

8ª RELAZIONE SULLO STATO DELLE ALPI

QUALITÀ DELL'ARIA NELLE ALPI

SEGNALI ALPINI - EDIZIONE SPECIALE 8



ALPENKONVENTION
CONVENTION ALPINE
ALPSKA KONVENCIJA
CONVENZIONE DELLE ALPI

EDITORE

Segretariato Permanente della Convenzione delle Alpi

Herzog-Friedrich-Straße 15
A-6020 Innsbruck
Austria

Sede operativa distaccata
Viale Druso/Drususallee 1
I-39100 Bolzano/Bozen
Italia

www.alpconv.org
www.atlas.alpconv.org
info@alpconv.org

Traduzioni: **INTRALP** - Italia

Immagine di copertina: **Giorgio Debernardi**

Design di copertina: **HELIOS** - Italia

Design grafico: **De Poli & Cometto** - Italia

Pubblicazione clima-neutrale grazie al contributo di **Rete Clima** - Italia

Stampa: **Grafiche Antiga** - Italia

ISBN: **9788897500599**

© SEGRETARIATO PERMANENTE DELLA CONVENZIONE DELLE ALPI, 2021



I gas serra generati dalla produzione della presente pubblicazione sono stati neutralizzati tramite azioni di gestione forestale in foreste certificate PEFC all'interno della Regione Alpina

8^a RELAZIONE SULLO STATO DELLE ALPI

QUALITÀ DELL'ARIA NELLE ALPI

SEGNALI ALPINI – EDIZIONE SPECIALE 8





La stesura dell'ottava Relazione sullo Stato delle Alpi è stata coordinata dalla Presidenza francese del Gruppo di lavoro ad hoc e dal Segretariato permanente della Convenzione delle Alpi.

La bozza del testo è stata predisposta dai membri del Gruppo di lavoro ad hoc, con il supporto della Presidenza ed il Segretariato permanente.

L'ottava Relazione sullo stato delle Alpi è disponibile in tutte le lingue alpine e in inglese al seguente link: www.alpconv.org. Tutte le mappe sono anche consultabili sul sito: www.atlas.alpconv.org

COORDINAMENTO DEL GRUPPO DI LAVORO AD HOC

PRESIDENZA

Éric Vindimian, Michel Pinet (*Conseil général de l'environnement et du développement durable, Ministère de la transition écologique, France – Consiglio generale dell'ambiente e dello sviluppo sostenibile, Ministero della transizione ecologica, Francia*)

SEGRETARIATO PERMANENTE DELLA CONVENZIONE DELLE ALPI

Aureliano Piva

COMPONENTI DEL GRUPPO DI LAVORO AD HOC

AUSTRIA

Andreas Bartel, Siegmund Boehmer (*Umweltbundesamt – Agenzia federale per l'ambiente*)

Katharina Isepp, Thomas Parizek (*Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie – Ministero federale per la protezione del clima, l'ambiente, l'energia, la mobilità, l'innovazione e la tecnologia*)

FRANCIA

Hubert Holin, François Lamoise (*Ministère de la Transition écologique – Ministero della transizione ecologica*)

GERMANIA

Bryan Hellack (*Umweltbundesamt – Agenzia federale per l'ambiente*)

Peter Frei (*Bayerisches Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz – Ministero bavarese dell'ambiente e della tutela dei consumatori*)

Richard Schlachta (*Regierung von Oberbayern – Governo dell'Alta Baviera*)

ITALIA

Cristina Leonardi (*Ministero della transizione ecologica*)

Adriana Pietrodangelo (*Consiglio nazionale delle ricerche*)

Giorgio Cattani (*Istituto superiore per la protezione e la ricerca ambientale*)



LIECHTENSTEIN

Veronika Wolff (*Amt für Umwelt – Ufficio per l'ambiente*)

MONACO

Laure Chevallier, Astrid Claudel-Rusin (*Gouvernement Princier, Principauté de Monaco – Governo del Principato di Monaco*)

SLOVENIA

Jože Jurša (*Ministrstvo za okolje in prostor – Ministero dell'ambiente e della pianificazione territoriale*)

Rahela Žabkar (*Agencija Republike Slovenije za okolje – Agenzia slovena per l'ambiente*)

SVIZZERA

Matthias Rinderknecht (*Bundesamt für Verkehr – Office fédéral des Transports – Ufficio federale dei trasporti*)

OSSERVATORI DEL GRUPPO DI LAVORO AD HOC

Geneviève Borodine, Éric Fournier (*Région Auvergne-Rhône-Alpes – Regione Auvergne-Rhône-Alpes*)

Thierry Billet, Claire Simon (*Città alpina dell'anno*)

Špela Berlot, Kristina Glojek, Matej Ogrin (*CIPRA*)

Ursula Schüpbach (*ISCAR - Comitato scientifico internazionale di ricerca alpina*)

CONSULENTI DEL GRUPPO DI LAVORO AD HOC

Laure Malherbe, Laurence Rouil, Morgane Salomon e Laurent Létinois (*INERIS - Institut national de l'environnement industriel et des risques – Istituto francese dell'ambiente industriale e dei rischi*)

ALTRE ISTITUZIONI E PERSONE CHE HANNO CONTRIBUITO ALLA RELAZIONE

Susanne Lindahl, Viviane André, Andrea Bianchini, Nicola Ostertag (*Commissione europea, Direzione Generale per l'Ambiente – DG ENV*)

Panagiota Dilara (*Direzione Generale Mercato interno, industria, imprenditoria e PMI – DG GROW*)

Michael Bittner (*Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt Earth Observation Center – Centro aerospaziale tedesco, Centro di Osservazione della terra*)

Michel Rostagnat (*Gruppo di lavoro Trasporti della Convenzione delle Alpi, Ministère de la transition écologique, France – Ministero della transizione Ecologica, Francia*)

Sylvia Medina (*Agence nationale de santé publique, France – Agenzia Nazionale della Salute Pubblica, Francia*)

Johannes Kiesel (*Bayerisches Staatsministerium für Gesundheit und Pflege – Ministero bavarese per la salute e la cura*)



LAVORO EDITORIALE E DI REVISIONE

Aureliano Piva, Nora Leszczynski, Nathalie Morelle, Živa Novljan, Stephanie Wolff, Gabriele Florà, Laura Wittkopp (*Segretariato Permanente della Convenzione delle Alpi*)

FOCAL POINT DELLA CONVENZIONE DELLE ALPI

AUSTRIA

Katharina Zwettler (*Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie – Ministero federale per la protezione del clima, l'ambiente, l'energia, la mobilità, l'innovazione e la tecnologia*)

FRANCIA

Isabelle Paillet (*Ministère de la Transition écologique – Ministero della transizione ecologica*)

GERMANIA

Christian Ernstberger (*Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit – Ministero federale tedesco dell'ambiente, della tutela della natura e della sicurezza nucleare*)

ITALIA

Paolo Angelini (*Ministero della transizione ecologica*)

LIECHTENSTEIN

Heike Summer (*Amt für Umwelt – Ufficio per l'ambiente*)

MONACO

Wilfrid Deri (*Département des relations extérieures et de la coopération, Principauté de Monaco – Ministero degli affari esteri e della cooperazione, Principato di Monaco*)

SLOVENIA

Majda Lovrenčič (*Ministrstvo za okolje in prostor – Ministero dell'ambiente e della pianificazione territoriale*)

SVIZZERA

Marc Pfister (*Bundesamt für Raumentwicklung – Office Fédéral du Développement Territorial – Ufficio federale dello sviluppo territoriale, ARE*)

UNIONE EUROPEA (UE)

Andrea Bianchini (*Commissione europea, Direzione Generale per l'Ambiente – DG ENV*)



PREFAZIONI

Il concetto di “aria pura delle Alpi” richiama l’idea di un ambiente rimasto incontaminato, al riparo dalla mano dell’uomo. Si tratta tuttavia di una semplificazione: le Alpi - e quindi l’aria alpina - sono esposte a fenomeni meteorologici, a reazioni chimiche nell’atmosfera e alle attività umane. Tutti questi fattori non si arrestano ai confini nazionali e devono essere affrontati attraverso una cooperazione transnazionale. Inoltre, è importante ricordare che non esistono soglie al di sotto delle quali gli inquinanti atmosferici non rappresentino un pericolo per la salute umana: associare l’arco alpino soltanto all’aria pura e incontaminata comporta il rischio di una sottovalutazione dei potenziali danni alla salute degli abitanti delle Alpi e può ostacolare l’adozione di efficaci politiche pubbliche.

Da queste premesse risulta evidente quanto fosse importante per la Convenzione delle Alpi dedicare l’ottava Relazione sullo stato delle Alpi al tema della qualità dell’aria. La Convenzione, trattato internazionale siglato da otto Paesi alpini e dall’UE, che riunisce una rete panalpina di decisori politici, scienziati e organizzazioni della società civile, si è rivelata ancora una volta l’arena più adatta per condurre un’approfondita ricerca sullo stato attuale della qualità dell’aria nelle Alpi, identificare le principali fonti specifiche di inquinanti atmosferici nell’arco alpino, mostrare quanto viene fatto ai diversi livelli politici e proporre raccomandazioni pratiche, finalizzate al miglioramento della qualità dell’aria. In sintesi, i risultati dell’analisi evidenziano che la qualità dell’aria è buona ma può - e deve - essere migliorata, e che le Alpi non sono esenti da sfide e fattori di rischio, in particolare in alcune aree e in relazione ad alcuni inquinanti specifici. Ma soprattutto, la Relazione mostra quanto sia importante agire di concerto e intervenire subito, per garantire salute e benessere a chi abita e frequenta le Alpi!

Sono pertanto molto grata alla Presidenza francese della Convenzione delle Alpi per la scelta di questo argomento, e al Gruppo di lavoro ad hoc internazionale per avere condotto un’indagine tanto approfondita e attuale sulla situazione, che spiana la strada a soluzioni più precise ed efficaci ai diversi livelli amministrativi.

Alenka Smerkolj

Segretaria generale della Convenzione delle Alpi



Raramente l'immagine delle Alpi è associata all'inquinamento. Le nostre montagne sono presentate, spesso a ragione, come serbatoi di aria pura, in contrasto con molte delle nostre città, inquinate in particolare dalle emissioni del traffico automobilistico. Ma siamo poi così sicuri di trovare aria pulita nelle vallate alpine? Qual è la situazione reale dell'inquinamento atmosferico in questa regione? Dobbiamo ancora migliorare la qualità dell'aria nelle Alpi? E con quali soluzioni possiamo farlo?

Tali temi sono stati al centro dell'attenzione della Convenzione delle Alpi nell'ambito della Presidenza francese 2019-2020 tramite l'ottava Relazione sullo Stato delle Alpi. Sono stati raccolti dati precisi, sono stati esplorati i meccanismi dell'inquinamento e dei suoi effetti sulla salute e sulla natura. Sono stati compilati e presentati gli ultimi risultati delle ricerche sull'atmosfera delle Alpi e sono state soprattutto recensite le buone pratiche esistenti.

La Relazione conferma che la qualità dell'aria nelle Alpi è abbastanza buona. Tuttavia, numerose vallate alpine sono sottoposte a un inquinamento eccessivo. In linea generale, la concentrazione di polveri sottili di diametro superiore a 2,5 µm è troppo elevata rispetto ai valori raccomandati dall'Organizzazione mondiale della sanità.

Il riscaldamento a legna, il traffico automobilistico e l'agricoltura sono, a seconda dei luoghi e dei periodi dell'anno, i principali responsabili di tale inquinamento, alla cui riduzione stanno lavorando enti locali e statali con varie iniziative. Alcune misure presentano vantaggi molteplici, tra cui, tra l'altro, la riduzione delle emissioni di gas a effetto serra o dell'inquinamento acustico.

L'analisi prodotta dalla Relazione si conclude con dieci raccomandazioni tendenti a migliorare ulteriormente la qualità dell'aria nelle Alpi, proteggerne gli abitanti e attirare i visitatori. Esprimo l'auspicio che tali raccomandazioni vengano ascoltate, che le autorità politiche trovino in questo ventaglio di possibilità le misure più idonee per rispondere alle aspirazioni dei cittadini ad avere un'aria di buona qualità, la premessa per una buona salute.

Vorrei inoltre sottolineare che questa ottava Relazione sullo stato delle Alpi è innanzitutto un'opera collettiva. Ogni Stato membro della Convenzione delle Alpi ha nominato esperti qualificati e motivati per partecipare al paziente lavoro di raccolta dati e di sintesi degli insegnamenti che ne derivano. Esperti di alto livello hanno esaminato la più recente letteratura scientifica in materia sia di fonti di inquinamento e del loro trasferimento nell'atmosfera, sia di impatto sulla salute e sugli ecosistemi. Le riunioni, molte delle quali svolte in videoconferenza a causa del contesto sanitario, sono state improntate a un grande spirito di cooperazione.

È stato per me un onore ed un piacere coordinare il gruppo di lavoro e constatare lo spirito collaborativo di ognuno, la ricerca permanente del compromesso e soprattutto l'empatia che si è creata tra tutti noi. Questo spirito costituisce la grandezza della Convenzione delle Alpi. Vorrei qui ringraziare tutti i membri del Gruppo e tutte le Parti contraenti per il loro sostegno incessante.

Éric Vindimian

Coordinatore del Gruppo di lavoro ad hoc per la preparazione della RSA8

INDICE

ELENCO DELLE FIGURE	14
ELENCO DELLE TABELLE	16
ABBREVIAZIONI, SIMBOLI E FORMULE	18
SINTESI	21
<hr/>	
1 INTRODUZIONE E OBIETTIVI	25
<hr/>	
2 QUADRO NORMATIVO SULLA QUALITÀ DELL'ARIA AMBIENTE	28
2.1 Legislazione dell'Unione europea	28
2.1.1 Direttive sulla qualità dell'aria ambiente	28
2.1.2 Direttiva sugli impegni nazionali di riduzione delle emissioni	30
2.2 Norme nazionali in Austria, Liechtenstein, Monaco e Svizzera	31
2.2.1 NO ₂	32
2.2.2 Particolato	32
2.3 Pianificazione della qualità dell'aria	32
2.4 Convenzioni internazionali, accordi e coordinamento	32
2.4.1 Convenzione UNECE sull'inquinamento atmosferico transfrontaliero a grande distanza	32
2.4.2 Linee guida OMS	33
2.4.3 Altre attività dell'ONU	34
<hr/>	
3 DESCRIZIONE DEGLI INQUINANTI E DEI PROCESSI ATMOSFERICI NELLE ALPI	35
3.1 Processi meteorologici	35
3.1.1 La meteorologia delle Alpi favorisce l'inquinamento atmosferico	35
3.1.2 Regimi di ozono	39
3.1.3 Trasporto su lunghe distanze di masse d'aria	39
3.1.4 L'impatto dei cambiamenti climatici sulla qualità dell'aria nelle Alpi	40
3.2 Sorgenti	41
3.2.1 Combustione di biomasse	42
3.2.2 Trasporto su strada	46
3.2.3 Inquinamento transfrontaliero	46
3.2.4 Sorgenti di specie precursori degli aerosol secondari	47
3.2.4.1 Aerosol inorganici secondari	47
3.2.4.2 Aerosol organici secondari	48



4	EFFETTI DELL'INQUINAMENTO ATMOSFERICO	50
4.1	Effetti dell'inquinamento atmosferico sulla salute umana: mortalità	50
4.2	Effetti dell'inquinamento atmosferico sulla salute umana: morbilità	50
4.3	Effetti dell'inquinamento atmosferico sulla salute umana nella regione alpina	52
4.4	Effetti dell'inquinamento atmosferico sugli ecosistemi	53
5	STATO DELLA QUALITÀ DELL'ARIA NELLE ALPI	55
5.1	Fonti di dati	55
5.1.1	Distribuzione geografica: quadro d'insieme	55
5.1.2	Distribuzione geografica per inquinante	58
5.2	Stato delle concentrazioni	61
5.2.1	Confronto con gli obiettivi ambientali europei e le linee guida OMS	61
5.2.2	Confronto con le soglie nazionali	67
5.3	Analisi dei trend, correlazione con le strategie di mitigazione	67
5.3.1	NO ₂	70
5.3.2	Ozono	70
5.3.3	PM ₁₀	71
5.3.4	PM _{2,5}	71
5.3.5	BaP	71
6	PROGETTI DI RICERCA E OSSERVATORI RILEVANTI AI FINI DELLA QUALITÀ DELL'ARIA NELLE ALPI	72
6.1	Il progetto di ricerca ambientale "PureAlps"	72
6.2	Stazioni di misura ambientali ad alta quota	73
6.3	Reti di monitoraggio in essere (diverse dalle finalità delle direttive 2008/50/CE e 2004/107/CE) in territorio alpino, focalizzate sulla valutazione dell'inquinamento atmosferico	74
6.3.1	Rete tedesca per il particolato ultrafine	74
6.3.2	Progetto NextData per la ricerca sull'ozono	74
6.4	Osservatorio alpino virtuale (VAO): osservazione della qualità dell'aria nella regione alpina - un contributo alla Convenzione delle Alpi	75
6.4.1	Il Bioclimatic Information System (BioCliS)	76
6.4.2	Due esempi di scenari	78
6.5	Quale futuro per il monitoraggio degli inquinanti nell'aria ambiente?	79

7	ESEMPI DI SOLUZIONI INTELLIGENTI PER RIDURRE L'INQUINAMENTO ATMOSFERICO	80
7.1	Combustione di biomasse e impianti di riscaldamento generale	80
7.1.1	Incentivi finanziari	80
7.1.1.1	<i>Riduzione delle emissioni di particolato da impianti di riscaldamento a legna nelle abitazioni private, Francia</i>	80
7.1.2	Valorizzazione della conoscenza	81
7.1.2.1	<i>Misure per l'impiego del legno nel riscaldamento, Slovenia</i>	81
7.1.2.2	<i>Trasferimento di conoscenza a diversi livelli amministrativi: Cercl'Air Società svizzera dei responsabili della protezione dell'aria, Svizzera</i>	81
7.1.2.3	<i>Protocollo di intesa sui piccoli impianti a biomasse legnose, Italia</i>	81
7.1.3	Teleriscaldamento	82
7.1.3.1	<i>Misure per il riscaldamento degli edifici ai sensi del Piano per mantenere le qualità dell'aria, Slovenia</i>	82
7.1.3.2	<i>Sistema di teleriscaldamento a legna, Disentis-Mustér, Svizzera</i>	82
7.1.3.3	<i>Ampliamento della rete di teleriscaldamento, Baviera, Germania</i>	82
7.1.3.4	<i>Programma di incentivi ambientali per il teleriscaldamento, Austria</i>	83
7.2	Riduzione delle emissioni di COV/precursori dell'ozono	83
7.2.1.1	<i>Normativa sui COVNM, Svizzera</i>	83
7.2.1.2	<i>Norme più severe per gli impianti che emettono COV, Germania</i>	84
7.3	Riduzione di NO₂ e PM nel settore dei trasporti	84
7.3.1	Disposizioni normative e politica di trasferimento modale dalla strada alla ferrovia: trasporto merci e passeggeri	85
7.3.1.1	<i>Trasferimento modale nel trasporto merci, tutto il territorio Alpino</i>	85
7.3.1.2	<i>Politica di trasferimento modale nel trasporto merci transalpino, Svizzera</i>	86
7.3.1.3	<i>Politica di trasferimento modale e di divieto di circolazione di veicoli inquinanti per il trasporto transalpino di merci e passeggeri, Austria</i>	87
7.3.1.4	<i>Zone a basse emissioni e bonus per la conversione dei veicoli, Francia</i>	89
7.3.1.5	<i>Esempio di buone pratiche marittime: zona a emissioni controllate per il trasporto marittimo, Principato di Monaco</i>	89
7.3.1.6	<i>Misure dinamiche di gestione – BrennerLEC, Italia</i>	90
7.3.2	Mobility management	90
7.3.2.1	<i>Quadro istituzionale per la mobilità sostenibile con un Ufficio di coordinamento, Svizzera</i>	90
7.3.2.2	<i>SvizzeraMobile, una rete per viaggiare senz'auto in tutto il Paese, che collega turismo, tempo libero, alberghi e punti di interesse, Svizzera</i>	91
7.3.2.3	<i>Il Piano di mobility management della Carinzia, Austria</i>	91
7.3.2.4	<i>Aumento dell'attrattività del sistema di trasporto pubblico grazie al trasporto gratuito per studenti, a sovvenzioni per il trasporto pubblico e a mezzi pubblici gratuiti nei fine settimana Baviera, Germania</i>	92
7.3.2.5	<i>Piano di mobilità con un progetto di ferrovia suburbana (S-Bahn) - settore dei trasporti, Liechtenstein</i>	93
7.3.2.6	<i>Promozione della ciclabilità a Salisburgo, Austria</i>	93
7.3.2.7	<i>Promozione generale dell'uso della bicicletta al posto dei veicoli motorizzati in Baviera, Germania</i>	94



7.3.2.8	<i>Promozione della mobilità intelligente con l'AutoPostale per aumentare la quota del trasporto pubblico, Svizzera</i>	94
7.3.2.9	<i>Potenziare la mobilità dolce, Principato di Monaco</i>	95
7.3.3	Misure tecniche: combustibili/motorizzazioni alternativi	95
7.3.3.1	<i>Strategia energetica 2050 / risparmio energetico, Svizzera</i>	95
7.3.3.2	<i>Analisi approfondita della promozione delle modalità di trasporto non fossili nella viabilità pubblica, Svizzera</i>	96
7.3.3.3	<i>Promozione della mobilità elettrica, Baviera, Germania</i>	96
7.3.4	Evoluzione del trasporto merci su strada	98
7.4	Pianificazione integrata: pianificazione della mobilità e del territorio	98
7.4.1.1	<i>Progetto territoriale (Raumkonzept), Svizzera</i>	99
7.4.1.2	<i>Un piano integrato di protezione dell'atmosfera, Francia</i>	100
7.4.1.3	<i>Programma regionale comune per l'aria pulita, in vari ambiti, tra cui il settore trasportistico, Italia</i>	100
7.5	Riduzione delle emissioni di ammoniaca dell'agricoltura nelle aree montane	101
7.5.1.1	<i>Riduzione delle emissioni agricole di ammoniaca, Svizzera</i>	101
8	SINTESI E RACCOMANDAZIONI POLITICHE	103
8.1	Ridurre le emissioni di particolato, e del bap associato, dalla combustione di biomasse legnose	103
8.1.1	Misurare e informare	103
8.1.2	Sostenere interventi di riqualificazione di impianti di riscaldamento su piccola scala	103
8.2	Promuovere la mobilità pulita	104
8.2.1	Adottare politiche di mobilità ambiziose	104
8.2.2	Investire nel trasporto pulito	104
8.3	Ridurre le emissioni nell'agricoltura	105
8.4	Politiche sulla qualità dell'aria	105
8.4.1	Adottare iniziative sulla qualità dell'aria nelle Alpi	105
8.4.2	Estendere l'applicazione dei requisiti delle Convenzioni di Espoo e CLRTAP	105
8.4.3	Sostenere l'iniziativa del Green Deal europeo in materia di inquinamento atmosferico	106
8.5	Diffondere la conoscenza sulle cause antropogeniche dell'inquinamento atmosferico	106
9	BIBLIOGRAFIA	108
ALLEGATO 1: ELENCO DEGLI INQUINANTI PIÙ DIFFUSI		116
ALLEGATO 2: PROGETTI RILEVANTI NELLA REGIONE ALPINA		120

ELENCO DELLE FIGURE

Figura 1:	Mapa del perimetro della Convenzione delle Alpi.	25
Figura 2:	Correlazione tra la differenza di temperatura a due altitudini e il PM ₁₀ nella valle dell'Arve.	36
Figura 3:	Schema dei processi che trasportano lo strato d'aria limite inquinato dalle pianure e vallate adiacenti fino al livello delle cime alpine più alte.	36
Figura 4:	I trend delle concentrazioni invernali di CO, NO ₂ e O ₃ nella valle dell'Inn riferiti alle loro distribuzioni in funzione del tempo e dello spazio.	37
Figura 5:	Schema dei processi chimici e fisici responsabili dell'ozono troposferico.	38
Figura 6:	Evoluzione temporale delle emissioni delle stufe per il riscaldamento autonomo in Svizzera.	42
Figura 7:	Risultati del progetto "SOURCES" indicanti i contributi dalle sorgenti di PM ₁₀ in diverse località della Francia.	49
Figura 8:	Mapa del calo atteso nella mortalità in uno scenario di inquinamento non antropico nei diversi comuni della valle dell'Arve.	52
Figura 9:	Superamento massimo dei carichi critici nelle foreste svizzere e negli ecosistemi (semi-)naturali mediante deposizione di azoto nel 2010 per km ² .	54
Figura 10:	Distribuzione geografica delle stazioni di monitoraggio nella regione alpina operative nel periodo 2016-2018, aggiungendo le stazioni delle reti di monitoraggio cantonali e municipali della Svizzera, operative nello stesso periodo.	56
Figura 11:	L'istogramma mostra la distribuzione per altitudine (m.s.l.m) delle stazioni di monitoraggio nella regione alpina, incluse le stazioni delle reti di monitoraggio cantonali e municipali della Svizzera, attive nel periodo 2016-2018.	56
Figura 12:	Mappe delle stazioni alpine di misurazione di: biossido di azoto, ozono, PM ₁₀ , PM _{2,5} , benzo(a)pirene e metalli pesanti.	58
Figura 13:	Distribuzione delle concentrazioni medie annuali di NO ₂ nel 2016, 2017 e 2018 nella regione alpina.	62
Figura 14:	Mapa dell'evoluzione dei superamenti dell'obiettivo a lungo termine per l'ozono ai fini della protezione della salute umana, nella regione alpina.	62
Figura 15:	Distribuzione delle concentrazioni medie annuali di PM ₁₀ nel 2016, 2017 e 2018 nella regione alpina.	63
Figura 16:	Superamento del valore limite giornaliero di PM ₁₀ per la protezione della salute umana nel 2016, 2017 e 2018 nella parte francese e italiana della regione alpina.	64
Figura 17:	Distribuzione delle concentrazioni medie annuali di PM _{2,5} nel 2016, 2017 e 2018 nella regione alpina.	65
Figura 18:	Mapa della concentrazione media annuale di PM _{2,5} nel 2018 nelle Alpi.	65
Figura 19:	Distribuzione delle concentrazioni medie annuali di BaP nel PM ₁₀ nel 2016, 2017 e 2018 nella regione alpina.	66

Figura 20:	Mappa della concentrazione media annuale di BaP nel 2018 nelle regione alpina.	66
Figura 21:	Variazione nelle concentrazioni medie annuali di NO ₂ in µg/m ³ nel perimetro della Convenzione delle Alpi dal 2009 al 2018.	68
Figura 22:	Variazione nel numero di giorni in cui la media massima giornaliera di otto ore dell'ozono risultava superiore alla soglia di 120 µg/m ³ nel perimetro della Convenzione delle Alpi.	68
Figura 23:	Evoluzione della media annuale di O ₃ in µg/m ³ in base alla classificazione della stazione nel periodo 2009-2018.	69
Figure 24:	Variazione nelle concentrazioni medie annuali di PM ₁₀ in µg/m ³ nel perimetro della Convenzione delle Alpi dal 2009 al 2018.	69
Figura 25:	Evoluzione della media annuale di PM _{2,5} in µg/m ³ in stazioni di fondo urbane e suburbane nel perimetro della Convenzione delle Alpi dal 2009 al 2018.	70
Figura 26:	Trend recente del BaP in una stazione di monitoraggio nelle Alpi italiane.	70
Figura 27:	Risultato delle misure relative alle masse d'aria: impatto sulle vette alpine da tre direzioni prevalenti.	73
Figura 28:	Stazione di ricerca ambientale Schneefernerhaus sulla Zugspitze.	73
Figura 29:	Osservatorio Sonnblick.	74
Figura 30:	Concentrazione media della colonna di NO ₂ troposferico per il periodo da gennaio a giugno 2019 sulla regione alpina.	75
Figura 31:	Bioclimatic information system per distretto.	76
Figura 32:	Simulazione dell'influenza di un raddoppiamento del traffico stradale per un periodo di 10 giorni nel febbraio 2018 sulla concentrazione di NO ₂ e sulla concentrazione di polveri sottili (PM ₁₀).	77
Figura 33:	Differenza tra le concentrazioni di NO ₂ misurate in 25 stazioni a terra in Lombardia e il modello WRF-POLYPHEMUS/DLR per il periodo dal 1° febbraio 2020 al 13 aprile 2020.	78
Figura 34:	Vie di trasporto transalpino.	85
Figura 35:	Confronto del fattore di costo esterno aggiuntivo per il trasporto su gomma e su rotaia nella regione alpina.	86
Figura 36:	Andamento degli inquinanti atmosferici e delle emissioni di CO ₂ nel periodo 2004-2018 lungo le autostrade A2 e A13 nella regione alpina.	87
Figura 37:	Andamento dei fattori di emissione per NO _x e NO ₂ sull'autostrada A12 in Austria.	88
Figura 38:	Osservazione e analisi dei flussi di trasporto merci transalpino nelle due gallerie transalpine.	97

ELENCO DELLE TABELLE

Tabella 1:	Standard di qualità dell'aria per la tutela della salute umana e della vegetazione, riportati nelle Direttive UE sulla qualità dell'aria ambiente.	29
Tabella 2:	Confronto tra gli standard di qualità dell'aria per particolato, biossido di azoto e benzo(a)pirene nella regione alpina.	31
Tabella 3:	AQG e livelli di riferimento stimati.	33
Tabella 4:	Contributo di combustione di biomasse, traffico e formazione secondaria di aerosol alla concentrazione di PM ₁₀ in alcune valli alpine.	41
Tabella 5:	I fattori di emissione per le tecnologie di combustibili selezionate per l'inventario nazionale austriaco sulle emissioni nell'aria.	44
Tabella 6:	Confronto dei valori di emissione esistenti per impianti di riscaldamento a legna con i futuri requisiti della Direttiva relativa ai prodotti connessi all'energia.	45
Tabella 7:	Superamento dei carichi critici del nutriente azoto in diversi ecosistemi protetti in Svizzera nel 1990, 2000 e 2010.	54
Tabella 8:	Distribuzione delle 234 stazioni di monitoraggio in base al tipo di area in cui si trovano.	55
Tabella 9:	Stazioni di misura della qualità dell'aria nel perimetro della Convenzione delle Alpi.	57
Tabella 10:	Valori limite di emissione per centrali di teleriscaldamento a biomassa (Programma austriaco di incentivi ambientali).	83
Tabella 11:	Confronto tra le emissioni del trasporto merci su rotaia e su gomma. Anno di riferimento: 2018.	86



ABBREVIAZIONI, SIMBOLI E FORMULE

AEA	Agenzia europea dell'ambiente	GNC	Gas naturale compresso
AlpEnDAC	Alpine Environmental Data Analysis Center	Hg	Mercurio
AQG	Linee guida sulla qualità dell'aria (<i>Air quality guidelines</i>)	HULIS	Sostanze umiche atmosferiche (<i>Atmospheric humic-like substances</i>)
As	Arsenico	IARC	Agenzia internazionale per la ricerca sul cancro (<i>International Agency for Research on Cancer</i>)
AT	Austria	IEM	Indicatore di esposizione media
BaP	Benzo(a)pirene	IPA	Idrocarburi policiclici aromatici
BioCIS	Bioclimatic Information System	IT	Italia
C₆H₆	Benzene	LEZ	Zona a basse emissioni (<i>Low Emission Zone</i>)
Cd	Cadmio	MC	Principato di Monaco
CE	Commissione Europea	NEC	Limiti nazionali di emissione (<i>National Emission Ceilings</i>)
CH	Svizzera	NH₃	Ammoniaca
CLRTAP	Convenzione UNECE sull'inquinamento atmosferico transfrontaliero a grande distanza (<i>Convention on Long-range Transboundary Air Pollution</i>)	Ni	Nichel
CO	Monossido di carbonio	NO	Monossido di azoto
COV	Composti organici volatili	NO₂	Biossido di azoto
COVNM	Composti organici volatili non metanici	NO_x	Ossidi di azoto
DE	Germania	O₃	Ozono
DLR	Agenzia aerospaziale tedesca (<i>Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt</i>)	OCP	Pesticidi organoclorurati (<i>Organochlorine pesticides</i>)
EUSALP	Strategia UE per la Regione alpina	OIA_t	Ordinanza svizzera contro l'inquinamento atmosferico
FL	Principato del Liechtenstein	OMM	Organizzazione meteorologica mondiale
FR	Francia	OMS	Organizzazione mondiale della sanità
GAW	Programma Global Atmosphere Watch		



Pb	Piombo	UNECE	Commissione economica per l'Europa delle Nazioni Unite (<i>United Nations Economic Commission for Europe</i>)
PCB	Policlorobifenili	UNEP	Programma delle Nazioni Unite per l'ambiente (<i>United Nations Environment Programme</i>)
PERC	Percloroetilene	US EPA	Agenzia per la protezione dell'ambiente degli Stati Uniti (<i>United States Environmental Protection Agency</i>)
PM	Particolato (<i>Particulate matter</i>)	VAO	Osservatorio Alpino Virtuale (<i>Virtual Alpine Observatory</i>)
PM₁₀	Particolato di diametro inferiore a 10 µm	VCP	Veicolo commerciale pesante, automezzo pesante per il trasporto merci
PM_{2,5}	Particolato di diametro inferiore a 2,5 µm	YLL	Anni di vita persi (<i>Years of life lost</i>)
POA	Aerosol organico primario (<i>Primary organic aerosol</i>)		
POP	Inquinante organico persistente (<i>Persistent organic pollutant</i>)		
ppb	Parti per miliardo (<i>Parts per billion</i>)		
SA	Aerosol secondario (<i>Secondary aerosol</i>)		
SI	Slovenia		
SOA	Aerosol organico secondario (<i>Secondary organic aerosol</i>)		
SOMO35	Per l'ozono, somma delle eccedenze dalla soglia di 35 ppb delle medie massime giornaliere calcolate su 8 ore		
SO₂	Biossido di zolfo (o anidride solforosa)		
UE	Unione europea		
UFAM	Ufficio federale dell'ambiente (Svizzera)		
UFP	Particolato ultrafine, di diametro inferiore a 0,1 µm		
UFS	Stazione di ricerca ambientale Schneefernerhaus (<i>Umweltforschungsstation Schneefernerhaus</i>) sulla Zugspitze		

NELL'ALLEGATO 1 È RIPORTATO UN ELENCO DEGLI INQUINANTI PIÙ DIFFUSI



SINTESI

Le normative sulla qualità dell'aria europee e dei paesi alpini, nonché le convenzioni internazionali sull'inquinamento atmosferico, rappresentano misure che promuovono un miglioramento della conoscenza dell'inquinamento atmosferico, al fine di comprenderne i meccanismi e le tendenze, e adottare interventi politici adeguati, volti a migliorare la qualità dell'aria.

Sebbene tali norme e accordi su larga scala rappresentino un quadro molto utile, essi non sono concepiti specificatamente per il contesto alpino. Le Alpi sono, in generale, un territorio contraddistinto da un'elevata qualità dell'aria, di cui beneficia chi vi risiede e chi le visita: l'aria pulita è un bene comune per i residenti e un'attrattiva per tutti i turisti, che fruiscono dei paesaggi alpini e delle attività ricreative. Al contempo, occorre sottolineare quanto un'aria di scarsa qualità sia dannosa per la salute dell'uomo: l'inquinamento atmosferico è il fattore di rischio ambientale più importante per la salute umana ed ha un impatto negativo su gran parte degli ecosistemi, come evidenzia la letteratura scientifica.

