and manure	+3%	+2%	+1%	-8%

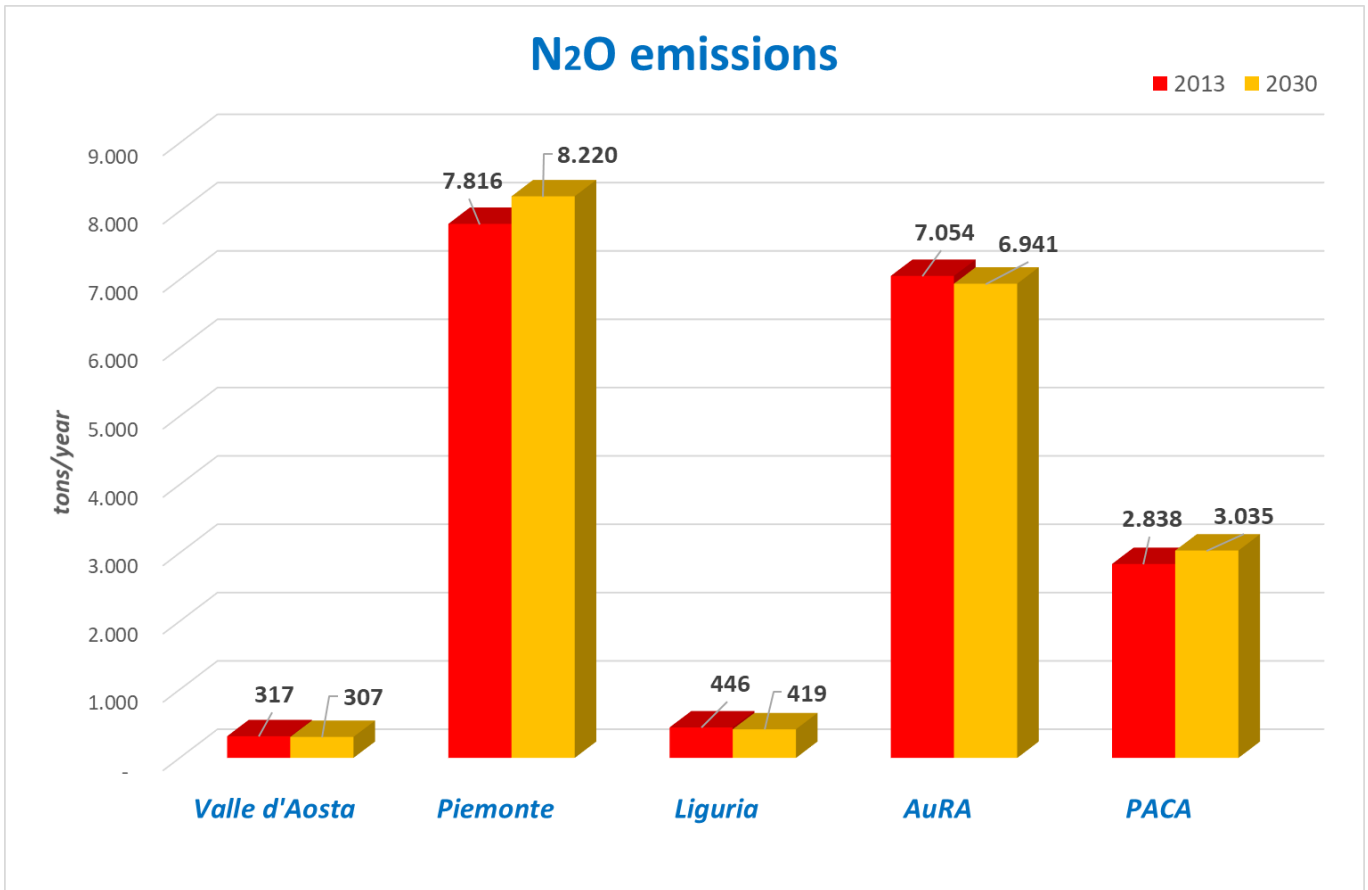
Tableau/Tabella 9 : Évolution des émissions régionales de protoxyde d'azote entre le scénario de référence pour 2013 et le scénario futur pour 2030/Andamenti delle emissioni regionali passando dallo scenario base al 2013 a quello futuro del 2030 per il protossido d'azoto

GAINS prévoit une augmentation des émissions de protoxyde d'azote dues aux véhicules lourds et aux motocyclettes, ainsi qu'une réduction dans le domaine du chauffage résidentiel et des voitures.

Les prévisions des émissions de protoxyde d'azote en 2030 indiquent une légère augmentation pour le Piémont (+ 5%) et la région Provence-Alpes-Côte d'Azur (+7 %) et une faible réduction pour les autres régions ALCOTRA (de -6 % à +5 %).

GAINS prevede per il gas serra protossido d'azoto aumenti di emissioni legati ai veicoli pesanti ed ai motocicli e riduzioni per riscaldamento residenziale ed automobili.

Le previsioni delle emissioni di protossido d'azoto al 2030 danno un leggero aumento per il Piemonte (+5 %) ed il Provenza-Alpi-Costa Azzurra (+7 %) ed una bassa riduzione per le altre regioni ALCOTRA (da -6 % a +5 %).



Figure/Figura 18 : Variations de protoxyde d'azote prévues par GAINS pour 2030/Variations previste di protossido d'azoto dal GAINS per il 2030

3.2.2 Scénarios météorologiques 2030 et 2050/Scenari meteorologici al 2030 e al 2050

Les scénarios climatiques à l'horizon 2030 et 2050²⁷ ont été élaborés par le CMCC (Centro Euro Mediterraneo per i Cambiamenti Climatici) en utilisant le modèle COSMO-CLM qui est la version climatique du modèle de prévision météorologique opérationnel non-hydrostatique à méso-échelle COSMO-LM, initialement développé par le service météorologique allemand puis par le consortium européen COSMO. Le modèle COSMO-CLM est en revanche développé par le CMCC au sein du consortium européen CLM Assembly.

Pour obtenir des projections du changement climatique futur, les modèles climatiques utilisent les informations provenant des scénarios d'émission de gaz à effet de serre et autres polluants et d'utilisation des sols. Ces scénarios futurs sont connus sous le nom de RCP²⁸ et fournissent des informations sur l'évolution potentielle des différentes composantes du forçage radiatif (émissions de GES et de polluants atmosphériques, utilisation des sols) à saisir comme données d'entrée dans les modèles climatiques.

Gli scenari climatici al 2030 e al 2050²⁹ sono stati elaborati dal CMCC, Centro Euro Mediterraneo per i Cambiamenti Climatici, utilizzando il modello COSMO-CLM che è la versione climatica del modello atmosferico previsionale a mesoscala operativo e non-idrostatico COSMO-LM, sviluppato inizialmente dal servizio meteorologico tedesco e in seguito dal consorzio Europeo COSMO. Il modello COSMO-CLM è invece sviluppato dal CMCC all'interno del consorzio europeo CLM Assembly.

Per ottenere delle proiezioni sulle variazioni climatiche future, i modelli climatici usano le informazioni fornite dagli scenari di emissione di gas ad effetto serra ed altri inquinanti e di utilizzo del suolo. Questi scenari futuri sono conosciuti come RCP³⁰ e forniscono informazioni sull'evoluzione potenziale di varie componenti del forcing radiativo (emissioni di GHG ed inquinanti atmosferici, uso del suolo) da utilizzare in input ai modelli climatici.

²⁷ https://www.climaera.eu/images/rapports/performance_evaluation_climate_scenarios_climaera.pdf

²⁸ Representative Concentration Pathways

²⁹ https://www.climaera.eu/images/rapports/performance_evaluation_climate_scenarios_climaera.pdf

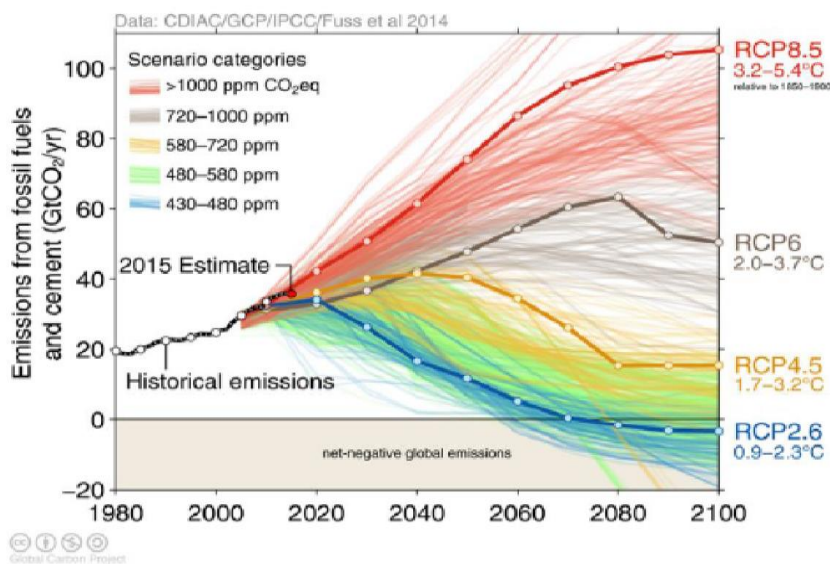
³⁰ Representative Concentration Pathways

Parmi les différents scénarios, les scénarios RCP4.5 et RCP8.5 ont été pris en compte dans le projet :

- RCP4.5 : augmentation du forçage radiatif de 4,5 W/m² à l'horizon 2100 ; ce scénario suppose une diminution des émissions de CO₂ sous les niveaux actuels d'ici 2070 et leur stabilisation à deux fois les niveaux préindustriels d'ici 2100 ;
- RCP8.5 : augmentation du forçage radiatif de 8,5 W/m² à l'horizon 2100 ; ce scénario est cohérent avec l'absence de politiques futures de réduction des émissions : il suppose une augmentation de la concentration de CO₂ de 3 à 4 fois supérieure aux niveaux préindustriels d'ici 2100.

Gli scenari sono diversi, nel progetto sono stati considerati gli scenari RCP4.5 e RCP8.5:

- RCP4.5: aumento del forcing radiativo di 4.5 W/m² al 2100; questo scenario assume una diminuzione delle emissioni di CO₂ al di sotto dei livelli attuali al 2070 ed una stabilizzazione al doppio dei livelli pre-industrializzazione al 2100;
- RCP8.5: aumento del forcing radiativo di 8.5 W/m² al 2100; tale scenario è consistente con la mancanza di politiche future sulla riduzione delle emissioni: assume un incremento delle concentrazioni di CO₂ da 3 a 4 volte maggiori dei livelli pre-industrializzazione al 2100.



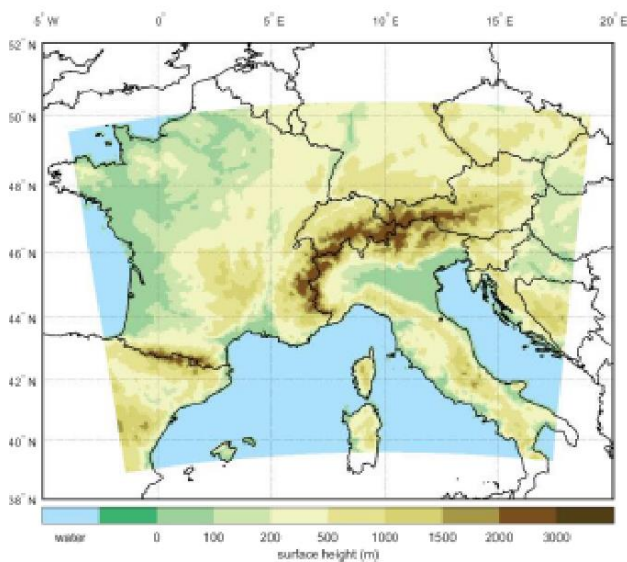
Figure/Figura 19 : Scénarios RPC et augmentation attendue de la température mondiale/Scenari RCP e aumento di temperatura globale atteso

Des simulations avec le modèle climatique régional COSMO-CLM ont été réalisées dans deux configurations différentes :

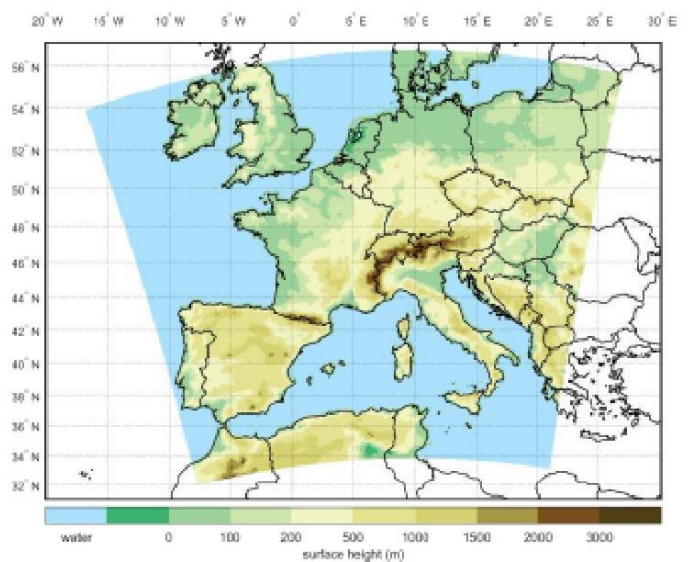
- domaine géographique appelé domaine ALCOTRA-CLIMAERA, à la résolution horizontale de 0,0715° (environ 8 km) (a)
- domaine géographique appelé domaine EUROPEO, à la résolution horizontale de 0,125° (environ 14 km) (b)

Le simulazioni con il modello climatico regionale COSMO-CLM sono state effettuate in due diverse configurazioni:

- dominio geografico denominato dominio ALCOTRA-CLIMAERA, alla risoluzione orizzontale di 0.0715° (circa 8 km) (a)
- dominio geografico denominato dominio EUROPEO, alla risoluzione orizzontale di 0.125° (circa 14 km) (b)



(a)



(b)

Figure/Figura 20: Domaine ALCOTRA-CLIMAERA (a) et domaine européen (b) utilisés dans les simulations climatiques/Dominio ALCOTRA-CLIMAERA (a) e dominio europeo (b) utilizzati nelle simulazioni climatiche

Pour les deux configurations, trois simulations ont été réalisées, avec des conditions initiales et aux limites fournies par le modèle climatique global (MCG) EC-EARTH, obtenu en utilisant le scénario RCP4.5 du GIEC :

Per entrambe le configurazioni, sono stati eseguiti tre esperimenti, con condizioni iniziali e al bordo forniti dal modello climatico globale (GCM) EC-EARTH, ottenuto utilizzando lo scenario IPCC RCP4.5:

- Simulation historique, pour la période 2010-2015 ;
- Scénario pour la période 2027-2032 ;
- Scénario pour la période 2047-2052.

- Esperimento storico, per il periodo 2010-2015;
- Scenario per il periodo 2027-2032;
- Scenario per il periodo 2047-2052.

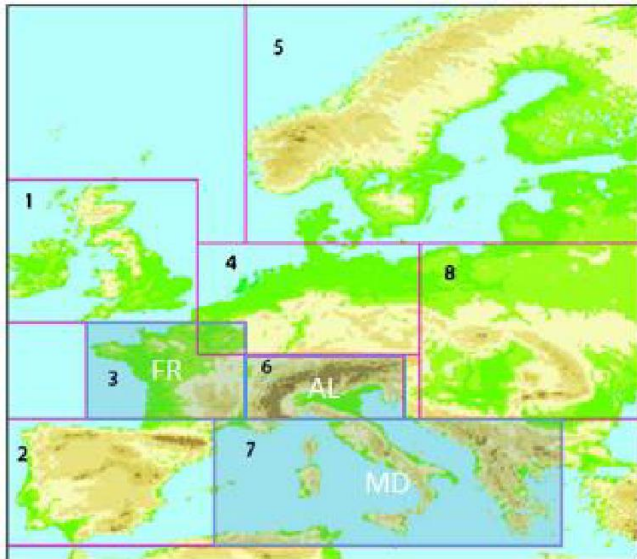
Analyse des résultats : comparaison des résultats de la simulation historique avec les données observées/Analisi dei risultati: confronto dei risultati dell'esperimento storico con i dati osservati

Les simulations sur la période historique en ce qui concerne la température et les précipitations totales ont été validées en utilisant les bases de données E-OBS (ENSEMBLES daily gridded observational dataset for precipitation, temperature and sea level pressure in Europe) et NWIOI (North Western Italy Optimal Interpolation).

Afin d'effectuer la validation par rapport aux données E-OBS, le domaine de simulation a été divisé en plusieurs sous-domaines. En particulier, compte tenu des limites des domaines ALCOTRA-CLIMAERA et EUROPEO, les sous-domaines considérés dans cette analyse sont les Alpes (AL), la France (FR) et la Méditerranée (MD), comme illustré dans la **Figure/Figura** 21. Quant à la comparaison avec les données NWIOI, la validation a été effectuée pour la région du Piémont.

Le simulazioni sul periodo storico rispetto alla temperatura e alla precipitazione totale sono state validate utilizzando i dataset E-OBS (ENSEMBLES daily gridded observational dataset for precipitation, temperature and sea level pressure in Europe) e NWIOI (North Western Italy Optimal Intepolation).

Al fine di effettuare la validazione rispetto al dataset E-OBS, il dominio di simulazione è stato diviso in differenti sotto aree. In particolare, tenendo conto dei limiti dei domini ALCOTRA-CLIMAERA e EUROPEO, le sotto aree considerate nella presente analisi sono le Alpi (AL), la Francia (FR) e il Mediterraneo (MD), riportate nella **Figure/Figura** 21. Per quanto attiene il confronto con il dataset NWIOI, la validazione è stata effettuata sulla regione Piemonte.

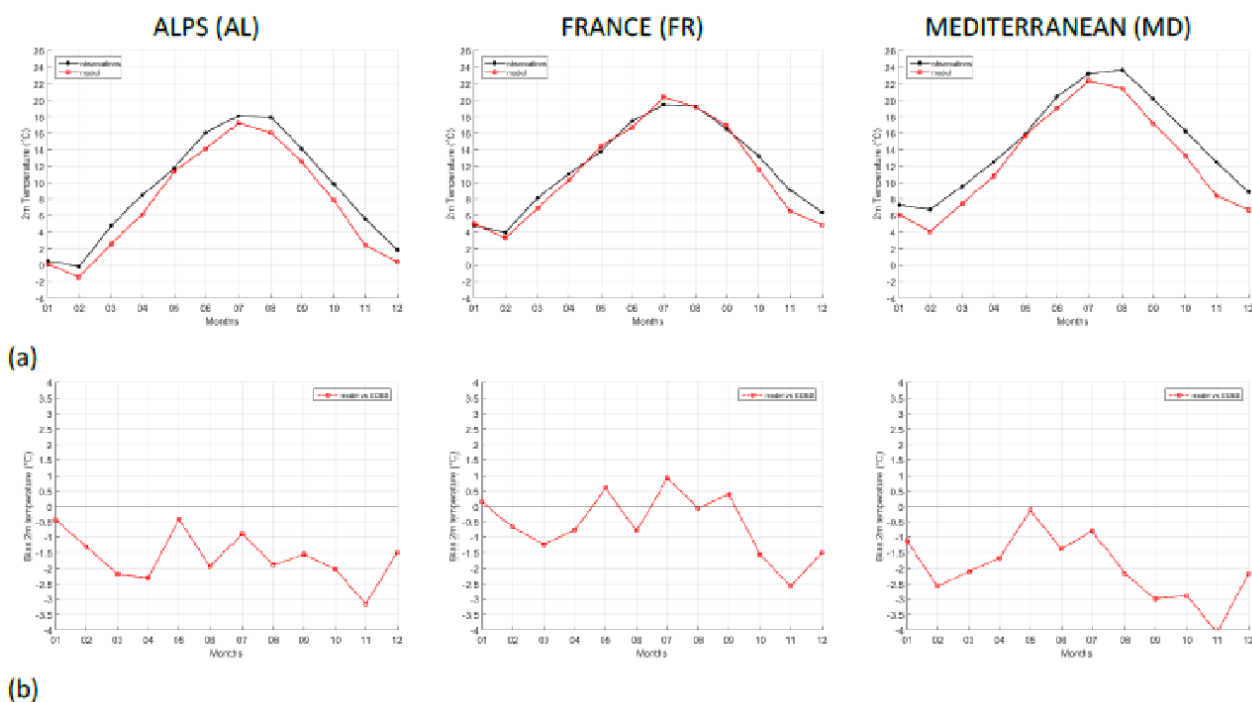


Area	West	East	South	North
1 (BI) British Isles	-10	2	50	59
2 (IP) Iberian Peninsula	-10	3	36	44
3 (FR) France	-5	5	44	50
4 (ME) Mid-Europe	2	16	48	55
5 (SC) Scandinavia	5	30	55	70
6 (AL) Alps	5	15	44	48
7 (MD) Mediterranean	3	25	36	44
8 (EA) Eastern Europe	16	30	44	55

Figure/Figura 21 : Subdivision du domaine pour la validation des résultats de la simulation historique/Suddivisione del dominio ai fini della validazione dei risultati dell'esperimento storico

A titre d'exemple, la figure suivante montre la comparaison du cycle annuel des températures à 2 mètres du modèle COSMO-CLM (ligne rouge) par rapport à E-OBS (ligne noire) au cours de la période 2011-2015 pour les Alpes (AL), la France (FR) et la Méditerranée (MD). Dans les sous-domaines AL et MD, la température moyenne à 2 mètres est généralement sous-estimée, elle est plus élevée dans le sous-domaine MD, surtout en automne. Dans le sous-domaine FR, en revanche, il y a une bonne concordance entre le modèle et les observations avec un biais qui ne dépasse généralement pas 1,5°C en valeur absolue, à l'exception du mois de novembre, où le biais est plus important dans les trois sous-domaines considérés.

A titolo di esempio, si riporta nella figura seguente il confronto del ciclo annuale della temperatura a 2 metri del modello COSMO-CLM (linea rossa) rispetto a E-OBS (linea nera) sul periodo 2011-2015 per le Alpi (AL), la Francia (FR) ed il Mediterraneo (MD). Sui domini AL ed MD la temperatura a 2 metri media è generalmente sottostimata, maggiore sull'area MD specialmente nei mesi autunnali. Sul dominio FR, invece, vi è un buon accordo tra il modello e le osservazioni con un bias che generalmente non supera 1.5°C in valore assoluto, ad eccezione del mese di novembre, dove si nota un bias maggiore su tutte le tre sotto aree considerate.



Figure/Figura 22: Comparaison du cycle annuel des températures à 2m du modèle COSMO-CLM (ligne rouge) par rapport à E-OBS (ligne noire)/Confornto del ciclo annuale della temperatura a 2m del modello COSMO-CLM (linea rossa) rispetto a E-OBS (linea nera)

En ce qui concerne la validation des précipitations, dans les Alpes, les deux simulations montrent une surestimation des précipitations sur l'ensemble du cycle, avec un pic d'environ 50 mm/mois et un biais négligeable en février, mai et septembre ; en France, les précipitations totales sont généralement surestimées avec une sous-estimation des précipitations pendant les mois d'été ; le modèle montre une bonne concordance avec les observations dans la zone de la Méditerranée sauf en novembre et décembre. La représentation des précipitations s'améliore à mesure que la résolution augmente.

Per quanto attiene la validazione della precipitazione, sulle Alpi entrambi gli esperimenti mostrano una sovrastima della precipitazione sull'intero ciclo, con un picco di circa 50 mm/mese ed un trascurabile bias nei mesi di febbraio, maggio e settembre; sulla Francia, la precipitazione totale è generalmente sovrastimata con una sottostima delle piogge durante i mesi estivi; il modello mostra un buon accordo con le osservazioni sull'area del Mediterraneo eccetto nei mesi di novembre e dicembre. La rappresentazione della precipitazione migliora con l'incremento della risoluzione.

Analyse des résultats : comparaison du modèle COSMO-CLM avec d'autres simulations climatiques / Analisi dei risultati: confronto del modello COSMO-CLM con altre simulazioni climatiche

Afin de quantifier la capacité des simulations CCLM à représenter le climat, les valeurs de biais ont été comparées aux valeurs d'autres simulations climatiques régionales, en particulier avec les données d'EURO-CORDEX (la branche européenne de l'initiative internationale CORDEX, un programme soutenu par le WRCP qui vise à organiser des actions coordonnées au niveau international, afin d'améliorer les projections climatiques régionales pour toutes les régions continentales du globe) : une large gamme de simulations RCM est disponible pour le domaine européen, avec une résolution de 0,11° degrés (environ 12 km), forcée par différents modèles climatiques globaux et selon différents scénarios du GIEC. En ce qui concerne les températures, la comparaison de COSMO-CLM avec l'ensemble des modèles EURO-CORDEX montre une évolution similaire des biais. La représentation des températures minimales est meilleure dans le cas de COSMO-CLM, alors qu'elle est plus mauvaise pour les températures maximales. La comparaison des différentes résolutions révèle que l'augmentation de la résolution entraîne une réduction assez bonne des erreurs sur tous les mois.

En ce qui concerne l'évaluation des précipitations totales, les

Al fine di quantificare la capacità di rappresentare il clima da parte delle simulazioni CCLM, i valori di bias sono stati confrontati con valori di altre simulazioni climatiche regionali allo stato dell'arte, nello specifico con i dati di EURO-CORDEX (il ramo europeo dell'iniziativa internazionale CORDEX, un programma sponsorizzato dal WRCP per organizzare azioni coordinate a livello internazionale al fine di migliorare le proiezioni climatiche regionali per tutte le regioni della terra): sul dominio europeo è disponibile una vasta gamma di simulazioni RCM con una risoluzione di 0,11 ° gradi (circa 12 km) forzata da diversi modelli climatici globali e secondo diversi scenari IPCC. Per quanto attiene la temperatura, il confronto di COSMO-CLM con l'ensemble dei modelli EURO-CORDEX mostra un andamento paragonabile del bias. La rappresentazione della temperatura minima è migliore per COSMO-CLM, mentre è peggiore per la temperatura massima. Il confronto tra diverse risoluzioni rivela che l'aumento della risoluzione produce una discreta riduzione dell'errore in tutti i mesi.

Per quanto riguarda la valutazione della precipitazione totale, le prestazioni dell'ensemble EURO-

performances de l'ensemble EURO-CORDEX11 et CCLM sont similaires, avec un comportement plus mauvais pour le mois de novembre.

CORDEX11 e CCLM sono simili, con un comportamento peggiore nel mese di novembre.

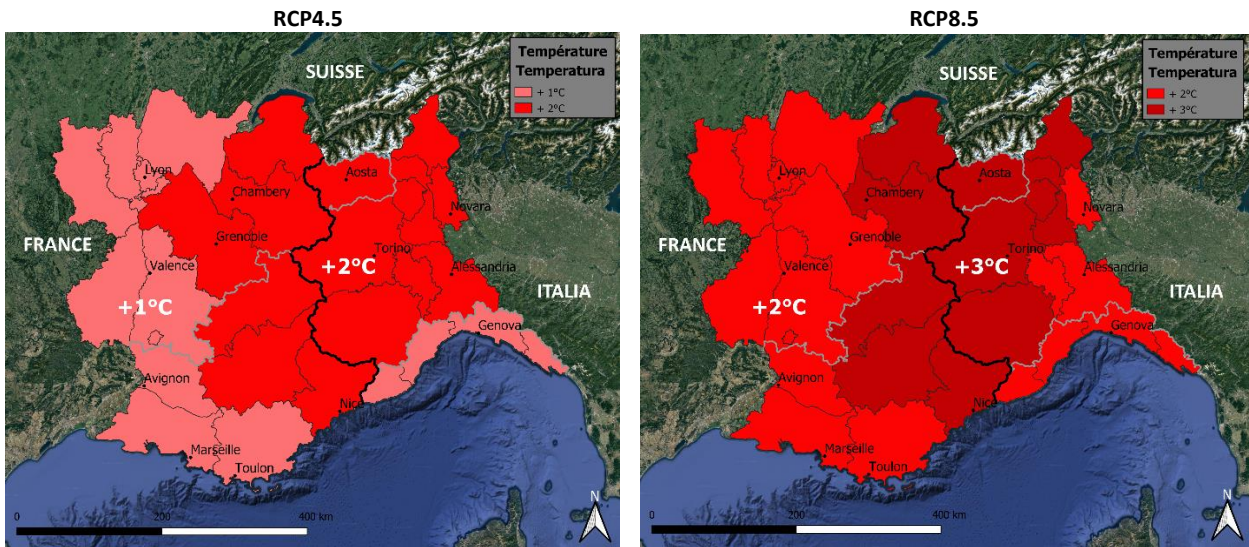
Analyse des résultats des simulations à l'horizon 2030 et 2050/ Analisi dei risultati delle simulazioni al 2030 e al 2050

En résumé, les simulations réalisées avec le modèle COSMO-CLM pour 2030 et 2050 indiquent :

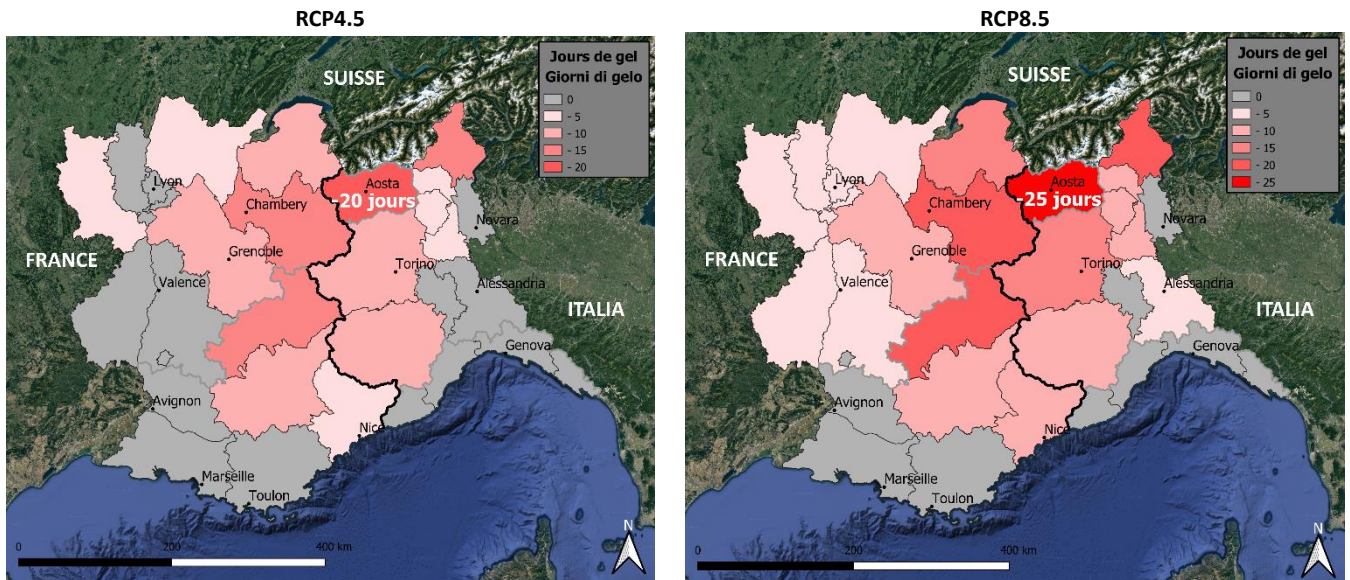
- une augmentation générale des températures moyennes (2°C maximum pour RCP4.5 et 3°C maximum pour RCP8.5) ;
- nette diminution des jours de gel (température maximale inférieure à 0°C), en particulier dans la chaîne des Alpes.
- les précipitations totales augmentent dans le nord et diminuent dans le sud

In sintesi, le simulazioni condotte con il modello COSMO-CLM al 2030 e al 2050 indicano:

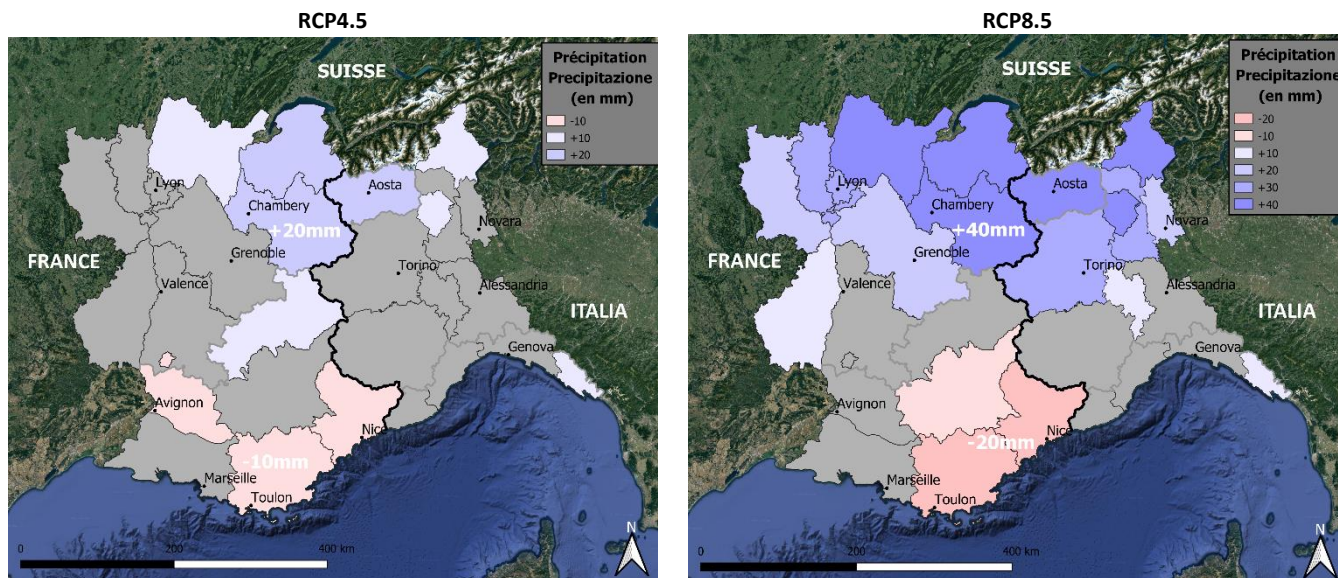
- un generale aumento della temperatura media (massimo di 2°C per RCP4.5 e di 3°C per RCP8.5);
- diminuzione marcata dei giorni di gelo (temperatura massima inferiore a 0°C), in particolare sulla catena alpina.
- precipitazione totale in aumento a nord ed in diminuzione a sud



Figure/Figura 23 : Température moyenne journalière - anomalie climatique moyenne 2036-2065 vs 1981-2010/Température media giornaliera - anomalia climatica ensemble mean 2036-2065 vs 1981-2010



Figure/Figura 24 : Nombre de jours de gel - anomalie climatique moyenne 2036-2065 vs 1981-2010/Numero di giorni di gelo - anomalia climatica ensemble mean 2036-2065 vs 1981-2010



Figure/Figura 25: Précipitations totales - anomalie climatique moyenne 2036-2065 vs 1981-2010/Precipitazione totale - anomalia climatica ensemble mean 2036-2065 vs 1981-2010

3.3 Modélisation de la dispersion des polluants atmosphériques et des gaz à effet de serre sur la région ALCOTRA/Modellistica di dispersione degli inquinanti atmosferici e dei gas serra sul territorio ALCOTRA

Les simulations de la dispersion des polluants atmosphériques et des gaz à effet de serre sur le territoire ALCOTRA ont été réalisées avec la chaîne de modélisation mise en œuvre par ARPA Piemonte. La chaîne de modélisation est basée sur le modèle de chimie-transport FARM (Flexible Air Regional Model, Référence).

FARM est un modèle de chimie-transport (CTM) permettant de calculer les concentrations dans l'atmosphère des principaux polluants atmosphériques (aérosols et gaz) à des échelles spatiales allant de l'urbaine à la continentale. FARM, actuellement distribué comme code "open source", est un modèle largement utilisé au niveau italien. Il a notamment été adopté par ENEA (l'Agence nationale pour les nouvelles technologies, l'énergie et le développement économique durable) pour le compte du ministère italien de l'environnement dans le cadre du projet MINNI.

Parmi ses principales caractéristiques, on peut retenir :

- la possibilité de traiter les sources diffuses et les grandes sources ponctuelles avec effet de *plume-rise* (élévation des panaches);

Le simulazioni di dispersione degli inquinanti atmosferici e dei gas serra sul territorio ALCOTRA sul sono state condotte con la catena modellistica implementata operativamente da ARPA Piemonte. La catena modellistica si basa sul modello di chimica e trasporto (Chemistry Transport Model) FARM (Flexible Air Regional Model, Riferimento).

FARM è un modello di chimica e trasporto in grado di calcolare le concentrazioni in atmosfera dei principali inquinanti atmosferici (aerosols e gas) su scale spaziali che vanno da quella urbana a quella continentale. FARM, attualmente distribuito come codice "open source" è un modello molto utilizzato a livello italiano, in particolare è stato adottato da ENEA (Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, energia e lo sviluppo economico sostenibile) per conto del Ministero Italiano dell'Ambiente nell'ambito del progetto MINNI.

Tra le sue principali caratteristiche si possono ricordare:

- la possibilità di trattare le sorgenti diffuse e le grandi sorgenti puntuali con effetto di *plume-rise*;
- la possibilità di utilizzare diversi moduli chimici per la

- la possibilité d'utiliser différents modules chimiques pour décrire les processus de transformation chimique qui ont lieu dans l'atmosphère ;
- la capacité de traitement de la chimie en phase condensée et en phase aqueuse ;
- la possibilité d'utiliser des grilles imbriquées (*nesting*) communiquant entre elles, aussi bien en mode *one-way* (mode unidirectionnel, dans lequel la communication a lieu uniquement de la grille à basse résolution vers la grille principale à plus haute résolution) qu'en mode *two-way* (mode bidirectionnel, dans lequel la communication entre les grilles a lieu dans les deux sens) ;
- la parallélisation à mémoire répartie, à mémoire partagée et hybride ;
- l'intégration du module T.UV pour le calcul du transport radiatif et du module MEGAN pour les émissions biogéniques.

FARM, comme tous les modèles CTM, nécessite de multiples informations en entrée qui doivent être fournies pour tous les domaines de simulation : champs météorologiques tridimensionnels, concentrations tridimensionnelles des polluants aux limites de la zone d'étude et au début de la période de simulation, ratios

description des processus de transformation chimique qui se produisent en atmosphère ;

- la capacité de traitement de la chimie en phase condensée et en phase aqueuse ;
- la possibilité d'utiliser grilles imbriquées (*nesting*) en communication entre elles, soit en mode *one-way* (mode à sens unique, dans lequel la communication se fait uniquement de la grille à basse résolution vers la grille principale à plus haute résolution), soit en mode *two-way* (mode à double sens, dans lequel la communication entre les grilles se fait dans les deux sens) ;
- parallélisation à mémoire distribuée, à mémoire partagée et hybride ;
- l'intégration du module T.UV pour le calcul du transport radiatif et du module MEGAN pour les émissions biogéniques.

FARM, comme tous les modèles CTM, nécessite en entrée de multiples informations qui doivent être fournies sur tous les domaines de simulation : champs météorologiques tridimensionnels, concentrations tridimensionnelles des polluants aux limites de la zone d'étude et au début de la période de simulation, ratios d'émission (anthropogéniques et

d'émissions (humaines et naturelles) pour tous les polluants considérés.

La chaîne de modélisation utilisée est donc un réseau intégré de codes de calcul permettant de produire toutes les informations nécessaires au CTM. Les principaux éléments constitutifs (schématisés dans la **Figure/Figura 26**), outre le modèle lui-même, se résument dans les modules suivants :

- un module territorial, qui reconstitue les champs des paramètres géophysiques et territoriaux (hauteur du relief, utilisation des sols) à partir des bases de données territoriales ;
- un module d'interface météorologique qui reconstitue les champs météorologiques et de turbulence utilisés par le modèle CTM à partir des données météorologiques d'entrée (champs de modèles météorologiques à méso-échelle) ;
- un module des émissions, qui reconstitue les données horaires d'émission de toutes les espèces chimiques prises en compte par le modèle CTM à partir des inventaires des émissions ;
- un module pour les conditions initiales et aux limites, qui prépare les champs de concentrations pertinents, à partir des champs

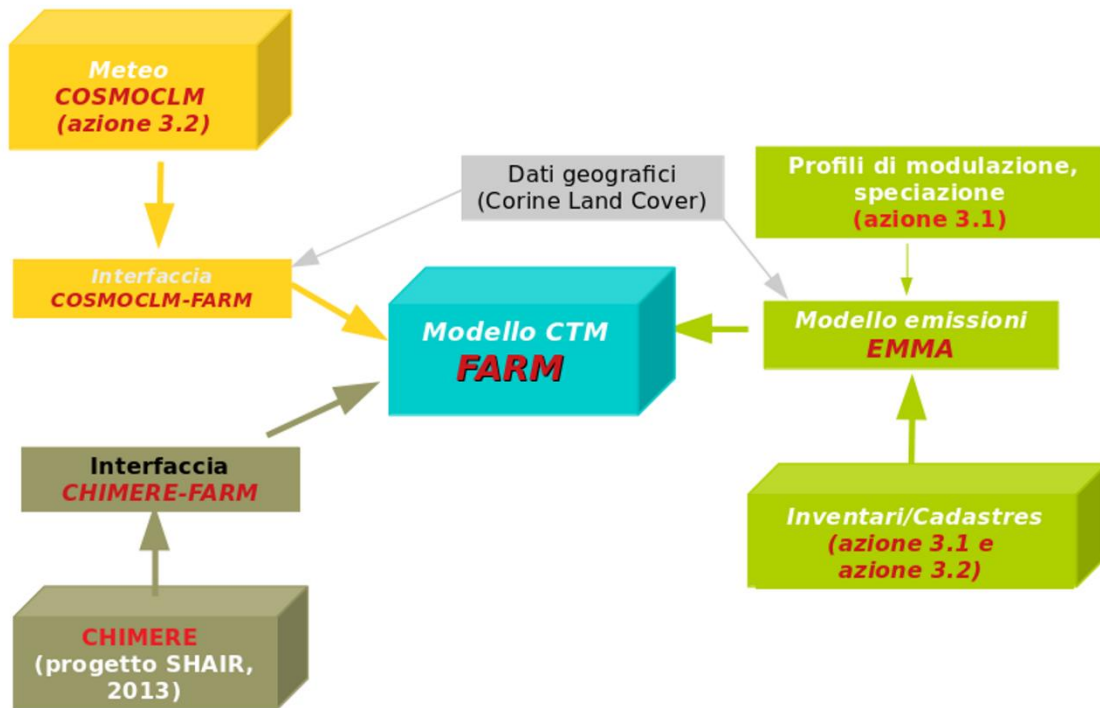
naturali) per tutti gli inquinanti considerati.

La catena modellistica utilizzata è quindi una rete integrata di codici di calcolo che permette di produrre tutte le informazioni necessarie al modello CTM. I principali elementi che la compongono (schematizzati in **Figure/Figura 26**), oltre al modello stesso, si possono sinteticamente riassumere in:

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

tridimensionnels de concentrations d'un modèle de qualité de l'air à méso-échelle.

prepara i relativi campi di concentrazione.



Figure/Figura 26 : Schéma de fonctionnement, modules et données d'entrée (avec référence à l'action qui les a réalisés) du système de modélisation utilisé/Schema di funzionamento, moduli e dati di ingresso (con riferimento all'azione che li ha prodotti) del sistema modellistico utilizzato.

Configuration du système et domaines de simulation/Configurazione del sistema e domini di simulazione

Toutes les simulations ont été effectuées sur deux domaines imbriqués, représentés dans la **Figure/Figura 27** : le principal est le domaine cible, le domaine à plus haute résolution, qui comprend l'ensemble du territoire ALCOTRA (en jaune dans la **Figure/Figura 27**), le second est le domaine extérieur, à plus faible résolution, qui comprend presque toute l'Europe centrale et occidentale (domaine CONTINENTAL, en rouge dans la **Figure/Figura 27**). Les domaines sont reliés entre eux en mode *two-way nesting* (l'échange d'informations entre les deux grilles à lieu dans les deux sens). Les principales caractéristiques de ces domaines sont illustrées dans le **Tableau/Tabella 10**. Le domaine CONTINENTAL a été introduit afin de simuler directement, dans les différents scénarios, les effets des principales sources d'émission situées en dehors du domaine cible mais qui peuvent néanmoins affecter directement la qualité de l'air de celui-ci.

Tutte le simulazioni sono state effettuate su due domini innestati, entrambi rappresentati in **Figure/Figura 27**: il principale è il dominio target, il dominio a risoluzione maggiore che comprende tutto il territorio ALCOTRA (indicato in giallo nella **Figure/Figura 27**), il secondo è il dominio più esterno a risoluzione minore che comprende quasi tutta l'Europa centro-occidentale (dominio CONTINENTALE, indicato in rosso in **Figure/Figura 27**). I domini sono collegati tra di loro in modalità *two-way nesting* (lo scambio di informazioni tra le due griglie avviene in entrambi i versi) ed in **Tableau/Tabella 10** sono riportate le loro principali caratteristiche. Il dominio CONTINENTALE è stato introdotto per poter simulare direttamente, nei vari scenari, gli effetti delle maggiori sorgenti emissive localizzati all'esterno del dominio target ma che possono comunque influenzarne direttamente la qualità dell'aria.



Figure/Figura 27: Domaines de simulation : le domaine ALCOTRA, en jaune et le domaine CONTINENTALE, en rouge/Domini di simulazione: in giallo dominio ALCOTRA, in rosso dominio CONTINENTALE

Domainio	Risoluzione	Estensione	Livelli verticali	Proiezione
CONTINENTALE	0,2°	NLON=99; NLAT=73	24	EPSG:4326
ALCOTRA	0,065°	NLON=124; NLAT=82	24	EPSG:4326

Domaine	Résolution	Etendu	Niveaux verticaux	Projection
CONTINENTAL	0,2°	NLON=99; NLAT=73	24	EPSG:4326
ALCOTRA	0,065°	NLON=124; NLAT=82	24	EPSG:4326

Tableau/Tabella 10 : Caractéristiques des domaines de simulation/Caratteristica dei domini di simulazione

Le modèle FARM a été utilisé avec les configurations décrites ci-dessous. Pour la chimie en phase gazeuse, une version mise à jour du schéma SAPRC-99 (Carter et al, 2000) a été utilisée, tandis que les aérosols sont représentés avec un module appelé AERO3 dérivé de celui mis en œuvre dans le modèle CMAQ (Community Multiscale Air Quality, Binkowski et al., 1999) ; AERO3 utilise une approche modale, les aérosols sont représentés comme une superposition de trois différentes distributions lognormales (mode

Il modello FARM è stato utilizzato con le seguenti configurazioni. Per la chimica in fase gassosa è stata implementata una versione aggiornata dello schema SAPRC-99 (Carter et al, 2000), mentre gli aerosols sono rappresentati con un modulo denominato AERO3 derivato da quello implementato nel modello CMAQ (Community Multiscale Air Quality, Binkowski et al., 1999; AERO3 utilizza un approccio modale, gli aerosols sono rappresentati come sovrapposizione di tre differenti distribuzioni log-normali (Aitken,

Aitken, mode accumulation et mode grossier), il tient compte des processus dynamiques de nucléation, condensation et coagulation, et du transfert de masse gaz/aérosol (ISORROPIA -Fountoukis et al, 2007 - pour les composés inorganiques et Schell et al., 2001 pour les composés organiques). Toutes les simulations ont été réalisées en mode parallèle, avec schéma de parallélisation hybride OpenMP-MPI.

Le modèle FARM est alimenté avec les données obtenues dans le cadre des actions 3.2.2 et 3.2.3 fournies par la division REMNHI du CMCC (Fondazione Centro Euro-Mediterraneo sui Cambiamenti Climatici) par le biais du modèle RCM COSMO-CLM, en utilisant comme forçage le scénario RCP4.5 du GIEC. Les sorties numériques de COSMO-CLM ont été traitées avec un module d'interface spécialement développé qui :

- interpole (à l'aide du module GaP, [4]) les données tridimensionnelles de COSMO-CLM sur les grilles de simulation décrites dans le [Tableau/Tabella 10](#) ;
- calcule certaines variables agrégées (par exemple, le rayonnement solaire global et net) à partir des variables de sortie de COSMO-CLM ;
- calcule les paramètres décrivant la turbulence

accumulazione e grossolana), tiene conto dei processi dinamici di nucleazione, condensazione e coagulazione, e del trasferimento di massa gas/aerosol (ISORROPIA - Fountoukis et al, 2007 - per le componenti inorganiche e Schell et al., 2001 per quelle organiche). Tutte le simulazioni sono state condotte in modalità parallela, con schema di parallelizzazione ibrido OpenMP-MPI.

Il modello FARM è alimentato con i dati prodotti nell'ambito delle azioni 3.2.2 e 3.2.3 forniti dalla divisione REMNHI del CMCC (Fondazione Centro Euro-Mediterraneo sui Cambiamenti Climatici) tramite il modello RCM COSMO-CLM, utilizzando come forcing lo scenario IPCC RCP4.5.

Gli output numerici di COSMO-CLM sono stati elaborati con un modulo di interfaccia sviluppato ad hoc che:

- effettua l'interpolazione (tramite il modulo GaP, [4]) dei dati tridimensionali di COSMO-CLM sulle griglie di simulazione descritte in [Tableau/Tabella 10](#);
- calcola alcune variabili aggregate (ad esempio la radiazione solare globale e netta) a partire dalle variabili di output di COSMO-CLM;
- calcola, tramite un apposito modulo (SurfPRO, [4]) i parametri che descrivono la turbolenza atmosferica.

atmosphérique à l'aide d'un module spécial (SurfPRO, [4]).

