

ITALIANO

# NEWSLETTER

# #02



# ALPAERA

Interreg



Cofinancé par  
l'Union Européenne  
Cofinanziato  
dall'Unione Europea

AtmoSud  
Inspirer un air meilleur

Atmo  
AUVERGNE-RHÔNE-ALPES  
votre partenaire air

ARPA  
PIEMONTE  
Agenzia Regionale  
per la Protezione Ambientale



ARPAL  
Agenzia regionale per la protezione dell'ambiente ligure

France – Italia ALCOTRA

NOVEMBRE 2025

## SOSTEGNO ALLA GOVERNANCE DELL'ARIA E DEL CLIMA NELLE AREE ALPINE ALCOTRA

*Caro lettore,*

*Benvenuto alla seconda edizione della newsletter del progetto ALP'AERA, finanziato dal programma Interreg Italia-Francia ALCOTRA 2021-2027.*

*In questa edizione sono presentati i progressi più significativi del progetto attraverso una serie di articoli che coprono diverse attività chiave: dal ruolo del comitato degli esperti alle innovative tecniche di monitoraggio con droni, dalle campagne di misura dell'ozono e del black carbon alle analisi degli scenari futuri di qualità dell'aria.*

*Il progetto continua a svilupparsi con successo, coinvolgendo tutti i partner nella caratterizzazione degli impatti del cambiamento climatico sulla qualità dell'aria nelle valli alpine. Le attività di monitoraggio si sono intensificate e i primi risultati stanno emergendo, fornendo dati preziosi per la governance ambientale transfrontaliera.*

*Se desideri seguire le nostre ultime attività ed essere informato sugli sviluppi del progetto, seguici sui nostri canali social e sul nuovo sito web di progetto disponibile al seguente link [www.alpaera.eu](http://www.alpaera.eu).*

*Ti auguriamo una buona lettura!*

***I partner del progetto ALP'AERA***

## Il comitato degli esperti del progetto ALP'AERA: un dialogo tra scienza e territorio

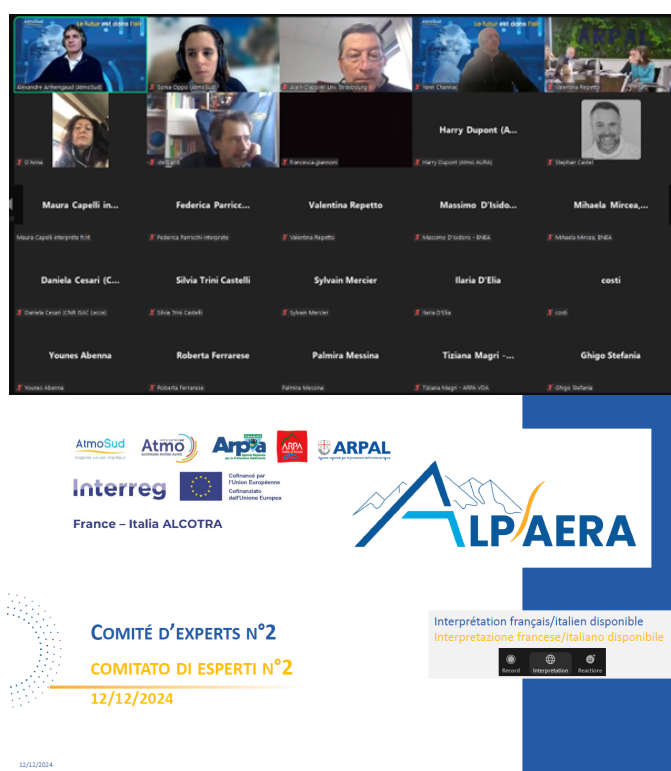
Fin dal suo lancio, il progetto europeo ALP'AERA si è dotato di un comitato di esperti per supportare il suo approccio scientifico. Questo comitato, composto da ricercatori ed esperti in qualità dell'aria e clima, si riunisce due volte l'anno in videoconferenza. Il suo obiettivo è quello di guidare gli orientamenti del progetto, discutere i risultati scientifici prodotti e rafforzare i legami tra la ricerca e i partner del progetto. Gli scambi sono organizzati in modo da favorire l'interdisciplinarietà e il dialogo franco-italiano, grazie alla traduzione simultanea.

Durante il primo comitato di esperti, a giugno 2024, le discussioni si sono concentrate sul legame tra le emissioni di inquinanti atmosferici e le condizioni meteorologiche, nel contesto del cambiamento climatico. È



Il secondo comitato, riunitosi a dicembre 2024, si è concentrato sulla problematica dell'ozono, un inquinante secondario particolarmente sensibile alle condizioni meteorologiche. Sono state analizzate le dinamiche recenti dell'ozono: mentre i picchi estivi stanno diminuendo, le concentrazioni medie rimangono preoccupanti. Les discussions ont aussi porté sur l'influence du changement climatique, ainsi que sur les apports transfrontaliers d'ozone au sein de la zone ALCOTRA.

Il terzo comitato, tenutosi nel luglio 2025, ha permesso di approfondire le proiezioni climatiche a medio e lungo termine, a partire dagli scenari SSP1-2.6 e SSP3-7.0. Il Centro Euro-Mediterraneo sui Cambiamenti Climatici (CMCC) ha presentato le tendenze attese in materia di riscaldamento e siccità. Questi scenari costituiscono la base per le modellizzazioni della qualità dell'aria, in particolare per le polveri fini, il cui ruolo è centrale sia per la salute pubblica che per il clima.



*Sessioni di videoconferenza del comitato di esperti ALPAERA*

Questi tre incontri hanno permesso di rafforzare il rigore scientifico del progetto e di alimentare le riflessioni strategiche sulle politiche pubbliche da adottare di fronte alle sfide congiunte della qualità dell'aria e del cambiamento climatico. Il comitato di esperti costituisce ormai un pilastro strutturale di ALPAERA, a garanzia di un approccio integrato e condiviso.

Il prossimo comitato di esperti si terrà nel mese di dicembre 2025 e riunirà nuovamente scienziati specializzati nelle tematiche del progetto.

Tutti i rapporti del Comitato sono disponibili sul sito web del progetto nella sezione dei rapporti al seguente link: <https://www.alpaera.eu/report-progetto-alpaera.php?lang=it>

## Alla scoperta del progetto: focus sulle attività di monitoraggio

In questa rubrica vi presentiamo le attività più significative del progetto. In questa seconda edizione della newsletter proseguiamo con la presentazione delle azioni del WP3, il cui obiettivo è la densificazione dei punti di misura degli inquinanti atmosferici nella zona ALCOTRA.

### IL MONITORAGGIO DELL'OZONO IN LIGURIA

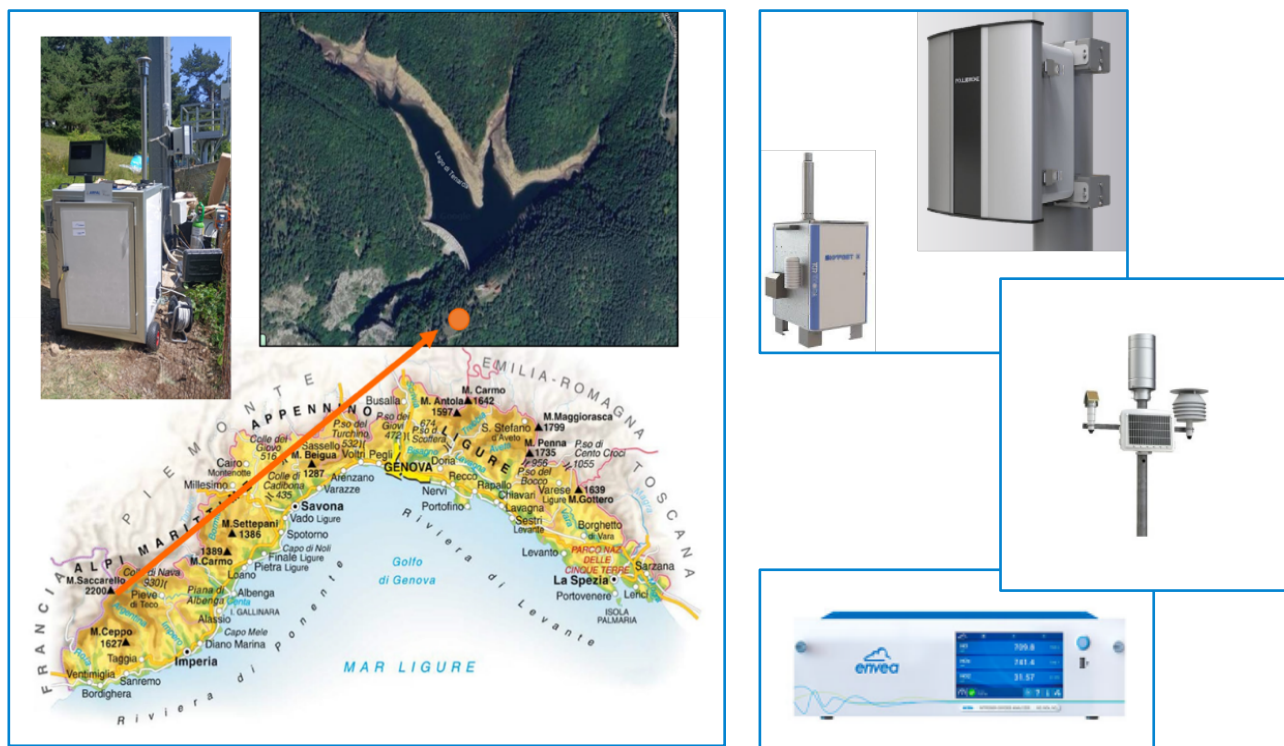
L'azione di Progetto WP3 prevede il potenziamento della rete di monitoraggio degli inquinanti atmosferici nei dipartimenti alpini tramite l'implementazione di misurazioni permanenti e temporanee di ossidi di azoto, ozono, black carbon e particolato per il miglioramento della valutazione dell'esposizione delle popolazioni.

All'interno di questa azione progettuale, ARPAL si è dedicata all'approfondimento delle dinamiche che regolano i processi di formazione e rimozione in atmosfera dell'inquinante OZONO (O<sub>3</sub>) e dei suoi precursori (OSSIDI di AZOTO, in particolare). L'OZONO è un gas tossico, costituito da molecole instabili formate da 3 atomi di ossigeno che si scindono facilmente. È un energico ossidante e per gli esseri viventi un gas altamente velenoso. Le molecole di questo composto situate nella stratosfera (lo strato di atmosfera da 10 a 40 km al di sopra della superficie terrestre) vengono continuamente generate e distrutte dalle radiazioni UV (ultraviolette) e sono essenziali per la vita sulla Terra in quanto rappresentano un vero e proprio schermo nei confronti delle pericolose radiazioni ultraviolette (raggi UV) provenienti dal Sole.