Dall'analisi dei dati disponibili da tutte le stazioni di monitoraggio statico della qualità dell'aria nelle Alpi risulta chiaramente che la maggior parte dei livelli di inquinamento rilevati è al di sotto dei limiti fissati dall'Unione europea (UE). Tuttavia, se l'inquinamento atmosferico nelle Alpi è misurato rispetto ad altri obiettivi qualitativi, come quelli dell'Organizzazione mondiale della sanità (OMS) per la protezione della salute umana, la situazione cambia: in alcuni casi, ad esempio, la concentrazione rilevata di particolato di diametro inferiore a $2,5 \mu\text{m}$ ($\text{PM}_{2,5}$) è superiore ai livelli raccomandati dall'OMS, sebbene recentemente sia risultata in calo. Lo stesso dicasi per i livelli dell'idrocarburo policiclico aromatico benzo(a)pirene (BaP) presente nel particolato misurati in alcune stazioni. Inoltre, la deposizione di azoto derivante dalle emissioni di ammoniaca dell'agricoltura supera il carico critico per alcune foreste delle Alpi. Tuttavia, da un'analisi dei trend risulta che, in linea generale, la situazione è migliorata nel corso dell'ultimo decennio per tutti gli inquinanti presi in esame, ad eccezione dell'ozono.

La presente relazione esamina i meccanismi dell'inquinamento atmosferico come descritti nella recente letteratura scientifica. Diversi programmi di ricerca condotti in territorio alpino nel corso dell'ultimo decennio e i relativi risultati, pubblicati nella letteratura scientifica, sono stati vagliati per identificare le fonti di inquinamento atmosferico. Nelle Alpi, gli inquinanti sono emessi soprattutto nelle aree di maggiore traffico e nelle città. Il riscaldamento è spesso a legna, una soluzione che consente di mitigare i cambiamenti climatici, ma che richiede precauzioni per ovviare alle emissioni di particolato. Gli aerosol secondari (SA) da molteplici fonti, tra cui l'agricoltura, aumentano l'inquinamento da particolato e la deposizione al suolo di azoto. Nelle Alpi sono inoltre presenti condizioni meteorologiche specifiche: l'inversione termica impedisce il mescolamento delle masse d'aria in senso verticale, intrappolando l'inquinamento al livello del suolo, con conseguenti marcati livelli di inquinamento in alcuni punti delle Alpi. In generale, la qualità dell'aria è migliorata sino a raggiungere gli standard molto elevati previsti dall'obiettivo c) della Convenzione delle Alpi: "ridurre drasticamente le emissioni inquinanti e i loro effetti negativi nella regione alpina [...] ad un livello che non sia nocivo per l'uomo, la fauna e la flora" (Convenzione delle Alpi, 2018).

La relazione, inoltre, elenca una serie di buone pratiche e soluzioni intelligenti adottate nei paesi alpini dalle autorità regionali e locali, nonché dai comuni. Sebbene non sia esaustivo, questo insieme di soluzioni intelligenti evidenzia in modo chiaro come si stia intervenendo attivamente nelle Alpi per migliorare la qualità dell'aria. Tali misure spaziano dai sistemi di riscaldamento alla gestione del traffico, dalle politiche di mobilità e la promozione delle tecnologie pulite alle norme locali.

Infine, e in particolare sulla scorta di questi esempi di soluzioni intelligenti, si propone il seguente insieme di raccomandazioni, al fine di aiutare i decisori politici a migliorare la qualità dell'aria nelle Alpi.

RACCOMANDAZIONE 1

Supportare le organizzazioni competenti per:

- misurare *in situ* il particolato fine e soprattutto il benzo(a)pirene provenienti da caldaie e impianti di riscaldamento a legna;
- informare la popolazione sull'impatto che la combustione di biomasse legnose per il riscaldamento ha sulla salute.

RACCOMANDAZIONE 2

Ridurre le emissioni da riscaldamento domestico attraverso l'ottimizzazione della prestazione energetica complessiva degli edifici e la sostituzione degli impianti di riscaldamento con sistemi a basse emissioni, offrendo sostegno e orientamento agli operatori e tramite:

- il miglioramento della prestazione energetica degli edifici;
- la sostituzione di caldaie e impianti di riscaldamento vecchi, altamente inquinanti;
- la sostituzione dei combustibili tradizionali con un tipo di combustibile più pulito.

RACCOMANDAZIONE 3

Previa consultazione e valutazione ambientale, adottare iniziative di mobilità regionali e locali per il trasporto passeggeri e merci che favoriscano la mobilità pubblica e attiva, abbinando incentivi a restrizioni, ove sia previsto un impatto rilevante sulla qualità dell'aria.

RACCOMANDAZIONE 4

Promuovere una strategia di mobilità pulita e di veicoli a zero emissioni, per esempio adottando una tassazione equilibrata e un sistema di incentivi per internalizzare le esternalità dell'inquinamento nei costi di trasporto reali, e potenziare i segnali del mercato a favore di una mobilità pulita e di veicoli a zero emissioni.

RACCOMANDAZIONE 5

Promuovere una gestione intelligente del traffico, per esempio attraverso limiti di velocità e pedaggi stradali, favorendo i veicoli puliti sulle autostrade alpine e nelle gallerie al fine di contenere le emissioni, nonché:

- incoraggiare l'implementazione di tecnologie di trasporto alternative e del trasporto combinato;
- integrare il trasporto pubblico nei sistemi di mobilità multimodali;
- incentivare il trasferimento modale nel trasporto passeggeri e merci.

**RACCOMANDAZIONE 6**

Supportare lo sviluppo di buone pratiche agricole che limitino le emissioni di composti azotati come l'ammoniaca, nonché l'incenerimento all'aria aperta dei rifiuti verdi e degli stralci nella regione alpina.

RACCOMANDAZIONE 7

Le Parti contraenti della Convenzione delle Alpi sono invitate ad adottare iniziative sulla qualità dell'aria che includano misure riguardanti le principali fonti di inquinamento atmosferico, come riscaldamento domestico, mobilità, energia, industria e agricoltura.

RACCOMANDAZIONE 8

Le Parti contraenti della Convenzione delle Alpi dovrebbero collaborare con i paesi e le regioni confinanti, al fine di promuovere la riduzione del trasporto transfrontaliero di inquinanti nell'area geografica della Convenzione delle Alpi.

RACCOMANDAZIONE 9

Le Parti contraenti della Convenzione delle Alpi dovrebbero:

- sostenere il capitolo sulla qualità dell'aria del Green Deal europeo;
- ambire a conseguire gli obiettivi fissati dalle linee guida OMS sulla qualità dell'aria.

RACCOMANDAZIONE 10

Predisporre studi approfonditi e specifici sulla qualità dell'aria nelle Alpi, in particolare laddove si individuino o si prevedano problemi in relazione alla qualità dell'aria ambiente attraverso il monitoraggio della situazione, al fine di esaminare l'influenza delle fonti di inquinamento atmosferico, ma anche le relative problematiche sociali e politiche.



1. INTRODUZIONE E OBIETTIVI

Le Alpi sono il sistema montuoso centrale dell'Europa. La regione è abitata da quattordici milioni di persone e milioni di turisti fruiscono dei loro meravigliosi paesaggi, del patrimonio culturale e delle opportunità ricreative, nonché della loro aria pulita. La Convenzione delle Alpi insiste su un territorio di 190.700 km², che comprende otto paesi e diverse città con più di 100.000 abitanti. Attorno ad essa sono situate alcune delle principali città europee. La presente relazione verte sulla qualità dell'aria all'interno del perimetro della Convenzione delle Alpi, come mostra la mappa nella Figura 1.

Nel complesso, la regione alpina si può fregiare di una qualità dell'aria abbastanza buona. Tuttavia, al suo interno sono presenti sorgenti di inquinanti atmosferici, p.es. agglomerati urbani e autostrade, nonché emissioni derivanti dalla combustione del

legno e dal comparto industriale. A ciò si aggiunge la circolazione regionale e a grande distanza di masse d'aria, che può contribuire all'inquinamento dell'aria alpina. Sebbene alcune emissioni naturali siano legate a fenomeni chimici dell'atmosfera, le attività umane sono la causa principale del degrado della qualità dell'aria nelle Alpi.

La particolare orografia delle Alpi, inoltre, è all'origine di una complessa distribuzione e di una concentrazione di inquinanti nelle valli densamente popolate. Vallate e fasce pedemontane sono una trappola geografica e meteorologica per gli inquinanti atmosferici. Inoltre, la regione alpina è un sistema ecologico straordinariamente sensibile. Turismo, sane attività ricreative e salvaguardia degli ecosistemi presuppongono un'aria pulita nelle Alpi, pertanto l'analisi della qualità dell'aria in questa re-

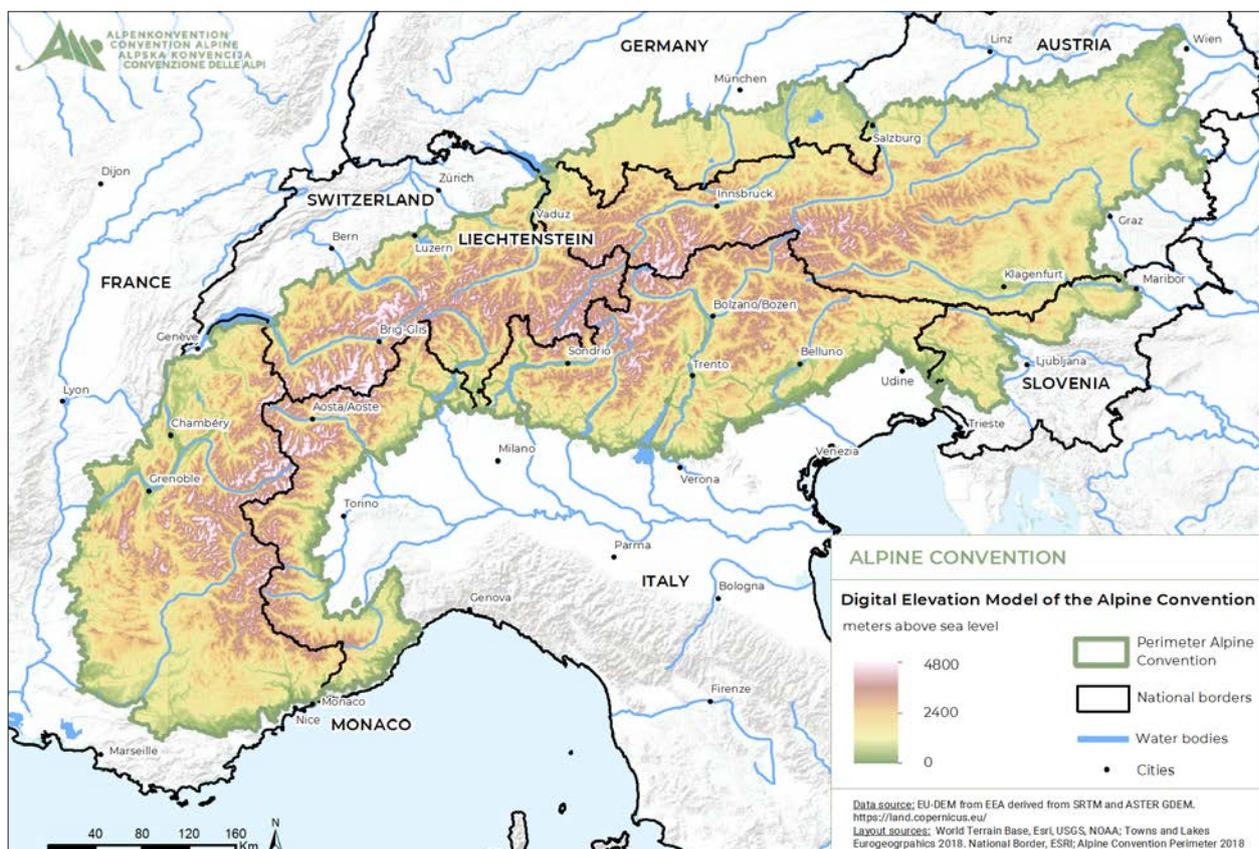


Figura 1: Mappa del perimetro della Convenzione delle Alpi.

gione e il suo miglioramento sono ritenuti prioritari dalle Parti contraenti della Convenzione delle Alpi.

In termini di salute e di conservazione ecologica, i principali inquinanti sono disciplinati dalle norme UE e svizzere. Inoltre, gli Stati membri europei e i loro partner, nonché la Svizzera, aderiscono alla Convenzione sull'inquinamento atmosferico transfrontaliero a grande distanza (CLRTAP), nella quale svariati protocolli regolamentano ulteriori sostanze come gli idrocarburi policiclici aromatici (PAH), gli inquinanti organici persistenti (POP) o i metalli pesanti.

A seguito di una proposta della Presidenza francese entrante, la XV Conferenza delle Alpi, (Innsbruck, AT, 4 aprile 2019) ha deciso che l'ottava Relazione sullo stato delle Alpi avrebbe riguardato il tema della qualità dell'aria nella regione alpina. Per assolvere a tale compito è stato istituito un Gruppo di lavoro *ad hoc*, composto da esperti provenienti da tutti i paesi alpini: nel corso del periodo successivo, il Gruppo ha redatto la presente Relazione e l'ha sottoposta alla XVI Conferenza delle Alpi (10 dicembre 2020) che l'ha approvata ufficialmente. La proposta della Presidenza francese riconosceva che dal 2006, anno in cui la prima Relazione sullo Stato delle Alpi si era confrontata con la tematica dei trasporti e della mobilità, la qualità dell'aria non era stata trattata in misura sufficiente dalla Convenzione delle Alpi. Un'elevata qualità dell'aria attualmente è un obiettivo centrale delle politiche ambientali e sanitarie, assieme ai cambiamenti climatici, all'adattamento ad essi, alla protezione della biodiversità e alla promozione dell'economia circolare. La Convenzione delle Alpi assicura "una politica globale per la conservazione e la protezione delle Alpi", "in ottemperanza ai principi della prevenzione, della cooperazione e della responsabilità di chi causa danni ambientali" (Convenzione delle Alpi, 2018). La lettera "c)" degli obblighi generali della Convenzione (art. 2) recita come segue: "Salvaguardia della qualità dell'aria - al fine di ridurre drasticamente le emissioni inquinanti e i loro effetti negativi nella regione alpina, nonché la trasmissione di sostanze inquinanti provenienti dall'esterno, ad un livello che non sia nocivo per l'uomo, la fauna e la flora".

La salute dei cittadini è motivo di grande attenzione ed è la priorità delle politiche in materia di qualità dell'aria, sebbene anche gli effetti dell'inquinamento atmosferico su colture ed ecosistemi rimangano problematiche importanti. Gli inquinanti atmosferici percorrono grandi distanze, travalicando i confini nazionali, e hanno un impatto

negativo sulla salute umana e sugli ecosistemi: sono responsabili, tra l'altro, di acidificazione, eutrofizzazione e inquinamento di ozono a livello del suolo. L'ottava Relazione sullo Stato delle Alpi affronta le cinque istanze specifiche oggetto del mandato assegnato dalla XV Conferenza delle Alpi:

- fare un bilancio della qualità dell'aria nelle Alpi e capire i fenomeni complessi che ne determinano il degrado;
- elencare le relative norme internazionali, nazionali o locali;
- accennare ai problemi sanitari legati all'inquinamento atmosferico e al suo impatto sugli ecosistemi;
- identificare le buone pratiche per migliorare la qualità dell'aria specificatamente nelle Alpi;
- formulare una serie di raccomandazioni per i decisori politici.

Il primo capitolo della Relazione procede a una disamina del quadro normativo, al fine di identificare le norme giuridiche che stabiliscono le soglie (valori limite delle concentrazioni nell'aria, valori obiettivo, limiti di emissione, ecc.) per le concentrazioni di inquinanti atmosferici, i regimi di monitoraggio e le norme per l'adozione di misure in caso di superamento. L'analisi sottolinea gli obiettivi ambientali formali con i quali occorre confrontare rapporti e dati in materia di qualità dell'aria.

Tuttavia, avvalendosi di una combinazione di studi epidemiologici, tossicologici e di esposizione, gruppi di esperti hanno stabilito che gli effetti negativi dell'inquinamento atmosferico sull'uomo si manifestano ben al di sotto dei requisiti legali. Per alcuni inquinanti come il particolato non vi è alcuna evidenza di una soglia al di sotto della quale i risultati improbabili un impatto sulla salute. Laddove la probabilità degli effetti aumenti in misura proporzionale alla concentrazione di esposizione, si possono convenzionalmente fissare degli obiettivi qualitativi per le concentrazioni con una probabilità di effetti avversi di 1/100.000. Questo è anche il motivo per cui l'OMS ha formulato una serie di linee guida sulla qualità dell'aria (AQG), attualmente in fase di revisione. Nel suo Green Deal europeo (CE, 2019), la Commissione europea ha annunciato che proporrà una revisione delle norme in materia di qualità dell'aria per allinearle maggiormente alle linee guida OMS.

L'inquinamento atmosferico è definito come una miscela di inquinanti gassosi, liquidi e solidi. Mol-



ti di essi, noti sotto il nome di inquinanti primari, sono sostanze emesse direttamente nell'atmosfera. Gli inquinanti secondari, invece, si formano a seguito di reazioni chimiche dei precursori nell'atmosfera, anche per effetto di interazioni con l'acqua e le radiazioni solari. Per comprendere appieno la questione della qualità dell'aria è estremamente importante sapere quali inquinanti sono presenti nell'aria ambiente e i meccanismi soggiacenti alla loro emissione, dispersione, formazione, alterazione ed esposizione. La presente relazione affronta tali aspetti dopo aver presentato il quadro normativo. L'analisi condotta dagli esperti del Gruppo di lavoro *ad hoc* si basa sui risultati di una serie di recenti progetti di ricerca legati alla qualità dell'aria nelle Alpi.

Un capitolo importante è dedicato all'analisi dello stato della qualità dell'aria nelle Alpi, attingendo, tra le altre fonti, alle informazioni della banca dati dell'Agenzia Europea per l'Ambiente (AEA). La compilazione delle informazioni e l'analisi dei dati sono state eseguite garantendo l'omogeneità della raccolta dati e dei calcoli. Tale capitolo fornisce informazioni aggiornate e mappe della qualità dell'aria nelle Alpi, nonché dei trend di inquinamento

atmosferico. Esso conferma che la qualità dell'aria alpina è andata gradualmente migliorando e che, in linea generale, i valori limite consentiti sono rispettati, ma evidenzia anche il mancato raggiungimento, ad oggi, di obiettivi qualitativi di maggiore salvaguardia, soprattutto in termini di $PM_{2,5}$.

La relazione offre inoltre un quadro d'insieme dei relativi progetti di ricerca e osservatori per la qualità dell'aria nelle Alpi e analizza i problemi che potrebbero manifestarsi in avvenire.

L'identificazione di buone pratiche è un altro contributo fondamentale del Gruppo di lavoro che, a proposito, le ha definite *soluzioni intelligenti*. Il capitolo successivo riporta pertanto esempi di misure attuate nelle Alpi allo scopo di affrontare le problematiche evidenziate nelle prime sezioni del documento, nei diversi livelli politici.

Nella sua ultima parte, il documento si chiude con una serie di raccomandazioni sul tema della qualità dell'aria nelle Alpi, incentrate sostanzialmente sulle soluzioni intelligenti, che si prefiggono di affrontare tutte le istanze sollevate nella relazione.

2. QUADRO NORMATIVO SULLA QUALITÀ DELL'ARIA AMBIENTE

Il presente capitolo fornisce un quadro d'insieme del contesto normativo, in materia di qualità dell'aria nella regione alpina, presentando la relativa legislazione in essere. La sezione, avente per oggetto la qualità dell'aria ambiente, fa riferimento essenzialmente alla legislazione UE e a norme analoghe di paesi non UE membri della Convenzione.

2.1 LEGISLAZIONE DELL'UNIONE EUROPEA

Il quadro normativo sulla qualità dell'aria nel perimetro della Convenzione delle Alpi è determinato in larga misura dalla legislazione europea. L'UE è impegnata nell'elaborazione di un quadro normativo volto a migliorare la qualità dell'aria sin dai primi anni '70 del secolo scorso.

Il pacchetto di politiche "Aria pulita per l'Europa" poggia su tre pilastri:

- Le norme relative alla qualità dell'aria sotto forma di valori limite e valori obiettivo definiti nelle Direttive sulla qualità dell'aria ambiente, per quanto concerne la concentrazione di inquinanti nell'aria ambiente, allo scopo di tutelare la salute umana e l'ambiente nel suo complesso.
- Le emissioni nazionali totali di determinati inquinanti atmosferici sono affrontate nella Direttiva sugli impegni nazionali di riduzione delle emissioni. La Direttiva definisce, tra l'altro, i requisiti per gli inventari nazionali delle emissioni, gli impegni nazionali di riduzione delle emissioni per cinque inquinanti chiave e i programmi di controllo dell'inquinamento atmosferico al fine di garantire il rispetto di tali impegni.

- Le norme sulle emissioni e sull'efficienza energetica per le fonti chiave di inquinamento atmosferico, incluse le emissioni da veicoli, prodotti e industria. Tali norme sono definite nella legislazione UE riguardante, ad esempio, le emissioni industriali, le emissioni prodotte da centrali elettriche, veicoli e carburanti per autotrazione, nonché l'efficienza energetica di prodotti e macchine mobili non stradali.

2.1.1 DIRETTIVE SULLA QUALITÀ DELL'ARIA AMBIENTE

I principali strumenti nel primo pilastro del quadro normativo UE sulla qualità dell'aria consistono in due importanti direttive che definiscono gli standard di qualità per l'aria ambiente: Direttiva 2008/50/CE e Direttiva 2004/107/CE per come modificate dalla Direttiva (UE) 2015/1480 della Commissione. Tali direttive fanno leva sulla precedente legislazione, gradualmente sviluppata a partire dai primi anni '80 del secolo scorso. Esse stabiliscono gli standard per l'aria ambiente per una serie di inquinanti, inclusi ozono (O₃), materiale particolato (PM₁₀ e PM_{2,5})¹ e biossido di azoto (NO₂), nonché arsenico (As), cadmio (Cd), mercurio (Hg), nichel (Ni) e idrocarburi policiclici aromatici² (Direttiva 2004/107/CE). Insieme, esse offrono il quadro attuale³ per il miglioramento della qualità dell'aria ambiente nell'UE e fissano standard da raggiungere nell'UE per 13 inquinanti atmosferici (si veda la Tabella 1). Di recente, dato che la sfida della qualità dell'aria è ben lungi dall'essere risolta⁴, il quadro normativo in essere è stato sottoposto a un controllo di adeguatezza (fitness check)⁵, focalizzato sul periodo 2008-2018.

1. Il termine PM₁₀ identifica le particelle di dimensioni inferiori a 10 µm; PM_{2,5} quelle inferiori a 2,5 µm.

2. <https://toxtown.nlm.nih.gov/chemicals-and-contaminants/polycyclic-aromatic-hydrocarbons-pahs>.

3. La Direttiva Quadro e le prime tre direttive figlie sono confluite in un'unica Direttiva nel 2008.

4. Sono state avviate procedure di infrazione nei confronti di diversi Stati membri.

5. Per ulteriori informazioni consultare il seguente link: https://ec.europa.eu/environment/air/quality/aqd_fitness_check_en.htm. In linea generale, al fitness check gli standard di qualità dell'aria sono risultati adeguati a ridurre le concentrazioni e i livelli di superamento. Tuttavia esiste potenziale di miglioramento su due punti in particolare: gli standard UE riguardanti la qualità dell'aria non sono perfettamente allineati alle ben note raccomandazioni sanitarie (e non presentano nemmeno alcun meccanismo esplicito per adeguare gli standard di qualità dell'aria ai più recenti progressi tecnici e scientifici), e vi sono stati notevoli ritardi da parte degli Stati membri nell'adozione di misure adeguate ed efficaci per ottemperare agli standard in materia di qualità dell'aria o almeno per cercare di mantenere quanto più breve possibile il periodo di superamento.



INQUINANTE	PERIODO DI MEDIAZIONE	CONCENTRAZIONE	NATURA GIURIDICA	COMMENTI
NORME DI QUALITÀ DELL'ARIA A TUTELA DELLA SALUTE UMANA				
PM ₁₀	1 giorno	50 µg/m ³	Valore limite	Da non superare più di 35 volte per anno di calendario
	Anno di calendario	40 µg/m ³		
PM _{2,5}	Anno di calendario	25 µg/m ³	Valore limite	Indicatore di esposizione media (IEM) ⁶ nel 2015 (media 2013-2015) IEM nel 2020, la riduzione percentuale dipende dall'IEM iniziale
		20 µg/m ³	Obbligo di concentrazione dell'esposizione	
		0-20% riduzione nell'esposizione	Obiettivo nazionale di riduzione dell'esposizione	
Ozono (O ₃)	Media massima giornaliera calcolata su 8 ore	120 µg/m ³	Valore obiettivo	Da non superare più di 25 giorni per anno, come media su 3 anni
		120 µg/m ³	Obiettivo a lungo termine	
	1 ora	180 µg/m ³	Soglia di informazione	
		240 µg/m ³	Soglia di allarme	
Biossido di azoto (NO ₂)	1 ora	200 µg/m ³	Valore limite	Da non superare più di 18 volte per anno di calendario
		400 µg/m ³	Soglia di allarme	Da misurare per tre ore consecutive su un'area di 100 km ² o in un'intera zona
	Anno di calendario	40 µg/m ³	Valore limite	
Benzo(a)pirene (BaP) ⁷	Anno di calendario	1 ng/m ³	Valore obiettivo	Contenuto totale nella frazione PM ₁₀
Biossido di zolfo (SO ₂)	1 ora	350 µg/m ³	Valore limite	Da non superare per più di 24 volte per anno di calendario
		500 µg/m ³	Soglia di allarme	Da misurare per tre ore consecutive su un'area di 100 km ² o in un'intera zona
	1 giorno	125 µg/m ³	Valore limite	Da non superare per più di 3 volte per anno di calendario
Monossido di carbonio (CO)	Media massima giornaliera calcolata su 8 ore	10 mg/m ³	Valore limite	
Benzene (C ₆ H ₆)	Anno di calendario	5 µg/m ³	Valore limite	
Piombo (Pb)	Anno di calendario	0,5 µg/m ³	Valore limite	Contenuto totale nella frazione PM ₁₀
Arsenico (As)	Anno di calendario	6 ng/m ³	Valore obiettivo	Contenuto totale nella frazione PM ₁₀
Cadmio (Cd)	Anno di calendario	5 ng/m ³	Valore obiettivo	Contenuto totale nella frazione PM ₁₀
Nichel (Ni)	Anno di calendario	20 ng/m ³	Valore obiettivo	Contenuto totale nella frazione PM ₁₀
NORME DI QUALITÀ DELL'ARIA PER LA PROTEZIONE DELLA VEGETAZIONE				
O ₃	AOT40 ⁸ cumulativa da maggio a luglio	18.000 µg/m ³ · h	Valore obiettivo	Media su 5 anni
		6.000 µg/m ³ · h	Obiettivo a lungo termine	
Ossidi di azoto (NO _x)	Anno di calendario	30 µg/m ³	Livello critico	
SO ₂	Anno di calendario e inverno (dall'1/10 al 31/03)	20 µg/m ³	Livello critico	

Tabella 1: Standard di qualità dell'aria per la tutela della salute umana e della vegetazione, riportati nelle Direttive UE sulla qualità dell'aria ambiente (AEA, 2019).

6. IEM: livello medio determinato sulla base di misurazioni in siti di fondo urbano stabiliti a tale fine dagli Stati membri, valutato sotto forma di media annuale su un periodo di 3 anni.
7. BaP (benzo(a)pirene) è considerato l'inquinante principale tra gli idrocarburi policiclici aromatici con potenziale cancerogeno.
8. AOT40 indica l'esposizione cumulativa a O₃, espressa in µg/m³/h, oltre la soglia di 40 ppb. Rappresenta la somma delle differenze tra le concentrazioni orarie > 80 µg/m³ (40 ppb) e 80 µg/m³ cumulative rilevate in orario 8-20 (CET).

Le Direttive sulla qualità dell'aria ambiente sono state adottate allo scopo di predisporre misure atte a⁹:

- definire e stabilire obiettivi di qualità dell'aria ambiente al fine di evitare, prevenire o ridurre gli effetti nocivi per la salute umana e per l'ambiente nel suo complesso;
- valutare la qualità dell'aria ambiente negli Stati membri sulla base di metodi e criteri comuni;
- ottenere informazioni sulla qualità dell'aria ambiente per contribuire alla lotta contro l'inquinamento dell'aria e gli effetti nocivi e per monitorare le tendenze a lungo termine e i miglioramenti risultanti dalle misure adottate a tutti i pertinenti livelli di governance;
- garantire che le informazioni sulla qualità dell'aria ambiente siano messe a disposizione del pubblico;
- mantenere la qualità dell'aria ambiente, laddove sia buona, e migliorarla negli altri casi;
- promuovere una maggiore cooperazione tra gli Stati membri nella lotta contro l'inquinamento atmosferico;
- predisporre piani per la qualità dell'aria per rientrare nei valori limite dell'aria ambiente nel più breve tempo possibile in caso di superamento.

La legislazione europea sulla qualità dell'aria fa leva su diversi principi per raggiungere l'obiettivo generale di ridurre al minimo gli effetti nocivi per la salute umana e l'ambiente nel suo complesso. Al fine di monitorare le concentrazioni di inquinanti e il rispetto degli standard applicabili in materia di qualità dell'aria, gli Stati membri devono istituire zone e agglomerati in tutto il loro territorio e classificarli in base alle soglie di valutazione prescritte per determinare il metodo applicabile ai fini della valutazione della qualità dell'aria: misurazioni, modellizzazione e/o altre tecniche di stima oggettiva. A tale proposito, le Direttive sulla qualità dell'aria stabiliscono metodi e criteri comuni per l'ubicazione dei punti di campionamento. La localizzazione di tali punti di campionamento ha come obiettivo la protezione della salute umana, della vegetazione e degli ecosistemi naturali. Gli Stati membri sono tenuti a riportare alla Commissione europea i dati sulla qualità dell'aria ottenuti (si veda il capitolo 5).

Laddove i livelli superano i valori limite od obiettivo, gli Stati membri devono predisporre un piano per la qualità dell'aria che agisca sulle sorgenti responsabili, al fine di garantire il rispetto del relativo valore limite od obiettivo. In caso di superamento del valore limite, tali piani stabiliscono misure appropriate affinché il periodo di superamento sia il più breve possibile. Inoltre, le informazioni sulla qualità dell'aria devono essere messe a disposizione del pubblico.

2.1.2 DIRETTIVA SUGLI IMPEGNI NAZIONALI DI RIDUZIONE DELLE EMISSIONI

Lo strumento legislativo principale del secondo pilastro del pacchetto di politiche "Aria pulita per l'Europa" è la Direttiva (UE) 2016/2284 concernente la riduzione delle emissioni nazionali di determinanti inquinanti atmosferici (spesso ancora denominata Direttiva NEC¹⁰), che abroga la Direttiva 2001/81/CE. La Direttiva NEC, che riguarda le emissioni nazionali totali di cinque inquinanti atmosferici chiave, mira al raggiungimento degli obiettivi della politica UE in materia di qualità dell'aria al fine di dimezzare l'impatto dell'inquinamento atmosferico sulla salute umana entro il 2030 rispetto al 2005 e ridurre l'impatto ambientale.

A tale fine, gli Stati membri trasmettono gli inventari delle emissioni del passato e le proiezioni delle emissioni per gli anni a venire. Tale prassi è in accordo con le linee guida della Convenzione sull'inquinamento atmosferico transfrontaliero a grande distanza (CLRTAP), presentata nel capitolo 2.4.1.

Questi inventari delle emissioni sono utilizzati per monitorare e analizzare lo stato dell'inquinamento atmosferico e per verificare la conformità con gli impegni nazionali di riduzione delle emissioni stabiliti rispettivamente dal 2020 al 2029 e dal 2030 in avanti. Gli impegni di riduzione dal 2020 al 2029 corrispondono a quelli assunti dagli Stati membri UE con il Protocollo di Göteborg, aggiornato nel 2012 e la CLRTAP mentre la Direttiva NEC stabilisce anche impegni di riduzione più ambiziosi da raggiungere entro il 2030.

La Direttiva NEC prevede inoltre che gli Stati membri elaborino, attuino ed aggiornino regolarmente un programma nazionale di controllo dell'inquinamento atmosferico¹¹ nel quale si stabiliscono le

9. Ai sensi dell'articolo 1 della Direttiva 2008/50/CE relativa alla qualità dell'aria ambiente.

10. Direttiva sui limiti nazionali di emissione, National emission ceilings.

11. Per i programmi nazionali di controllo dell'inquinamento atmosferico (NAPCP) consultare il seguente link: <https://ec.europa.eu/environment/air/reduction/NAPCP.htm>.



misure che gli Stati membri adotteranno per garantire il rispetto dei loro impegni di riduzione delle emissioni dal 2020 al 2029 e dal 2030 in avanti (Allegato II alla Direttiva (UE) 2016/2284).

Infine, la Direttiva NEC prevede anche che gli Stati membri monitorino gli impatti negativi dell'inquinamento atmosferico sugli ecosistemi in base a una rete di siti di monitoraggio, al fine di fornire informazioni a supporto degli sforzi profusi per garantire che l'inquinamento atmosferico non contribuisca a concentrazioni superiori ai carichi e ai livelli critici nei diversi ecosistemi nell'UE.

2.2 NORME NAZIONALI IN AUSTRIA, LIECHTENSTEIN, MONACO E SVIZZERA

In linea generale, Svizzera, Monaco e Liechtenstein applicano norme analoghe a quelle previste dalle Direttive UE sulla qualità dell'aria ambiente.

In Svizzera, gli inquinanti atmosferici sono disciplinati dall'Ordinanza contro l'inquinamento atmosferico¹² (OIAt), che si basa sulla Legge federale sulla protezione dell'ambiente. L'Ordinanza (al 2018) definisce gli standard di qualità dell'aria per gli inquinanti atmosferici sulla base delle raccomandazioni OMS del 2005, che per alcuni inquinanti atmosferici sono più restrittivi degli attuali valori limite fissati dal quadro legislativo UE sulla qualità dell'aria, come mostra la tabella 2 qui di seguito.

Per gli Stati membri UE, l'articolo 193 del Trattato sul funzionamento dell'Unione europea consente agli Stati membri, in materia di atti giuridici adottati ai sensi dell'articolo 192 nel contesto della politica ambientale UE, di mantenere o adottare misure protettive più stringenti laddove esse siano compatibili con i Trattati UE. La Legge federale sulla qualità dell'aria ambiente dell'Austria, che recepisce le Direttive sulla qualità dell'aria ambiente, si è avvalsa ad esempio di tale possibilità e ha continuato a fissare valori limite nazionali più severi per NO₂, PM₁₀ e BaP, come mostra la tabella 2 qui di

INQUINANTE	PERIODO DI MEDIAZIONE, NATURA GIURIDICA	VALIDITÀ	CONCENTRAZIONE	COMMENTI
PM ₁₀	1 giorno, valore limite	Svizzera, Liechtenstein	50 µg/m ³	Da non superarsi più di 3 giorni per anno
		Austria		Da non superarsi più di 25 giorni per anno
		Tutti gli altri paesi		Da non superarsi più di 35 giorni per anno
	Anno di calendario, valore limite	Svizzera, Liechtenstein	20 µg/m ³	
		Tutti gli altri paesi	40 µg/m ³	
PM _{2,5}	Anno di calendario, valore limite	Svizzera, Liechtenstein	10 µg/m ³	
		Tutti gli altri paesi	25 µg/m ³	
NO ₂	0,5 ore, valore limite	Svizzera, Liechtenstein	100 µg/m ³	Da non superarsi più di 18 ore per anno
		Austria	200 µg/m ³	
	1 ora, valore limite	Tutti gli altri paesi	200 µg/m ³	Da non superarsi più di 18 ore per anno
		Anno di calendario, valore limite	Austria, Svizzera, Liechtenstein	30 µg/m ³
		Tutti gli altri paesi	40 µg/m ³	
BaP	Anno di calendario, valore limite	Austria	1 ng/m ³	

Tabella 2: Confronto tra gli standard di qualità dell'aria per particolato, biossido di azoto e benzo(a)pirene nella regione alpina.