Les données d'émission utilisées par la chaîne de modélisation sont celles obtenues dans le cadre des actions 3.1.4 et 3.2.1, dûment traitées par le modèle d'émissions EMMA [5] qui :

- effectue la désagrégation spatiale des émissions, en les attribuant aux grilles de simulation ;
- effectue la modulation temporelle en répartissant la somme des émissions (fournie par les inventaires d'émissions en tonnes/an), la fractionnant sur une base horaire en tenant compte des profils de modulation spécifiques pour chaque catégorie d'émission associée aux différents types de sources. La modulation temporelle des émissions est donc basée sur un croisement des profils de modulation journaliers (distribution temporelle sur 24 heures), hebdomadaires (distribution sur une semaine) et annuels (distribution sur une année).
- reproduit la spéciation chimique des composés organiques volatils non méthaniques (COVNM) et des particules (PM) ; il décompose également les oxydes d'azote en monoxyde et en dioxyde. Il en résulte - pour chaque activité humaine et naturelle - une distribution de la somme

I dati di emissione utilizzati dalla catena modellistica sono quelli prodotti nelle azioni 3.1.4 e 3.2.1, opportunamente elaborati dal modello delle emissioni EMMA [5] il quale:

- effettua la disaggregazione spaziale delle emissioni, riportandole sulle griglie di simulazione;
- effettua la modulazione temporale ripartendo la sommatoria emissiva (fornita dagli inventari delle emissioni in tonnellate/anno) frazionandola su base oraria, tenendo conto di profili di modulazione specifici per ogni singola categoria emissiva associata alle diverse tipologie di sorgente. La modulazione nel tempo delle emissioni si basa quindi sull'incrocio tra profili di modulazione giornalieri (distribuzione temporale nell'arco delle 24 ore), settimanali (distribuzione nell'arco della settimana) e annuali (distribuzione nell'arco dell'anno).
- riproduce la speciazione chimica dei composti organici volatili non metanici (NMVOC) e del particolato (PM); inoltre ripartisce gli ossidi di azoto in monossido e biossido. Come risultato si ottiene - per ogni attività antropica e naturale - una ripartizione della

des émissions des COVNM et des particules 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 de dimension spécifiques pour chaque catégorie d'émission.

Les conditions aux limites dans le domaine CONTINENTAL sont obtenues à partir des données mises à disposition par le service Prev'Air dans le cadre du projet SH'AIR et se réfèrent à l'année 2013.

Scénarios simulés/Scenari simulati

Le système de modélisation décrit ci-dessus a été appliqué pour calculer les scénarios envisagés dans le projet, c'est-à-dire :

- Scénario de la qualité de l'air 2013 obtenu en utilisant le scénario d'émissions de base 2013 et le scénario de référence météorologique 2011-2015 (historique), avec conditions aux limites Prev'Air 2013 ;
- Scénario de la qualité de l'air *tendanciel* 2030, obtenu à partir du scénario d'émissions tendanciel à l'horizon 2030 (action **3.2.1**) et du scénario météorologique de référence 2011-2015 (historique), avec

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 condizioni al contorno sul dominio CONTINENTALE sono desunte a partire dai dati messi a disposizione dal servizio Prev'Air nell'ambito del progetto SH'AIR e fanno riferimento all'anno 2013.

Il sistema modellistico in precedenza descritto è stato applicato per calcolare gli scenari previsti nel progetto, ovvero:

- scenario qualità dell'aria 2013 ottenuto utilizzando lo scenario emissivo base al 2013 e lo scenario di riferimento meteorologico 2011-2015 (historical), con condizioni al contorno Prev'Air 2013;
- scenario di qualità dell'aria tendenziale al 2030, ottenuto utilizzando lo scenario emissivo tendenziale al 2030 (azione **3.2.1**) e lo scenario di riferimento meteorologico 2011-2015 (historical), con condizioni al contorno Prev'Air 2013;

- conditions aux limites Prev'Air 2013 ;
- Scénario de la qualité de l'air *de contrôle* 2030, obtenu en utilisant le scénario d'émissions de base 2013 et le scénario climatique *near future* 2028-2032, avec conditions aux limites Prev'Air 2013 ; ce scénario n'était pas prévu initialement dans les activités du projet, mais il a été néanmoins réalisé pour permettre l'évaluation, via une analyse de sensibilité, des impacts des émissions et de la météorologie sur les concentrations de la qualité de l'air à l'horizon 2030 (voir [section 3.3.4](#));
 - Scénario de la qualité de l'air *futur* 2030, obtenu en utilisant le scénario d'émissions *tendanciel* 2030 (action [3.2.1](#)) et le scénario climatique *near future* 2028-2032, avec conditions aux limites Prev'Air 2013 ;
 - Scénario de la qualité de l'air '*climatique*' 2050, obtenu en utilisant le scénario d'émissions *tendanciel* 2030 (action [3.2.1](#)) et le scénario climatique *medium future* 2048-2052, avec conditions aux limites Prev'Air 2013 ;
 - scénario de la qualité de l'air *optimal* 2030 (action [4.3.2](#)), obtenu en utilisant le scénario
 - scénario de qualité dell'aria di controllo al 2030, ottenuto utilizzando lo scenario emissivo base al 2013 e lo scenario climatico near future 2028-2032, con condizioni al contorno Prev'Air 2013; questo scenario non era inizialmente previsto nelle attività progettuali, ma è stato effettuato per permettere una valutazione, tramite analisi di sensibilità, degli impatti di emissioni e meteorologia sulle concentrazioni di qualità dell'aria al 2030 (si veda [paragrafo 3.3.4](#));
 - scenario di qualità dell'aria futuro al 2030, ottenuto utilizzando lo scenario emissivo tendenziale al 2030 (azione [3.2.1](#)) e lo scenario climatico near future 2028-2032, con condizioni al contorno Prev'Air 2013;
 - scenario di qualità dell'aria 'climatico' al 2050, ottenuto utilizzando lo scenario emissivo tendenziale al 2030 (azione [3.2.1](#)) e lo scenario climatico medium future 2048-2052, con condizioni al contorno Prev'Air 2013;
 - scenario di qualità dell'aria ottimale al 2030 (azione [4.3.2](#)), ottenuto utilizzando lo scenario climatico near future 2028-2032, e lo scenario emissivo ottimale al 2030

climatique *near future* 2028-2032, et le scénario d'émissions *optimal* 2030 réalisé dans l'action 4.3.1. Dans ce scénario les mesures locales de réduction pour chaque région, obtenues en appliquant RIAT+, sont ajoutées au scénario *tendanciel* 2030 ; conditions aux limites Prev'Air 2013.

prodotto nell'azione 4.3.1, scenario in cui al tendenziale 2030 sono aggiunte, per ciascuna regione, le misure locali di riduzione ottenute tramite l'applicazione di RIAT+; condizioni al contorno Prev'Air 2013.

Scenario	Codice	Scenario emissivo	Scenario meteorologico
Scenario qualità dell'aria 2013	S1	2013 base	2011-2015
Scenario di qualità dell'aria tendenziale 2030	S2	2030 tendenziale	2011-2015
Scenario di qualità dell'aria futuro 2030	S3	2030 tendenziale	2028-2032 (RCP4.5)
Scenario di qualità dell'aria di controllo 2030	S4	2013 base	2028-2032 (RCP4.5)
Scenario di qualità dell'aria ottimale 2030	S5	2030 tendenziale con misure locali	2028-2032 (RCP4.5)
Scenario di qualità dell'aria 'climatico' 2050	S6	2030 tendenziale	2048-2052 (RCP4.5)

Scenario	Code	Scenario émissif	Scenario météorologique
Scenario qualité de l'air 2013	S1	2013 base	2011-2015
Scenario qualité de l'air tendanciel 2030	S2	2030 tendanciel	2011-2015
Scenario de qualité de l'air futur 2030	S3	2030 tendanciel	2028-2032 (RCP4.5)
Scenario de qualité de l'air de contrôle 2030	S4	2013 base	2028-2032 (RCP4.5)
Scenario de qualité de l'air optimal 2030	S5	2030 tendanciel avec les mesures locales	2028-2032 (RCP4.5)
Scenario de qualité de l'air 'climatique' 2050	S6	2030 tendanciel	2048-2052 (RCP4.5)

Tableau/Tabella 11 : Liste des scénarios simulés/Elenco degli simulati

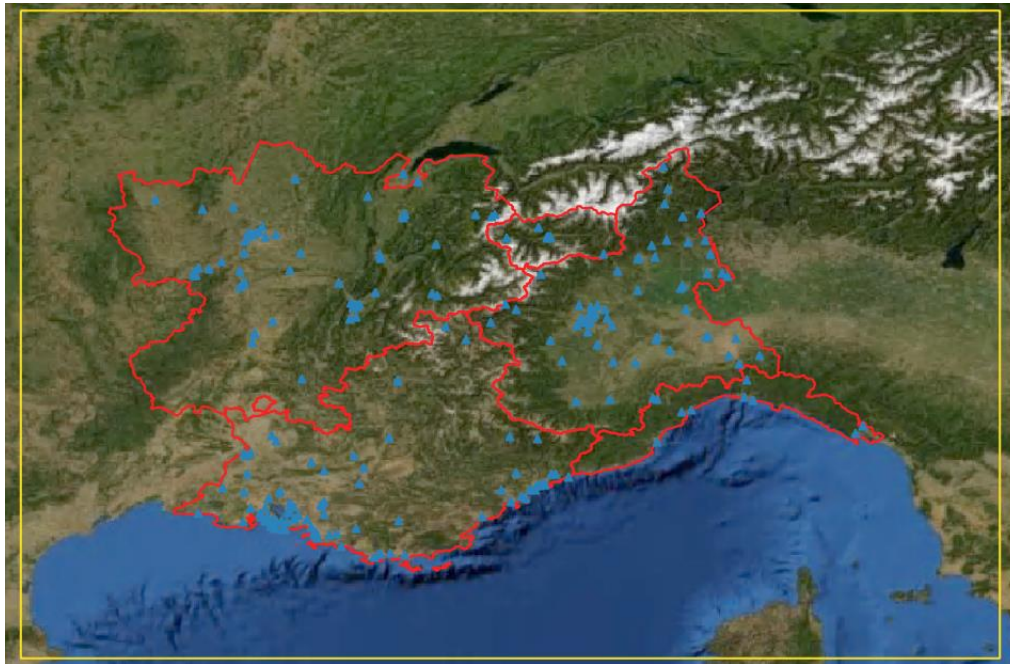
3.3.1 Scénario de la qualité de l'air 2013/Scenario di qualità dell'aria 2013

Le scénario de la qualité de l'air 2013 est le scénario de référence. Il est obtenu en appliquant le système de modélisation à partir du scénario d'émissions de base 2013 et du scénario de référence météorologique 2011-2015, avec conditions aux limites Prev'Air 2013. Le scénario de base a été obtenu en considérant 5 années de simulation centrées sur 2013, de 2011 à 2015 et en faisant la moyenne des valeurs simulées sur la période.

Le scénario de la qualité de l'air 2013 a un double objectif : d'une part, il constitue le scénario de référence pour évaluer les impacts sur les concentrations de l'évolution des émissions et de la météorologie, d'autre part, il permet la validation du système de modélisation, en mettant en évidence ses atouts et ses limites d'applicabilité.

Lo scenario qualità 2013 è lo scenario base di riferimento. Esso è ottenuto applicando il sistema modellistico a partire dallo scenario emissivo base al 2013 e lo scenario di riferimento meteorologico 2011-2015, con condizioni al contorno Prev'Air 2013. Lo scenario base è stato ottenuto considerando 5 anni di simulazione centrati sul 2013, dal 2011 al 2015 e mediando sul periodo i valori simulati.

Lo scenario qualità dell'aria 2013 ha un duplice scopo: da un lato è lo scenario di riferimento per valutare gli impatti sulle concentrazioni della variazione del quadro emissivo e meteorologico, dall'altro permette la validazione del sistema modellistico, evidenziandone pregi e limiti di applicabilità.



Figure/Figura 28 : Localisation des stations de mesure utilisées pour la validation du scénario de la qualité de l'air 2013/Localizzazione delle stazioni di misura utilizzate la validazione dello scenario di qualità dell'aria 2013

La validation du scénario de la qualité de l'air 2013 a été réalisée en comparant les valeurs mesurées par les stations de mesure situées sur le territoire ALCOTRA avec les valeurs simulées par le modèle au niveau des mêmes stations. Les stations de mesure ont été différenciées entre stations de fond, éloignées de toute source de pollution proche, de manière à ce que le degré de pollution ne soit pas influencé par des sources spécifiques (industries, trafic, chauffage résidentiel, etc.) mais par leur contribution associée, et stations de trafic, implantées de manière à ce que le degré de pollution soit principalement influencé par les émissions du trafic des routes à proximité, ayant une intensité de

La validazione dello scenario qualità dell'aria 2013 è stata condotta attraverso il confronto tra i valori misurati dalle stazioni di misura presenti sul territorio ALCOTRA ed i valori simulati dal modello in corrispondenza delle stazioni stesse. Le stazioni di misura sono state distinte tra stazioni di fondo, ubicate in posizione tale che il livello di inquinamento non sia influenzato prevalentemente da specifiche fonti (industrie, traffico, riscaldamento residenziale, etc.) ma dal loro contributo integrato, e stazioni di traffico, ubicate in posizione tale che il livello di inquinamento sia influenzato prevalentemente da emissioni da traffico, provenienti da strade limitrofe con intensità di

trafic « moyenne à élevée ». La base de données de comparaison a été obtenue en faisant la moyenne temporelle des données mesurées sur les cinq années de la période 2011-2015. Pour chaque année, seules les stations ayant au moins 75 % de données valables ont été prises en compte. La comparaison a été faite aussi bien au moyen d'analyses graphiques (diagramme de dispersion, boxplot des distributions) par rapport aux limites fixées par la directive 2008/50/CE (Tableau/Tabella 12) pour les indicateurs de la moyenne annuelle, qu'au moyen de quelques indicateurs de performance utilisés dans la littérature et détaillés dans le Tableau/Tabella 13.

traffico medio alta. La base dati di confronto è stata ottenuta mediando temporalmente i dati misurati nel quinquennio 2011-2015. Per ogni anno sono state considerate solo le stazioni con almeno il 75 % di dati validi. Il confronto è stato realizzato sia con analisi grafiche (scatter plot, boxplot delle distribuzioni) in relazione ai limiti stabiliti dalla Direttiva 2008/50/CE (Tableau/Tabella 12) per gli indicatori di media annuale, sia con alcuni indici di performance utilizzati in letteratura e dettagliati in Tableau/Tabella 13.

Inquinante	Valore limite per la protezione della salute umana
PM10	40 µg/m ³ per la media annua
PM10	50 µg/m ³ per la media giornaliera da non superare più di 35 giorni all'anno
PM2.5	25 µg/m ³ per la media annua
NO ₂	40 µg/m ³ per la media annua
NO ₂	200 µg/m ³ media oraria da non superare per più di 18 volte all'anno
O ₃	120 µg/m ³ come media oraria calcolata su 8h da non superarsi per più di 25 volte all'anno
Polluants	Valeurs limites pour la protection de la santé humaine
PM10	40 µg/m ³ pour la moyenne annuelle
PM10	50 µg/m ³ pour la moyenne journalière à ne pas dépasser plus de 35 jours par an
PM2.5	25 µg/m ³ pour la moyenne annuelle
NO ₂	40 µg/m ³ pour la moyenne annuelle
NO ₂	200 µg/m ³ pour la moyenne horaire à ne pas dépasser plus de 18 fois par an
O ₃	120 µg/m ³ pour la moyenne horaire calculée sur 8 heures à ne pas dépasser plus de 25 fois par

Tableau/Tabella 12 : Limites réglementaires fixées par la directive 2008/50/CE/Limiti normativi stabiliti dalla Direttiva 2008/50/CE

Indice	Descrizione	Formula	Valori di riferimento
Fractional Bias (FB)	indica la tendenza del modello alla sottostima (FB<0) o alla sovrastima (FB>0)	$FB = \frac{\bar{P} - \bar{O}}{0.5 (\bar{P} + \bar{O})}$	[-2,2], valore ottimale 0
Root Mean Square Error (RMSE)	fornisce una indicazione sulla grandezza dell'errore quadratico medio (più si avvicina a 0, migliore è il modello)	$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (P_i - O_i)^2}$	[0, +inf) valore ottimale 0
Normalized Mean Square Error (NMSE)	stima delle differenze tra i valori osservati e quelli simulati	$NMSE = \frac{\sum_{i=1}^N (P_i - O_i)^2}{\bar{P}\bar{O}}$	[0, +inf) valore ottimale 0
Correlation Coefficient	misura della linearità della relazione tra due variabili	$\rho = \frac{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (O_i - \bar{O}) (P_i - \bar{P})}{\sigma_O \sigma_P}$	[-1,1], valore ottimale 1

Indicateur	Description	Formule	Valeur de référence
Fractional Bias (FB)	Indique la tendance du modèle à la sous-estimation (FB<0) ou à la surestimation (FB>0)	$FB = \frac{\bar{P} - \bar{O}}{0.5 (\bar{P} + \bar{O})}$	[-2,2], valeur optimale 0
Root Mean Square Error (RMSE)	Donne une indication de la grandeur de l'erreur quadratique moyenne (plus elle est proche de 0, meilleur est le modèle)	$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (P_i - O_i)^2}$	[0, +inf) valeur optimale 0
Normalized Mean Square Error (NMSE)	Estimation des écarts entre les valeurs observées et les valeurs simulées	$NMSE = \frac{\sum_{i=1}^N (P_i - O_i)^2}{\bar{P}\bar{O}}$	[0, +inf) valeur optimale 0
Correlation Coefficient	Mesure de la liaison linéaire entre deux variables	$\rho = \frac{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (O_i - \bar{O}) (P_i - \bar{P})}{\sigma_O \sigma_P}$	[-1,1], valeur optimale 1

Tableau/Tabella 13 : Liste des indicateurs de performance utilisés/Elenco degli scenari simulati

Les résultats de la validation du scénario de référence sont présentés sous forme de distribution spatiale des valeurs de concentration des polluants et de comparaison entre les valeurs observées et les valeurs simulées grâce à l'utilisation d'indicateurs de qualité. Pour montrer les indicateurs statistiques utilisés, une représentation en

I risultati della validazione dello scenario di riferimento sono riportati in termini di distribuzione spaziale dei valori di concentrazione degli inquinanti e di confronto tra valori osservati e valori simulati attraverso l'utilizzo di indicatori di qualità. Per mostrare gli indici statistici utilizzati, è stata scelta una rappresentazione tramite boxplot per ciascuna regione

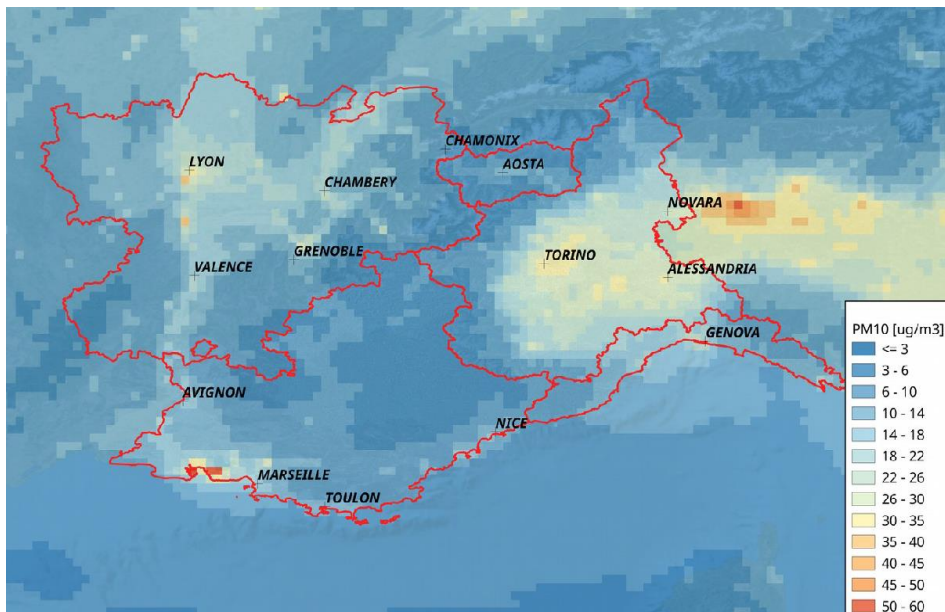
boxplot a été adoptée pour chaque région du territoire ALCOTRA. En outre, les diagrammes de dispersion des valeurs moyennes annuelles sont indiqués. Les valeurs de concentration sont toutes exprimées en $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

ricadente all'interno del territorio ALCOTRA. Vengono inoltre riportati gli scatter plot dei valori medi annuali. I valori di concentrazione sono tutti espressi in $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

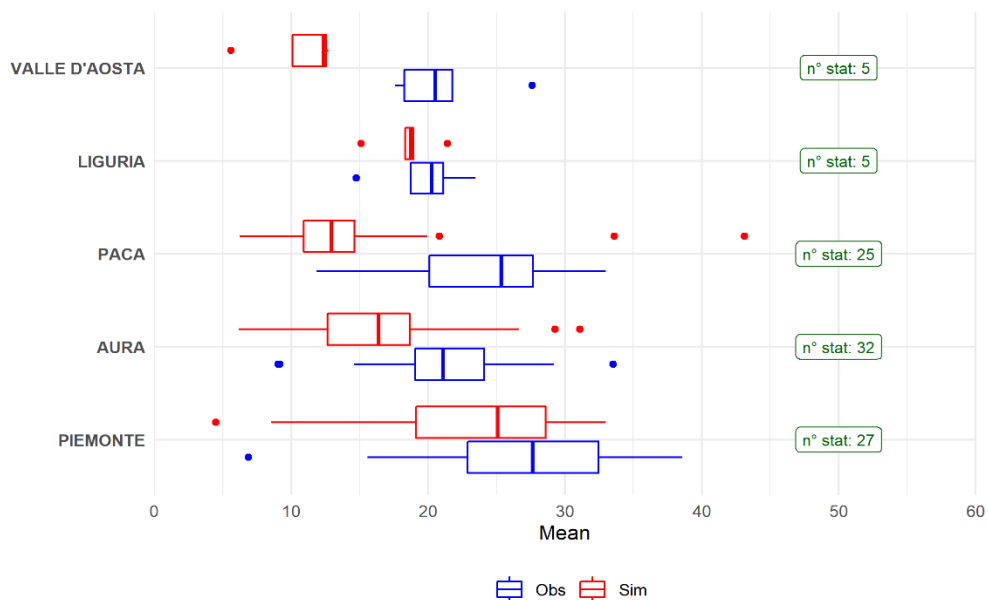
PM10

La **Figure/Figura** 29 montre la distribution spatiale des valeurs de la concentration moyenne annuelle de PM10 dans le domaine ALCOTRA. La carte montre que la valeur limite pour la moyenne annuelle est bien respectée, avec des valeurs plus élevées au niveau des principaux centres urbains (Turin et Lyon notamment) et de la plaine du Piémont.

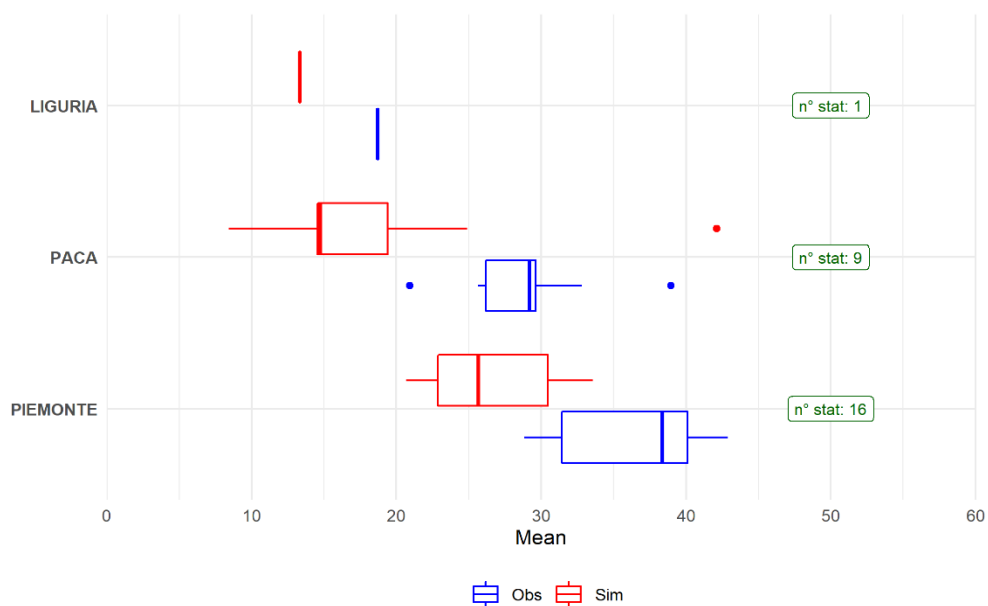
La **Figure/Figura** 29 mostra la distribuzione spaziale dei valori di concentrazione media annuale di PM10 sul dominio ALCOTRA. La mappa mostra un sostanziale rispetto del limite per la media annuale, con valori più elevati in corrispondenza dei principali centri urbani (Torino e Lione in particolare) e della pianura piemontese.



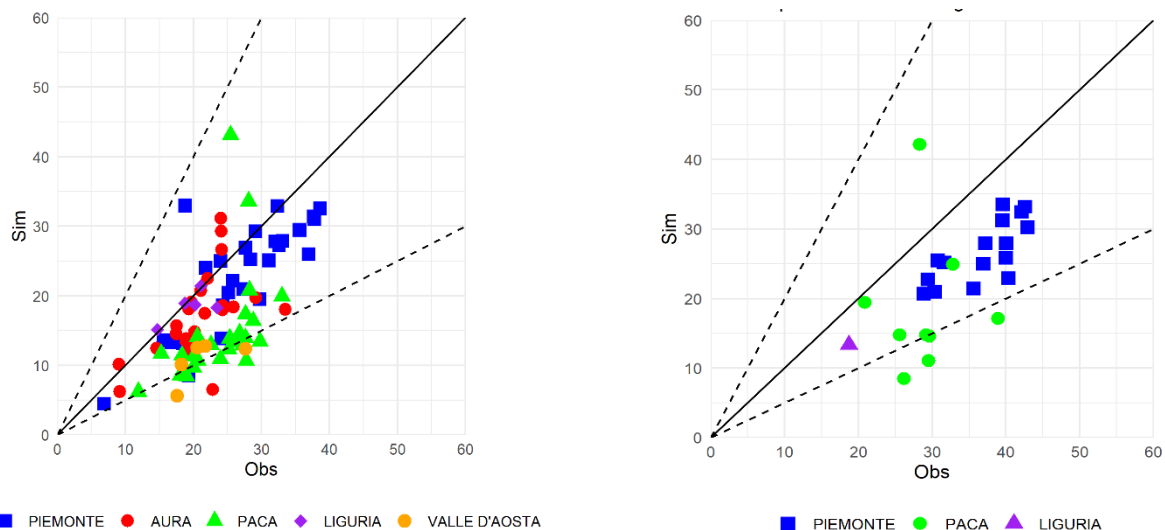
Figure/Figura 29 : Moyenne annuelle de PM10 dans le scénario de la qualité de l'air 2013/Media annuale di PM10 nello scenario di qualità dell'aria 2013



Figure/Figura 30 : Comparaison entre les distributions des moyennes annuelles observées (en bleu) et simulées (en rouge) de PM10 dans les différentes régions du domaine ALCOTRA. Stations de fond/ Confronto tra le distribuzioni delle medie annuali osservate (blu) e simulate (rosse) di PM10 nelle differenti regioni del dominio ALCOTRA. Stazioni di fondo



Figure/Figura 31: Comparaison entre les distributions des moyennes annuelles observées (en bleu) et simulées (en rouge) de PM10 dans les différentes régions du domaine ALCOTRA. Stations de trafic/Confronto tra le distribuzioni delle medie annuali osservate (blu) e simulate (rosse) di PM10 nelle differenti regioni del dominio ALCOTRA. Stazioni di traffico



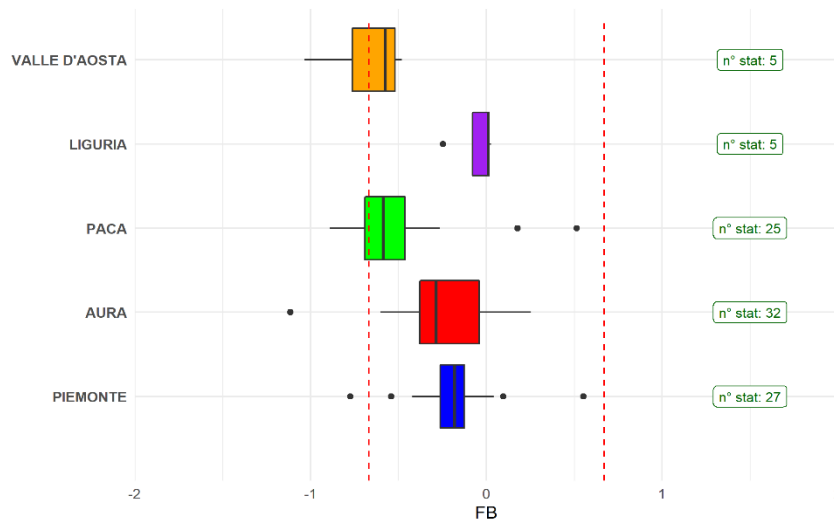
Figure/Figura 32: Diagramme de dispersion des valeurs moyennes annuelles de PM10 pour les stations de fond (à gauche) et les stations de trafic (à droite)/Scatter plot dei valori medi annuali di PM10 per le stazioni di fondo (sinistra) e per quelle di traffico (destra)

La [Figure/Figura 30](#) et la [Figure/Figura 31](#) montrent les comparaisons entre les distributions des valeurs moyennes annuelles de PM10 observées et simulées dans chaque région du territoire ALCOTRA, respectivement pour les seules stations de fond et pour les seules stations de trafic. La même comparaison est représentée par un diagramme de dispersion à la [Figure/Figura 32](#). Les distributions des moyennes annuelles observées indiquent le respect de la valeur limite dans presque toutes les stations, à l'exception de certaines stations de trafic piémontaises. En outre, on constate une tendance générale du modèle à la sous-estimation, les valeurs simulées étant toujours inférieures en médiane aux valeurs observées pour toutes les régions analysées. La sous-estimation semble être plus importante pour les stations

La [Figure/Figura 30](#) e la [Figure/Figura 31](#) mostrano i confronti tra le distribuzioni dei valori di media annuale di PM10 osservati e simulati in ciascuna regione compresa all'interno del territorio ALCOTRA, rispettivamente per le sole stazioni di fondo e per le sole stazioni di traffico. Il medesimo confronto viene mostrato anche attraverso una rappresentazione tramite scatter plot in [Figure/Figura 32](#). Le distribuzioni delle medie annuali osservate indicano il rispetto del valore limite nella quasi totalità delle stazioni, tranne che in alcune stazioni di traffico piemontesi. Inoltre, si osserva una generale tendenza alla sottostima da parte del modello, con valori simulati sempre inferiori in mediana ai valori osservati per tutte le regioni analizzate. La sottostima risulta essere più importante per le stazioni di traffico

de trafic que pour les stations de fond, pour lesquelles l'écart entre les valeurs simulées et les valeurs observées est plus réduit.

rispetto a quelle di fondo, per le quali la differenza tra valori simulati e valori osservati appare più contenuta.



Figure/Figura 33 : Distribution des valeurs de FB pour les PM10 dans les différentes régions du domaine ALCOTRA. Stazioni de fond/Distribuzione dei valori di FB per il PM10 nelle differenti regioni del dominio ALCOTRA. Stazioni di fondo.

L'observation des valeurs du *fractional bias* (Figure/Figura 33) confirme la tendance générale à la sous-estimation (valeurs presque toujours négatives) mais les résultats sont globalement satisfaisants, avec des valeurs de l'indicateur qui restent dans la fourchette [-0,67, +0,67], ce qui, dans la littérature identifie une bonne performance du système. Les meilleures performances en moyenne sont obtenues au Piémont, en Auvergne-Rhône-Alpes (AURA) et en Ligurie, les moins bonnes en Vallée d'Aoste et en Provence-Alpes-Côte d'Azur.

Osservando i valori di fractional bias (Figure/Figura 33) si ha a conferma della tendenza generale alla sottostima (valori quasi sempre negativi) ma i risultati appaiono nel complesso soddisfacenti, con valori dell'indice che si mantengono all'interno della fascia [-0,67,+0,67], che in letteratura individua buone performance del sistema. Le prestazioni migliori in media si ottengono in Piemonte, Auvergne-Rhône-Alpes (AURA) e Liguria, quelle peggiori in Valle d'Aosta e Provence-Alpes-Côte d'Azur.

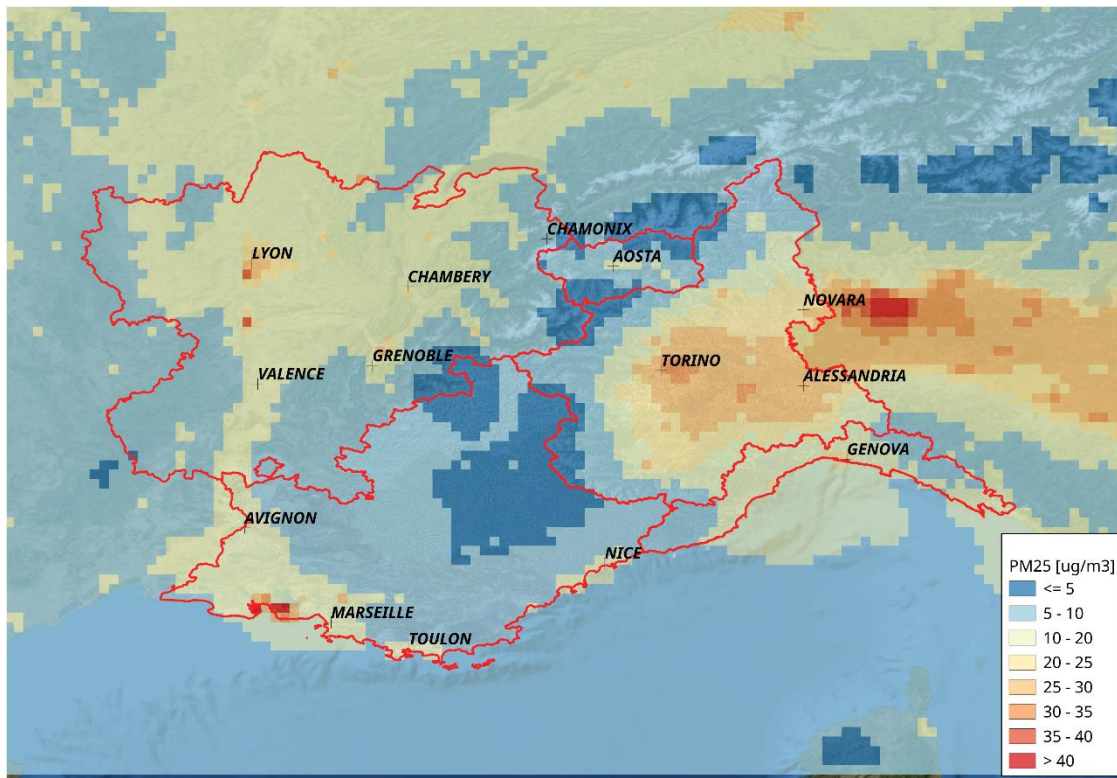
PM2.5

La **Figure/Figura** 34 montre la distribution spatiale des valeurs de concentration moyenne annuelle de PM2.5 : les zones présentant les niveaux de concentration les plus élevés sont, comme pour les PM10, la plaine du Piémont et les principales agglomérations urbaines. Dans ces zones, les concentrations simulées sont proches ou supérieures (au Piémont) à la valeur limite de $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

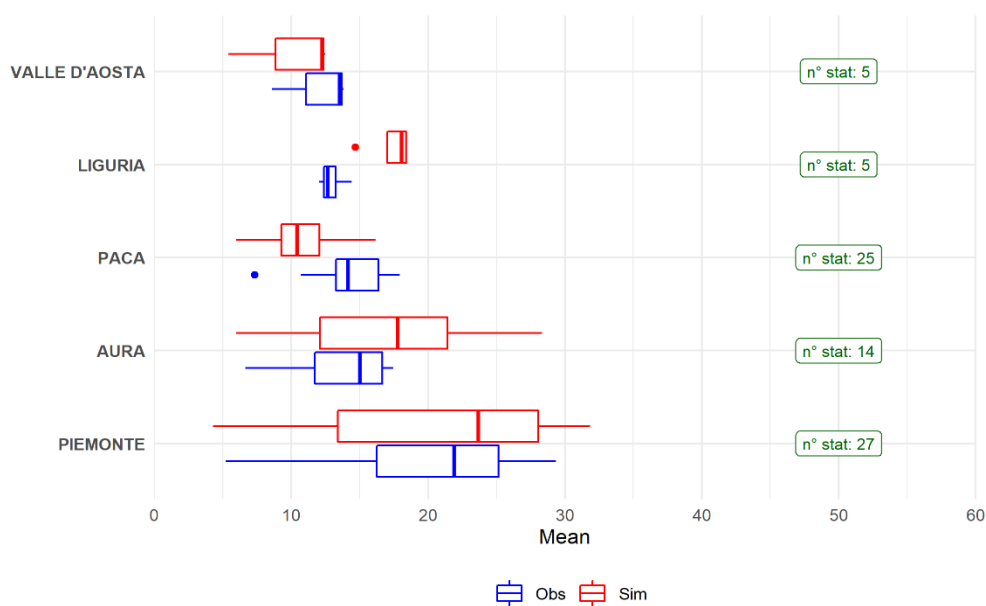
Les comparaisons entre les distributions des valeurs moyennes annuelles de PM2.5 observées et simulées dans chaque région du territoire ALCOTRA (dans la **Figure/Figura** 35 : les boxplot pour les seules stations de fond et dans la **Figure/Figura** 36 : la représentation par diagramme de dispersion) montrent des comportements différents du modèle en fonction de la région considérée : au Piémont, la concordance entre les valeurs observées et simulées est très bonne, avec une légère tendance à surestimer les valeurs les plus élevées, en Auvergne Rhône-Alpes (AURA) et en Ligurie on constate une tendance à la surestimation, très nette en Ligurie, tandis qu'en Provence-Alpes-Côte d'Azur (PACA) et en Vallée d'Aoste, le modèle tend à sous-estimer, surtout dans la région PACA.

La **Figure/Figura** 34 riporta la distribuzione spaziale dei valori di concentrazione media annuale di PM2.5: le zone con i livelli di concentrazione maggiore risultano essere, come per il PM10, la pianura piemontese ed i principali agglomerati urbani. In queste aree le concentrazioni simulate sono prossime o superiori (in Piemonte) al valore limite di $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

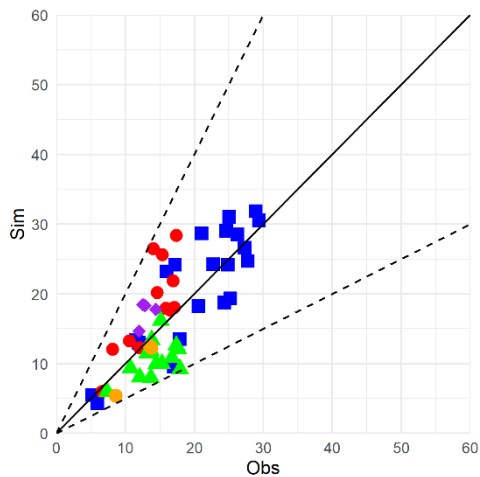
I confronti tra le distribuzioni dei valori di media annuale di PM2.5 osservati e simulati in ciascuna regione compresa all'interno del territorio ALCOTRA (in **Figure/Figura** 35) i boxplot per le sole stazioni di fondo ed in **Figure/Figura** 36 la rappresentazione tramite scatter plot) evidenziano comportamenti differenti del modello a seconda della regione considerata: in Piemonte l'accordo osservato simulato è molto buono, con una lieve tendenza alla sovrastima dei valori più alti, in Auvergne-Rhône-Alpes (AURA) e Liguria si osserva una tendenza alla sovrastima, marcata in Liguria, mentre in Provence-Alpes-Côte d'Azur (PACA) ed in Valle d'Aosta il modello tende a sottostimare, in particolar modo in regione PACA.



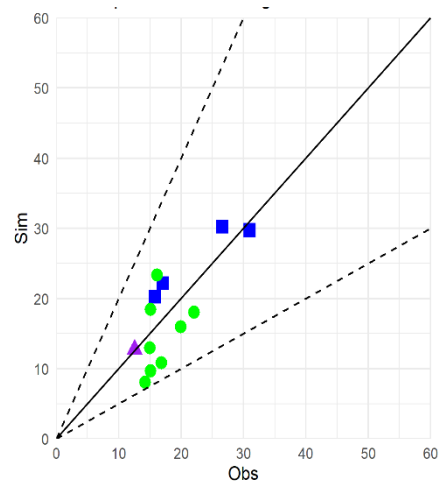
Figure/Figura 34 : Moyenne annuelle de PM2.5 dans le scénario de la qualité de l'air 2013/Media annuale di PM2.5 nello scenario di qualità dell'aria 2013



Figure/Figura 35: Comparaison entre les distributions des moyennes annuelles observées (en bleu) et simulées (en rouge) de PM2.5 dans les différentes régions du domaine ALCOTRA. Stations de fond/Confronto tra le distribuzioni delle medie annuali osservate (blu) e simulate (rosse) di PM2.5 nelle differenti regioni del dominio ALCOTRA. Stazioni di fondo



■ PIEMONTE ● AURA ▲ PACA ◆ LIGURIA ● VALLE D'AOSTA

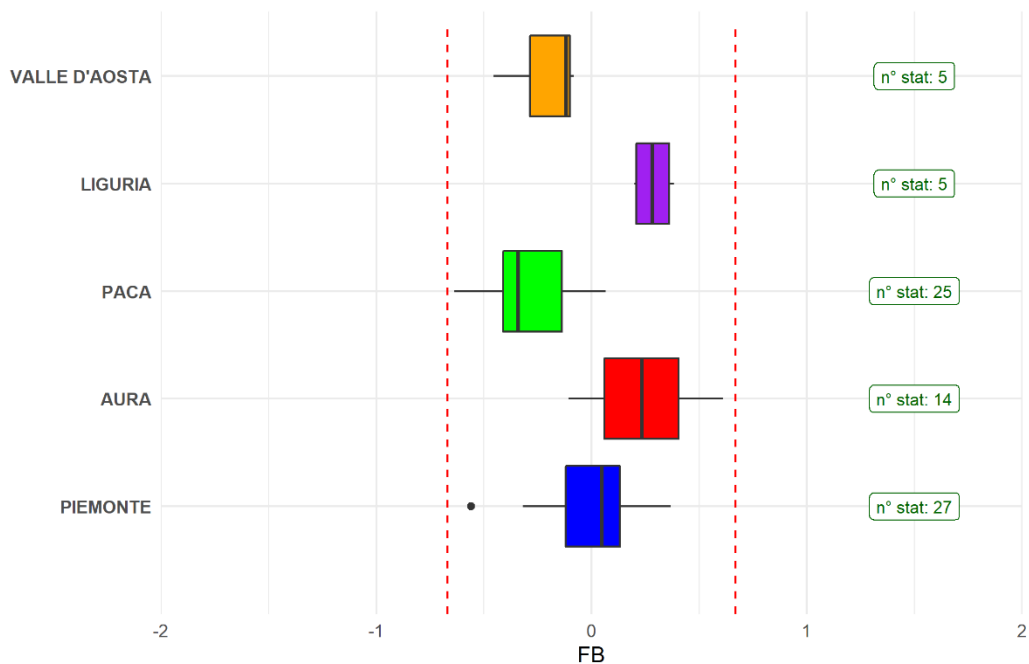


■ PIEMONTE ● PACA ▲ LIGURIA

Figure/Figura 36 : Diagramme de dispersion des valeurs moyennes annuelles de PM2.5 pour les stations de fond (à gauche) et les stations de trafic (à droite)/Scatter plot dei valori medi annuali di PM2.5 per le stazioni di fondo (sinistra) e per quelle di traffico (destra)

Les valeurs de *fractional bias* pour les stations de fond, indiquées à la **Figure/Figura 37**, confirment ce qui précède. De plus, elles montrent une concordance satisfaisante entre les valeurs observées et simulées, restant toujours dans la fourchette $[-0,67, +0,67]$.

I valori di *fractional bias* per le stazioni di fondo, rappresentati in **Figure/Figura 37**, oltre a confermare quanto sopra esposto, mostrano un soddisfacente accordo osservato/simulato mantenendosi sempre all'interno dell'intervallo $[-0,67, +0,67]$.

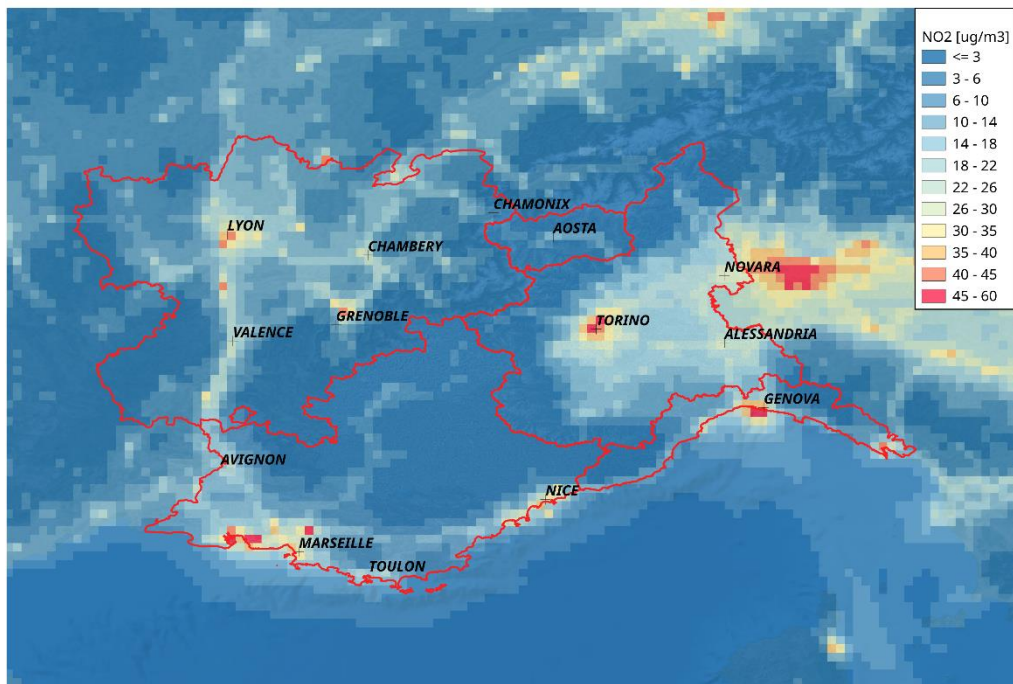


Figure/Figura 37 : Distribution des valeurs de FB pour les PM2.5 dans les différentes régions du domaine ALCOTRA. Stations de fond/Distribuzione dei valori di FB per il PM2.5 nelle differenti regioni del dominio ALCOTRA. Stazioni di fondo

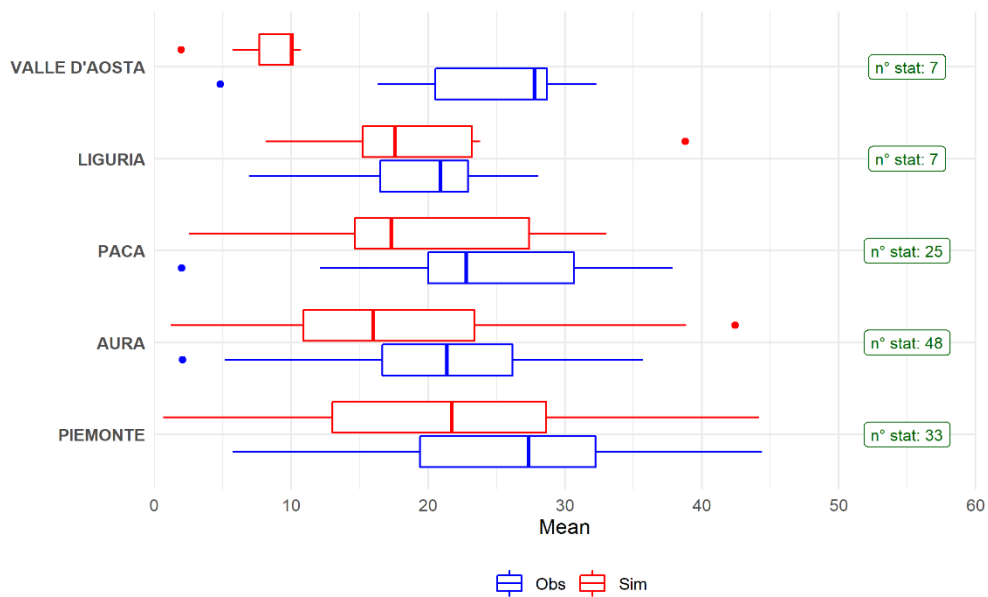
NO₂

La distribution spatiale des valeurs de concentration moyenne annuelle de NO₂ est représentée dans la **Figure/Figura 38**. On constate clairement les écarts entre les grands centres urbains et les principaux axes autoroutiers, où les niveaux simulés de dioxyde d'azote sont proches, et parfois supérieurs à la valeur limite annuelle de 40 µg/m³, et les autres territoires où les concentrations sont beaucoup plus faibles.