L'OZONO troposferico, ossia quello che si trova nella fascia atmosferica a diretto contatto con la superficie terrestre, è invece un inquinante secondario che si forma a seguito di reazioni chimiche che avvengono in atmosfera a partire dai precursori, in particolare OSSIDI di AZOTO (NO<sub>x</sub>) - e Composti Organici Volatili (COV). Queste reazioni sono favorite dal forte irraggiamento solare e dalle alte temperature e portano alla formazione di diversi inquinanti (smog fotochimico). L'inquinamento da OZONO è un fenomeno caratteristico del periodo estivo e le concentrazioni più elevate solitamente si rilevano nelle ore pomeridiane e nelle aree suburbane poste sottovento rispetto alle aree urbane principali.

Il piano di monitoraggio del Progetto ALP'AERA ha quindi previsto due distinte campagne stagionali estive, la prima iniziata a luglio 2024 e conclusa nell'ottobre dello stesso anno, la seconda iniziata nel maggio di quest'anno e attualmente in corso, proprio per indagare la dinamica delle concentrazioni di O<sub>3</sub> in una porzione di Regione tanto sensibile quanto ancora poco indagata da questo punto di vista.

La postazione principale è stata individuata nel Comune di PIGNA (IM) in località COLLE BELENDIA, in modo da monitorare al meglio l'OZONO in un contesto prettamente rurale. In tale sito è stata installata una mini-cabina, equipaggiata con analizzatori certificati di O<sub>3</sub> e OSSIDI di AZOTO (NO<sub>x</sub>), un palo meteo provvisto dei principali sensori (temperatura, umidità, pressione atmosferica e radiazione solare), un campionatore di polveri e uno SMART SENSOR (strumentazione non convenzionale per la misura degli inquinanti atmosferici, provvista dei microsensori per O<sub>3</sub>, NO<sub>x</sub>, PM e Composti Organici Volatili).



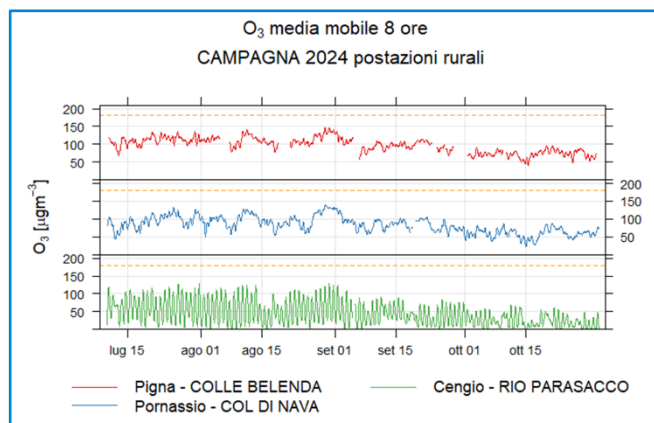
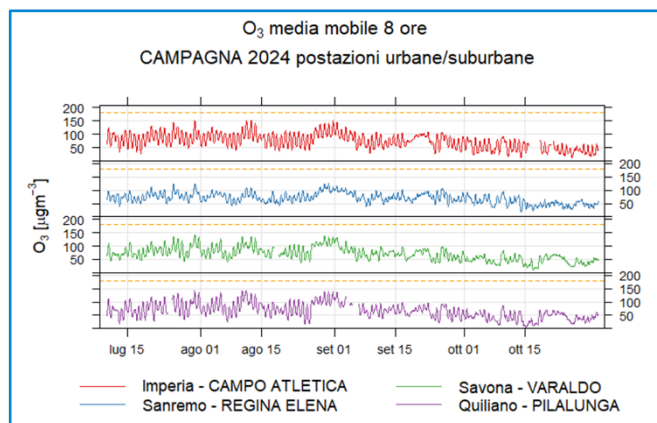
SITO DI PIGNA – COLLE BELENDIA e strumentazione installata

È stato inoltre predisposto un ulteriore sito di monitoraggio in ambito urbano presso la cittadina di IMPERIA in località CAMPO ATLETICA, al fine di valutare l'evoluzione delle concentrazioni dei principali inquinanti su scala più ampia, con particolare riferimento alle aree maggiormente antropizzate presenti sulla costa e al trasporto di O<sub>3</sub> a distanza più elevata.

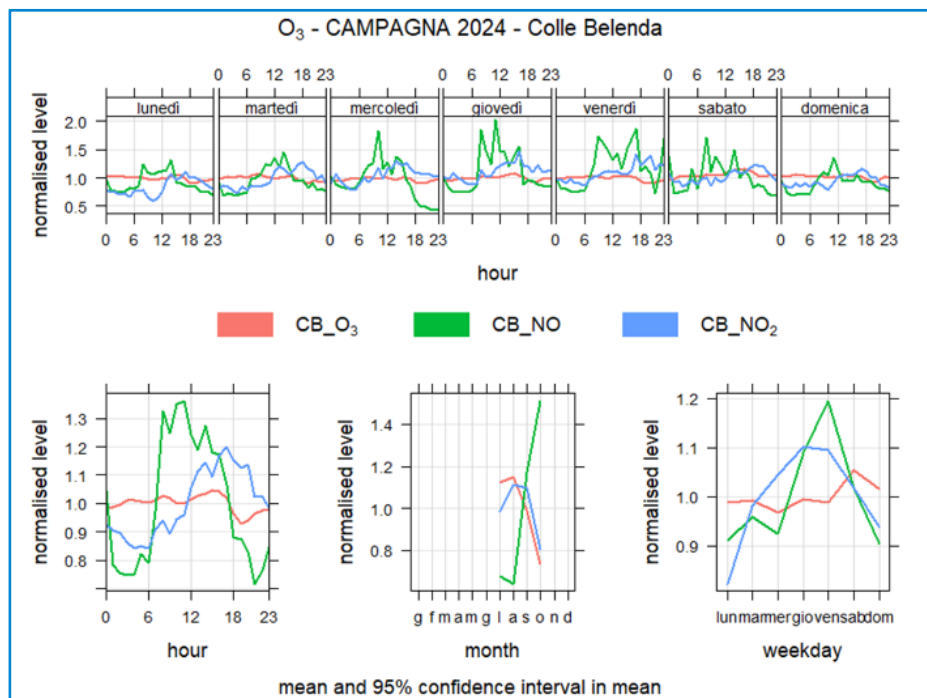


### SITO DI IMPERIA – CAMPO ATLETICA e strumentazione installata

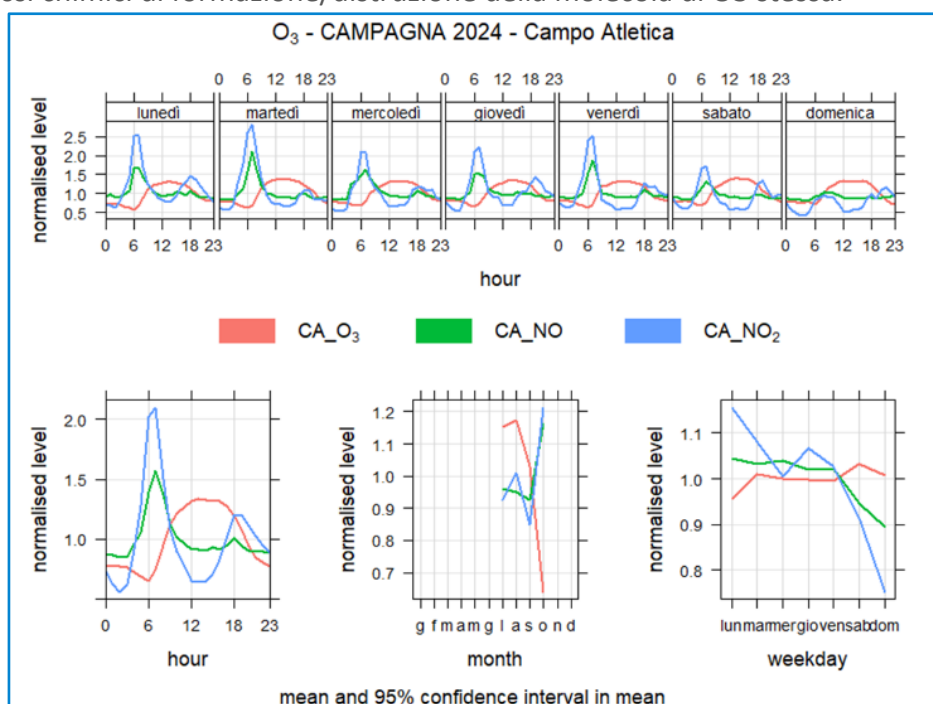
La prima campagna stagionale, condotta nel corso della stagione primaverile-estiva del 2024, ha evidenziato il rispetto del valore di SOGLIA D'INFORMAZIONE (180 mg/m<sup>3</sup>) per l'inquinante O<sub>3</sub>, previsto dall'attuale normativa vigente (D.Lgs 155/2010) presso entrambe le postazioni in esame; il confronto effettuato con altri siti regionali di analoga tipologia ha mostrato come l'andamento delle concentrazioni sia stato il medesimo, a conferma della distribuzione omogenea di questo inquinante sul territorio regionale.



Analizzando i dati raccolti presso il sito di PIGNA, si è notata una relazione inversa tra O<sub>3</sub> e NO<sub>x</sub> piuttosto attenuata, così come le escursioni di concentrazione giornaliere e mensili; si evidenzia quindi una dinamica delle concentrazioni di O<sub>3</sub> complessa, maggiormente influenzata dalle variabili meteoroclimatiche.