12. OIAt, RS 814.318.142.1. Link: <https://www.admin.ch/opc/it/classified-compilation/19850321/index.html>.

seguito. Tali standard si basano sulle concentrazioni limite elaborate dall'Accademia austriaca delle scienze negli anni '70 e '80, e legate all'impatto degli inquinanti.

Attualmente, nel suo quadro legislativo sulla qualità dell'aria ambiente, il Principato di Monaco, avvalendosi di metodi e criteri comuni, confronta i dati sulla qualità dell'aria con i valori limite, le informazioni e le soglie di allarme delle Direttive UE in materia di qualità dell'aria, per gli inquinanti PM, O₃, NO_x, SO₂ e CO, con un obiettivo OMS a lungo termine al 2030.

2.2.1 NO₂

Per il biossido di azoto vi sono differenze non solo in termini di soglie, ma anche di periodi di mediazione. I valori limite per la concentrazione media annuale variano da 30 µg/m³ (Austria¹³, Svizzera e Liechtenstein) a 40 µg/m³ (tutti gli altri Stati membri UE). Per quanto concerne le soglie a breve termine, Svizzera e Liechtenstein stabiliscono un valore limite per mezz'ora di 100 µg/m³ con 18 superamenti consentiti. In Austria si ha un valore limite di 200 µg/m³ per la media su mezz'ora, mentre negli altri Stati membri UE si applica il valore limite UE di 200 µg/m³ per la media su 1 ora. Vi sono differenze anche nel numero di superamenti consentiti per i valori limite a breve termine di NO₂, per anno civile: gli altri Stati membri UE consentono 18 superamenti del valore limite su 1 ora per anno civile, in linea con la Direttiva relativa alla qualità dell'aria ambiente, mentre in Austria non deve essere superato il valore limite su mezz'ora.

2.2.2 PARTICOLATO

Per il PM₁₀, gli standard di qualità dell'aria sono fissati ad una media annuale di 20 µg/m³ in Svizzera e nel Liechtenstein, in linea con le linee guida OMS, e ad una media annuale di 40 µg/m³ negli Stati membri UE. Il valore limite per la media giornaliera di PM₁₀ è fissato a 50 µg/m³ per tutti i paesi nell'arco alpino; tuttavia, il numero di superamenti consentiti per anno varia da 3 giorni in Svizzera, a 25 in Austria e 35 negli altri Stati membri UE.

Per il PM_{2,5}, le soglie massime per la qualità dell'aria si situano a 10 µg/m³ (media annuale) in Sviz-

zera, in linea con le linee guida OMS, e a 25 µg/m³ (media annuale) negli Stati membri UE.

2.3 PIANIFICAZIONE DELLA QUALITÀ DELL'ARIA

La Direttiva UE sulla qualità dell'aria prevede che si predispongano dei piani per la qualità dell'aria in caso di superamento dei valori limite per la qualità dell'aria ambiente, con misure adatte volte a rientrare nei valori limite nel più breve tempo possibile. La responsabilità per la predisposizione dei piani differisce negli Stati membri. In Baviera, ad esempio, la responsabilità ricade sui governi distrettuali (autorità regionale), mentre in Italia sono le amministrazioni regionali e in Austria i governi provinciali ad essere competenti in materia di pianificazione ed implementazione della qualità dell'aria.

2.4 CONVENZIONI INTERNAZIONALI, ACCORDI E COORDINAMENTO

2.4.1 CONVENZIONE UNECE SULL'INQUINAMENTO ATMOSFERICO TRANSFRONTALIERO A GRANDE DISTANZA¹⁴

La Convenzione UNECE sull'inquinamento atmosferico (CLRTAP), adottata nel 1979, è volta a tutelare l'ambiente umano dall'inquinamento atmosferico, e a prevenire e ridurre gradualmente quest'ultimo, incluso l'inquinamento atmosferico transfrontaliero a grande distanza. Essa comprende otto protocolli, relativi a una serie di inquinanti atmosferici, di cui l'ultimo¹⁵ è uno strumento riguardante vari inquinanti e molteplici effetti, concepito per ridurre acidificazione, eutrofizzazione e ozono troposferico. Per le sue parti contraenti, tale protocollo fissa i valori limite per una serie di sorgenti di emissione rilevanti e stabilisce gli impegni nazionali di riduzione delle emissioni per cinque importanti inquinanti. Tali impegni di riduzione corrispondono agli impegni di riduzione dal 2020 al 2029 della Direttiva NEC dell'UE.

13. Si applica un margine di tolleranza residuo di 5 µg/m³ a decorrere dal 1° gennaio 2010.

14. Chiamata anche "Air convention". Link: <https://www.unece.org/env/lrtap/welcome.html.html>.

15. Protocollo di Göteborg (1999) relativo alla riduzione dell'acidificazione, dell'eutrofizzazione e dell'ozono troposferico (Protocollo di Göteborg), modificato nel 2012.



La Convenzione sull'inquinamento atmosferico consente di accedere ai dati relativi a emissioni, misure e modellizzazioni, nonché a informazioni riguardanti gli effetti dell'inquinamento atmosferico su ecosistemi, salute umana, colture e materiali. Inoltre, essa funge da importante quadro di riferimento legale per una serie di task force, centri e programmi di cooperazione internazionale che realizzano ricerche e valutazioni scientifiche su problematiche legate alla qualità dell'aria.

2.4.2 LINEE GUIDA OMS

L'OMS predispone standard globali di qualità ambientale e ha sviluppato le linee guida sulla qualità dell'aria (AQG) pubblicate nel 1987 e aggiornate nel 1997 e nel 2005. Il rationale sotteso alle AQG è illustrato nel capitolo 4.1. La tabella 3 riassume i valori proposti dall'OMS (attualmente in fase di revisione) per ridurre gli effetti degli inquinanti atmosferici sulla salute umana e sugli ecosistemi naturali.

Per la revisione delle politiche europee in materia di qualità dell'aria del 2013, la Commissione europea ha rivolto una serie di quesiti¹⁶ all'OMS a sostegno del processo di revisione. Le risposte a tali domande sono state formulate nei progetti "Review of evidence on health aspects of air pollution" e "Health risks of air pollution in Europe"¹⁷. A seguito di tali progetti, nel 2016 l'OMS ha avviato una revisione delle proprie linee guida sulla qualità dell'aria¹⁸. Secondo l'ultimo rapporto della task force congiunta UNECE/OMS sulla salute¹⁹, la revisione include PM_{2,5}, PM₁₀, NO₂, O₃, SO₂ e CO. La sistematica disamina delle evidenze sugli effetti che tali inquinanti atmosferici hanno sulla salute ha funto da base per la seconda fase del processo di aggiornamento, cioè per desumere valori numerici di esposizione per le linee guida, stabilire obiettivi intermedi e altre raccomandazioni. La seconda fase ha avuto luogo nel corso del 2020 e le nuove AQG saranno pubblicate nel 2021.

INQUINANTE	PERIODO DI MEDIAZIONE	AQG	LIVELLO DI RIFERIMENTO	COMMENTI
PM ₁₀	1 giorno	50 µg/m ³		99° percentile (3 giorni l'anno)
	Anno di calendario	20 µg/m ³		
PM _{2,5}	1 giorno	25 µg/m ³		99° percentile (3 giorni l'anno)
	Anno di calendario	10 µg/m ³		
O ₃	Media massima giornaliera calcolata sulle 8 ore	100 µg/m ³		
NO ₂	1 ora	200 µg/m ³		
	Anno di calendario	40 µg/m ³		
BaP	Anno di calendario		0,12 ng/m ³	
SO ₂	10 minuti	500 µg/m ³		
	1 giorno	20 µg/m ³		
CO	1 ora	30 mg/m ³		
	Media massima giornaliera calcolata sulle 8 ore	10 mg/m ³		
Benzene	Anno di calendario		1,7 µg/m ³	
Pb	Anno di calendario	0,5 µg/m ³		
As	Anno di calendario		6,6 ng/m ³	
Cd	Anno di calendario	5 ng/m ³		
Ni	Anno di calendario		25 ng/m ³	

Tabella 3: AQG e livelli di riferimento stimati. In assenza di AQG, i livelli di riferimento sono stimati ipotizzando un rischio accettabile in termini di rischio incrementale di sviluppare un tumore nell'arco della vita di 1 su 100.000 (AEA, 2019).

16. <http://www.euro.who.int/en/health-topics/environment-and-health/air-quality/activities/health-aspects-of-air-pollution-and-review-of-eu-policies-the-revihaap-and-hrapie-projects/key-questions-for-guidance-of-eu-policies>.

17. <http://www.euro.who.int/en/health-topics/environment-and-health/air-quality/activities/health-aspects-of-air-pollution-and-review-of-eu-policies-the-revihaap-and-hrapie-projects>.

18. <http://www.euro.who.int/en/health-topics/environment-and-health/air-quality/activities/update-of-who-global-air-quality-guidelines>.

19. http://www.unece.org/fileadmin/DAM/env/documents/2019/AIR/EMEP_WGE_Joint_Session/ECE_EB.AIR_GE.1_2019_17-1909805E.pdf.

Nel 2018, Ginevra è stata teatro della Prima conferenza mondiale dell'OMS sull'inquinamento atmosferico e la salute²⁰. La Conferenza ha lanciato l'Agenda di Ginevra (Geneva Action Agenda to Combat Air Pollution, OMS 2018) che prevede anche l'attuazione di soluzioni volte a ridurre le attività di combustione in qualsiasi forma, maggiori interventi per tutelare le categorie più vulnerabili (cioè i bambini), sostegno alle città per migliorare la qualità dell'aria urbana, rafforzamento dell'azione congiunta dei settori finanziario, sanitario e ambientale per consentire interventi specifici finalizzati a migliorare la qualità dell'aria e a mitigare i cambiamenti climatici, e proseguire negli sforzi comuni volti ad armonizzare il monitoraggio dell'inquinamento atmosferico.

Nel contesto del Green Deal europeo, la Commissione europea ha annunciato la propria intenzione di rafforzare i provvedimenti riguardanti il monitoraggio e la modellizzazione della qualità dell'aria, nonché la creazione di piani per la qualità dell'aria. La Commissione avanzerà inoltre la

proposta di un maggiore allineamento degli standard europei sulla qualità dell'aria alle raccomandazioni COM/2019/640.

2.4.3 ALTRE ATTIVITÀ DELL'ONU

L'Assemblea per l'ambiente delle Nazioni Unite ha adottato due risoluzioni nel 2014²¹ e 2017²² e una dichiarazione ministeriale nel 2019²³ che invitano gli Stati membri ad adottare provvedimenti significativi per contrastare l'inquinamento atmosferico e per migliorare la qualità dell'aria in tutto il mondo. La dichiarazione ministeriale è incardinata su tali risoluzioni e impegna gli stati a migliorare i sistemi e le tecnologie di monitoraggio dell'aria ambiente, nonché a promuovere le capacità nazionali per la gestione dei dati ambientali. Essa invita inoltre l'UNEP a potenziare la cooperazione e la condivisione delle informazioni a tutti i livelli tra Stati membri, al fine di affrontare la tematica dell'inquinamento atmosferico transfrontaliero.

20. <https://www.who.int/airpollution/events/conference/en/>.

21. Resolution 1/7 on Air Quality. (https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/17135/UNEA1_Resolution7AirQuality.pdf?sequence=1&%3BisAllowed=).

22. Resolution 3/8 on Preventing and reducing air pollution to improve air quality globally. (<https://papersmart.unon.org/resolution/uploads/k1800222.english.pdf>).

23. Ministerial Declaration: Towards a pollution-free planet (<https://papersmart.unon.org/resolution/uploads/k1800398.english.pdf>).



3. DESCRIZIONE DEGLI INQUINANTI E DEI PROCESSI ATMOSFERICI NELLE ALPI

La qualità dell'aria nella regione alpina e la sua variabilità spaziotemporale sono il complesso risultato di emissioni, meteorologia alla mesoscala e locale, e morfologia. L'altezza delle montagne nell'intera regione varia da medio-alta ad alta, con molte vallate alpine dalle forme differenti, spesso strette e relativamente lunghe. La grande differenza di quota tra fondovalle e cime determina pendii estremamente ripidi. La maggior parte dei circa 14 milioni di abitanti della regione alpina vive nelle valli, dove sono collocate strade principali ed autostrade. Ciò significa che le emissioni antropogeniche nelle Alpi interessano principalmente le vallate, mentre la distribuzione spaziale delle emissioni al loro interno è determinata (a) dalla distribuzione della popolazione residente e (b) dalla presenza di autostrade che concentrano il traffico interregionale. Il 45% circa di tutta la popolazione alpina vive in comuni con meno di 5.000 abitanti (Price M.F. et al., 2011), mentre più della metà degli abitanti vive in città di dimensioni medie, nelle immediate vicinanze, oppure vive nelle poche grandi città.

3.1 PROCESSI METEOCLIMATICI

Per comprendere l'inquinamento atmosferico (e la deposizione) nelle Alpi occorre tenere conto di una serie di processi meteorologici:

- il trasporto su lunghe distanze (> 100 km) verso la regione alpina di inquinanti emessi in territorio non alpino, il sollevamento ed il trasporto di masse d'aria, la maggiore deposizione dovuta alle precipitazioni legate alla topografia e all'orografia del territorio;
- il trasporto di inquinanti dalle pianure nei pressi delle Alpi verso le valli e lungo i versanti;

- la brezza di valle diurna e la brezza di monte, che trasportano e diluiscono l'inquinamento nei sistemi vallivi;
- le condizioni di dispersione atmosferica, innescate dalla distribuzione verticale della temperatura;
- le complesse interazioni di trasporto, formazione e deplezione dell'ozono su scale spaziali e temporali differenti.

Le dinamiche relative all'inquinamento atmosferico dipendono inoltre dall'ampiezza e lunghezza delle vallate e dal loro orientamento rispetto ai venti sinottici²⁴.

3.1.1 LA METEOROLOGIA DELLE ALPI FAVORISCE L'INQUINAMENTO ATMOSFERICO

Le situazioni meteorologiche tipiche delle Alpi seguono un andamento stagionale. Tra l'estate e l'inverno si possono riscontrare differenze significative che influenzano i movimenti delle masse d'aria, la tipologia e intensità delle emissioni primarie, e i fenomeni che portano a formazione, trasporto, diluizione e deplezione degli inquinanti.

Nelle Alpi europee sono state identificate otto regioni climatiche estremamente diverse (Sturman A. e Wanner H., 2001): *l'alta regione alpina*, caratterizzata da tempo freddo e umido; *l'alta regione continentale alpina*, con un clima generalmente più secco; *le Alpi sudoccidentali*, la *fascia pedemontana settentrionale* e *le Prealpi occidentali*, tutte influenzate da masse d'aria calda provenienti da sud, dal Mediterraneo, con inverni generalmente umidi ed estati secche; *le valli alpine interne* ca-

²⁴ I venti sinottici sono creati dal differenziale di pressione atmosferica, a prescindere da ogni effetto dovuto a rilievi o convezione (come, ad esempio, il vento di favonio o föhn).

ratterizzate da clima continentale secco; le *Prealpi settentrionali e orientali*, con clima continentale ed estati piovose; la *fascia pedemontana sudoccidentale* con stagioni intermedie piovose (Egger I. e Hoinka K.P., 1992).

Con la loro forma ad arco, le Alpi spesso contribuiscono a generare tre diversi sistemi di venti freddi che si formano per effetto di un insieme complesso di blocco e incanalamento: il mistral nella valle del Rodano occidentale, la bise tra il Giura e le Alpi, a nord, e la bora sulla costa adriatica ESE delle Alpi (Tibaldi S., Buzzi A., Speranza A., 1990). Inoltre, condizioni avverse causate da vento su macroscale, a sua volta innescato da grandi sistemi di pressio-

ne atmosferica, generano il föhn (o favonio), che soffia da nord o da sud.

Un'altra caratteristica importante del contesto alpino sono i venti locali di origine termica, soprattutto in presenza di un debole gradiente di pressione (Sturman A. e Wanner H., 2001). Durante l'estate, lo strato di rimescolamento evolve rapidamente nel corso della giornata, per via della forte insolazione, consentendo una rapida diluizione e rimescolamento degli inquinanti prodotti localmente.

Nel corso dell'inverno (e meno frequentemente dell'autunno), le condizioni meteorologiche di calma di vento associate a un'estesa alta pressio-

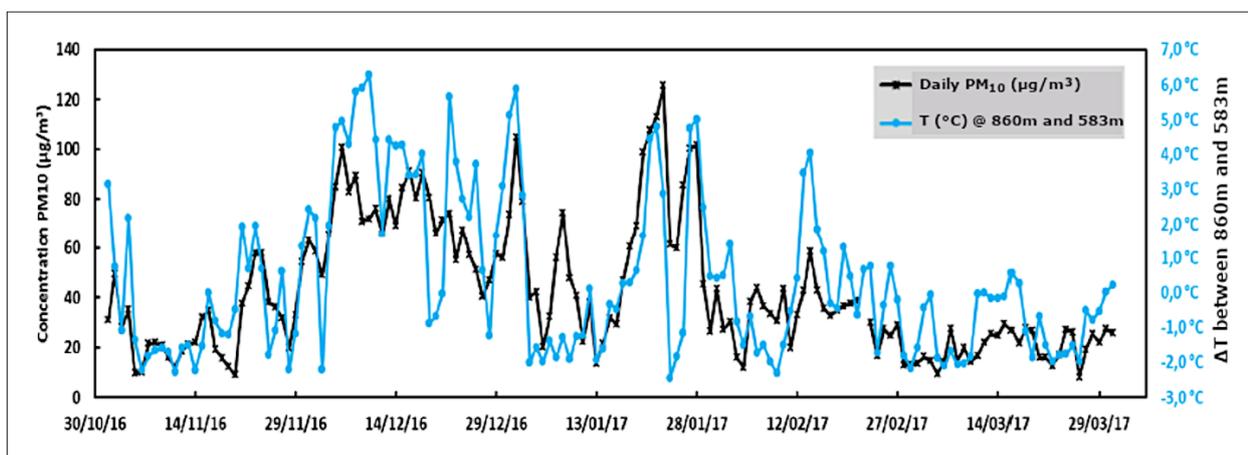


Figura 2: Correlazione tra la differenza di temperatura a due altitudini e il PM_{10} nella valle dell'Arve (Favez O. et al., 2017a). La linea blu indica la differenza di temperatura tra le quote di 583 m e 860 m in gradi Celsius e la linea nera indica la media giornaliera della concentrazione di PM_{10} nella valle (in $\mu g/m^3$). Le due linee variano insieme, suggerendo che differenze di temperatura maggiori tra bassa e alta valle sono correlate a un maggiore inquinamento da PM_{10} .

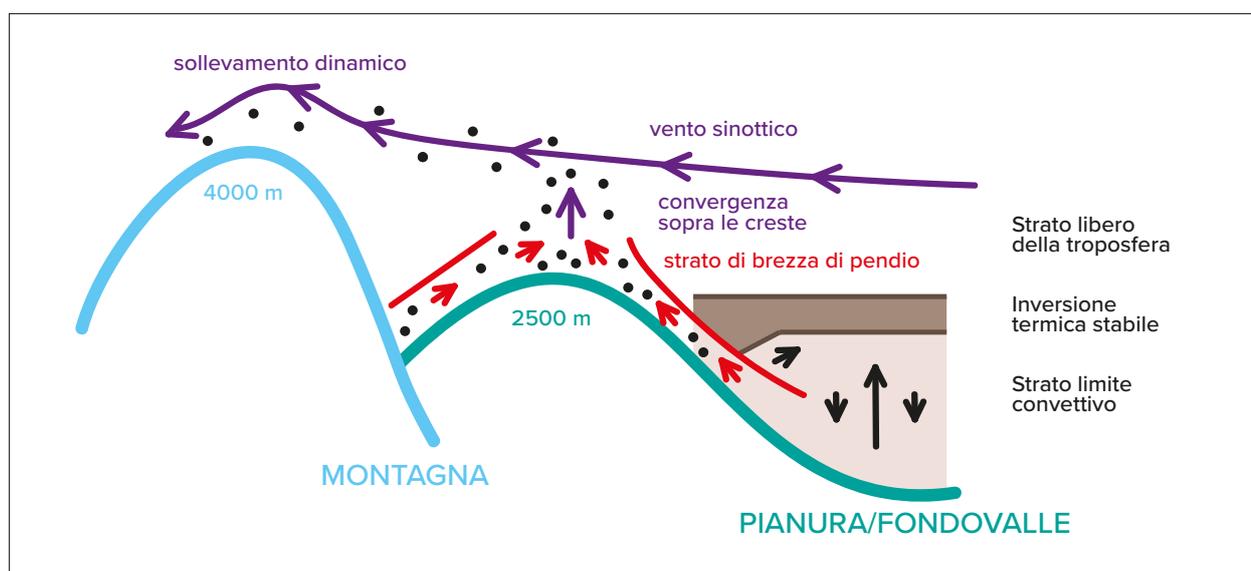


Figura 3: Schema dei processi che trasportano lo strato d'aria limite inquinato dalle pianure e vallate adiacenti fino al livello delle cime alpine più alte. Da qui gli inquinanti possono entrare nell'atmosfera libera. (Per gentile concessione di Seibert P. et al., 1996, adattamento).

ne sono piuttosto frequenti (p.es. Diemoz H. et al., 2019a). Tali condizioni portano a stabilità atmosferica: l'inversione termica persiste per diversi giorni e influenza fortemente la qualità dell'aria, dato che una scarsa altezza dello strato di mescolamento, abbinata a un basso mescolamento verticale in condizioni di inversione, riducono la dispersione e diluizione degli inquinanti (figura 2). Occorre notare che, se un'inversione ha luogo nella regione alpina, un'altezza di inversione a 800 m s.l.m. potrebbe corrispondere a meno di 200 m sopra le vallate, rendendo i fenomeni particolarmente critici nelle valli, in termini di accumulo e concentrazione di inquinanti rilevati nell'atmosfera a livello del suolo. Inoltre, se il suolo è innevato, l'aria

può rimanere stabilmente stratificata nel corso dell'intera giornata e anche per diversi giorni consecutivi. Di giorno, gli strati più bassi di norma si mescolano bene, ma spesso un'inversione termica persistente nella valle previene un completo mescolamento verticale (Heimann D. et al., 2007; rapporto ALPNAP cap. 4).

Una condizione prolungata di stabilità atmosferica, con strati di aria fredda a livello del suolo che persistono nel fondovalle, è caratterizzata da un'inversione termica estremamente stratificata. Ciò causa la soppressione del mescolamento verticale degli inquinanti e comporta un accumulo degli stessi nella bassa troposfera (Chemel C. et al.,

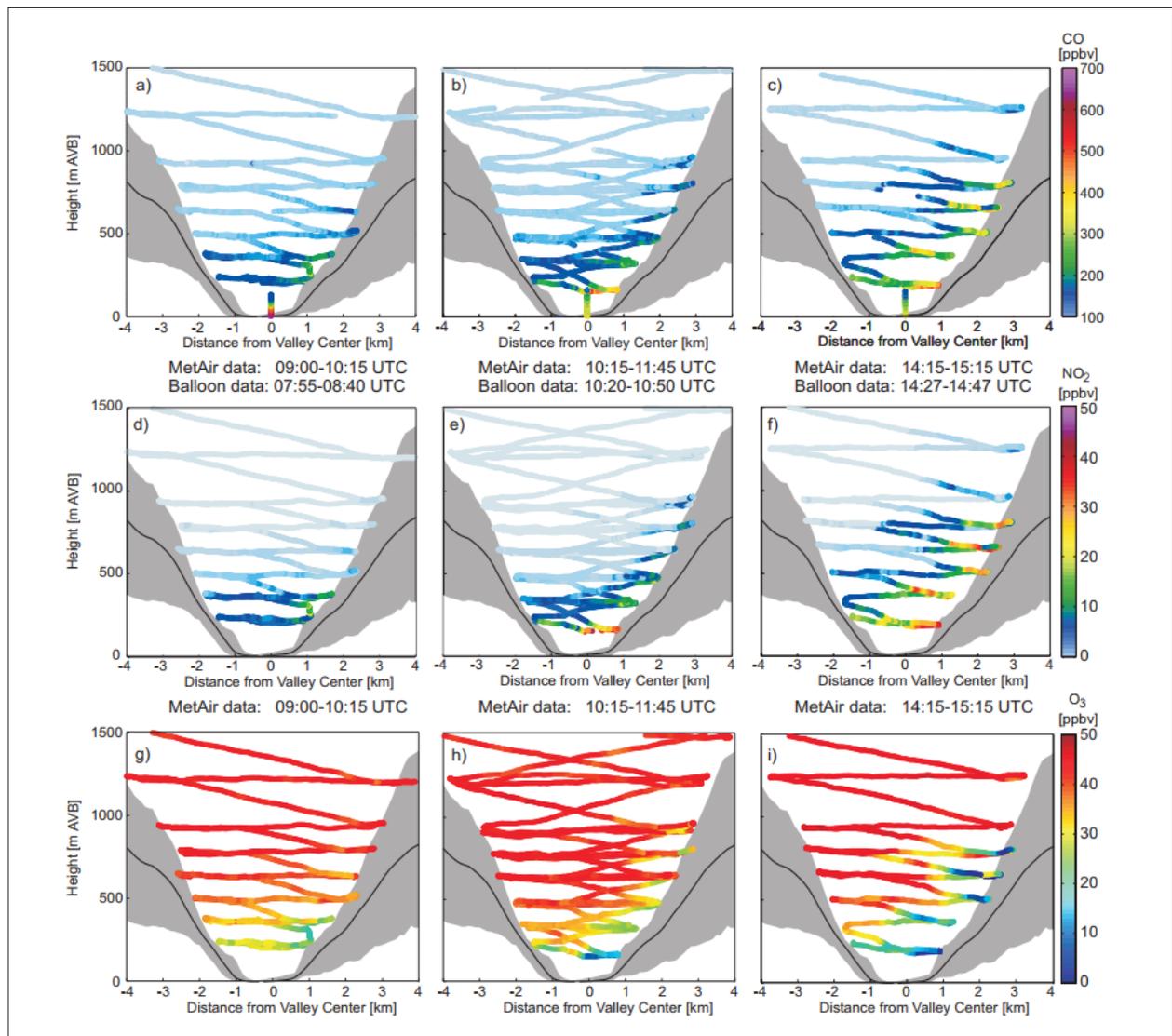


Figura 4: I trend delle concentrazioni invernali di CO, NO₂ e O₃ nella valle dell'Inn riferiti alle loro distribuzioni in funzione del tempo e dello spazio.

Le tre righe riportano rispettivamente la distribuzione delle concentrazioni di CO, NO₂ e O₃ nella valle dell'Inn (Tirolo, AT) il 1 febbraio 2006 di mattina (prima colonna), prima di mezzogiorno (seconda colonna) e nel pomeriggio (terza colonna). La prospettiva guarda la valle verso sudovest. Il versante soleggiato si trova pertanto sulla destra. (Per gentile concessione di Schnitzhofer R. et al., 2009).

2016). Nella regione alpina, le vallate sono sostanzialmente caratterizzate da stabilità atmosferica: questo, combinato con la presenza di molte sorgenti di emissione, causa significative concentrazioni atmosferiche di aerosol secondari nelle valli.

Come illustrato nella figura 3, in condizioni di tipico andamento diurno del mescolamento montagna-valle dell'aria, di mattina si osservano strati d'aria estremamente inquinati nel fondovalle per via della stabilità atmosferica invernale, mentre le brezze di monte cominciano a soffiare attorno a mezzogiorno, consentendo uno scambio verticale delle masse d'aria. Di conseguenza, nel pomeriggio le concentrazioni di inquinanti calano nel fondovalle, mentre le stesse aumentano sul versante soleggiato della valle fino a 1300 m di quota

(Schnitzhofer R. et al., 2009).

La figura 4 mostra i trend delle concentrazioni invernali di CO , NO_2 e O_3 riferiti alle loro distribuzioni in funzione del tempo (dal mattino presto al pomeriggio) e dello spazio (lungo un transetto dalla valle fino alla cima della montagna). Il versante soleggiato della montagna è sulla destra della figura. Per CO e NO_2 si osserva un aumento progressivo della concentrazione (la scala cromatica tende al giallo-rosso, che corrisponde a valori più alti) lungo il versante soleggiato della montagna, dal primo mattino al pomeriggio. Al contempo, sullo stesso versante (e nella valle) diminuisce la concentrazione di O_3 . Ciò è dovuto alla reazione di formazione (titolazione) di NO_2 da NO appena emesso e O_3 , dato che la reazione consuma O_3 e NO per formare NO_2 .

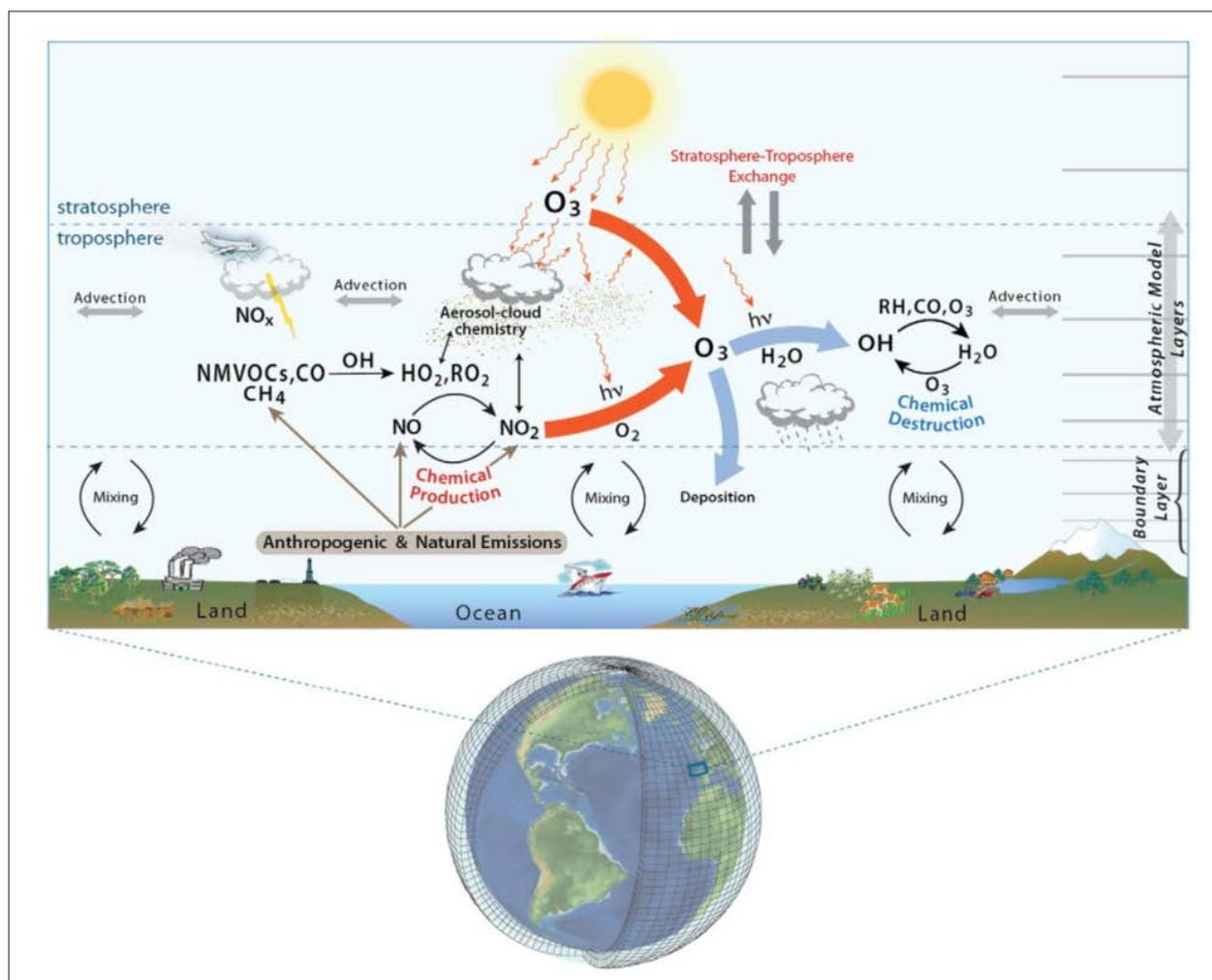


Figura 5: Schema dei processi chimici e fisici responsabili dell'ozono troposferico.

I processi fisici includono il trasporto per avvezione, convezione, turbolenza e mescolamento dello strato limite, nonché temperatura, umidità, nuvolosità, angolo di incidenza/latitudine del sole e periodo dell'anno. I processi chimici includono la produzione e distruzione di ozono fotochimico, le interazioni tra aerosol e nubi, la deposizione umida e secca, e le emissioni di precursori da sorgenti naturali e antropogeniche. I precursori dell'ozono subiscono processi fisici analoghi a quelli dell'ozono. (Per gentile concessione di Young P.J. et al., 2018).



3.1.2 REGIMI DI OZONO

Durante l'estate destano particolari preoccupazioni gli inquinanti fotochimici, soprattutto l'ozono. Come regola generale, i processi che influenzano fortemente le variazioni nella concentrazione di ozono sono il trasporto su lunghe distanze per avvezione, il mescolamento verticale, la formazione di ozono innescata dalla radiazione UV e la deposizione secca. La figura 5 mostra una sintesi dei principali meccanismi di produzione e distruzione dell'ozono.

I livelli di fondo della concentrazione di ozono nelle Alpi sono determinati sostanzialmente dal trasporto a mesoscala e dalla formazione di ozono nello strato limite da emissioni di precursori nell'Europa centrale - con contributi regionali elevati, ad esempio, dalla Pianura Padana, dalla Germania meridionale e da alcune aree orientali, con apporti elevati provenienti dal fondo continentale ed emisferico (Wotawa G. et al., 2000; Wierzbicka A. et al., 2005).

Su scala subregionale, i livelli di ozono e le loro fluttuazioni temporali sono determinati dall'andamento della circolazione diurna (circolazione della brezza di valle e di monte, si vedano la figura 4 e la sezione 3.1.1).

Anche la presenza di emissioni di precursori antropogenici, e di composti organici volatili (COV) biogenici (come terpene, isoprene e altri) nelle valli adiacenti può avere un notevole impatto sui livelli di ozono. I rapporti tra presenza di precursori, andamento spaziale e temporale e reazioni chimiche di formazione/deplezione di ozono si sono rivelati complessi e non lineari. In diversi studi è stato riscontrato che la produzione di ozono è parzialmente regolata dalla presenza di COV e NO_x (Mazzuca G.M. et al., 2016 e relativo riferimento). Ad esempio, terpene e isoprene possono contribuire in misura significativa alla produzione di ozono per via della reazione con il radicale idrossile (Derognat C. et al., 2003): l'impatto delle emissioni biogeniche di isoprene e terpene sui livelli delle specie fotochimiche è stato oggetto di diversi studi (Agenzia federale per l'ambiente tedesca, 2019). Tra questi, uno studio condotto nell'area di Grenoble ha evidenziato un notevole contributo (59% circa) dei COV biogenici ai COV non metanici (COVNM). Data la presenza di foreste decidue e pinete nelle montagne che circondano la città, le emissioni biogeniche potrebbero in effetti avere un ruolo nell'inquinamento da ozono, soprattutto in presenza di condizioni estremamente secche, come durante le ondate di calore (Chaxel E. e Chollet J.P., 2009). Si tratta di una caratteristica importante, che evidenzia la necessità di compren-

dere i processi più rilevanti a livello locale, per indirizzare correttamente le strategie di abbattimento.