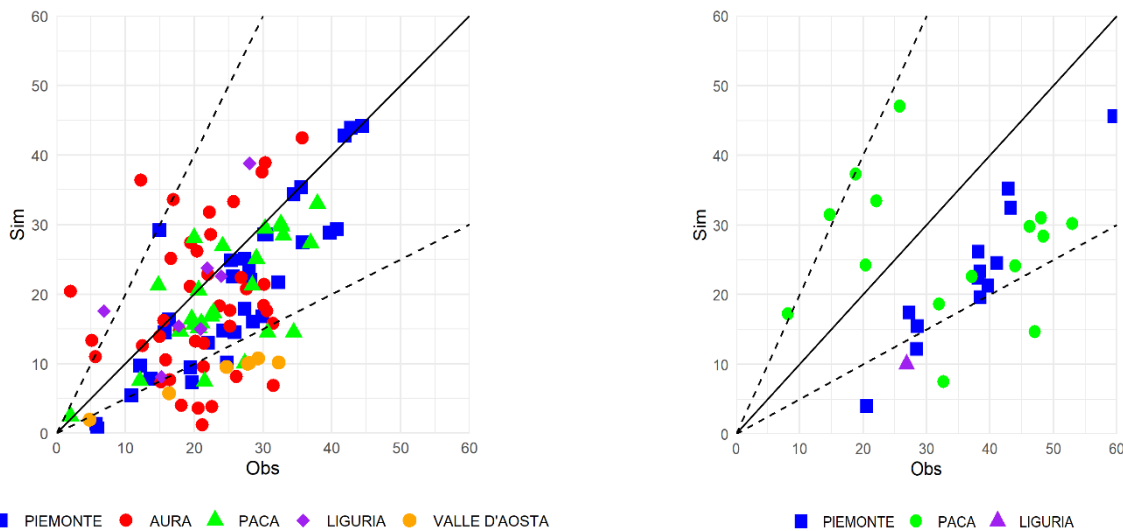
La distribuzione spaziale dei valori di concentrazione media annuale di NO₂ è rappresentata in **Figure/Figura 38**. Sono evidenti le differenze tra i maggiori centri urbani, i principali assi autostradali, dove i livelli di biossido di azoto simulati sono prossimi, ed in alcuni casi superiori al valore limite annuale di 40 µg/m³, e gli altri territori caratterizzati da concentrazioni molto inferiori.



Figure/Figura 38: Moyenne annuelle de NO₂ dans le scénario de la qualité de l'air 2013/Media annuale di NO₂ nello scenario di qualità dell'aria 2013



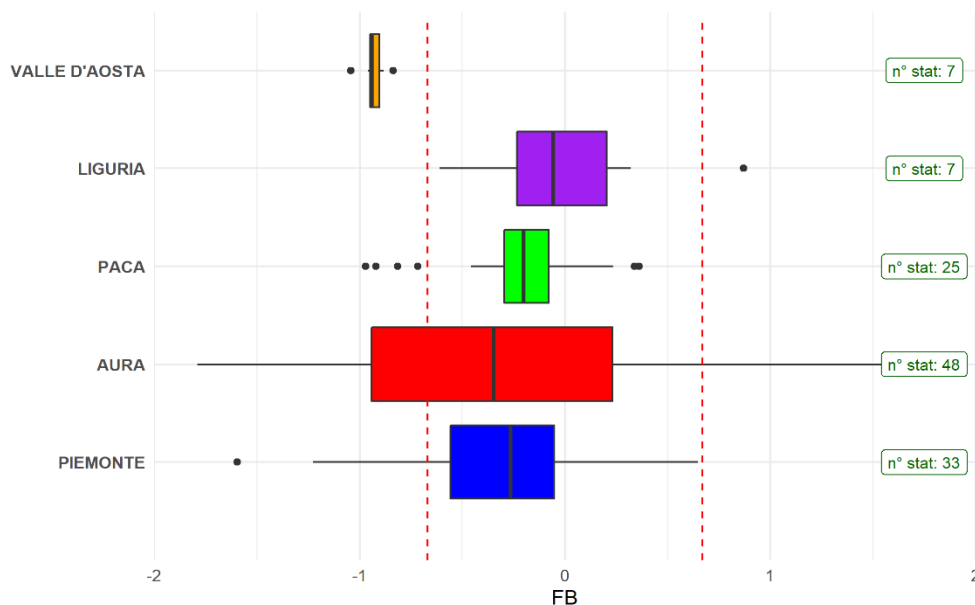
Figure/Figura 39 : Comparaison entre les distributions des moyennes annuelles observées (en bleu) et simulées (en rouge) de NO₂ dans les différentes régions du domaine ALCOTRA. Stations de fond/Confronto tra le distribuzioni delle medie annuali osservate (blu) e simulate (rosse) di NO₂ nelle differenti regioni del dominio ALCOTRA. Stazioni di fondo



Figure/Figura 40: Diagramme de dispersion des valeurs moyennes annuelles de NO₂ pour les stations de fond (à gauche) et les stations de trafic (à droite)/Scatter plot dei valori medi annuali di NO₂ per le stazioni di fondo (sinistra) e per quelle di traffico (destra).

Les comparaisons entre les distributions des valeurs moyennes annuelles de NO₂ observées et simulées dans chaque région du territoire ALCOTRA (Figure/Figura 39 : boxplots pour les stations de fond, Figure/Figura 40 : représentation par diagramme de dispersion) et l'analyse des valeurs des indicateurs statistiques de performance (Figure/Figura 41 : les distributions du *fractional bias* sur les stations de fond) montrent une concordance satisfaisante en moyenne entre le modèle et les observations, toutefois dans un cadre de sous-estimation générale des valeurs médianes. Dans la région AURA, les valeurs de *fractional bias* sont très dispersées et, dans certains cas, en dehors de la plage d'acceptation pour l'indicateur. De plus, dans certains sites, et notamment en PACA et en AURA, il y a une surestimation des observations.

I confronti tra le distribuzioni dei valori di media annuale di NO₂ osservati e simulati in ciascuna regione compresa all'interno del territorio ALCOTRA (in Figure/Figura 39 i boxplot per le sole stazioni di fondo ed in Figure/Figura 40 la rappresentazione tramite scatter plot) e l'analisi dei valori assunti dagli indici statistici di performance (in Figure/Figura 41 le distribuzioni di *fractional bias* sulle stazioni di fondo), evidenziano un soddisfacente accordo in media del modello con le osservazioni, all'interno tuttavia di un quadro di generale sottostima dei valori mediani; in regione AURA i valori di *fractional bias* sono molto dispersi, e, in alcuni casi, al di fuori dell'intervallo di accettabilità per l'indice; inoltre in alcuni siti, tuttavia, in particolar modo in PACA e AURA, si ha una sovrastima delle osservazioni.



Figure/Figura 41: Distribution des valeurs de FB pour NO₂ dans les différentes régions du domaine ALCOTRA. Stazioni di fondo/Distribuzione dei valori di FB per NO₂ nelle differenti regioni del dominio ALCOTRA. Stazioni di fondo

La Vallée d'Aoste est incontestablement la région où les performances du modèle pour le dioxyde d'azote sont les plus mauvaises, avec des sous-estimations marquées : les particularités du relief régional ne sont pas reproduites à la résolution adoptée dans les simulations à l'échelle ALCOTRA (environ 6 km).

La Valle d'Aosta è indubbiamente la regione in cui le performance del modello per il biossido di azoto sono peggiori, con marcate sottostime: le particolarità orografiche della regione non vengono riprodotte alla risoluzione adottata nelle simulazioni a scala ALCOTRA (circa 6 km).

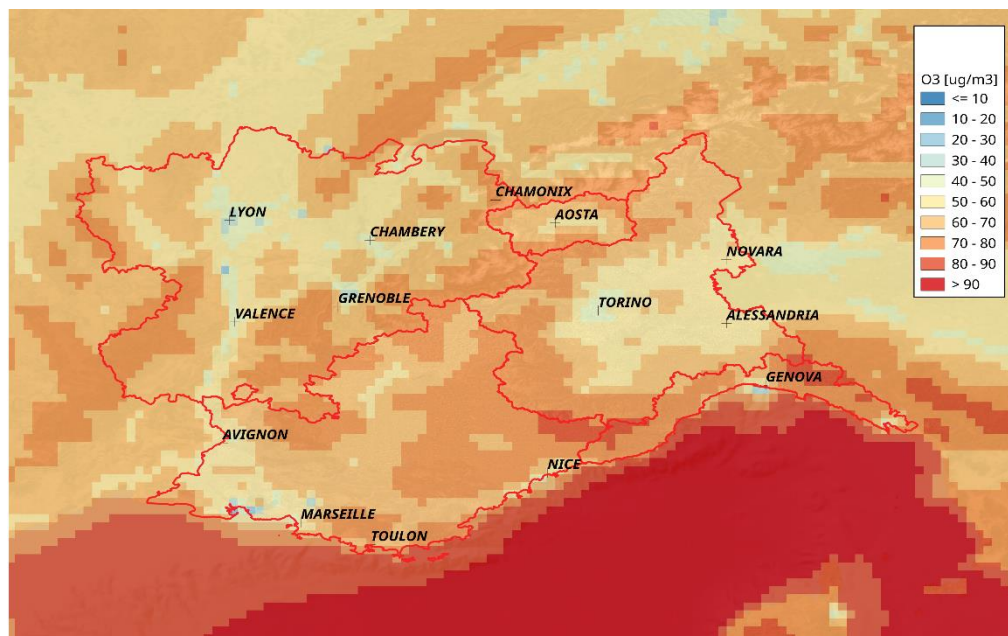
O₃

La distribution spatiale des valeurs de la concentration moyenne annuelle d'ozone dans le territoire ALCOTRA est illustrée à la [Figure/Figura 42](#), tandis que les résultats de la comparaison entre les valeurs observées et simulées pour la moyenne annuelle sont présentés à la [Figure/Figura 43](#) (comparaison des distributions) et à la [Figure/Figura 44](#) (distributions du

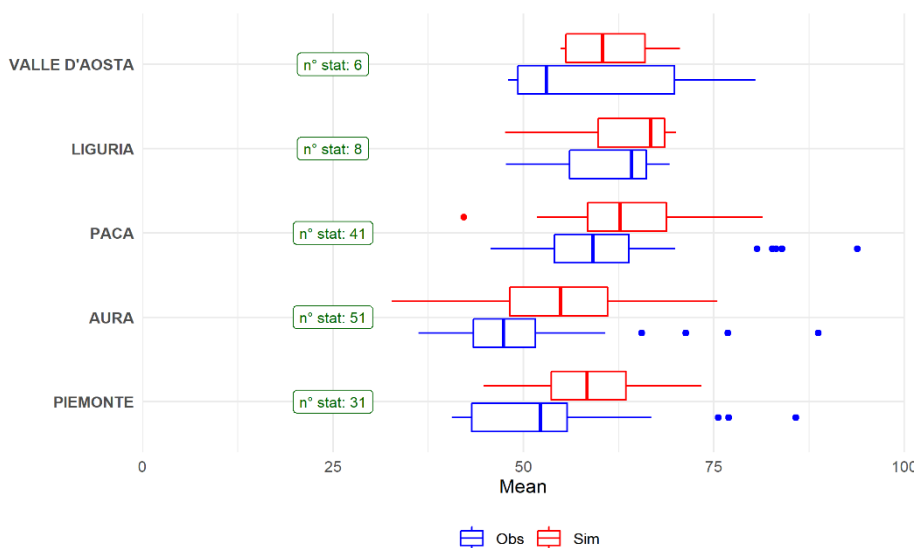
La distribuzione spaziale dei valori di concentrazione media annuale di ozono all'interno dell'area ALCOTRA è riportata in [Figure/Figura 42](#), mentre i risultati del confronto osservato simulato per la media annuale sono rappresentati in [Figure/Figura 43](#) (confronto tra le distribuzioni) e [Figure/Figura 44](#) (distribuzioni del fractional bias). La mappa conferma,

fractional bias). La carte confirme, comme escompté, qu'il s'agit d'un polluant secondaire et ubiquitaire, avec des valeurs homogènes sur tout le territoire et plus faibles dans les principaux centres urbains.

come atteso, la natura secondaria ed ubiquitaria dell'inquinante, con valori omogenei su tutto il territorio ed inferiori nei principali centri urbani.



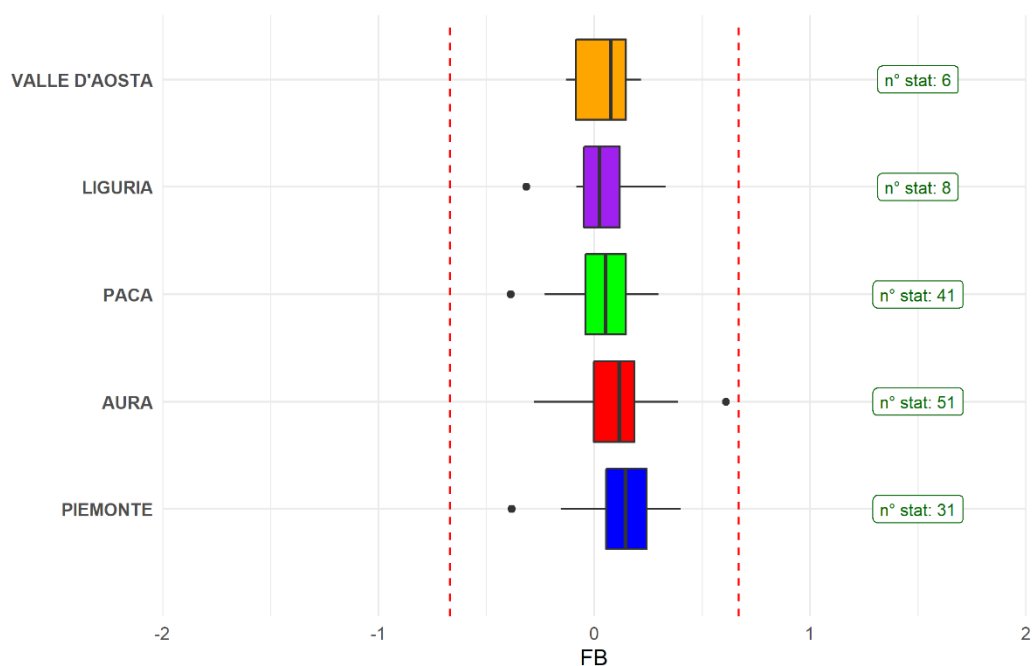
Figure/Figura 42 : Valeurs moyennes annuelles de O₃ dans le scénario de référence 2013 sur le territoire ALCOTRA /Valori della media annuale di O₃ nello scenario di riferimento al 2013 nella regione ALCOTRA



Figure/Figura 43 : Comparaison des valeurs moyennes annuelles d'O₃ entre les données observées et mesurées dans les régions de la zone ALCOTRA pour les stations de fond/Confronto dei valori medi annuali di O₃ tra dati osservati e dati misurati per le regioni dell'area ALCOTRA per le stazioni di fondo

La concordance entre les moyennes observées et les moyennes simulées est bonne dans toutes les régions, mais il existe une tendance générale à la surestimation en médiane des concentrations observées associée à une sous-estimation des valeurs les plus élevées.

L'accordo tra medie osservate e medie simulate è buono in tutte le regioni, si osserva tuttavia una generale tendenza alla sovrastima in mediana delle concentrazioni osservate unita ad una sottostima dei valori più alti.



Figure/Figura 44 : Valeurs du fractional bias (FB) pour l'O₃ dans les régions de la zone ALCOTRA pour les seules stations de fond /Valori del fractional bias (FB) per l'O₃ per le regioni dell'area ALCOTRA per le sole stazioni di fondo

Synthèse des résultats/Sintesi dei risultati

La validation du système de modélisation sur le scénario de référence 2013 pour le domaine ALCOTRA a montré des résultats conformes à ce qui est rapporté dans la littérature pour les simulations de chimie-transport sur des zones au relief complexe, à la résolution adoptée dans les simulations, soit environ 6 km. Il faut également tenir compte de la particularité des simulations effectuées, guidées par un modèle climatique régional opérant sur une période de cinq ans et non par un modèle météorologique opérant sur le temps présent.

Une qualité suffisante a été observée dans la reproduction des valeurs moyennes annuelles, bien que dans un contexte général de sous-estimation des valeurs observées. La sous-estimation est faible dans tous les territoires dont les caractéristiques d'émission et du relief sont correctement reproduites par le système (zones de plaine, grands centres urbains), elle est en revanche plus importante dans les zones où la résolution adoptée ne suffit pas à les décrire (zones alpines, piémonts et zones côtières ou centres urbains de vallée).

Afin de tenir compte de la sous-estimation des valeurs moyennes des concentrations, dans l'analyse des

La validazione del sistema modellistico sulla scenario di riferimento al 2013 per il dominio ALCOTRA ha mostrato risultati in linea con quanto riportato in letteratura per simulazioni di chimica e trasporto su aree ad orografia complessa alla risoluzione adottata nelle simulazioni, ovvero circa 6 km. Occorre inoltre tenere in conto la particolarità delle simulazioni effettuate, guidate da un modello climatico regionale operante su una finestra di cinque anni e non da un modello meteorologico operante sul tempo presente.

Si è osservata una sufficiente qualità nella riproduzione dei valori medi annuali, seppur in un generale contesto di sottostima dei valori osservati. La sottostima è contenuta in tutti i territori le cui caratteristiche emissive ed orografiche sono riprodotte correttamente dal sistema (zone di pianura, grandi centri urbani) ed è invece maggiore nelle zone in cui la risoluzione adottata non è sufficiente a descriverle (zone alpine, zone pedemontane e zone costiere o centri urbani in contesti vallivi).

Tuttavia per tenere conto della sottostima dei valori medi di concentrazioni nell'analisi delle simulazioni di scenario future al 2030

simulations des scénarios futurs 2030 et 2050 on a procédé comme suit.

Tout d'abord, un coefficient de variation k a été calculé pour chaque station, comme étant le rapport entre les valeurs simulées pour 2013 (scénario de base) et les valeurs simulées pour le scénario futur considéré. Dans le scénario futur les valeurs observées au niveau des stations de mesure sont obtenues en multipliant les données observées en 2013 par le coefficient k .

Cette méthodologie est valable dans l'hypothèse où l'erreur moyenne du modèle reste constante, ce qui est plausible, compte tenu des paramètres des simulations. Il a ainsi été possible de comparer les valeurs observées en 2013 avec celles calculées en 2030 et 2050, selon la formule ci-dessous (pour 2030).

ed al 2050 condotte nel progetto, normalizzando i risultati rispetto all'errore compiuto dal sistema nell'ipotesi (plausibile date le impostazioni delle simulazioni) che l'errore medio del modello rimanga costante, è stato calcolato un coefficiente di variazione k rapportando i valori simulati al 2013 (scenario base) con quelli simulati relativi allo scenario futuro considerato ed applicando tale coefficiente di riduzione/incremento ai dati osservati al 2013, ottenendo dei valori osservati in corrispondenza delle stazioni di misura relativi agli scenari futuri.

In tal modo è stato possibile effettuare un confronto tra valori osservati nel 2013, e quelli calcolati nel 2030 e nel 2050, secondo la formula di seguito riportata (per il 2030).

$$k = \frac{C_{sim\ 2013} \cdot C_{sim\ 2030}}{C_{sim\ 2013}} \quad \rightarrow \quad C_{obs\ 2030} = C_{obs\ 2013} - k \cdot C_{obs\ 2013}$$

3.3.2 Scénario tendanciel de la qualité de l'air 2030/Scenario di qualità dell'aria tendenziale 2030

Le scénario de la qualité de l'air tendanciel 2030 (ci-après dénommé scénario S2), a été produit en alimentant le système de modélisation avec le scénario d'émissions tendanciel 2030 (action 3.2.1) et avec le scénario de référence météorologique 2011-2015 (historique), en utilisant les conditions aux limites Prev'Air 2013 sur le domaine CONTINENTAL. Le scénario S2 permet donc d'évaluer l'impact du scénario d'émission tendanciel (CLE, Current Legislation) sur la qualité de l'air à météorologie (et conditions aux limites) constante par rapport au scénario de référence de la qualité de l'air 2013.

La **Figure/Figura** 45 et la **Figure/Figura** 46 montrent la distribution spatiale de l'écart en pourcentage delta entre les concentrations moyennes annuelles du scénario S2 et celles du scénario de la qualité de l'air 2013, selon la formule

$$\Delta = \frac{C_{S1} - C_{S2}}{C_{S1}} \times 100$$

pour les PM10 et le NO₂ respectivement.

Pour ces deux polluants, on observe une diminution générale des concentrations sur l'ensemble du

Lo scenario di qualità dell'aria tendenziale al 2030 (nel seguito scenario S2), è stato prodotto alimentando il sistema modellistico con lo scenario emissivo tendenziale al 2030 (azione 3.2.1) e con lo scenario di riferimento meteorologico 2011-2015 (historical), utilizzando sul dominio CONTINENTALE le condizioni al contorno Prev'Air 2013. Lo scenario S2 pertanto permette di valutare l'impatto dello scenario emissivo tendenziale (CLE, Current Legislation) sulla qualità dell'aria a meteorologia (e condizioni al contorno) costante rispetto allo scenario base di riferimento qualità dell'aria 2013.

La **Figure/Figura** 45 e la **Figure/Figura** 46 mostrano la distribuzione spaziale della differenza percentuale delta tra le concentrazioni medie annuali dello scenario S2 e quelle dello scenario qualità dell'aria 2013, secondo la

rispettivamente per il PM10 e per NO₂.

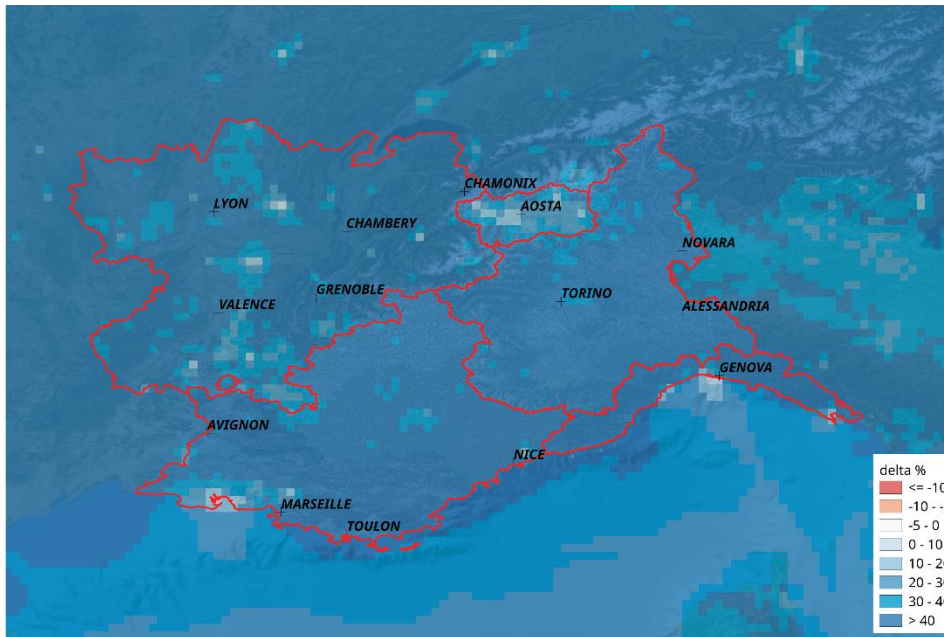
Per entrambi gli inquinanti si osserva una diminuzione generale delle concentrazioni su tutto il dominio di

domaine de calcul : pour les PM10, les plus fortes réductions en pourcentage se situent dans la région AURA, les plus faibles dans la plaine du Piémont et dans les zones de Gênes et de Marseille ; pour le dioxyde d'azote, les plus fortes réductions en pourcentage sont observées au niveau des principaux centres urbains.

calcolo: per il PM10 le riduzioni percentuali maggiori si hanno in regione AURA, quelle minori sulla pianura piemontese, nella zona di Genova e di Marsiglia; per il biossido di azoto le riduzioni percentuali maggiori si osservano in corrispondenza dei principali centri urbani.



Figure/Figura 45 : Distribution spatiale de l'écart en pourcentage entre les concentrations moyennes annuelles de PM10 dans le scénario de la qualité de l'air tendanciel 2030 S2 et le scénario de la qualité de l'air 2013 S1. Les écarts positifs (dans les tons de bleu) indiquent des concentrations plus faibles dans le scénario S2 par rapport à S1, les écarts négatifs (dans les tons de rouge) l'inverse/Distribuzione spaziale della differenza percentuale tra le concentrazioni medie annuali di PM10 nello scenario qualità dell'aria tendenziale 2030 S2 e scenario qualità dell'aria 2013 S1. Differenze positive (in gradazioni di blu) indicano concentrazioni inferiori nello scenario S2 rispetto ad S1, differenze negative (gradazioni di rosso) il contrario



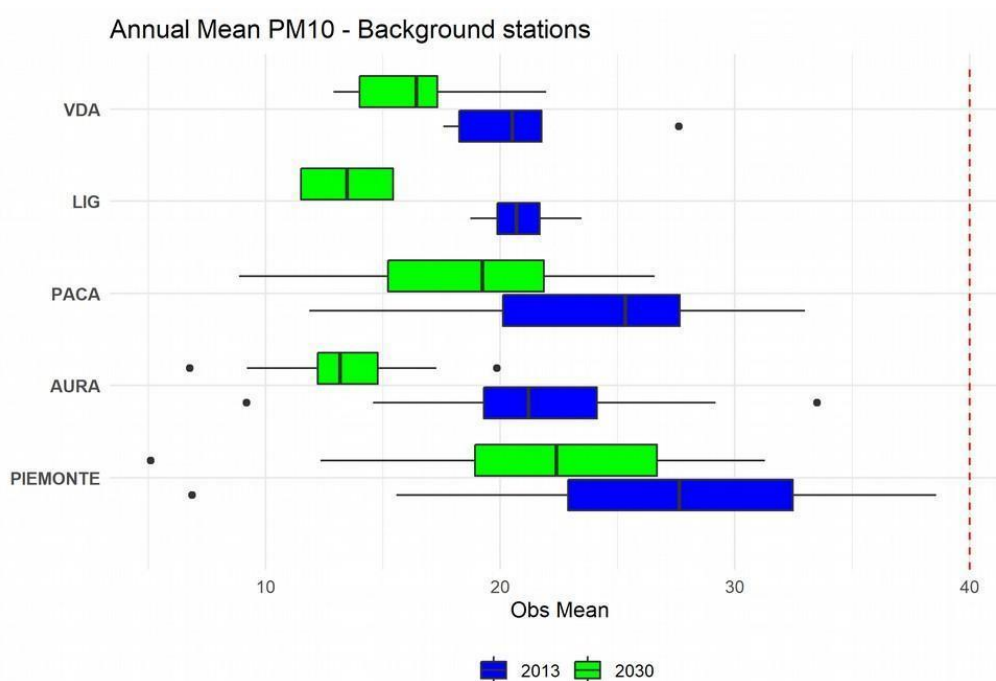
Figure/Figura 46 : Distribution spatiale de l'écart en pourcentage entre les concentrations moyennes annuelles de NO₂ dans le scénario de la qualité de l'air tendanciel 2030 S2 et le scénario de la qualité de l'air 2013 S1. Les écarts positifs (dans les tons de bleu) indiquent des concentrations plus faibles dans le scénario S2 par rapport à S1, les écarts négatifs (dans les tons de rouge) l'inverse/Distribuzione spaziale della differenza percentuale tra le concentrazioni medie annuali di PM10 nello scenario qualità dell'aria tendenziale 2030 S2 e scenario qualità dell'aria 2013 S1. Differenze positive (in gradazioni di blu) indicano concentrazioni inferiori nello scenario S2 rispetto ad S1, differenze negative (gradazioni di rosso) il contrario

Les figures suivantes [Figure/Figura 47](#), [Figure/Figura 48](#), [Figure/Figura 49](#) et [Figure/Figura 50](#) montrent, respectivement pour les PM10, les PM2.5, le NO₂ et l'O₃, les distributions des concentrations observées au cours de la période de référence 2011-2015 et celles calculées, en utilisant l'algorithme décrit au [paragraphe 3.3.1](#) ci-dessus, pour le scénario S2. Comme décrit pour les cartes, les concentrations diminuent dans toutes les stations considérées, à la fois de fond et de trafic, pour les particules et le dioxyde d'azote, pour ce dernier on observe cependant encore quelques dépassements de la valeur limite dans certaines stations

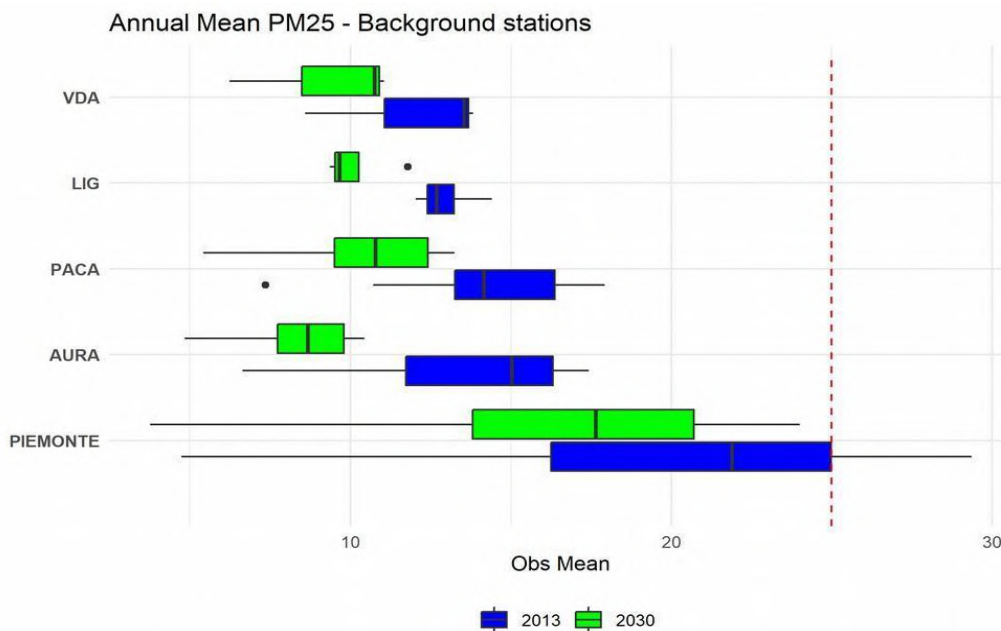
Nelle successive [Figure/Figura 47](#), [Figure/Figura 48](#), [Figure/Figura 49](#) e [Figure/Figura 50](#) sono riportate, rispettivamente per PM10, PM25, NO₂ ed O₃, le distribuzioni delle concentrazioni osservate nel periodo di riferimento 2011-2015 e di quelle calcolate, secondo l'algoritmo descritto nel precedente [paragrafo 3.3.1](#), per lo scenario S2. Si conferma quanto descritto per le mappe: le concentrazioni diminuiscono su tutte le stazioni considerate, sia fondo che traffico, per il particolato e per il biossido di azoto, per il quale tuttavia permangono dei superamenti del valore limite in qualche stazioni di traffico di Piemonte, AURA e PACA.

de trafic au Piémont, en AURA et en PACA. L'ozone, en revanche, affiche une évolution inverse : il n'y a pas de grandes variations entre les deux scénarios, mais on observe une tendance générale à la hausse des concentrations moyennes annuelles dans le scénario S2.

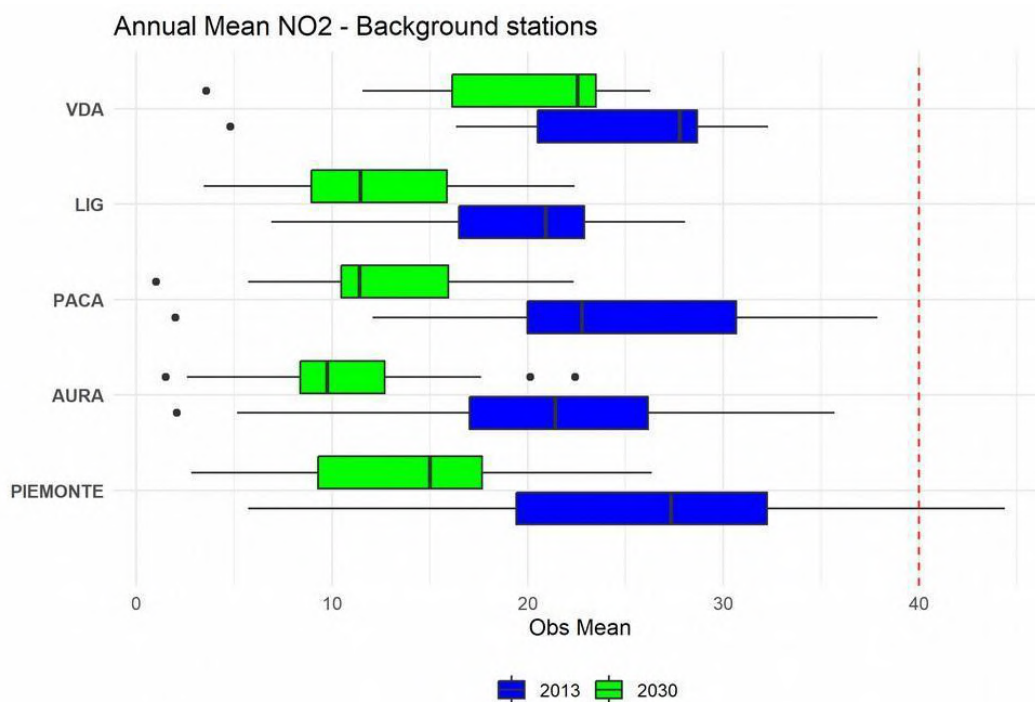
L'ozono mostra invece un comportamento in controtendenza: non si hanno grandi variazioni tra i due scenari, ma con una generale tendenza all'aumento delle concentrazioni medie annuali nello scenario S2.



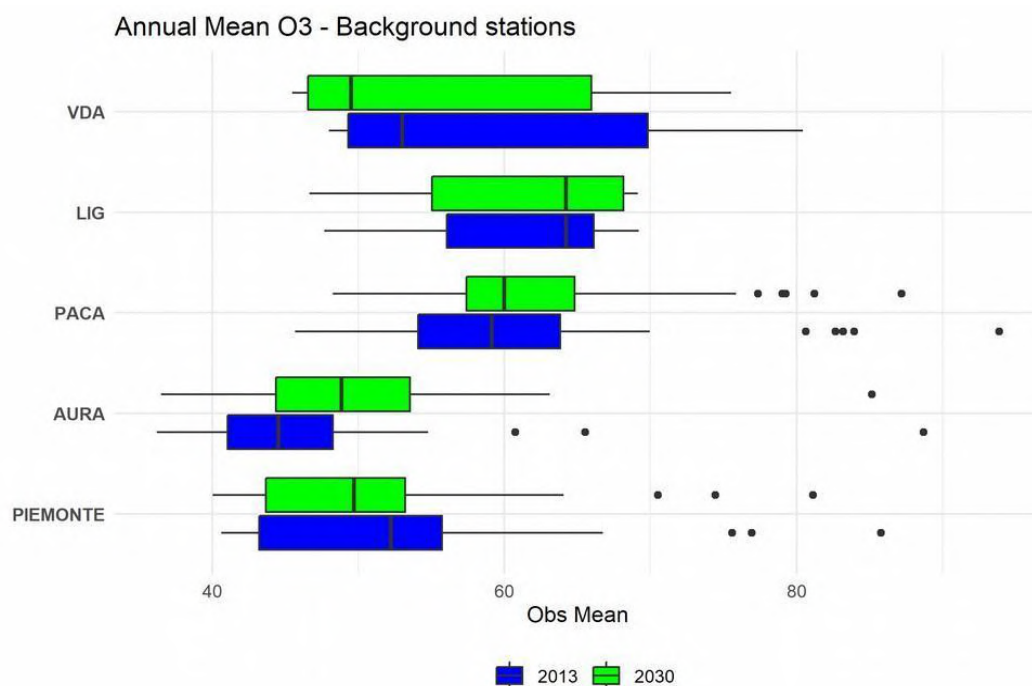
Figure/Figura 47: Distribution des concentrations moyennes annuelles de PM10 observées dans la période de référence et dans la période 2028-2032 (2030)/Distribuzione delle concentrazioni medie annuali osservate nel periodo di riferimento e nel periodo 2028-2032 (2030) per il PM10



Figure/Figura 48 : Distribution des concentrations moyennes annuelles de PM_{2.5} observées dans la période de référence et dans la période 2028-2032 (2030)/Distribuzione delle concentrazioni medie annuali osservate nel periodo di riferimento e nel periodo 2028-2032 (2030) per il PM_{2.5}



Figure/Figura 49 : Distribution des concentrations moyennes annuelles de NO₂ observées dans la période de référence et dans la période 2028-2032 (2030)/Distribuzione delle concentrazioni medie annuali osservate nel periodo di riferimento e nel periodo 2028-2032 (2030) per NO₂



Figure/Figura 50 : Distribution des concentrations moyennes annuelles d'O₃ observées dans la période de référence et dans la période 2028-2032 (2030)/Distribuzione delle concentrazioni medie annuali osservate nel periodo di riferimento e nel periodo 2028-2032 (2030) per O₃

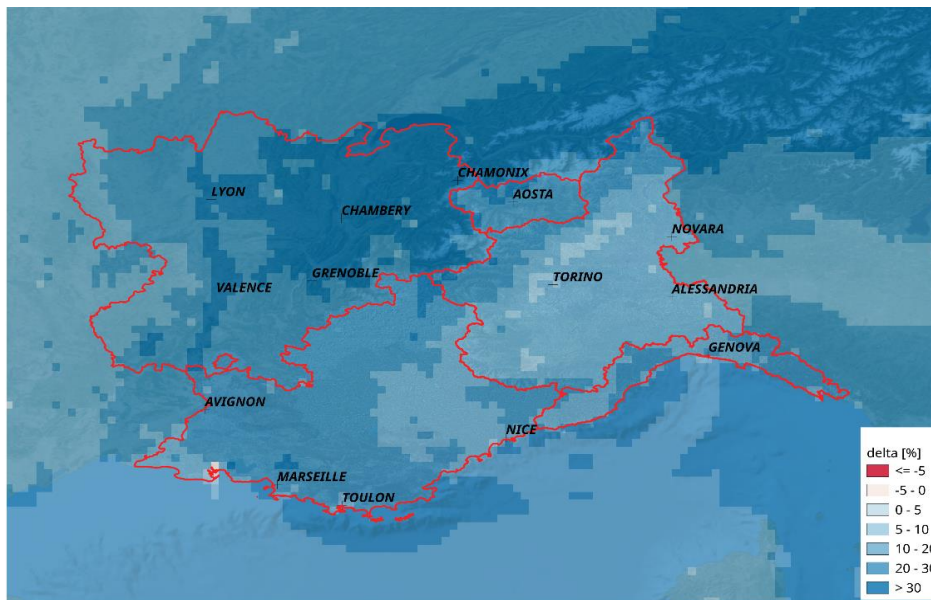
3.3.3 Scénario futur de la qualité de l'air 2030/Scenario di qualità dell'aria futuro 2030

Le scénario de qualité de l'air futur 2030 (ci-après appelé scénario S3) a été obtenu en utilisant le scénario d'émissions tendanciel 2030 (action 3.2.1) et le scénario climatique *near future* 2028-2032, avec conditions aux limites Prev'Air 2013; il est ainsi possible d'évaluer l'effet combiné de la réduction des émissions prévue par la législation en vigueur avec la météorologie prévue en 2030 dans le scénario RCP4.5.

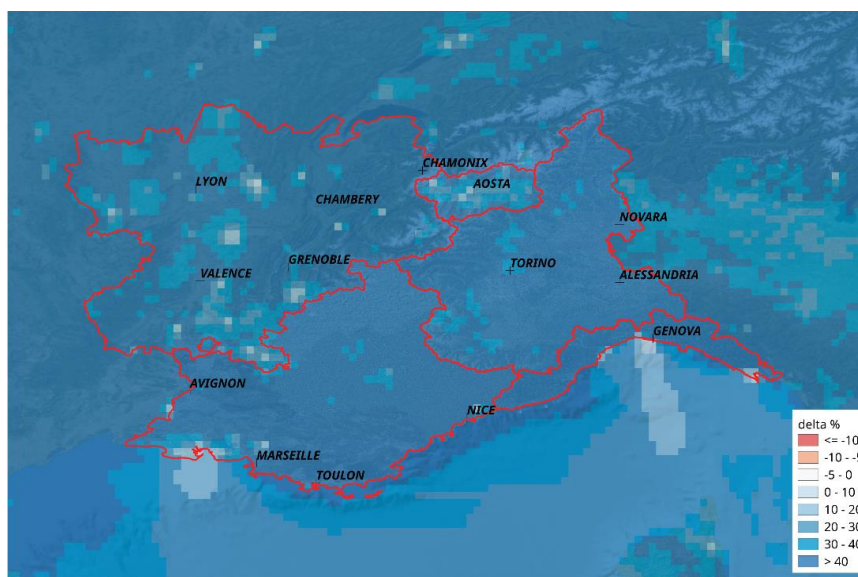
La **Figure/Figura** 51 et la **Figure/Figura** 52 montrent, respectivement pour les PM10 et le NO₂, la distribution spatiale de la variation en pourcentage de la moyenne annuelle entre le scénario S3 et le scénario de référence S1. La variation en pourcentage est calculée comme décrit dans le paragraphe précédent. Comme déjà souligné pour le scénario tendanciel S2, on observe une réduction des valeurs des concentrations dans toute la zone examinée, avec des pourcentages de réduction plus élevés pour les PM10 dans la région AURA et pour le dioxyde d'azote au niveau des principaux centres urbains.

Lo scenario di qualità dell'aria futuro 2030 (nel seguito scenario S3) è stato ottenuto utilizzando lo scenario emissivo tendenziale al 2030 (azione 3.2.1) e lo scenario climatico *near future* 2028-2032, con condizioni al contorno Prev'Air 2013; consente quindi di valutare l'effetto combinato della riduzione delle emissioni prevista dalla legislazione corrente con la meteorologia prevista al 2030 nello scenario RCP4.5.

La **Figure/Figura** 51 e la **Figure/Figura** 52 mostrano, rispettivamente per PM10 ed NO₂, la distribuzione spaziale della variazione percentuale della media annuale tra lo scenario S3 e lo scenario base di riferimento S1. La variazione percentuale è calcolata come descritto nel precedente paragrafo. Come già evidenziato per lo scenario tendenziale S2 si osserva una riduzione dei valori di concentrazione in tutta l'area esaminata, con riduzioni percentuali maggiori che per il PM10 si localizzano in regione AURA, mentre per il biossido di azoto in corrispondenza dei principali centri urbani.



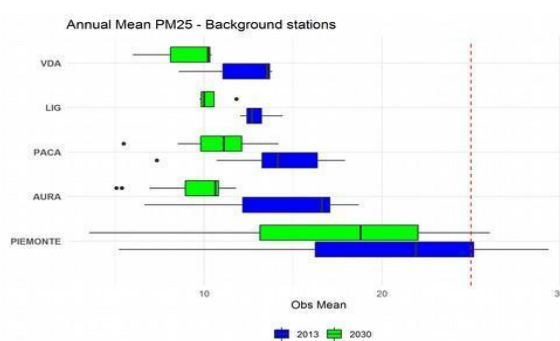
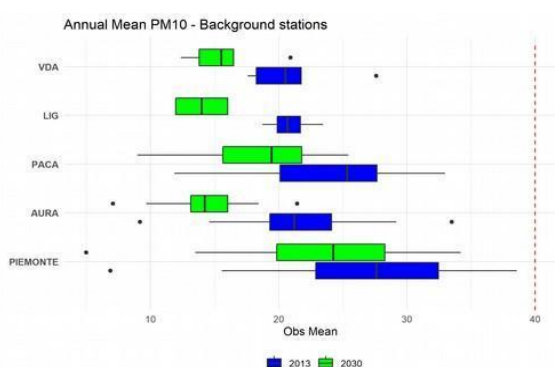
Figure/Figura 51 : Distribution spatiale de l'écart en pourcentage entre les concentrations moyennes annuelles des PM10 dans le scénario de la qualité de l'air futur 2030 S3 et le scénario de la qualité de l'air 2013 S1. Les écarts positifs (dans les tons de bleu) indiquent des concentrations plus faibles dans le scénario S3 par rapport à S1, les écarts négatifs (dans les tons de rouge) l'inverse/Distribuzione spaziale della differenza percentuale tra le concentrazioni medie annuali di PM10 nello scenario qualità dell'aria futuro 2030 S3 e scenario qualità dell'aria 2013 S1. Differenze positive (in gradazioni di blu) indicano concentrazioni inferiori nello scenario S3 rispetto ad S1, differenze negative (gradazioni di rosso) il contrario



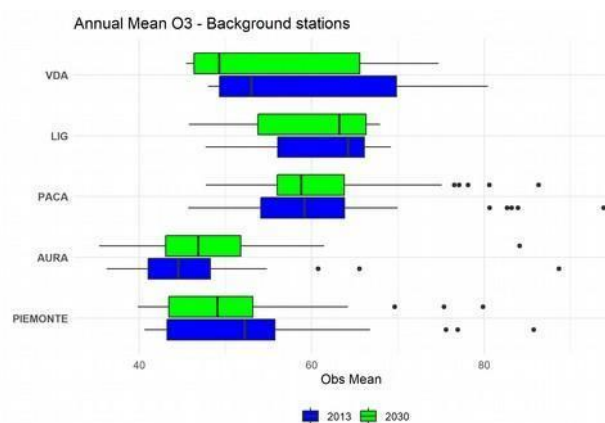
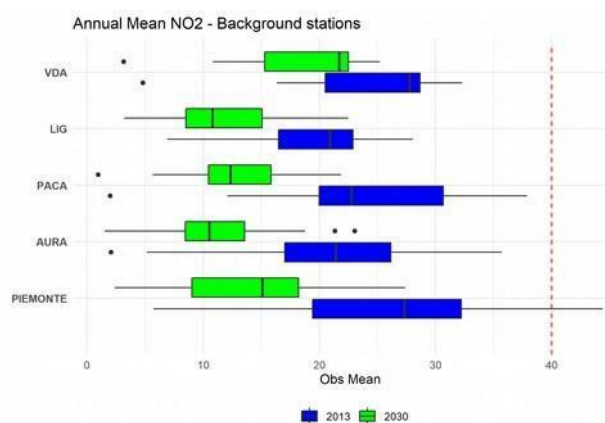
Figure/Figura 52: Distribution spatiale de l'écart en pourcentage entre les concentrations moyennes annuelles de NO₂ dans le scénario de la qualité de l'air futur 2030 S3 et le scénario de la qualité de l'air 2013 S1. Les écarts positifs (dans les tons de bleu) indiquent des concentrations plus faibles dans le scénario S3 par rapport à S1, les écarts négatifs (dans les tons de rouge) l'inverse/Distribuzione spaziale della differenza percentuale tra le concentrazioni medie annuali di PM10 nello scenario qualità dell'aria futuro 2030 S3 e scenario qualità dell'aria 2013 S1. Differenze positive (in gradazioni di blu) indicano concentrazioni inferiori nello scenario S3 rispetto ad S1, differenze negative (gradazioni di rosso) il contrario

On parvient aux mêmes conclusions en comparant les concentrations moyennes annuelles observées en 2013 et dans le scénario S3, indiquées à la **Figure/Figura 53** pour les PM10 et les PM2.5 et à la **Figure/Figura 54** pour le NO₂ et l'O₃. Pour l'ozone, comme pour le scénario S2, les concentrations moyennes annuelles varient peu, avec une tendance générale à la hausse dans le scénario S3.

Le medesime conclusioni si ottengono confrontando le concentrazioni medie annuali osservate nel 2013 e nello scenario S3 riportate in **Figure/Figura 53** per PM10 e PM2.5 ed in **Figure/Figura 54** per NO₂ ed O₃. Per l'ozono, come già nello scenario S2, le concentrazioni medie annuali mostrano poche variazioni, con generale tendenza all'aumento nello scenario S3.



Figure/Figura 53 : Distribution des concentrations moyennes annuelles de PM10 (à gauche) et de PM2.5 (à droite) observées dans la période de référence et dans la période 2028-2032 (2030, scénario S3)/Distribuzione delle concentrazioni medie annuali osservate nel periodo di riferimento e nel periodo 2028-2032 (2030, scenario S3) per il PM10 a sinistra e PM2.5 a destra



Figure/Figura 54 : Distribution des concentrations moyennes annuelles de NO₂ (à gauche) et O₃ (à droite) observées dans la période de référence et dans la période 2028-2032 (2030, scénario S3)/Distribuzione delle concentrazioni medie annuali osservate nel periodo di riferimento e nel periodo 2028-2032 (2030, scenario S3) per NO₂ a sinistra ed O₃ a destra

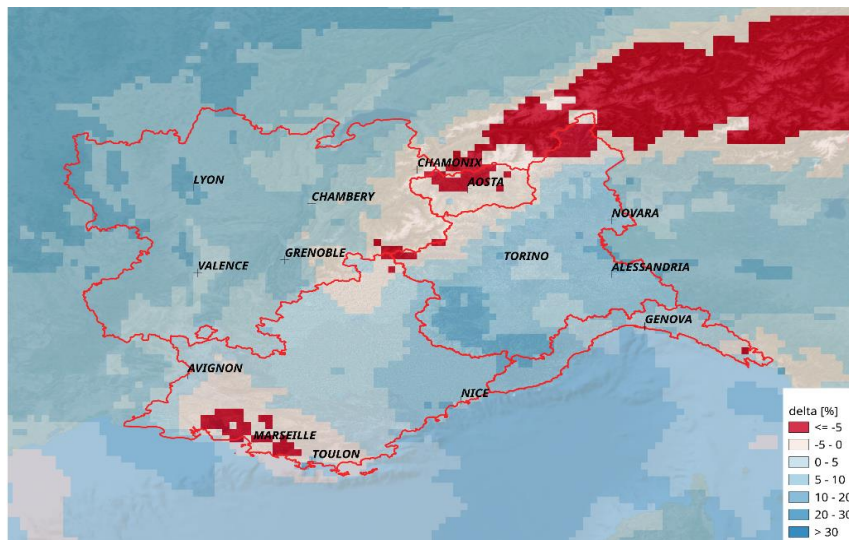
Une comparaison plus détaillée des résultats obtenus pour les scénarios S2 et S3 montre que les variations en pourcentage pour tous les polluants sont plus faibles presque partout dans le scénario de la qualité de l'air futur 2030 par rapport au scénario tendanciel 2030. La **Figure/Figura 55** montre la carte du pourcentage de réduction calculé selon la formule suivante :

$$\Delta = \frac{C_{S3} - C_{S2}}{C_{S3}} \times 100$$

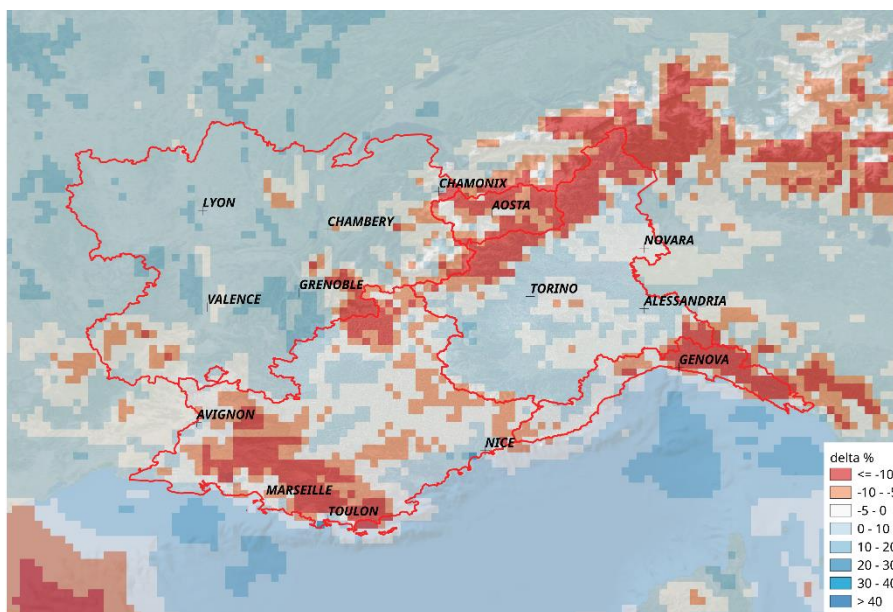
pour les PM10. Sur la quasi-totalité du domaine ALCOTRA, à l'exception des zones alpines et de la zone située entre Avignon, Marseille et Toulon, les concentrations dans le scénario S3 sont plus élevées que dans le scénario S2. Pour le dioxyde d'azote on arrive à des conclusions similaires, cf. la carte de l'écart en pourcentage à la **Figure/Figura 56**.