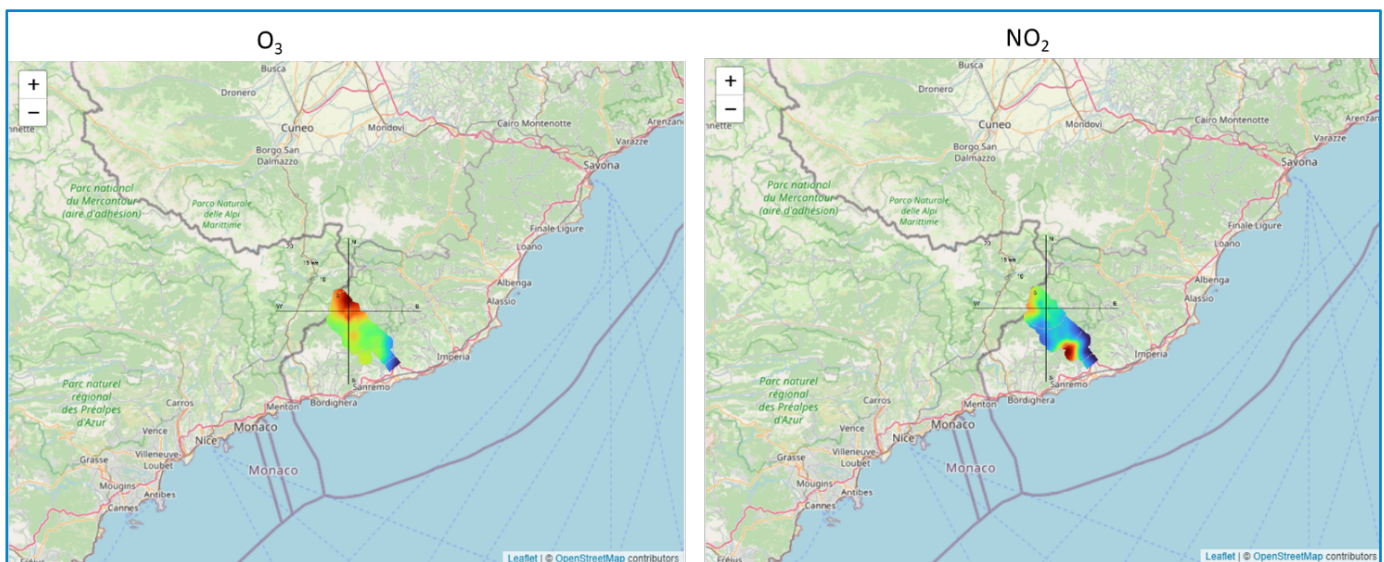


I dati raccolti presso il sito urbano di IMPERIA mostrano invece una relazione inversa ben più forte tra O<sub>3</sub> e NO<sub>x</sub>, proprio perché in presenza di un maggior numero di sorgenti inquinanti in zona, in grado quindi di innescare i processi chimici di formazione/distruzione della molecola di O<sub>3</sub> stessa.





Di particolare interesse sono state le valutazioni relative alla distribuzione delle concentrazioni di O<sub>3</sub> e NO<sub>x</sub> (nello specifico BIOSSIDO di AZOTO) in relazione alla direzione e intensità del vento misurate presso il sito di Progetto di PIGNA. Per quanto riguarda l'inquinante O<sub>3</sub>, si nota che le concentrazioni più elevate, tematizzate nei grafici in colore rosso, si misurano in presenza di ventilazione di scarsa entità proveniente principalmente dai quadranti settentrionali, a mostrare pertanto processi di trasporto da lunga distanza piuttosto contenuti. Diametralmente opposta invece è la situazione riscontrata per gli NO<sub>x</sub>, che presentano invece le concentrazioni più elevate in corrispondenza di ventilazioni più sostenute dai quadranti meridionali, indice pertanto della presenza di fenomeni di trasporto a distanza dalle aree maggiormente urbanizzate.



Nel corso della campagna in corso verranno pertanto ulteriormente approfondite queste tematiche, andando a confrontare i dati raccolti nell'ambito del Progetto con quelli della Rete di Monitoraggio Regionale. Lo scopo sarà quello di indagare gli andamenti pluriennali nelle concentrazioni di OZONO e l'influenza delle variabili meteo-climatiche e dei precursori, anche utilizzando strumentazione non convenzionale (SMART SENSOR, attualmente ancora in fase di sperimentazione e calibrazione).



## IL MONITORAGGIO DELL'OZONO E DEI SUOI PRECURSORI IN VALLE D'AOSTA

L'ozono è l'unico inquinante che negli ultimi anni continua ad avere livelli superiori ai valori limite previsti dalla normativa e per tale motivo ARPA VDA ha realizzato una rete costituita da 4 centraline low-cost della AQMesh (<https://www.aqmesh.com/>), dotate di sensori per la misura di ozono, ossidi di azoto, composti organici volatili.

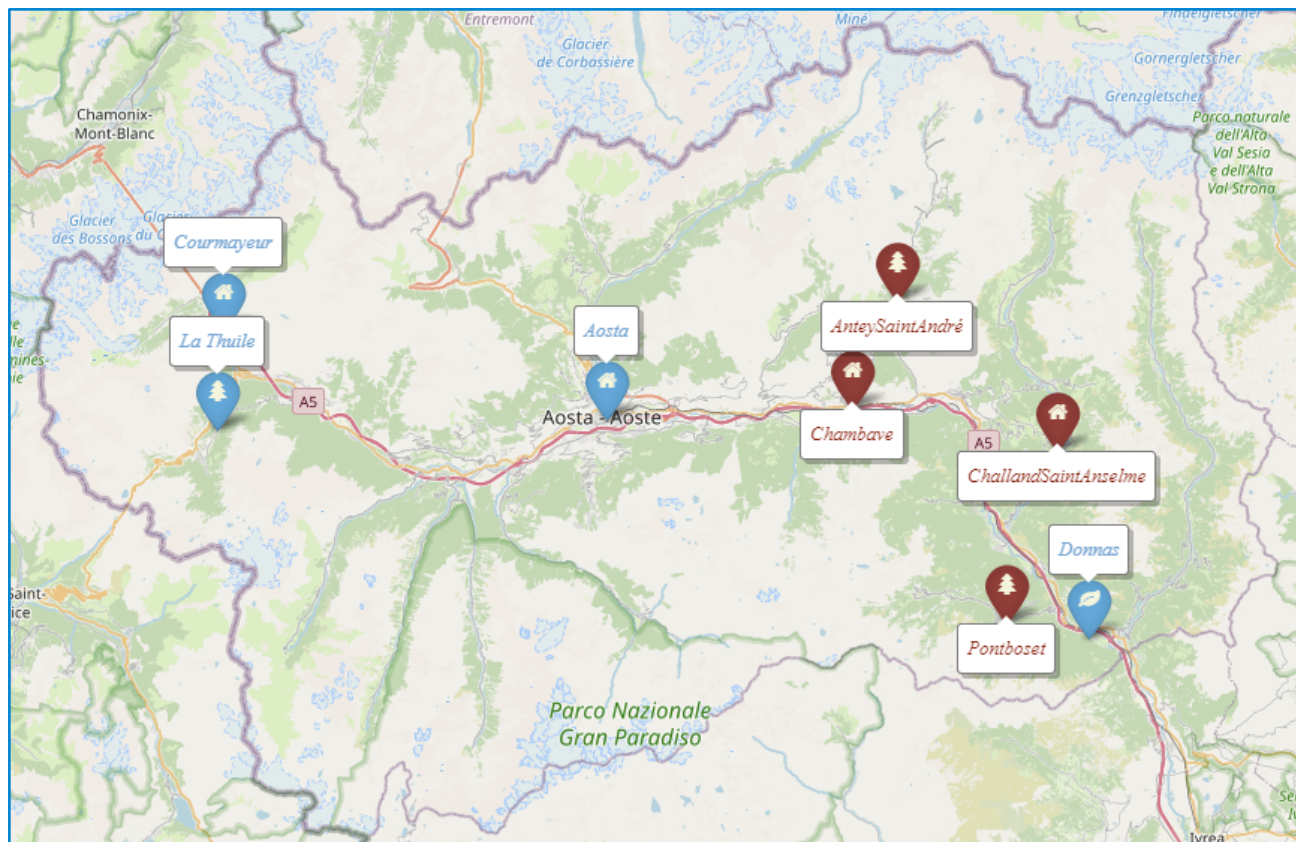


Le centraline AQMesh forniscono misurazioni degli inquinanti in linea con gli obiettivi prestazionali e le specifiche pubblicate dall'EPA (USA) e dal CEN.

Sensor	Type	Units	Range	LOD	LOC	Precision	Accuracy
<b>O3</b>	Elettrochemical	ppb or $\mu\text{g}/\text{m}^3$	0-1700 ppb	<1 ppb	<5 ppb	>0.9	5 ppb
<b>NO2</b>	Elettrochemical	ppb or $\mu\text{g}/\text{m}^3$	0-4900 ppb	<1 ppb	<5 ppb	>0.85	4 ppb
<b>TVOC</b>	Elettrochemical	ppb	0-2500 ppb	<10 ppb	<50 ppb	>0.9	0.05 ppm
<b>Temperature</b>	Solid state	$^{\circ}\text{C}$ or $^{\circ}\text{F}$	-20 to 100 $^{\circ}\text{C}$	0.1 $^{\circ}\text{C}$		>0.9	2 $^{\circ}\text{C}$
<b>Humidity</b>	Solid state	%	0-100%	1%		>0.8	5%

Le centraline saranno utilizzate per due campagne di misura estive, una nel 2025 e una nel 2026. La campagna 2025 si è appena conclusa e si possono ricavare le prime informazioni sulle misure effettuate da giugno a settembre nei 4 siti scelti per il monitoraggio:

- Pontboset, 790 m
- Challand-Saint-Anselme 1038 m
- Antey-Saint-André, 1030 m
- Chambave, 484 m



Gli strumenti hanno funzionato per tutto il periodo previsto, ad eccezione di qualche giorno tra il 15 ed il 17 luglio, quando la Valle d'Aosta è stata interessata da precipitazioni intense che hanno provocato interruzioni di corrente anche prolungate in diverse località della regione.