Le concentrazioni massime di ozono si manifestano intorno a mezzogiorno, poiché la formazione nei punti di maggior concentrazione dei precursori si somma a un livello di fondo già elevato, dovuto a un intenso mescolamento. Nel tardo pomeriggio, la brezza di valle si indebolisce progressivamente: l'atmosfera diventa stabile e le concentrazioni di ozono diminuiscono per via della titolazione dell'ozono ad opera del monossido di azoto accumulato nello strato superficiale, e della deposizione secca. Sebbene l'ozono di fondo sia in gran parte dovuto a fenomeni di mesoscala, le sorgenti locali di precursori possono occasionalmente svolgere un ruolo importante nel ciclo giornaliero osservato dell'ozono.

Le ondate di calore potranno manifestarsi con maggiore frequenza in futuro per via del riscaldamento globale. Tali fenomeni sono caratterizzati da temperature e secchezza del suolo persistenti, con temperature elevate la notte e crescente secchezza della copertura arboreo-arbustiva ed erbosa durante l'episodio. L'evidenza dei possibili effetti delle crescenti temperature sulle maggiori concentrazioni di ozono è stata stimata dalle simulazioni di modellizzazione. In uno studio che simulava un aumento di temperatura di 1° C nel modello, le dinamiche atmosferiche sono risultate pressoché immutate. Pertanto, si era assunto che l'aumento di ozono fosse dovuto alla cinetica delle reazioni chimiche. Gli autori hanno osservato in particolare che temperature elevate innescano la formazione di radicali, che accelera la produzione di ozono, tranne nei centri cittadini, dove prevale la titolazione dell'ozono da parte di NO (Chaxel E. et Chollet J.P., 2009).

3.1.3 TRASPORTO SU LUNGHE DISTANZE DI MASSE D'ARIA

Il trasporto su lunghe distanze può convogliare masse d'aria inquinate sulle Alpi, dove il loro innalzamento innesca la distribuzione verticale degli inquinanti lungo il transetto montano.

Inquinanti organici persistenti (POP)

L'avvezione di masse d'aria trasportate su lunghe distanze è considerata in letteratura il fattore principale che contribuisce ai livelli di POP rilevati nell'aria, nella neve, nell'acqua e nel suolo in siti di alta montagna. La parte sommitale delle

montagne può trattenere i POP per via delle basse temperature presenti ad alta quota (Finizio A. et al., 2006). Nell'ambito del progetto MONARPOP (Offenthaler I. et al., 2009; Weiss P. et al., 2015) sono stati monitorati gli inquinanti organici in siti remoti delle foreste alpine di Austria, Germania, Italia, Slovenia e Svizzera. Si è osservato che le concentrazioni di IPA negli aghi di abete e nel suolo erano superiori alle relative emissioni nel territorio alpino, indicando che le Alpi sono un'area di accumulo per gli IPA provenienti dalle zone circostanti per avvezione.

Nei sistemi alpini, le foreste possono rappresentare un comparto importante, in grado di intercettare il movimento dei POP verso quote maggiori e di trattenerli nella sostanza organica dei ricchi suoli delle foreste (McLachlan M.S. et al., 1998; Wania F. et al., 2001; Meijer S.N. et al., 2003). La vegetazione funge da comparto intermedio per lo scambio di POP tra l'atmosfera e il suolo (Jaward F.M. et al., 2005).

Materiale particolato:

L'impatto del trasporto su lunghe distanze sulla concentrazione e la composizione del particolato ambientale nei siti di fondo ad alta quota in Europa è stato esaminato anche nel progetto CARBOSOL. In un'analisi della traiettoria delle masse d'aria, sono emersi episodi di emissioni prodotte da processi di combustione di fonti fossili e di biomasse dai paesi baltici: dalla Bielorussia, dalle regioni occidentali della Russia e dal Kazakistan che sono stati ritenuti concausa degli alti livelli di PM primaverili e autunnali (Salvador P. et al., 2010).

Inoltre, la regione alpina è anche vicina alla Pianura Padana, dalla quale si osservano contributi di masse d'aria arricchite di aerosol secondario inorganico (solfato e nitrato di ammonio) ed organico (Diemoz H. et al., 2019b). La fenomenologia di episodi ricorrenti di strati di aerosol trasportati dai venti nelle Alpi italiane nordoccidentali è stata analizzata attentamente, utilizzando un dataset integrato di misure multi-sito e multi-sensore con strumenti modellistici (Diemoz H. et al., 2014; Diemoz H. et al., 2019a; Diemoz H. et al., 2019b) focalizzato sulla Valle d'Aosta. In media, si hanno condizioni favorevoli allo sviluppo dell'avvezione in una percentuale di giorni superiore al 50% (sulla base di tre anni di osservazione); i venti sinottici soffiano soprattutto da est (Pianura Padana) a ovest, in particolare durante la stagione fredda. In queste condizioni, le concentrazioni di massa di PM_{10} possono aumentare fino a una media giornaliera di $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Le particelle trasportate con dimensioni comprese nella moda di

accumulazione (particelle di dimensioni tra $0,07$ e $1 \mu\text{m}$) contribuiscono maggiormente alle accresciute concentrazioni di massa. Le analisi chimiche rivelano un aumento della frazione secondaria inorganica, composta da nitrato, solfato e ammonio, confermando la probabile origine (cioè la Pianura Padana).

3.1.4 L'IMPATTO DEI CAMBIAMENTI CLIMATICI SULLA QUALITÀ DELL'ARIA NELLE ALPI

Il clima influenza in particolar modo l'ecosistema, ma anche i processi di scambio con l'atmosfera (emissioni e deposizione). I cambiamenti climatici influiscono sulla distribuzione delle masse d'aria, sul mescolamento e sulla struttura verticale dell'atmosfera, nonché sulla cinetica della chimica di quest'ultima. Attualmente disponiamo ancora di informazioni ed evidenze limitate su come i cambiamenti climatici influenzino la qualità dell'aria. Si prevede che i cambiamenti climatici influenzino il trasporto su scala regionale, la ventilazione delle vallate alpine ed il mescolamento verticale dovuto alle mutate zone climatiche e di vegetazione lungo i versanti delle valli alpine. Ciò influisce su tutti i costituenti atmosferici, ma diversi indicatori della qualità dell'aria sono soggetti ad effetti più specifici legati ai cambiamenti climatici.

Gli ossidi di azoto, soprattutto l' NO_2 , dovrebbero diminuire in linea con la riduzione delle emissioni antropogeniche di NO_x associata alle variazioni nei settori dei trasporti e dell'energia (si veda la sezione 3.2.2). Il potenziale cambiamento della chimica dei radicali, con effetti sul tempo di vita dei NO_x , è considerato di minore importanza (si veda più avanti).

Per quanto concerne l'ozono, sono noti due effetti contrapposti, con un trend ancora poco chiaro. Da un lato, la riduzione nelle emissioni antropogeniche di NO_x lascia prevedere una minore produzione fotochimica di ozono a livello regionale e locale, il cui fattore limitante è sostanzialmente la concentrazione di NO_x . Dall'altro, minori emissioni di NO producono minori perdite per titolazione e, pertanto, livelli più alti di ozono in prossimità delle aree di emissione. Inoltre, si prevede che una maggiore frequenza di ondate di calore associate a periodi di siccità riduca la velocità di deposizione dell'ozono a causa di una maggiore resistenza stomatica della vegetazione sotto stress idrico (Lin M. et al., 2020). Ulteriori aspetti quali le variazioni nella chimica dei radicali legate alle radiazioni UV, livelli di inquinanti e cambiamenti cinetici sono solo speculazioni e non possono ancora essere oggetto di stime affidabili. Nel complesso, è importante monitorare gli effetti sul "sistema ozono"

delle variazioni dei precursori e dei meccanismi di trasporto all'evolvere dei cambiamenti climatici.

I cambiamenti climatici influenzano anche il PM. L'aumento delle temperature invernali ridurrà le emissioni di PM legate al riscaldamento. Le variazioni nella composizione e distribuzione della vegetazione sui versanti delle valli alpine, le crescenti temperature e i periodi vegetativi più lunghi modificheranno e potranno incrementare le emissioni di COV biogenici e contribuire ad aumentare i livelli di aerosol organico secondario (SOA).

3.2 SORGENTI

Le sorgenti principali di inquinanti atmosferici nella regione alpina sono legate alle attività antropogeniche locali; ai primi posti si attestano la combustione di biomasse e il traffico stradale (Price M.F. et al., 2011).

Altre sorgenti locali includono l'agricoltura e, in un numero limitato di siti, l'industria, le centrali elettriche o le centrali di teleriscaldamento. Anche le emissioni di COV biogenici, come quelle

Anno (stagione ^(a))	Sito (nazione)	Valle o area	Contributo a PM ₁₀ (In % di massa di PM)			Riferimenti
			% combustione biomasse	% traffico	% aerosol secondario (SA) ^(b)	
2008 (w)	Erstfeld (CH)	Erstfeld	21 - 30	15 - 30	15 - 25	Ducret-Stich R.E. et al., 2013a Progetto finanziato dall'Ufficio Federale Svizzero per l'Ambiente
2008 (s)			8 - 15	13 - 15	35 - 40	
2010 (y)	Lanslebourg (FR)	Maurienne	57	31	9	Progetti Lanslebourg 2010-2014 (in: Favez O. et al., 2017a; Relazione del progetto SOURCES)
2010 (y)	Lescheraines (FR)	Auvergne-Rhone-Alpes	58	6	n.d.	PARTICUL'AIR (in: Favez O. et al., 2017a; Relazione del progetto SOURCES)
2010 (y)	Grenoble (FR)	Auvergne-Rhone-Alpes	42	10	n.d.	FORMES (in: Favez O. et al., 2017a; Relazione del progetto SOURCES)
2013-14	Air RA (FR)	Auvergne-Rhone-Alpes	21	2	~ 20	AERA (in: Favez O. et al., 2017a; Relazione del progetto SOURCES)
2013-14 (w)	Chamonix (FR)	Arve	70	5	15	Favez O. et al., 2017a; Relazione del progetto SOURCES
2013-14 (s)			10	5	35	
2013-14 (w)	Marnaz (FR)	Arve	64 - 71	4 - 8	8 - 12	DECOMBIO (in: Favez O. et al., 2017a; Relazione del progetto SOURCES)
2013-14 (s)			< 3	8	30 - 35	
2013-14 (w)	Passy (FR)	Arve	66 - 74	4 - 8	12 - 15	
2013-14 (s)			< 3	5 - 10	40 - 50	
2013-14 (w)	Chamonix (FR)	Arve	57 - 62	3 - 14	18 - 21	
2013-14 (s)			5 - 10	7 - 12	38 - 43	

Tabella 4: Contributo di combustione di biomasse, traffico e formazione secondaria di aerosol alla concentrazione di PM₁₀ in alcune valli alpine. (a) inverno = w (Winter), estate = s (Summer), annuale = y (year). (b) Il SA è riportato come somma di tutti le componenti inorganiche e organiche disponibili da ognuno degli studi.

legate alla copertura forestale, possono risultare significative in alcune parti delle Alpi. Inoltre, le dinamiche e i processi atmosferici, soprattutto il trasporto su lunghe distanze e la stabilità atmosferica, interagiscono in modo determinante con le sorgenti per via della topografia specificatamente alpina.

Esaminare la responsabilità di ogni sorgente di inquinamento atmosferico è fondamentale per sviluppare politiche in materia di qualità dell'aria incentrate in primo luogo sulle cause dell'inquinamento. Per quanto concerne il particolato atmosferico, ad esempio, in molti siti alpini il contributo della combustione di biomasse al PM_{10} è paragonabile (se non superiore) a quello del traffico stradale (Gianini M.F.D. et al., 2012). Questo aspetto risulta evidente dalla tabella 4, che mostra i risultati di studi di *source apportionment* e di progetti incentrati sulla regione alpina ottenuti per siti vallivi. I valori evidenziano i contributi quantitativi (in percentuale della massa di PM_{10}) delle tre fonti principali che contribuiscono alla massa del PM, ovvero combustione di biomasse, traffico veicolare e aerosol secondari.

3.2.1 COMBUSTIONE DI BIOMASSE

Le biomasse trovano impiego da secoli nelle Alpi per cucinare, riscaldare e produrre acqua calda. Nel corso degli ultimi due decenni si è favorito l'impiego di biomasse per sostituire i combustibili fossili e stimolare l'economia locale. Gli incentivi legali, finanziari e istituzionali hanno aumentato la percentuale delle biomasse nel mix energetico del settore domestico e nel settore energetico (produzione di energia elettrica e teleriscaldamento). D'altro canto, i sistemi di riscaldamento a legna sono causa di deforestazione di alcune regioni e una sorgente di emissioni di particolato, black carbon, COV e IPA (p.es. BaP). Molti studi hanno evidenziato l'importanza della combustione delle biomasse come fonte emissiva di inquinanti gassosi e di particolato, indicandola quale la sorgente principale di aerosol carboniosi nella stagione fredda nella regione alpina. In effetti, la combustione del legno nelle stufe domestiche è diffusa ed è la fonte principale o aggiuntiva di riscaldamento residenziale (Szidat S. et al., 2007; Gilardoni S. et al., 2011; Pietrodangelo A. et al., 2014; Piot C., 2011; Herich H. et al., 2014). Per ridurre gli effetti avversi della combustione di bio-

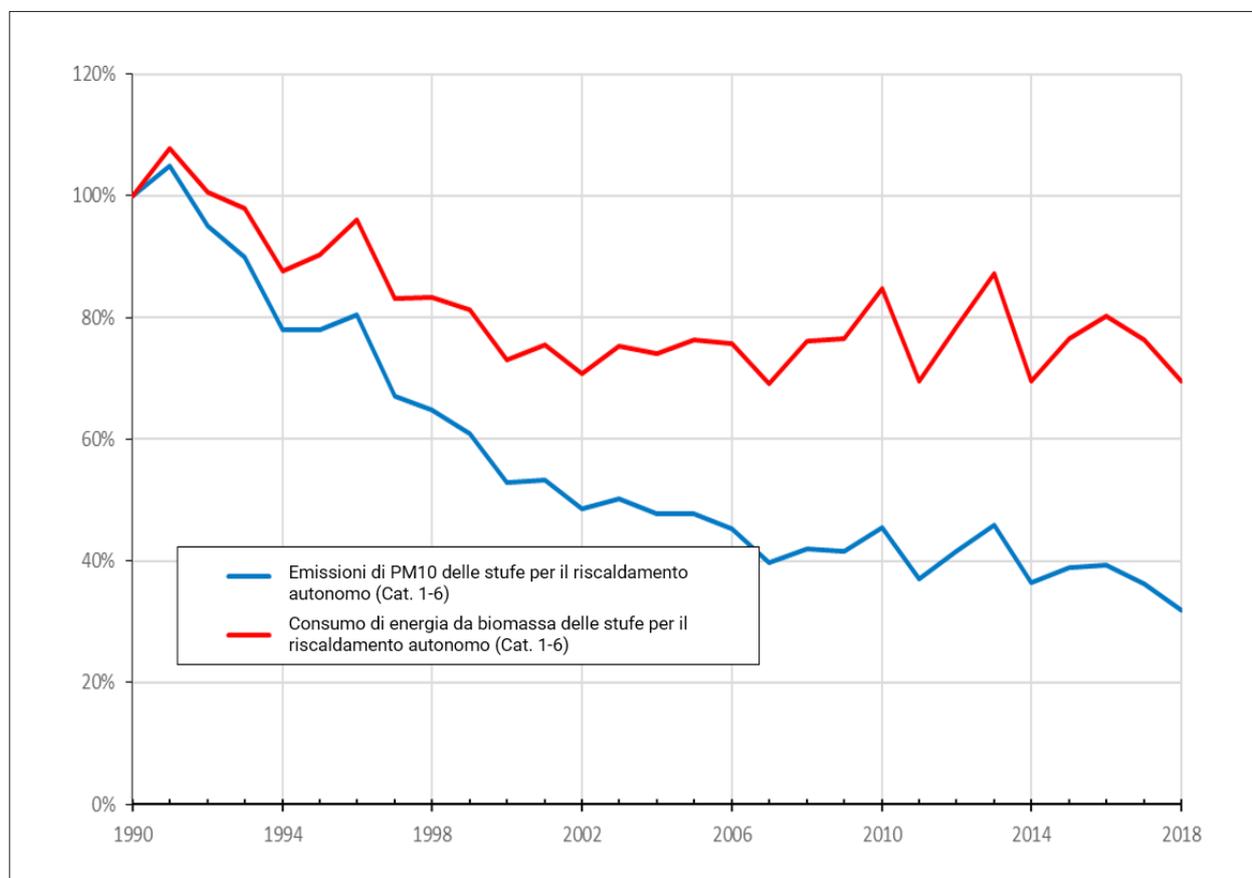


Figura 6: Evoluzione temporale delle emissioni delle stufe per il riscaldamento autonomo in Svizzera.



masse è stato predisposto un quadro giuridico che comprende valori limite per piccoli impianti ad uso domestico, impianti di teleriscaldamento su media e grande scala, e centrali termiche.

Le recenti statistiche nazionali delle emissioni di particolato da stufe a legna mostrano valori diversi. In Austria, ad esempio, le emissioni sia di PM_{10} che di $PM_{2.5}$ sono calate rispettivamente del 30% e 40% tra il 1990 e il 2017; come anche le emissioni dal settore domestico sono scese del 32-34%. In Svizzera, le emissioni di PM_{10} e $PM_{2.5}$ da stufe a legna sono diminuite di due terzi circa tra il 1990 e il 2018, come mostra la figura 6, mentre il loro consumo energetico è diminuito del 30%. Il calo è il risultato di un insieme di misure, che comprendono sensibilizzazione, incentivi, sviluppo tecnologico e strumenti legali. Vi sono tuttavia differenze tra gli stati federati austriaci, p.es. in Tirolo e nel Vorarlberg (2 stati federati austriaci della regione alpina) il calo delle emissioni nel settore domestico non è stato tanto pronunciato quanto in altri stati federati del Paese. In effetti, in linea generale le emissioni di PM sono calate nel corso degli ultimi dieci anni, ma occorre analizzare in maniera più approfondita il contributo relativo della combustione di biomasse rispetto al totale delle emissioni del territorio alpino.

Le emissioni derivanti dalla combustione di biomasse sono particolarmente ricche di specie organiche e metalli (Zhang W. et al., 2014; Pietrodangelo A. et al., 2014; Hasan M. et al., 2009; Wierzbicka A. et al., 2005; Avakian M.D. et al., 2002; Lighty J.S. et al., 2000), le prime sono presenti sia in fase gassosa che particellare, i secondi essenzialmente nella fase particellare (metalli). Tutte le componenti particellari dei fumi di combustione di biomasse (frazione organica, metallica e, in misura minore, carbonio elementare e particolato minerale) rientrano nella frazione fine ($PM_{2.5}$, PM_{10}) o ultrafine (UFP: inferiore a 100 nm) del particolato atmosferico e possono pertanto essere inalati e raggiungere le vie respiratorie più profonde. Ne consegue che l'efficienza di combustione delle stufe domestiche a biomassa svolge un ruolo chiave ai fini della tutela della salute umana.

In uno studio condotto in Italia, in un'area semirurale, il 30-70% degli IPA nel PM_{10} dell'aria ambiente è risultato provenire dalla combustione del legno in autunno e in inverno (Van Drooge B.L. e Ballesta P.P., 2009). Nel periodo freddo, il contributo della combustione di legna alla massa di PM_{10} a volte può aumentare di oltre l'80% nelle ore notturne. Ciò è in linea con i risultati di Augusta (Baviera, Germania), dove le concentrazioni massime di IPA provenienti dalla combustione di legna sono state rilevate durante la notte, con un'elevata correlazione con il levoglucosano, un tracciante specifico degli aerosol da combustione di biomassa legnosa nel particolato ambientale (Schnelle-Kreis J. et al., 2010; Elsasser M. et al., 2012; in Belis C.A. et al., 2014). È molto difficile ottenere una speciazione chimica completa dei componenti organici nelle emissioni da combustione di biomasse, data la grande varietà di famiglie di composti organici che possono essere presenti. Di recente, Stefanelli G. et al. (2019) hanno eseguito la speciazione chimica dei componenti organici nelle emissioni di diverse stufe a legna²⁵. Tuttavia, anche il contributo al contenuto di carbonio elementare nel particolato atmosferico dovuto alla combustione di biomasse non è trascurabile.

Nel 2014, uno studio ha confrontato le concentrazioni di carbonio elementare, carbonio organico e PM da diversi studi: sono stati presi in considerazione 23 siti di misurazione, la maggior parte dei quali nella regione alpina, per il periodo 2005-2010. Le concentrazioni medie più elevate di carbonio elementare dalla combustione di legna sono state rilevate nei siti di Cantù (IT), Chamonix (FR), Graz (AT), Ispra (IT), Lanslebourg (FR), Lescheraines (FR), Milano (IT), Passy (FR) e Sondrio (IT). La maggior parte di questi siti è situata direttamente nelle valli alpine, mentre le stazioni di Cantù, Graz, Ispra e Milano si trovano nella fascia pedemontana alpina. Elevate concentrazioni di carbonio elementare sono state registrate anche nei siti di Ebnat Kappel (CH), Grenoble (FR), Magadino (CH), Moleno (CH), Roveredo (CH), Zagorje (SL) e Zurigo (CH). Tutti i siti, eccetto quello di Zurigo, si trovano nelle valli alpine o prealpine, dove gli strati di inversione pos-

25. In linea generale, i fumi contengono una miscela complessa di gas organici non metanici a bassa volatilità (si veda la sezione 3.3.3.2), brown carbon (aerosol organico primario (POA)) e black carbon (BC). Le principali famiglie di composti organici identificate nel POA sono furani, idrocarburi monociclici aromatici (BTEX), idrocarburi policiclici aromatici (IPA), sostanze simili agli acidi umici (HULIS) e specie aromatiche ossigenate. I furani sono emessi attraverso la pirolisi della cellulosa, i BTEX ed IPA sono generati dalla combustione incompleta (soprattutto di legna ardente) e gli aromatici ossigenati sono sostanzialmente prodotti dalla pirolisi della lignina. La restante frazione dei fumi è ricca di gas organici ossigenati, che fungono da precursori nella formazione atmosferica di aerosol organici secondari (SOA), come descritto nella sezione 3.2.3. Le sostanze HULIS sono un componente principale del brown carbon e svolgono un ruolo chiave nei processi atmosferici (p.es. fungendo da nuclei di condensazione delle nubi, e dei cristalli di ghiaccio, favorendo la crescita igroscopica ecc.) negli scambi radiativi (elevato assorbimento di radiazione UV) e negli effetti sulla salute del particolato ambientale, dovuti all'azione di stress ossidativo cellulare (Fang et al., 2019; Tuet et al., 2019).

sono causare elevate concentrazioni di PM (Herich H. et al., 2014).

La tabella 5 riassume i fattori di emissione per una serie di tecnologie di combustibili impiegate nell'inventario nazionale austriaco sulle emissioni nell'aria. L'impiego di gasolio, GPL o gas nelle tecnologie moderne genera emissioni medie di NO_x , emissioni molto basse di $\text{PM}_{2,5}$, SO_2 e COVNM e nessuna emissione di BaP. La combustione di carbone è accompagnata da un elevato rilascio di tutti gli inquinanti. Le emissioni dalle tecnologie di combustione della legna dipendono in larga misura dal tipo di tecnologia e di biomassa impiegato: le emissioni più basse sono ottenute dalle moderne caldaie a pellet. Tuttavia, esistono sul mercato tecnologie per la combustione combinata di legna e cippato che presentano emissioni più basse rispetto ai sistemi meno recenti. Occorre notare che installando ad esempio piccoli precipitatori elettrostatici, si possono ridurre ulteriormente le emissioni di $\text{PM}_{2,5}$. Bisogna tenere conto del fatto che queste tecnologie di fine ciclo implicano costi accresciuti sia in termini di investimento iniziale che di gestione.

Svizzera, Austria e Germania hanno già introdotto legislazioni volte a ridurre al minimo le emissioni di inquinanti dalla combustione di biomasse e vi sono norme severe in materia di impianti a legna in funzione delle loro dimensioni. I valori limite riassunti nella tabella 6 dovrebbero contribuire a ridurre le emissioni di PM nelle aree interessate.

La Direttiva 2009/125/CE del Parlamento europeo e del Consiglio del 21 ottobre 2009 relativa all'istituzione di un quadro per l'elaborazione di specifiche per la progettazione ecocompatibile dei prodotti connessi all'energia è entrata in vigore il 1° gennaio 2020 per gli impianti a combustione di biomasse (come i sistemi di riscaldamento a pellet). Il Regolamento (UE) 2015/1185 richiede che si inizi il 1° gennaio 2022 per gli impianti di riscaldamento più piccoli noti come "apparecchi per il riscaldamento d'ambiente locale a combustibile solido". Con questa direttiva, si standardizzano rigorosamente i requisiti minimi nei Paesi membri UE. Tuttavia, i risultati dipenderanno dai diversi regimi di controllo ed ispezione. Eseguire le misurazioni sul posto o sul banco di prova, come anche affidarle a soggetti diversi (cioè al produttore sotto forma di

Tecnologia di combustibile	$\text{PM}_{2,5}$	NO_x	COVNM	BaP	SO_2
	kg/TJ	kg/TJ	kg/TJ	g/TJ	kg/TJ
Gasolio: bruciatori a fiamma blu, a bassa temperatura o tecnologia di condensazione	1,2	33,1	0,17	0,0	0,5
Bruciatori a gas metano, a tiraggio forzato	0,2	36,6	0,20	0,0	0,3
Stufe a GPL	1,8	51,0	2,00	0,0	6,0
Stufe a carbone	122,4	132,0	333,30	33,4	543,0
Stufe a legna e da cucina	118,4	106,0	583,59	121,0	11,0
Caldaie a legna combinate	113,8	122,1	422,99	29,8	11,0
Caldaie a legna a tiraggio forzato	40,0	80,0	325,00	0,2	11,0
Caldaie a cippato con tecnologia convenzionale	80,0	107,0	432,40	8,4	11,0
Caldaie a cippato con controllo delle emissioni mediante sensore dell'ossigeno	44,0	80,0	78,00	0,6	11,0
Stufe a pellet	24,0	60,0	39,00	10,0	11,0
Caldaie a pellet	15,2	60,0	32,50	0,6	11,0

Tabella 5: I fattori di emissione per le tecnologie di combustibili selezionate per l'inventario nazionale austriaco sulle emissioni nell'aria (per terajoule di energia prodotta). Occorre notare che la distinzione tra le tecnologie di combustibile varia da paese a paese, pertanto un confronto diretto tra gli insiemi nazionali di fattori di emissione può portare a un'errata interpretazione.



Paese	Apparecchio per il riscaldamento d'ambiente locale a combustibile solido	Valori limite al 13% di ossigeno	
		CO [mg/m ³]	PM
Unione europea Regolamento (UE) 2015/1185 Decorrenza 01.01.2022	A focolare aperto	2.000	50
	A focolare chiuso	1.500	40
	A focolare chiuso a pellet	300	20
	Termocucine ^(a)	1.500	40
Austria^(b)	A focolare aperto	640	120
	A focolare chiuso	640	120
	A focolare chiuso a pellet	640	120
	Termocucine		
Francia Requisiti volontari della certificazione di qualità <i>Flammeverte</i> - nuovi apparecchi a partire dal 01.01.2020	A focolare aperto	1.250	
	A focolare chiuso	1.500	40
	A focolare chiuso a pellet	250	30
	Termocucine	1.500	40
Germania BimSchV Stufe 2 - nuovi apparecchi a partire dal 01.01.2015	A focolare aperto	1.250	40
	A focolare chiuso	1.250	40
	A focolare chiuso a pellet	250	20/30
	Termocucine	1.500	40
Italia^(c) DM 7 novembre 2017, n. 186 Già in vigore, contiene requisiti applicabili su base volontaria	A focolare aperto	1.500 - 1.250 - 650	40 - 30 - 25
	A focolare chiuso	1.500 - 1.250 - 650	40 - 30 - 25
	A focolare chiuso a pellet	364 - 250 - 250	40 - 30 - 15
	Termocucine	1.500 - 1.250 - 650	40 - 30 - 25
Liechtenstein	A focolare aperto	1.500	75
	A focolare chiuso	1.500	75
	A focolare chiuso a pellet	500	40
	Termocucine	3.000	90
Monaco	A focolare aperto	Non applicabile	Non applicabile
	A focolare chiuso	Non applicabile	Non applicabile
	A focolare chiuso a pellet	Non applicabile	Non applicabile
	Termocucine	Non applicabile	Non applicabile
Slovenia	A focolare aperto	1.250	40
	A focolare chiuso	1.250	40
	A focolare chiuso a pellet	400	30 - 20 ^(d)
	Termocucine	1.500	40
Svizzera^(e)	A focolare aperto	1.500	75
	A focolare chiuso	1.500	75
	A focolare chiuso a pellet	500	40
	Termocucine	3.000	90

Tabella 6: Confronto dei valori di emissione esistenti per impianti di riscaldamento a legna con i futuri requisiti della Direttiva relativa ai prodotti connessi all'energia (energy-related products, ErP) 2009/125/CE in combinato disposto con il Regolamento (UE) 2015/1185.

(a) «termocucina», un apparecchio per il riscaldamento d'ambiente locale che utilizza combustibili solidi, che integra in un monoblocco la funzione di un apparecchio per il riscaldamento d'ambiente locale, di un piano cottura e/o di un forno destinati alla preparazione di alimenti, ed è collegato ermeticamente a un camino o ad un'apertura del focolare o richiede un condotto per l'evacuazione dei prodotti della combustione; (b) i valori limite per le emissioni in Austria si riferiscono alla misura iniziale, per l'omologazione si applicano limiti di emissione più severi; (c) dati per l'Italia dove esiste un regime di etichettatura con valori separati per etichette energetiche a 3, 4 e 5 stelle; (d) primo valore per la potenza termica diretta, secondo per la potenza termica trasmessa al fluido; (e) per la Svizzera si applica l'Ordinanza contro l'inquinamento atmosferico, allegato 4, numero 212. Dal 1° gennaio 2022 si applicheranno anche i requisiti del Regolamento UE 2015/1185 per la commercializzazione di tali apparecchi.

autodichiarazione o a un laboratorio competente ed indipendente), comporta grandi differenze. L'implementazione della direttiva relativa alla progettazione ecocompatibile deve essere accompagnata da efficaci regimi di controllo del mercato, altrimenti consentirà l'ingresso nel mercato di stufe più economiche e più inquinanti.

3.2.2 TRASPORTO SU STRADA

Il trasporto su strada è un'importante sorgente di inquinanti gassosi (NO_2 , COV) e di particolato. Il PM delle emissioni veicolari è composto principalmente da carbonio elementare e IPA e, secondo l'OMS²⁶, i gas di scarico dei motori diesel sono di comprovata cancerogenicità. Inoltre, la circolazione veicolare su strada contribuisce alla massa di PM_{10} con polveri fini e grossolane rilasciate dall'abrasione di freni, pneumatici e dalla risospensione delle polveri stradali.

Gli effetti e le emissioni legati al traffico veicolare motorizzato non riguardano soltanto le principali vie di transito e le strade urbane nelle valli, ma anche le strade periferiche che collegano i piccoli villaggi e un gran numero di strade sterrate che raggiungono aree montane seminaturali ad alta quota. La figura 34 mostra l'ubicazione dei principali assi di trasporto che attraversano l'arco alpino. Oltre agli insediamenti permanenti di persone che vi abitano, molti turisti raggiungono queste località con l'automobile privata lungo sentieri sterrati (Convenzione delle Alpi, 2007), sia nei mesi invernali che estivi, p.es. per sciare o per attività escursionistiche (p.es. Blasco M. et al., 2006, 2008; Nascimbene J. et al., 2014). Le misure effettuate dalle stazioni mobili nei villaggi, lungo le strade vallive e in loro prossimità, identificano il traffico come sorgente principale della concentrazione numerica di particolato ultrafine, soprattutto per le particelle inferiori a 50 nm, mentre la combustione di biomasse è la fonte principale della concentrazione di massa delle UFP (Weimer S. et al., 2009).

Gli studi in letteratura rivelano che, mentre la combustione del legno riveste un'importanza simile in molte vallate alpine, le emissioni da veicoli a motore diventano sostanziali solo nelle località con un flusso di traffico estremamente elevato (Szidat S. et al., 2007; Gianini M.F.D. et al., 2012; Zotter P. et al., 2014). La forma più comune di trasporto di passeggeri nell'area è l'automobile privata, il che desta preoccupazioni nella regione alpina, poiché si prevede un aumento di tale modalità di trasporto

nel prossimo futuro (Convenzione delle Alpi, 2007). Inoltre, il traffico merci transalpino lungo le vallate alpine ha un notevole impatto sulla qualità dell'aria, dato che si somma al trasporto merci regionale e locale intra-alpino (Heimann D. et al., 2007). I siti vallivi alpini, infatti, sono influenzati in misura crescente dai gas di scarico del traffico veicolare (Ducret-Stich R.E. et al., 2013a; Ducret-Stich R.E. et al., 2013b). Molti studi mostrano il notevole aumento delle concentrazioni di inquinanti atmosferici dovuti al traffico come NO_2 , carbonio elementare e particolato nell'aria ambiente in prossimità delle autostrade o delle strade principali dei villaggi. Le persone che abitano in prossimità delle strade evidenziano un aumento statisticamente significativo di sintomi respiratori strettamente associati all'esposizione a inquinanti (Ducret-Stich R.E. et al., 2013b; Hazenkamp-von Arx M.E. et al., 2011).

La complessa topografia delle Alpi implica infrastrutture di trasporto limitate a pochi corridoi lungo le valli e attraverso i valichi, dove si concentrano le emissioni del traffico. Poiché anche molti villaggi e città nelle Alpi si concentrano nelle valli, soprattutto in quelle con le principali autostrade e linee ferroviarie (Heimann D. et al., 2007), il traffico stradale si ripercuote probabilmente su un'ampia fetta della popolazione alpina.

L'elettrificazione dei veicoli per settore (logistica urbana), l'ibridizzazione e la diversificazione di differenti tecnologie, carburanti e motorizzazioni alternativi sono processi già avviati. Sarebbe possibile posare linee elettriche aeree per il settore dei veicoli pesanti adibiti al trasporto di merci (VCP) elettrici lungo i tratti pianeggianti. I veicoli pesanti con motori diesel hanno ancora un futuro nel medio termine, ottimizzando motori e sistemi di depurazione dei gas di scarico (si veda il capitolo 7.3.4). Si prevedono pertanto miglioramenti nella qualità dell'aria delle vallate alpine, in particolare incrementando ulteriormente il trasporto combinato strada-rotaia.

3.2.3 INQUINAMENTO TRANSFRONTALIERO

Alcuni studi disponibili in letteratura affrontano l'impatto dell'industria del carbone extraeuropea. Solo una pubblicazione riferisce i risultati riguardanti l'Europa (Valverde V. et al., 2016). La combustione del carbone può produrre SO_2 , NO_2 , PM e metalli pesanti (mercurio, piombo, arsenico e cadmio) e naturalmente anidride carbonica (Global energy

26. WHO-IARC 2012: Diesel engine exhaust carcinogenic (https://www.iarc.fr/wp-content/uploads/2018/07/pr213_E.pdf).



monitor, 2019). Queste emissioni possono essere trasportate su lunghe distanze.