Confrontando più in dettaglio i risultati ottenuti per gli scenari S2 ed S3 si può osservare che le variazioni percentuali sono, per tutti gli inquinanti, minori quasi ovunque nello scenario futuro di qualità dell'aria al 2030 rispetto allo scenario tendenziale 2030. La **Figure/Figura 55** e la mostra la mappa della riduzione percentuale calcolata secondo la seguente:

per il PM10. Su quasi tutto il dominio ALCOTRA, ad eccezione delle zone alpine e della zona compresa tra Avignone, Marsiglia e Tolone, le concentrazioni dello scenario S3 risultano essere più alte di quello dello scenario S2. Per il biossido di azoto, la cui mappa di differenza percentuale è mostrata in **Figure/Figura 56**, si ottengono analoghe conclusioni.



Figure/Figura 55 : Distribution spatiale de l'écart en pourcentage entre les concentrations moyennes annuelles de PM10 dans le scénario de la qualité de l'air futur 2030 S3 et le scénario de la qualité de l'air tendanciel 2030 S2. Les écarts positifs (dans les tons de bleu) indiquent des concentrations plus faibles dans le scénario S2 par rapport à S3, les écarts négatifs (dans les tons de rouge) l'inverse/Distribuzione spaziale della differenza percentuale tra le concentrazioni medie annuali di PM10 nello scenario qualità dell'aria futuro 2030 S3 e scenario qualità dell'aria tendenziale 2030 S2. Differenze positive (in gradazioni di blu) indicano concentrazioni inferiori nello scenario S2 rispetto ad S3, differenze negative (gradazioni di rosso) il contrario



Figure/Figura 56 : Distribution spatiale de l'écart en pourcentage entre les concentrations moyennes annuelles de NO₂ dans le scénario de la qualité de l'air futur 2030 S3 et le scénario de la qualité de l'air tendanciel 2030 S2. Les écarts positifs (dans les tons de bleu) indiquent des concentrations plus faibles dans le scénario S2 par rapport à S3, les écarts négatifs (dans les tons de rouge) l'inverse/Distribuzione spaziale della differenza percentuale tra le concentrazioni medie annuali di NO₂ nello scenario qualità dell'aria futuro 2030 S3 e scenario qualità dell'aria tendenziale 2030 S2. Differenze positive (in gradazioni di blu) indicano concentrazioni inferiori nello scenario S2 rispetto ad S3, differenze negative (gradazioni di rosso) il contrario.

Ces différences ne sont toutefois pas statistiquement significatives dans l'ensemble du domaine. Par conséquent, afin d'évaluer séparément l'effet des variations des émissions et des conditions météorologiques, il a été nécessaire de réaliser une analyse de sensibilité qui a nécessité l'exécution d'une simulation supplémentaire concernant le scénario de la qualité de l'air de contrôle à 2030 (ci-après S4). Ce scénario a été obtenu en utilisant le scénario d'émissions tendanciel 2030 et le scénario météorologique de référence 2011-2015 (historique), toujours avec conditions aux limites Prev'Air 2013.

En indiquant par :

- C_0 la concentration moyenne annuelle du scénario de la qualité de l'air 2013 S1,
- C_E la concentration moyenne annuelle du scénario de la qualité de l'air tendanciel 2030 S2,
- C_M la concentration moyenne annuelle du scénario de la qualité de l'air de contrôle 2030 S4,
- C_{EM} la concentration moyenne annuelle du scénario de la qualité de l'air futur 2030 S5,

il est possible d'écrire :

$$\Delta C_E = C_E - C_0, \Delta C_M = C_M - C_0, \Delta C_{EM} = C_{EM} - C_0$$

D'où/da cui:

$$\Delta C_{EM} = \Delta C_E + \Delta C_M + C_{int_{EM}}$$

Et pour terminer/ed infine:

Tali differenze, tuttavia, non risultano essere statisticamente significative su tutto il dominio. Per poter quindi valutare separatamente l'effetto delle variazioni emissive e delle variazioni meteorologiche è stato necessario effettuare un'analisi di sensitività che ha richiesto l'esecuzione di un'ulteriore simulazione riguardante lo scenario di qualità dell'aria di controllo al 2030 (nel seguito S4), ottenuto utilizzando lo scenario emissivo tendenziale al 2030 lo scenario di riferimento meteorologico 2011-2015 (historical), sempre con condizioni al contorno Prev'Air 2013.

Indicando con:

- C_0 la concentrazione media annuale dello scenario qualità dell'aria 2013 S1,
- C_E la concentrazione media annuale dello scenario qualità dell'aria tendenziale 2030 S2,
- C_M la concentrazione media annuale dello scenario qualità dell'aria di controllo 2030 S4,
- C_{EM} la concentrazione media annuale dello scenario qualità dell'aria futuro 2030 S5,

è possibile scrivere:

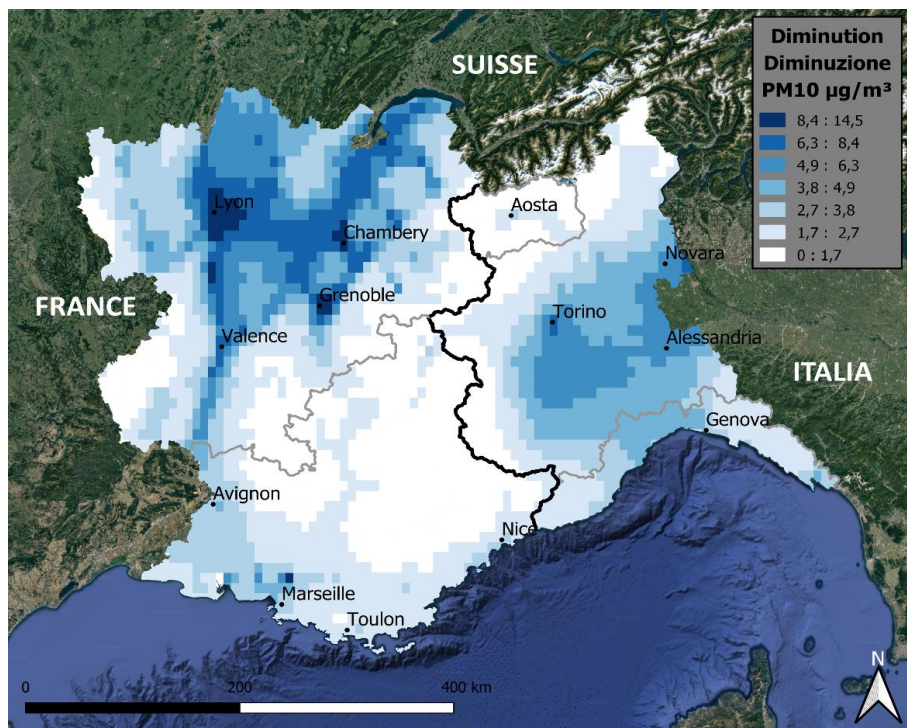
$$\frac{\Delta C_E}{\Delta C_{EM}} + \frac{\Delta C_M}{\Delta C_{EM}} + \frac{Cint_{EM}}{\Delta C_{EM}} = 1$$

Le terme d'interaction $Cint_{EM}$ est négligeable par rapport aux autres, donc les quantités ΔC_E et ΔC_M représentent respectivement la contribution des variations d'émissions (à météorologie constante) et la contribution des variations météorologiques (à émissions constantes) à la variation totale de la concentration.

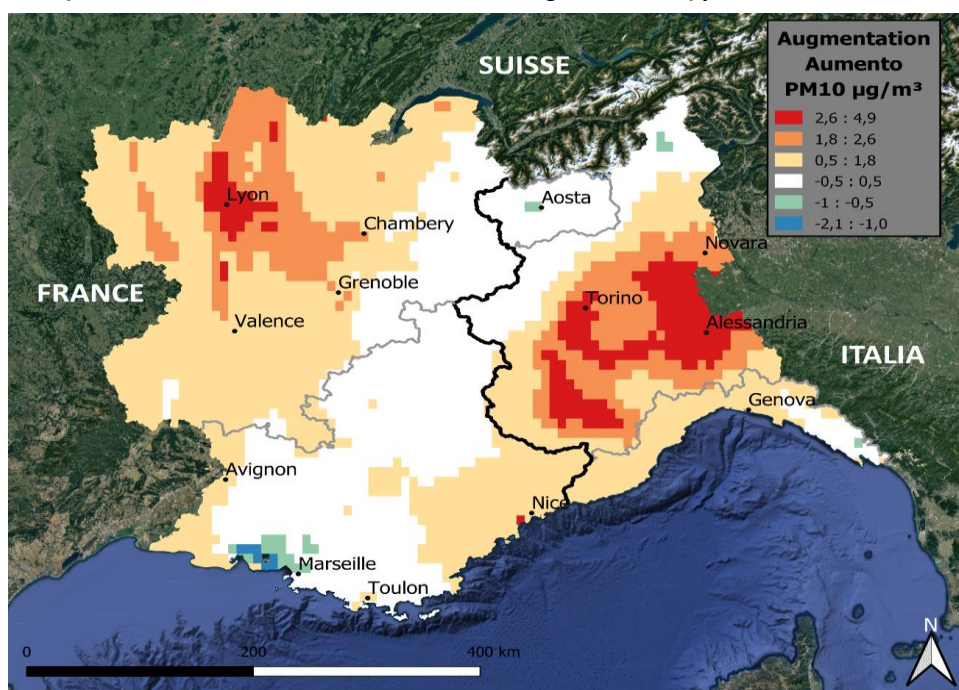
Les deux quantités sont indiquées pour les PM10 à la [Figure/Figura 57](#) et à la [Figure/Figura 58](#) ci-dessous. En examinant les cartes, on peut constater que la réduction des émissions humaines en 2030 à météorologie constante (dérivée du climat actuel) a un impact positif sur les concentrations des PM10 avec une réduction par rapport au scénario de la qualité de l'air 2013 à météorologie constante. En revanche, la météorologie dérivée du climat futur (2030) dans le scénario RCP4.5 pourrait avoir un impact négatif potentiel et donc entraîner une augmentation des concentrations des PM10 par rapport au scénario 2013 à émissions constantes (scénario d'émissions actuel).

Il termine di interazione $Cint_{EM}$ è trascurabile rispetto agli altri, pertanto le quantità ΔC_E e ΔC_M rappresentano rispettivamente il contributo delle variazioni emissive (a meteorologia costante) ed il contributo delle variazioni meteorologiche (ad emissioni costanti) alla variazione totale di concentrazione.

Le due quantità sono rappresentate, per il PM10, nelle successive [Figure/Figura 57](#) e [Figure/Figura 58](#). Osservando le mappe si evince come la riduzione delle emissioni antropogeniche nel 2030, a meteorologia costante (quella derivante dal clima odierno) sulle concentrazioni di PM10 abbia un impatto positivo e quindi una riduzione rispetto allo scenario qualità dell'aria 2013 con meteorologia costante, mentre la meteorologia derivante dal clima futuro (2030) nello scenario RCP4.5 potrebbe avere un potenziale impatto negativo e quindi portare ad un aumento delle concentrazioni di PM10 rispetto allo scenario 2013 con emissioni costanti (scenario emissivo odierno).



Figure/Figura 57 : Impact potentiel de la réduction des émissions en 2030 (scénario CLE) sur les concentrations des PM10 à météorologie constante (dérivée du climat actuel)/Potenziale impatto della riduzione emissiva al 2030 (scenariio CLE) sulle concentrazioni di PM10, a meteorologia costante (quella derivante dal clima odierno)



Figure/Figura 58: Impact potentiel de la météorologie dérivée du climat futur 2030 sur les concentrations des PM10 à émissions constantes (dérivées du scénario d'émissions actuel)/Potenziale impatto della meteorologia derivante dal clima futuro 2030 sulle concentrazioni di PM10, a emissioni costanti (quelle derivanti dallo scenario emissivo attuale)

On peut donc conclure que, sans politiques adéquates de réduction des émissions, le climat futur en 2030 pourrait entraîner en moyenne une augmentation des concentrations des PM10 dans certaines zones du territoire ALCOTRA (principalement au Piémont mais aussi dans l'agglomération lyonnaise).

Pertanto si può concludere che, senza adeguate politiche di riduzione sulle emissioni, nel 2030 il clima futuro potrebbe indurre in media ad un aumento delle concentrazioni di PM10 su alcune aree del territorio ALCOTRA (principalmente in Piemonte ma anche zona urbana di Lione).

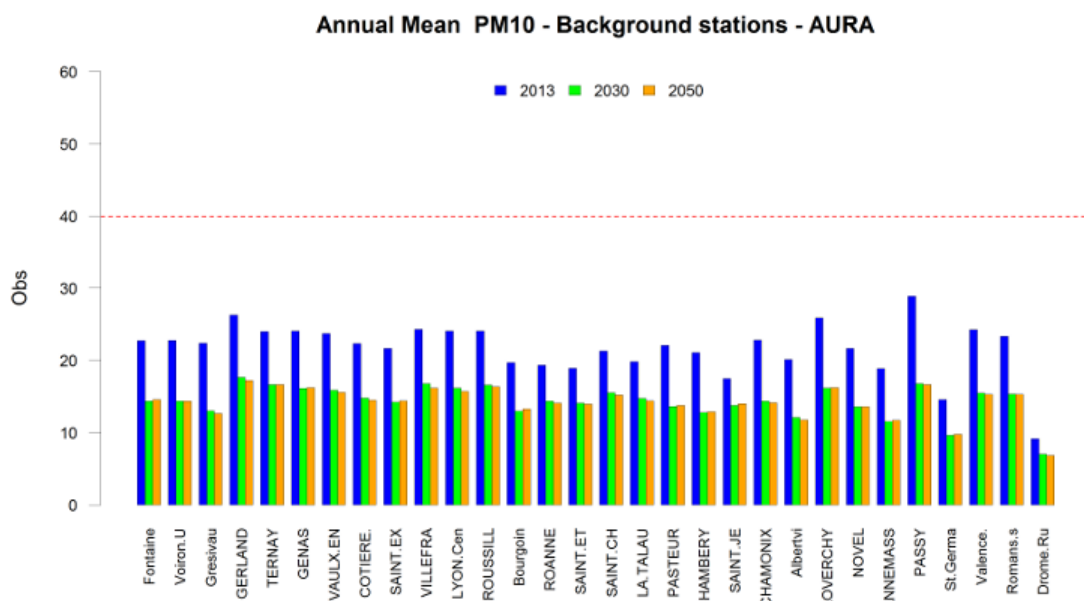
3.3.4 Scénario climatique de la qualité de l'air 2050/Scenario di qualità dell'aria climatico 2050

Le scénario de la qualité de l'air climatique 2050 (ci-après S6) a été obtenu en utilisant le scénario d'émissions tendanciel 2030 comme données d'entrée et le scénario climatique *medium future* 2048-2052 comme guide météorologique, avec conditions aux limites Prev'Air 2013. Il n'a pas été possible d'utiliser les projections d'émissions à 2050 car elles n'étaient pas disponibles avec le détail nécessaire pour le territoire ALCOTRA.

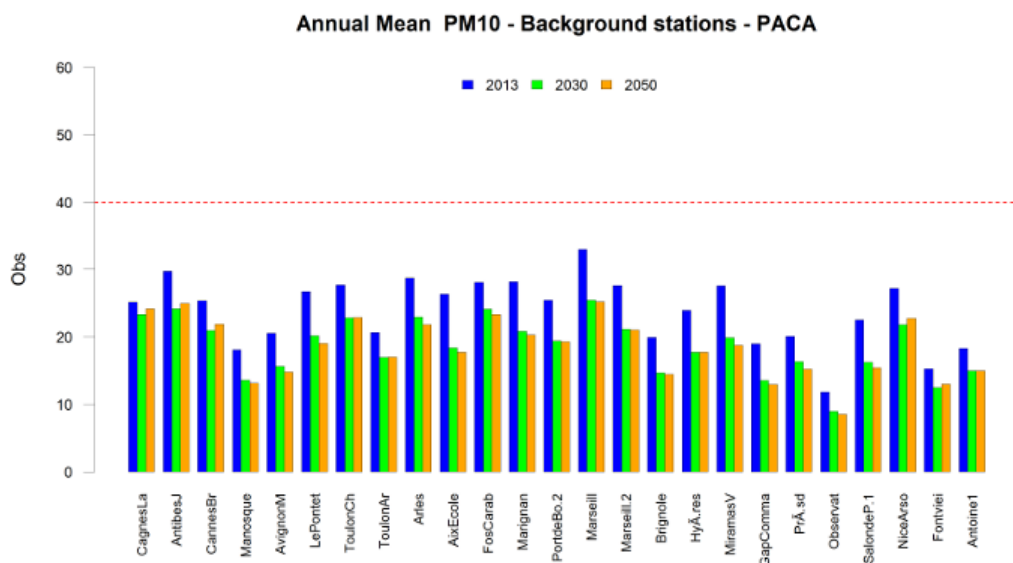
Si l'on compare les résultats du scénario de la qualité de l'air 'climatico' 2050 avec ceux du scénario futur de la qualité de l'air 2030, on ne constate pas de variations substantielles des concentrations ni de tendance univoque de ces dernières à la hausse ou à la baisse dans le territoire ALCOTRA. Les [Figure/Figura 59](#) à [Figure/Figura 63](#) montrent, pour les PM10 et le NO₂, la comparaison des valeurs moyennes annuelles des concentrations observées dans quelques-unes des stations de fond disponibles sur le territoire ALCOTRA pour la période de référence 2011-2015, en aval du scénario de la qualité de l'air futur 2030 (S3) et en aval du scénario de la qualité de l'air 'climatico' 2050 (S6).

Lo scenario di qualità dell'aria climatico al 2050 (nel seguito S6) è stato ottenuto utilizzando come dati emissivi di ingresso lo scenario emissivo tendenziale al 2030 e come guida meteorologica lo scenario climatico *medium future* 2048-2052, con condizioni al contorno Prev'Air 2013. Non è stato possibile utilizzare proiezioni emissive al 2050 in quanto non disponibili con il dettaglio necessario sul territorio ALCOTRA.

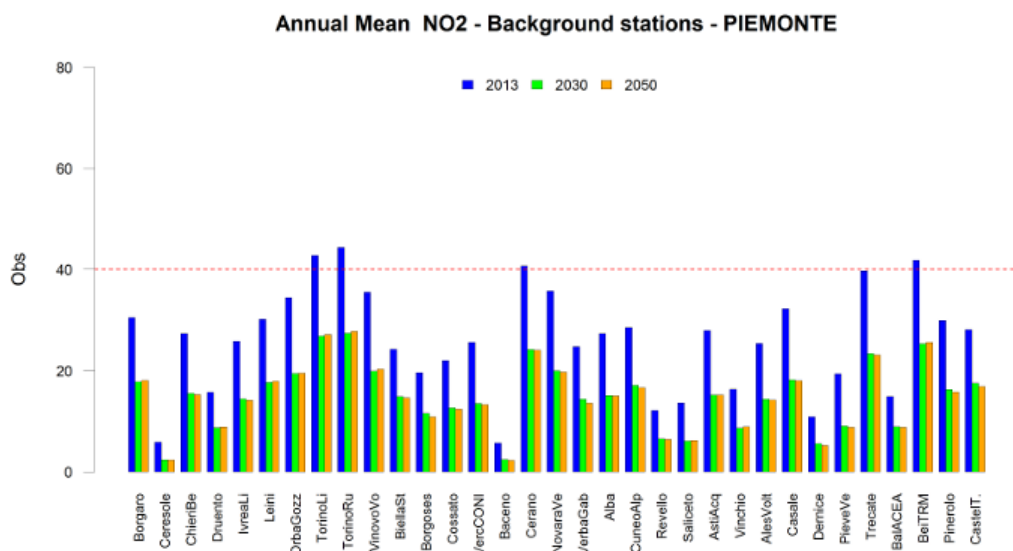
Confrontando i risultati dello scenario scenario di qualità dell'aria 'climatico' al 2050 con quelli dello scenario di qualità dell'aria futuro al 2030, non si osservano variazioni sostanziali nelle concentrazioni, né una tendenza univoca sul territorio ALCOTRA all'aumento o alla diminuzione delle stesse. La figure dalla [Figure/Figura 59](#) alla [Figure/Figura 63](#) riportano, per PM10 ed NO₂, il confronto dei valori medi annuali delle concentrazioni osservate su alcune delle stazioni di fondo disponibili nel territorio ALCOTRA per il periodo di riferimento 2011-2015, a valle dello scenario scenario di qualità dell'aria futuro al 2030 (S3) ed a valle dello scenario di qualità dell'aria 'climatico' al 2050 (S6).



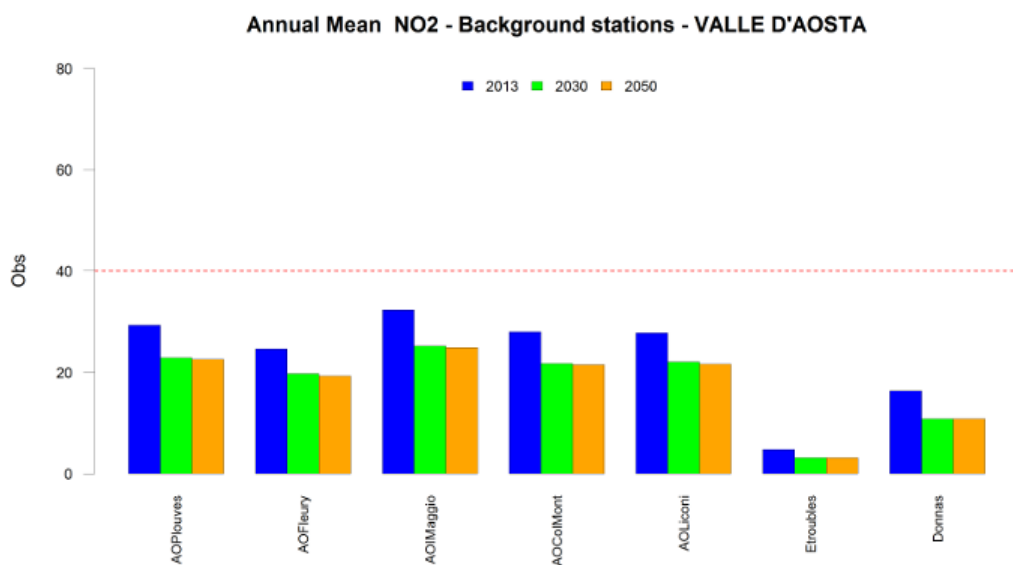
Figure/Figura 59 : Comparaison entre les concentrations moyennes annuelles observées sur la période 2011-2015 (en bleu), les concentrations 'observées' en aval du scénario S3 (en vert) et du scénario S6 (en orange) des PM10 dans les stations de fond de la région AURA/Confronto tra le concentrazioni medie annuali osservate nel periodo 2011-2015 (in blue), le concentrazioni 'osservate' a valle dello scenario S3 (in verde) e dello scenario S6 (in arancione) per le stazioni di fondo di PM10 in regione AURA



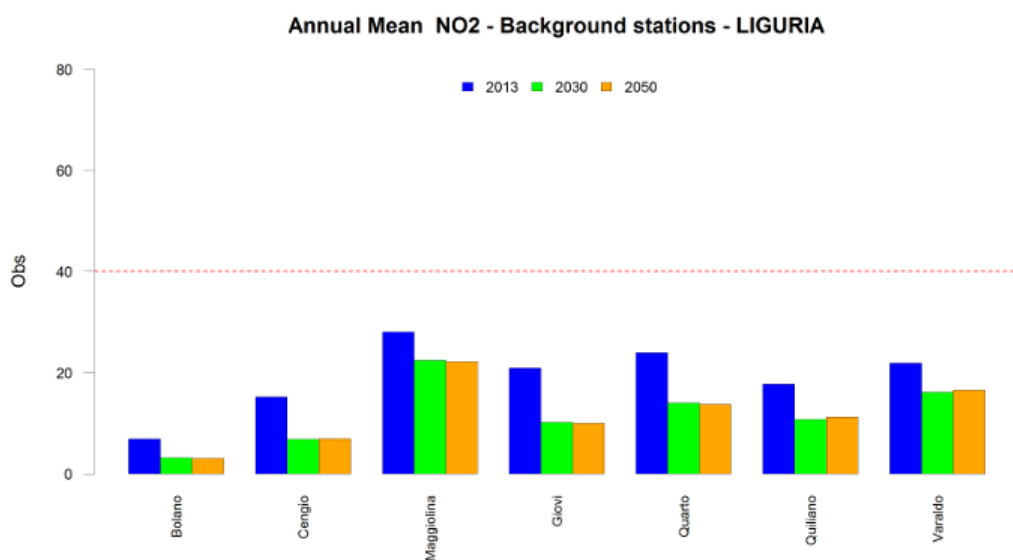
Figure/Figura 60 : Comparaison entre les concentrations moyennes annuelles observées sur la période 2011-2015 (en bleu), les concentrations 'observées' en aval du scénario S3 (en vert) et du scénario S6 (en orange) des PM10 dans les stations de fond de la région PACA/Confronto tra le concentrazioni medie annuali osservate nel periodo 2011-2015 (in blue), le concentrazioni 'osservate' a valle dello scenario S3 (in verde) e dello scenario S6 (in arancione) per le stazioni di fondo di PM10 in regione PACA



Figure/Figura 61 : Comparaison entre les concentrations moyennes annuelles observées sur la période 2011-2015 (en bleu), les concentrations 'observées' en aval du scénario S3 (en vert) et du scénario S6 (en orange) de NO₂ dans les stations de fond de la région du Piémont/Confronto tra le concentrazioni medie annuali osservate nel periodo 2011-2015 (in blue), le concentrazioni 'osservate' a valle dello scenario S3 (in verde) e dello scenario S6 (in arancione) per le stazioni di fondo di NO₂ in regione Piemonte.



Figure/Figura 62 : Comparaison entre les concentrations moyennes annuelles observées sur la période 2011-2015 (en bleu), les concentrations 'observées' en aval du scénario S3 (en vert) et du scénario S6 (en orange) de NO₂ dans les stations de fond de la région Vallée d'Aoste/Confronto tra le concentrazioni medie annuali osservate nel periodo 2011-2015 (in blue), le concentrazion 'osservate' a valle dello scenario S3 (in verde) e dello scenario S6 (in arancione) per le stazioni di fondo di NO₂ in regione Valle d'Aosta



Figure/Figura 63 : Comparaison entre les concentrations moyennes annuelles observées sur la période 2011-2015 (en bleu), les concentrations 'observées' en aval du scénario S3 (en vert) et du scénario S6 (en orange) de NO₂ dans les stations de fond de la région Ligurie/Confronto tra le concentrazioni medie annuali osservate nel periodo 2011-2015 (in blue), le concentrazioni 'osservate' a valle dello scenario S3 (in verde) e dello scenario S6 (in arancione) per le stazioni di fondo di NO₂ in regione Liguria

Synthèse/Sintesi

L'objectif de la composante WP3 était de fournir des outils de planification intégrée pour protéger la qualité de l'air et réduire les gaz à effet de serre, conformément aux politiques européennes d'adaptation au changement climatique. Dans le cadre de la composante WP3, on a d'abord procédé (action 3.1) à la mise à jour de l'inventaire commun pour le territoire ALCOTRA des émissions dans l'atmosphère avec introduction des gaz à effet de serre (CO₂, CH₄, N₂O), ce qui a permis de préparer le scénario d'émissions de base 2013. Dans ce contexte, deux approfondissements ont été réalisés : le premier a porté sur les technologies de combustion de la biomasse ligneuse les plus innovantes et à moindre impact du point de vue de la QA et du CC ; le second a concerné le recensement du parc technologique et l'analyse de la consommation de la biomasse dans la région Auvergne-Rhône-Alpes.

Ensuite, par l'action 3.2, on a préparé les données de base, émissives et météorologiques, nécessaires à la réalisation des scénarios de la qualité de l'air futurs. Grâce à l'utilisation du modèle GAINS³¹, un scénario d'émissions tendanciel 2030 a été réalisé pour les polluants critiques en termes de qualité de l'air et d'impact

L'obiettivo del WP3 è stato quello di mettere a disposizione gli strumenti per una pianificazione integrata per la tutela della qualità dell'aria e per la riduzione dei gas serra, conformemente alle politiche europee di adattamento ai Cambiamenti Climatici. Nell'ambito del WP3 è stato dapprima effettuato (azione 3.1) l'aggiornamento dell'inventario comune sul territorio ALCOTRA delle emissioni in atmosfera con l'introduzione dei gas serra (CO₂, CH₄, N₂O), attività che ha portato a predisporre lo scenario emissivo base al 2013. In tale contesto sono stati realizzati due focus di approfondimento, il primo sulle tecnologie per la combustione delle biomasse legnose più innovative e meno impattanti dal punto di vista della QA e dei CC, il secondo riguardante il censimento, in regione Rhône-Alpes, sui consumi di biomassa e sul parco tecnologico.

Successivamente con l'azione 3.2 si è provveduto a predisporre i dati di base, emissivi e meteorologici, necessari alla realizzazione degli scenari futuri di qualità dell'aria. Attraverso l'impiego del modello GAINS³², è stato realizzato – per gli inquinanti critici in termini di qualità dell'aria e di impatto sui

³¹ Greenhouse Gas - Air Pollution Interactions and Synergies <http://gains.iiasa.ac.at/models/>

³² Greenhouse Gas - Air Pollution Interactions and Synergies <http://gains.iiasa.ac.at/models/>

sur le changement climatique (les gaz à effet de serre), en tenant compte également du scénario technologique de référence (Best Available Technologies - BAT) et du respect des obligations réglementaires en matière d'émissions atmosphériques. Les scénarios climatiques à 2030 et 2050 ont été élaborés et fournis par le CMCC, Centro Euro Mediterraneo per i Cambiamenti Climatici, en utilisant le modèle COSMO-CLM, version climatique du modèle de prévision météorologique opérationnel non hydrostatique à méso-échelle COSMO-LM. Les scénarios climatiques ont été réalisés sur la base du scénario RCP4.5 (Representative Common Pathways) sur trois périodes, la première relative au climat actuel 2011-2015, la deuxième relative au *near future* 2028-2032 et la troisième relative au *medium future* 2048-2052 sur toute l'Europe continentale et sur le territoire ALCOTRA, à haute résolution (environ 6 km).

Enfin, dans le cadre de l'action **3.3**, on a préparé et exploité un système de modélisation de la qualité de l'air basé sur le modèle eulérien de chimie-transport FARM (Flexible Air Regional quality Model), alimenté avec les données d'émission obtenues dans le cadre des actions **3.1** et **3.2** et avec les scénarios météorologiques élaborés dans l'action **3.2**, afin d'évaluer les effets de l'évolution technologique et des réglementations sectorielles adoptées pendant la période

cambiamenti climatici (gas ad effetto serra) – uno scenario emissivo tendenziale al 2030, tenendo conto anche dello scenario tecnologico di riferimento (Best Available Technologies - BAT) e dell'adempimento degli obblighi normativi in tema di emissioni in atmosfera. Gli scenari climatici al 2030 e al 2050 sono stati elaborati e forniti dal CMCC, Centro Euro Mediterraneo per i Cambiamenti Climatici, utilizzando il modello COSMO-CLM, versione climatica del modello atmosferico previsionale a mesoscala operativo e non-idrostatico COSMO-LM. Gli scenari climatici sono stati realizzati sulla base dello scenario RCP4.5 (Representative Common Pathways) su tre finestre temporali, la prima relativa al clima odierno 2011-2015, la seconda relativa al *near future* 2028-2032 e la terza al *medium future* 2048-2052, su tutta l'Europa continentale e sul territorio ALCOTRA ad alta risoluzione (circa 6km).

Infine nell'ambito dell'azione **3.3** è stato predisposto ed utilizzato un sistema modellistico di qualità dell'aria basato sul modello euleriano di chimica e trasporto FARM (Flexible Air Regional quality Model), alimentato con i dati emissivi prodotti nell'azione **3.1** e **3.2** e con gli scenari meteorologici prodotti nell'azione **3.2**, al fine di valutare gli effetti sulla la qualità dell'aria al 2030, dell'evoluzione tecnologica,

d'observation sur la qualité de l'air en 2030, en tenant compte également des effets potentiels du changement climatique. Plusieurs simulations ont été réalisées, en combinant les deux scénarios d'émissions (scénario de base 2013 et scénario tendanciel 2030) et les trois scénarios climatiques. Le système de modélisation a été validé sur le scénario de base de la qualité de l'air (émissions 2013 et météorologie dérivée du climat actuel 2011-2015) par une comparaison entre les données observées et simulées : les performances du système sont en accord avec ce qui est rapporté dans la littérature pour les résolutions adoptées dans le projet.

D'une part, les résultats obtenus montrent que la réduction des émissions humaines en 2030 a un impact favorable sur les concentrations de polluants, qui diminuent sur l'ensemble du territoire ALCOTRA. Cependant, dans certaines zones plus critiques de l'agglomération de Turin, quelques dépassements des valeurs limites fixées par la législation communautaire sont encore constatés. D'autre part, ces mêmes résultats suggèrent que, sans politiques adéquates de réduction des émissions, le climat futur en 2030 pourrait entraîner en moyenne une hausse des concentrations des particules PM10 dans certaines zones plus sensibles du territoire ALCOTRA.

delle normative di settore adottate nel periodo di osservazione, considerando anche i potenziali effetti dei Cambiamenti Climatici. Sono state realizzate differenti simulazioni, combinando i due scenari emissivi (lo scenario base al 2013 e lo scenario tendenziale al 2030) ed i tre scenari climatici. Il sistema modellistico è stato validato sullo scenario base di qualità dell'aria (emissioni 2013 e meteorologia derivante dal clima odierno 2011-2015) tramite confronto osservato-simulato: le prestazioni del sistema sono in linea con quanto riportato in letteratura per le risoluzioni adottate nel progetto.

I risultati ottenuti mostrano, da un lato, come la riduzione delle emissioni antropogeniche nel 2030, abbia un impatto favorevole sulle concentrazioni di inquinanti, che si riducono su tutto il territorio ALCOTRA, anche se in alcune zone più critiche del (l'agglomerato urbano Torinese) permangono situazioni locali di superamento dei valori limite stabiliti dalla normativa comunitaria, e dall'altro lasciano intravedere la possibilità che, senza adeguate politiche di riduzione sulle emissioni, nel 2030 il clima futuro potrebbe indurre in media ad un aumento delle concentrazioni di particolato PM10 su alcune aree più sensibili del territorio ALCOTRA.

Analyse et évaluation des coûts/bénéfices des politiques dans le thème de l'adaptation au changement climatique et à la qualité de l'air/ Analisi e valutazione costi/benefici delle politiche sull'adattamento ai cambiamenti climatici e alla qualità dell'aria

4.1 Mise en place de RIAT+/ Implementazione di RIAT+

L'évaluation des coûts et bénéfices des politiques face aux enjeux de la qualité de l'air et du changement climatique est une tâche relativement complexe mais cruciale. A l'heure où les projections climatiques sont de plus en plus négatives pour le futur proche³³ et où le problème de la pollution atmosphérique n'est toujours pas résolu dans de nombreux territoires³⁴, il est primordial de choisir une stratégie d'action la plus efficace en termes de réduction des émissions mais aussi en termes de coûts économiques. L'objectif du WP4 est de définir, parmi un ensemble de solutions, les mesures optimales en termes de coûts pour réduire les émissions de gaz à effet de serre et de polluants atmosphériques.

De nombreuses solutions technologiques, actions citoyennes et

Valutare i costi e i benefici delle politiche per affrontare le problematiche della qualità dell'aria e dei cambiamenti climatici è un compito relativamente complesso ma cruciale. In un momento in cui le proiezioni climatiche sono sempre più negative per il prossimo futuro³⁹ e in cui il problema dell'inquinamento atmosferico è ancora irrisolto in molti territori, è fondamentale scegliere la strategia d'azione più efficace in termini di riduzione delle emissioni ma anche in termini di costi economici. L'obiettivo del WP4 è quello di definire, tra una serie di soluzioni, le misure ottimali in termini di costi per ridurre le emissioni di gas serra e di inquinanti atmosferici.

³³ <https://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/sites/default/files/2019-05/datalab-46-chiffres-cles-du-climat-edition-2019-novembre2018.pdf>

³⁴ <https://www.ecologique-solidaire.gouv.fr/pollution-lair-origines-situation-et-impacts#e3>

³⁹ <https://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/sites/default/files/2019-05/datalab-46-chiffres-cles-du-climat-edition-2019-novembre2018.pdf>

solutions politiques sont aujourd'hui envisagées. A cela s'ajoute une réglementation fixant des objectifs de réductions à l'échelle européenne³⁵ aux horizons 2030 et 2050. Il existe aussi des plans locaux ou régionaux prévus pour ces échéances. D'un point de vue économique, toutes ces solutions portent un coût mais aussi un bénéfice. Pour répondre au besoin d'analyser et de choisir les solutions les plus efficaces, il a été décidé d'utiliser l'outil RIAT+³⁶. Cet outil permet d'optimiser le choix des solutions technologiques de réduction des polluants en fonction de leur coût économique. Pour cela, l'outil propose :

- D'optimiser le coût économique et la réduction de concentration de polluants dans l'air à l'aide de technologies répertoriées. Pour cela, l'outil RIAT+ utilise la base de données GAINS³⁷ contenant environ 3000 solutions technologiques différentes avec chacune un coût économique (voir [6] pour l'estimation des coûts dans GAINS) et des émissions associées pour les gaz à effet de serre et des autres polluants impactant la qualité de l'air,
- Pour une optimisation rapide des coûts économiques et indice de

Oggi vengono prese in considerazione numerose soluzioni tecnologiche, azioni dei cittadini e soluzioni politiche. A tutto ciò si aggiunge un regolamento che fissa obiettivi di riduzione a livello europeo per il 2030 e il 2050. Per queste scadenze sono previsti anche piani locali o regionali. Da un punto di vista economico, tutte queste soluzioni comportano un costo ma anche un beneficio. Per rispondere all'esigenza di analizzare e selezionare le soluzioni più efficaci, si è deciso di utilizzare lo strumento RIAT+⁴⁰. Questo strumento consente di ottimizzare la scelta delle soluzioni tecnologiche per la riduzione degli inquinanti in funzione del loro costo economico. Per fare questo, lo strumento propone:

- di ottimizzare il costo economico e la riduzione della concentrazione di inquinanti nell'aria utilizzando le tecnologie elencate. Per fare questo, lo strumento RIAT+ utilizza il database GAINS⁴¹ contenente circa 3000 soluzioni tecnologiche diverse, ciascuna con un costo economico (vedi [6] per le stime dei costi in GAINS) e le emissioni associate per i gas

³⁵ https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2030_fr

³⁶ <http://www.riatplus.eu/html/eng/home.html>

³⁷ <https://iiasa.ac.at/web/home/research/researchPrograms/air/GAINS.html>

⁴⁰

⁴¹ <https://iiasa.ac.at/web/home/research/researchPrograms/air/GAINS.html>

qualité de l'air, RIAT+ propose de faire le lien entre les émissions et les concentrations locales en appliquant la méthode de calcul appelé source/récepteur [3][7][8] disponible dans l'outil SHERPA³⁸,

- D'appliquer les projections de la législation courante européenne (CLE ou current legislation) pour les émissions à l'horizon 2030 et permettre à l'utilisateur de choisir d'optimiser avant et après la législation,
- De laisser la liberté à l'utilisateur d'imposer un remplacement technologique ou une mesure non répertoriée dans l'optimisateur,
- De connaître l'impact de ces scénarios sur les gaz à effet de serre (CO₂, N₂O, CH₄ etc.),
- De connaître l'impact cartographié ou par maille des scénarios sur le NO₂, PM10, PM2.5 en moyenne annuelle ou d'autres indicateurs (max, percentile, etc.).

serra e altri inquinanti che hanno un impatto sulla qualità dell'aria;

- di fare un collegamento tra le emissioni e le concentrazioni locali applicando il metodo di calcolo denominato Sorgente/Recettore [3][7][8] disponibile nello strumento SHERPA⁴² per una rapida ottimizzazione dei costi economici e dell'indice di qualità dell'aria;
- di applicare le proiezioni della legislazione europea in vigore (CLE o legislazione vigente) per le emissioni al 2030 e consentire all'utente di scegliere di ottimizzare prima della legislazione e dopo la legislazione;
- di lasciare l'utente libero di imporre una sostituzione tecnologica o una misura non elencata nell'ottimizzatore;
- di conoscere l'impatto di questi scenari sui gas serra (CO₂, N₂O, CH₄, ecc.);
- di conoscere l'impatto mappato o reticolato degli scenari su NO₂, PM10, PM2.5 come media annua o altri indicatori (max, percentile, ecc.).

³⁸ <https://aqm.jrc.ec.europa.eu/sherpa.aspx>

⁴² <https://aqm.jrc.ec.europa.eu/sherpa.aspx>

4.1.1 Formation à l'utilisation de la nouvelle version de RIAT+/ Formazione all'uso della nuova versione di RIAT+

Dans le cadre du projet CLIMAERA, les partenaires du projet ont participé à trois journées de formation sur l'outil RIAT+ présenté par la société **TerrAria** mais aussi par Alain Clappier, professeur à l'université de Strasbourg, sur la mise en œuvre de SHERPA. Ces formations ont permis à l'ensemble des partenaires :

- De comprendre plus en détail le fonctionnement de RIAT+ et sa mise en œuvre d'un point de vue théorique et pratique.
- D'installer les outils RIAT+ et SHERPA sur leurs moyens de calcul
- De réaliser l'ensemble des scénarios de qualité de l'air requis, le formatage des données d'entrées et les calculs avec RIAT+.

Après une première mise en œuvre, les partenaires ont partagé leurs résultats à l'occasion de deux COPIL techniques organisés à Gènes les 17 et 18 juin 2019 et à Chambéry les 3 et 4 octobre 2019.

Le COPIL de Chambéry a été l'occasion de faire un retour d'expérience plus précis en présence de la société Terraria. Pour donner suite aux retours d'expérience des utilisateurs, Terraria a décidé de réaliser un

Nell'ambito del progetto CLIMAERA, i partner del progetto hanno partecipato a tre giorni di formazione sullo strumento RIAT+ presentato dalla società **TerrAria** ma anche da Alain Clappier, professore dell'Università di Strasburgo, sull'implementazione di SHERPA. Queste sessioni di formazione hanno permesso a tutti i partner di:

- comprendere più in dettaglio il funzionamento di RIAT+ e la sua implementazione dal punto di vista teorico e pratico;
- installare gli strumenti RIAT+ e SHERPA sui loro mezzi di calcolo;
- realizzare tutti gli scenari di qualità dell'aria richiesti, la formattazione dei dati di input e i calcoli con RIAT+.

Dopo una prima implementazione, i partner hanno condiviso i loro risultati in occasione di due COPIL tecnici organizzati a Genova il 17 e 18 giugno 2019 e a Chambéry il 3 e 4 ottobre 2019.

Il COPIL di Chambéry è stato l'occasione per dare un riscontro più preciso alla presenza della società Terraria. Per dar seguito al feedback degli utenti, Terraria ha deciso di apportare una serie di modifiche in

ensemble de modifications dans une nouvelle version de l'outil RIAT+. Cette version a été utilisée par l'ensemble des partenaires pour produire les derniers résultats qui ont été partagés le 11 octobre 2019, dans le cadre du COPIL technique à Turin. Toutes les mesures optimisées et produites par les partenaires ont ensuite été résumées et appliquées à des modélisations de transport atmosphérique sur le domaine ALCOTRA par ARPA Piémont aux échéances 2030 et 2050. Ces nouvelles simulations ont permis d'estimer l'impact des mesures de manière conjointe sur le domaine ALCOTRA mais aussi par rapport aux conditions météorologiques prenant en compte l'impact du changement climatique.

una nuova versione dello strumento RIAT+. Questa versione è stata utilizzata da tutti i partner per produrre gli ultimi risultati che sono stati condivisi l'11 ottobre 2019, nell'ambito del COPIL tecnico di Torino. Tutte le misure ottimizzate e prodotte dai partner sono state poi riassunte e applicate alle modellizzazioni del trasporto atmosferico nel dominio ALCOTRA da ARPA Piemonte per il 2030 e il 2050. Queste nuove simulazioni hanno permesso di stimare l'impatto delle misure in modo congiunto nel dominio ALCOTRA ma anche in relazione alle condizioni meteorologiche tenendo conto dell'impatto dei cambiamenti climatici.

Mise en œuvre des modélisations de dispersion atmosphérique, des outils SHERPA et RIAT/ Implementazione delle modellizzazioni della dispersione atmosferica degli strumenti SHERPA e RIAT

Pour utiliser les outils SHERPA et ensuite l'outil RIAT+, il convient de suivre un ensemble d'étapes (voir [Figure/Figura 64](#)) :

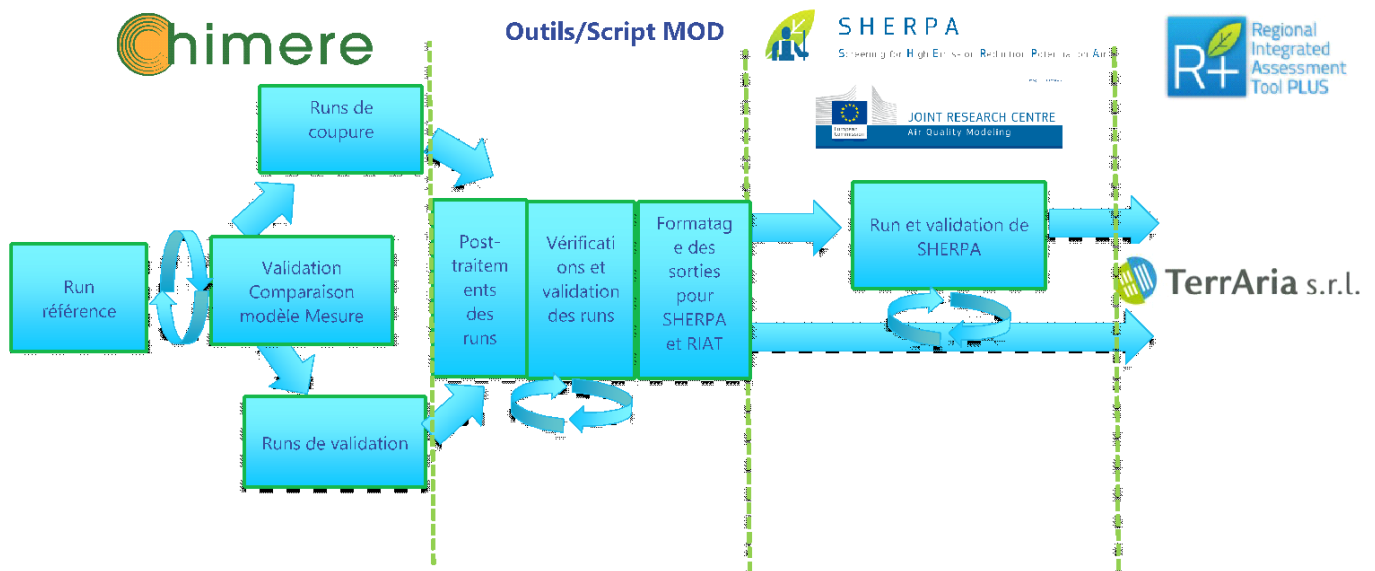
- Mettre en œuvre le premier scénario de référence avec un Modèle de Chimie-Transport (CTM) sur l'année d'émissions et de météorologie diagnostique choisie. Ce scénario est aussi appelé cas de base,

Per utilizzare gli strumenti SHERPA e RIAT+, è necessario seguire una serie di passi (vedi [Figure/Figura 64](#)):

- implementare il primo scenario di riferimento con un modello di chimica e trasporto (CTM) sull'anno di emissioni e di meteorologia diagnostica scelto. Questo scenario è anche chiamato il caso base;
- convalidare questa simulazione di riferimento

- Valider ce run de référence par comparaison modèle/mesure et validation cartographique,
- Mettre en œuvre les scénarios de coupure des émissions et les runs de validation SHERPA,
- Vérifier le bon fonctionnement des scénarios de coupure en émission et concentrations,
- Vérifier le domaine de linéarité de la relation source/récepteur et que l'approche est réalisable dans la gamme de réduction des scénarios de coupures,
- Formater les résultats des scénarios de coupure pour une utilisation dans le modèle source récepteur SHERPA,
- Mettre en œuvre le modèle SHERPA et procéder à sa validation,
- Formater certaines données d'entrées annexes qui sont demandées pour RIAT,
- Lancer les simulations RIAT.