Le misure degli AQMesh sono state confrontate con quelle degli strumenti della rete di monitoraggio di ARPA VDA posizionati nelle stazioni di:

- Aosta, 580m, urbana, nel capoluogo regionale
- Donnas, 341m, rurale, al confine con il Piemonte
- La Thuile, 1664 m, rurale, remota sud-ovest
- Courmayeur, 1200m, urbana, fondovalle ovest

Dalle prime elaborazioni dei dati di ozono si può concludere che:

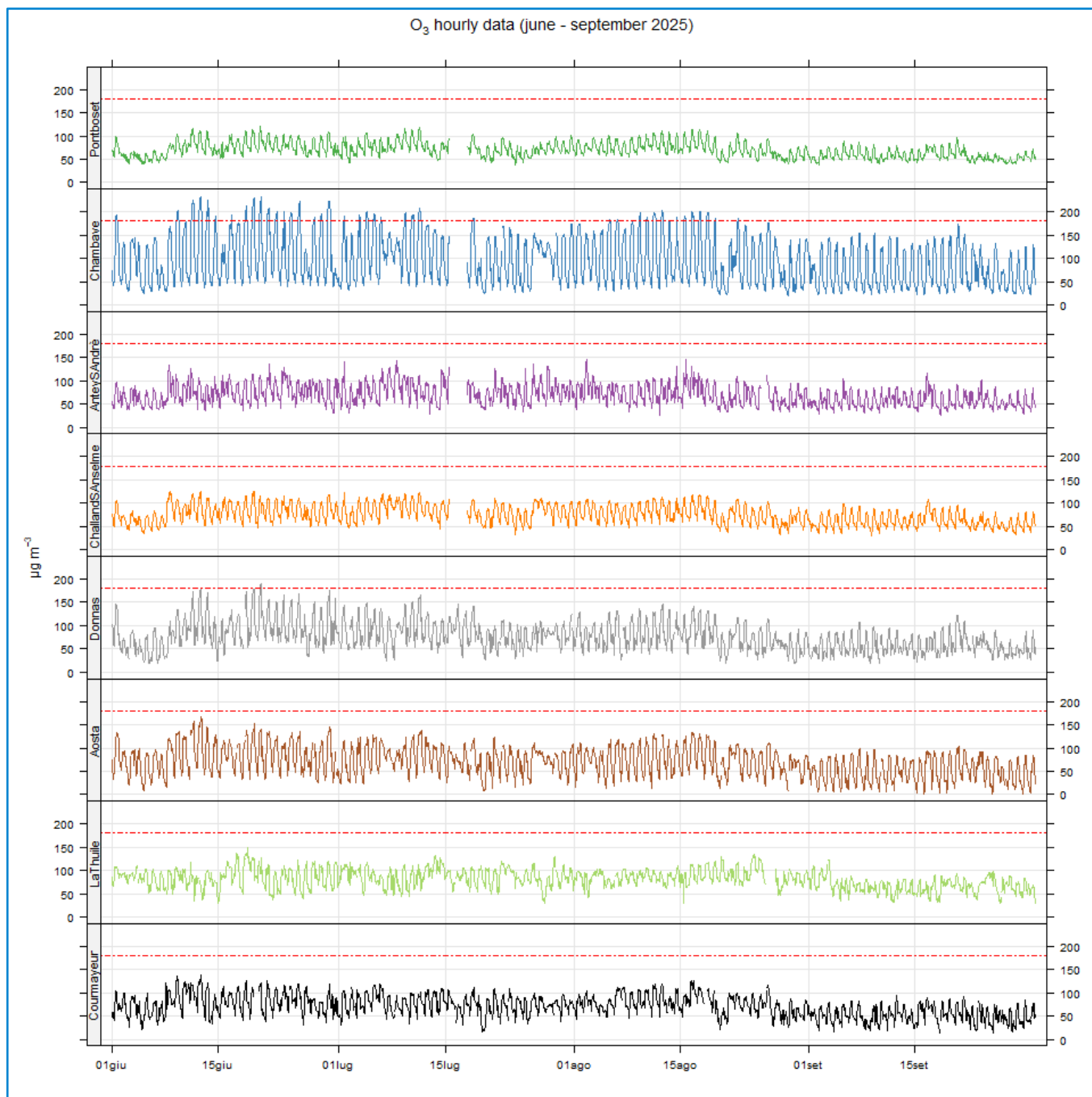
- Il sensore di ozono della centralina di Chambave ha probabilmente sovrastimato le misure<sup>1</sup>
- I valori più elevati sono stati misurati nel mese di giugno, con 4 superamenti a Donnas della soglia di informazione (valore medio orario di 180 µg/m<sup>3</sup>)
- Nel periodo maggio-settembre il valore obiettivo per il massimo giornaliero della media mobile su 8 ore (valore medio orario di 120 µg/m<sup>3</sup>) è stato superato 35 volte a Donnas, 20 volte ad Aosta, 8 volte a La Thuile, 6 volte a Antey-Saint-André, 4 volte a Courmayeur, 1 volta a Challand-Saint-Anselme
- Le misure di ozono dei 3 sensori installati nelle valli laterali (Pontboset, Challand-Saint-Anselme, Antey-Saint-André)

Tutte le centraline saranno reinstallate nella stazione di Donnas per un interconfronto con lo strumento di stazione; al termine dell'interconfronto saranno effettuate ulteriori elaborazioni, considerando anche le condizioni meteorologiche nei siti di misura.

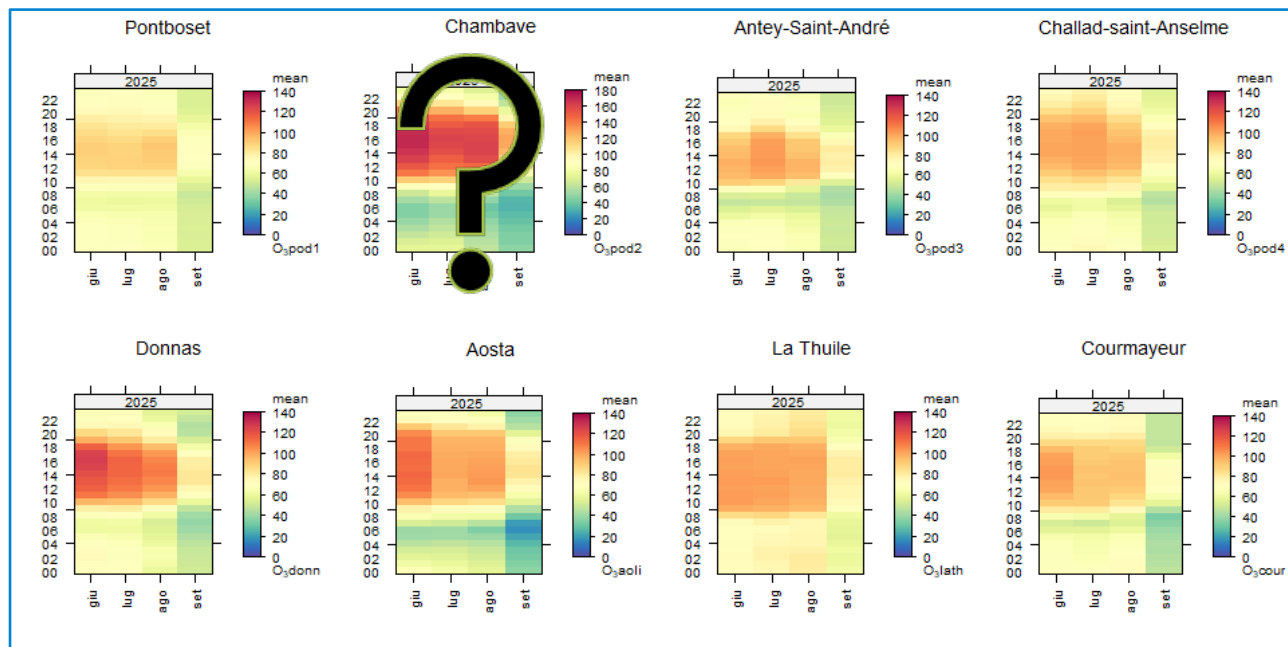
Statistiche del periodo giugno settembre	Media	Giorni con massimo della media mobile maggiore di 120	Ore con media oraria maggiore di 180
Pontboset	70	0	0
<del>Chambave</del>	95	94	231
Antey-Saint-André	70	3	0
Challand-Saint-Anselme	75	1	0
Donnas	76	33	4
Aosta	71	19	0
La Thuile	81	7	0
Courmayeur	71	3	0

<sup>1</sup> Previsto un interconfronto nella stazione di Donnas per verificare questa ipotesi ed eventualmente correggere le misure

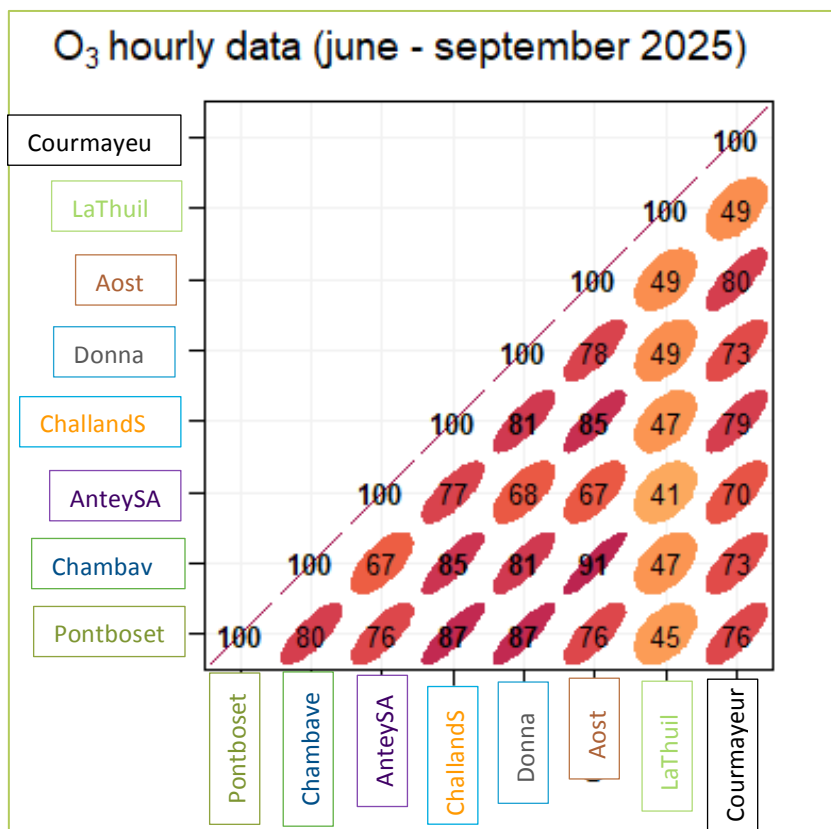
**Tabella 1: statistiche delle misure di ozono relative al periodo giugno – settembre 2025**