Molti Paesi europei hanno annunciato l'intenzione di bandire il carbone dalle loro fonti energetiche, che corrisponde al 48% del bilancio di carbonio dell'UE. Tra le Parti contraenti della Convenzione delle Alpi, Austria, Liechtenstein, Monaco e Svizzera non hanno centrali a carbone (2020), la Francia ne ha annunciato l'eliminazione progressiva a partire dal 2022, la Germania completerà la decarbonizzazione al più tardi nel 2038 e l'Italia intende abbandonare le centrali a carbone entro il 2025. In Slovenia è in funzione la 6a unità da 600 Mwe della centrale a carbone di Šoštanj, realizzata nel 2016, che rimarrà operativa sino al 2054.

Dopo un'attenta verifica della letteratura scientifica, nessuno degli studi attualmente pubblicati in materia di inquinamento atmosferico e di *source apportionment* riguardanti aree della regione alpina riporta che le centrali a carbone contribuiscano ai valori misurati di inquinamento atmosferico. Sulla base della letteratura scientifica, pertanto, tali impianti hanno un effetto trascurabile, se non del tutto assente, sulla qualità dell'aria del territorio alpino.

Sebbene da questa analisi non emerga alcuna preoccupazione specifica, l'inquinamento trasportato su lunghe distanze è un argomento importante affrontato dalla Convenzione sul trasporto dell'inquinamento atmosferico a grande distanza. Le osservazioni, i rilevamenti delle emissioni e la modellizzazione, come quelli effettuati dall'Osservatorio alpino virtuale, presentati nel capitolo 6.4, sono strumenti importanti per capire i meccanismi che possono innescare il trasporto di inquinanti e per preallertare i decisori politici e il pubblico sulla qualità dell'aria.

3.2.4 SORGENTI DI SPECIE PRECURSORI DEGLI AEROSOL SECONDARI

I precursori degli SA sono specie gassose (p.es. ammoniaca (NH_3), SO_2 , NO_x , COV) che subiscono reazioni chimiche e conversioni da gas a particella, formando particolato direttamente nell'atmosfera. La combustione di biomasse e il traffico stradale (sezioni 3.2.1 e 3.2.2) sono tra le principali sorgenti di precursori di SA. Altre sorgenti chiave di precursori nella regione alpina sono l'agricoltura e la copertura forestale. Oltre alle sorgenti di emissioni, il fattore critico alla base della formazione di SA è la stabilità atmosferica (sezione 3.1.1): essa favorisce reazioni chimiche che determinano la formazione

di particolato e che ne aumentano le concentrazioni nell'aria ambiente (Hao L. et al., 2018).

La composizione chimica degli aerosol secondari riflette la prevalenza di sorgenti diverse di precursori, in funzione della stagione, e le diverse condizioni fisiche e meteorologiche che favoriscono le reazioni per la loro formazione nell'atmosfera. Gli aerosol secondari sono un componente principale del particolato atmosferico nella regione alpina, sia in estate che in inverno, per via di due fattori principali: le maggiori emissioni da sorgenti antropogeniche primarie (sostanzialmente traffico e riscaldamento domestico) nel corso dell'inverno e le maggiori emissioni da sorgenti biogeniche (copertura forestale) nel corso dell'estate. Gli aerosol secondari sono composti sia da specie inorganiche che organiche.

La formazione atmosferica di SA inorganici (soprattutto ammonio, nitrato e solfato) è dovuta alle sorgenti antropogeniche che emettono NH_3 (agricoltura), NO_x e SO_2 (traffico, riscaldamento domestico, combustione di biomasse) come precursori. D'altro canto, la formazione atmosferica di SA organici (una miscela di molte famiglie diverse di specie organiche) è dovuta a sorgenti sia antropogeniche (sostanzialmente combustione di biomasse, traffico) sia biogeniche (copertura forestale), che emettono COV come precursori (Rouvière A. et al., 2006; Srivastava D. et al., 2019; Stefenelli G. et al., 2019).

3.2.4.1 Aerosol inorganici secondari

Gli aerosol inorganici secondari sono composti essenzialmente da nitrato di ammonio durante l'inverno e solfato di ammonio durante l'estate, a seconda degli equilibri chimici tra queste specie (Squizzato et al., 2013). I contributi tipici di SA inorganici sul totale della massa di PM_{10} nei siti vallivi della regione alpina variano nell'intervallo 5-15%, come osservato ad Aosta (Diemoz H. et al., 2019a), Chamonix e Grenoble (Weber S. et al., 2019), Lanslebourg (Besombes J.L. et al., 2014) e in altre vallate, ma in alcuni casi possono raggiungere anche il 30% (Favez O. et al., 2017a). Il peso degli SA inorganici sulla massa di PM dipende in larga misura dalle concentrazioni di ammonio (e del suo precursore, l'ammoniaca). Le concentrazioni di ammonio nell'aria delle valli alpine varia all'incirca tra 0,1 e 0,5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$: in questo intervallo i valori più alti sono osservati durante l'autunno e l'inverno (Favez O. et al., 2017a; Diemoz H. et al., 2019a). Anche per l'ammoniaca si rilevano valori simili nell'aria dei siti alpini. Thimonier A. et al. (2019) hanno confrontato i valori dell'ammoniaca misurati in aria ambiente

in Svizzera nel periodo 2000-2014, in diversi siti pascolivi alpini e in due colture intensive a pieno campo: Losanna e Vordemwald. Le concentrazioni sono risultate inferiori a $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ negli alpeggi e tra $2-4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ nei siti a coltura intensiva, senza differenze significative dal 2000 a 2014. Dato che l'ammonio (come il suo precursore, l'ammoniaca) deriva innanzi tutto dalle attività agricole, tali valori riflettono un impatto dell'agricoltura generalmente scarso sulla qualità dell'aria nella regione alpina, come già riportato in precedenza (Lighty J.S. et al., 2000; Price M.F. et al., 2011).

Le concentrazioni di ammonio nelle aree fortemente interessate dalle attività agricole, come la Pianura Padana, sono di gran lunga superiori, variando intorno a $5-30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ con media nel range $5-15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (p.es. Larsen et al., 2012); intervalli analoghi sono stati riferiti anche per l'ammoniaca nell'aria ambiente, in insediamenti agricoli di Austria e Baviera (Löflund M. et al., 2002). Tuttavia, gli stessi autori hanno rilevato un rapido calo nelle concentrazioni di ammoniaca entro un raggio di 500 m dagli insediamenti, il che suggerisce una rapida rimozione e diluizione dell'ammoniaca, pertanto il carico di NH_3 rimane solo localizzato.

3.2.4.2 Aerosol organici secondari

Nella regione alpina, durante l'inverno si formano specie organiche di aerosol secondario (dette anche SOA) dalle emissioni di COV del traffico e della combustione di biomasse, mentre durante l'estate le specie organiche del SA si formano dalla copertura forestale, che emette grandi quantità di COV, data la più elevata temperatura ambiente. In generale, una volta emessi, i COV subiscono reazioni ossidative con gli ossidanti atmosferici quali i radicali idrossilici (OH), l'ozono (O_3) e i radicali nitrati (NO_3^-) e vanno a formare particolati secondari.

Rouvière A. et al. (2006) hanno analizzato i fumi da combustione di legno di pino nella valle di Chamonix, dove la maggior parte delle foreste è composta da conifere. I risultati delle analisi indicano la presenza di aromatici (benzene, toluene, xileni), alcani (eptano, ottano, nonano) e terpeni (isoprene, limonene, α -pinene). Come è già stato menzionato, la composizione degli aerosol organici secondari è molto complessa ed è difficile determinare in maniera comprensiva tutte le famiglie di specie organiche negli aerosol secondari. Tuttavia, di recente Squizzato et al. (2013) sono riusciti ad identificare separatamente differenti contributi di sorgente al SOA e ad identificarne le differenze nella composizione chimica e nella quantità in un sito di fondo

rurale nell'area di Parigi. Di questi contributi, almeno due provenivano dalle emissioni della combustione di biomasse e un altro era legato al traffico, rappresentando assieme il 15% circa sul totale di SOA; quest'ultimo rappresentava il 75% circa degli aerosol organici totali.

Nel 2003, Andreani-Aksoyoglu S. et al. (2008) hanno analizzato il ruolo delle emissioni biogeniche nella formazione di SOA in Svizzera e in Italia. Simulazioni modellistiche hanno suggerito che il contributo dei SOA biogenici (formati dai precursori emessi dagli alberi) al SOA totale era piuttosto elevato, circa l'80% nella Svizzera settentrionale. In quest'area, il contributo biogenico proviene dalle peccete norvegesi, per via della loro abbondanza e delle elevate emissioni di monoterpene. D'altro canto, il contributo al SOA delle emissioni biogeniche è risultato sostanzialmente più basso nella Svizzera meridionale (40% circa), dove le emissioni di monoterpene sono più contenute, e nell'area inquinata dell'Italia settentrionale (Milano: 15-25%), dove le sorgenti antropogeniche contribuiscono molto più della vegetazione alla formazione di SOA. Analogamente, nel quadro del progetto DE-COMBIO (Favez O. et al., 2017a) sono stati rilevati aerosol organici secondari di origine biogenica pari al 10-30% del totale della massa di PM_{10} a Mar-naz, Chamonix e Passy.

Occorre notare che solo di recente studi di *source apportionment* hanno dimostrato come il contributo delle specie organiche alla composizione totale di SA sia generalmente paragonabile a quello delle specie inorganiche (Favez O. et al., 2017a; Srivastava D. et al., 2019). Tuttavia, mentre le sorgenti e le reazioni atmosferiche di formazione di specie di particolato inorganico secondario sono ampiamente conosciute, e ciò è di supporto nelle decisioni riguardanti le misure di abbattimento da adottare per prevenire episodi di inquinamento elevato, gli stessi aspetti sono ancora poco conosciuti per quanto concerne la formazione di specie di particolato organico secondario. In particolare, sarebbe opportuno incrementare la conoscenza relativa sia ai profili chimici delle sorgenti di COV (ovvero quali specie di COV sono emesse principalmente da quali sorgenti), sia alle reazioni atmosferiche che formano le specie secondarie a partire dai COV (soprattutto la chimica notturna dell'atmosfera, p.es. con il radicale nitrato).

Un risultato importante del progetto SOURCES per le politiche di qualità dell'aria è che esso permette di allocare le sorgenti di inquinamento alle concentrazioni globali di PM_{10} nell'aria ambiente, in modo che l'inquinamento possa essere ridotto alla



sorgente. La figura 7 mostra chiaramente l'importanza della combustione di biomasse, per esempio per quanto concerne le vallate alpine francesi. Sebbene questo studio non evidenzi un grande contributo del particolato ricco di nitrati e solfa-

ti legati all'agricoltura intensiva, questo aspetto sembra rivestire un ruolo importante in altre regioni ed è quindi necessario che sia monitorato attentamente nelle aree alpine ad agricoltura intensiva.

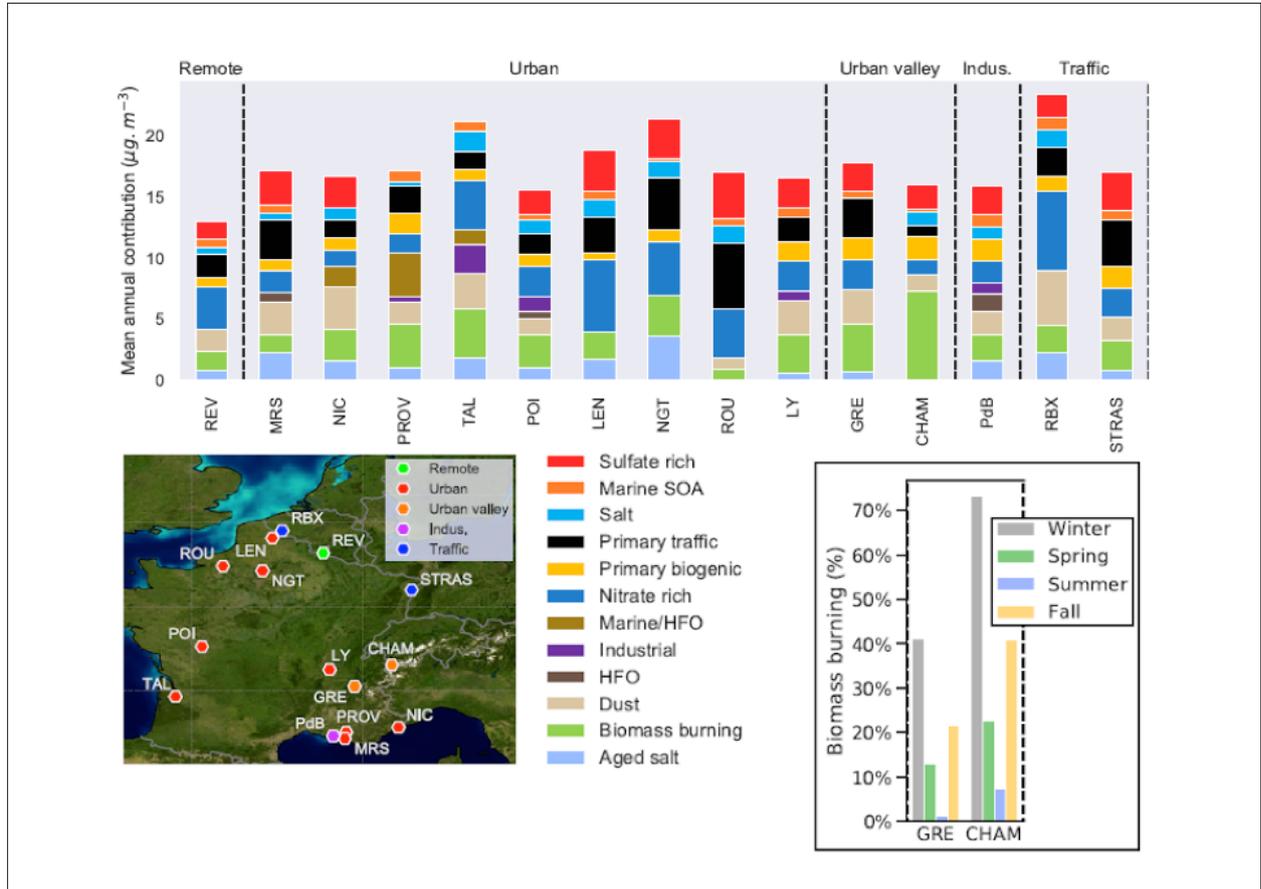


Figura 7: Risultati del progetto "SOURCES" indicanti i contributi dalle sorgenti di PM₁₀ in diverse località della Francia. Il grafico in alto mostra il contributo significativo della combustione di biomasse nelle due località alpine di Grenoble (GRE) e Chamonix (CHAM) rispetto ad altre località (per gli altri acronimi dei nomi di città si veda il riferimento bibliografico). HFO indica olio combustibile pesante, ricco di solfati (sulphate rich) significa contenente SO₄²⁻, ricco di nitrati (nitrate rich) significa contenente NO₃⁻, le polveri (dust) sono una miscela di aerosol di origine terrigena e di particelle minerali legate alle attività umane (p.es. edilizia, risospensione dovuta al trasporto su strada, ecc.) Il grafico in basso a destra mostra le variazioni stagionali nella sorgente 'combustione di biomasse' a Grenoble e Chamonix e illustra l'impatto di tale combustione in inverno. (Weber S. et al., 2019)

4. EFFETTI DELL'INQUINAMENTO ATMOSFERICO

Gli inquinanti atmosferici più importanti per i loro effetti sulla salute sono particolato ($PM_{2,5}$, PM_{10}), NO_2 , e ozono. Altri inquinanti che destano preoccupazioni sono il black carbon, gli idrocarburi policiclici aromatici (IPA) e altre famiglie di composti organici (furani, HULIS, idrocarburi aromatici ossigenati), nonché metalli pesanti nel PM. Le evidenze scientifiche dei differenti effetti avversi si basano su studi epidemiologici, tossicologici e sull'esposizione umana controllata. Al fine di valutare il carico di effetti avversi per la salute legati all'inquinamento atmosferico, l'OMS ha sviluppato delle linee guida sulla qualità dell'aria, sulla base di una valutazione della letteratura scientifica da parte di esperti (si veda la tabella 3).

4.1 EFFETTI DELL'INQUINAMENTO ATMOSFERICO SULLA SALUTE UMANA: MORTALITÀ

La mortalità associata all'inquinamento atmosferico è valutata attraverso studi epidemiologici. Le stime fornite da calcoli come questi possono variare ampiamente tra i diversi studi, in funzione anche dei metodi impiegati nella valutazione dell'esposizione; delle funzioni matematiche utilizzate, che collegano il livello di esposizione all'inquinamento atmosferico con la mortalità, tenendo conto di diversi fattori; e del livello di esposizione al quale si osserva il rischio minimo (scenario basale).

Le stime di minore aspettativa di vita dovuta all'inquinamento atmosferico variano da alcune settimane a pochi anni, a seconda della metodologia dello studio e della regione presa in esame. Le stime mondiali sono valori medi della mortalità legata all'inquinamento atmosferico in tutte le regioni (p.es. zone rurali, città inquinate), pertanto il loro potere esplicativo è limitato.

A livello mondiale, l'Health Effects Institute sti-

ma che l'inquinamento atmosferico riduca l'aspettativa di vita dei bambini di 20 mesi nati oggi (Health Effects Institute, 2019). In Europa, l'inquinamento atmosferico è il più grande rischio ambientale (AEA, 2019). L'Agenzia europea dell'ambiente (AEA) ha stimato per il 2016 il numero di anni di vita persi (YLL) attribuibile all'esposizione al $PM_{2,5}$, NO_2 e O_3 . Il Rapporto sulla qualità dell'aria 2019 dell'AEA presenta una sintesi delle informazioni sugli anni di vita persi per 41 paesi europei. Tali calcoli si basano su concentrazioni medie annuali ponderate sulla popolazione di $14,4 \mu g/m^3$ per $PM_{2,5}$ e $16,3 \mu g/m^3$ per NO_2 . Nel caso dell'ozono, è stato utilizzato l'indicatore SOMO35 (sommatoria delle differenze tra la media massima giornaliera su 8 ore e il valore di 35 ppb^{27}) di $3.811 \mu g/m^3/\text{giorno}$. Nel complesso in Europa 4,22 milioni di YLL sono attribuibili al $PM_{2,5}$, 707.000 a NO_2 , e 160.000 all'ozono. La media di YLL per 100.000 abitanti in tutta Europa è pari a 900, 100 e 30 rispettivamente per $PM_{2,5}$, NO_2 e ozono. Alcune pubblicazioni più recenti riportano stime pari al doppio di questi valori (Lelieveld J. et al., 2020).

4.2 EFFETTI DELL'INQUINAMENTO ATMOSFERICO SULLA SALUTE UMANA: MORBILITÀ

Sebbene la mortalità legata all'inquinamento atmosferico sia importante, un ruolo cruciale spetta alla morbidità - ovvero all'insieme di patologie causate o aggravate dall'inquinamento atmosferico - che peggiora la qualità della vita delle persone, a volte a partire dall'infanzia.

Gli effetti avversi dell'inquinamento atmosferico sulla salute sono la conseguenza di diversi meccanismi fisiopatologici. Innanzi tutto, gli inquinanti hanno una tossicità diretta sulle cellule e sul materiale genetico. Essi hanno anche effetti indiretti attraverso flogosi, stress ossidativo e in-

27. Parti per miliardo (Parts per billion).



debolimento dei meccanismi di difesa del sistema immunitario. Tutti questi processi agiscono sul sistema cardiovascolare, respiratorio e su altri organi, causando minore variabilità della frequenza cardiaca, aumento della pressione sanguigna e della coagulabilità, progressione di aterosclerosi, riduzione della capacità respiratoria, maggiore reattività bronchiale, in alcuni casi crescita cellulare anomala, disturbi della riproduzione, disturbi dello sviluppo nell'infanzia, disturbi neurologici e metabolici. Tali effetti avversi dipendono dal tipo di esposizione, dalla profondità di penetrazione degli inquinanti nei polmoni e dalla natura ossidante e irritante degli inquinanti²⁸.

Le evidenze più chiare degli effetti degli inquinanti atmosferici sulla salute riguardano l'apparato respiratorio, per via del contatto diretto per inalazione dell'inquinante. La flogosi sistemica e lo stress ossidativo causati dall'infiammazione polmonare in seguito a inalazione inducono ulteriori effetti avversi sulla salute, come patologie cardiovascolari e tumori. Gli unici effetti sulla salute descritti nelle sezioni che seguono sono quelli per i quali l'Agenzia per la protezione dell'ambiente degli Stati Uniti (U.S. EPA) ha stabilito un rapporto causale o di probabile causalità.

Ozono, biossido di azoto e biossido di zolfo sono gas irritanti con potere ossidante che hanno effetti avversi sulla salute, aumentando il rischio di patologie polmonari, asma e bronchite. Tra le diverse frazioni del PM, le evidenze scientifiche più significative in termini di effetti avversi sulla salute sono legate al PM_{2,5}. In generale, esistono diverse limitazioni e incertezze nelle differenti discipline scientifiche, che complicano l'interpretazione delle evidenze riguardanti la maggior parte degli effetti sulla salute associati all'esposizione a PM₁₀, PM_{2,5} e UFP (U.S. EPA 2019). Tuttavia, studi recenti dimostrano il ruolo delle specie organiche di POA e SOA (sezioni 3.2.1 e 3.2.4.2) nel PM nei processi che determinano la formazione di specie reattive dell'ossigeno e dell'azoto endogene, che sono direttamente responsabili dello stress ossidativo cellulare, anche nei tessuti polmonari. In linea generale si osserva inoltre che la produzione endogena di specie reattive dell'ossigeno e dell'azoto nelle cellule è mediata dai metalli pesanti presenti nel PM (Fang et al., 2019; Tuet et al., 2019).

Vi è un probabile rapporto causale tra esposizione

a breve termine (giornaliera media) a PM_{2,5} ed effetti respiratori, tra cui aggravamento di asma e malattia polmonare ostruttiva cronica, e comorbidità respiratorie. Le evidenze degli studi epidemiologici indicano associazioni tra esposizione a lungo termine (annuale media) a PM_{2,5} e insorgenza di asma nell'infanzia, prevalenza dell'asma nell'infanzia, respiro sibilante nell'infanzia e infiammazione polmonare (U.S. EPA, 2019).

Per gli effetti cardiovascolari, l'EPA statunitense stabilisce l'esistenza di un rapporto causale tra l'esposizione a breve termine a PM_{2,5} e le visite al pronto soccorso, oltre che ai ricoveri per cause cardiovascolari, in particolare per cardiopatia ischemica e infarto. L'esposizione a lungo termine a PM_{2,5} può essere all'origine di una serie di patologie cardiovascolari (rapporto causale), tra cui la progressione dell'aterosclerosi, minore contrattilità e gittata cardiache, e alterazioni della pressione sanguigna.

Esiste inoltre un probabile rapporto causale tra l'esposizione a lungo termine a PM_{2,5} e una serie di effetti sul sistema nervoso, inclusi neuroinfiammazione e stress ossidativo, neurodegenerazione, effetti cognitivi (calo delle funzioni cognitive, demenza) ed effetti sul neurosviluppo. Le evidenze sia sperimentali che epidemiologiche sono ben documentate e coerenti, e suggeriscono una risposta con una componente neuroinfiammatoria in regioni specifiche del cervello (U.S. EPA, 2019).

Per quanto concerne i tumori, vi è un probabile rapporto causale con l'esposizione a lungo termine a PM_{2,5}. Recenti evidenze sperimentali ed epidemiologiche indicano genotossicità, effetti epigenetici e potenziale cancerogeno dell'esposizione a PM_{2,5}, oltre a una forte evidenza epidemiologica di aumento del rischio di incidenza di tumore ai polmoni, in particolare in persone che non hanno mai fumato (U.S. EPA, 2019). Nel 2013, l'Agenzia internazionale per la ricerca sul cancro (IARC), un'agenzia specializzata dell'OMS, ha classificato l'inquinamento atmosferico ambientale come cancerogeno per l'uomo (OMS Europa, 2013b), poiché esistono evidenze sufficienti a stabilire che l'esposizione all'inquinamento atmosferico è causa di tumori polmonari. PM₁₀ e PM_{2,5} sono stati valutati separatamente dall'IARC e sono stati anch'essi classificati cancerogeni.

Di recente gli scienziati hanno discusso dell'impatto dell'inquinamento atmosferico sulla diffu-

28. Agence Santé publique France, Sylvia Medina, giugno 2019, presentazione al Gruppo di lavoro RSA8.

sione di COVID-19 e la relativa mortalità, affrontando due tipi di conseguenze: la diffusione del virus dovuta al particolato fine e la maggiore mortalità legata alla compromissione della funzionalità polmonare delle persone che vivono in aree molto inquinate. Mentre la prima ipotesi è stata ampiamente respinta, la seconda è ancora poco chiara e deve essere ulteriormente esaminata: molti progetti di ricerca in tutto il mondo si stanno occupando proprio di tale aspetto.

4.3 EFFETTI DELL'INQUINAMENTO ATMOSFERICO SULLA SALUTE UMANA NELLA REGIONE ALPINA

Il rapporto tra inquinamento atmosferico da traffico, percezione dei gas di scarico ed effetti comportamentali o sintomi di malattia è stato esaminato nel 1995 in due indagini condotte in 1.989 adulti e 796 bambini di 13 piccole comunità alpine

del Tirolo (AT) attraverso risposte a questionari e misurazioni dell'inquinamento atmosferico. Tra i sintomi, senso di affaticamento/spossatezza/depressione/nervosismo, irritazione oculare e mal di stomaco risultavano significativamente associati alla valutazione della qualità dell'aria da parte degli intervistati. Nelle aree esposte al traffico, i bambini trascorrono meno tempo all'aria aperta e la percezione dell'esposizione ai gas di scarico delle automobili riferita è risultata associata in misura significativa a raffreddori ricorrenti, bronchiti croniche e ai livelli di un indice di vie respiratorie iperreattive (Lercher P. et al., 1995).

Nel 2005 è stato condotto uno studio trasversale in 1.839 adulti di 10 comunità lungo i corridoi autostradali delle Alpi svizzere, al fine di esaminare l'impatto dei gas di scarico del traffico veicolare sulla sintomatologia respiratoria. Sono state individuate associazioni tra vivere nei pressi di un'autostrada e presenza di respiro sibilante in assenza di raffreddore e tosse cronica. I sintomi raggiungevano livelli basali nelle popolazioni residenti a 400-500 m dall'autostrada (Hazenkamp-von Arx M.E. et al., 2011).

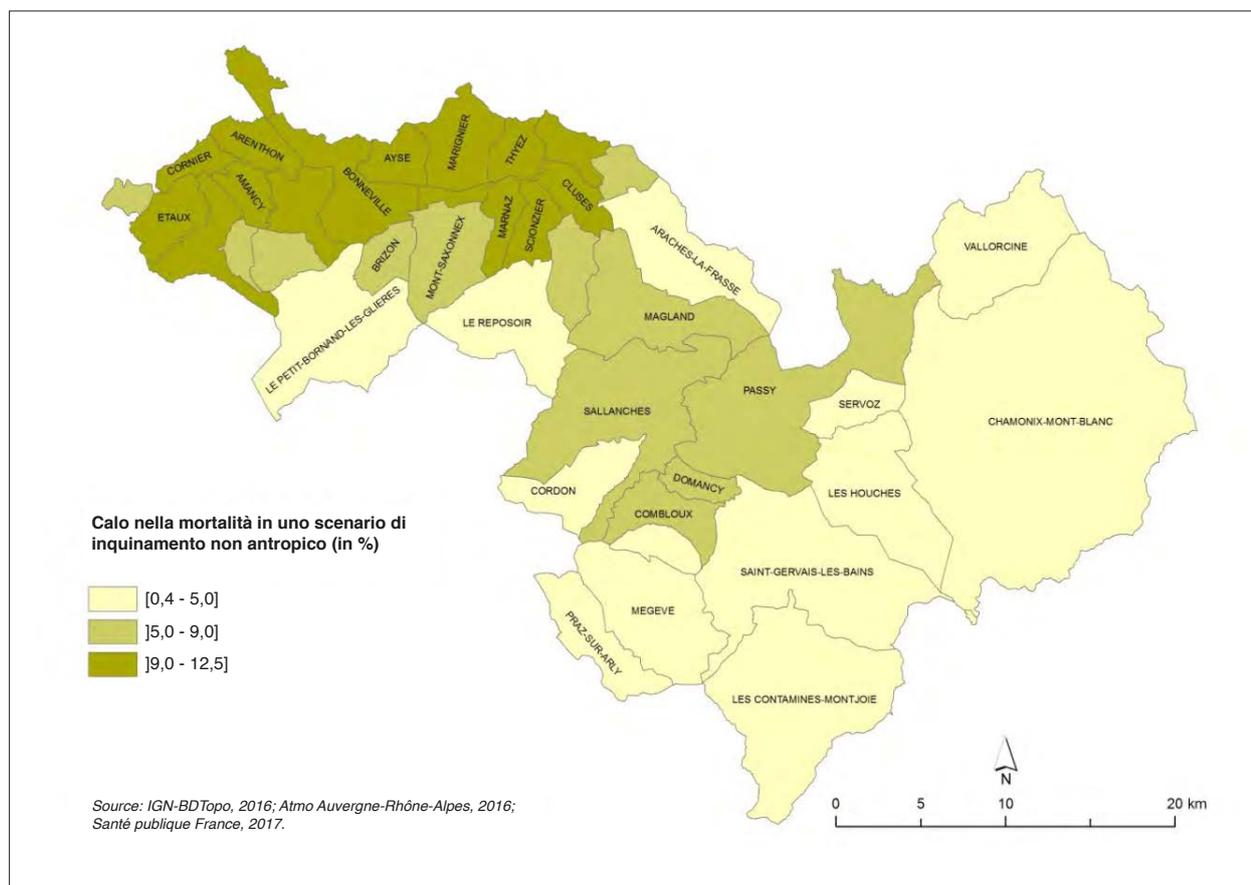


Figura 8: Mappa del calo atteso nella mortalità in uno scenario di inquinamento non antropico nei diversi comuni della valle dell'Arve.



In un ampio progetto della durata di tre anni (2005-2007), il consorzio ALPNAP ha raccolto e descritto metodi scientifici moderni per osservare e prevedere l'inquinamento atmosferico e acustico lungo i corridoi transalpini, e per valutare gli effetti del traffico sulla salute e il benessere. Il progetto ha prodotto mappe della distribuzione delle popolazioni esposte, combinando i dati relativi alla popolazione con un modello di dispersione atmosferica. L'impiego di funzioni di esposizione-risposta ha quindi consentito di quantificare gli effetti sulla salute e la loro distribuzione sul territorio preso in esame (Heimann D. et al., 2007).

Nel 2017, Santé Publique France ha condotto uno studio su inquinamento atmosferico, mortalità ed aspettativa di vita nella valle dell'Arve, nelle Alpi francesi (Pascal M. et al., 2017). Questa valle presenta condizioni topografiche e climatiche sfavorevoli, con marcate variazioni stagionali e frequenti picchi di inquinamento atmosferico in inverno. Lo studio si è concentrato sul $PM_{2,5}$ come tracciante dell'inquinamento, per il quale esistono evidenze sufficienti per valutare il rischio di mortalità: l'inquinamento da $PM_{2,5}$ è diffuso nelle Alpi come mostra il capitolo 5.2. Lo studio ha modellizzato in sequenza: meteorologia della valle, emissioni di trasporti, attività industriali e domestiche, dispersione e trasformazione chimica degli inquinanti e, infine, esposizione media delle persone al particolato su scala comunale. Nella stessa area sono stati raccolti i dati sulla mortalità non accidentale delle persone di età superiore a 30 anni. È stato possibile stabilire un modello log-lineare classico (si veda il precedente capitolo 4.1) che collega la mortalità all'esposizione al $PM_{2,5}$, consentendo di concludere che il calo della mortalità è una funzione della diminuzione di $PM_{2,5}$. I decisori politici ora hanno la possibilità di usare il modello per testare diverse opzioni, prevedendone i benefici in termini di mortalità e aspettativa di vita (figura 8).

Lo studio è giunto alla conclusione che l'inquinamento atmosferico da $PM_{2,5}$ nella valle ha un impatto della stessa entità di quello rilevato in altre aree urbane di medie dimensioni in Francia, pari all'8% della mortalità totale. L'impatto è molto significativo nonostante sia inferiore a quanto osservato nelle grandi città più inquinate della Francia (13%). Se le concentrazioni di $PM_{2,5}$ calassero del 30%, l'aspettativa di vita media si allunghereb-

be di cinque mesi. Nell'area metropolitana di Ginevra è stato appena avviato un nuovo progetto collaborativo tra partner locali svizzeri e francesi per valutare gli effetti sulla salute e i costi dell'inquinamento atmosferico.

4.4 EFFETTI DELL'INQUINAMENTO ATMOSFERICO SUGLI ECOSISTEMI

L'inquinamento atmosferico ha gravi conseguenze anche sugli ecosistemi e sulla biodiversità. Si ricorre al concetto di carico critico²⁹ per valutare l'esposizione degli ecosistemi terrestri e acquatici alla deposizione di inquinanti atmosferici in misura superiore alla soglia di effetti nocivi (Nilsson J. et al., 1988).

L' SO_2 sembra non essere più un problema per l'Europa: nel 2010 la deposizione di zolfo era scesa del 90% rispetto ai valori del 1980 ed era inferiore al carico critico. Tuttavia, ozono, NH_3 e ossidi di azoto (NO_x) hanno gli effetti più dannosi su fauna, piante, acqua e suolo, mentre i metalli tossici (come arsenico, cadmio, piombo, nichel e mercurio) e POP presentano rischi significativi e possono permanere nell'ambiente; alcuni possono presentare un effetto di accumulo lungo la catena alimentare (AEA, 2019).

La deposizione atmosferica dell'azoto si somma alla lisciviazione dell'azoto nel terreno e causa eutrofizzazione dei fiumi e dei laghi, compromettendo così la biodiversità. Paerl H.W. (2003) ha dimostrato che la deposizione atmosferica dell'azoto può ammontare al 60% dell'azoto totale che si riversa nel mare. L'ozono, potente ossidante, interagisce con le cellule vegetali riducendo la crescita e alterando la riproduzione, e danneggia pertanto foreste, colture e pascoli.

Gli NO_x acidificano suolo, laghi e fiumi. Ammoniaca e ossidi di azoto hanno un impatto sugli ecosistemi legato all'eutrofizzazione (accumulo eccessivo di sostanze nutritive azotate) e all'acidificazione, per via della trasformazione in acido nitroso nell'atmosfera, che poi ricade sul suolo sotto forma di precipitazioni. L'impatto sulla biodiversità

29. Carico critico: una stima quantitativa dell'esposizione alla deposizione di uno o più inquinanti, al di sotto della quale non si manifestano effetti dannosi significativi su elementi sensibili dell'ambiente, in base alle attuali conoscenze. Il superamento del carico critico consiste nella deposizione atmosferica di un inquinante in misura maggiore al carico critico.

tà è importante: è stato dimostrato che la deposizione di azoto riduce del 50% la varietà delle specie nei terreni adibiti a pascoli nell'Europa atlantica, dove la deposizione di azoto raggiunge 30 kg/ha/anno (Stevens et al., 2010). Il rapporto del 2016 della CLRTAP dichiara che "le misure utili sinora adottate per ridurre le emissioni di composti azotati sono risultate insufficienti a creare condizioni tali da consentire agli ecosistemi di iniziare a riprendersi dall'eutrofizzazione e che occorre ridurle ulteriormente" (Maas R., Grennfelt P., 2016).