- tramite confronto modello/misurazione e validazione della cartografia;
- Implementare gli scenari di riduzione delle emissioni e le simulazioni di validazione SHERPA;
 - verificare il corretto funzionamento degli scenari di riduzione delle emissioni e delle concentrazioni;
 - verificare il dominio di linearità del rapporto sorgente/recettore e che l'approccio sia realizzabile nella gamma degli scenari di riduzione;
 - formattare i risultati degli scenari di riduzione per l'utilizzo nel modello sorgente-recettore SHERPA;
 - Implementare il modello SHERPA e convalidarlo;
 - formattare alcuni dei dati di input allegati richiesti per RIAT;
 - lanciare le simulazioni RIAT.



Figure/Figura 64 : Principe général de fonctionnement pour préparer les données d'entrée pour RIAT. Exemple en utilisant le modèle de dispersion atmosphérique (CTM) CHIMERE/ Principio generale di funzionamento per la preparazione dei dati di input per RIAT. Esempio utilizzando il modello di dispersione atmosferica (CTM) CHIMERE

Au cours des formations et différents COPIL techniques, les partenaires ont partagé leur validation à chaque étape. Ces échanges ont permis de valider de manière conjointe les résultats et de repérer d'éventuels écarts.

Plus en détail, la mise en place de ces 4 étapes a été suivie par l'ensemble des partenaires de la manière suivante :

Durante le formazioni e i diversi COPIL tecnici, i partner hanno condiviso la loro validazione in ogni fase. Questi scambi hanno permesso di convalidare in modo congiunto i risultati e di individuare eventuali discrepanze.

Più in dettaglio, l'implementazione di queste 4 fasi è stata seguita da tutti i partner nel seguente modo:

- 1. Mise en place d'un modèle de chimie transport atmosphérique et sa validation puis lancement de scénario de coupures et de validation pour SHERPA/ Implementazione di un modello di chimica e trasporto atmosferico e sua validazione, quindi lancio di scenari di abbattimento e di validazione per SHERPA**

Pour mettre en œuvre l'outil SHERPA, il est nécessaire de fournir des résultats issus d'un Modèle de Chimie-Transport (CTM) sous différentes conditions d'émissions.

Per implementare lo strumento SHERPA, è necessario fornire i risultati di un modello di chimica e trasporto (CTM) in diverse condizioni di emissione. Tra questi risultati, ci

Parmi ces résultats, il existe 3 catégories de simulations (ou runs) : le run de référence ou cas de base, les runs de coupures et de validation(s).

Le run de référence et les runs de coupures serviront à l'entraînement de SHERPA pour déterminer les coefficients de l'approche linéaire (coefficient ω_i et α_i , voir [Figure/Figura 65](#)). Ces coefficients dépendent :

- Du type de modèle de chimie transport et météorologiques utilisées dans les runs de coupures et le run de validation,
- De l'année de modélisation du cadastre,
- De l'année météorologique de modélisation,
- Des paramètres utilisés dans les modèles de dispersion atmosphérique et météorologique.

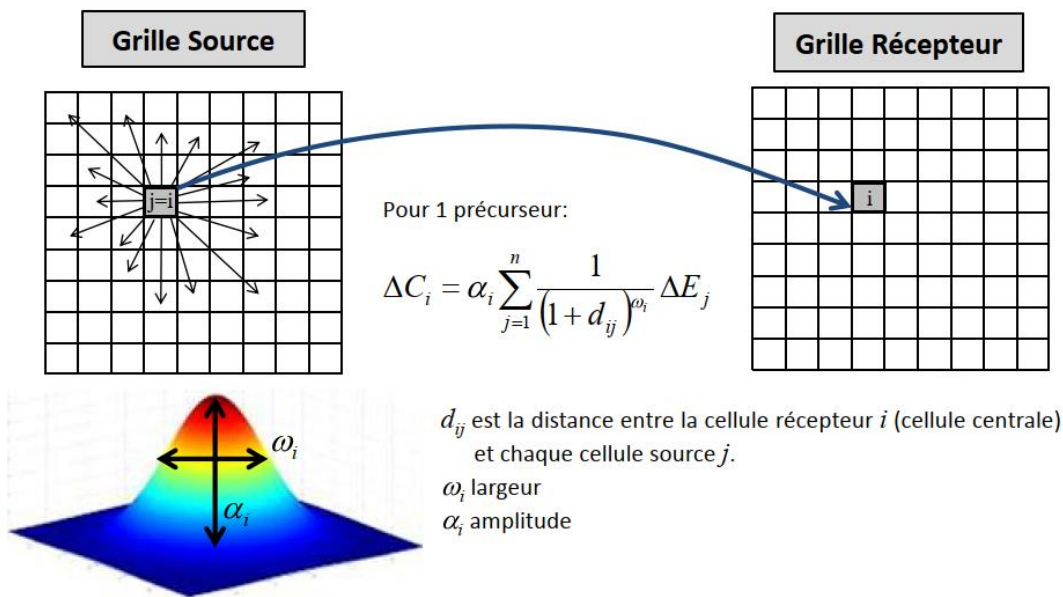
Dans le cas d'une nouvelle simulation impliquant la modification d'un de ces paramètres, l'utilisateur n'aura pas d'autres choix que de re-calculer l'ensemble des runs. Lorsque ces coefficients sont déterminés et validés, le modèle SHERPA est utilisable comme une approche simplifiée et plus rapide d'estimation des concentrations à partir d'un cadastre des émissions dans RIAT+.

sono 3 categorie di simulazioni (o run): la simulazione di riferimento o caso base, la simulazione di abbattimento e la simulazione di validazione.

La simulazione di riferimento e la simulazione di abbattimento serviranno per la formazione su SHERPA per determinare i coefficienti dell'approccio lineare (coefficiente ω_i e α_i , vedi [Figure/Figura 65](#)). Questi coefficienti dipendono:

- dal tipo di modello di chimica e trasporto e dagli anni meteorologici utilizzati nelle simulazioni di abbattimento e nelle simulazioni di validazione;
- dall'anno di modellizzazione dell'inventario/cadastre
- dall'anno meteorologico di modellizzazione;
- dai parametri utilizzati nei modelli di dispersione atmosferica e meteorologica.

Nel caso di una nuova simulazione che comporti la modifica di uno di questi parametri, l'utente non avrà altra scelta che ricalcolare tutte le simulazioni. Quando questi coefficienti sono determinati e convalidati, il modello SHERPA può essere utilizzato come un approccio semplificato e più veloce per stimare le concentrazioni a partire da un inventario/cadastre delle emissioni in RIAT+.



25

Figure/Figura 65 : Résumé de l'approche source récepteur⁴³ / Riassunto dell'approccio sorgente-recettore/Résumé de l'approche source récepteur⁴⁴

Définition run de référence, run de coupure, run de validation :

- Un run de référence est défini simplement comme le run sans aucune réduction. Il doit être réalisé sur une année et avec les mêmes paramètres physiques de modèle et configuration de calcul que les autres runs. Il servira de base à l'ensemble des comparaisons et projections. Il est donc important que ce dernier soit le plus représentatif et aussi proche des mesures. **Un exercice de comparaison modèle/mesure par tous les partenaires a été réalisé**

Definizione di simulazione di riferimento, simulazione di abbattimento, simulazione di validazione:

- Una simulazione di riferimento è definita semplicemente come una simulazione senza alcuna riduzione. Deve essere eseguita nell'arco di un anno e con gli stessi parametri fisici di modello e la stessa configurazione di calcolo delle altre simulazioni. Sarà utilizzata come base per tutti i confronti e le proiezioni. È quindi importante che quest'ultima sia la più rappresentativa e la più vicina

⁴³ Source Alain Clappier Formation dans le projet CLIMAERA le 23 mai 2018

⁴⁴ Fonte Alain Clappier Formazione nell'ambito del progetto CLIMAERA il 23 maggio 2018

pour valider l'ensemble des polluants principaux.

- **Un run de coupure** est défini comme une réduction uniforme (par exemple -50% du NH₃) d'un polluant émis dans le cadastre ou une famille de polluants sur une zone définie. L'utilisateur peut réaliser des coupures sur tout le domaine ou à l'intérieur d'un domaine géographique mais il est conseillé de réaliser ce type de coupure sur une large zone (typiquement tout le domaine de modélisation). Chaque polluant précurseur de PM₁₀ ou O₃ doit être réduit en émissions de manière identique.
- **Un run de validation** est défini comme le run servant à vérifier que l'effet de l'ensemble des coupures par précurseur sur un polluant (par exemple PM₁₀) a le même effet que la coupure de tous les précurseurs en même temps. Dans le cas contraire, il existe alors un terme non linéaire et l'approche n'est pas exploitable. Au moins un run de validation est obligatoire. Le run de validation est un run de coupure de l'ensemble des polluants précurseurs avec une réduction uniforme

possible aux mesures. Per convalidare tutti i principali inquinanti è stato effettuato un esercizio di confronto del modello misura da tutti i partner.

- **Una simulazione di abbattimento** è definita come una riduzione uniforme (ad es. -50% di NH₃) di un inquinante emesso nell'inventario/cadastre o di una famiglia di inquinanti su un'area definita. L'utente può eseguire degli abbattimenti su tutto il dominio o all'interno di un dominio geografico, ma si raccomanda di realizzare questo tipo di abbattimento su una vasta area (tipicamente l'intero dominio di modellizzazione). Ogni inquinante precursore di PM₁₀ o O₃ deve essere ridotto nelle emissioni in modo identico.
- **Una simulazione di validazione** è definita come la simulazione utilizzata per verificare che l'effetto di tutti gli abbattimenti mediante precursore su un inquinante (ad es. PM₁₀) sia lo stesso dell'abbattimento di tutti i precursori allo stesso tempo. In caso contrario, esiste allora un termine non lineare e l'approccio non è utilizzabile. Almeno una simulazione di validazione è obbligatoria. La

identique aux runs de coupures (par exemple -50% de tous les précurseurs). L'utilisateur peut aller plus en détails dans la validation et réaliser des coupures de tous les précurseurs sur une réduction plus importante (par exemple -75%) pour tester la limite de la linéarité ou encore une coupure de tous les précurseurs sur une zone ou encore une coupure en ciblant une activité etc. Hormis le run obligatoire de validation avec une coupure sur tous les précurseurs en même temps, les autres runs peuvent tester les limites et la robustesse de l'approche S/R. Ces limites ont été testées dans le cadre du projet et donnent à l'utilisateur un très bon recul sur les limites des résultats SHERPA. Il a notamment été observé que l'approche SHERPA :

- Est relativement performante pour des réponses de réduction uniforme (par exemple réduction d'un polluant ou d'une activité de manière identique géographiquement). En revanche, pour des réductions d'émissions spatialisés

simulazione di validazione è una simulazione di abbattimento di tutti gli inquinanti precursori con una riduzione uniforme identica alle simulazioni di abbattimento (ad es. -50% di tutti i precursori). L'utente può andare oltre nella validazione e realizzare degli abbattimenti di tutti i precursori su una riduzione maggiore (ad esempio -75%) per testare il limite di linearità o anche un taglio di tutti i precursori su una zona o anche un abbattimento mirato ad un'attività, ecc. A parte la simulazione obbligatoria con un abbattimento su tutti i precursori allo stesso tempo, le altre simulazioni possono testare i limiti e la robustezza dell'approccio S/R. Questi limiti sono stati testati nell'ambito del progetto e danno all'utente un'ottima diminuzione dei limiti dei risultati SHERPA. In particolare, è stato osservato che l'approccio SHERPA:

- è relativamente performante per risposte di riduzione uniforme (ad es. riduzione di un inquinante o di un'attività in modo geograficamente identico). Per contro,

sur des zones spécifiques, les réponses du modèle sont moins performantes.

- N'est pas conseillé dans le cas de réductions supérieur à 50% des émissions car la linéarité de la réponse se détériore à cause des processus chimiques qui sont non linéaires et deviennent prépondérants pour des réductions trop importantes.

Pour les runs de coupures, les familles de précurseurs choisies sont liées à l'utilisation de SHERPA qui fixe le nombre de précurseurs possible à la liste suivante ([Tableau/Tabella 14](#)). Ce tableau résume l'ensemble des runs à produire et propose la réalisation de 2 runs de validations supplémentaires (validation 2 et validation 3).

per la riduzione delle emissioni spazializzate in aree specifiche, le risposte del modello sono meno performanti;

- non è consigliato per riduzioni superiori al 50% delle emissioni poiché la linearità della risposta si deteriora a causa dei processi chimici che sono non lineari e diventano preponderanti per riduzioni troppo grandi.

Per le simulazioni di abbattimento, le famiglie di precursori scelte sono legate all'uso di SHERPA, che stabilisce il numero di possibili precursori nella seguente lista ([Tableau/Tabella 14](#)). Questa tabella riassume tutte le simulazioni da produrre e propone la realizzazione di 2 ulteriori simulazioni di validazione (validazione 2 e validazione 3).

Run	Reduction	Family of pollutants	Details of emissions to reduce in the emissions files (CHIMERE example)
Base	X	X	X
Cut 1	-50%	PM_coarse	OCAR_coa, BCAR_coa, PPM_coa, PPM_big
Cut 2	-50%	PM2.5	PNO ₃ _fin, BCAR_fin, OCAR_fin, BaP_fin, BbF_fin, BkF_fin, PPM_fin
Cut 3	-50%	NMVOG	TOL, TMB, C ₂ H ₆ , NC ₄ H ₁₀ , C ₂ H ₄ , C ₃ H ₆ , APINEN, C ₅ H ₈ , OXYL, HCHO, CH ₃ CHO, CH ₃ COE, CH ₃ OH, C ₂ H ₅ OH
Cut 4	-50%	NH ₃	NH ₃
Cut 5	-50%	SOx	SO ₂ , H ₂ SO ₄ _fin
Cut 6	-50%	NOx	NO ₂ , NO, HONO
Validation 1	-50%	All	OCAR_coa, BCAR_coa, PPM_coa, PPM_big, PNO ₃ _fin, BCAR_fin, OCAR_fin, BaP_fin, BbF_fin, BkF_fin, PPM_fin, TOL, TMB, C ₂ H ₆ , NC ₄ H ₁₀ , C ₂ H ₄ , C ₃ H ₆ , APINEN, C ₅ H ₈ , OXYL, HCHO, CH ₃ CHO, CH ₃ COE, CH ₃ OH, C ₂ H ₅ OH, NH ₃ , SO ₂ , H ₂ SO ₄ _fin, NO ₂ , NO, HONO
Validation 2	-25%	All	OCAR_coa, BCAR_coa, PPM_coa, PPM_big, PNO ₃ _fin, BCAR_fin, OCAR_fin, BaP_fin, BbF_fin, BkF_fin, PPM_fin, TOL, TMB, C ₂ H ₆ , NC ₄ H ₁₀ , C ₂ H ₄ , C ₃ H ₆ , APINEN, C ₅ H ₈ , OXYL, HCHO, CH ₃ CHO, CH ₃ COE, CH ₃ OH, C ₂ H ₅ OH, NH ₃ , SO ₂ , H ₂ SO ₄ _fin, NO ₂ , NO, HONO
Validation 3	-50%	All	OCAR_coa, BCAR_coa, PPM_coa, PPM_big, PNO ₃ _fin, BCAR_fin, OCAR_fin, BaP_fin, BbF_fin, BkF_fin, PPM_fin, TOL, TMB, C ₂ H ₆ , NC ₄ H ₁₀ , C ₂ H ₄ , C ₃ H ₆ , APINEN, C ₅ H ₈ , OXYL, HCHO, CH ₃ CHO, CH ₃ COE, CH ₃ OH, C ₂ H ₅ OH, NH ₃ , SO ₂ , H ₂ SO ₄ _fin, NO ₂ , NO, HONO On specific area or activity

Tableau/Tabella 14 : Exemple de liste des runs de coupures, référence et validation pour l'entrainement du modèle source/récepteur (SHERPA)/ Esempio di elenco delle simulazioni di abbattimento, di riferimento e di validazione per la formazione sul modello sorgente/recettore (SHERPA)

2. Validation des runs de coupures/Validazione delle simulazioni di abbattimento

La validation de la linéarité est une étape importante dans le processus de mise en place de SHERPA. Elle doit être réalisée avant les calculs de SHERPA. Elle valide le taux de réduction utilisé dans les scénarios de coupure. Par exemple dans le cas où les scénarios de coupures ont été réalisés avec une réduction de 50% et le scénario de validation avec une réduction de -25%, la qualité de la linéarité sera vérifiée par la relation suivante :

La validazione della linearità è un passo importante nel processo di implementazione di SHERPA. Deve essere realizzata prima dei calcoli di SHERPA. Convalida il tasso di riduzione utilizzato negli scenari di abbattimento. Ad esempio, se gli scenari di abbattimento sono stati realizzati con una riduzione del 50% e lo scenario di validazione con una riduzione del -25%, la qualità della linearità sarà verificata dalla seguente relazione:

$$2 \times \Delta PM[25\%all] = \Delta PM[50\%PPM] + \Delta PM[50\%NOx] + \Delta PM[50\%SO_2] + \Delta PM[50\%VOC] + \Delta PM[50\%NH_3]$$

Avec/Dove $\Delta PM = PM10[Reference] - PM10[Scenario]$

La **Figure/Figura** 66 propose un exemple de graphique de validation sur la base d'un run de validation des PM10 avec une réduction de -50% de tous les précurseurs par rapport aux runs de coupures. La linéarité de l'approche peut être validée grâce aux coefficients de régression linéaire du graphique qui peuvent être considérés comme valide si (critère arbitraire) :

- $r^2 > 0.8$
- $0.9 < \text{pente} < 1.1$ (dans le cas des scénarios de réduction isolés - 50% en comparaison avec le scénario -50% total, la pente

La **Figure/Figura** 66 mostra un esempio di grafico di validazione basato su una simulazione di validazione di PM10 con una riduzione del -50% di tutti i precursori rispetto alle simulazioni di abbattimento. La linearità dell'approccio può essere validata utilizzando i coefficienti di regressione lineare del grafico che possono essere considerati validi se (criterio arbitrario):

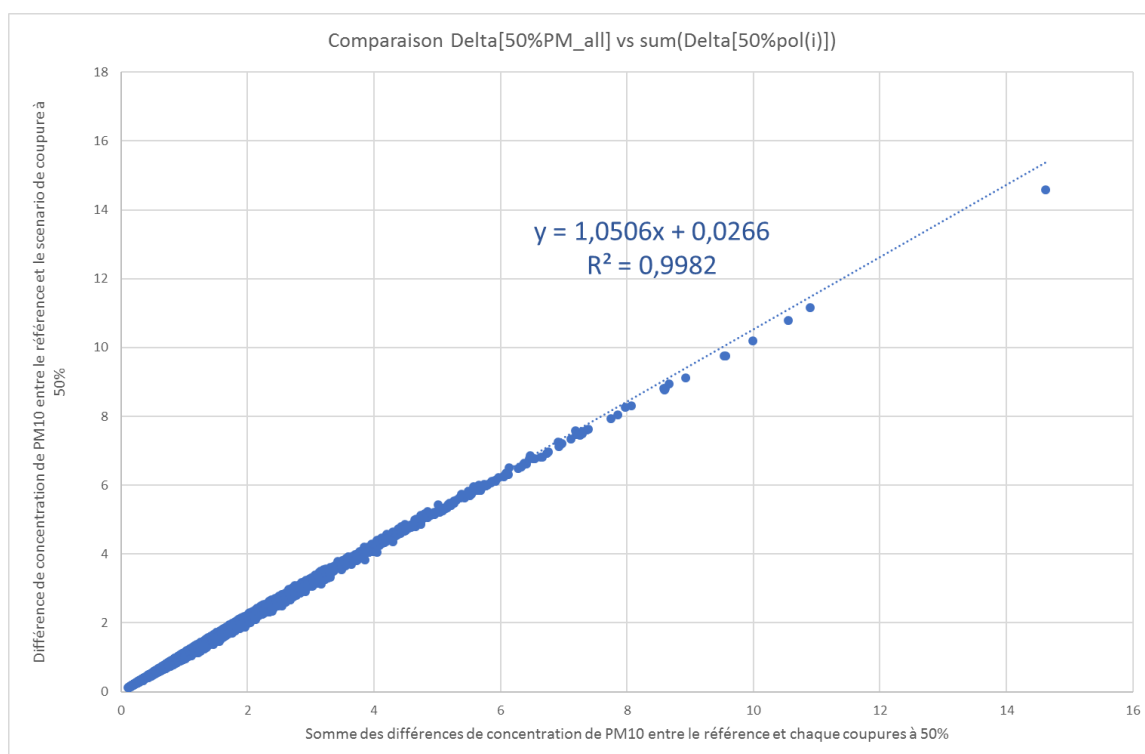
- $r^2 > 0.8$
- $0.9 < \text{pendenza} < 1.1$ (Per scenari di riduzione isolati - 50% rispetto allo scenario

idéale recherchée doit être égal à 1. Pour des scénarios de coupure de -50% et un scénario de validation, la pente doit être égal à 2)

- $-1 < \text{offset} < 1$

totale -50% la pendenza ideale deve essere pari a 1. Per scenari di abbattimento del -50% e uno scenario di validazione, la pendenza deve essere pari a 2)

- $-1 < \text{offset} < 1$



Figure/Figura 66 : Exemple de graphique de validation de la linéarité entre des runs de coupures -50% et un run de validation -50% de l'ensembles des précurseurs/ Esempio di grafico di validazione della linearità tra simulazioni di abbattimento -50% e una simulazione di validazione-50% di tutti i precursori

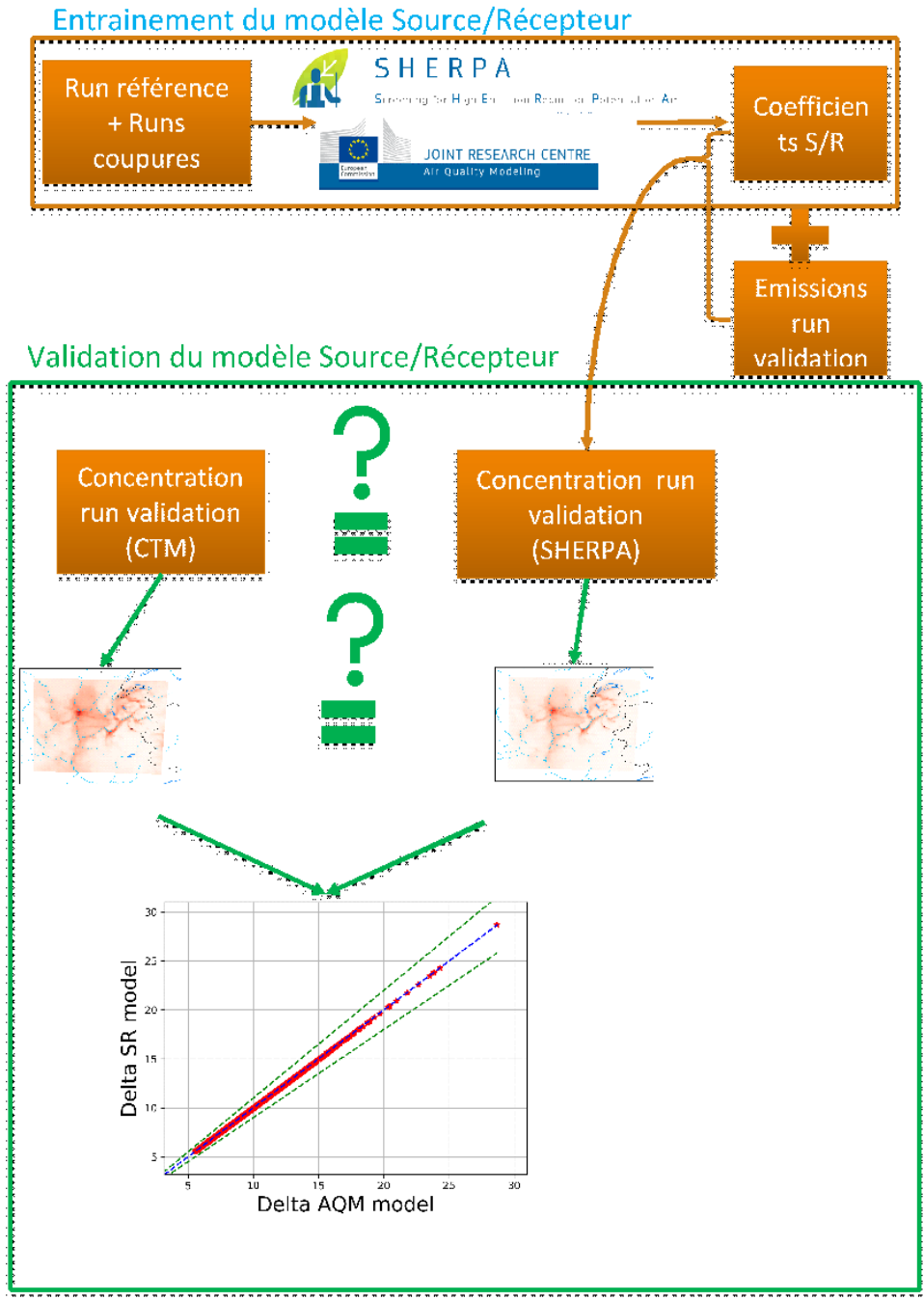
3. Mise en œuvre et validation de SHERPA/Implementation e validazione di SHERPA

La validation de l'approche source/récepteur repose sur l'utilisation des runs de validation. Ces runs ne servent pas au calcul des coefficients du source/récepteur. Seules les données d'entrées d'émissions et les coefficients

La validazione dell'approccio sorgente/recettore si basa sull'uso delle simulazioni di validazione. Queste simulazioni non vengono utilizzate per calcolare i coefficienti sorgente/recettore. Per prevedere le concentrazioni vengono utilizzati

(calculés grâce à l'entraînement avec les runs de coupures) sont utilisés pour prédire les concentrations. La **Figure/Figura 67** résume la démarche de calcul :

solo i dati di input delle emissioni e i coefficienti (calcolati grazie alla formazione sulle simulazioni di abbattimento). La **Figure/Figura 67** riassume la procedura di calcolo:



Figure/Figura 67 : Schéma d'explication de la procédure de validation du modèle SHERPA/ Schema esplicativo della procedura di validazione del modello SHERPA

La question sous-jacente à la validation de l'approche SHERPA est la suivante: le modèle SHERPA permet-il de remplacer le modèle CTM dans l'estimation finale (ici moyenne annuelle) ?

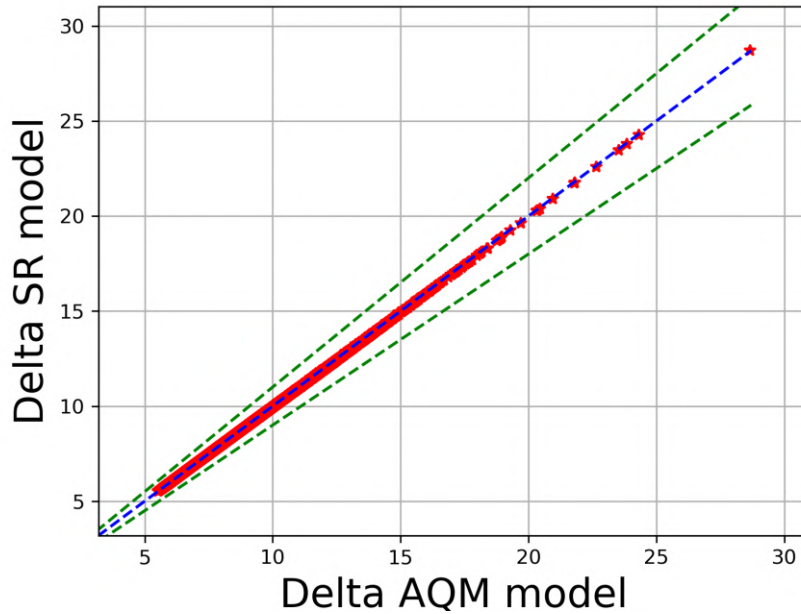
Pour répondre à cette question et avoir une idée de la validité de la réponse, les partenaires ont convenu lors des sessions de formation et COPIL de regarder la comparaison du modèle CTM et SHERPA avec le graphique de la **Figure/Figura 68** pour chaque run de validation. Il s'agit d'un graphique représentant pour chaque point, les valeurs de la moyenne annuelle du polluant issue du CTM et de l'approche S/R pour chaque maille de la grille de calcul. En abscisse, on retrouvera les valeurs issues du CTM et en ordonnées les valeurs de l'approche SHERPA. Lorsque les points sont alignés sur une droite de pente égal à 1 et d'origine égal à 0, la simulation est considérée comme parfaite.

La **Figure/Figura 68** est un exemple considéré comme une validation du modèle S/R et la **Figure/Figura 69** comme un exemple invalidant.

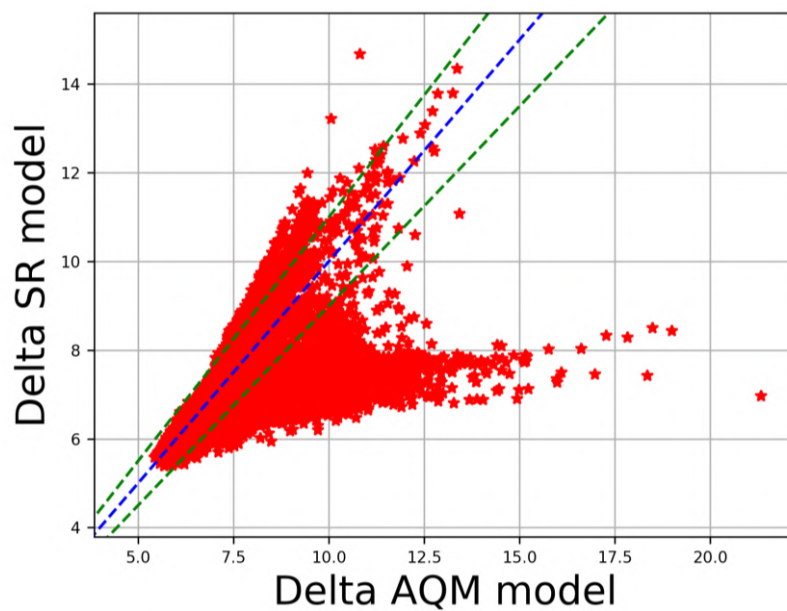
La domanda alla base della validazione dell'approccio SHERPA è la seguente: il modello SHERPA consente di sostituire il modello CTM nella stima finale (qui media annua)?

Per rispondere a questa domanda e per avere un'idea della validità della risposta, i partner hanno concordato durante le sessioni di formazione e i COPIL di esaminare il confronto tra il modello CTM e SHERPA con il grafico della **Figure/Figura 68** per ogni simulazione di validazione. Si tratta di un grafico che rappresenta per ogni punto i valori della media annua dell'inquinante derivata da CTM e dell'approccio S/R per ogni cella della griglia di calcolo. Le ascisse mostrano i valori ottenuti da CTM e le ordinate i valori dell'approccio SHERPA. Quando i punti sono allineati su una linea retta con una pendenza pari a 1 e un'origine pari a 0, la simulazione è considerata perfetta.

La **Figure/Figura 68** è un esempio considerato di validazione del modello S/R e la **Figure/Figura 69** un esempio non validante.



Figure/Figura 68 : Exemple de comparaison entre les valeurs du CTM ou AQM (Air Quality Model) et du S/R (SHERPA ou source/récepteur) d'un run de validation. Pour cet exemple, l'approche SHERPA est considéré comme correcte./esempio di confronto tra i valori di CTM o AQM (Air Quality Model) e di S/R (SHERPA o sorgente/recettore) di una simulazione di validazione. Per questo esempio l'approccio SHERPA è considerato corretto



Figure/Figura 69 : Exemple de comparaison entre les valeurs du CTM ou AQM (Air Quality Model) et du S/R (SHERPA ou source/récepteur) d'un run de validation. Pour cet exemple, l'approche SHERPA est considéré comme invalide./ esempio di confronto tra i valori di CTM o AQM (Air Quality Model) e di S/R (SHERPA O sorgente/recettore) di una simulazione di validazione. Per questo esempio l'approccio SHERPA è considerato non valido

Après de nombreuses discussions lors des formations et COPIL, il s'avère que le critère de validation reste assez subjectif et mériterait d'être plus cadré dans sa formulation. Dans le cas où l'utilisateur considère le run comme incorrect, il a encore la possibilité de :

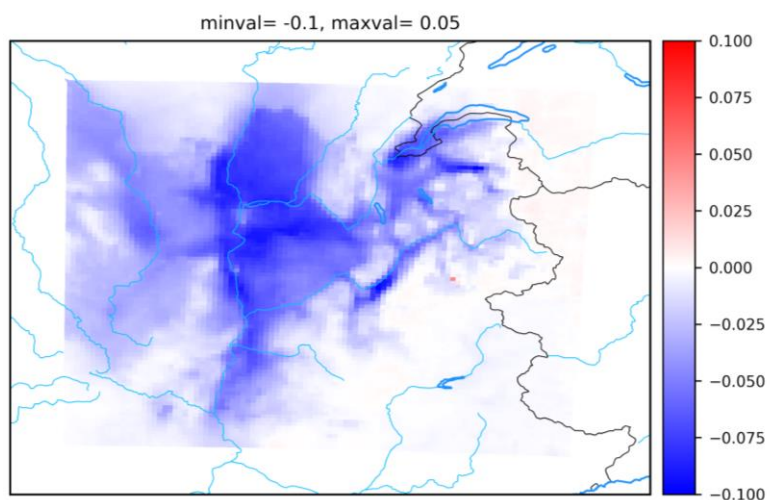
- Etudier la sensibilité des paramètres de calcul du modèle source/récepteur,
- Identifier si la source des erreurs est spatialisée,
- Remettre en cause le run de validation.

Une autre sortie graphique du modèle SHERPA présentant la différence avec le CTM est aussi disponible comme sur l'exemple de la [Figure/Figura 70](#). Sur cette carte, un run parfait présentera des biais égaux à 0. L'utilisateur peut ici juger cartographiquement des biais induit par la méthode.

Dopo molte discussioni durante la formazione e i COPIL, sembra che il criterio di validazione rimanga piuttosto soggettivo e meriterebbe di essere definito più chiaramente nella sua formulazione. Nel caso in cui l'utente ritenga che la simulazione non sia corretta, ha comunque la possibilità di:

- studiare la sensibilità dei parametri di calcolo del modello sorgente/recettore;
- identificare se la fonte degli errori è spazializzata;
- rimettere in causa la simulazione di validazione.

È disponibile anche un altro output grafico del modello SHERPA che indica la differenza con CTM, come mostrato nell'esempio della [Figure/Figura 70](#). Su questa mappa, una simulazione perfetta avrà delle distorsioni pari a 0. Qui l'utente può giudicare cartograficamente le distorsioni indotte dal metodo.

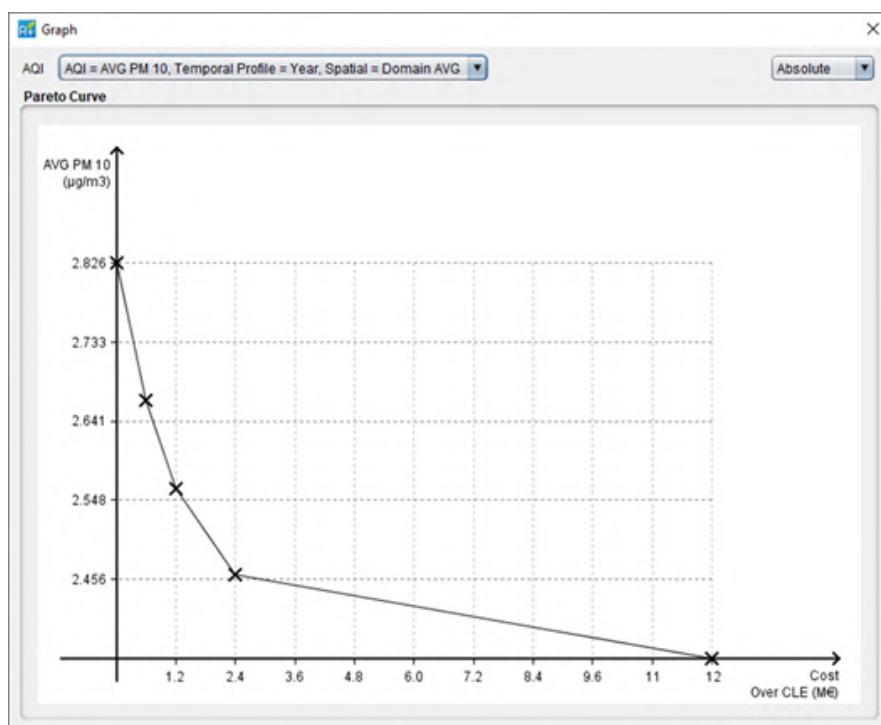


Figure/Figura 70 : Exemple de cartographie de la différence entre les concentrations moyennes annuelles du CTM et du SR du run de validation/Esempio di cartografia della differenza tra le concentrazioni medie annue di CTM e di SR della simulazione di validazione

4. Mise en œuvre de RIAT et définition des mesures optimales/Implementazione di RIAT e definizione delle misure ottimali

Après la mise en forme des données d'entrée pour RIAT à partir du cadastre des émissions et des sorties SHERPA, l'utilisateur peut passer à l'utilisation de RIAT. L'objectif de cette mise en œuvre de l'outil RIAT dans le projet CLIMAERA est d'établir les scénarios les plus optimisés par région pour les traduire en termes de scénario pour de nouvelles simulations réalisées sur le domaine commun ALCOTRA. Pour optimiser le coût, RIAT propose tout d'abord de représenter sur une courbe dite de Pareto le coût économique total par rapport à l'indice de qualité de l'air choisi. L'exemple de la **Figure/Figura 71** permet de visualiser ce type de courbe.

Dopo aver formattato i dati di input per RIAT a partire dall'inventario/cadastre delle emissioni e degli output SHERPA, l'utente può passare all'uso di RIAT. L'obiettivo di questa implementazione dello strumento RIAT nel progetto CLIMAERA è quello di stabilire gli scenari più ottimizzati per regione e tradurli in termini di scenari per nuove simulazioni realizzate sul dominio comune ALCOTRA. Per ottimizzare il costo, RIAT propone innanzitutto di rappresentare su una curva detta di Pareto il costo economico totale rispetto all'indice di qualità dell'aria scelto. L'esempio in **Figure/Figura 71** permette di visualizzare questo tipo di curva.



Figure/Figura 71 : Exemple de courbe de Pareto représentant l'optimisation des coûts d'investissement technologique sur la réduction des PM10 (test sur la région Aoste)/ Esempio di curva di Pareto rappresentante l'ottimizzazione dei costi di investimento tecnologico sulla riduzione di PM10 (test sulla regione Valle d'Aosta)

L'utilisateur doit ensuite choisir une somme en sélectionnant un point sur la courbe.

Une fois ce point choisie, RIAT propose alors une série de mesure dans un tableau comme le montre la [Figure/Figura 72](#) :

L'utente deve poi scegliere una somma selezionando un punto sulla curva.

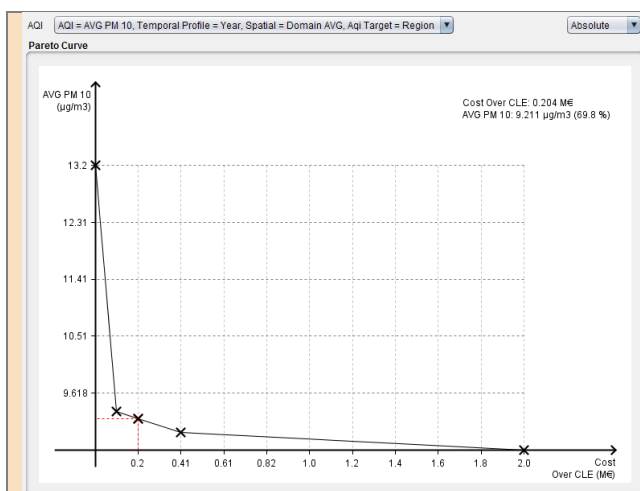
Una volta scelto questo punto, RIAT propone allora una serie di misure in una tabella come mostrato nella [Figure/Figura 72](#):

SNAP 1	Sector	Activity	Technology	LowHigh	Application Ra...	CLE AR	OPT AR	POT AR	EmiRedPm10[...]	EmiRedNox[ton]
7	Cars	Diesel	EURO 7 on light duty diesel road vehicles	1	→→→→→	0.0	16.1	100.0	1044.8	2811.0
2	Fireplaces	Fuelwood	Improved fireplace	1	→→→→→	40.0	100.0	100.0	366.5	0.0
7	Light duty vehicles	Diesel	EURO 7 on light duty diesel road vehicles	1	→→→→→	0.0	9.9	100.0	281.3	1786.3
7	Cars	Diesel	EURO 5	1	→→→→→	13.1	0.0	100.0	-844.8	543.0
7	Light duty vehicles	Diesel	EURO 5	1	→→→→→	8.8	0.0	100.0	-249.2	-706.2
7	Cars	Diesel	EURO 4	1	→→→→→	3.0	0.0	100.0	-159.5	-21.5
7	Light duty vehicles	Diesel	EURO 4	1	→→→→→	1.1	0.0	100.0	-26.9	-93.2

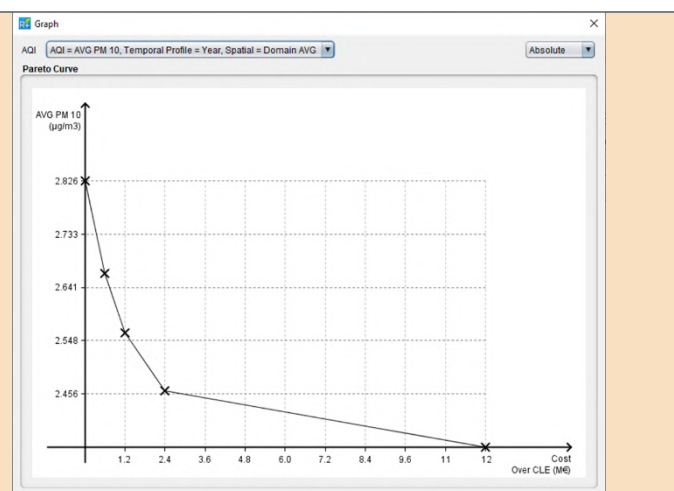
Figure/Figura 72 : Exemple du tableau de classification RIAT+ après le choix d'un investissement sur la courbe de Pareto/ Esempio della tabella di classificazione RIAT+ dopo la scelta di un investimento sulla curva di Pareto

Tous les partenaires ont choisi de classier leur mesures optimales RIAT+ selon les quantités d'émissions du polluant cible et ainsi sortir dans une première approche les mesures les plus efficaces. Le point de la courbe de Pareto choisi par chaque partenaire n'est pas fixé en termes de coût entre les partenaires car les sommes à investir sont vraiment différentes d'une région à une autre. Il a été convenu que ce point devait correspondre au minima de l'optimisation (lorsque la courbe change drastiquement de pente).

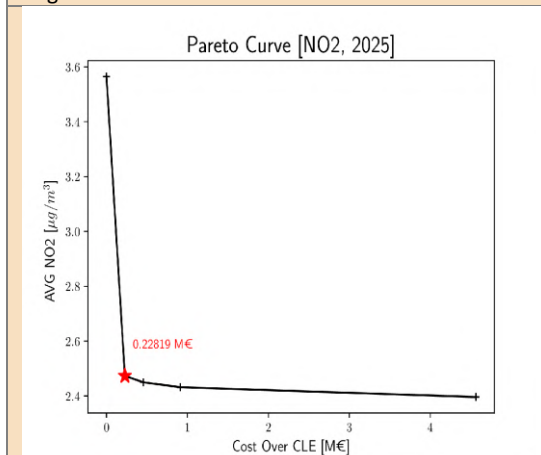
Tutti i partner hanno scelto di classificare le loro misure RIAT+ ottimali in base alle quantità di emissioni dell'inquinante target e quindi di elaborare le misure più efficaci in un primo approccio. Il punto della curva di Pareto scelto da ciascun partner non è fissato in termini di costo tra i partner poiché le somme da investire sono davvero diverse da una regione all'altra, ma è stato concordato che questo punto doveva corrispondere al minimo di ottimizzazione (quando la curva cambia drasticamente la pendenza).



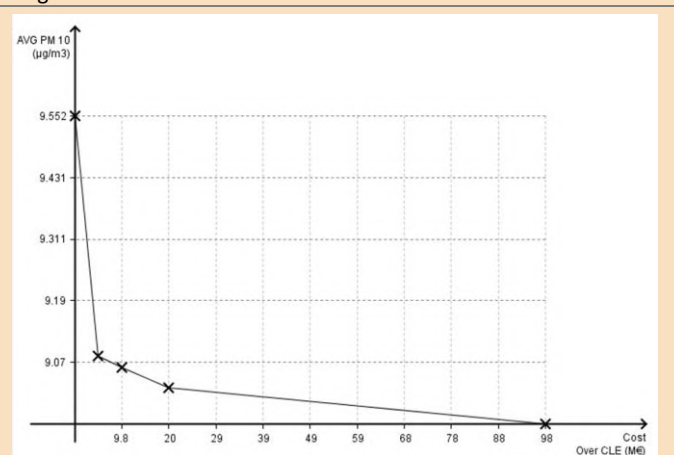
Région Piemonte



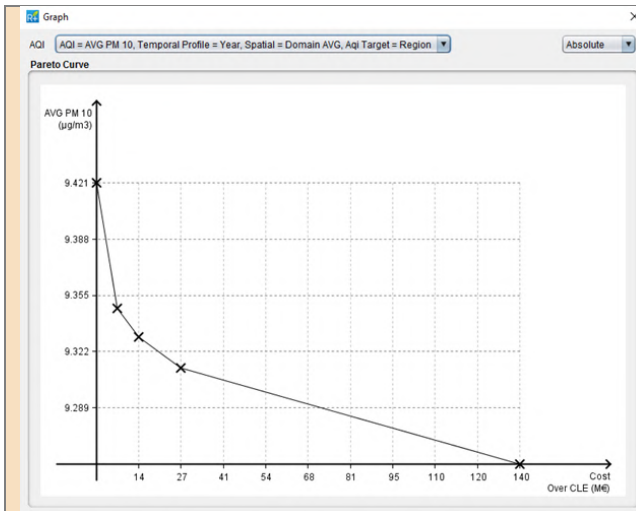
Région Vallée d'Aoste



Région Ligurie



Région Provence-Alpes-Côte d'Azur



Région Auvergne Rhône Alpes

Tableau/Tabella 15 : Exemples de courbes de Pareto obtenus lors de la mise en œuvre de RIAT+/Esempi di curve di Pareto ottenute all'implementazione di RIAT+

Afin d'avoir un horizon temporel commun pour les projections des mesures sur la zone ALCOTRA, tous les partenaires ont optimisé leurs solutions à l'échéance de 2030 après l'application de la législation européenne (CLE). Il s'avère que la CLE réduit fortement les niveaux des émissions de la plupart des bilans régionaux. De ce fait, les optimisations proposent le plus souvent de mettre en œuvre des technologies déjà préconisées par la législation européenne mais avec un taux d'application plus important. C'est le cas du chauffage au bois par exemple ou encore des changements de motorisation des véhicules diesels que l'on retrouve dans la législation et l'optimisation RIAT+ comme une des premières mesures optimisées.

Per avere un orizzonte temporale comune per le proiezioni delle misure nell'area ALCOTRA, tutti i partner hanno ottimizzato le loro soluzioni per il 2030 dopo l'applicazione della legislazione europea (CLE). Sembra che il CLE riduca fortemente i livelli di emissione della maggior parte di bilanci regionali. Di conseguenza, le ottimizzazioni più spesso propongono di implementare tecnologie già ridotte dalla legislazione ma che continuano lo sforzo. È il caso del riscaldamento a legna, ad esempio, o delle modifiche di motorizzazione dei motori diesel, che si possono trovare nella legislazione e nell'ottimizzazione RIAT+ come una delle prime misure ottimizzate.

Le misure ottimizzate RIAT non presentano una diminuzione

Les mesures optimisées RIAT ne présentent pas de baisse significative des concentrations. Elles ont le plus souvent un impact inférieur au % ou au $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ sur les moyennes annuelles régionales ou locale (maille de modélisation). Tous les partenaires ont convenu qu'il serait plus intéressant de proposer de nouvelles mesures qui seraient implémentées dans RIAT et qui vont au-delà des technologies prévues dans GAINS.

En effet, RIAT permet de créer des nouvelles mesures dans sa base de données et ainsi d'appliquer ces mesures lors de l'optimisation. La plupart des partenaires ont choisi une à plusieurs mesures inspirées de plans locaux ou régionaux prévus aux échéances 2030. Les propositions de mesures ont aussi été sélectionnées en fonction des résultats obtenus lors des scénarios de coupures comme par exemple pour la région Auvergne-Rhône-Alpes où les émissions de NH_3 (dont le contributeur principal est la source agricole) ont un impact non négligeable sur la formation des PM_{10} . A noter qu'il est possible aussi de saisir un coût pour ces mesures dites non-techniques mais leur estimation s'étant révélée difficile pour les harmoniser avec les coûts GAINS, il a été choisi de les appliquer avec un coût nul.

Chaque partenaire a aussi choisi les polluants cibles de l'optimisation RIAT avec des mesures technologiques ou non technologiques. En effet, chaque

significativa delle concentrazioni. Il più delle volte hanno un impatto inferiore alla % o a $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ sulle medie annue regionali o locali (griglia di modellizzazione). Tutti i partner hanno convenuto che sarebbe più interessante proporre nuove misure da implementare in RIAT e che vanno oltre le tecnologie previste da GAINS. RIAT consente infatti di creare nuove misure nella sua banca dati e quindi di applicarle durante l'ottimizzazione. La maggior parte dei partner ha scelto una o più misure ispirate ai piani locali o regionali per il 2030. Le misure proposte sono state selezionate anche in base ai risultati ottenuti durante gli scenari di abbattimento, come ad esempio per la regione Alvernia-Rodano-Alpi, dove le emissioni di NH_3 (a cui contribuisce principalmente il settore agricolo) hanno un impatto non trascurabile sulla formazione di PM_{10} . Va notato che è anche possibile inserire un costo per queste cosiddette misure non tecniche, ma poiché la loro stima si è rivelata difficile da armonizzare ai costi GAINS, si è deciso di applicarle a costo zero.