**Concentrazioni medie orarie di ozono da giugno a settembre 2025.**



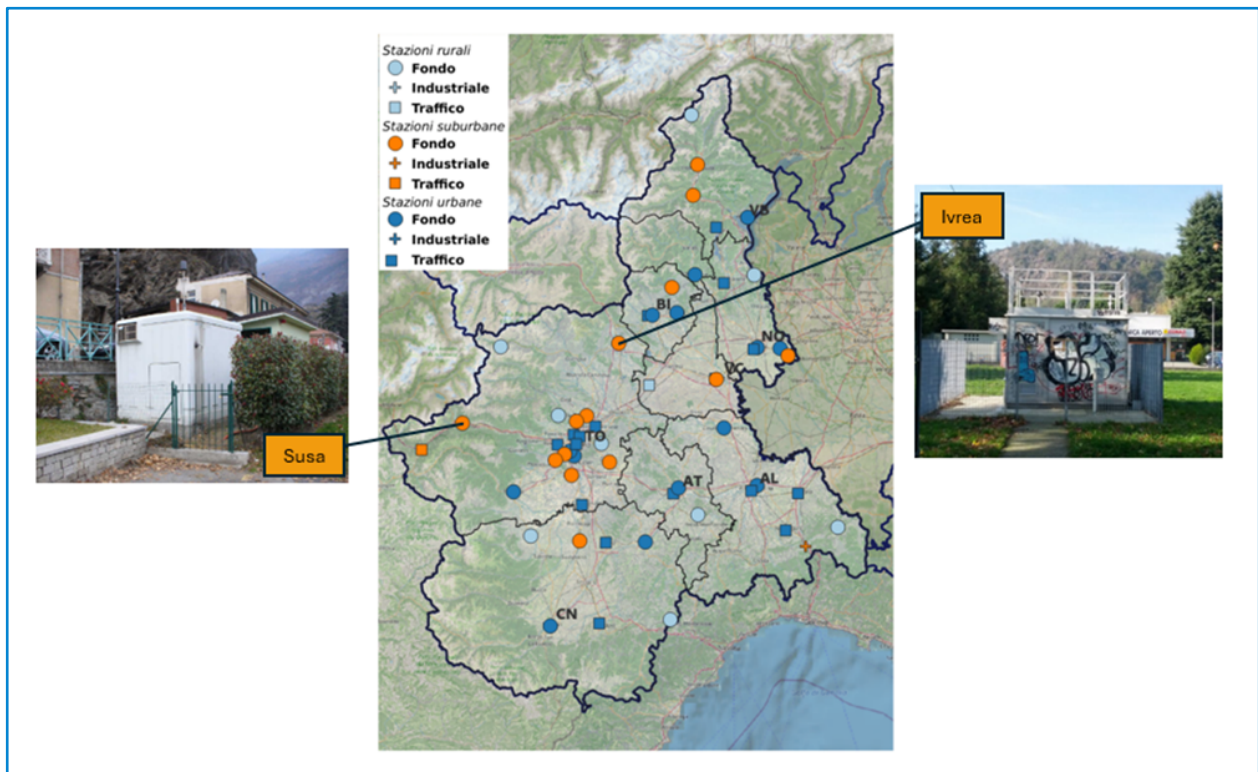
**Grafico del giorno tipo mensile: anche questo tipo di grafico conferma che i valori di ozono più elevati sono stati misurati nel mese di giugno, in tutti i siti.**





## CAMPAGNA DI MISURA E STRUMENTI BLACK CARBON

A dicembre 2024 Arpa Piemonte ha installato nelle stazioni di fondo suburbano di Ivrea-Liberazione e di Susa-Repubblica, collocate rispettivamente poco lontano dall'ingresso della Valle d'Aosta e nel tratto terminale della Bassa Valle di Susa, due analizzatori AE36, allo scopo di misurare il Black Carbon, inquinante primario emesso sotto forma di fuliggine, durante la combustione incompleta di combustibili fossili e della biomassa da sorgenti naturali e antropiche. Il BC è uno dei principali componenti del particolato fine (PM<sub>2.5</sub>) e si presenta sotto forma di particelle microscopiche che assorbono fortemente la luce.



Il BC è potenzialmente pericoloso per la salute umana, ma anche per il clima del pianeta, infatti, pur non persistendo a lungo nell'atmosfera come l'anidride carbonica, intrappola il calore 680 volte più della CO<sub>2</sub>, contribuendo in modo importante al riscaldamento globale e determinando effetti sui cambiamenti climatici. Anche se emesso in aree urbane o industriali, il BC può essere trasportato dai venti fino alle Alpi, accumulandosi in zone sensibili dal punto di vista climatico dove riscalda l'atmosfera e, depositandosi su superfici innevate o ghiacciate, riduce l'albedo accelerandone lo scioglimento.

Il Black Carbon viene monitorato nell'ambito del progetto Alp'Aera poiché le valli alpine, spesso soggette a stagnazione dell'aria in inverno, possono accumulare inquinanti, peggiorando la qualità dell'aria locale, inoltre si ha l'obiettivo di fornire dati armonizzati e comparabili tra diversi Paesi alpini al fine di definire strategie di mitigazione sia locali che transfrontaliere.



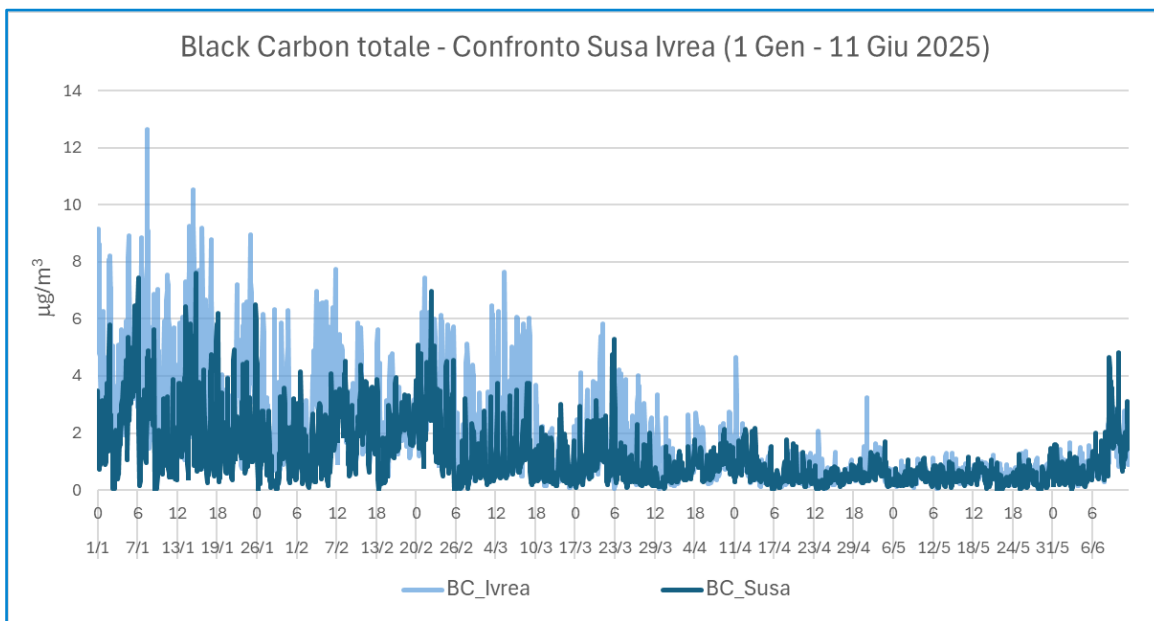
## Strumento

La misura del BC è effettuata utilizzando l'etalmetro AE36s che consente di misurare in continuo, su apposito nastro filtrante, il coefficiente di assorbimento dell'aerosol a 7 lunghezze d'onda, dall'UV all'IR (370-950 nm). Lo strumento fornisce la concentrazione di BC in base all'attenuazione della radiazione luminosa con lunghezza d'onda di 880 nm e stima la ripartizione delle due componenti principali: da combustione di biomassa e da combustibili fossili.



## Primi risultati del monitoraggio

Il monitoraggio in continuo del BC evidenzia una significativa variabilità stagionale con valori massimi nel periodo invernale e in diminuzione nel periodo più caldo, andamento correlato a quello del PM2.5.



I valori in crescita tra l'8 e 10 giugno sono attribuibili al trasporto di fuliggine derivante dai vasti incendi avvenuti in Canada a inizio giugno.

Nel report finale saranno approfonditi gli andamenti delle due componenti del BC e saranno confrontati con i dati monitorati in altri siti del Piemonte e del progetto Alp'Aera.

## Droni e qualità dell'aria: le attività di monitoraggio nei territori alpini

Nel quadro del progetto europeo ALP'AERA i partner Atmo AURA e AtmoSud stanno sviluppando metodologie innovative per il monitoraggio della qualità dell'aria attraverso l'utilizzo di droni equipaggiati con sensori avanzati. Queste attività mirano a colmare le lacune conoscitive nelle zone alpine, territori spesso difficilmente accessibili con le tecniche di monitoraggio tradizionali.

### Le sperimentazioni di Atmo AURA in Alta Savoia

All'inizio di febbraio, il team di Atmo AURA composto dagli esperti Jacky, Mathilde e Harry ha condotto una missione sperimentale nei pressi di Bonneville, in Alta Savoia. L'obiettivo della campagna era testare l'impiego di droni per l'analisi della qualità dell'aria in condizioni operative reali.



Sono stati realizzati due tipi di esperimenti: il primo ha riguardato il monitoraggio delle emissioni da un camino a legna in condizioni reali d'uso, mentre il secondo ha previsto l'esecuzione di misurazioni verticali per caratterizzare i profili di concentrazione degli inquinanti in quota.



Questa sperimentazione ha permesso di investigare in modo specifico le emissioni da riscaldamento a legna, una fonte significativa di particolato fine (PM2.5) nei territori montani durante la stagione invernale. I risultati attesi da queste misurazioni dovrebbero consentire una migliore mappatura e un monitoraggio più efficace della qualità dell'aria, aprendo anche a nuove potenziali applicazioni, in particolare per la sorveglianza dei siti industriali in caso di incidenti o per il monitoraggio degli episodi di inquinamento acuto.

### Lo sviluppo tecnologico di AtmoSud

AtmoSud, in qualità di capofila del progetto ALP'AERA, sta portando avanti uno sviluppo tecnologico significativo in collaborazione con AirCarto. L'obiettivo è equipaggiare i droni con sensori innovanti capaci di monitorare non solo il particolato fine, ma anche gas inquinanti come l'ozono (O<sub>3</sub>) e gli ossidi di azoto (NO<sub>x</sub>) nelle zone montane difficilmente accessibili delle valli alpine transfrontaliere.

I sensori MobileAir sono stati oggetto di un'evoluzione tecnologica che ha integrato nuovi moduli per la misurazione di gas, utilizzando sonde ENVEA per O<sub>3</sub> e NO<sub>x</sub>, in aggiunta alla sonda NextPM già impiegata per le particelle fini.



Prima della fase operativa sul campo, questi sensori stanno attraversando una fase di qualificazione fondamentale presso la stazione di monitoraggio di Marseille Longchamp. Durante questa fase, le misurazioni fornite dai sensori innovativi vengono confrontate con quelle degli strumenti di riferimento della stazione, permettendo di validare le prestazioni dei dispositivi e di procedere all'aggiustamento della loro calibrazione.