La letteratura scientifica non si sofferma spesso e in modo specifico sull'inquinamento da nitrogeno nelle Alpi, che può essere legato a circostanze locali nelle zone ad agricoltura intensiva. Tuttavia, è stato condotto un ampio studio sulla deposizione

dell'azoto in Svizzera tra il 1990 ed il 2010, pubblicato nel 2016 (Rihm B. et al., 2016), che mostra come il carico critico dell'azoto sia superato in gran parte del paese, sebbene sia in corso un lento miglioramento (tabella 7). La figura 9 mostra una mappa dei superamenti del carico critico di azoto in Svizzera.

Uno studio sperimentale ha evidenziato che laddove cessa la deposizione di azoto si ha solo una lenta ripresa degli ecosistemi prativi e pascolivi (Bowman W.D. et al., 2018). In questo studio, solo una specie nitrofila si è ripresa, tornando al livello originale trascorsi nove anni dalla fine della deposizione. Tale risultato sottolinea la necessità di un miglioramento delle politiche di contrasto all'inquinamento atmosferico dovuto a NO_x e NH_3 , al fine di prevenire la perdita di biodiversità.

Ecosistema	Area in km ²	1990	2000	2010
Torbiere alte	52	100 %	100 %	98 %
Torbiere basse	188	91 %	82 %	76 %
Prati e pascoli secchi	200	81 %	62 %	49 %
Foreste	10.290	99 %	96 %	95 %

Tabella 7: Superamento dei carichi critici del nutriente azoto in diversi ecosistemi protetti in Svizzera nel 1990, 2000 e 2010. (Rihm B. et al., 2016).

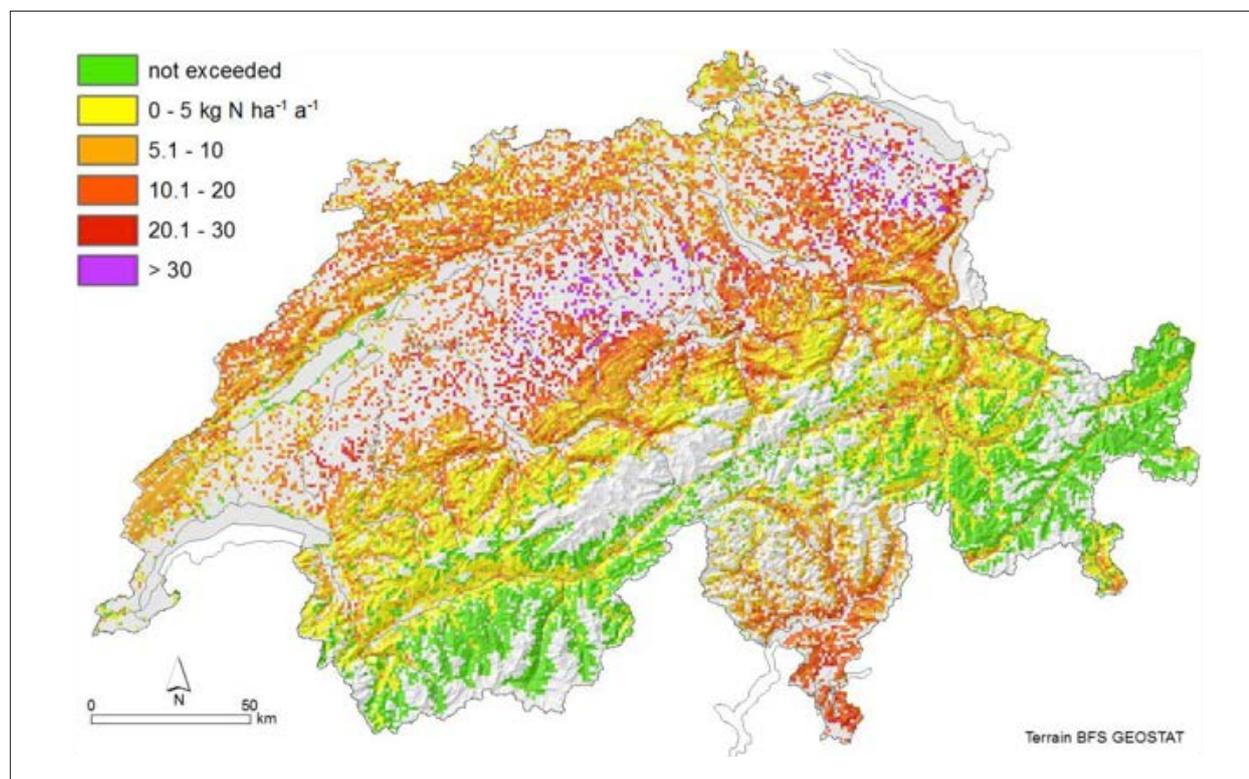


Figura 9: Superamento massimo dei carichi critici nelle foreste svizzere e negli ecosistemi (semi-)naturali mediante deposizione di azoto nel 2010 per km² (Rihm B. et al., 2016).

5. STATO DELLA QUALITÀ DELL'ARIA NELLE ALPI

Il presente capitolo offre un quadro d'insieme dello stato della qualità dell'aria nella regione alpina, ricorrendo ai dati delle misurazioni periodiche. La distribuzione spaziale delle stazioni di monitoraggio gestite dai Paesi nella regione alpina è analizzata in relazione alla loro geografia e al loro ambiente circostante. La concentrazione di inquinanti degli ultimi anni è valutata confrontando le statistiche annuali con gli standard di qualità dell'aria europei e le linee guida OMS illustrate nelle sezioni 2.1 e 2.4.2 della presente relazione. Infine, su un orizzonte temporale più lungo, si esamina l'evoluzione delle concentrazioni attraverso un'analisi dei trend.

5.1 FONTI DI DATI

Per Austria, Francia, Germania, Italia, Slovenia e Svizzera, i metadati delle stazioni e le statistiche delle concentrazioni sono stati estratti dal Portale europeo sulla qualità dell'aria, gestito dall'AEA, che raccoglie i dati ufficiali sulla qualità dell'aria degli Stati membri e di altri membri dell'AEA, nonché di paesi legati ad essa da forme di cooperazione.

I metadati delle stazioni per il Liechtenstein sono stati forniti dall'Ufficio dell'ambiente del Principato del Liechtenstein e le relative statistiche sono state scaricate dal sito web di Ostluft (www.ostluft.ch). I metadati e le statistiche sulle concentrazioni per il Principato di Monaco sono stati forniti dal Governo del Principato (Ministero dell'ambiente).

A integrare tali informazioni, sono stati raccolti dati sulle reti di monitoraggio cantonali e municipali dall'Ufficio federale dell'ambiente della Svizzera (UFAM) e le relative statistiche sono state scaricate dal sito web dell'UFAM. Se non dichiarato espressamente, le stazioni e le statistiche sono esclusivamente riconducibili alla rete nazionale svizzera.

5.1.1 DISTRIBUZIONE GEOGRAFICA: QUADRO D'INSIEME

Nella regione alpina sono state identificate 234 stazioni di monitoraggio operanti nel periodo 2016-2018 per la misurazione dei seguenti inquinanti: PM₁₀, PM_{2,5}, NO_x incluso NO₂, SO₂, C₆H₆ (benzene), O₃, Pb, BaP, Ni, As, CO, Cd. Il 14% e il 7% di esse sono situate a quote rispettivamente superiori a 1.000 e 1.500 m di altitudine. Come risulta dalla tabella 8, due terzi di queste stazioni si trovano in contesti suburbani o urbani e un terzo in ambienti rurali.

Tipo di area	Numero di stazioni	Percentuale (%)
Rurale (non specificata)	38	16,2
Rurale remota	11	4,7
Rurale regionale	19	8,1
Rurale periurbana	10	4,3
Suburbana	72	30,8
Urbana	84	35,9

Tabella 8: Distribuzione delle 234 stazioni di monitoraggio in base al tipo di area in cui si trovano.

La figura 10 illustra la loro distribuzione geografica, insieme a quella di ulteriori 39 stazioni appartenenti alla rete di monitoraggio svizzera ed operative nello stesso periodo. Di tutte queste stazioni, il 14% e l'8% si trovano rispettivamente ad altitudini superiori ai 1.000 e ai 1.500 m.s.l.m.

Attraverso un adattamento di una metodologia esistente³⁰, si è stimato che l'86% circa delle stazioni mostrate nella figura 10 sono in posizione valliva (vedi figura 11).

30. Per determinare quali stazioni siano in posizione valliva, la metodologia proposta da A. Simcox, D. Morse e G. Hamilton (2016) (<https://www.arcgis.com/home/item.html?id=646ebe715800410d9e5c02aa3653546d>) è stata adattata alla situazione europea. Le valli (aree a quote inferiori rispetto alle aree limitrofe) sono state estratte da un modello di elevazione digitale (European Digital Elevation Model EU-DEM - versione 1.1, 25 m di risoluzione) determinando la quota altimetrica media locale entro un dato raggio, sottraendo la quota effettiva dalla media e selezionando le aree in cui la quota effettiva era inferiore alla media. Il paesaggio è stato campionato su cinque scale (cerchi aventi raggio di 1, 2, 4, 7 e 11 km) al fine di tenere conto della varietà di forme e dimensioni delle valli. Le aree selezionate in almeno tre scale sono state definite valli.

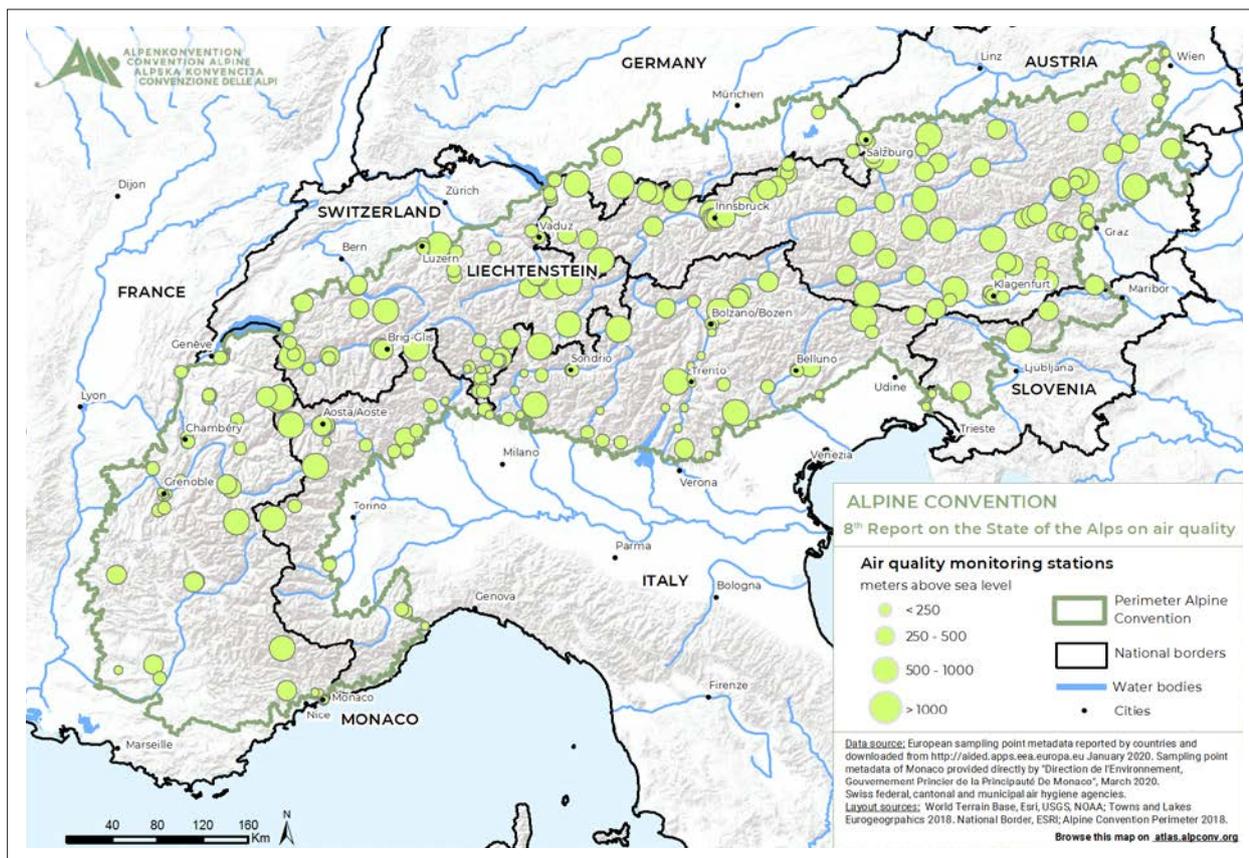


Figura 10: Distribuzione geografica delle stazioni di monitoraggio nella regione alpina operative nel periodo 2016-2018, aggiungendo le stazioni delle reti di monitoraggio cantonali e municipali della Svizzera³¹, operative nello stesso periodo.

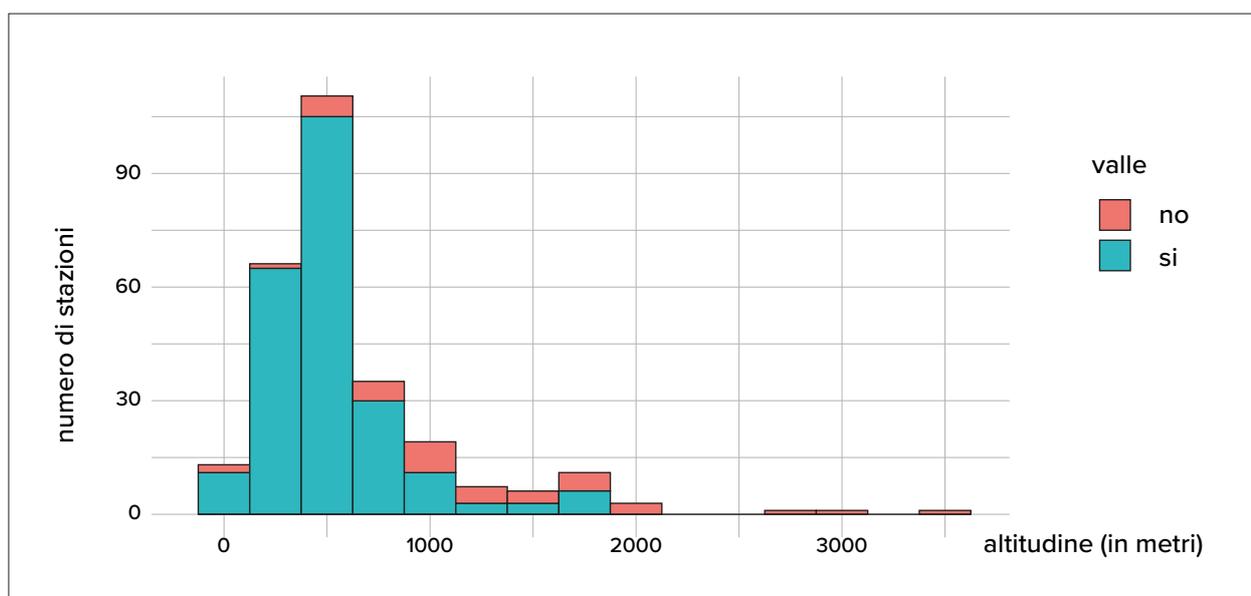


Figura 11: L'istogramma mostra la distribuzione per altitudine (m.s.l.m) delle stazioni di monitoraggio nella regione alpina, incluse le stazioni delle reti di monitoraggio cantonali e municipali della Svizzera, attive nel periodo 2016-2018.

31. Le stazioni delle reti di monitoraggio cantonali e municipali della Svizzera sono presentate solo su questa mappa. Le mappe successive fanno riferimento ai dati ufficiali dell'AEA.



Paese	Inquinante	Classificazione delle stazioni						
		Rurale	Rurale periurbana	Rurale regionale	Rurale remota	Suburbana	Urbana	Totale
Austria	NO ₂	12	1	10	2	31	20	76
	PM ₁₀	10	0	6	1	22	19	58
	PM _{2,5}	1	0	0	1	4	8	14
	O ₃	11	2	12	7	19	7	58
	BaP	4	0	0	0	5	8	17
	Metalli pesanti	2	0	1	0	1	1	5
Francia	NO ₂	0	1	0	1	5	22	29
	PM ₁₀	0	3	0	1	5	22	31
	PM _{2,5}	0	2	0	1	1	9	13
	O ₃	0	2	2	2	5	15	26
	BaP	0	1	0	1	1	4	7
	Metalli pesanti	0	0	0	1	0	2	3
Germania	NO ₂	0	2	1	1	2	2	8
	PM ₁₀	0	1	1	1	1	1	5
	PM _{2,5}	0	1	0	0	2	1	4
	O ₃	0	1	1	1	2	1	6
	BaP	0	0	0	0	1	0	1
Italia	NO ₂	12	2	0	1	18	29	62
	PM ₁₀	9	1	0	0	15	27	52
	PM _{2,5}	2	1	0	0	7	14	24
	O ₃	15	2	0	1	14	18	50
	BaP	3	0	0	0	9	12	24
	Metalli pesanti	2	0	0	0	6	6	14
Liechtenstein	NO ₂	0	0	0	0	1	0	1
	PM ₁₀	0	0	0	0	1	0	1
	O ₃	0	0	0	0	1	0	1
Monaco	NO ₂	0	0	0	0	0	5	5
	PM ₁₀	0	0	0	0	0	2	2
	O ₃	0	0	0	0	0	2	2
	Metalli pesanti	0	0	0	0	0	2	2
Slovenia	PM ₁₀	0	0	0	0	1	0	1
	O ₃	2	0	0	0	0	0	2
	Metalli pesanti	0	0	0	0	1	0	1
Svizzera	NO ₂	4	0	0	0	2	2	8
	PM ₁₀	4	0	0	0	2	2	8
	PM _{2,5}	2	0	0	0	0	1	3
	O ₃	4	0	0	0	2	1	7
	BaP	1	0	0	0	0	1	2
	Metalli pesanti	4	0	0	0	0	1	5

Tabella 9: Stazioni di misura della qualità dell'aria nel perimetro della Convenzione delle Alpi.

È importante sapere che in alcuni paesi si adottano, in via temporanea o nel lungo periodo, campagne di misura con stazioni mobili e metodi di campionamento passivo (NO_2 , NH_3 , benzene, toluene, etilbenzene, xilene) al fine di integrare i siti di monitoraggio permanente e ottenere una descrizione più dettagliata della qualità dell'aria. Questa analisi, basata essenzialmente sulle informazioni disponibili dal sito web dell'AEA, non ne ha tenuto conto.

5.1.2 DISTRIBUZIONE GEOGRAFICA PER INQUINANTE

Questa sezione esamina la distribuzione delle stazioni di monitoraggio per ogni inquinante, in base alla classificazione delle stazioni (tabella 9).

Occorre notare che il tipo di stazione che caratterizza la fonte principale di emissione è specifica per l'inquinante. NO_2 , O_3 e PM_{10} presentano la più elevata densità di punti di misura, come mostra la figura 12. Tali punti sono distribuiti su tutta la regione ad eccezione delle aree di alta montagna o meno densamente popolate, e il loro numero

rimane stabile nel periodo preso in esame (2016 - 2018). Mentre l'ozono è misurato essenzialmente nelle aree di fondo rurale o (sub)urbane, il monitoraggio di NO_2 e PM_{10} riguarda anche i siti orientati al traffico e, in misura minore, quelli industriali. Le sostanze precursori dell'ozono elencate nella Direttiva Qualità dell'Aria 2008/50/CE sono misurate in un sito di fondo urbano a Grenoble. La serie completa di mappe per inquinante e anno (2016, 2017, 2018) è disponibile al link <http://www.atlas.alpconv.org>.

Un monitoraggio meno fitto ma pur sempre piuttosto estensivo di $\text{PM}_{2,5}$ e BaP ha luogo anche in tutta la regione alpina, soprattutto in siti di fondo urbano e suburbani. Inoltre, in Francia e in Italia vengono misurati anche IPA diversi dal BaP presso vari siti di monitoraggio.

Sono pochi i punti di misura del monossido di carbonio e del benzene, in linea con le basse concentrazioni osservate per questi inquinanti (si veda la sezione 5.2.2), e con il fatto che la direttiva europea permette in questi casi di implementare metodi di valutazione meno severi (misure indicative, modellizzazione, stima obiettiva). La situa-

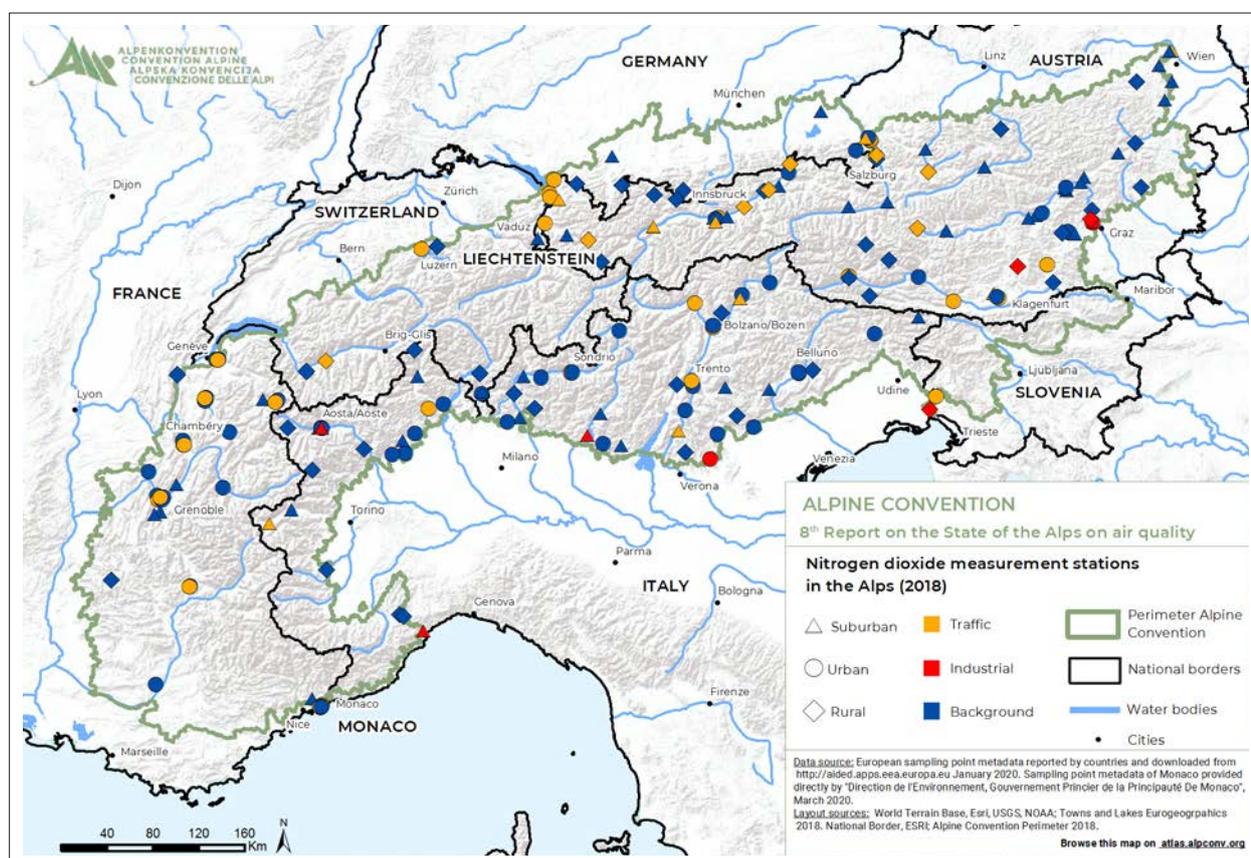


Figura 12a: Mappa delle stazioni alpine di misurazione di biossido di azoto.

Suburban= Suburbana; Urban= Urbana; Rural= Rurale; Traffic = Traffico; Industrial = Industriale; Background = Fondo.

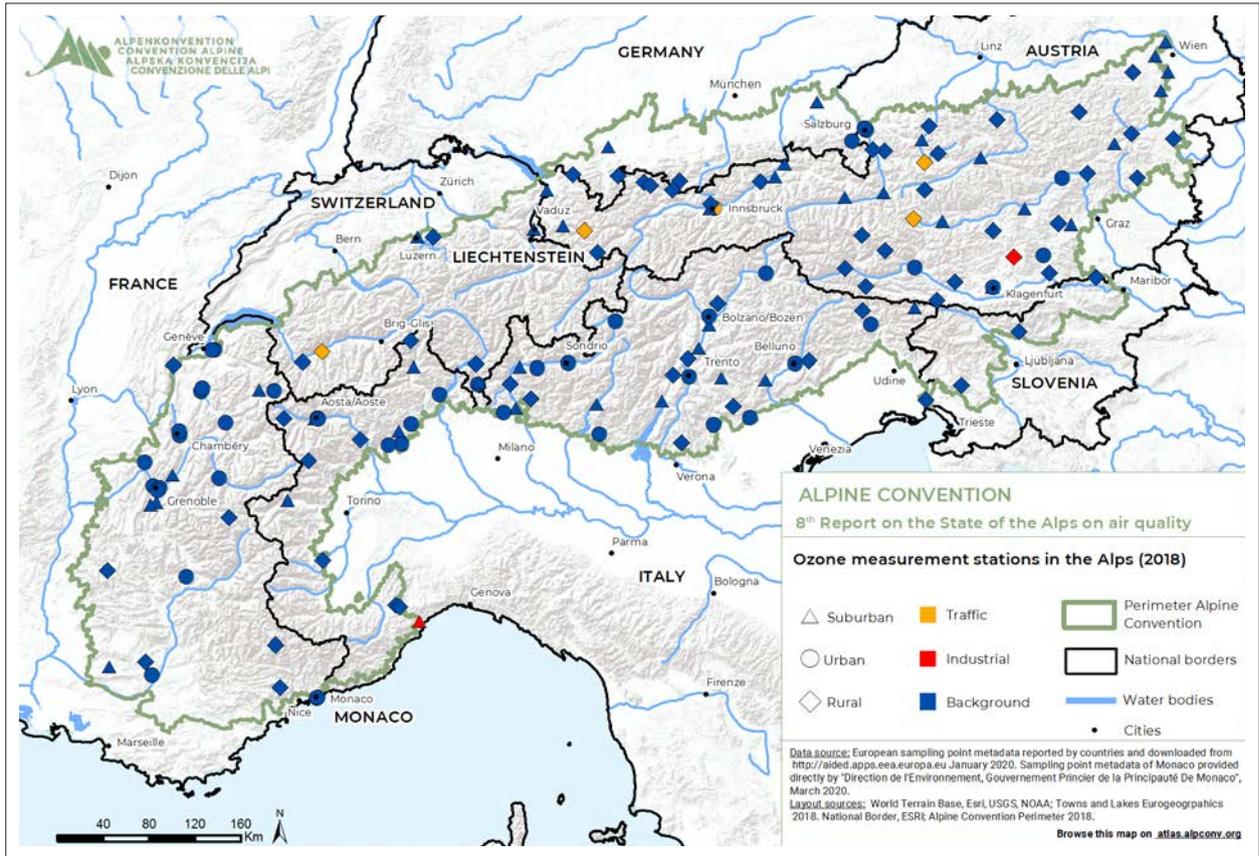


Figura 12b: Mappa delle stazioni alpine di misurazione di ozono.
Suburban= Suburbana; Urban= Urbana; Rural= Rurale; Traffic = Traffico; Industrial = Industriale; Background = Fondo.

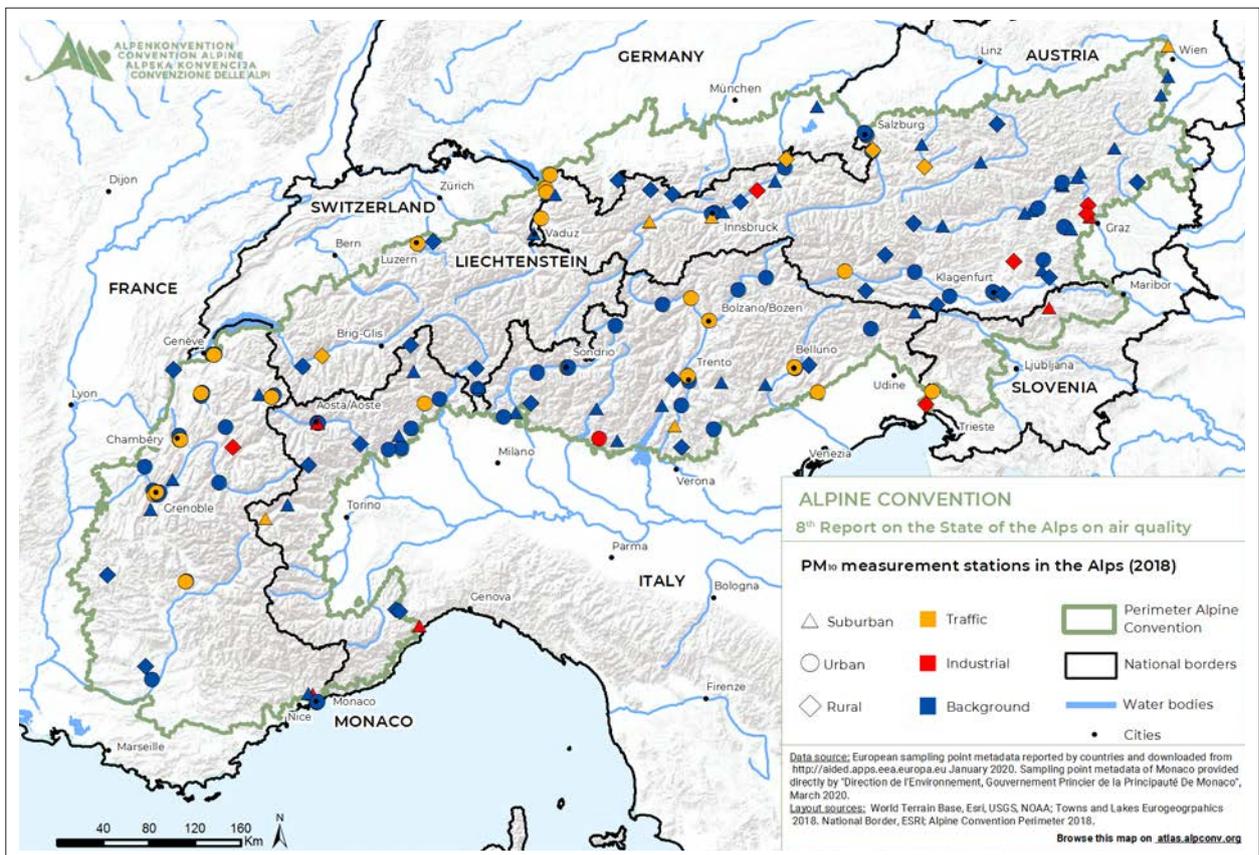


Figura 12c: Mappa delle stazioni alpine di misurazione di PM₁₀.
Suburban= Suburbana; Urban= Urbana; Rural= Rurale; Traffic = Traffico; Industrial = Industriale; Background = Fondo.

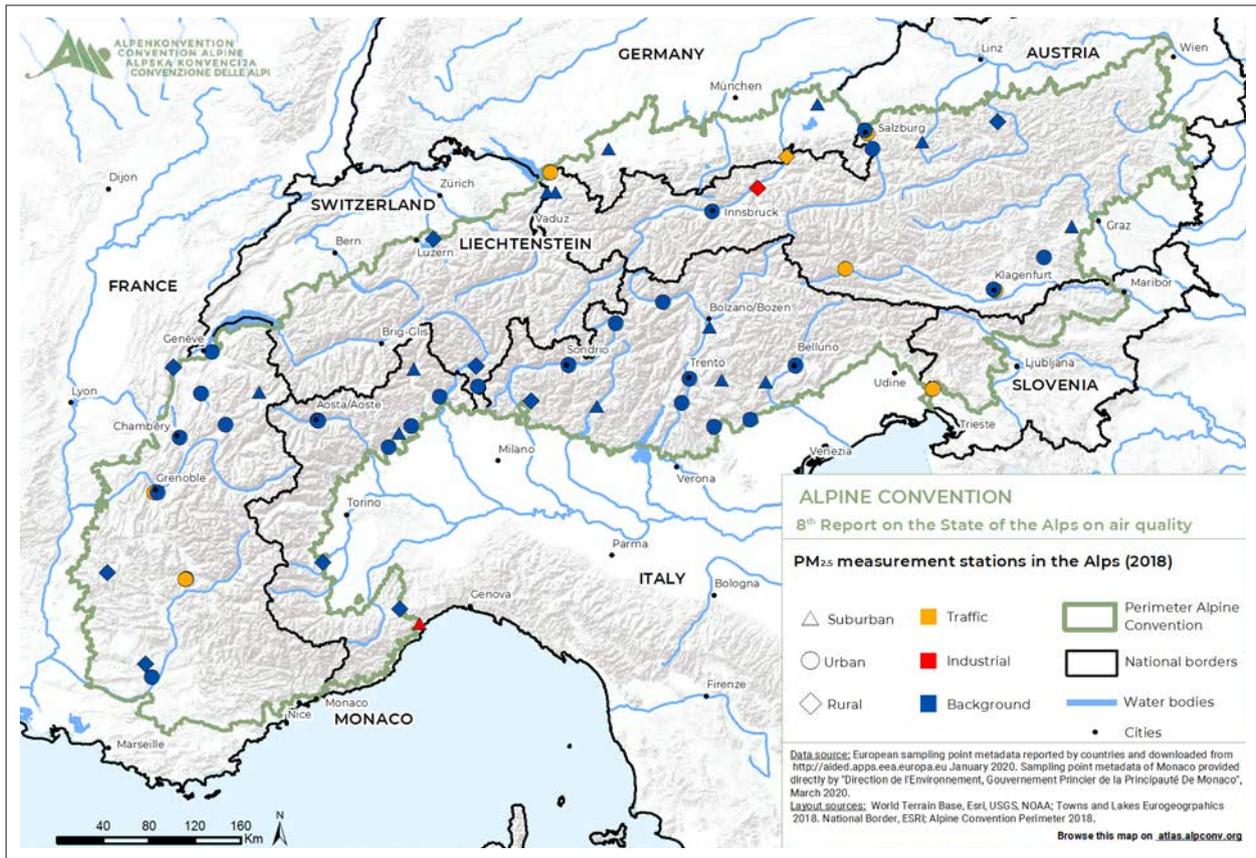


Figura 12d: Mappa delle stazioni alpine di misurazione di PM_{2,5}
Suburban= Suburbana; Urban= Urbana; Rural= Rurale; Traffic = Traffico; Industrial = Industriale; Background = Fondo.