Ogni partner ha inoltre scelto gli inquinanti target dell'ottimizzazione RIAT con misure tecnologiche o non tecnologiche. In effetti, ogni regione ha problemi di qualità dell'aria diversi. Le regioni alpine, ad esempio,

région possède des enjeux de qualité de l'air différent. Les régions alpines sont par exemple plus exposées à des épisodes particuliers et ont davantage choisi une optimisation sur les PM10. A contrario, le dioxyde d'azote représente un enjeu plus important pour des régions possédant des métropoles importantes et/ou zones industrielles par exemple.

sono più esposte a problemi con il particolato e hanno scelto di più l'ottimizzazione su PM10. D'altra parte, il biossido di azoto rappresenta una questione più importante per le regioni con grandi metropoli e/o zone industriali, ad esempio.

Points d'améliorations et retour d'expérience des utilisateurs de RIAT/Punti di miglioramento e feedback degli utenti di RIAT

Les différents échanges entre utilisateurs et développeurs ont aussi amené plus de recul sur la solution RIAT et ont permis de synthétiser plusieurs points d'améliorations des outils RIAT, SHERPA et GAINS :

- Le tableau des résultats finaux regroupant les mesures optimisées dans RIAT permet de classer par niveau de réduction des émissions et non en fonction des réductions des concentrations. Dans l'objectif de réduire des concentrations, il paraît plus adéquat de proposer une colonne affichant l'impact sur les concentrations,
- Il y a un biais induit par le fichier qui fait le lien entre les activités GAINS et le cadastre des émissions appelé « mapping ». Par exemple, il existe deux sortes de technologie pour le chauffage au bois : Fireplaces, heating stoves. Pour réaliser la connexion avec les émissions

I diversi scambi tra utenti e sviluppatori hanno inoltre portato ad un maggiore feedback sulla soluzione RIAT e hanno permesso di sintetizzare i seguenti vari punti di miglioramento degli strumenti RIAT, SHERPA e GAINS:

- la tabella dei risultati finali che raggruppa le misure ottimizzate in RIAT consente di classificare per livello di riduzione delle emissioni e non in funzione delle riduzioni delle concentrazioni;
- c'è una distorsione provocata dal file che assicura il collegamento tra le attività di GAINS e l'inventario/cadastre delle emissioni chiamato "mappatura". Ad esempio, esistono due tipi di tecnologie per il riscaldamento a legna: caminetti, termostufe. Per effettuare il collegamento con le emissioni degli inventari regionali, è necessario avere la stessa ripartizione, il che non è

des inventaires régionaux, il est nécessaire d'avoir ce même découpage ce qui n'est pas forcément le cas dans les inventaires régionaux. Pourtant ce découpage a une influence importante car il repose sur des technologies plus ou moins efficaces en termes d'émission de polluant. En connectant les inventaires seulement à une sorte de technologie, les résultats de l'optimisation peuvent changer. Un travail d'harmonisation au-delà du simple mapping est donc nécessaire pour mettre en œuvre la solution,

- La base GAINS relativement ancienne ne prend pas en compte des technologies actuelles comme les voitures électriques par exemple. Une mesure qui a été implémentée manuellement par de nombreux partenaires,
- Dans GAINS, il n'y a pas de technologie pour réduire les émissions de NH₃ pourtant source indirecte de particules,
- L'optimisation ne peut pas être réalisée sur les gaz à effet de serre dans RIAT,
- Il existe une limitation du taux d'application. La CLE manage beaucoup de secteurs et cela empêche certaines technologies d'être remplacées totalement. L'utilisateur peut en revanche reprendre à la

nécessairement garantito per gli inventari regionali. Tuttavia, questa ripartizione ha un'influenza importante poiché si basa su tecnologie più o meno efficienti in termini di emissioni di inquinanti. Collegando gli inventari ad un solo tipo di tecnologia, i risultati dell'ottimizzazione possono cambiare. Per implementare la soluzione è quindi necessario un lavoro di armonizzazione che vada oltre la semplice mappatura;

- la banca dati GAINS, relativamente vecchia, non tiene conto delle tecnologie attuali, come ad esempio le auto elettriche. Una misura che è stata implementata manualmente da molti partner;
- In GAINS, non esiste una tecnologia per ridurre le emissioni di NH₃, anche se è una fonte indiretta di particolato;
- l'ottimizzazione non può essere effettuata sui gas serra in RIAT;
- esiste una limitazione del tasso di applicazione. Il CLE gestisce molti settori e questo impedisce la totale sostituzione di alcune tecnologie. L'utente può comunque prendere in mano questi tassi, ma deve assicurarsi che siano applicati correttamente;
- la descrizione delle tecnologie GAINS non è ancora chiara

main ces taux mais doit veiller à leur bonne application,

- La description des technologies GAINS est encore floue car il n'y pas de document décrivant l'amélioration technologique référence (exemple « improvement of heating stoves » n'a pas de référence même si intuitivement il est sûrement question de la mise en place de poêles à bois),
- Certaines mesures techniques proposées par RIAT ont peu d'influences sur les émissions de gaz à effet de serre et cela est sans doute lié au fait que les technologies disponibles sont plus efficaces pour les indicateurs qualité de l'air,
- L'optimisateur n'est pas performant s'il suit deux objectifs d'optimisation en même temps (typiquement PM10 et NO₂). Il est conseillé de n'utiliser qu'un seul objectif d'optimisation.

La flexibilité et l'accès aux sources des données de RIAT permet cependant de palier la plupart des points évoqués. Même si l'outil peut être encore amélioré, il reste très fonctionnel et rapide. Les temps de calcul sont relativement faibles lorsque l'utilisateur passe à la solution RIAT (environ 30 minutes par cas) ce qui en fait un des atouts principal.

poiché non esiste un documento che descriva il miglioramento tecnologico di riferimento (l'esempio "miglioramento delle termostufe" non ha alcun riferimento, anche se intuitivamente si tratta probabilmente dell'installazione di stufe a legna);

- alcune misure tecniche proposte da RIAT hanno una scarsa influenza sulle emissioni di gas serra e ciò è probabilmente legato al fatto che le tecnologie disponibili sono più efficaci per gli indicatori di qualità dell'aria;
- l'ottimizzatore non è performante se segue due obiettivi di ottimizzazione contemporaneamente (tipicamente PM10 e NO₂). Si consiglia di utilizzare un solo obiettivo di ottimizzazione.

Tuttavia, la flessibilità e l'accesso alle fonti di dati di RIAT consentono di ovviare alla maggior parte dei punti sollevati. Anche se lo strumento può essere ulteriormente migliorato, rimane molto funzionale e veloce. I tempi di calcolo sono relativamente bassi quando l'utente passa alla soluzione RIAT (circa 30 minuti per caso), il che lo rende uno dei principali vantaggi.

4.2 Identification des mesures en faveur de la qualité de l'air/ Individuazione di misure per migliorare la qualità dell'aria

Pour l'utilisation du modèle de calcul RIAT+ à l'échelle régionale, chaque partenaire du projet CLIMAERA a identifié un ensemble de mesures de planification pour la réduction concomitante des polluants de l'atmosphère et des gaz à effet de serre

Ces mesures s'ajouteront aux dispositions du scénario GAINS pour l'année 2030 au niveau local.

Le choix des secteurs d'émission sur lesquels les régions entendent intervenir témoigne les différences territoriales sur la zone ALCOTRA : en effet, on passe des interventions sur les systèmes de chauffage au bois pour les zones alpines à celles des activités portuaires pour les zones côtières.

Commun à toutes les régions est le choix d'intervenir sur le transport routier en réduisant les émissions des véhicules légers qui provoquent une pollution importante dans les centres urbains.

Per l'utilizzo del modello di calcolo RIAT+ a scala regionale, ogni partner del progetto CLIMAERA ha individuato un set di misure di pianificazione per la riduzione contemporanea degli inquinanti dell'atmosfera e dei gas climalteranti.

Tali misure andranno a sommarsi a quanto previsto dallo scenario GAINS per il 2030 a livello locale.

La scelta dei settori emissivi per i quali le Regioni intendono intervenire testimonia le differenze territoriali delle Regioni ALCOTRA: si passa difatti dagli interventi sugli impianti di riscaldamento a legna per le aree alpine a quelli delle attività portuali per le aree costiere.

Comune a tutte le Regioni è invece la scelta di intervenire sui trasporti stradali riducendo le emissioni dei veicoli leggeri che provocano notevole inquinamento nei centri urbani.

4.2.1 Rapport concernant le choix de mesures optimales/ Report scelte delle misure ottimali

Les inventaires régionaux/Gli inventari regionali

Afin de mieux comprendre le choix des mesures locales incluses par les partenaires du projet comme données d'entrée pour les simulations effectuées avec le modèle RIAT+, il est nécessaire d'examiner les inventaires/cadastres régionaux des émissions des cinq régions du territoire ALCOTRA.

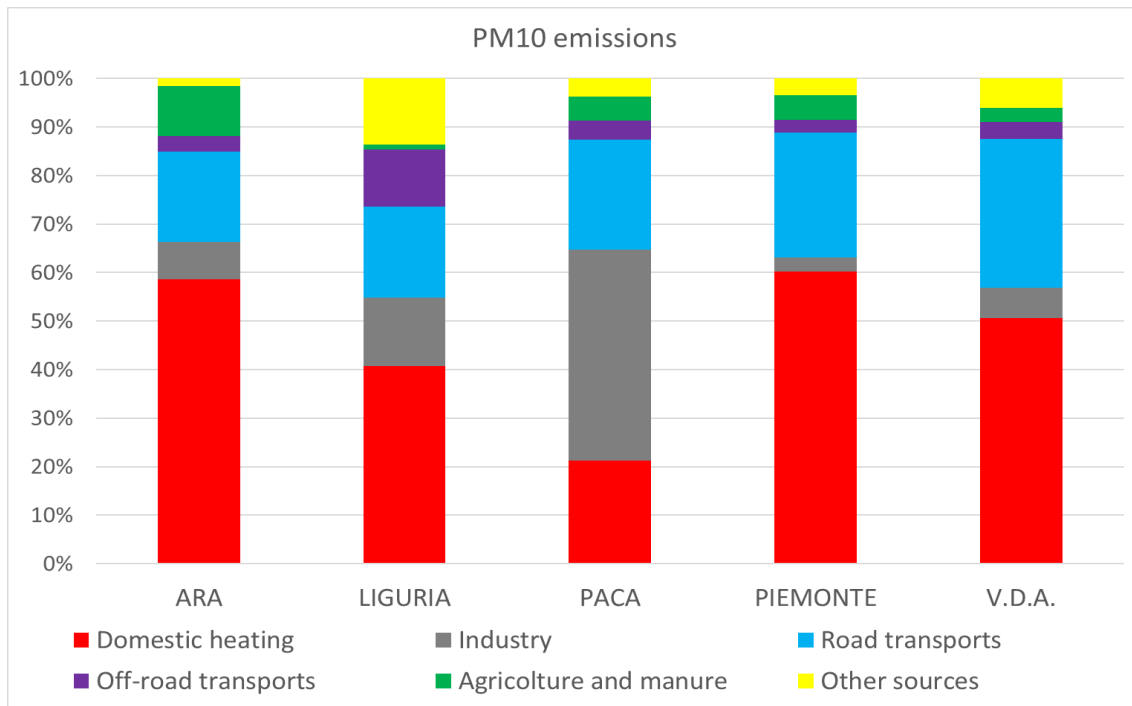
L'algorithme interne du modèle RIAT considère, comme critère de choix des mesures, la réduction des concentrations d'oxyde d'azote et de particules PM10 dans l'atmosphère, ainsi nous limitons l'analyse des inventaires/cadastres à ces deux polluants.

Les diagrammes relatifs à la contribution en pourcentage des différentes sources d'émission présentes dans les cinq régions du projet sont montrés ci-dessous.

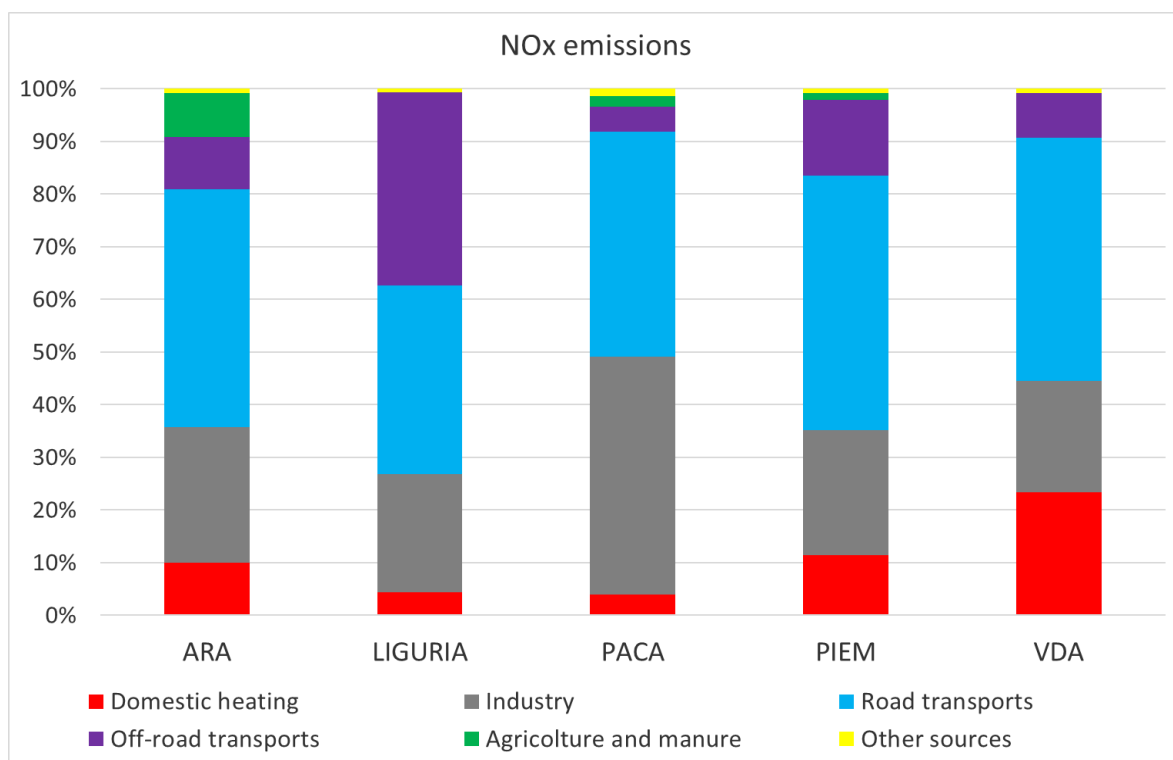
Per meglio comprendere la scelta delle misure locali inserite dai partners del progetto come dato di ingresso per le simulazioni effettuate con il modello RIAT+ è necessario esaminare gli inventari regionali delle emissioni delle cinque regioni ALCOTRA.

Dato che l'algoritmo interno al modello RIAT considera come criteri per la scelta delle misure la riduzione delle concentrazioni in atmosfera del biossido d'azoto e quelle del particolato PM10, limitiamo l'analisi degli inventari a questi due soli inquinanti.

Sono riportati qui di seguito i diagrammi relativi al contributo percentuale delle diverse sorgenti emissive presenti nelle cinque regioni di progetto.



Figure/Figura 73 : Émissions régionales des particules PM10 (année de base 2013)/ Emissioni regionali delle polveri PM10 (anno base 2013)



Figure/Figura 74 : Émissions régionales des oxydes d'azote (année de base 2013)/Emissioni regionali degli ossidi d'azoto (anno base 2013)

L'examen des données sur les émissions provenant des inventaires/cadastres régionaux pour l'année de base révèle les observations suivantes sur la base du critère d'optimisation choisi :

- PACA (PM10 et NO_x) : le secteur industriel est très important pour les deux polluants,
- AURA (PM10) : le chauffage domestique, le transport routier et l'agriculture sont les secteurs prédominants pour les PM10,
- Vallée d'Aoste (PM10) : le chauffage domestique est le principal responsable des émissions de particules,
- Piémont (PM10 et NO_x) : pour les deux polluants, les principales sources sont le chauffage domestique, le transport routier et l'agriculture,
- Ligurie (NO_x) : les oxydes d'azote sont principalement émis par le transport routier et maritime.

Dall'esame dei dati delle emissioni degli inventari regionali per l'anno base, emergono le seguenti osservazioni in base al criterio di ottimizzazione scelto:

- PACA (PM10 e NO_x) : risulta molto importante il settore industriale per entrambi gli inquinanti;
- AURA (PM10) : riscaldamento domestico, trasporti stradali e agricoltura sono i settori predominanti per il PM10;
- Valle d'Aosta (PM10) : il riscaldamento domestico è il principale responsabile delle emissioni di polveri
- Piemonte (PM10 e NO_x) : per entrambi gli inquinanti le principali sorgenti sono riscaldamento domestico, trasporti stradali e agricoltura;
- Liguria (NO_x): gli ossidi d'azoto sono emessi principalmente da trasporti stradali e marittimi.

Les mesures régionales choisies/Le misura regionali scelte

Chaque partenaire du projet a utilisé le code de calcul RIAT+ pour analyser l'efficacité des mesures de planification à l'échelle régionale visant à réduire la pollution de l'air et les émissions de gaz à effet de serre. Les mesures choisies et les secteurs d'émission correspondants des inventaires/cadastres régionaux des émissions dans l'atmosphère et des gaz à effet de serre sont énumérés ci-dessous.

Les mesures du plan sont classées par le modèle RIAT+ en mesures « technologiques » (TM) et mesures « non technologiques » (NTM) liées à la source d'émissions (par exemple, la mise à jour du parc de véhicules aux plus récentes catégories Euro est une mesure TM, alors que la construction de pistes cyclables est une NTM).

Les mesures sont ordonnées en fonction du résultat du calcul avec RIAT+ pour obtenir la meilleure réduction des polluants de l'air.

Ogni partner del progetto ha utilizzato il codice di calcolo RIAT+ per poter analizzare l'efficacia di misure di pianificazione a scala regionale atte a ridurre l'inquinamento dell'aria e le emissioni di gas climalteranti. Vengono di seguito riportate le misure scelte ed i corrispondenti settori emissivi degli inventari regionali delle emissioni in atmosfera e di gas serra.

Le misure di piano vengono distinte dal modello RIAT+ in misure "tecnologiche" (TM) e misure "non tecnologiche" (NTM) a seconda che prevedano o meno un aggiornamento delle tecnologie correlate alla sorgente di emissioni (ad es. l'aggiornamento del parco veicolare alle più recenti categorie Euro è una misura TM, mentre la realizzazione di piste ciclabili è una NTM).

Le misure sono ordinate in base al risultato del calcolo con RIAT+ per ottenere la miglior riduzione di inquinanti dell'aria.

Région Provence-Alpes-Côte d'Azur/Regione Provence-Alpes-Côte d'Azur

RANKING (PM10 et NO ₂ reduction)	sector	activity	technology	type
1	Fireplaces	Fuelwood	New Fireplace	TM
2	Production of glass fiber, gypsum, PVC, other	No fuel use	High efficiency deduster	TM
3	Industrial furnaces	Gaseous fuel + hard coal	Combustion modification and selective catalytic reduction	TM
4	Cars	Diesel	Replacement of EURO IV and EURO V vehicles by electric vehicles	NTM
5	Light duty vehicles	Diesel	10% of EURO VII	TM
6	Coastal shipping	Heavy fuel	Use of GNL (replacement of 25% of heavy fuel emissions)	NTM
7	Coastal shipping	Heavy fuel	Electrification of Marseille, Toulon and Nice docks	NTM

Pour la région Provence-Alpes-Côte d'Azur, il a été décidé d'optimiser simultanément les émissions des particules PM10 et des oxydes d'azote.

Les secteurs où il est nécessaire de prendre des mesures locales sont les suivants :

- le chauffage domestique au bois (nouvelles cheminées),
- les nouvelles technologies pour l'industrie (améliorations pour les fours industriels et le filtrage des poussières de cheminée ; la législation européenne ayant imposé peu de règles restrictives, des mesures ciblées ont été choisies pour le secteur),
- renouvellement du parc de véhicules légers de classe Euro VII ou de véhicules électriques (même si le secteur s'est

Per la regione Provence-Alpes-Côte d'Azur si è scelto di ottimizzare contemporaneamente le emissioni delle polveri PM10 e degli ossidi d'azoto.

I settori in cui si rileva la necessità di intervenire con misure locali sono:

- riscaldamento domestico a legna (nuovi caminetti)
- nuove tecnologie per l'industria (migliorie per i forni industriali e filtraggio polveri a camino; la normativa europea ha imposto poche norme restrittive, sono state quindi scelte delle misure mirate per il settore)
- spinta al rinnovo del parco veicoli leggeri a classe Euro VII o elettrici (anche se il settore è molto migliorato dal 2015 al 2030, è comunque importante

nettement amélioré de 2015 à 2030, il reste important pour les grandes villes et les axes de circulation),

- interventions en faveur du transport maritime (utilisation du GNL et électrification des quais portuaires).

Les raisons du choix des mesures analysées sont les suivantes :

- *Mesure 1* : mesure liée à l'octroi de financements pour le renouvellement des appareils de chauffage au bois (« *Fond Air Bois* » : financement de 1000 € pour la conversion aux appareils Flamme Verte 7*),
- *Mesures 2 et 3* : mesures choisies pour améliorer également le secteur industriel, sans se limiter au chauffage et aux transports,
- *Mesures 4 et 5* : elles ont été jugées les meilleures pour réduire les émissions d'oxydes d'azote,
- *Mesures 6 et 7* : pour la réduction des émissions de particules et d'oxydes d'azote provenant de la source importante du transport maritime. L'électrification des quais portuaires est également prévue dans le plan « *Escale Zéro Fumée* » (30 millions d'euros pour la réduction de la pollution portuaire à Marseille, Toulon et Nice).

per le grandi città e gli assi di traffico)

- interventi per il trasporto marittimo (utilizzo del GNL ed elettrificazione delle banchine portuali)

Le motivazioni per la scelta delle misure analizzate sono le seguenti:

- *misura 1*: misura correlata alla predisposizione di finanziamenti per il rinnovo degli apparecchi a legna ("*Fond Air Bois*": finanziamento di 1000 € per la conversione ad apparecchi Flamme Verte 7*);
- *misure 2 e 3*: misure scelte per migliorare anche il settore industriale, non limitandosi solo al riscaldamento e ai trasporti;
- *isure 4 e 5*: sono risultate le migliori per la riduzione delle emissioni di ossidi d'azoto;
- *misure 6 e 7*: per la riduzione delle emissioni di polveri ed ossidi d'azoto dell'importante sorgente del trasporto marittimo. L'elettrificazione delle banchine portuali è inoltre prevista nel piano "*Escale Zero Fumée*" (30 milioni di euro per la riduzione dell'inquinamento portuale a Marsiglia, Tolone e Nizza).

Région Auvergne-Rhône-Alpes/Regione Auvergne-Rhône-Alpes

RANKING (PM10 reduction)	sector	activity	technology	type
1	Fireplaces	Fuelwood	New fireplaces	TM
2	Cars	Diesel	Substitution of the vehicles cars with 4% of electric cars and with 10% of hybrid cars	NTM
3	Ploughing, tilling, harvesting	No fuel use	Reduction of the synthetic fertilizers of the 22%	NTM

Pour la région AURA, il a été décidé d'optimiser les émissions des particules PM10 en particulier.

Les secteurs où il est nécessaire d'intervenir avec des mesures locales sont les suivants :

- chauffage domestique au bois (nouvelles cheminées),
- renouvellement du parc de véhicules légers avec des véhicules hybrides et électriques,
- interventions pour l'agriculture (réduction des engrais synthétiques).

Les raisons du choix des mesures analysées sont les suivantes :

- *Mesure 1* : Cette mesure concerne le remplacement du chauffage au bois par des chauffages plus performants à hauteur de 60 % du parc. A noter que la CLE prévoit un remplacement à hauteur de 40 % à l'horizon 2030 par cette technologie et que RIAT propose d'optimiser jusqu'au maximum de remplacement

Per la Regione AURA si è scelto di ottimizzare in particolare le emissioni delle polveri PM10.

I settori in cui si rileva la necessità di intervenire con misure locali sono:

- riscaldamento domestico a legna (nuovi caminetti)
- spinta al rinnovo del parco veicoli leggeri con veicoli ibridi ed elettrici
- interventi per l'agricoltura (riduzione dei fertilizzanti sintetici)

Le motivazioni per la scelta delle misure analizzate sono le seguenti:

- Misura n°1: questa misura riguarda la sostituzione del riscaldamento a legna con sistemi di riscaldamento più performanti nella misura del 60% del parco macchine. Va notato che il CLE prevede una sostituzione del 40% entro il 2030 con questa tecnologia e che RIAT propone di ottimizzare fino al massimo di

possible les appareils de chauffage au bois. Le choix de cette mesure provient directement de l'optimisateur RIAT. Cette mesure est considérée comme la mesure la plus efficace en termes de coût/bénéfices à l'horizon 2030. Cette mesure permet de réduire les émissions de poussières de 4.1% en PM10 et 7.6% par rapport à 2030 CLE (sur l'ensemble de la région Auvergne-Rhône-Alpes) pour un coût de 28.8 millions d'euros. A noter que la même mesure appliquée en 2015 conduit à réduire les émissions de PM10 de 23% et de 29% en PM2.5 (sur l'ensemble de la région Auvergne-Rhône-Alpes).

- *Mesure 2* : Cette mesure a été élaborée après différents tests de sensibilité sur les émissions trafics dans RIAT. Ces tests ont montré une sensibilité non négligeable aux réductions des émissions trafics sur les niveaux d'émissions de dioxyde d'azote et dioxyde de carbone. Afin de s'appuyer sur des plans régionaux réalistes, Atmo Auvergne-Rhône-Alpes a proposé d'utiliser les données produites par l'Agence de l'énergie de la région Auvergne-Rhône-Alpes (AURAEE) et Atmo Auvergne-Rhône-Alpes dans le « Schéma régional d'aménagement de

sostituzione possibile gli apparecchi di riscaldamento a legna. La scelta di questa misura proviene direttamente dall'ottimizzatore RIAT. Questa misura è considerata la più efficace in termini di costi/benefici per gli anni 2030. Questa misura permette di ridurre le emissioni di particolato del 4,1% in PM10 e del 7,6% rispetto a CLE 2030 (sul totale regionale Rodano-Alpi) per un costo di 28,8 milioni di euro. Va notato che la stessa misura applicata nel 2015 porta ad una riduzione delle emissioni di PM10 del 22,8% e di PM2.5 del 28,8% (sul totale regionale Rodano-Alpi).

- Misura n°2: questa misura è stata elaborata dopo vari test di sensibilità sulle emissioni del traffico in RIAT. Questi test hanno mostrato una sensibilità non trascurabile alla riduzione delle emissioni del traffico sui livelli di emissioni di biossido di azoto e di anidride carbonica. Per potersi basare su piani regionali realistici, Atmo Auvergne-Rhône-Alpes ha proposto di utilizzare i dati prodotti dall'Agence de l'énergie de la région Auvergne-Rhône-Alpes (AURAEE) e da Atmo Auvergne-Rhône-Alpes nel

développement durable et d'égalité des territoires »^{45,46}. En effet, cette étude prévoit pour 2030 une évolution tendancielle du parc de voitures particulières vers des véhicules électriques et hybrides. D'après cette étude, le parc de véhicules particuliers sera constitué de 4 % de voitures électriques, et à 10 % de voitures hybrides. Pour évaluer les réductions d'émissions associés à ce remplacement, il a été considéré que sur les 10 % de voitures hybrides la moitié sera considéré en consommation d'électricité (soit une part de 5 % à rajouter aux 4 % de voitures électriques). Ainsi, la part des voitures particulières sera de 9 % en fonctionnement électriques en remplacement des voitures thermiques. Cette mesure induit une réduction des émissions de 1.9 % de NOx et de 2.9 % de CO₂ sur l'ensemble de la région Auvergne-Rhône-Alpes par rapport à l'année 2030 après CLE. A noter que la même mesure appliquée en 2015 conduit à des réductions relatives similaires soit 2.4 % en NOx et de 2.1 % en CO₂ sur

"Piano regionale per lo sviluppo sostenibile e l'uguaglianza dei territori". Questo studio prevede per il 2030 una tendenza del parco auto private verso i veicoli elettrici e ibridi. Secondo questo studio, il parco auto private sarà composto per il 4% da auto elettriche e per il 10% da auto ibride. Per valutare le riduzioni delle emissioni associate a questa sostituzione, si è ritenuto che del 10% delle auto ibride, la metà sarà considerata in termini di consumo di energia elettrica (cioè una quota del 5% da aggiungere al 4% delle auto elettriche). Così, la quota delle auto private sarà del 9% con funzionamento elettrico in sostituzione delle auto con motore a combustione. Questa misura porterà a una riduzione delle emissioni dell'1,9% di NOx e del 2,9% di CO₂ per la regione Rodano-Alpi nel suo complesso rispetto all'anno 2030 dopo CLE. Va notato che la stessa misura applicata nel 2015 porta ad analoghe riduzioni relative, ovvero del 2,4% di NOx e del 2,1% di CO₂ per il totale regionale Rodano-Alpi.

⁴⁵ <http://www.auvergne-rhone-alpes.developpement-durable.gouv.fr/le-sraddet-auvergne-rhone-alpes-est-approuve-a18111.html>

⁴⁶ <https://jeparticipe.auvergnerhonealpes.fr/sraddet/sraddet-projet-definitif>

l'ensemble de la région Auvergne-Rhône-Alpes.

- *Mesure 3* : cette mesure a été élaborée à partir de tests de sensibilité sur les émissions d'ammoniac qui ont montré une influence non négligeable sur les concentrations de PM10 en moyenne annuelle. En effet, l'ammoniac est un élément chimique qui participe à la formation de particules secondaires. En l'absence de mesures de réduction importante d'ammoniac proposée par RIAT, il a été décidé d'investiguer une mesure sur ce polluant. Majoritairement émis par le secteur agricole, les émissions d'ammoniac sont en grande partie émis par les engrais utilisés lors des épandages agricoles. Pour s'appuyer sur une réduction réaliste de ce composé dans l'activité agricole, Atmo Auvergne-Rhône-Alpes s'appuie sur une projection de l'ADEME à horizon 2030 issue du rapport VISION 2030-2050⁴⁷ qui anticipe une réduction de -22 % des consommations d'engrais minéraux par une utilisation dite raisonnée. Cette mesure implique une diminution des émissions d'ammoniac

- *Misura 3*: questa misura è stata elaborata a partire da test di sensibilità sulle emissioni di ammoniaca che hanno mostrato un'influenza non trascurabile sulle concentrazioni medie annue di PM10. L'ammoniaca è un elemento chimico coinvolto nella formazione di particolato secondario. In assenza di misure di riduzione significativa dell'ammoniaca proposte da RIAT, si è deciso di studiare una misura su questo inquinante. Le emissioni di ammoniaca provengono principalmente dal settore agricolo e sono in gran parte causate dai fertilizzanti utilizzati nelle procedure agricole. Per poter contare su una riduzione realistica di questo composto nell'attività agricola, Atmo Auvergne-Rhône-Alpes si basa su una proiezione ADEME per il 2030 del rapporto VISION 2030-2050 che prevede una riduzione del -22% del consumo di fertilizzanti minerali attraverso un cosiddetto uso ragionato. Questa misura implica una riduzione delle emissioni di ammoniaca del 4,5% rispetto alle emissioni del 2030 dopo

⁴⁷ https://www.ademe.fr/sites/default/files/assets/documents/85536_vision_2030-2050_document_technique.pdf#page=101&zoom=100,0,564

respectivement de 4.5 % par rapport aux émissions de 2030 après application de la CLE et de 4.4 % par rapport aux émissions de 2015. Cette solution permet de réduire les concentrations moyennes annuelles de PM10 pouvant aller localement jusqu'à 1.6 % par rapport aux concentrations attendu en 2030 (à météo constante).

aver applicato CLE e del 4,4% rispetto alle emissioni del 2015. Questa soluzione consente di ridurre le concentrazioni medie annue di PM10 fino all'1,6% rispetto alle concentrazioni previste nel 2030 (a condizioni climatiche costanti).

Région Vallée d'Aoste/Regione Valle d'Aosta

RANKING (PM10 reduction)	sector	activity	technology	type
1	Heating stoves	Fuelwood	New stove-biomass	TM
2	House boiler-manual	Fuelwood	Biomass single house boiler - pellet	TM
3	Railways	Diesel	Electric railways Aosta - Ivrea	NTM
4	Cars	Gasoline	Electric cars (30% of 2030 vehicles)	NTM

Pour la région Vallée d'Aoste, il a été décidé d'optimiser les particules PM10.

Les secteurs où il est nécessaire d'intervenir avec des mesures locales sont les suivants :

- le chauffage domestique au bois (renouvellement des poêles et chaudières avec passage aux granulés),
- amélioration du transport ferroviaire (électrification de la ligne Aosta-Ivrea),
- renouvellement du parc des véhicules légers par les véhicules électriques.

Les raisons du choix des mesures analysées sont les suivantes :

- *Mesures 1 et 2* : les meilleures pour la réduction des émissions de particules,
- *Mesure 3* : mesure prévue dans la programmation régionale des transports (LR 22 du 25/11/2016),
- *Mesure 4* : choix consécutif à l'installation de colonnes de rechargement dans les principaux centres de la Vallée d'Aoste.

Per la Regione Valle d'Aosta si è scelto di ottimizzare le emissioni delle polveri PM10.

I settori in cui si rileva la necessità di intervenire con misure locali sono:

- riscaldamento domestico a legna (rinnovo di stufe e caldaie con passaggio al pellet)
- miglioramento del trasporto ferroviario (elettrificazione della linea Aosta-Ivrea)
- spinta al rinnovo del parco veicoli leggeri con veicoli elettrici.

Le motivazioni per la scelta delle misure analizzate sono le seguenti:

- *misure 1 e 2*: sono risultate le migliori per la riduzione delle emissioni di polveri;
- *misura 3*: misura prevista nella programmazione regionale dei Trasporti (LR 22 del 25/11/2016);
- *misura 4*: scelta conseguente all'installazione di colonnine di ricarica nei principali centri valdostani.

Région Piémont/Regione Piemonte

RANKING (PM10 and NOx reduction)	sector	activity	technology	type
1	Non-industrial combustion plants	Fuelwood	Regulation of the biomasses use for air-conditioning environments and domestic hot water production	NTM
2	Agriculture	On-field burning of stubble	On-field burning of stubble ban	NTM
3	Road transport	Passenger cars and light duty vehicles on every road	Upgrading of « <i>Sistema Ferroviario Metropolitano</i> » (subway and railway network), Low Emission Zone introduction e promotion of cycling mobility	NTM

Pour la Région Piémont, il a été décidé d'optimiser les émissions des particules PM10 et d'oxydes d'azote.

Les secteurs où il est nécessaire d'intervenir avec des mesures locales sont les suivants :

- le chauffage domestique au bois (renouvellement technologique) ;
- amélioration des transports urbains en commun (zones fermées à la circulation, métro et chemins de fer) ;
- interventions pour l'agriculture (interdiction de brûler les résidus agricoles).

Les raisons du choix des mesures analysées sont les suivantes :

- *Mesures 1 et 2* : les meilleures pour la réduction des émissions de particules,
- *Mesure 3* : la meilleure pour la réduction des émissions d'oxydes d'azote.

Per la Regione Piemonte si è scelto di ottimizzare le emissioni sia delle polveri PM10, che degli ossidi d'azoto.

I settori in cui si rileva la necessità di intervenire con misure locali sono:

- riscaldamento domestico a legna (rinnovo tecnologico)
- miglioramento dei trasporti pubblici urbani (zone di chiusura al traffico, metropolitana e ferrovia)
- interventi per l'agricoltura (divieto degli abbruciamenti dei residui agricoli)

Le motivazioni per la scelta delle misure analizzate sono le seguenti:

- *misure 1 e 2*: sono risultate le migliori per la riduzione delle emissioni di polveri;
- *misura 3*: é risultata la migliore per la riduzione delle emissioni di ossidi d'azoto.

Région Ligurie/Regione Liguria

RANKING (NOx reduction)	sector	activity	technology	type
1	Coastal shipping, large vessels	Heavy fuel oil	Docks electrification	NTM
2	Heavy duty vehicles – only BUS	Diesel	EURO 6	NTM
3	Heavy duty vehicles	Diesel	EURO 6	NTM
4	Light duty vehicles Cars	Diesel	EURO 6	NTM

Pour la Région Ligurie, il a été décidé d'optimiser les émissions d'oxydes d'azote.

Les secteurs où il est nécessaire d'intervenir avec des mesures locales sont les suivants :

- interventions pour le transport maritime (électrification des quais portuaires),
- renouvellement du parc des véhicules légers et lourds à la classe Euro VI.

Les mesures analysées ont été prises en considération en utilisant le Plan Air Régional comme référence.

Des mesures supplémentaires axées sur la réduction des émissions d'oxydes d'azote ont également été sélectionnées afin de tester l'utilisation et l'évaluation du modèle RIAT+.

Per la Regione Liguria si è scelto di ottimizzare le emissioni degli ossidi d'azoto.

I settori in cui si rileva la necessità di intervenire con misure locali sono:

- interventi per il trasporto marittimo (elettrificazione delle banchine portuali)
- spinta al rinnovo del parco veicoli leggeri e pesanti a classe Euro VI.

Le misure analizzate sono state prese in considerazione utilizzando come riferimento il Piano Aria Regionale.

Sono state inoltre selezionate ulteriori misure con focus sulla riduzione delle emissioni di ossidi di azoto al fine di sperimentare l'utilizzo e le valutazioni del modello RIAT+.

Comparaisons entre les régions ALCOTRA/Confronto tra le regioni ALCOTRA

Si l'on présente dans un seul tableau les secteurs des inventaires/cadastres régionaux des émissions de polluants dans l'atmosphère pour lesquelles des mesures de planification ont été proposées, on constate que, pour les cinq régions du territoire ALCOTRA, la situation est assez différente.

Riportando in un'unica tabella i settori degli inventari regionali delle emissioni di inquinanti in atmosfera per i quali sono state proposte le misure di pianificazione, si nota come tra le cinque regioni ALCOTRA la situazione sia abbastanza differenziata.

Secteurs d'émission/ Settori di emissione	Provence-Alpes- Côte d'Azur	Rhône-Alpes	Valle d'Aosta	Piemonte	Liguria
Chauffage domestique/ Riscaldamento domestico	☑	☑	☑	☑	
Activités industrielles/ Attività industriali	☑				
Transports routiers/ Trasporti stradali	☑	☑	☑	☑	☑
Transports ferroviaires/ Trasporti ferroviari			☑		
Transports maritimes/ Trasporti marittimi	☑				☑
Agriculture/ Agricoltura		☑		☑	

Alors que les régions de haute montagne investissent dans l'amélioration des installations de chauffage, les régions maritimes interviennent sur les activités portuaires. Le seul secteur d'intervention commun à l'ensemble de la zone est représenté par le trafic routier, source d'émissions polluantes sur laquelle il est prioritaire d'intervenir, notamment pour les centres urbains.

Se da un lato le Regioni di alta montagna investono nel miglioramento degli impianti di riscaldamento, quelle marittime intervengono sulle attività portuali. L'unico settore di intervento comune a tutta l'area è rappresentato dal traffico stradale, fonte di emissioni inquinanti sulla quale è prioritario intervenire, in particolare per i centri urbani.

Dans le rapport de l'action **4.3.1** seront présentés les résultats des simulations régionales élaborées avec RIAT+, en présentant les variations des émissions de polluants et de gaz à effet de serre obtenues avec l'application des mesures du plan régional en plus de celles estimées par GAINS 2030.

Nel report dell'azione **4.3.1** verranno presentati i risultati delle simulazioni regionali elaborate con RIAT+ presentando le variazioni delle emissioni di inquinanti e gas serra ottenute con l'applicazione delle misure di piano regionali che si vanno ad aggiungere a quelle stimate dal GAINS 2030.

4.3 Estimation des coûts et bénéfices économiques et sociaux des mesures sélectionnées/ Stima dei costi e benefici economici e sociali delle misure selezionate

Chaque région partenaire du projet CLIMAERA a développé une simulation de calcul avec le modèle RIAT + afin de déterminer les mesures locales de réduction des émissions de polluants et de gaz à effet de serre qui puissent apporter une contribution supplémentaire au scénario futur d'ici 2030.

Ce rapport illustre les résultats par région et par polluant en termes de variations des émissions dans l'atmosphère qui s'ajouteraient à celles prévues par les estimations GAINS pour l'année 2030.

Dans les simulations effectuées, les critères "d'optimisation" pour choisir les meilleures mesures étaient la réduction des concentrations atmosphériques d'oxydes d'azote, celle des concentrations de particules PM10 ou les deux réductions ensemble.

En effet, les résultats montrent que les réductions des émissions sont les plus importantes en pourcentage pour ces deux polluants. Pour les autres polluants traditionnels de la qualité de l'air et pour les principaux gaz à effet de serre, l'effet est également positif.

Ogni Regione partner del progetto CLIMAERA ha elaborato una simulazione di calcolo con il modello RIAT+ al fine di determinare quali misure locali di riduzione delle emissioni di inquinanti e gas serra possano fornire un ulteriore contributo per lo scenario futuro al 2030.

In questo report sono illustrati i risultati per Regione e per sostanza inquinante in termini di variazione delle emissioni in atmosfera che si sommerebbero a quelle previste dalle stime del GAINS per il 2030.

Nelle simulazioni effettuate i criteri di "ottimizzazione" per la scelta dei migliori provvedimenti sono stati la riduzione delle concentrazioni in atmosfera degli ossidi d'azoto, quella delle concentrazioni di particolato PM10 o entrambe le riduzioni contemporaneamente.

Dai risultati emerge difatti come le riduzioni di emissioni siano percentualmente rilevanti per questi due inquinanti, anche se comunque si registrano effetti positivi sugli altri inquinanti tradizionali per la qualità dell'aria e sui principali gas serra.

4.3.1 Scénario d'émissions 2030 avec les mesures optimales RIAT+ / Scénario d'émissions 2030 avec mesures optimales RIAT+

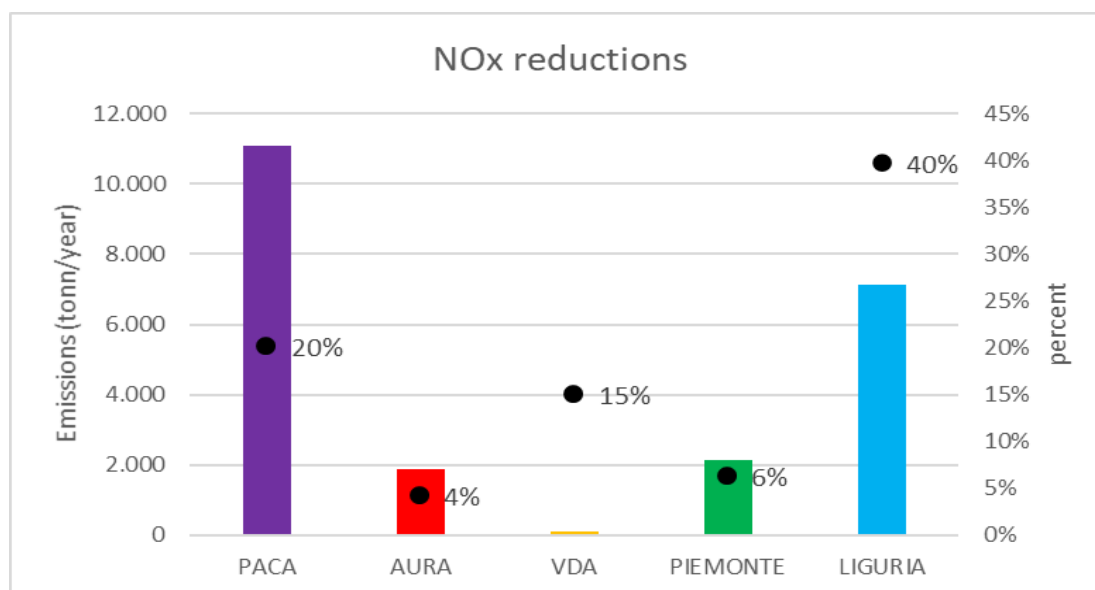
Le rapport présente les variations des émissions pour les cinq régions ALCOTRA liées à l'application des mesures optimales résultant des simulations locales développées avec le modèle RIAT+.

Suite au double thème abordé par le projet CLIMAERA, les émissions de polluants de la qualité de l'air et donc celles des principaux gaz à effet de serre sont présentées.

Vengono presentate nel report le variazioni delle emissioni per le cinque Regioni ALCOTRA legate all'applicazione delle misure di piano ottimali risultanti dalle simulazioni locali elaborate con il modello RIAT+. Seguendo la doppia tematica affrontata dal progetto CLIMAERA, sono riportate le emissioni degli inquinanti della qualità dell'aria e quindi quelle dei principali gas climalteranti.

Emissions de polluants pour la qualité de l'air / Emissioni di inquinanti per la qualità dell'aria

Oxydes d'azote / Ossidi d'azoto (NO_x)



Figure/Figura 75 : Réductions en pourcentage et en tonnes des émissions régionales d'oxydes d'azote grâce aux mesures optimales RIAT+ / Riduzioni percentuali e in tonnellate delle emissioni regionali di ossidi d'azoto con le misure ottimali RIAT+

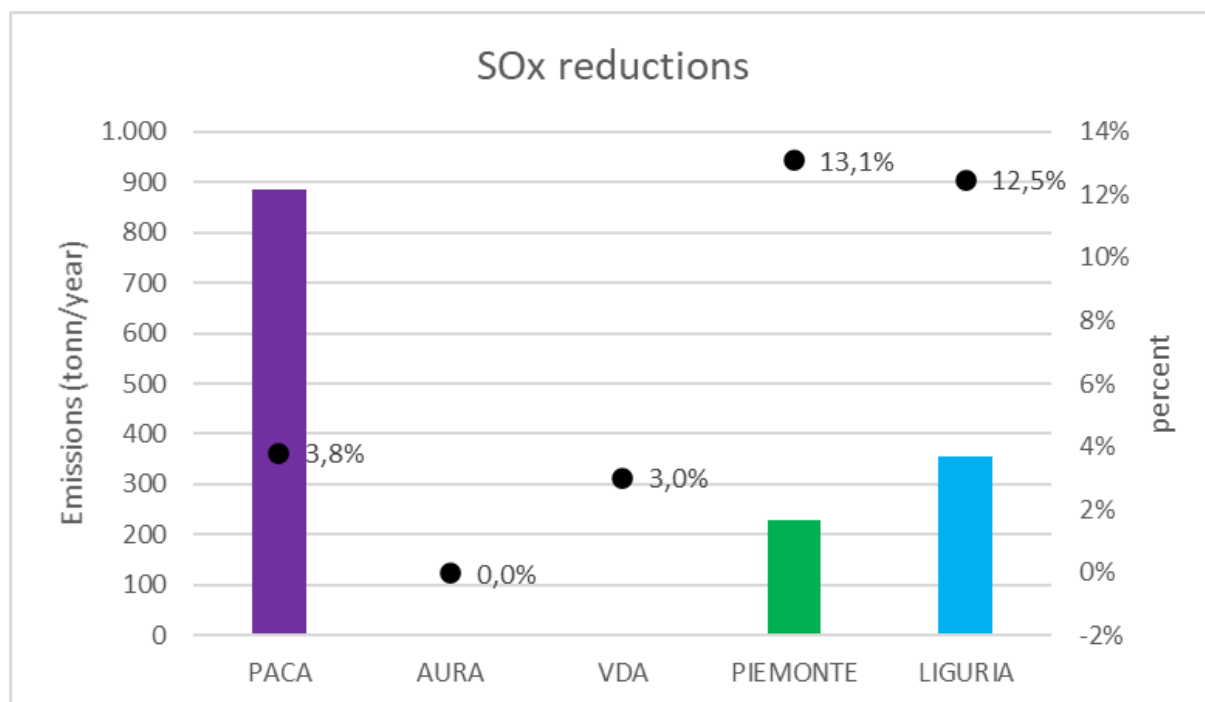
Pour ce polluant de l'air, les plus grandes réductions des émissions, tant en valeur absolue qu'en pourcentage, sont enregistrées pour les régions Ligurie et PACA qui ont basé l'utilisation du modèle RIAT+ sur la minimisation des émissions d'oxydes d'azote.

Les secteurs d'émission qui ont le plus contribué à ces réductions sont : le transport maritime, le transport routier et l'industrie.

Per questo inquinante dell'aria le maggiori riduzioni di emissioni, sia in valore assoluto che in percentuale, si registrano per le Regioni Liguria e PACA che hanno basato l'utilizzo del modello RIAT+ proprio ricercando la minimizzazione delle emissioni degli ossidi d'azoto.

I settori emissivi che più hanno contribuito a queste riduzioni sono: trasporti marittimi, trasporti stradali ed industria.