Questa procedura di qualificazione rappresenta un passaggio cruciale per garantire l'affidabilità dei dati raccolti, prerequisito indispensabile per un successivo impiego in zone isolate dove non è possibile effettuare confronti diretti con strumentazione di riferimento.

### **Prospettive e applicazioni**

Le attività condotte da Atmo AURA e AtmoSud nel progetto ALP'AERA rappresentano un approccio complementare al monitoraggio della qualità dell'aria nei territori alpini. Da un lato, le sperimentazioni sul campo di Atmo AURA consentono di testare le applicazioni pratiche e di investigare sorgenti emissive specifiche. Dall'altro, il lavoro di sviluppo e qualificazione strumentale di AtmoSud pone le basi per un impiego sistematico e affidabile di questi strumenti innovativi.

L'impiego dei droni per il monitoraggio della qualità dell'aria offre vantaggi significativi nei contesti montani: consente di raggiungere aree altrimenti inaccessibili, di effettuare misurazioni a diverse quote per caratterizzare i profili verticali degli inquinanti, e di intervenire rapidamente in situazioni di emergenza. Queste caratteristiche rendono questa tecnologia particolarmente promettente per una migliore comprensione delle dinamiche di inquinamento atmosferico nei territori alpini transfrontalieri, dove le condizioni orografiche complesse influenzano significativamente la dispersione e l'accumulo degli inquinanti.

## La valutazione dell'impatto dei cambiamenti climatici sulla qualità dell'aria

Uno dei principali obiettivi del progetto ALP'AERA è quello di caratterizzare l'impatto dei cambiamenti climatici sulla qualità dell'aria futura nella regione ALCOTRA. Questo permetterà di determinare la sensibilità dell'area ai cambiamenti climatici e, allo stesso tempo, di individuare le leve di intervento più rilevanti per preservare la futura qualità dell'aria.

L'impatto dei cambiamenti climatici sulla qualità dell'aria è valutato nell'azione WP5, coordinata da ARPA Piemonte, attraverso lo strumento delle analisi di scenario. Uno scenario è una rappresentazione completa e coerente di un possibile futuro date certe ipotesi e utilizzando una data metodologia. Gli scenari di qualità dell'aria, in particolare, aiutano a comprendere come diversi fattori, quali emissioni, condizioni meteorologiche e politiche ambientali, possano influenzare la qualità dell'aria nel breve o lungo periodo.

La principale metodologia adottata dalla comunità scientifica per la creazione degli scenari si basa sull'utilizzo dei modelli di chimica e trasporto (CHEMICAL TRANSPORT MODELS, CTMs). I CTMs sono modelli numerici tridimensionali che simulano il comportamento degli inquinanti atmosferici su scale che possono variare dal livello locale/urbano a quello regionale, nazionale e persino globale e rappresentano la complessità del sistema atmosferico in modo realistico:

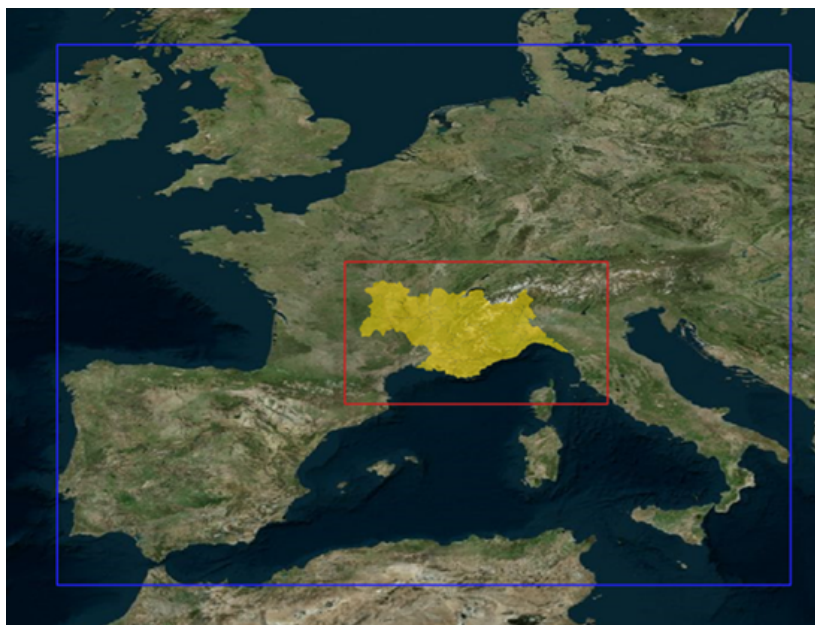
- simulando come gli inquinanti vengono trasportati in atmosfera dal vento (avvezione) e come si disperdono, sia orizzontalmente sia verticalmente, a causa della turbolenza atmosferica;
- incorporando meccanismi chimici complessi che descrivono le reazioni chimiche e fotochimiche (innescate dalla luce solare) che avvengono in atmosfera tra i diversi inquinanti e che portano alla formazione degli inquinanti secondari (come l'ozono e, in parte, il particolato atmosferico e gli ossidi di azoto).

A fronte della loro grande potenzialità però questi modelli, per funzionare, richiedono una serie di input dettagliati:

- dati meteorologici: campi tridimensionali e temporalmente risolti di variabili meteorologiche come velocità e direzione del vento, temperatura, umidità, radiazione solare, pressione atmosferica, precipitazioni e parametri della turbolenza atmosferica;
- dati emissivi (inventari delle emissioni): dati georeferenziati e temporalmente risolti sulle emissioni di tutte le specie chimiche trattate dal meccanismo chimico del modello CTM;
- condizioni al contorno e iniziali, ovvero i valori di concentrazione di tutti gli inquinanti trattati dal meccanismo chimico (o dei principali di questi) ai bordi del dominio di calcolo e all'inizio della simulazione;
- orografia e uso del suolo: informazioni georiferite sulla topografia del terreno e sulle caratteristiche della superficie (tipo di vegetazione, presenza di corpi idrici, aree urbane), che influenzano le dinamiche atmosferiche e di dispersione degli inquinanti.

L'utilizzo di un modello di chimica e trasporto presuppone quindi l'implementazione di un sistema modellistico, un insieme integrato di differenti moduli in grado di processare tutti i dati richiesti dal modello stesso.

In particolare, in ALP'AERA, nell'azione WP5, si utilizza il sistema modellistico<sup>2</sup> implementato e gestito operativamente da ARPA Piemonte, basato sull'applicazione del modello di chimica e trasporto FARM (Flexible Air Regional Model)<sup>3</sup>.



**Figura 1:** domini di simulazioni per le analisi di scenario.

Le simulazioni di scenario sono effettuate sui due domini rappresentati in Figura 1: il principale è il dominio target, il dominio a risoluzione maggiore (circa 3km) che comprende tutto il territorio delle regioni ALCOTRA (indicato in rosso in Figura 1), il secondo è il dominio più esterno a risoluzione minore (circa 12km) che comprende tutta l'Europa centro occidentale e parte del nord Africa (dominio EUROPEO indicato in blu in Figura 1) ed è funzionale a fornire i dati di condizioni al contorno al dominio target.

I periodi di simulazione presi in considerazione nell'analisi di scenario sono tre:

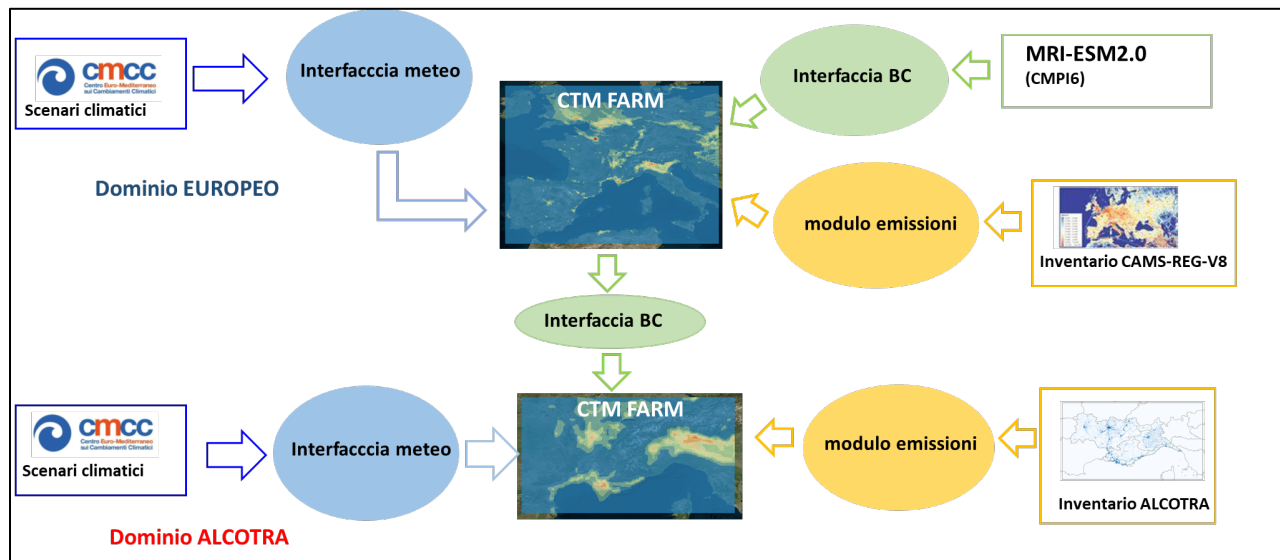
- lo scenario di riferimento (storico), centrato sul 2015, che comprende gli anni dal 2010 al 2019;
- lo scenario futuro a medio termine, centrato sul 2050, che comprende gli anni dal 2045 al 2054;
- lo scenario futuro a lungo termine, centrato sul 2070, che comprende gli anni dal 2065 al 2074.

<sup>2</sup>, <https://www.arpa.piemonte.it/scheda-informativa/sistema-modellistico-valutazione-previsione>

<sup>3</sup> <http://www.farm-model.org/>



Ciascuno scenario è stato simulato con il sistema modellistico di ARPA Piemonte sinteticamente rappresentato in Figura 2 per un periodo consecutivo di dieci anni, centrato attorno all'anno di riferimento.



**Figura 2:** schema concettuale del sistema modellistico utilizzato per le analisi di scenario.

Vediamo ora più in dettaglio le varie componenti della catena modellistica e i dati che utilizza.