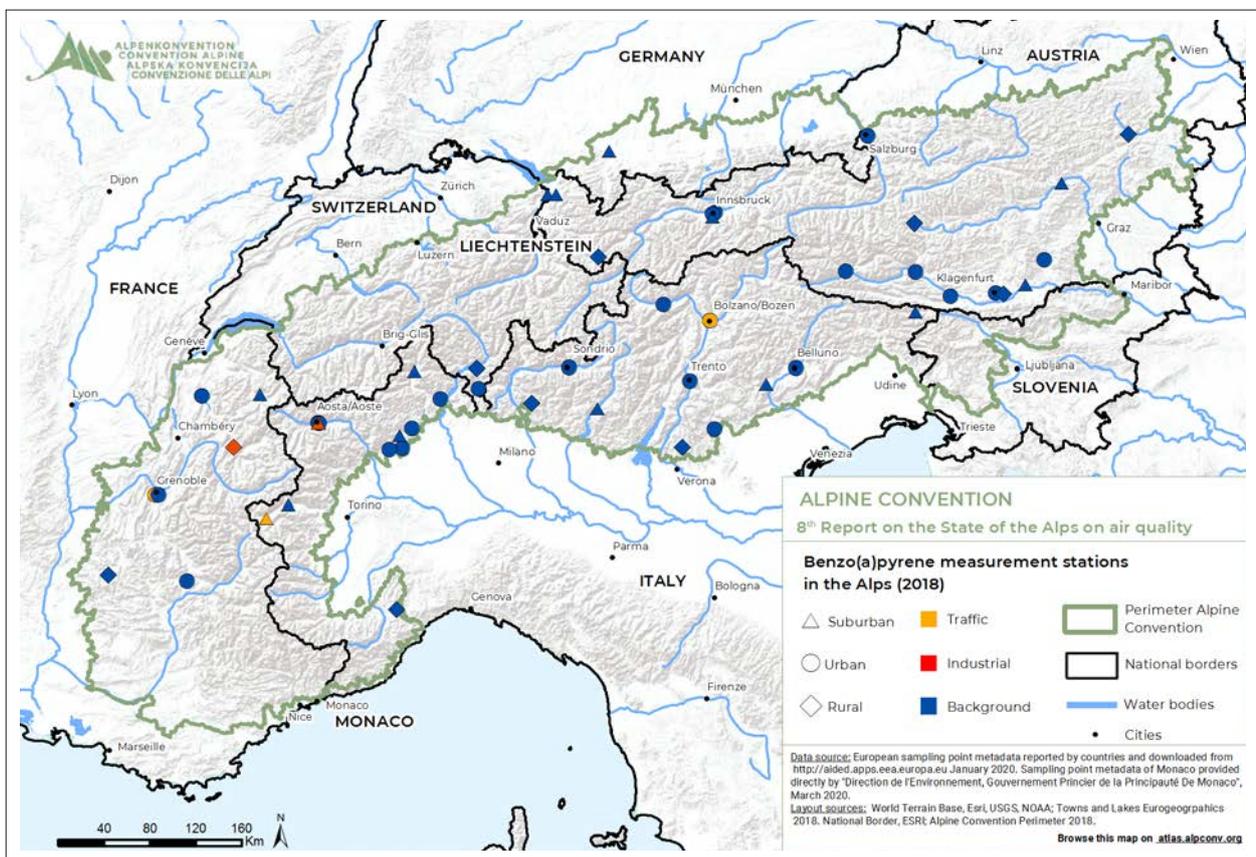


Figura 12e: Mappa delle stazioni alpine di misurazione di benzo(a)pirene.
Suburban= Suburbana; Urban= Urbana; Rural= Rurale; Traffic = Traffico; Industrial = Industriale; Background = Fondo.

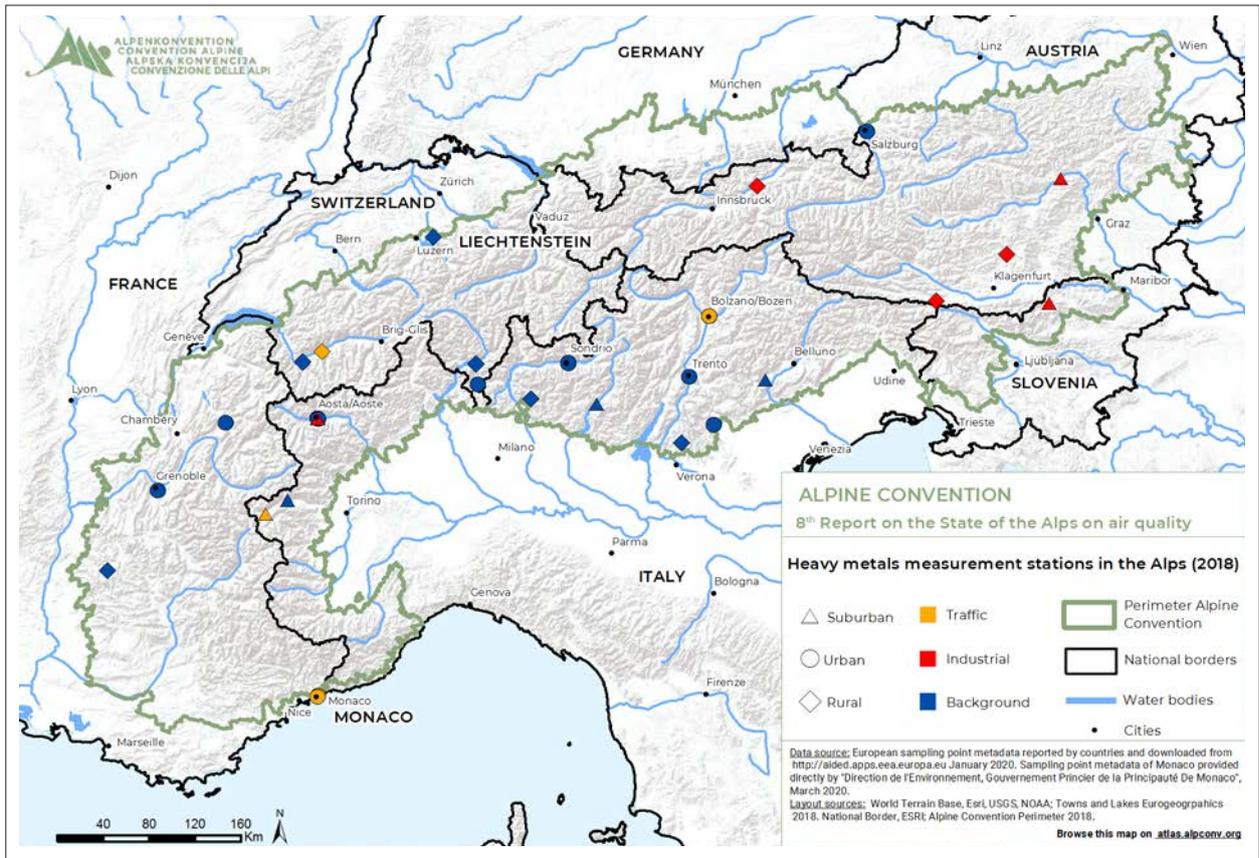


Figura 12f: Mappa delle stazioni alpine di misurazione di metalli pesanti. Suburban= Suburbana; Urban= Urbana; Rural= Rurale; Traffic = Traffico; Industrial = Industriale; Background = Fondo.

zione è analoga per l' SO_2 , tuttavia con un numero più ampio di stazioni che continuano a funzionare in alcune aree (nelle aree austriaca e italiana della regione).

Anche i metalli pesanti rientrano nella categoria di inquinanti con basse concentrazioni rispetto alle soglie fissate dall'UE e hanno un monitoraggio più contenuto. In linea generale i metalli pesanti sono misurati in siti di fondo, ad eccezione dell'Austria, dove la loro misurazione è orientata soprattutto ai siti industriali. Il monitoraggio supplementare di tutti questi inquinanti rientra anche nei compiti delle reti locali della Svizzera.

Le stazioni di misura ad alta quota eseguono anche altre misurazioni, nell'ambito di programmi di ricerca. Tale attività non è oggetto del presente capitolo e le relative informazioni sono reperibili nella sezione 6.2.

5.2 STATO DELLE CONCENTRAZIONI

5.2.1 CONFRONTO CON GLI OBIETTIVI AMBIENTALI EUROPEI E LE LINEE GUIDA OMS

Il presente confronto si basa sulle fonti delle statistiche menzionate nell'introduzione al capitolo. Le statistiche disponibili dalle reti locali della Svizzera sono trattate alla stregua di informazioni addizionali volte a integrare i risultati. La serie completa di grafici è disponibile online (www.atlas.alpconv.org). Le concentrazioni presentate qui di seguito sono confrontate con i limiti della Direttiva 2008/50/CE che rappresenta la base normativa nell'UE (si veda il capitolo 2.1) e con le linee guida OMS sulla qualità dell'aria stabilite per salvaguardare la salute umana (si veda il capitolo 2.4.2).

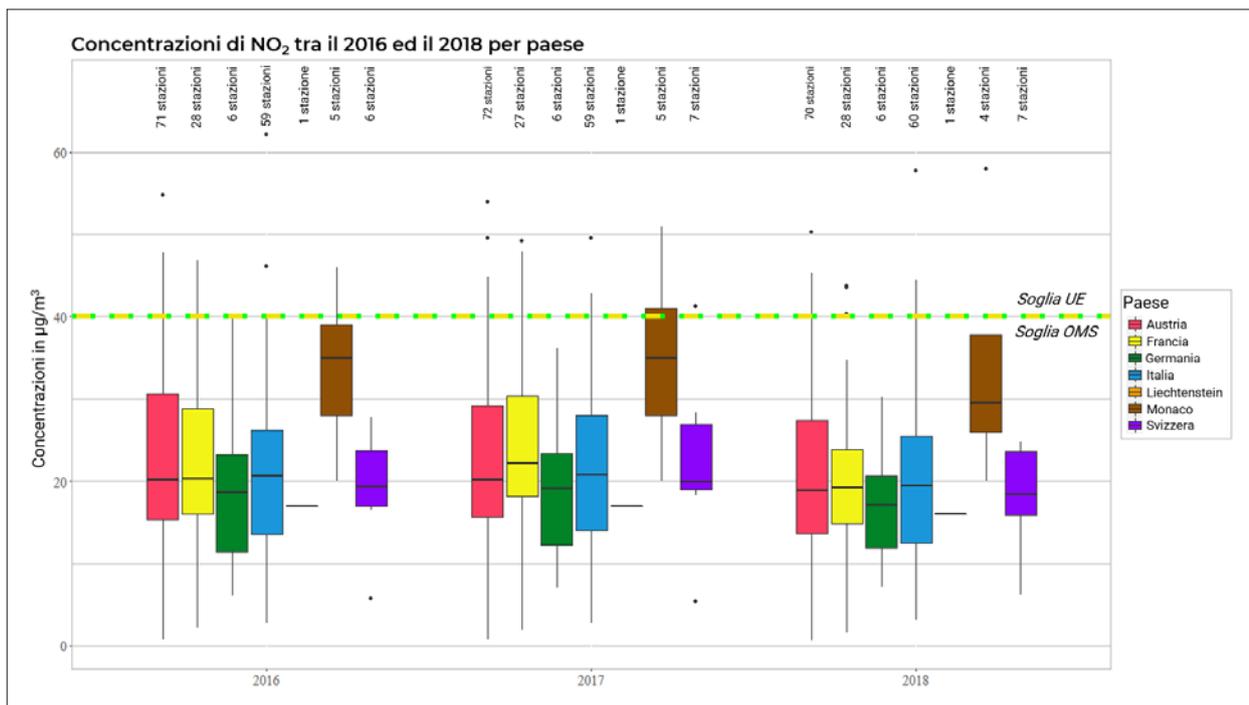


Figura 13: Distribuzione delle concentrazioni medie annuali di NO_2 nel 2016, 2017 e 2018 nella regione alpina. La linea tratteggiata gialla rappresenta il valore limite annuale della Direttiva UE (2008/50/EC) e la linea tratteggiata verde la linea guida OMS per la protezione della salute umana. La porzione inferiore e superiore di ogni rettangolo colorato rappresenta il primo e terzo quartile, la linea orizzontale all'interno del rettangolo è la mediana e le estremità delle linee verticali rappresentano i valori più bassi e più alti, esclusi gli outliers. I punti sono valori singoli che ricadono al di fuori della distribuzione.

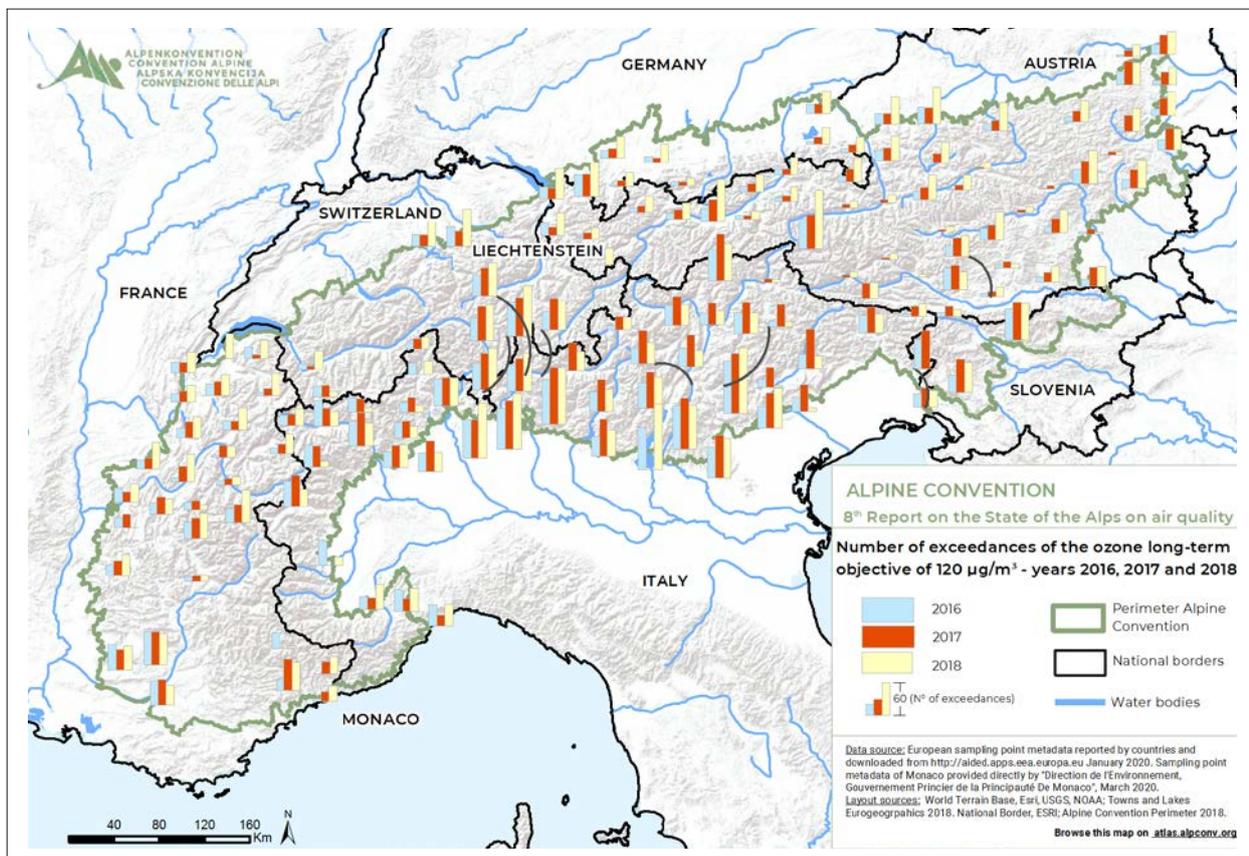


Figura 14: Mappa dell'evoluzione dei superamenti dell'obiettivo a lungo termine per l'ozono ai fini della protezione della salute umana, nella regione alpina.



Biossido di azoto

La Figura 13 rappresenta la distribuzione delle concentrazioni medie annuali di NO₂ nel 2016, 2017 e 2018. Tutti i superamenti del valore limite annuale UE (40 µg/m³), che coincide con il valore annuale della linea guida OMS, sono stati rilevati presso siti orientati al traffico, (12, 14 e 7 superamenti rispettivamente nel 2016, 2017 e 2018). Tutte le stazioni interessate da tali superamenti hanno una posizione valliva, dove la presenza di emissioni di NO_x e di condizioni di inversione termica possono aumentare i valori delle concentrazioni di NO₂, come descritto nel capitolo 3.1.1.

I superamenti della soglia di 200 µg/m³ (linea guida OMS sui valori orari) sono stati rilevati di rado in poche stazioni (5, 4 e 3 stazioni rispettivamente nel 2016, 2017 e 2018). Lo standard UE (200 µg/m³ da non superare più di 18 volte l'anno) è stato superato solo una volta, in un sito di traffico in Francia nel 2016.

Ozono

L'inquinamento da ozono interessa in grande misura la regione alpina. La figura 14 rappresenta il numero annuale di superamenti per stazione dell'obiettivo a lungo termine pari a 120 µg/m³, negli anni 2016, 2017 e 2018.

Il valore obiettivo per la protezione della salute umana è superato nella maggior parte dei siti e in gran parte del territorio, sebbene Germania e Monaco rappresentino delle eccezioni. In queste aree si può notare una variabilità interannuale, con un numero più elevato di superamenti nel 2018 rispetto agli anni precedenti.

L'obiettivo a lungo termine per la protezione della salute umana (120 µg/m³) e la linea guida OMS (100 µg/m³) sono superati pressoché ovunque. Per quanto concerne il valore obiettivo e l'obiettivo a lungo termine per la protezione della vegetazione, nella regione tali valori sono superati in molti siti di fondo rurali e suburbani.

Particolato - PM₁₀

La figura 15 rappresenta la distribuzione delle concentrazioni medie annuali di PM₁₀ nel 2016, 2017 e 2018. Nonostante la variabilità territoriale nella regione, tutte sono significativamente al di sotto del valore limite medio annuale della Direttiva UE 2008/50/CE (40 µg/m³). Tuttavia, il valore AQG dell'OMS (20 µg/m³) è superato ogni anno in circa un quarto delle stazioni.

La figura 16 rappresenta il numero di superamenti annuali della soglia giornaliera di 50 µg/m³ per stazione; sono indicate in rosso le stazioni per le quali

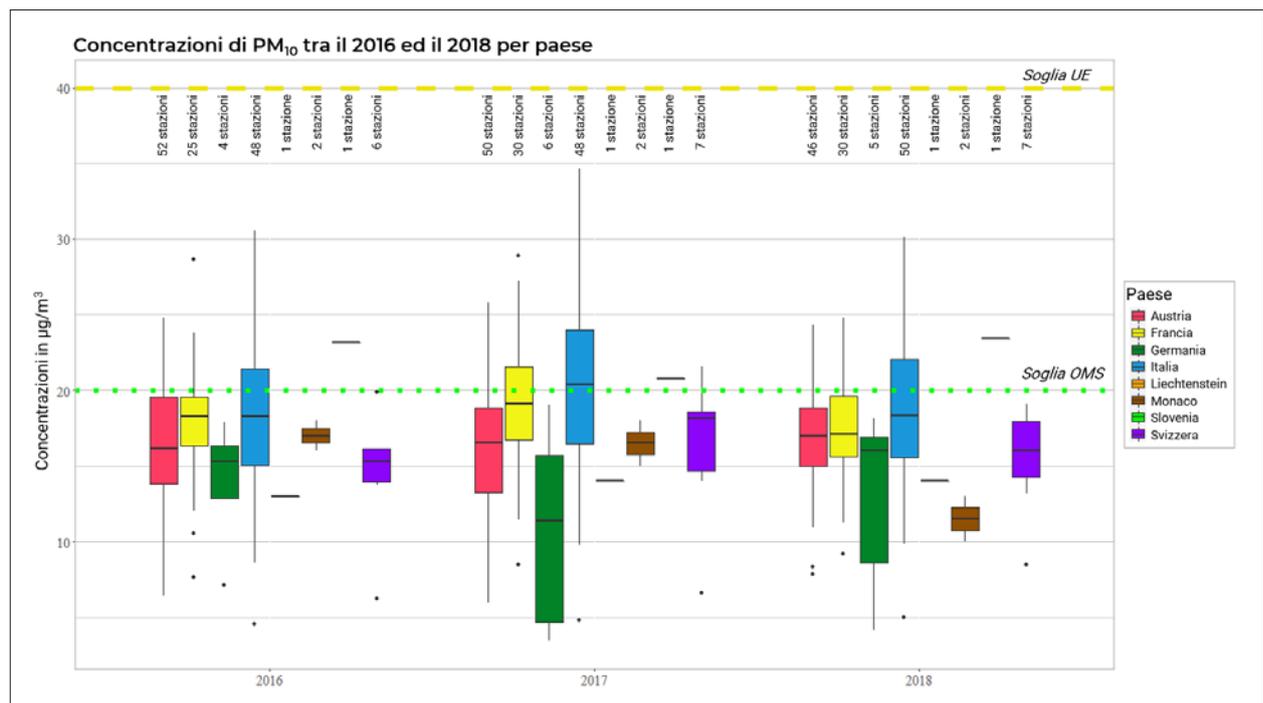


Figura 15: Distribuzione delle concentrazioni medie annuali di PM₁₀ nel 2016, 2017 e 2018 nella regione alpina.

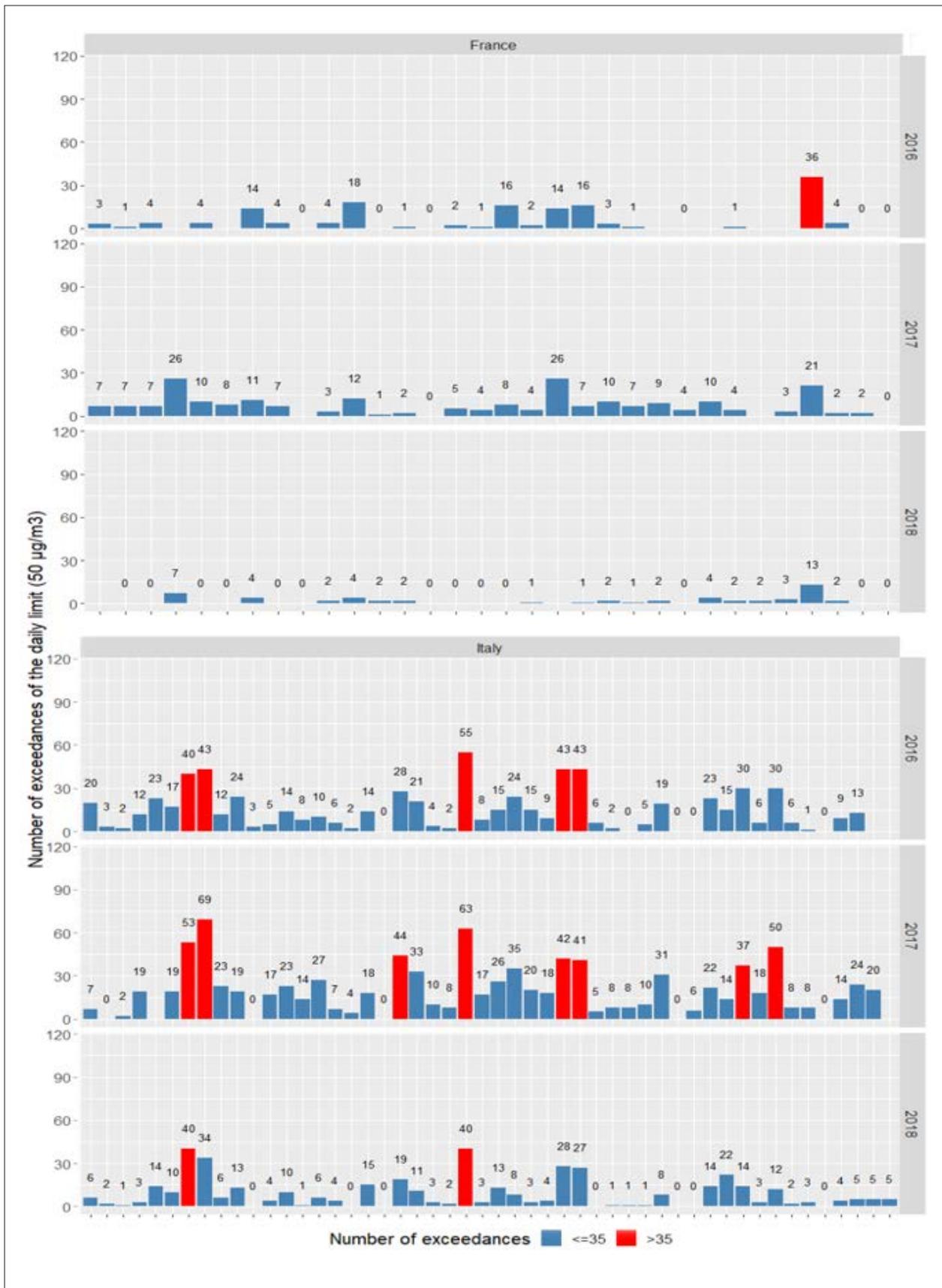


Figura 16: Superamento del valore limite giornaliero di PM_{10} per la protezione della salute umana nel 2016, 2017 e 2018 nella parte francese e italiana della regione alpina. A parte le aree francese e italiana, tutte le altre aree nella regione alpina hanno meno di 35 giorni di superamento.

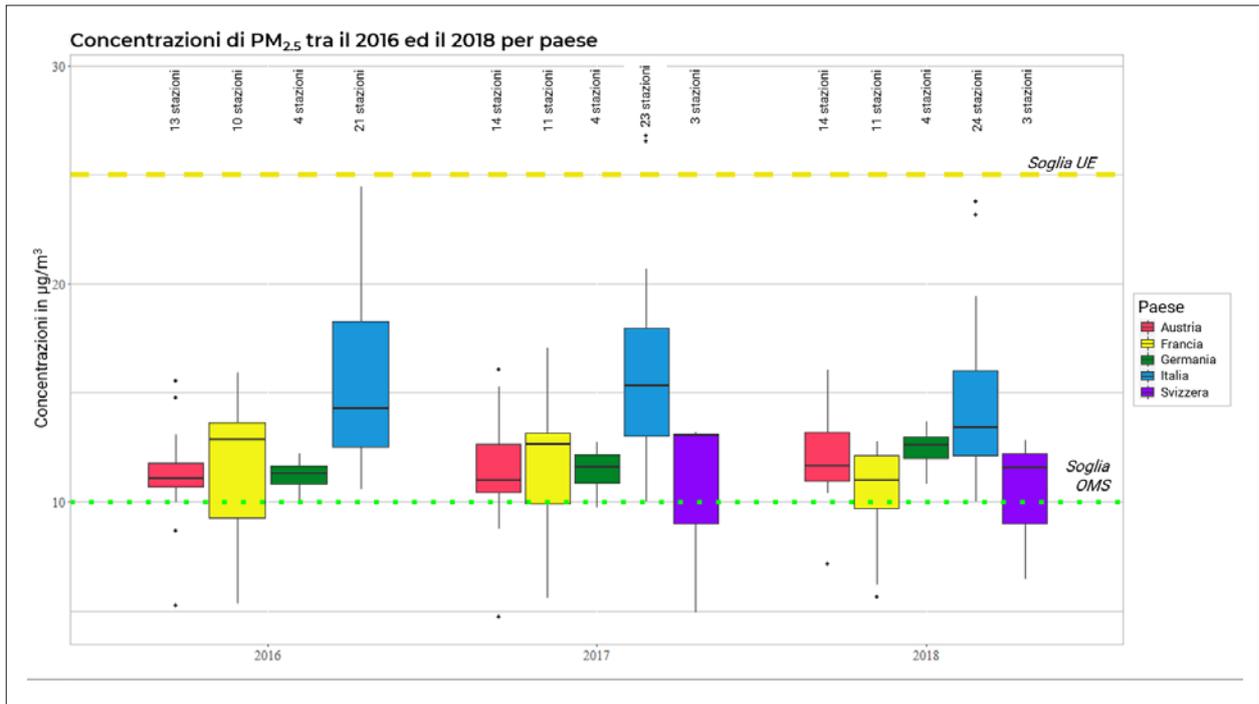


Figura 17: Distribuzione delle concentrazioni medie annuali di PM_{2.5} nel 2016, 2017 e 2018 nella regione alpina. La linea tratteggiata gialla rappresenta il valore limite annuale della Direttiva UE (2008/50/EC) e la linea tratteggiata verde la linea guida OMS per la protezione della salute umana.

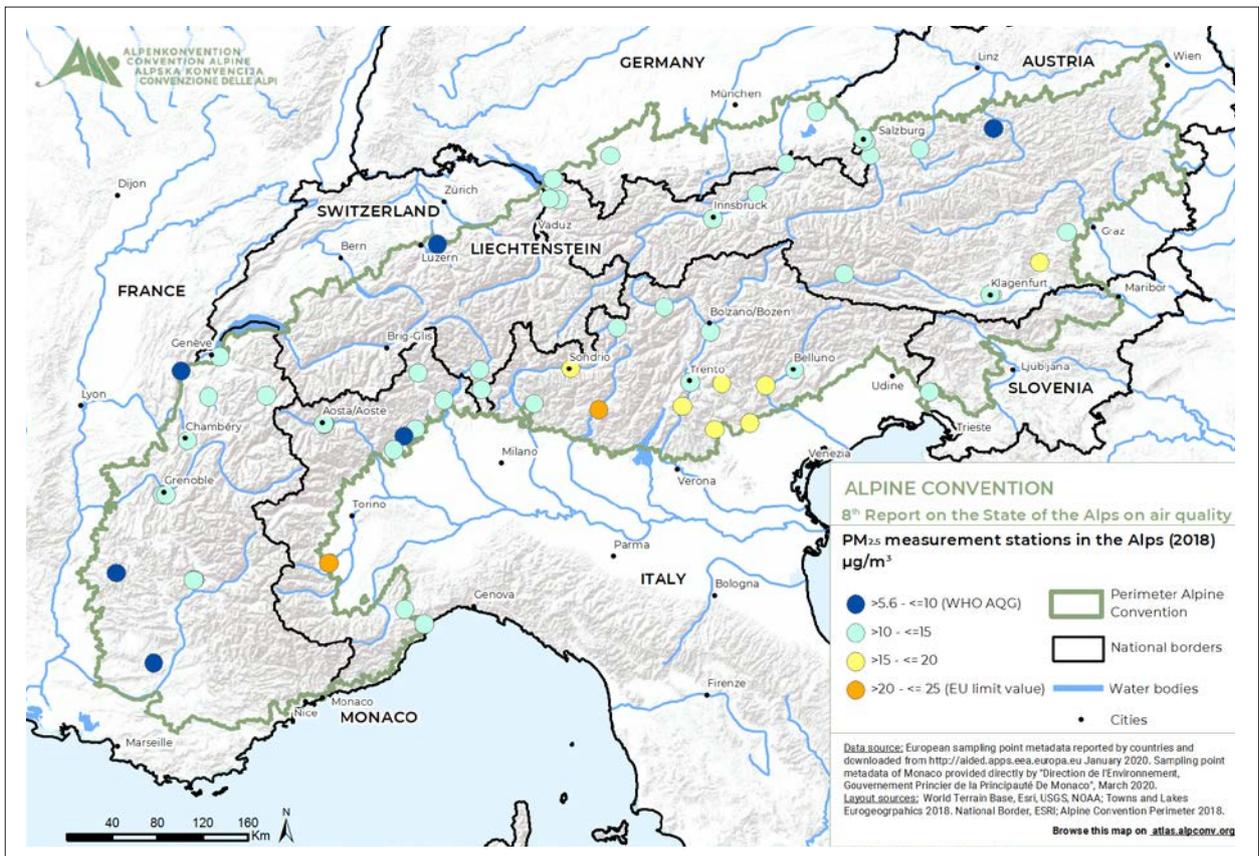


Figura 18: Mappa della concentrazione media annuale di PM_{2.5} nel 2018 nelle Alpi.

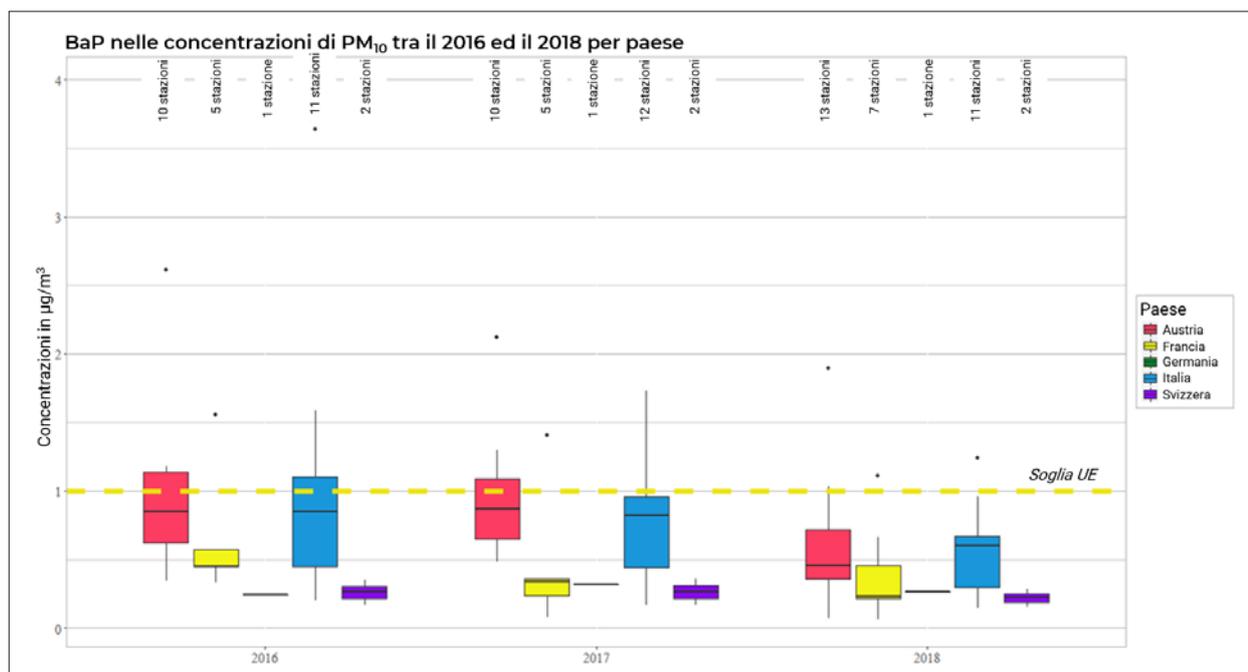


Figura 19: Distribuzione delle concentrazioni medie annuali di BaP nel PM_{10} nel 2016, 2017 e 2018 nella regione alpina. La linea tratteggiata gialla rappresenta il valore limite annuale della Direttiva UE (2008/50/EC).