Oxydes d'azote/Ossidi di zolfo (SO_x)

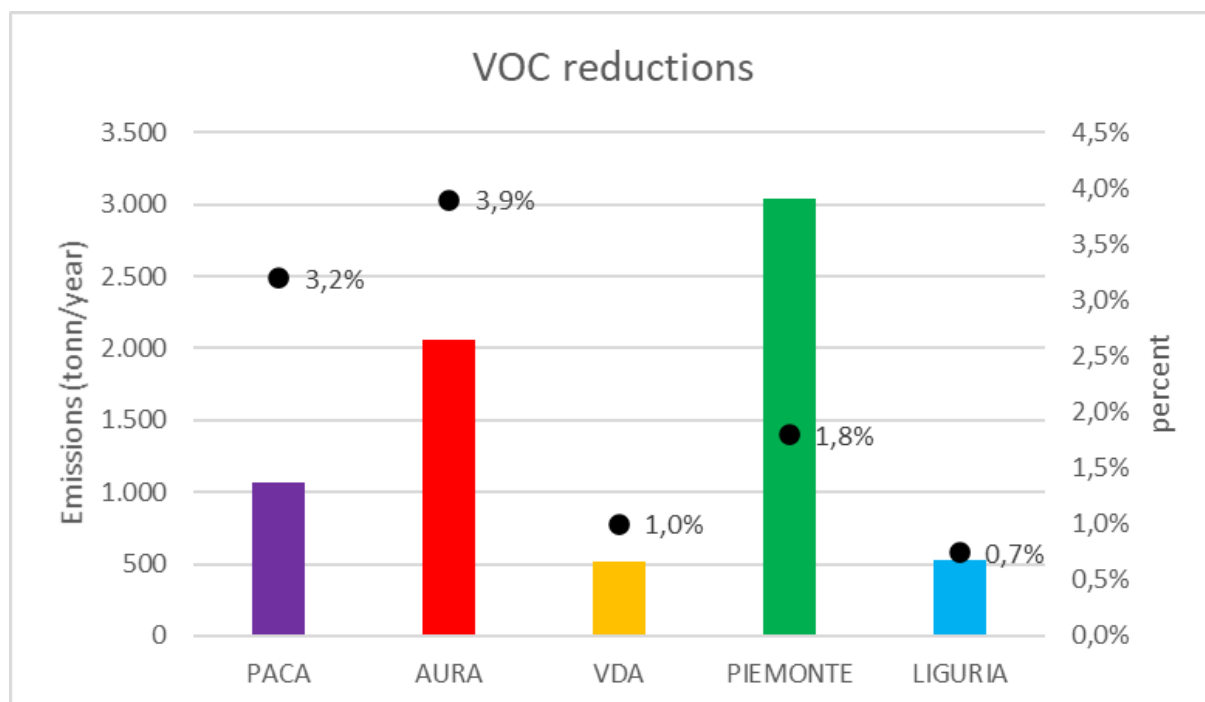


Figure/Figura 76 : Réductions en pourcentage et en tonnes des émissions régionales d'oxydes de soufre grâce aux mesures optimales RIAT+/Riduzioni percentuali e in tonnellate delle emissioni regionali di ossidi di zolfo con le misure ottimali RIAT+

Malgré le fait que les oxydes de soufre n'aient été considérés par aucun partenaire comme un critère de minimisation des émissions en RIAT+, les interventions liées au secteur portuaire de PACA et de Ligurie et au chauffage résidentiel du Piémont obtiennent des réductions importantes également pour ce polluant.

Nonostante gli ossidi di zolfo non siano stati considerati da nessun partner come criterio di minimizzazione delle emissioni in RIAT+, gli interventi relativi al settore portuale di PACA e Liguria e quelli sul riscaldamento residenziale del Piemonte ottengono delle rilevanti riduzioni anche per questo inquinante.

Composés organiques volatils/Composti Organici Volatili (COV)

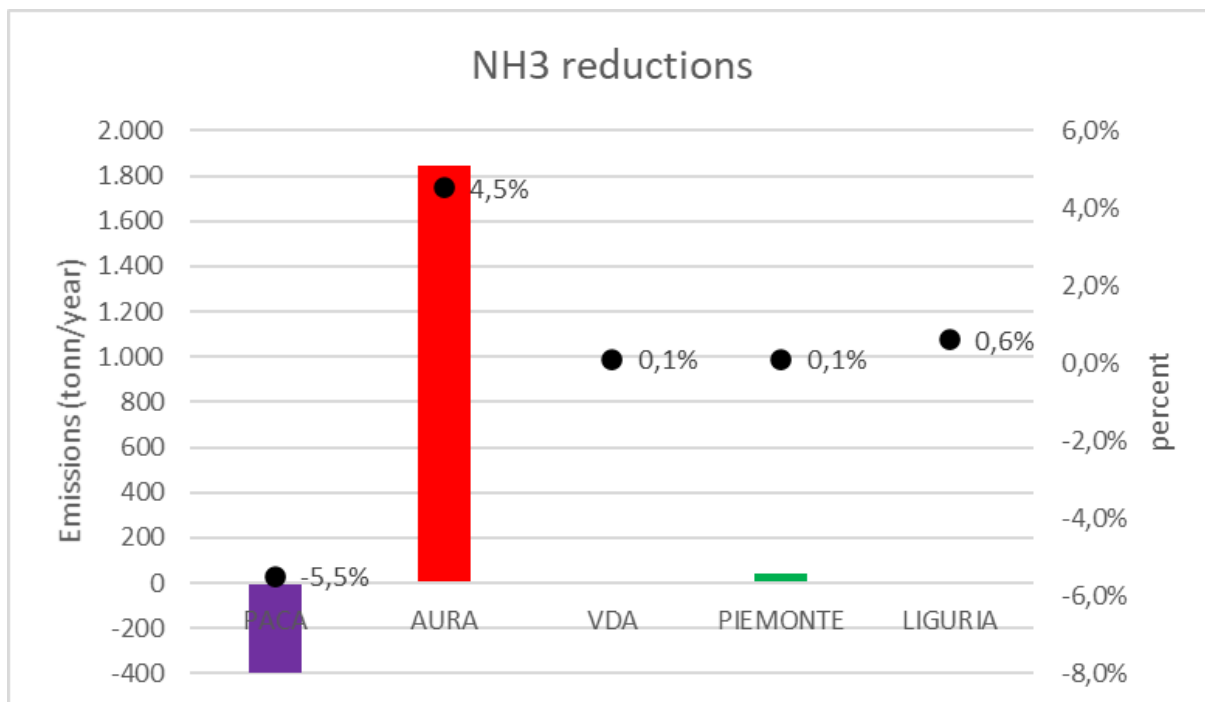


Figure/Figura 77 : Réductions en pourcentage et en tonnes des émissions régionales de composés organiques volatils grâce aux mesures optimales RIAT+/Riduzioni percentuali e in tonnellate delle emissioni regionali di composti organici volatili con le misure ottimali RIAT+

Les composés organiques volatils, bien qu'ils ne soient pas spécifiquement ciblés pour la réduction en RIAT+, ont également connu des améliorations, principalement liées au secteur du chauffage domestique au bois.

Anche i Composti Organici Volatili, pur non essendo stati obiettivo specifico di riduzione in RIAT+, registrano miglioramenti legati principalmente al settore del riscaldamento domestico a legna.

Ammoniac/Ammoniaca (NH₃)



Figure/Figura 78 : Réductions en pourcentage et en tonnes des émissions régionales d’ammoniac grâce aux mesures optimales RIAT+/Riduzioni percentuali e in tonnellate delle emissioni regionali di ammoniaca con le misure ottimali RIAT+

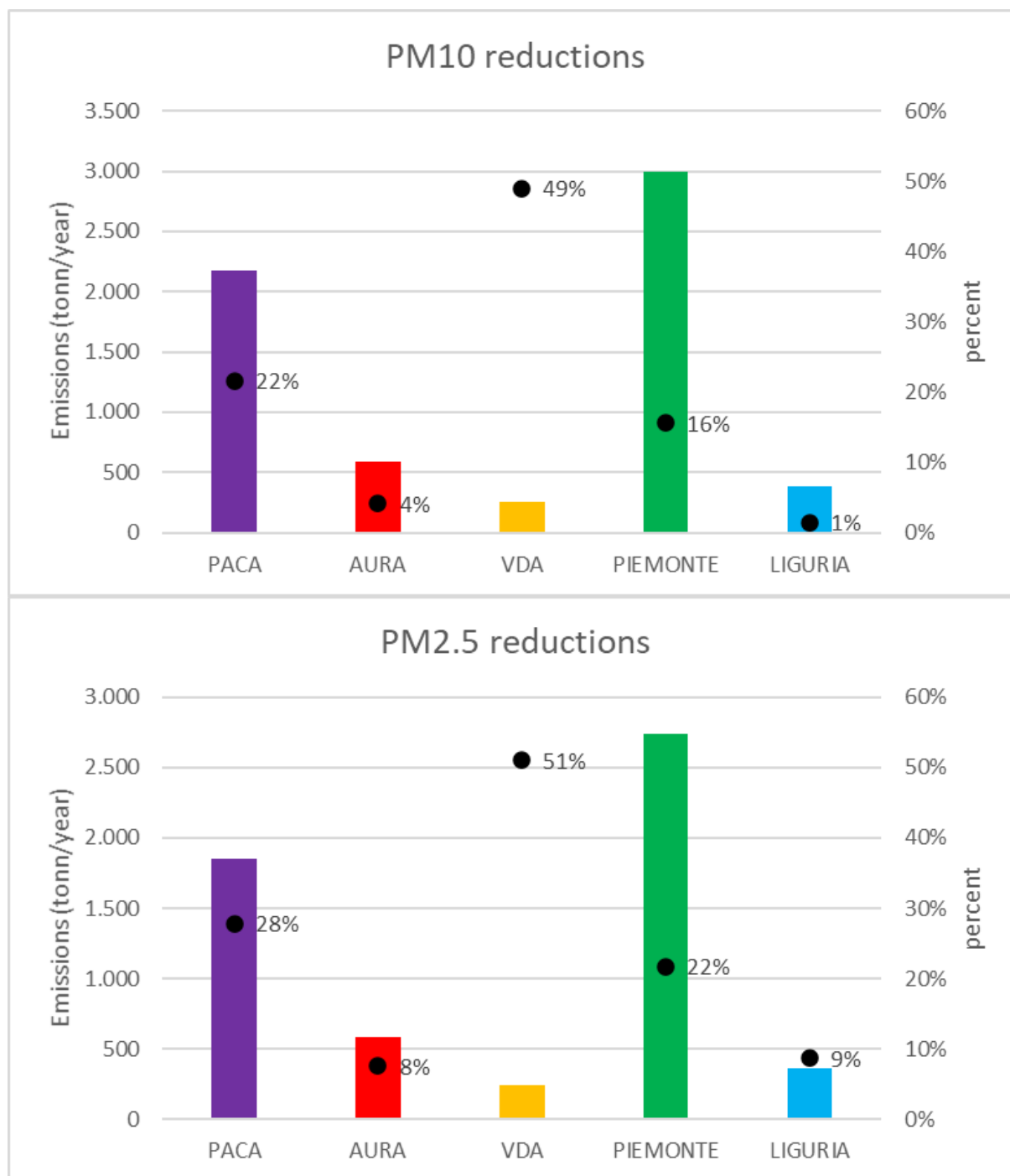
Pour l'ammoniac, on constate une diminution pour la région Auvergne-Rhône-Alpes en raison de l'amélioration des engrais agricoles et une augmentation, bien que légère en pourcentage, pour la région PACA liée aux interventions dans le secteur industriel.

Pour les autres régions partenaires, les mesures choisies n'entraînent pas de variations significatives.

Per l’ammoniaca si evidenzia una diminuzione per la Regione Auvergne-Rhône-Alpes dovuta al miglioramento dei fertilizzanti agricoli ed un aumento, seppure lieve in termini percentuali, per il PACA legato agli interventi nel settore industriale.

Per le altre Regioni partners le misure scelte non portano variazioni di rilievo.

Particules fines PM10 et PM2.5/Polveri fini PM10 e PM2.5



Figure/Figura 79 : Réductions en pourcentage et en tonnes des émissions régionales de particules PM10 et PM2.5 grâce aux mesures optimales RIAT+/Riduzioni percentuali e in tonnellate delle emissioni regionali di polveri PM10 e PM2.5 con le misure ottimali RIAT+

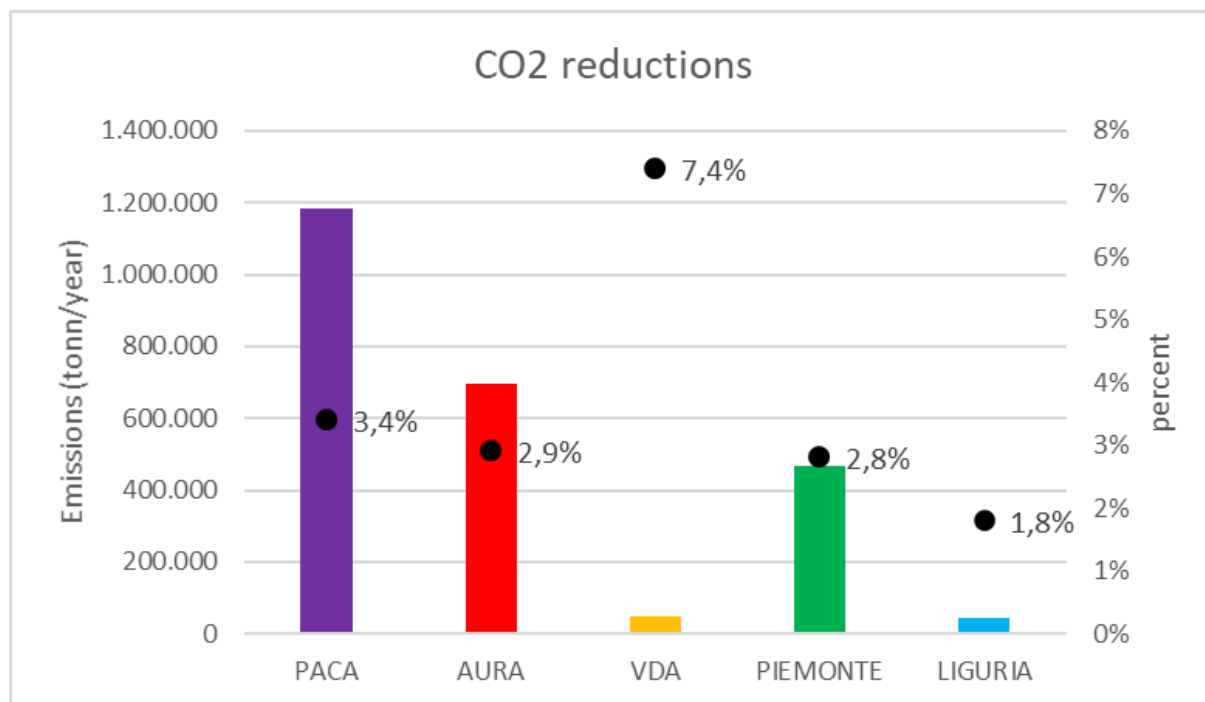
La réduction des émissions de particules concerne principalement les interventions d'amélioration pour le chauffage résidentiel au bois.

Seule la région Ligurie n'a pas finalisé la simulation avec RIAT+ sur les particules, leur réduction est liée à l'amélioration du parc de véhicules lourds.

La riduzione delle emissioni di particolato riguarda principalmente gli interventi migliorativi per il riscaldamento residenziale a biomassa legnosa.

Per la sola Liguria, che non ha finalizzato la simulazione con RIAT+ sulle polveri, la loro riduzione è collegata al miglioramento del parco veicoli pesanti.

Dioxyde de carbone/Anidride carbonica (CO₂)



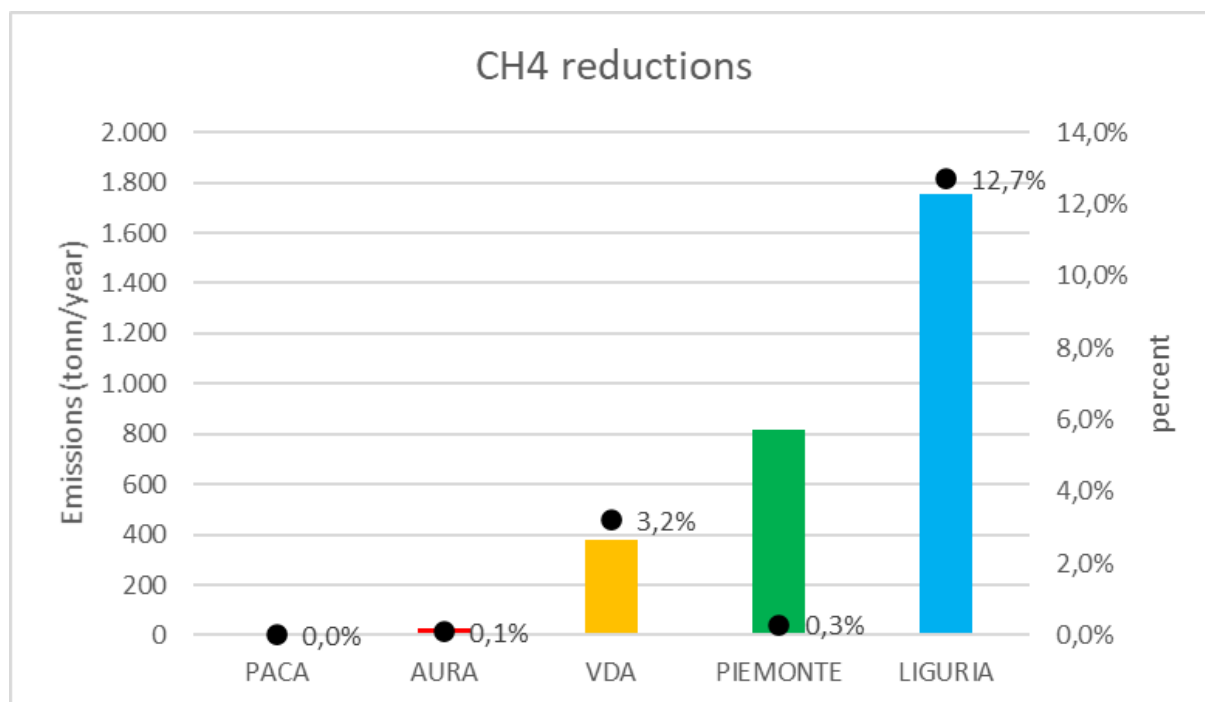
Figure/Figura 80 : Réductions en pourcentage et en tonnes des émissions régionales de dioxyde de carbone grâce aux mesures optimales RIAT+/Riduzioni percentuali e in tonnellate delle emissioni regionali di anidride carbonica con le misure ottimali RIAT+

Le dioxyde de carbone est encore réduit par rapport à ce qui est prévu par GAINS 2030 pour chaque région, avec des pourcentages entre 2 et 7 %. Les interventions des mesures régionales qui réduisent les émissions de dioxyde de carbone sont, pour les cinq régions partenaires, liées au transport routier.

L'anidride carbonica viene ulteriormente ridotta da quanto previsto dal GAINS 2030 per ogni Regione con percentuali che vanno dal 2 al 7%.

Gli interventi delle misure regionali che riducono le emissioni di anidride carbonica sono, per tutte e cinque le Regioni partners, legati al trasporto stradale sia pubblico che privato.

Méthane/Metano (CH₄)



Figure/Figura 81 : Réductions en pourcentage et en tonnes des émissions régionales de méthane grâce aux mesures optimales RIAT+/Riduzioni percentuali e in tonnellate delle emissioni regionali di metano con le misure ottimali RIAT+

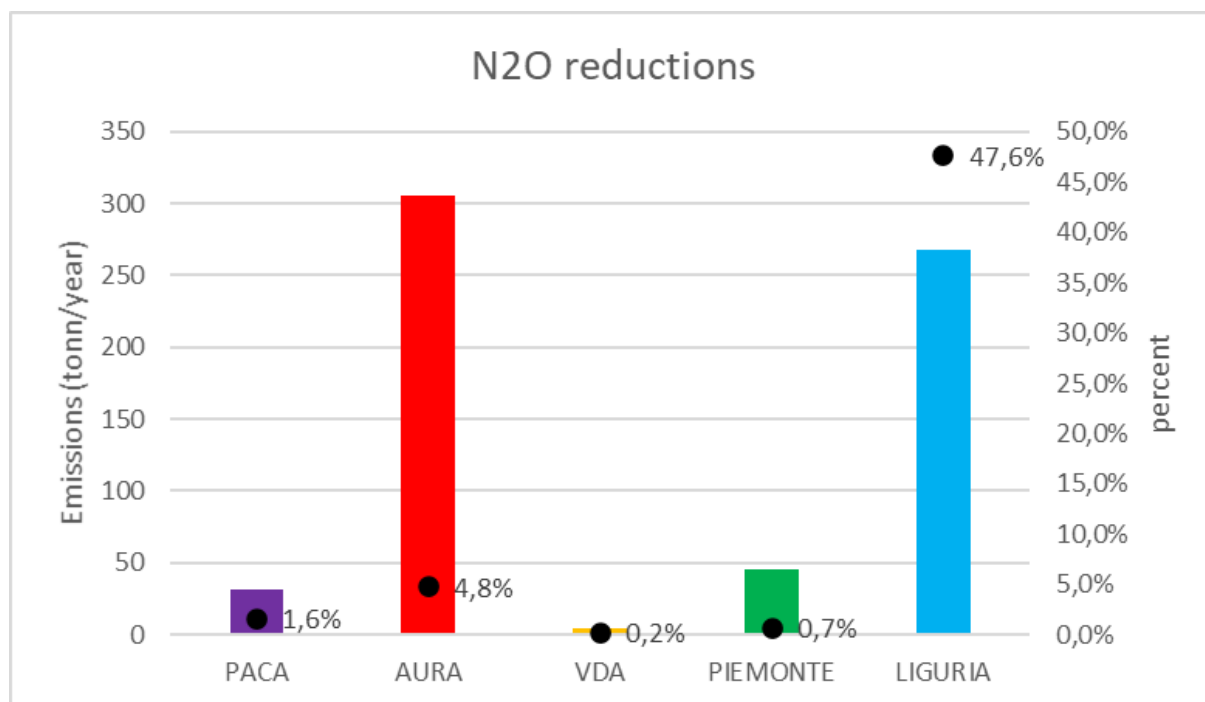
Le méthane permet une réduction des émissions pour la Ligurie (électrification des quais portuaires), pour le Piémont (interdiction de brûler les résidus agricoles) et pour la Vallée d'Aoste (amélioration des installations thermiques à biomasse).

Pour les autres régions partenaires, les mesures choisies n'entraînent pas de variations significatives.

Il metano registra una riduzione delle emissioni per la Liguria (elettrificazione banchine portuali), per il Piemonte (divieto di abbruciamenti agricoli) e per la Valle d'Aosta (miglioramento impianti termici a biomassa).

Per le altre Regioni partners le misure scelte non portano variazioni di rilievo.

Protoxyde d'azote/Protossido d'azoto (N₂O)



Figure/Figura 82 : Réductions en pourcentage et en tonnes des émissions régionales de protoxyde d'azote grâce aux mesures optimales RIAT+/Riduzioni percentuali e in tonnellate delle emissioni regionali di protossido d'azoto con le misure ottimali RIAT+

Pour le dioxyde d'azote, gaz à effet de serre, une bonne réduction est obtenue pour la région Auvergne-Rhône-Alpes grâce à l'intervention sur les engrais agricoles et pour la Ligurie avec les interventions sur le transport maritime.

Pour les autres régions, les réductions, bien que moins importantes, sont également liées à des améliorations dans le secteur des transports.

Per il gas serra biossido d'azoto si ottiene una buona riduzione per l'Auvergne-Rhône-Alpes grazie all'intervento sui fertilizzanti agricoli e per la Liguria con gli interventi sul trasporto marittimo.

Per le altre Regioni le riduzioni, anche se inferiori, sono legate anche ai miglioramenti nel settore trasporti.

4.3.2 Scénario qualité de l'air 2030 avec les mesures optimales/ Scénario di qualità dell'aria con le misure ottimali 2030

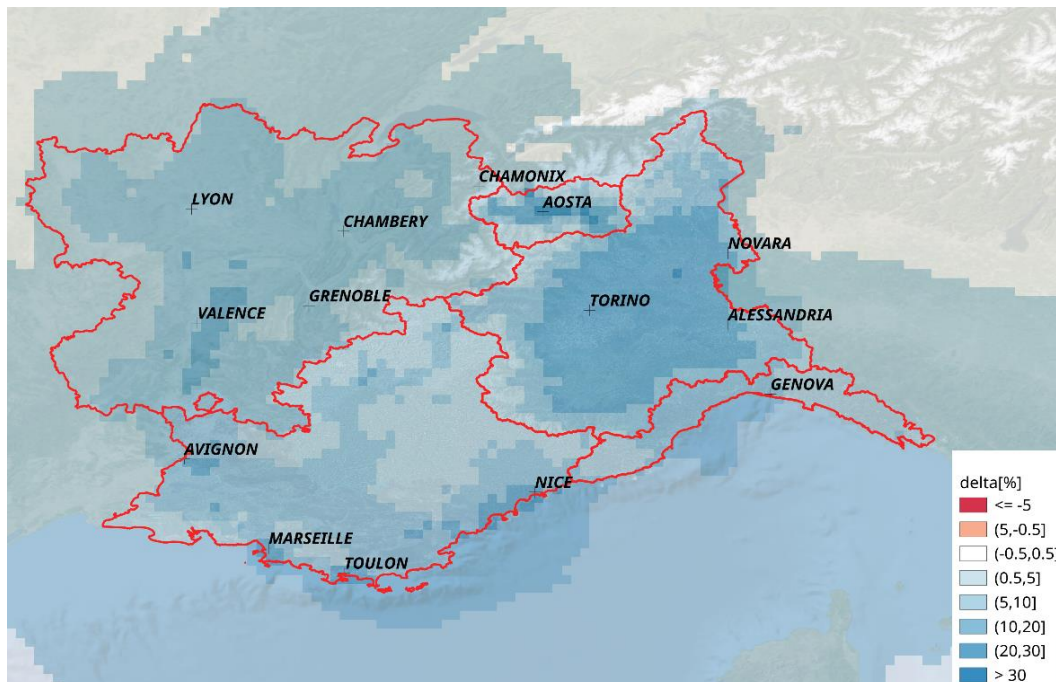
L'identification des mesures optimales de réduction des émissions pour chaque région partenaire dans l'action 4.3.1 permet de réaliser une simulation visant à définir un nouveau scénario de qualité de l'air optimale pour 2030 pour l'ensemble du territoire ALCOTRA (ci-après S5). La simulation a été réalisée avec le système de modélisation mis en œuvre dans l'action 3.3, en utilisant le scénario d'émission optimal produit dans l'action 4.3.1, guidé sur le plan météorologique par le scénario climatique near future 2028-2032; les conditions limites sont toujours celles fournies par la base de données Prev'Air pour l'année de référence 2013.

La **Figure/Figura 83**, la **Figure/Figura 84** et la **Figure/Figura 85** montrent, pour les PM10, PM2.5 et le NO₂ respectivement, la distribution spatiale de la variation en pourcentage de la moyenne annuelle entre le scénario optimal S5 et le futur scénario de qualité de l'air 2030 (S3). La variation en pourcentage est calculée comme suit :

L'individuazione delle misure ottimali di riduzione delle emissioni per ciascuna regione partner effettuata nell'azione 4.3.1 consente di realizzare una simulazione mirata a definire un nuovo scenario di qualità dell'aria ottimale al 2030 sull'intero territorio ALCOTRA (nel seguito S5). La simulazione è stata quindi condotta con il sistema modellistico implementato nell'azione 3.3, utilizzando lo scenario emissivo ottimale prodotto nell'azione 4.3.1 guidato meteorologicamente dallo scenario climatico near future 2028-2032; le condizioni al contorno sono sempre quelle fornite dalla banca dati Prev'Air per l'anno di riferimento 2013.

La **Figure/Figura 83**, la **Figure/Figura 84** e la **Figure/Figura 85** mostrano, rispettivamente per PM10, PM2.5 ed NO₂ la distribuzione spaziale della variazione percentuale della media annuale tra lo scenario ottimale S5 e lo scenario qualità dell'aria futuro 2030 (S3). La variazione percentuale è calcolata secondo la seguente:

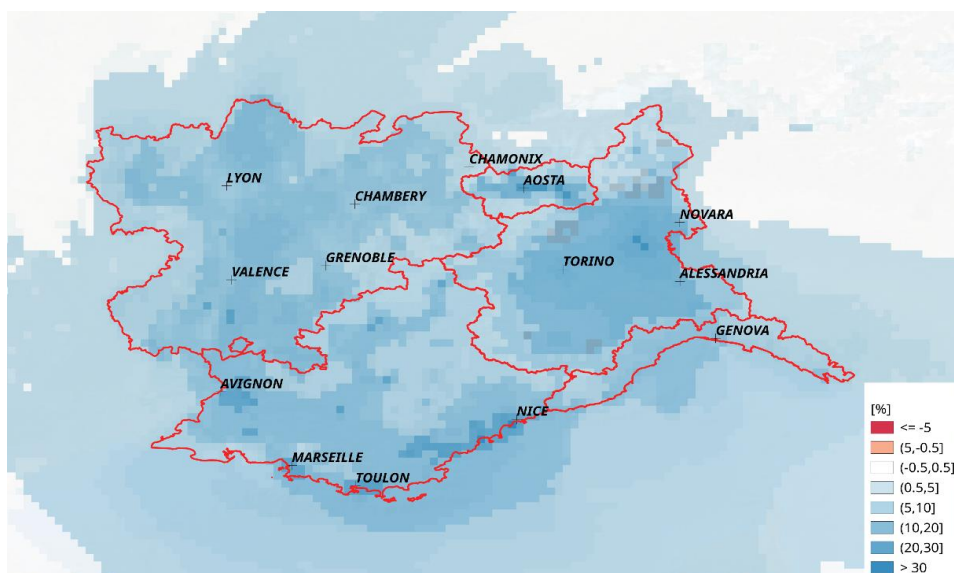
$$\Delta = \frac{C_{S3} - C_{S5}}{C_{S3}} \times 100$$



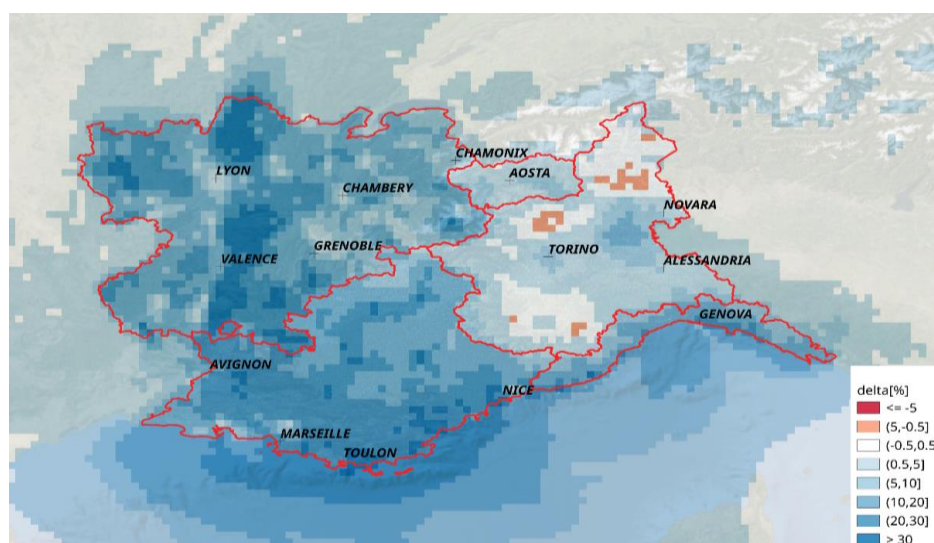
Figure/Figura 83 : Distribution spatiale de la différence en pourcentage entre les concentrations moyennes annuelles de PM10 dans le futur scénario de qualité de l'air 2030 S3 et le scénario optimal de qualité de l'air 2030 S5. Les différences positives (en bleu) indiquent des concentrations plus faibles dans le scénario S5 par rapport au S3, les différences négatives (en rouge) indiquent le contraire/Distribuzione spaziale della differenza percentuale tra le concentrazioni medie annuali di PM10 nello scenario qualità dell'aria futuro 2030 S3 e scenario ottimale di qualità dell'aria 2030 S5. Differenze positive (in gradazioni di blu) indicano concentrazioni inferiori nello scenario S5 rispetto ad S3, differenze negative (gradazioni di rosso) il contrario.

Pour les particules, tant PM10 que PM2.5, on observe une réduction générale des niveaux de concentration moyenne annuelle en passant du futur scénario S3 au scénario optimal S5, avec de plus grandes différences dans la plaine du Piémont, en Vallée d'Aoste et dans certaines zones de la région AURA et dans les principales villes côtières de la région Provence-Alpes-Côte d'Azur. Les réductions semblent plus limitées dans les zones alpines, des zones moins critiques et donc moins sujettes à des interventions locales pour limiter les émissions.

Per il particolato, sia PM10 sia PM2.5, si osserva una generale riduzione dei livelli di concentrazione media annuale passando dallo scenario futuro S3 allo scenario ottimale S5, con differenze maggiori sulla pianura piemontese, in Valle d'Aosta ed in alcune zone della regione AURA e nelle principali città costiere della regione Provence-Alpes-Côte d'Azur; le riduzioni appaiono più contenute nelle aree alpine, aree a minore criticità e quindi meno soggetti ad interventi locali di contenimento delle emissioni.



Figure/Figura 84 : Distribution spatiale de la différence en pourcentage entre les concentrations moyennes annuelles de PM10 dans le futur scénario de qualité de l'air 2030 S3 et le scénario optimal de qualité de l'air 2030 S5. Les différences positives (en gradations de bleu) indiquent des concentrations plus faibles dans le scénario S5 par rapport au S3, les différences négatives (en gradations de rouge) indiquent le contraire/Distribuzione spaziale della differenza percentuale tra le concentrazioni medie annuali di PM2.5 nello scenario qualità dell'aria futuro 2030 S3 e scenario ottimale di qualità dell'aria 2030 S5. Differenze positive (in gradazioni di blu) indicano concentrazioni inferiori nello scenario S5 rispetto ad S3, differenze negative (gradazioni di rosso) il contrario.



Figure/Figura 85 : Distribution spatiale de la différence en pourcentage entre les concentrations moyennes annuelles de PM10 dans le futur scénario de qualité de l'air 2030 S3 et le scénario optimal de qualité de l'air 2030 S5. Les différences positives (en gradations de bleu) indiquent des concentrations plus faibles dans le scénario S5 par rapport au S3, les différences négatives (en gradations de rouge) indiquent le contraire/Distribuzione spaziale della differenza percentuale tra le concentrazioni medie annuali di NO2 nello scenario qualità dell'aria futuro 2030 S3 e scenario ottimale di qualità dell'aria 2030 S5. Differenze positive (in gradazioni di blu) indicano concentrazioni inferiori nello scenario S5 rispetto ad S3, differenze negative (gradazioni di rosso) il contrario.

Pour le dioxyde d'azote, la carte montre un comportement différent entre le Piémont et la Vallée d'Aoste, où les niveaux de polluants dans le scénario optimal sont similaires ou légèrement inférieurs, et les régions Provence-Alpes-Côte d'Azur, AURA et Ligurie, où les réductions de NO₂ dues aux mesures locales sont plus importantes. En revanche, dans certaines zones limitées du Piémont, on observe une légère augmentation des valeurs de dioxyde d'azote dans le scénario optimal S5 par rapport au futur scénario S3 : les mesures supplémentaires prises peuvent avoir créé des conditions favorisant la formation de NO₂.

La [Figure/Figura 86](#), la [Figure/Figura 87](#) et la [Figure/Figura 88](#) présentent la comparaison, région par région, des distributions annuelles moyennes observées (auprès des stations de fond urbain) sur la période 2011-2013, observées après les simulations du scénario de qualité de l'air futur 2030 et du scénario de qualité de l'air optimal 2030 pour PM10, PM2.5 et NO₂ respectivement.

L'analyse des graphiques confirme, d'une part, ce qui est exprimé au paragraphe [3.3.3](#), que l'application en 2030 du scénario tendanciel permet d'obtenir des réductions importantes des concentrations de particules et surtout de NO₂. D'autre part, il est clair que la réduction devient encore plus marquée et importante si l'on considère également les mesures

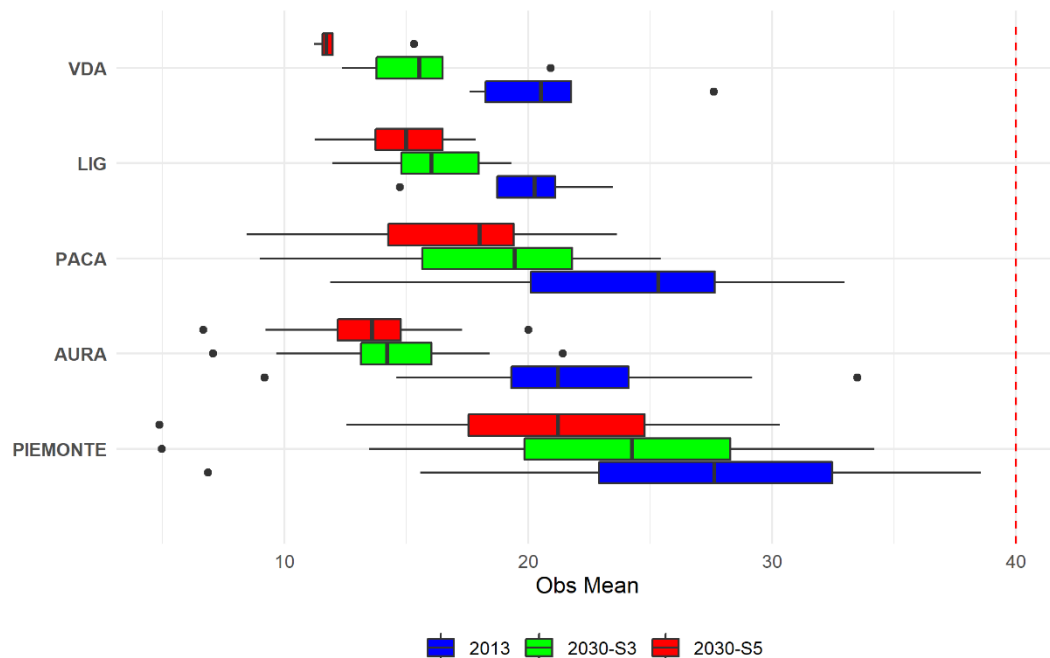
Per il biossido di azoto la mappa mostra un comportamento differente tra il Piemonte e la Val d'Aosta, dove i livelli dell'inquinanti nello scenario ottimale sono simili o leggermente inferiori, e Provence-Alpes-Côte d'Azur, AURA e regione Liguria, dove le riduzioni di NO₂ dovute alle misure locali sono maggiori. In alcune aree circoscritte del Piemonte, diversamente, si osserva un leggero aumento dei valori di biossido di azoto nello scenario ottimale S5 rispetto allo scenario futuro S3: le misure aggiuntive adottate possono essere state tali da creare delle condizioni che hanno promosso la formazione di NO₂.

La [Figure/Figura 86](#), la [Figure/Figura 87](#) e la [Figure/Figura 88](#) presentano il confronto, regione per regione delle distribuzioni medie annuali osservate (nelle sole (stazioni di fondo urbano) nel periodo 2011-2013, osservate a valle delle simulazioni dello scenario di qualità dell'aria futuro 2030 e dello scenario qualità dell'aria ottimale al 2030, rispettivamente per PM10, PM2.5 ed NO₂.

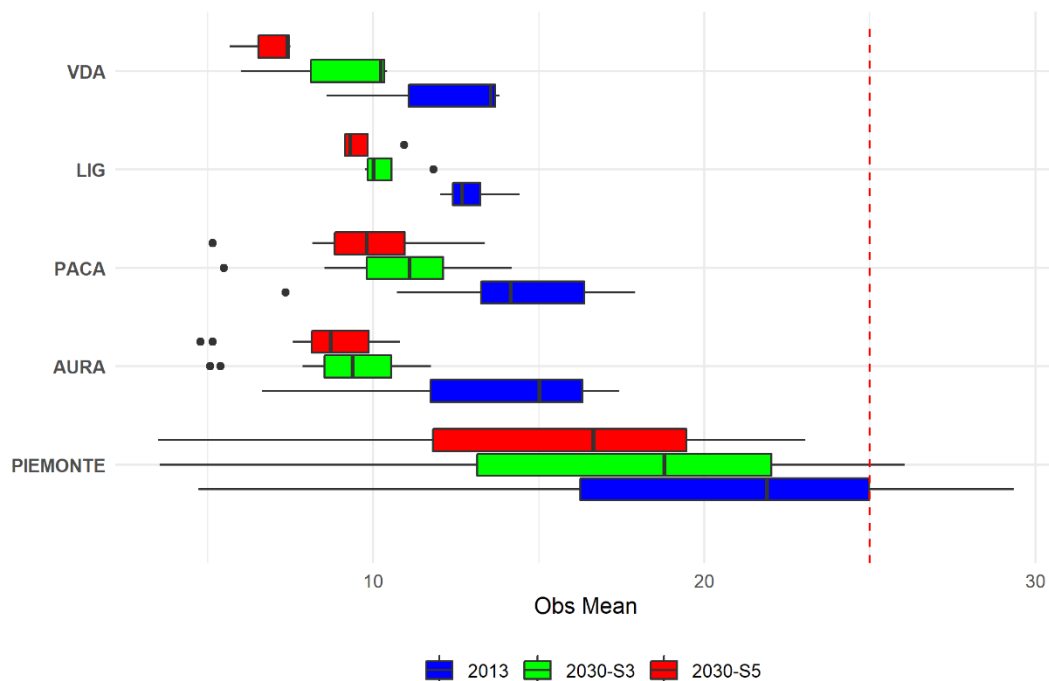
Dall'analisi dei grafici si conferma da un lato quanto espresso nel paragrafo [3.3.3](#), l'applicazione al 2030 dello scenario tendenziale permette di ottenere importanti riduzioni delle concentrazioni di particolato e soprattutto NO₂ ; dall'altro è evidente come la riduzione diventi ancor più marcata ed importante se si vanno a

locales supplémentaires spécifiques que les différentes régions envisagent d'adopter.

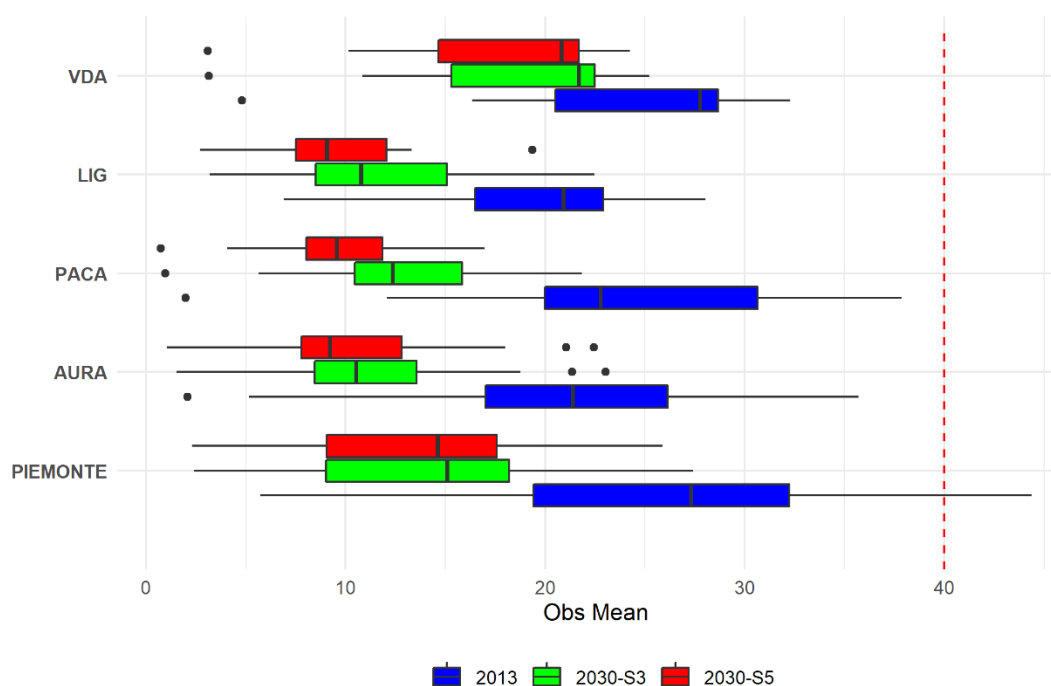
considerare anche le specifiche misure aggiuntive locali che le diverse regioni prevedono di adottare.



Figure/Figura 86 : Distribution des concentrations moyennes annuelles observées sur la période de référence (bleu) et la période 2028-2032 avec le futur scénario S3 (vert) et optimal (rouge) pour PM10 dans les stations de fond/Distribuzione delle concentrazioni medie annuali osservate nel periodo di riferimento (blue) e nel periodo 2028-2032 con lo scenario futuro S3 (verde) ed ottimale (rosso) per il PM10 nelle stazioni di fondo



Figure/Figura 87 : Distribution des concentrations moyennes annuelles observées sur la période de référence (bleu) et la période 2028-2032 avec le futur scénario S3 (vert) et optimal (rouge) pour PM2.5 dans les stations de fond/Distribuzione delle concentrazioni medie annuali osservate nel periodo di riferimento (blue) e nel periodo 2028-2032 con lo scenario futuro S3 (verde) ed ottimale (rosso) per il PM2.5 nelle stazioni di fondo



Figure/Figura 88 : Distribution des concentrations moyennes annuelles observées sur la période de référence (bleu) et la période 2028-2032 avec le futur scénario S3 (vert) et optimal (rouge) pour NO2 dans les stations de fond/Distribuzione delle concentrazioni medie annuali osservate nel periodo di riferimento (blue) e nel periodo 2028-2032 con lo scenario futuro S3 (verde) ed ottimale (rosso) per NO2 nelle stazioni di fondo

En ce qui concerne les PM2.5, la valeur limite n'est pas respectée dans certaines stations de fond piémontaises également pour le futur scénario de qualité de l'air 2030 : grâce à l'application de mesures locales supplémentaires, la valeur limite pour la moyenne annuelle est totalement respectée dans ces stations aussi.

Pour le dioxyde d'azote, comme décrit ci-dessus, les effets des mesures locales sont moins importants au Piémont et en Vallée d'Aoste qu'en PACA, AURA et Ligurie. Cela est dû au fait que les mesures choisies au Piémont et en Vallée d'Aoste visaient principalement à réduire les concentrations de particules.

L'ozone présente également, dans le scénario optimal, le même comportement différent des autres polluants déjà décrits au paragraphe 3.2.2. La **Figure/Figura** 89, avec la comparaison, région par région, des distributions moyennes annuelles d'ozone observées sur la période 2011-2013 en aval des simulations du scénario futur de qualité de l'air 2030 et du scénario optimal de qualité de l'air 2030, montre qu'il n'y a pas de grandes variations entre les trois scénarios, mais qu'il existe une tendance générale à la hausse des concentrations moyennes annuelles

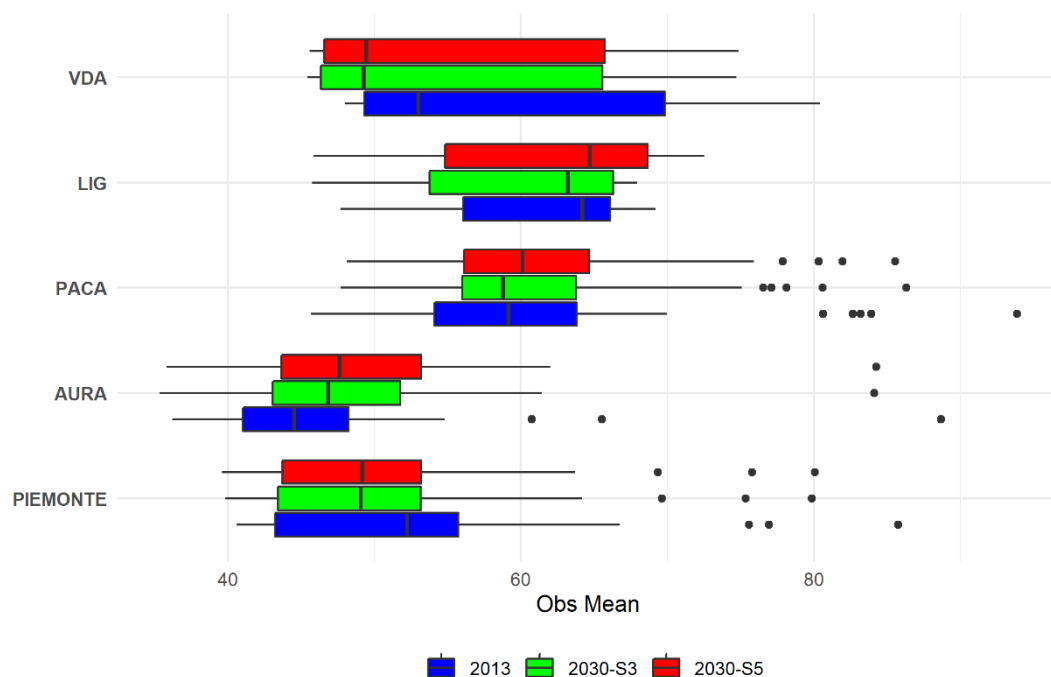
Per il PM2.5, si osserva un non rispetto del valore limite alcune stazioni di fondo piemontesi anche nello scenario qualità dell'aria futuro 2030: grazie all'applicazione delle misure aggiuntive locali, si arriva ad un totale rispetto del valore limite per la media annuale anche in queste stazioni.

Per il biossido di azoto, come già descritto in precedenza, si osservano minori effetti delle misure locali in Piemonte e Valle d'Aosta rispetto a PACA, AURA e Liguria. Questo comportamento è dovuto al fatto che le misure scelte in Piemonte e Valle d'Aosta sono state mirate principalmente alla riduzione delle concentrazioni di particolato.

L'ozono mostra anche nello scenario ottimale lo stesso comportamento differente dagli altri inquinanti già descritto nel paragrafo 3.2.2. La **Figure/Figura** 89, con il confronto, regione per regione delle distribuzioni medie annuali di ozono osservate nel periodo 2011-2013, osservate a valle delle simulazioni dello scenario di qualità dell'aria futuro 2030 e dello scenario qualità dell'aria ottimale al 2030, evidenzia come non si abbiano grandi variazioni tra i tre scenari, ma con una generale tendenza all'aumento delle concentrazioni medie annuali passando dallo scenario di

passant du scénario de référence au scénario S3 et au scénario S5.

riferimento, allo scenario S3 e allo scenario S5.



Figure/Figura 89 : Distribution des concentrations moyennes annuelles observées sur la période de référence (bleu) et la période 2028-2032 avec le futur scénario S3 (vert) et optimal (rouge) pour O₃ dans les stations de fond/Distribuzione delle concentrazioni medie annuali osservate nel periodo di riferimento (blue) e nel periodo 2028-2032 con lo scenario futuro S3 (verde) ed ottimale (rosso) per O₃ nelle stazioni di fondo.