### I dati meteorologici

I dati meteorologici che alimentano le analisi di scenario del progetto ALP'AERA sono in realtà dati di scenari climatici. Questi scenari si ottengono utilizzando modelli climatici, cioè 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. Questi scenari futuri sono conosciuti come Shared Socioeconomic Pathways (SSPs)<sup>4</sup>, definiti nel Sesto Rapporto di Valutazione sui cambiamenti climatici (Sixth Assessment Report on climate change, AR6) di IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) sulla base di cinque narrazioni differenti che descrivono diversi possibili percorsi di sviluppo della società, a cui sono associati differenti livelli di forzante radiativa all'anno 2100.

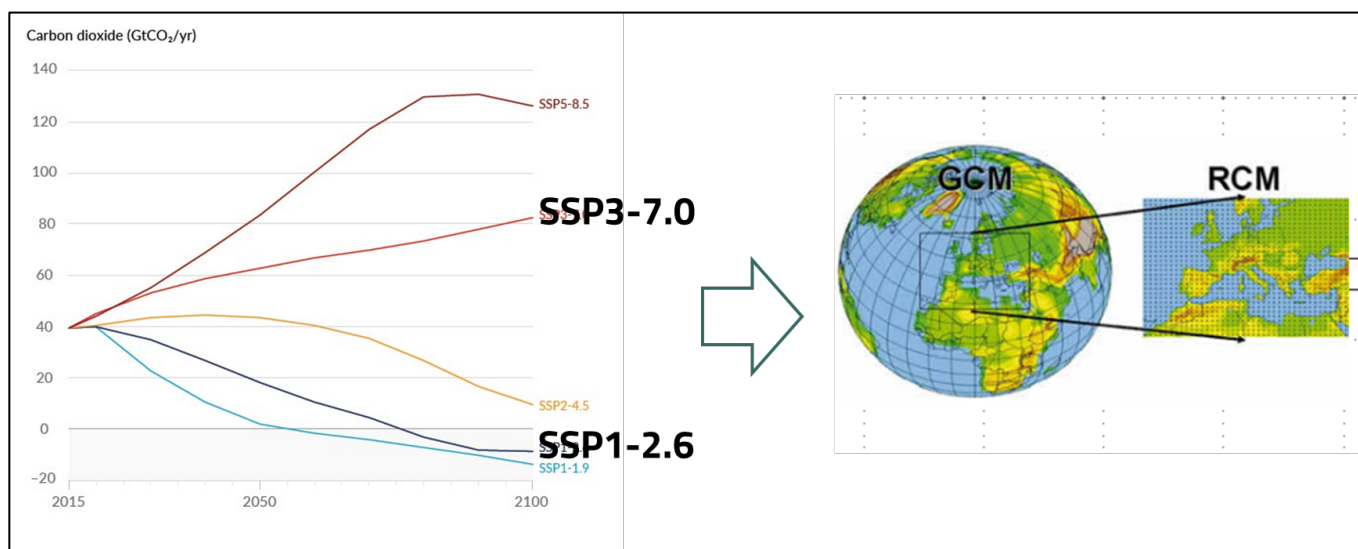
Per il progetto ALP'AERA sono stati considerati due di questi cinque scenari SSP, più precisamente SSP1-2.6 e SSP3-7.0:

- **SSP1-2.6:** con  $2,6 \text{ W/m}^2$  entro il 2100, prevede uno sviluppo compatibile con l'obiettivo di contenimento del cambiamento climatico entro i  $2 \text{ }^\circ\text{C}$  di aumento della temperatura media. Presuppone l'adozione di misure di protezione del clima, con sfide minime sia in termini di mitigazione che di adattamento grazie alla rapida innovazione tecnologica, all'equa distribuzione del reddito e alla cooperazione globale verso la sostenibilità;

<sup>4</sup> <https://www.ipcc.ch/assessment-report/ar6/>

- **SSP3-7.0:** con  $7 \text{ W/m}^2$  entro il 2100, questo scenario si colloca nella parte medio-alta dell'intera gamma di scenari. Prevede uno sviluppo caratterizzato da rivalità regionale e disuguaglianza sociale in aumento. Presenta pertanto sfide elevate sia in termini di mitigazione che di adattamento a causa delle politiche nazionalistiche, del commercio frammentato e del progresso tecnologico stagnante.

Per il progetto ALP'AERA gli scenari numerici relativi ai due scenari climatici scelti, ai due domini e ai tre periodi di simulazione in precedenza elencati sono stati elaborati dal CMCC, Centro Euro Mediterraneo per i Cambiamenti Climatici<sup>5</sup>, utilizzando il modello COSMO-CLM che è la versione climatica del modello atmosferico previsionale a mesoscala operativo e non-idrostatico COSMO-LM, sviluppato dal consorzio europeo COSMO<sup>6</sup>.



**Figura 3:** downscaling dinamico per la produzione degli scenari climatici

COSMO-CLM è un modello climatico regionale. I modelli climatici si dividono principalmente in modelli climatici globali (GCM) e modelli climatici regionali (RCM). I GCM simulano l'intero sistema climatico terrestre, includendo atmosfera, oceani, terre emerse e criosfera, con una risoluzione spaziale solitamente di centinaia di chilometri e sono fondamentali per proiettare i cambiamenti climatici su larga scala. Tuttavia, la loro risoluzione limitata non permette di catturare dettagli fini a livello locale o regionale, come necessario per analisi di scenario sul territorio ALCOTRA. Per ovviare a ciò, si utilizzano i RCM, che effettuano la discesa di scala (dinamica) dei modelli GCM (Figura 3): gli RCM prendono le condizioni ai loro confini dai GCM e simulano su aree geografiche più piccole, con una risoluzione molto più alta. Questo permette di rappresentare con maggiore precisione processi locali come la topografia complessa delle valli alpine, gli effetti delle coste e i fenomeni meteorologici su piccola scala, fornendo proiezioni climatiche più dettagliate.

Gli scenari climatici prodotti da CMCC sono elaborati, secondo lo schema di Figura 2, per preparare i dati numerici di ingresso al modello di chimica e trasporto FARM su entrambi i domini di simulazione.

<sup>5</sup> <https://www.cmcc.it/>

<sup>6</sup> <https://www.clim-community.eu/>

## I dati emissivi

Tra gli obiettivi principali del progetto ALP'AERA è da includersi sicuramente la creazione di un inventario emissioni comune all'area ALCOTRA per l'anno 2019: a partire da tale inventario è stata infatti possibile la costruzione dell'input emissivo al modello di chimica e trasporto FARM per le simulazioni sul dominio ALCOTRA, secondo lo schema di Figura 2.

Gli inventari regionali del Piemonte, Liguria e Valle d'Aosta e i catasti delle regioni Sud Provence-Alpes-Côte d'Azur e Auvergne-Rhône-Alpes stimano, sulla base della conoscenza delle attività responsabili della formazione di emissioni (indicatori statistici e variabili proxy) e dei fattori di emissione, le quantità emesse dalle diverse tipologie di fonti (sorgenti puntuali, lineari e areali) e attività. Poiché i dati emissivi disponibili e condivisi risultano piuttosto diversi, è stato necessario effettuare una loro armonizzazione su più piani:

- a livello di categorie emissive secondo le nomenclature SNAP<sup>7</sup> (Selected Nomenclature for sources of Air Pollution – SNAP 97) e NAPFUE (Nomenclature for Air Pollution of FUEls), sviluppate dall'Unione Europea nell'ambito del programma CORINAIR<sup>8</sup>;
- a scala geografica, permettendo di passare dagli inventari regionali di ciascun partner (comunali sul lato italiano e grigliati su quello francese) ad un inventario spazializzato sulla griglia di dominio;
- a livello temporale, consentendo di caratterizzare in modo specifico l'andamento nel tempo delle emissioni legate alle differenti matrici emissive e di disaggregare pertanto il dato annuale dell'inventario a livello orario.

Esternamente alle regioni facenti parte del progetto sono state utilizzate le emissioni con il maggiore livello di dettaglio a disposizione, ovvero:

- emissioni a livello comunale provenienti dal progetto LIFE PREP'AIR<sup>9</sup> per le regioni partner del progetto (Lombardia, Emilia - Romagna, Veneto, Provincia autonoma di Trento e Friuli-Venezia Giulia) riferite all'anno 2019;
- emissioni a livello provinciale stimate da ISPRA<sup>10</sup> per le altre regioni italiane all'interno del dominio di calcolo riferite all'anno 2019;
- emissioni CAMS<sup>11,12</sup> per le restanti regioni francesi e per tutti gli Stati ricadenti all'interno dei domini di simulazione (ALCOTRA e EUROPEO), riferite all'anno 2019.

Per quanto riguarda le emissioni naturali, ovvero prodotte a seguito di processi naturali, senza l'intervento diretto dell'attività umana:

- i ratei relativi alle emissioni biogeniche (ovvero che hanno origine da organismi viventi o da processi biologici, ma non da fonti fossili) sono stati stimati attraverso l'utilizzo di un apposito

---

<sup>7</sup> <https://www.eea.europa.eu/publications/EMEPCORINAIR4/page009-a.html>

<sup>8</sup> EMEP/EEA air pollutant mission inventory guidebook: <https://www.eea.europa.eu/en/analysis/publications/emep-eea-guidebook-2023>

<sup>9</sup> Progetto PREPAIR – LIFE15 IPE IT013: <https://www.lifeprepare.eu/>

<sup>10</sup> <https://emissioni.sina.isprambiente.it/inventari-locali/>

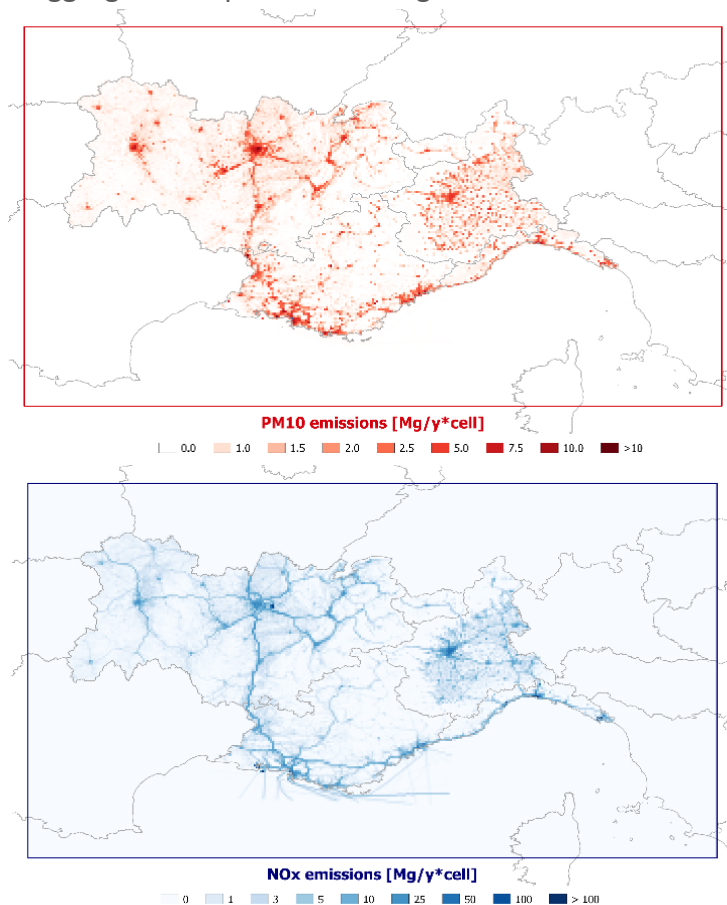
<sup>11</sup> Copernicus Atmosphere Monitoring Service, <https://atmosphere.copernicus.eu/>

<sup>12</sup> CAMS-REG-ANT v8.0 <https://eccad.sedoo.fr/#/auth/login?redirect=/data>

modello sviluppato dalla comunità scientifica, denominato MEGAN (Model of Emissions of Gases and Aerosols from Nature)<sup>13</sup>;

- le emissioni di sale marino e di polveri legate ai processi eolici di risospensione: sono legate a vento, umidità relativa, contenuto di acqua del terreno secondo algoritmi allo stato dell'arte utilizzati dalla comunità scientifica.