4.3.3 Rapport sur la méthodologie expérimentale sur l'estimation des coûts et bénéfices économiques/ Report sulla metodologia sperimentale sulla valutazione dei costi e benefici economiche

Dans le cadre du projet, un groupe de travail spécifique ARPA Piémont et l'Université de Turin a calculé les impacts attendus par rapport aux concentrations de polluants estimées pour les scénarios futurs, en accompagnant les mesures de l'impact des évaluations économiques à l'ambition de fournir des éléments pour l'évaluation intégrée des coûts/bénéfices des politiques environnementales.

En ce qui concerne la santé humaine, de nombreuses études ont documenté une association entre l'exposition aux polluants et les effets mesurés sur la santé, tels que l'augmentation des symptômes respiratoires, l'aggravation des maladies cardiaques et respiratoires, jusqu'aux risques accrus de maladies cancéreuses (par exemple le cancer du poumon) et de décès prématurés. Une fois la relation causale établie, il a été possible de quantifier un impact estimé. En connaissant le niveau d'exposition et la composition de la population étudiée (nombre de résidents par tranche d'âge), le profil de santé de cette population au départ (par le biais des taux bruts de mortalité/hospitalisation pour les maladies d'intérêt), les fonctions concentration-réponse (par exemple, les risques relatifs dont il faut évaluer

All'interno del progetto uno specifico gruppo di lavoro Arpa Piemonte e l'Università degli Studi di Torino ha calcolato gli impatti attesi in relazione alle concentrazioni di inquinanti stimate per gli scenari futuri, affiancando alle misure di impatto valutazioni di natura economica, con l'ambizione di fornire elementi alla valutazione integrata di costi/benefici delle politiche in campo ambientale.

In merito alla salute umana, numerosi ed autorevoli studi hanno documentato un'associazione tra esposizione agli inquinanti ed effetti sanitari misurati quali aumento di sintomi respiratori, aggravamento di patologie cardiache e respiratorie, fino ad aumentati rischi per patologie tumorali (es. tumore al polmone) e morti premature. Appurata la relazione di natura causale è stato possibile quantificare una stima di impatto: conoscendo il livello di esposizione e la composizione della popolazione oggetto dell'indagine (numero di soggetti residenti per fascia di età), il profilo di salute di tale popolazione al *baseline* (tramite tassi grezzi di mortalità/ricovero per le patologie di interesse), le funzioni concentrazione-risposta (ad esempio Rischi Relativi per gli esiti di cui si vuole valutare la quota evitabile) e le

la partie évitable) et les seuils que l'on considère comme « sûrs » (limites imposées par des directives ou des lignes directrices, au-delà desquelles l'existence de risques pour la santé est supposée), il est possible de réaliser **une évaluation de l'impact pour différents scénarios d'exposition aux particules (PM10) et au dioxyde d'azote (NO₂).**

Pour la région Piémont, par exemple, des scénarios d'exposition ont été envisagés pour les années passées (2005, 2010 et 2015) et les années futures (2030 CLE selon la législation actuelle ou compte tenu de toutes les mesures du plan mises en œuvre). Les paramètres considérés sont les **maladies du système cardiovasculaire, les maladies respiratoires et les tumeurs de la trachée, des bronches et des poumons.**

Si pour le calcul de l'évaluation économique associée à ces résultats, l'approche la plus commune concerne la surmortalité (concept économique de valeur mesurée en essayant de saisir l'évaluation subjective d'une valeur difficile à quantifier) dans le projet, un deuxième type d'approche a été adopté, à savoir le *coût de la maladie*, qui vise idéalement à quantifier l'impact d'une maladie sur le produit intérieur brut. L'accent a donc été mis sur les **coûts des ressources** - qui comprennent les coûts sanitaires et non sanitaires

soglie che giudico “safe” (limiti imposti da Direttive o Linee Guida, al di sopra dei quali si presuppone l'esistenza di rischi per la salute), è possibile condurre una **stima di impatto per diversi scenari di esposizione a polveri (PM10) e biossido di azoto (NO₂).**

Per la Regione Piemonte, ad esempio, sono stati considerati scenari espositivi riconducibili ad anni passati (2005, 2010 e 2015) e futuri (2030 CLE a legislazione corrente o considerando tutte le misure di Piano implementate). Gli endpoints considerati sono le **malattie del sistema cardiocircolatorio, le malattie dell'apparato respiratorio e i tumori di trachea, bronchi e polmoni.**

Se per il calcolo della valutazione economica associata a tali esiti l'approccio più comune riguarda gli eccessi di mortalità (concetto economico di valore misurato cercando di cogliere la valutazione soggettiva di un valore difficilmente quantificabile), nel progetto ci si è orientati ad un secondo tipo di approccio, ossia il *cost-of-illness*, un punto di vista più contabile che mira idealmente a quantificare l'impatto che un dato evento di salute ha sul Prodotto Interno Lordo. Ci si è quindi concentrati sui **costi legati alle**

directement liés à la gestion de l'état de santé (par exemple, les coûts de transport vers l'hôpital et d'hospitalisation ou les coûts encourus par la famille en rapport avec l'état de santé du membre de la famille) - et les **coûts d'opportunité**, qui comprennent les coûts indirects liés à la perte de productivité causée par l'état de santé. En outre, une évaluation du total des coûts directs et indirects a été proposée, en augmentant les estimations obtenues avec leur part moyenne du total qui peut être obtenue à partir de la littérature.

D'un point de vue plus strictement environnemental, l'accent a été mis sur la **perte de valeur de divers services écosystémiques**, d'une part sur la relation entre la pollution de l'air et la visibilité et la sécurité routière, et d'autre part sur la capacité de purification de l'air par la végétation urbaine.

Sur le territoire piémontais, les accidents de la route induits par des **altérations de la visibilité** ont été évalués à l'aide de méthodes d'estimation économétriques pour parvenir à une estimation des coûts sanitaires, administratifs et patrimoniaux.

Les impacts économiques de la végétation urbaine ont également été explorés afin d'obtenir une quantification monétaire du coût social associé à la **réduction de la capacité de purification de l'air par la**

risorse (*resource costs*) - che comprendono i costi sanitari e non sanitari direttamente associati alla gestione della condizione di salute (ad esempio i costi del trasporto in ospedale e del ricovero, o ancora le spese sostenute dalla famiglia connesse alla condizione di salute del familiare) - e sui **costi opportunità**, che comprendono i costi indiretti legati alla perdita di produttività causata dalla condizione di salute. E' stata inoltre proposta una valutazione dei costi diretti e indiretti complessivi, inflazionando le stime ottenute con la loro quota media sul totale ricavabile dalla letteratura.

Dal punto di vista più strettamente ambientale, ci si è focalizzati sulla **perdita di valore di diversi servizi ecosistemici**, da una parte sulla relazione tra inquinamento dell'aria e visibilità e sicurezza stradale, dall'altra sulla capacità di depurazione dell'aria da parte della vegetazione urbana.

Sul territorio piemontese si è valutata l'incidentalità stradale mediata da **alterazioni della visibilità** utilizzando metodi di stima econometrici per arrivare ad una stima dei costi sanitari, nonché di quelli amministrativi e patrimoniali.

E' stata esplorato inoltre il tema degli impatti economici legati alla vegetazione urbana, per ottenere una quantificazione in termini monetari del costo sociale

végétation dans les zones urbaines et périurbaines.

Toutes les évaluations concernant la santé et l'économie qui ont été développées plus haut pour la région du Piémont constituent un exemple de méthodologie utilisable et répliquable sur d'autres régions.

associabile alla **riduzione nella capacità di depurazione dell'aria da parte della vegetazione** in aree urbane e periurbane.

Tutte le valutazioni sanitarie ed economiche presentate con riferimento al territorio piemontese costituiscono esempi applicati di metodologie utilizzabili e replicabili negli altri contesti territoriali.

4.3.4 Rapport sur l'évaluation de l'impact de la pollution atmosphérique et du changement climatique sur le patrimoine culturel/Report sulla valutazione degli impatti dell'inquinamento atmosferico e dei cambiamenti climatici sul patrimonio culturale

Généralité et but du travail/Generalità e scopo del lavoro

Le vieillissement des matériaux a été et reste un processus naturel et irréversible qui touche tous les bâtiments sans distinction. Ces dernières années, l'attention croissante portée à la conservation du patrimoine culturel, des œuvres d'art et des façades des bâtiments historiques (et pas seulement) a conduit à aborder le problème d'un point de vue de plus en plus scientifique. L'analyse et l'étude sont de plus en plus prises en compte lors des phases de conception et d'exécution de la restauration, de la récupération, de l'entretien et de la mise en valeur des bâtiments eux-mêmes.

Outre l'usure, les causes de dégradation à laquelle sont soumis les matériaux peuvent être d'origine naturelle (processus physiques et biologiques, changements de température, microclimat, cristallisation du sel, cycles de gel-dégel, etc.) et/ou anthropique, liées à la pollution atmosphérique qui attaque, transforme ou accélère le processus de vieillissement naturel. En fait, au cours des dernières décennies, la dégradation du patrimoine historique-artistique s'est accrue et il faut croire que l'une des principales causes de ce processus est

L'invecchiamento dei materiali è stato ed è tutt'oggi un processo naturale e irreversibile che colpisce tutti i manufatti edilizi in modo indiscriminato. Negli ultimi anni la crescente attenzione per la conservazione del patrimonio culturale, delle opere d'arte e delle facciate degli edifici storici (e non solo) ha portato ad affrontare il problema attraverso un punto di vista progressivamente sempre più scientifico. L'analisi e lo studio fungono sempre più da supporto nelle scelte prese durante le fasi di progettazione e di esecuzione del restauro, del recupero, della manutenzione e della valorizzazione dei manufatti stessi.

Oltre all'usura, le cause di degrado a cui sono soggetti i materiali possono essere di origine naturale (processi fisici, biologici, sbalzi termici, microclima, cristallizzazione salina, cicli di gelo/disgelo, etc) e/o antropica legate all'inquinamento atmosferico che aggredisce, trasformando o accelerando il processo di invecchiamento naturale.

Negli ultimi decenni si è infatti assistito a un aumento del degrado sul patrimonio storico-artistico ed è da ritenere che una delle principali

la pollution atmosphérique, qui intervient sur les processus dégénératifs en modifiant les propriétés chimiques, physiques et biologiques de l'air, induisant des altérations de différents niveaux de gravité sur les bâtiments. La connaissance de la manière dont les polluants atmosphériques affectent les processus de dégradation et de détérioration des bâtiments devient importante non seulement pour la restauration et la protection du patrimoine existant, mais aussi pour aborder correctement le choix des matériaux appropriés pour les nouveaux bâtiments. C'est pourquoi la recherche scientifique s'interroge sur la relation entre le patrimoine culturel et environnemental, un sujet d'actualité et de débat à tel point que, ces dernières années, des projets de recherche ont été menés au niveau européen visant à évaluer et à quantifier les dommages auxquels sont soumis certains matériaux qui caractérisent les bâtiments en définissant des fonctions dose-réponse (relations mathématiques permettant d'estimer les dommages imputables aux polluants atmosphériques et aux paramètres climatiques).

Sur la base de ces hypothèses, l'objectif est de fournir des éléments pour évaluer les conséquences et les impacts du changement climatique et de la pollution atmosphérique sur le patrimoine culturel.

cause de tale processo sia proprio l'inquinamento atmosferico, che interviene sui processi degenerativi attraverso la modifica delle proprietà chimiche, fisiche e biologiche dell'aria, inducendo alterazioni di vario livello di gravità sui manufatti. La conoscenza di come gli inquinanti atmosferici influiscano sui processi di degrado e deterioramento degli edifici diventa importante non solo per il restauro e la protezione del patrimonio esistente, ma anche per indirizzare correttamente la scelta di materiali appropriati per le nuove costruzioni. Per questa ragione la ricerca scientifica si sta interrogando sul rapporto che lega patrimonio culturale e ambientale, tema attuale e dibattuto a tal punto che, negli anni passati, sono stati condotti a livello europeo progetti di ricerca finalizzati a valutare e quantificare il danno cui sono soggetti alcuni materiali che caratterizzano i beni culturali definendo delle funzioni dose-risposta (relazioni matematiche in grado di stimare il danno attribuibile agli inquinanti atmosferici e ai parametri climatici).

Partendo da questi presupposti, ci si è posti come obiettivo quello di fornire elementi di valutazione delle conseguenze e degli impatti che il cambiamento climatico e l'inquinamento atmosferico hanno sul patrimonio culturale.

Approche méthodologique du sujet/Approccio metodologico al tema

La méthodologie opérationnelle⁴⁸ adoptée a suivi schématiquement les phases suivantes :

- PHASE A : Recherche bibliographique relative :
 - aux processus et aux facteurs de dégradation des matériaux les plus couramment utilisés dans les bâtiments historiques,
 - aux études de cas portant sur la dégradation du patrimoine immobilier,
 - aux fonctions dose-réponse,
 - aux interventions de conservation et de restauration.
- PHASE B: Identification et classification des matériaux traités.
- PHASE C: Enquête sur les polluants et les phénomènes atmosphériques responsables de la dégradation. Identification des effets des polluants et des phénomènes météorologiques : description et identification des relations dose-réponse et des

La metodologia operativa⁴⁹ adottata ha seguito schematicamente le seguenti fasi:

- FASE A: Ricerca bibliografica in merito a:
 - processi e fattori di degrado dei materiali più comunemente utilizzati nell'edilizia storica;
 - casi di studio centrati sulla tematica del degrado del patrimonio edilizio;
 - funzioni dose-risposta;
 - interventi di conservazione e restauro.
- FASE B: Individuazione e classificazione dei materiali trattati.
- FASE C: Inquadramento sugli inquinanti e i fenomeni atmosferici responsabili del degrado. Individuazione degli effetti degli inquinanti e dei fenomeni meteo-climatici: descrizione e individuazione di relazioni dose-risposta e delle problematiche poste dal loro impiego.

⁴⁸Rapport : https://www.climaera.eu/images/rapports/valutazione_impatti_sui_manufatti_con_fontespizio.pdf

⁴⁹ Rapporto : https://www.climaera.eu/images/rapports/valutazione_impatti_sui_manufatti_con_fontespizio.pdf

problèmes posés par leur utilisation.

- PHASE D: Identification des dommages attendus : l'attention s'est portée sur deux cas témoins liés au cuivre et au marbre et sur les processus de dégradation auxquels ils sont soumis.
- PHASE E: Opérations de conservation, de récupération et de protection des surfaces extérieures des œuvres culturelles, des bâtiments et des œuvres d'infrastructure et évaluation des coûts.

Le thème a été développé en prenant un échantillon de deux cas particulièrement intéressants en raison de l'importance des œuvres et parce qu'ils sont bien connus et étudiés par les membres du groupe (Officina delle idee srl), sur lesquels il a été possible de proposer une classification des interventions d'entretien et de restauration, des actions de protection préventive, et une estimation paramétrique des coûts moyens et de leur impact annuel.

- FASE D: Individuazione dei danni attesi l'attenzione si è concentrata su due casi campione relativi al rame e al marmo e ai processi di degrado cui essi vanno soggetti.
- FASE E: Operazioni di conservazione, recupero e protezione delle superfici esterne di opere culturali, edifici e opere infrastrutturali e valutazione dei costi

Il tema è stato sviluppato prendendo a campione due casi di particolare interesse per l'importanza delle opere e in quanto ben conosciuti e oggetto di studio da parte di componenti del gruppo (Officina delle idee srl), sui quali è stato possibile proporre una classificazione degli interventi di manutenzione, restauro, manutenzione e delle azioni di protezione preventiva e una stima parametrica dei costi medi e la loro incidenza annua.

Identification et classification des matériaux traités/Individuazione e classificazione dei materiali trattati

Seize matériaux couramment utilisés dans la construction et/ou le revêtement d'œuvres d'architecture historique et contemporaine et dans les monuments de plein air ont fait l'objet d'une analyse spécifique.

En fonction de leur nature - étroitement liée à leurs phénomènes de dégradation - ces matériaux échantillonnés ont été répartis dans les macro-catégories suivantes :

Sono stati analizzati nello specifico 16 materiali impiegati comunemente nella costruzione e/o rivestimento delle architetture storiche e contemporanee e nei monumenti all'aperto.

Sulla base della loro natura - strettamente correlata alle loro fenomenologie di degrado - questi materiali presi a campione sono stati suddivisi nelle seguenti macro-categorie:

Macro-categorie	Materiali
Materiali lapidei naturali	Arenarie e puddinghe Granitoidi Marmi e calcari Rocce basiche e pietre verdi
Materiali lapidei artificiali	Calcestruzzi e cementi, conglomerati cementizi armati Gesso Laterizio Intonaci tradizionali Vetro
Metalli e leghe	Acciaio Alluminio Bronzo Piombo Rame Zinco
Materiali organici e polimerici	Polimeri Gomme Resine Polietilene Policarbonato

Macro-catégories	Matériaux
Matériaux en pierre naturelle	Grès et pudding Granitoïdes Marbres et calcaires Roches basiques et pierres vertes
Matériaux en pierre artificielle	Bétons et ciments, conglomerats cimentaires armés Craie Brique Plâtres traditionnels Verre
Métaux et alliages	Acier Aluminium Bronze Plomb Cuivre Zinc
Matériaux organiques et polymères	Polymères Caoutchouc Résines Polyéthylène Polycarbonate

Pour chaque matériau, l'analyse de la phénoménologie de la dégradation a permis d'identifier les principaux facteurs de détérioration. Il faut cependant considérer que la dégradation, en réalité, est presque toujours causée par une combinaison de plusieurs facteurs.

Afin de mieux décrire de manière synthétique les matériaux examinés, les facteurs et les processus de dégradation qui les affectent, des fiches techniques ont été réalisées pour chacun d'entre eux (voir le [rapport complet](#)), qui illustrent également les dynamiques de dégradation communes à la plupart des produits qui les composent. Chaque fiche technique détaille :

- Les caractéristiques des matériaux (par exemple,

Per ciascun materiale, attraverso l'analisi della fenomenologia del degrado, sono stati individuati i principali fattori di deterioramento. Bisogna però considerare che il degrado, nella realtà dei fatti, è quasi sempre causato dalla combinazione di più fattori

Per meglio descrivere in sintesi i materiali presi in esame, i fattori e i processi di degrado che li interessano sono state prodotte delle schede tecniche per ciascuno di essi (si veda il report completo), nelle quali sono inoltre illustrate le dinamiche del degrado comuni alla maggior parte dei manufatti da essi costituiti. Ogni scheda riporta nel dettaglio:

- Le caratteristiche del materiale (p.e. composizione,

- composition, utilisations, morphologie, caractéristiques de performance),
- Les phénoménologies générales et les facteurs de dégradation,
 - Les fonctions dose/réponse liées au phénomène de retrait superficiel connu pour le matériau (lorsqu'elles sont disponibles),
 - Les interventions de conservation et les principales opérations d'entretien,
 - Bibliographie.

- impieghi, morfologia, caratteristiche prestazionali);
- Le fenomenologie generali e i fattori di degrado;
 - Le funzioni dose/risposta relative al fenomeno di arretramento superficiale note per il materiale (ove disponibili);
 - gli interventi conservativi e le principali operazioni di manutenzione;
 - Bibliografia

Polluants et phénomènes atmosphériques/Inquinanti e fenomeni atmosferici oggetto di trattazione

Les principaux polluants atmosphériques pertinents pour les effets de la dégradation ont été considérés.

Ce sont les suivants :

- Oxydes de soufre
- Oxydes d'azote
- Particules atmosphériques
- Ozone
- Gaz à effet de serre.

Comme nous assistons à une amélioration générale dans la zone d'étude ALCOTRA, des niveaux de concentration dans l'air des polluants qui ont représenté les principaux agresseurs des bâtiments au siècle dernier et principalement le dioxyde de soufre et les particules en

Sono stati considerati i principali agenti inquinanti atmosferici aventi rilevanza per gli effetti di degrado.

Essi sono:

- Ossidi di zolfo
- Ossidi di azoto
- Particolato atmosferico
- Ozono
- Gas serra

Poiché assistiamo ad un generale miglioramento, nell'area di studio ALCOTRA, dei livelli di concentrazione in aria di quegli inquinanti che hanno rappresentato i principali aggressori del costruito nel secolo scorso e principalmente il

suspension, il est considéré important aujourd'hui d'accompagner, dans l'évaluation de la dégradation des bâtiments, également l'évolution des conditions climatiques. De ce point de vue, les indices synthétiques, tels que les indices de précipitations extrêmes, fourniront des indications utiles tant pour calibrer les opérations d'entretien des bâtiments que pour la conception et la construction de nouveaux bâtiments.

Les processus auxquels ils donnent lieu sont décrits dans les fiches techniques fournies dans le rapport.

biossido di zolfo e le polveri aerodisperse, si ritiene oggi importante affiancare, nella valutazione del degrado dei manufatti, anche l'evoluzione delle condizioni climatiche. Da questo punto di vista indici sintetici, quali gli indici di precipitazione estremi, forniranno indicazioni utili sia per calibrare gli interventi di manutenzione degli edifici, sia nella fase di progettazione e realizzazione di nuovi fabbricati.

I processi cui essi danno luogo sono descritti nelle schede tecniche fornite nel report.

Effets des polluants atmosphériques et des phénomènes météoclimatiques sur les matériaux : description et identification des fonctions de relation de cause-effet et de dose-réponse/Effetti sui materiali degli inquinanti atmosferici e dei fenomeni meteoclimatici: descrizione ed individuazione di funzioni di relazione causa-effetto e dose-risposta

Un point fondamental de ce travail a été la recherche bibliographique sur les fonctions dose-réponse qui lient les polluants et les matériaux utilisés dans la construction. Les recherches effectuées ont permis de trouver de nombreux articles scientifiques qui font état de fonctions de ce type. Cependant, les fonctions dose-réponse sont difficiles à appliquer à des cas réels. Comme ces valeurs sont généralement obtenues expérimentalement sur la base de nombreux échantillons testés dans des situations très différentes, elles représentent une « moyenne ». Les

Punto fondamentale del presente lavoro è stata la ricerca bibliografica relativa a funzioni dose – risposta che legano inquinanti e materiali utilizzati in edilizia. Le ricerche effettuate hanno consentito di trovare numerosi articoli scientifici che riportano funzioni di questo tipo. Le funzioni dose-risposta risultano però difficilmente applicabili ai singoli casi reali. Trattandosi generalmente di valori ottenuti sperimentalmente sulla base di numerosi campioni testati in situazioni molto diverse rappresentano una “media”. Gli studi

études des fonctions dose-réponse ont donc une valeur très générale, certainement utile pour mieux comprendre les effets des polluants et des facteurs météorologiques sur la dégradation des matériaux, mais elles ne sont pas généralement applicables à des cas particuliers.

Plusieurs fonctions dose-réponse ont été identifiées pour les catégories de matériaux suivantes :

MATÉRIAUX EN PIERRE NATURELLE
MATÉRIAUX EN PIERRE ARTIFICIELLE
MÉTAUX ET ALLIAGES
MATÉRIAUX ORGANIQUES

Un schéma synthétique de ces facteurs de dégradation et de leur effet sur les différents matériaux a été élaboré :

delle funzioni dose-risposta hanno quindi una valenza molto generale, sicuramente utile a meglio comprendere gli effetti degli inquinanti e dei fattori meteorologici sul degrado dei materiali ma non sono generalmente applicabili a singoli casi specifici.

Sono state individuate diverse funzioni dose-risposta per le seguenti categorie di materiali seguenti:

MATERIALI LAPIDEI NATURALI
MATERIALI LAPIDEI ARTIFICIALI
METALLI E LEGHE
MATERIALI ORGANICI

E' stato elaborato uno schema sintetico di tali fattori di degrado e del loro effetto sui vari materiali:

MATERIALE	AGENTI CHIMICI						AGENTI FISICI					
	SO _x	NO _x	O ₃	PM _x	Cl ⁻	CO ₂	Pioggia	Correnti eoliche	Gelo/ disgelo	Raggi solari	Temperatura	Umidità
MATERIALI LAPIDEI NATURALI												
Arenarie a cemento calcareo	OOO	OOO	O	O	OO	OOO	OOO	OO	OOO	OO	OOO	OOO
Granitoidi	O	O	O	O	O	O	OO	O	O	/	OO	OO
Marmi - calcari	OOO	OO	/	OOO	OO	OOO	OOO	OOO	OOO	O	OOO	OOO
Rocce basiche	OO	O	/	O	O	O	OO	O	O	/	O	OOO
MATERIALI LAPIDEI ARTIFICIALI												
Gesso	OOO	OOO	/	OOO	OO	O	OOO	O	OOO	O	O	OOO
Intonaci tradizionali	OOO	OOO	/	OOO	OOO	OOO	OOO	OOO	OOO	OOO	OO	OOO
Cemento	OOO	O	OO	OOO	/	OOO	OOO	O	OO	O	O	OOO
Laterizio	OO	O	/	OOO	O	O	OO	OO	OOO	OO	O	OOO
Vetro	OOO	OOO	/	OOO	O	OOO	OOO	OOO	O	OO	OOO	OOO
METALLI E LEGHE												
Rame	OOO	OOO	OOO	OOO	OOO	OOO	OO	/	/	O	OO	OOO
Bronzo	OOO	OOO	OOO	OOO	OOO	OOO	OO	/	/	O	OO	OOO
Alluminio	O	O	O	O	O	O	OO	/	/	/	OOO	OO
Acciaio (non inox)	OOO	O	OO	OOO	O	O	OOO	/	/	/	OO	OOO
Zinco	OOO	OOO	/	O	/	/	OOO	O	/	/	OO	OOO
Piombo	OOO	OOO	/	OO	OOO	OOO	OOO	/	/	/	O	OOO
MATERIALI ORGANICI												
Materiali polimerici	O	O	OOO	OO	/	/	OO	/	OO	OOO	OOO	OOO

Legenda: / = azione nulla O = azione minima OO = azione di media entità OOO = azione di notevole entità

Tableau/Tabella 16 : Tableau récapitulatif des facteurs de dégradation et de leur effet sur les différents matériaux/Tabella riassuntiva dei fattori di degrado e del loro effetto sui diversi materiali

Une étude approfondie a été réalisée sur deux matériaux en particulier, le marbre et le cuivre. Pour ces études de cas, on a analysé en détail ce qui suit : les phénomènes de dégradation, les réactions entre les polluants et les phénomènes atmosphériques et matériau, les fonctions dose-réponse et enfin les bonnes pratiques pour la conservation et le contrôle de la dégradation, avec une référence particulière aux facteurs climatiques : les phénomènes de précipitation (même violents, l'humidité relative, les cycles de gel et de dégel, les courants de vent, l'exposition au rayonnement solaire).

E' stato fatto un approfondimento su due materiali in particolare, il marmo e il rame; per tali casi studio sono stati analizzati in dettaglio i fenomeni di degrado, le reazioni tra inquinanti e fenomeni atmosferici e materiale, le funzioni dose – risposta ed infine le buone pratiche per la conservazione ed il controllo del degrado, con particolare riferimento ai fattori climatici : fenomeni di precipitazione (anche violenta, umidità relativa, cicli di gelo e disgelo, correnti eoliche , esposizione all'irraggiamento solare).

Afin de quantifier les coûts d'intervention et donc d'évaluer les impacts économiques de la pollution atmosphérique et du changement climatique, l'approche basée sur des formules dose-réponse peut être appliquée dans des cas très simples où l'objet analysé est constitué de matériaux compacts et homogènes, pour lesquels les dommages dominants causés par les processus liés aux polluants et aux attaques climatiques sont en fait dus à la lente perte de matière en surface.

La séquence logique suivante (idéale et théorique) peut être suivie :

- Identification du matériau,
- Choix de la formule dose-réponse la mieux adaptée au cas en question, principalement en fonction des données disponibles, en se référant éventuellement à plusieurs formulations à comparer,
- Introduction des données sur les polluants et le climat dans la formule choisie,
- Évaluation du taux de perte de matière sur la surface du bâtiment (mm, $\mu\text{m}/\text{y}$),
- Définition d'un seuil de perte de matériau au-delà duquel une intervention d'entretien est nécessaire, liée au type de

Ai fini della quantificazione dei costi di intervento e quindi della valutazione degli impatti economici dell'inquinamento atmosferico e dei cambiamenti climatici, l'approccio basato sulle formule dose-risposta può essere applicato nei casi molto semplici dove l'oggetto analizzato è costituito da materiali compatti e omogenei, per i quali il danno prevalente provocato dai processi legati ad inquinanti e agli attacchi legati al clima è effettivamente dovuto alla lenta perdita di materiale in superficie.

Può seguire questa sequenza logica (ideale e teorica) :

- Individuazione del materiale
- Scelta della formula dose-risposta più adatta al caso in esame, in relazione principalmente ai dati a disposizione, eventualmente facendo riferimento a più formulazioni da mettere a confronto
- Introduzione dei dati relativi inquinanti e clima nella formula prescelta
- Valutazione del tasso di perdita di materiale dalla superficie del manufatto (mm, $\mu\text{m}/\text{y}$)
- Definizione di una soglia di perdita di materiale oltre la quale risulta necessario un intervento di manutenzione,

bâtiment, plus ou moins sensible au phénomène,

- Définition du nombre d'interventions dans le temps (par exemple, avec projection jusqu'à 2030),
- Définition d'un coût paramétrique, basé sur le type d'intervention et les tarifs disponibles,
- Calcul de l'impact économique : nombre d'interventions x coût paramétrique.

Ainsi, l'impact économique dans les conditions environnementales actuelles serait évalué. Afin d'évaluer l'effet de l'aggravation ou de l'amélioration du cadre actuel, sur la base de la projection des données à la date de référence (par exemple 2030), celles-ci seraient remplacées dans la formule, ce qui permettrait d'obtenir la valeur de l'impact économique dans une perspective future.

Afin d'illustrer la complexité des interventions de récupération sur le patrimoine culturel suite aux effets de la dégradation, deux cas réels d'intervention dans la ville de Turin ont été analysés : Palazzo Mazzonis (siège du Musée d'Art Oriental MAO) et Palazzo Madama. Ce sont des bâtiments complexes bien connus du groupe de travail (Officina delle Idee et Mme Carlone).

Cette approche a montré de grandes limites dans son application pratique

legato al tipo di manufatto, più o meno sensibile al fenomeno

- Definizione del numero di interventi nel tempo (p.e. con proiezione al 2030)
- Definizione di un costo parametrico, sulla base del tipo di intervento e dei tariffari a disposizione
- Calcolo dell'impatto economico: n°. interventi x costo parametrico

In questo modo si arriverebbe a valutare l'impatto economico nelle attuali condizioni ambientali. Per valutare l'effetto di aggravamenti o miglioramenti dell'attuale quadro, in base alla proiezione dei dati alla data di riferimento (p.e. 2030), si andrebbero a sostituire gli stessi nella formula, ottenendo quindi il valore dell'impatto economico in prospettiva futura.

Per illustrare la complessità degli interventi di recupero sul patrimonio culturale a seguito degli effetti del degrado si sono analizzati due casi reali di intervento nella città di Torino: Palazzo Mazzonis (sede del MAO Museo di Arte Orientale) e Palazzo Madama, in quanto edifici complessi e ben conosciuti dal gruppo di lavoro (Officina delle Idee e la Dr.ssa Carlone)

à des cas réels tels que ceux analysés, constitués de bâtiments et d'ouvrages complexes, d'autant plus s'ils sont constitués de stratifications historiques comme celles qui constituent le patrimoine culturel national.

Par conséquent, afin de tenter de surmonter ces problèmes, certains auteurs (entre autres Apollonia et al. 2009 - voir pour plus de détails la collection bibliographique en annexe du rapport final), ont proposé des méthodes alternatives, en considération des problèmes décrits. En fonction des arguments présentés jusqu'à présent, un raisonnement a été élaboré, axé sur les deux cas réels identifiés, qui fournit schématiquement la séquence suivante :

- 1) Identification des processus de dégradation affectant le bâtiment,
- 2) Identification des interventions nécessaires à sa récupération et à sa protection,
- 3) Estimation paramétrique des coûts moyens requis par les interventions,
- 4) Une estimation de l'impact annuel de ces coûts sur la base de l'expérience des activités de maintenance et de recouvrement au fil du temps.

Sur la base de cette méthode, les coûts des différentes interventions de

Tale approccio ha evidenziato dei grossi limiti nella sua applicazione pratica a casi reali come quelli analizzati, costituiti da edifici e opere edilizie complesse, a maggior ragione se costituite da stratificazioni storiche come lo sono in genere quelle che costituiscono il patrimonio culturale nazionale.

Pertanto, per cercare di superare tali problematiche, alcuni autori (tra gli altri Apollonia et al. 2009 - si veda per approfondimenti la raccolta bibliografica in appendice alla relazione completa finale), hanno proposto metodiche alternative, In considerazione delle problematiche descritte.

In ragione delle argomentazioni sin qui esposte, é stato sviluppato un ragionamento, incentrato sui due casi reali individuati, che prevede schematicamente la seguente sequenza:

- 1) Individuazione dei processi di degrado che interessano l'edificio;
- 2) Inquadramento degli interventi necessari al suo recupero e alla sua protezione;
- 3) Stima parametrica dei costi medi richiesti dagli interventi;
- 4) Stima dell'incidenza annua di tali costi sulla base dell'esperienza nel tempo delle attività di manutenzione e recupero.

récupération ont été évalués. Vous trouverez ci-dessous les tableaux récapitulatifs avec les coûts unitaires par type d'intervention (€/m²).

Sulla base di questa metodica sono stati valutati i costi per i singoli interventi di recupero. Si riportano di seguito le tabelle riassuntive con i costi unitari per tipologia di intervento (€/m²)

- Palazzo Mazzonis

Interventions de rénovation de la toiture/Interventi di rifacimento del manto di copertura

Type d'intervention/ Tipologia interventi	Coût unitaire/ Costo unitario (€/m ²)
Travaux sur la toiture, à l'exclusion d'un léger ourdissage/ Lavorazioni manto di copertura, esclusa piccola orditura	351 environ/circa

Les coûts climatiques du remplacement de la toiture peuvent être résumés comme suit/I costi climatici legati alla sostituzione del manto sono così riassumibili:

	Coût unitaire (incidence annuelle) / Costo unitario (incidenza annua) €/m ²
1/3 de € 351/m ² sur 20 ans/ 1/3 di € 351/m ² su 20 anni	5,85
Entretiens 1/3 x 1% x de € 351/m ² / Manutenzioni 1/3 x 1% x di € 351/m ²	1,17

Interventions sur les façades/Interventi sulle facciate

Type d'intervention Tipologia intervento	Coût unitaire/ Costo unitario €/m ²
Traitement des façades sur via San Domenico, via Sant'Agostino et la cour Lavorazioni facciate su via San Domenico, via Sant'Agostino e cortile	240 environ/circa

Les coûts climatiques liés à la rénovation du plâtre peuvent être résumés comme suit/I costi climatici legati al rifacimento dell'intonaco sono così riassumibili:

	Coût unitaire – incidence annuelle Costo unitario incidenza annua €/m ²
1/4 de € 240/m ² sur 30 ans 1/4 di € 240/m ² su 30 anni	2,00
Entretiens 1/4 x 2% x de € 240/m ² Manutenzioni 1/4 x 2% x di € 240/m ²	1,20

- Palazzo Madama

Travaux de restauration de la façade du Juarra/Interventi di restauro della facciata Juarriana

Type d'intervention /Tipologia intervento	Coût unitaire Costo unitario €/m ²
Travaux de restauration de la façade de Juarra (coût moyen tenant compte de facteurs difficilement prévisibles) Interventi di restauro della facciata Juarriana (costo medio tenendo conto di fattori difficili da prevedere)	22,30 environ/circa

Les études de cas proposées, avec les données mises à disposition par une activité de conception, représentent une première tentative d'associer les dommages causés par une agression climatique imprévisible au cours des années passées.

I casi studio proposti, con dati resi disponibili da un'attività di progettazione, rappresentano un primo tentativo di associare i danni provocati da un'aggressione climatica non prevedibile in anni passati.

Conclusions et hypothèses pour le développement de nouvelles recherches/Conclusioni e ipotesi per lo sviluppo di ulteriori ricerche

L'approche basée sur les formules dose-réponse est applicable aux cas simples où l'objet analysé est constitué de matériaux compacts et homogènes, pour lesquels les dommages prédominants causés par les processus liés aux polluants et aux attaques climatiques sont en fait dus à la perte lente de matériau sur la surface.

Dans ces cas, il est possible d'analyser les agressions chimiques (dissolution, sulfatation, argilisation-séricitisation, carbonatation, etc.), alimentées par les phénomènes de pollution. Il s'agit principalement de matériaux tels que le marbre, le calcaire compact, le bronze, les granitoïdes, etc.

Les limites de l'approche basée sur les formules dose-réponse dans l'application à des cas réels d'intervention sont notées pour les principales raisons suivantes :

- Présence de bâtiments et d'ouvrages complexes, constitués de stratifications historiques qui sont la réalité du patrimoine culturel de la zone d'étude,
- modification du comportement du bâtiment à la suite d'éventuelles interventions de protection/consolidation antérieures ou de la première intervention prévue au cours de la période de référence ;

L'approccio basato sulle formule dose-risposta risulta applicabile a casi semplici dove l'oggetto analizzato è costituito da materiali compatti e omogenei, per i quali il danno prevalente provocato dai processi legati ad inquinanti e agli attacchi legati al clima è effettivamente dovuto alla lenta perdita di materiale in superficie.

In quei casi si possono analizzare le aggressioni chimiche (dissoluzione, solfatazione, argillificazione-sericitizzazione, carbonatazione, ecc.), alimentate dai fenomeni di inquinamento. Si tratta principalmente di materiali quali il marmo, il calcare compatto, il bronzo, i granitoidi.

Limiti dell'approccio basato sulle formule dose-risposta nell'applicazione a casi reali di intervento, si rilevano per i seguenti motivi principali:

- Presenza di edifici e opere edilizie complesse, costituite da stratificazioni storiche che sono la realtà proprio del patrimonio culturale del territorio di studio.
- Alterazione del comportamento del manufatto a seguito di eventuali interventi di protezione/consolidamento pregressi o del primo

cela nécessiterait de nouvelles formulations dose-réponse pour tenir compte de l'effet des modifications apportées. Pour l'instant, aucune référence n'a été trouvée dans la littérature.

intervento previsto nel periodo di riferimento; questo richiederebbe nuove formulazioni dose/risposta per tener conto dell'effetto delle modifiche apportate. Al momento non è stato trovato alcun riferimento in letteratura.

Synthèse/Sintesi

La mise en place et l'utilisation des outils SHERPA et RIAT+ ont permis d'identifier les mesures de réduction des concentrations les plus pertinentes et optimisées en termes de coût dans le territoire d'ALCOTRA.

Les mesures optimisées par RIAT+ n'ont cependant pas été jugées satisfaisantes en ce qui concerne les diminutions des concentrations des polluants. En cause, une base GAINS manquant de technologies d'amélioration récentes et un principe de remplacement technologique fixe dans RIAT+ dit « end of pipe » ne permettant pas de remplacer un type de technologie par une autre dans l'optimisation.

L'optimisation ne prévoit pas par exemple le remplacement de véhicule diesel par des véhicules électriques mais une amélioration des moteurs diesel. Face à ce constat, l'ensemble des partenaires ont fait le choix de garder les mesures RIAT+ les plus efficaces et d'y ajouter de nouvelles mesures cohérentes avec des plans régionaux ou tester des technologies prometteuses (par exemple le remplacement des diesels par des véhicules électriques) qui n'étaient pas prévues par RIAT+. La flexibilité de RIAT+ a permis d'ajouter ce type de mesures. Ces dernières ont toutes été évaluées à l'horizon 2030 et appliquées après les mesures

L'implementazione e l'utilizzo degli strumenti SHERPA e RIAT+ hanno permesso di individuare le misure di riduzione delle concentrazioni più rilevanti e ottimizzate in termini di costi nel territorio di ALCOTRA.

Tuttavia, le misure ottimizzate da RIAT+ non sono state considerate soddisfacenti in termini di riduzione delle concentrazioni di inquinanti, a causa di una banca dati GAINS priva di recenti tecnologie di miglioramento e di un principio fisso di sostituzione tecnologica in RIAT+ noto come "end of pipe" che non permetteva di sostituire un tipo di tecnologia con un altro nell'ottimizzazione.

Ad esempio, l'ottimizzazione non prevede la sostituzione dei veicoli diesel con veicoli elettrici, ma solo con un nuovo motore diesel. Di fronte a questa constatazione, tutti i partner hanno scelto di mantenere le misure RIAT+ più efficaci e di aggiungere nuove misure coerenti con i piani regionali o di testare tecnologie promettenti (ad esempio la sostituzione dei diesel con veicoli elettrici) non previste da RIAT+. La flessibilità di RIAT+ ha permesso di aggiungere questo tipo di misure che sono state tutte valutate con orizzonte temporale 2030 e applicate dopo le misure di regolamentazione stabilite dalla legislazione europea.

réglementaires fixées par la législation européenne.

A noter que la réglementation européenne de 2030 est jugée par les partenaires comme très optimiste et son application dans RIAT+ montre que des réductions des émissions relativement importantes sont attendues à cette échéance. Les nouvelles mesures dites non techniques ajoutées à la CLE 2030 et aux mesures optimisées de RIAT+ montrent que des réductions sont encore possibles. Les différentes régions et partenaires proposent des mesures cohérentes par rapport à leurs problématiques locales de qualité de l'air. Lorsque ces problématiques se ressemblent, les mesures proposées aussi. Par exemple, les mesures sélectionnées par les partenaires de la vallée d'Aoste sont en accord avec ceux de Atmo Auvergne-Rhône-Alpes sur le chauffage au bois, car ce dernier est la principale source de particules lors des épisodes de pollution hivernaux.

Occorre osservare che la regolamentazione europea del 2030 è considerata dai partner molto ottimistica e la sua applicazione in RIAT+ dimostra che entro questa scadenza sono previste riduzioni delle emissioni relativamente significative. Le nuove cosiddette misure non tecniche aggiunte a CLE 2030 e le misure ottimizzate in RIAT+ dimostrano che le riduzioni sono ancora possibili. Le diverse regioni e i diversi partner propongono misure coerenti con i loro problemi locali di qualità dell'aria. Laddove questi problemi sono simili, lo sono anche le misure proposte. Ad esempio, le misure selezionate dai partner della Valle d'Aosta sono in accordo con quelle di Atmo Auvergne-Rhône-Alpes sul riscaldamento a legna, in quanto quest'ultimo è la principale fonte di particolato durante gli episodi di inquinamento invernale.

Conclusions/Conclusione

Avec le projet CLIMAERA, la pollution atmosphérique et le changement climatique sont étudiés de manière intégrée. La première partie du projet a permis d'évaluer précisément l'évolution du climat dans les années à venir sur le territoire ALCOTRA. Le constat est très inquiétant en particulier pour l'arc alpin où les températures devraient augmenter d'au moins 2°C⁵⁰ et les journées d'enneigement devraient quant à elles fortement diminuer quel que soit le scénario des émissions de gaz à effet de serre considéré.

Concernant la qualité de l'air en 2030, elle devrait s'améliorer grâce à l'introduction et la mise sur le marché de technologies innovantes et moins polluantes permettant de réduire d'année en année le bilan des émissions de chaque secteur d'activité.

En revanche, une conclusion forte a été tirée du scénario à émissions constantes : la météorologie de 2030 aura pour effet d'augmenter sensiblement (jusqu'à +5 µg/m³ sur la moyenne annuelle) les concentrations de particules notamment sur la région Auvergne-

Con il progetto CLIMAERA, l'inquinamento dell'aria e i cambiamenti climatici sono studiati in modo integrato. La prima parte del progetto ha permesso di valutare con precisione l'evoluzione del clima nei prossimi anni nel territorio ALCOTRA. I risultati sono particolarmente inquietanti, in particolare per l'arco alpino, dove le temperature dovrebbero aumentare di almeno 2°C⁵¹ e i giorni di neve dovrebbero diminuire significativamente indipendentemente dallo scenario di emissioni di gas serra considerato.

Per quanto riguarda la qualità dell'aria nel 2030, dovrebbe migliorare grazie all'introduzione e alla messa in commercio di tecnologie innovative e meno inquinanti che consentiranno di ridurre di anno in anno il bilancio delle emissioni di ciascun settore di attività.

D'altra parte, una forte conclusione è stata tratta dallo scenario a emissioni costanti: la meteorologia del 2030 avrà l'effetto di aumentare significativamente (fino a +5 µg/m³ sulla media annua) le concentrazioni di particolato, in particolare nella regione Alvernia-Rodano-Alpi e il

⁵⁰ Evolution de la température pour la période 2036-2065 par rapport à la période de référence 1981-2010

⁵¹ Evoluzione della temperatura per il periodo 2036-2065 rispetto al periodo di riferimento 1981-2010

Rhône-Alpes et le Piémont. Ce constat est alarmant car une évolution des gaz à effet de serre "optimiste" (RCP4.5) a été prise en compte pour les scénarios météorologiques. En effet, la hausse des particules serait encore plus importante, si l'évolution des gaz à effet de serre s'avérait moins favorable.

Il est donc nécessaire de trouver dès 2030 des actions supplémentaires pour contrer l'action du climat sur la qualité de l'air. C'est tout le travail qui a été entrepris par la suite. Les résultats ont permis de proposer à chaque région les actions les plus bénéfiques pour leur territoire. L'analyse a montré que les secteurs du chauffage résidentiel et automobile sont les leviers les plus efficaces pour améliorer la pollution de l'air et le bilan des gaz à effet de serre. L'ensemble de ces actions ont été intégré dans un scénario de modélisation de la qualité de l'air qui a permis de valider leur efficacité pour contrebalancer le changement climatique.

Le projet a également été l'occasion pour chaque partenaire de sensibiliser la population sur ces thématiques à travers de nombreuses manifestations réunissant divers publics : séminaires scientifiques, ateliers et conférences de presse. Les résultats du projet ont été présentés lors d'un séminaire en ligne ouvert au grand public réunissant

Piemonte. Ciò è allarmante perché per gli scenari meteorologici è stata presa in considerazione un'evoluzione "ottimistica" dei gas serra (RCP4.5). In effetti, l'aumento del particolato sarebbe ancora maggiore se l'evoluzione dei gas serra si rivelasse meno favorevole.

È quindi necessario individuare ulteriori azioni già nel 2030 per contrastare l'azione del clima sulla qualità dell'aria, e questo è tutto il lavoro che è stato intrapreso da allora. I risultati hanno permesso di proporre ad ogni regione le azioni più benefiche per il proprio territorio. L'analisi ha mostrato che il settore del riscaldamento domestico e quello automobilistico sono le leve più efficaci per migliorare l'inquinamento dell'aria e il bilancio dei gas serra. Tutte queste azioni sono state integrate in uno scenario di modellizzazione della qualità dell'aria che ha permesso di convalidare la loro efficacia nella compensazione dei cambiamenti climatici.

Il progetto è stato anche l'occasione per ogni partner di sensibilizzare la popolazione su questi temi attraverso numerosi eventi che hanno riunito diversi pubblici: seminari scientifici, workshop e conferenze stampa.

I risultati del progetto sono stati presentati nel corso di un seminario online aperto al pubblico, che ha

scientifiques et experts autour de ces questions mais également acteurs associatifs et collectivités locales. Ce fut l'occasion de vulgariser et illustrer les résultats de CLIMAERA mais aussi de présenter l'outil numérique créé au cours du projet. Ce dernier a pour but de former les collectivités et de sensibiliser les citoyens aux changements de comportement en lien avec la thématique air/climat/énergie.

Le projet CLIMAERA a permis de renforcer la coopération franco-italienne dans le long combat de la lutte contre le réchauffement climatique. L'étude du climat ne peut se dissocier de celle de la qualité de l'air, des économies d'énergie et de l'exposition de la population.

Qualité de l'air et santé, sont les leviers concrets et réels pour la prise de conscience citoyenne et la lutte contre le changement climatique. Le rapprochement des thématiques climat, qualité de l'air et santé est essentiel. Le projet CLIMAERA a posé les premières pierres de ce rapprochement, mais ce n'est qu'un début.

Il est aujourd'hui nécessaire d'étudier d'autres scénarios futurs d'évolutions conjointes des émissions anthropiques et de climatologie. Les territoires métropolitains constituent un formidable enjeu pour la réalisation d'actions concrètes de réduction des émissions

riuniti scienziati ed esperti su questi temi, nonché attori di associazioni ed enti locali. È stata l'occasione per divulgare e illustrare i risultati di CLIMAERA ma anche per presentare lo strumento digitale creato durante il progetto. L'obiettivo di quest'ultimo è quello di formare gli enti locali e di sensibilizzare i cittadini sui cambiamenti comportamentali legati alla tematica aria/clima/energia.

Il progetto CLIMAERA ha permesso di rafforzare la cooperazione franco-italiana nella lunga lotta contro il riscaldamento climatico. Lo studio del clima non può essere dissociato dallo studio della qualità dell'aria, del risparmio energetico e dell'esposizione della popolazione.

La qualità dell'aria e la salute sono le leve concrete e reali per sensibilizzare l'opinione pubblica e combattere i cambiamenti climatici. È essenziale riavvicinare i temi del clima, della qualità dell'aria e della salute. Il progetto CLIMAERA ha posto le prime pietre di questo riavvicinamento, ma è solo l'inizio.

È ora necessario studiare altri scenari futuri di evoluzioni congiunte delle emissioni antropiche e di climatologia. I territori metropolitani rappresentano una sfida formidabile per l'attuazione di azioni concrete per la riduzione delle emissioni antropiche. È quindi importante

anthropiques, il est donc important de pouvoir étudier plus en détails, les impacts environnementaux des métropoles avec les acteurs locaux.

L'arrivée du COVID 19 nous rappelle l'urgence. Il est bien sûr essentiel d'approfondir les études épidémiologiques en lien avec le climat et la qualité de l'air. Les liens entre la hausse des températures, de l'ozone, des particules atmosphériques, des épidémies, des feux de forêts doivent être approfondis.

poter studiare in modo più approfondito gli impatti ambientali delle metropoli con gli attori locali.

L'arrivo del COVID 19 ci ha ricordato l'urgenza. Naturalmente è essenziale approfondire gli studi epidemiologici relativi al clima e alla qualità dell'aria. I legami tra l'aumento delle temperature, dell'ozono, del particolato atmosferico, delle epidemie e degli incendi boschivi devono essere approfonditi.