La Figura 4 mostra le mappe dei totali annuali di emissione di PM<sub>10</sub> e NO<sub>x</sub> per l'anno 2019, a valle dell'armonizzazione e disaggregazione spaziale sulla regione ALCOTRA.



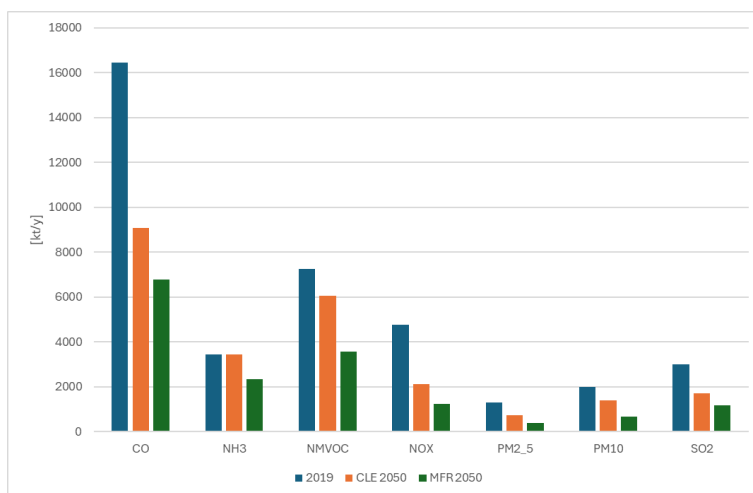
**Figura 4:** emissioni armonizzate e grigliate relative al particolato primario (a sinistra) e agli ossidi di azoto (a destra) per l'anno 2019 sulle regioni ALCOTRA.

I dati emissivi sopra descritti vengono utilizzati per alimentare il modello di chimica e trasporto nelle simulazioni relative allo scenario di riferimento relativo agli anni che vanno dal 2010 al 2019.

<sup>13</sup> <https://doi.org/10.5194/gmd-5-1471-2012>

Successivamente, per predisporre i dati necessari ad alimentare il modello di chimica e trasporto nell'analisi di scenario relative al periodo futuro a medio termine (dal 2045 al 2054) è stata necessaria una proiezione dei ratei emissivi calcolati per l'anno 2019 attraverso l'impiego dei seguenti due scenari prodotti da IIASA (International Institute for Applied Systems Analysis)<sup>14</sup>:

- uno scenario baseline, IIASA CLE (ovvero Current Legislation, a legislazione corrente) Eclipse v6 scenario,
- uno scenario alternativo ottimistico, IIASA MFR (ovvero Maximum Feasible Reduction, massima riduzione possibile) Eclipse v6 scenario.



**Figura 5:** confronto tra emissioni CAMS-REG-ANT sul dominio EUROPEO all'anno di riferimento 2019 e al 2050 per gli scenari IIASA CLE e MFR.

Il primo scenario viene utilizzato in concomitanza con lo scenario climatico SSP3-7.0, in quanto coerente con il percorso di sviluppo socioeconomico da questo ipotizzato, mentre il secondo scenario, con riduzioni ottimistiche del quadro emissivo, viene utilizzato in concomitanza ed in coerenza con lo scenario climatico SSP1-2.6. La Figura 2 mostra un primo confronto tra lo scenario di riferimento al 2019 e gli scenari CLE e MFR al 2050 (emissioni relative al dominio EUROPEO) per i principali inquinanti in atmosfera.

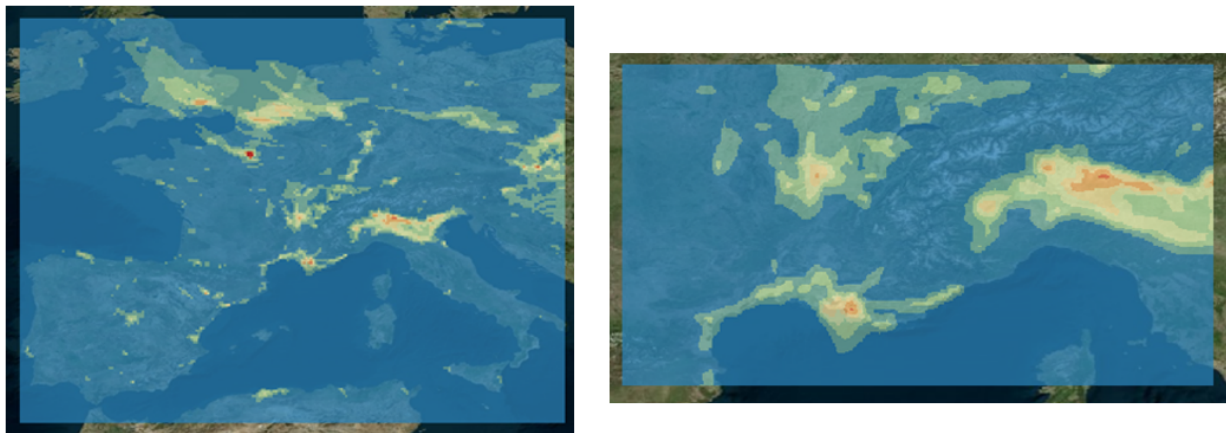
### I dati di condizioni al contorno

Un modello di chimica e trasporto necessita, ad ogni ora di simulazione, delle condizioni al contorno, ovvero delle informazioni relative alla massa degli inquinanti che entrano e escono dal dominio di calcolo. Per come è stata definita l'architettura del sistema modellistico (Figura 2) le condizioni al contorno devono essere fornite solo ai bordi del dominio EUROPEO, in quanto sul dominio target ad alta risoluzione ALCOTRA le condizioni al contorno sono ricavate direttamente dai campi di concentrazione prodotti dalle simulazioni sul dominio EUROPEO. Il dominio EUROPEO è stato infatti introdotto per generare le condizioni al contorno dettagliate per il dominio ALCOTRA, simulando al contempo direttamente, nei vari scenari, gli effetti delle maggiori sorgenti emissive localizzate all'esterno del dominio target, ma che possono comunque direttamente influenzarne la qualità dell'aria.

<sup>14</sup> [https://gains.iiasa.ac.at/gains/EUN/index.logout=1&switch\\_version=v0](https://gains.iiasa.ac.at/gains/EUN/index.logout=1&switch_version=v0)

Le condizioni al contorno per il dominio EUROPEO sono ricavate, per tutti i periodi di simulazione per i due differenti scenari climatici, dai campi di concentrazione dei principali inquinanti atmosferici distribuiti dal modello climatico globale MRI-ESM2.0<sup>15</sup>. Tali campi, essendo globali, sono a bassa risoluzione ma sono coerenti ed in linea con gli scenari climatici prodotti dal CMCC tramite il modello climatico regionale COSMO-CLM.

### Le analisi di scenario e la valutazione degli impatti



**Figura 6:** esempi di campi di concentrazione media giornaliera di biossido di azoto per lo scenario di riferimento. A sinistra mappa di concentrazione sul dominio EUROPEO per il giorno 02/01/2010, a destra la corrispondente mappa sul dominio ALCOTRA.

Gli impatti congiunti dei cambiamenti climatici e delle misure di riduzione emissiva sulla qualità dell'aria nel territorio ALCOTRA saranno quindi valutati confrontando, tramite opportuni indicatori, i risultati delle simulazioni prodotte dal modello di chimica e trasporto FARM nello scenario di riferimento (2010 - 2019) con quelli derivanti dagli scenari nel futuro a medio termine (2045 - 2054) e nel futuro a lungo termine (2065 - 2074).

Le analisi di scenario descritte sono attualmente in corso: dato l'elevato dettaglio spaziale (tutta l'Europa occidentale) e temporale (nel complesso circa 60 anni con frequenza) le simulazioni richiedono importanti risorse di calcolo, elevati tempi computazionali e la necessità di gestire ingenti moli di dati. Pertanto, vengono realizzate su un sistema di calcolo parallelo ad alte prestazioni ospitato presso il centro di supercalcolo internazionale CINECA<sup>16</sup> e si protrarranno (con l'analisi dei risultati) per quasi tutta la durata del progetto ALP'AERA.

<sup>15</sup> doi:10.22033/ESGF/CMIP6.6842

<sup>16</sup> <https://www.hpc.cineca.it/>



---

**Seguiteci per saperne di più!**

**Interreg**Cofinancé par  
l'Union Européenne  
Cofinanziato  
dall'Unione Europea**France – Italia ALCOTRA**

Sito web di progetto

[www.alpaera.eu](http://www.alpaera.eu)

Sito web Alcotra

<https://www.interreg-alcotra.eu/it/alpaera-sostegno-alla-governance-dellaria-e-del-clima-nelle-aree-alpine-alcotra>

I nostri profili social

[https://www.instagram.com/alpaera\\_alcotra/](https://www.instagram.com/alpaera_alcotra/)

<https://www.linkedin.com/showcase/alp-aera/>

<https://www.facebook.com/share/1BZEf7bHKR/?mibextid=wwXlfr>

[www.youtube.com/@AlpAera](http://www.youtube.com/@AlpAera)

Per maggiori informazioni contattare:

ARPA Valle d'Aosta – Vallée d'Aoste

[alpaera@arpa.vda.it](mailto:alpaera@arpa.vda.it)