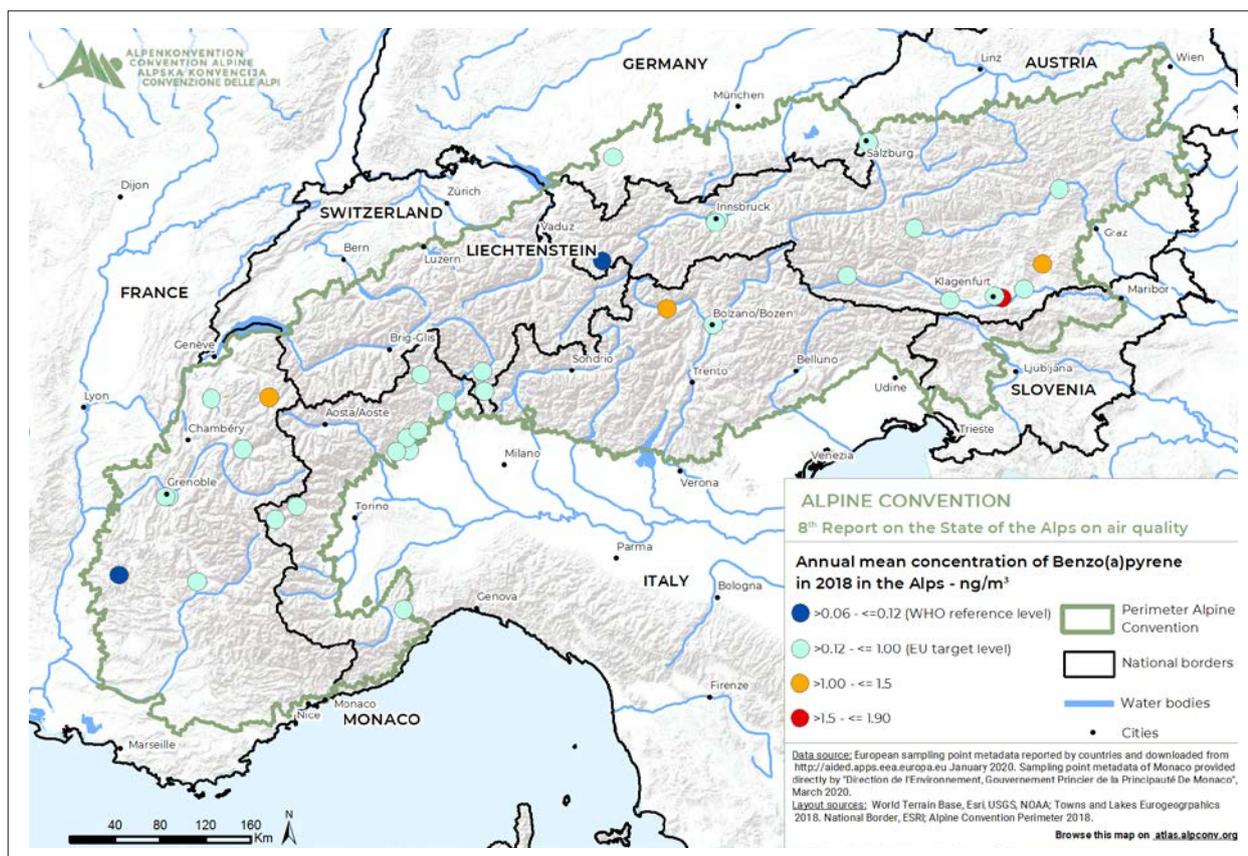


Figura 20: Mappa della concentrazione media annuale di BaP nel 2018 nelle regione alpina. I superamenti del valore obiettivo sono marcati in arancione e rosso.³²

32. Secondo la Direttiva UE 2004/107/EC, i valori >1 e $<1,5$ vengono arrotondati a 1 ng/m^3 e non vengono pertanto considerati superamenti in base alla normativa UE; i valori $\geq 1,5$ vengono invece arrotondati a 2 ng/m^3 .



tale numero è superiore a 35 volte per anno, il valore limite europeo. Si tratta di poche stazioni (nel 2018 solo due superavano il limite UE) e quasi tutte sono situate in Italia, in siti di fondo (sub)urbani o industriali. Tuttavia, quasi metà delle stazioni (75 su 162) ha superato la più severa linea guida OMS ($50 \mu\text{g}/\text{m}^3$, da non superare per più di 3 giorni in un anno).

Particolato - $\text{PM}_{2,5}$

Analogamente alle concentrazioni medie annuali di PM_{10} , quelle di $\text{PM}_{2,5}$ evidenziano una variabilità territoriale in tutta la regione alpina. La figura 17 mostra che tutte le stazioni sono significativamente al di sotto del valore limite annuale ($25 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Nelle Alpi, non vi sono superamenti dei valori limite legali della Direttiva UE 2008/50/CE. Tuttavia, in termini di salute umana, il valore AQG dell'OMS ($10 \mu\text{g}/\text{m}^3$) è superato nella maggioranza delle stazioni e solo pochi siti di fondo (tra 7 e 10, a seconda dell'anno), nella maggior parte dei casi rurali o suburbani, rientrano in tale valore.

I risultati del monitoraggio della qualità dell'aria nelle Alpi dimostra chiaramente che l'inquinamento da $\text{PM}_{2,5}$ è un'istanza prioritaria nelle aree della Convenzione delle Alpi. Sebbene il numero di stazioni che superano il valore limite UE si sia ridotto, il superamento delle AQG dell'OMS è diffuso, come si può vedere nella mappa della figura 18.

Benzo(a)pirene

I livelli delle concentrazioni sono in linea con il valore obiettivo ($1 \text{ ng}/\text{m}^3$) nella maggior parte dei siti e si può notare un calo generale della concentrazione nel 2018 (figura 19). Tuttavia, valori medi annuali superiori a $1 \text{ ng}/\text{m}^3$ sono stati osservati in alcune stazioni di fondo urbane e suburbane in Austria e in Italia, con superamenti registrati in 5, 10 e 1 stazione rispettivamente nel 2016, 2017 e 2018, come mostra la mappa della figura 20.

Altri inquinanti

Per SO_2 , benzene, CO e metalli pesanti le concentrazioni osservate sono basse e non superano i valori limite europei. Solo per il SO_2 si supera occasionalmente la più restrittiva linea guida OMS ($20 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

5.2.2 CONFRONTO CON LE SOGLIE NAZIONALI

Il capitolo 2.2 ha spiegato come Austria, Liechtenstein e Svizzera abbiano stabilito limiti nazionali per l'inquinamento atmosferico inferiori ai limiti UE per NO_2 , PM_{10} , $\text{PM}_{2,5}$ (e BaP solo per l'Austria) (si veda la tabella 2 per un quadro d'insieme). Dal confronto tra questi limiti nazionali e i dati osservati risulta quanto segue.

Innanzitutto, le concentrazioni di NO_2 nelle Alpi sono sostanzialmente simili in tutti i paesi alpini e tutte le Parti contraenti della Convenzione delle Alpi soddisfano i limiti nazionali di legge più restrittivi, ad eccezione del sito urbano di Monaco. Non vi è alcuna evidenza di una differenza tra i paesi con limiti più severi e gli altri.

D'altro canto, il valore delle concentrazioni di PM_{10} varia molto. In Francia e, almeno nel 2017, anche in Italia, si possono trovare diverse stazioni che superano il limite più severo delle AQG dell'OMS. In base alla figura 7 e sulla scorta delle conclusioni della sezione 3.2, le principali ragioni, per lo meno per Grenoble e Chamonix, possono essere la combustione di biomasse, il traffico e l'agricoltura, abbinati a condizioni di dispersione sfavorevoli.

Infine, e come già detto in precedenza, la situazione per il $\text{PM}_{2,5}$ è diversa. Tutti i livelli di inquinamento misurati nell'area della Convenzione delle Alpi rientrano nel limite UE, ma al contempo sono al di sopra dei limiti nazionali di Austria, Liechtenstein e Svizzera. La Svizzera sembra essere lievemente meno inquinata: ciò può essere riconducibile a un insieme di limiti storicamente più severi e quindi a una strategia di contenimento delle emissioni.

5.3 ANALISI DEI TREND, CORRELAZIONE CON LE STRATEGIE DI MITIGAZIONE

Questa sezione analizza i dati dal 2009 al 2018 per determinare la tendenza dell'inquinamento atmosferico nelle Alpi. La curva dei trend e la sua significatività sono state stimate utilizzando i metodi statistici di Mann-Kendall e di Sen per la stima della pendenza. Per NO_2 , O_3 , PM_{10} e $\text{PM}_{2,5}$, le stazioni sono state selezionate in base a criteri di completezza dei dati stabiliti in studi precedenti. I risultati per sito di monitoraggio sono stati quindi aggregati in base alla classificazione della stazione. Per il

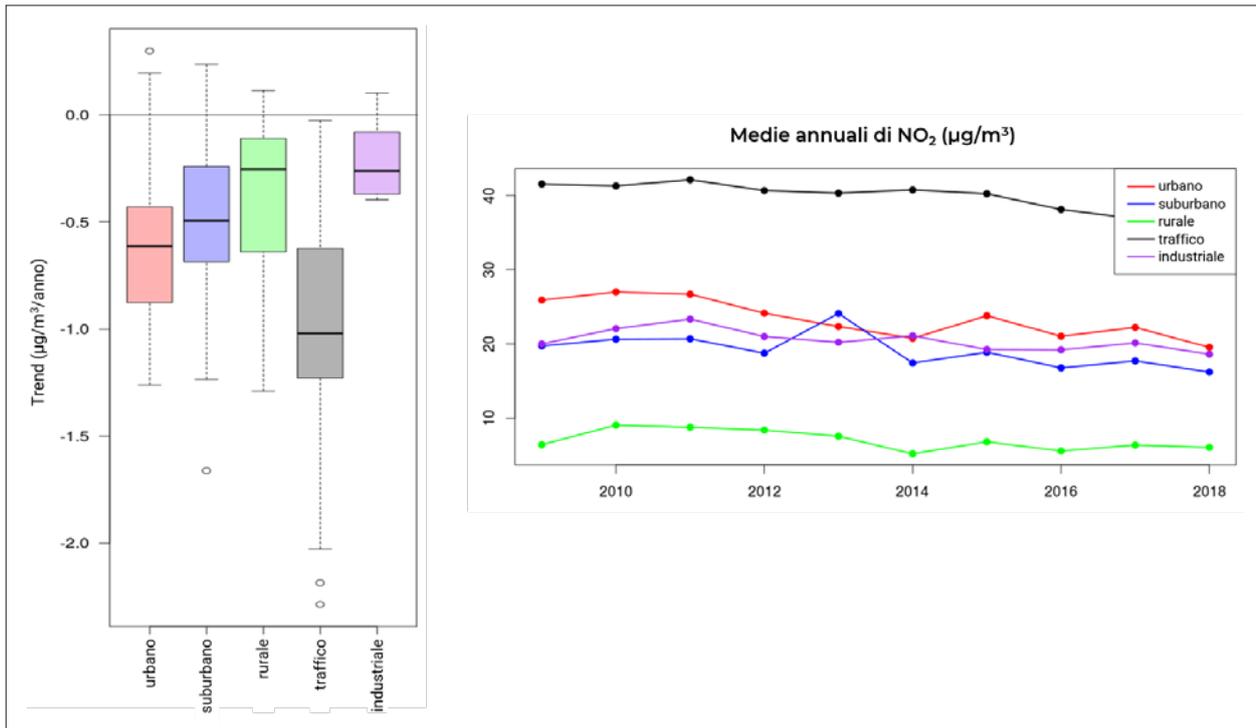


Figura 21: Variazione nelle concentrazioni medie annuali di NO₂ in µg/m³ nel perimetro della Convenzione delle Alpi dal 2009 al 2018. Grafico a sinistra: distribuzione della pendenza del trend in base alla classificazione della stazione. Grafico a destra: evoluzione della media annuale di NO₂ in µg/m³ in base alla classificazione della stazione nel periodo 2009-2018. Le stazioni qualificate come rurali, suburbane e urbane sono stazioni di fondo.

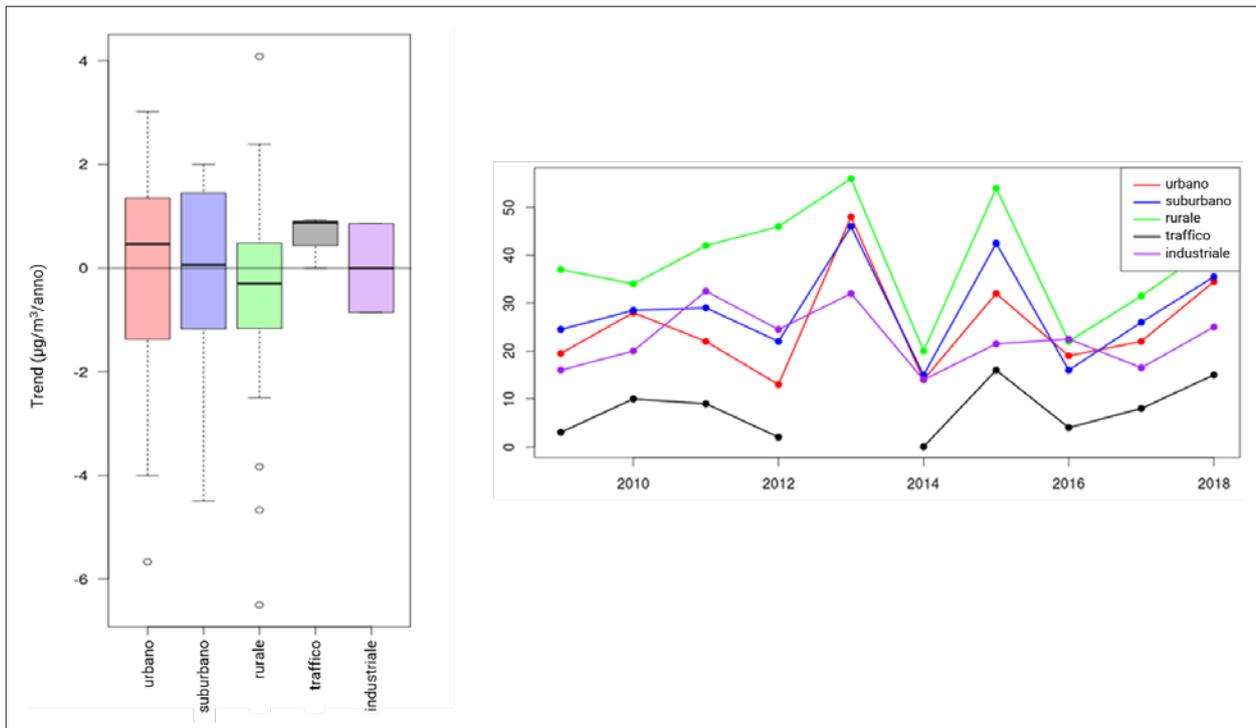


Figura 22: Variazione nel numero di giorni in cui la media massima giornaliera di otto ore dell'ozono risultava superiore alla soglia di 120 µg/m³ nel perimetro della Convenzione delle Alpi. Grafico a sinistra: distribuzione della pendenza del trend in base alla classificazione della stazione. Grafico a destra: evoluzione del numero di giorni di superamenti in base alla classificazione della stazione dal 2009 al 2018. Le stazioni qualificate come rurali, suburbane e urbane sono stazioni di fondo.

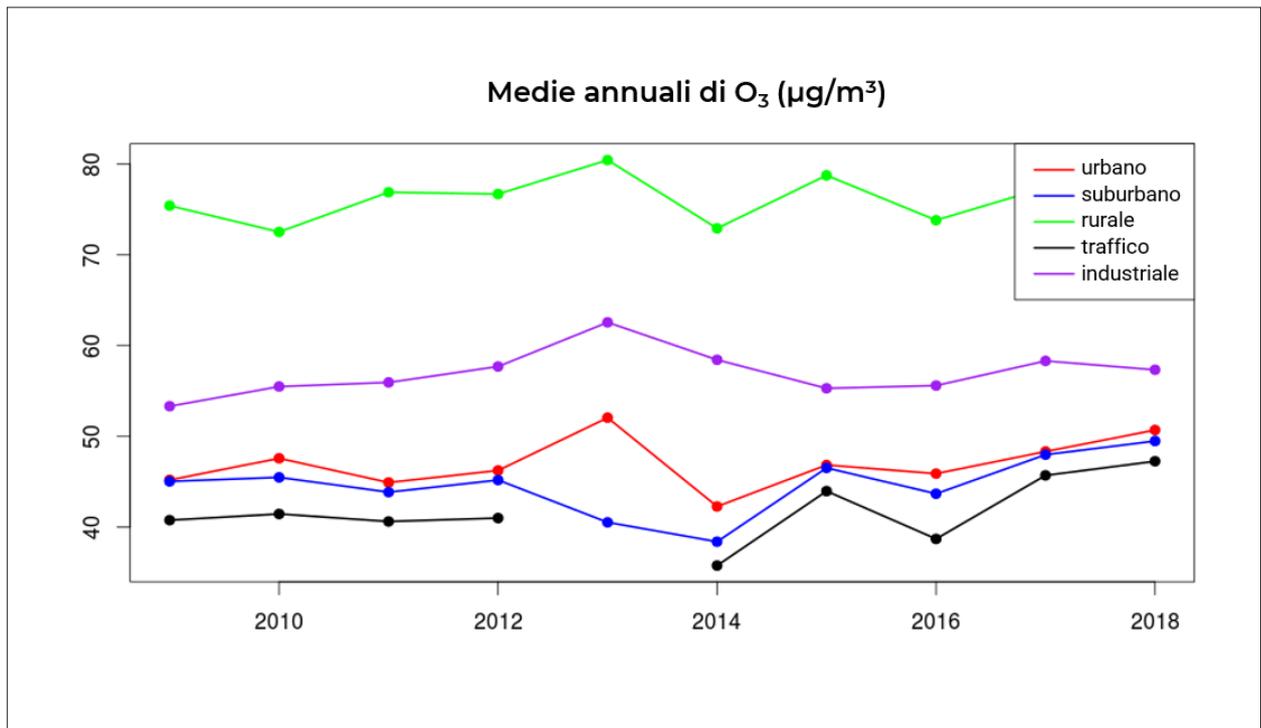


Figura 23: Evoluzione della media annuale di O₃ in µg/m³ in base alla classificazione della stazione nel periodo 2009-2018. Le stazioni qualificate come rurali, suburbane e urbane sono stazioni di fondo.

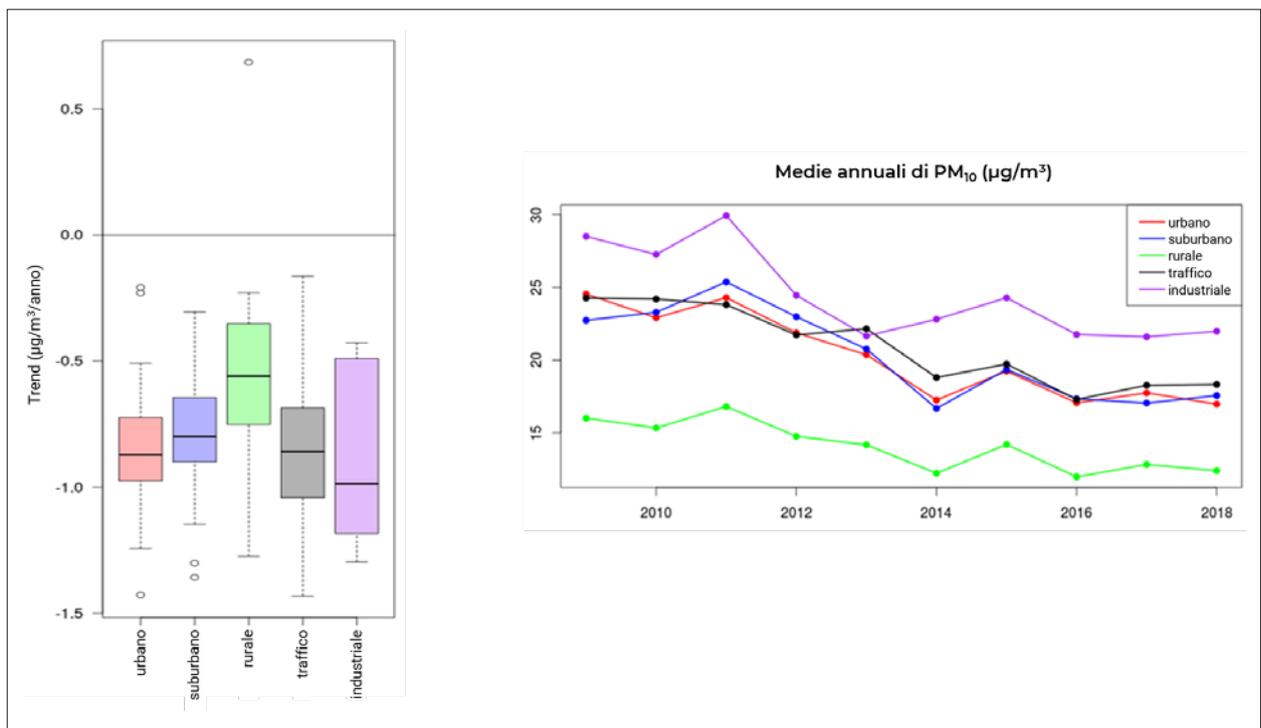


Figura 24: Variazione nelle concentrazioni medie annuali di PM₁₀ in µg/m³ nel perimetro della Convenzione delle Alpi dal 2009 al 2018. Grafico a sinistra: distribuzione della pendenza del trend in base alla classificazione della stazione. Grafico a destra: evoluzione della media annuale di PM₁₀ in µg/m³ in base alla classificazione della stazione nel periodo 2009-2018. Le stazioni qualificate come rurali, suburbane e urbane sono stazioni di fondo.

BaP, l'analisi è stata eseguita per stazione, essendo basata su un insieme ridotto di dati.

I trend sono in gran parte decrescenti, indicando un miglioramento nella qualità dell'aria nel corso dell'ultimo decennio, ad eccezione dell'ozono. Un andamento simile è osservabile in media in tutta Europa.

5.3.1 NO₂

I grafici nella figura 21 mostrano un lento miglioramento della qualità dell'aria che emerge dall'analisi dei trend per quanto concerne il NO₂, con diminu-

zioni significative soprattutto nei valori misurati nelle stazioni lungo le arterie stradali.

5.3.2 OZONO

I dati disponibili dalle stazioni nelle Alpi non rivelano alcuna tendenza chiara per le concentrazioni di ozono. Per la maggior parte dei siti, il trend non è significativo. Si osservano grandi variazioni interannuali, come mostra la figura 22, probabilmente legate alla meteorologia, dato che la formazione di O₃ dai suoi precursori è catalizzata dalla luce solare.

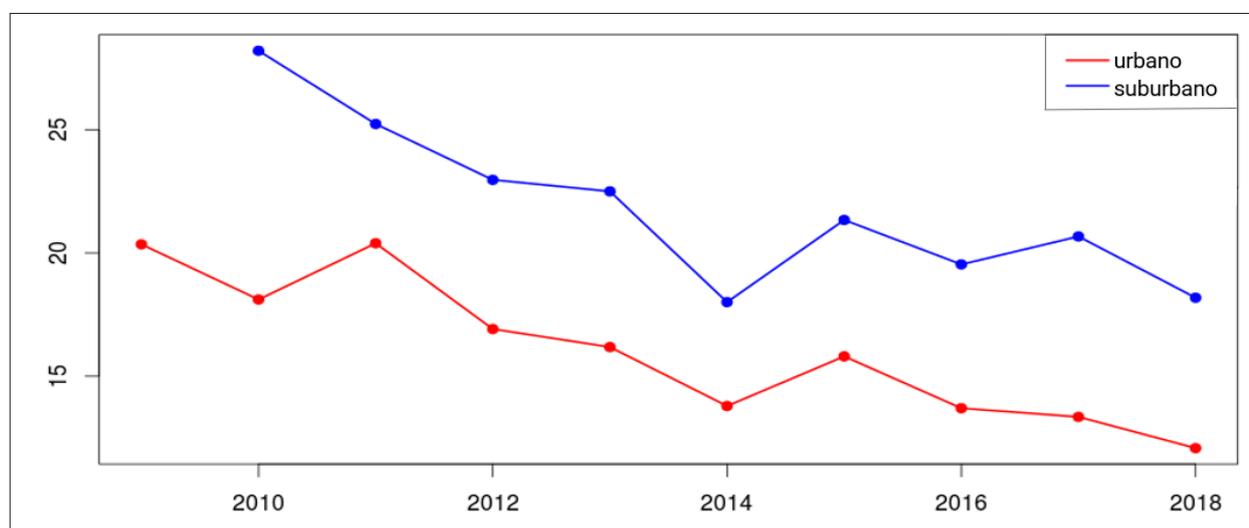


Figura 25: Evoluzione della media annuale di PM_{2.5} in µg/m³ in stazioni di fondo urbane e suburbane nel perimetro della Convenzione delle Alpi dal 2009 al 2018.

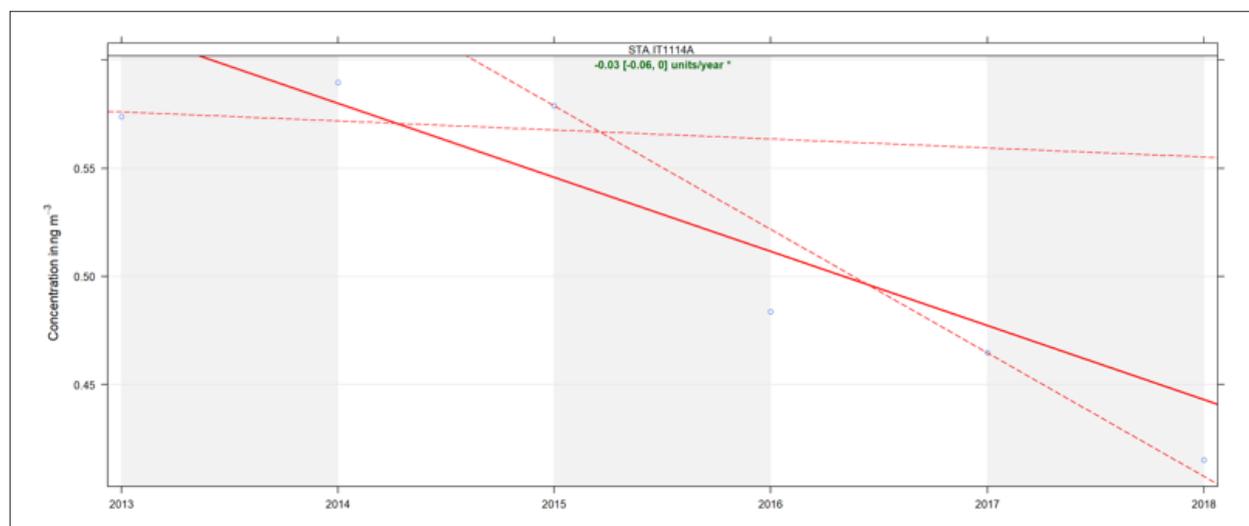


Figura 26: Trend recente del BaP in una stazione di monitoraggio nelle Alpi italiane. La linea rossa continua mostra la stima della tendenza e la linea rossa tratteggiata mostra l'intervallo di confidenza al 95% per il trend. Il trend generale è indicato in alto a sinistra, pari a -0,03 µg/m³ l'anno, e l'intervallo di confidenza al 95% è -0,06-0 µg/m³ /anno. Il simbolo \ast indica che il trend è significativo al livello 0,05.



5.3.3 PM₁₀

Il trend per il PM₁₀ mostra che le sue concentrazioni sono scese nettamente dal 2009 al 2014, ma sembrano essersi stabilizzate nel periodo 2014-2018. Il trend della media annuale nel periodo 2009-2018 è significativo per la maggioranza dei siti. Non vi è alcuna differenza di situazione tra le stazioni rurali e urbane, o nelle stazioni rappresentative per industria o traffico (figura 24).

5.3.4 PM_{2,5}

Le stazioni di monitoraggio del PM_{2,5} sono situate esclusivamente nelle aree urbane e suburbane. Tuttavia, il trend chiaro visibile nella figura 25 indica un calo della concentrazione di PM_{2,5} nelle stazioni alpine.

5.3.5 BaP

È stato possibile valutare i trend solo per 10 stazioni (1 in Germania, 3 in Austria e 6 in Italia), dato che le altre stazioni non avevano dati storici sufficienti per una valutazione. In linea generale, il trend è decrescente, ma non significativo nella maggior parte dei casi, ad eccezione di una sta-

zione in Italia dove risulta significativamente in calo (figura 26).

L'analisi dei trend era incentrata sugli inquinanti che presentavano superamenti dei valori limite od obiettivo europei e delle linee guida OMS. In linea con quanto osservato in Europa, l'analisi eseguita nel periodo 2009-2018 mostra un miglioramento generale nella qualità dell'aria, per diversi inquinanti. Come indicano i grafici, le variazioni interannuali nella concentrazione cambiano nel tempo. Tuttavia, nel decennio preso in esame, la percentuale media di variazione delle concentrazioni medie annuali è negativa sia per NO₂ (-2,7% /anno e -3,1% /anno nelle stazioni di fondo rispettivamente di traffico e urbane) che per PM₁₀ (-3,1% /anno e -4,0% /anno nello stesso tipo di stazioni). Le percentuali medie di diminuzione delle concentrazioni di PM_{2,5} sono le più alte: -5,6% /anno nelle stazioni di fondo urbane. Per l'ozono non è stato possibile identificare alcuna tendenza. Le concentrazioni di benzo(a)pirene sembrano presentare un trend decrescente, ma occorrono più dati per confermarlo. Questo sviluppo complessivamente favorevole, combinato ai pochi superamenti persistenti delle soglie UE o delle linee guida OMS, incoraggia la continuazione di sforzi ed azioni di contrasto all'inquinamento atmosferico.

6. PROGETTI DI RICERCA E OSSERVATORI RILEVANTI AI FINI DELLA QUALITÀ DELL'ARIA NELLE ALPI

Altre sostanze diventeranno importanti per il futuro della regione alpina, oltre agli inquinanti atmosferici regolamentati, riportati nella tabella 1. Il presente capitolo esamina le relative problematiche, attualmente oggetto di studio in programmi di ricerca cooperativi. Più dettagli al riguardo sono riportati nell'allegato 2 della Relazione.

Una sfida importante per la regione alpina, menzionata in diversi studi e rapporti nazionali e transnazionali riassunti negli allegati, consiste nelle emissioni e nelle concentrazioni di particolato ($PM_{2,5}/PM_{10}/UFP$) prodotto dalla combustione del legno. La combustione del legno, in realtà, è un'attività antropogenica tradizionale, ma i problemi che crea in termini di POP e COV sono aggravati dalla particolare orografia delle Alpi.

Il clima influenza soprattutto l'ecosistema, ma anche l'atmosfera, che a sua volta influisce su distribuzione e deposizione di masse d'aria e di inquinanti, oltre a modificare le altezze degli strati atmosferici e le reazioni chimiche. Per il momento, disponiamo ancora di informazioni ed evidenze limitate su come i cambiamenti climatici influenzino la qualità dell'aria e, pertanto, anche la salute umana. In linea generale, l'ipotesi di lavoro è semplicemente che le concentrazioni di ozono medie regionali aumenteranno.

Tutti questi aspetti sono osservati e studiati dagli scienziati. Il presente capitolo passa al vaglio i principali progetti di ricerca conclusi e ancora in corso, come anche le stazioni di osservazione, che contribuiscono ad approfondire le conoscenze sulla qualità dell'aria nelle Alpi.

6.1 IL PROGETTO DI RICERCA AMBIENTALE "PUREALPS"

Il progetto MONARPOP, conclusosi nel 2008 (si veda l'allegato 2), era incentrato sui POP e su altre sostanze organiche nell'atmosfera nel territorio alpino. Dal 2016, tali misure sono proseguite grazie a due progetti omonimi, PureAlps (Freier K.P. et al., 2019), in Austria e Baviera. Oggetto di studio sono inquinanti come le dibenzodiossine policlorurate e i furani, i policlorobifenili (PCB), gli IPA, i pesticidi organoclorurati (OCP), i ritardanti di fiamma alogenati, il mercurio e altre sostanze organiche fluorurate e clorurate. I risultati di un monitoraggio più che quindicennale mostrano che le alte quote delle Alpi, a causa dell'effetto di condensazione, sono esposte agli inquinanti organici persistenti (figura 27). Sebbene le concentrazioni atmosferiche di inquinanti siano di molte volte inferiori alle regioni urbane, la deposizione di inquinanti spesso è dello stesso ordine di grandezza. Ciò significa che anche le aree alpine più remote non sono più esenti dai rischi ambientali legati alle sostanze chimiche. Alcuni inquinanti con fonti regionali significative, come il lindano proveniente dai materiali da costruzione lignei, o gli IPA dalla combustione del legno, hanno una maggiore prevalenza nella regione alpina centrale.

A seguito dell'introduzione del Regolamento UE REACH (Registrazione, valutazione, autorizzazione e restrizione delle sostanze chimiche, Regolamento (CE) n. 1907/2006) e della Convenzione di Stoccolma, si è registrato un calo nelle concentrazioni di alcuni inquinanti nell'aria ambiente delle Alpi. Questi inquinanti includono i pesticidi organoclorurati, ampiamente banditi. La concentrazione di



Figura 27: Risultato delle misure relative alle masse d'aria: impatto sulle vette alpine da tre direzioni prevalenti; come indicato, alcune direzioni presentano concentrazioni maggiori di PCB e OCP.³³

diossine nell'aria ambiente, invece, è scesa solo lievemente o, nel caso dei PCB, è rimasta stabile. Le ragioni sono ancora poco chiare e devono essere esaminate in maniera più dettagliata nel progetto PureAlps. Vi sono stati aumenti significativi dell'octaclorostirene nell'atmosfera - una sostanza che è un sottoprodotto della fabbricazione dei solventi clorurati ed è rilasciata dalla combustione degli idrocarburi clorurati. Anche il ritardante di fiamma decabromodifeniletano (DBDPE), utilizzato in grandi tonnellaggi, ha superato i limiti di rivelazione degli strumenti di misura per la prima volta nel 2012 e attualmente presenta la concentrazione più elevata nell'aria ambiente tra i ritardanti di fiamma alogenati monitorati.

6.2 STAZIONI DI MISURA AMBIENTALI AD ALTA QUOTA

Nella regione alpina, sono presenti stazioni in alta quota, dove si conducono attività di monitoraggio e di ricerca su inquinamento atmosferico, meteo e clima, ovvero: Schneefernerhaus sulla Zugspitze-

ze (DE, Agenzia federale per l'ambiente della Germania, si veda la figura 28), Hohenpeißenberg (DE, Servizio meteorologico tedesco), Jungfrauoch (CH), Sonnblick (AT, si veda la figura 29) e Plateau Rosa (IT). La loro ubicazione specifica in Europa e nelle Alpi rende tali stazioni di particolare interesse per le attività scientifiche di ricerca e monitoraggio, p.es. il trasporto degli inquinanti a lunga distanza, il monitoraggio delle sostanze organiche persistenti aerosospese per le finalità della Convenzione di Stoccolma sui POP³⁴, i cambiamenti fisici e chimici dell'atmosfera, l'intrusione di masse d'aria (e inquinanti) dalla stratosfera alla troposfera, e la produzione e il trasporto di inquinanti. Gran parte delle stazioni di cui sopra rientra nel programma Global Atmospheric Watch (GAW) dell'Organizzazione meteorologica mondiale (OMM), nella rete dell'European Monitoring and Evaluation Programme (EMEP) e nel programma ACTRIS (Aerosols, Clouds, and Trace gases Research Infrastructure Network). L'Italia partecipa a questi programmi anche con un'altra struttura ad alta quota, la stazione di Monte Cimone (Appennino settentrionale). Le stazioni di Plateau Rosa (e Monte Cimone), Zugspitze/Hohenpeißenberg e Jungfrauoch fanno inoltre parte dell'Integrated Carbon Observation System (ICOS) per il monitoraggio a lungo termine dei gas serra, e della rete di monitoraggio EMEP e GAW. Questi paesi alpini



Figura 28: Stazione di ricerca ambientale Schneefernerhaus sulla Zugspitze. ©Markus Neumann (UFS).

33. PureAlps – Monitoring of Persistent Pollutants in the Alps; brochure pubblicata dall'Agenzia bavarese per l'ambiente, Augusta, e dall'Agenzia austriaca per l'ambiente, Vienna; 2019, pagina 5 <https://www.bestellen.bayern.de/>.

34. Convenzione di Stoccolma sugli inquinanti organici persistenti (<http://chm.pops.int/TheConvention/Overview/TextoftheConvention/tabid/2232/Default.aspx>).



Figura 29: Osservatorio Sonnblick. © ZAMG/SBO Ludewig.

collaborano anche strettamente in seno al programma GAW per la raccolta di dati sui processi atmosferici mondiali per quanto concerne le componenti che influenzano il clima transnazionale e transfrontaliero.

Le stazioni di misura in quota Sonnblick (AT), Zugspitze e Hohenpeißenberg (DE), nonché la stazione di ricerca d'alta quota svizzera Jungfrauoch (CH) e l'Osservatorio climatico "Ottavio Vittori" sul Monte Cimone (IT) studiano i gas in traccia in sospensione, utilizzati tra le altre cose per il monitoraggio della Convenzione di Stoccolma sui POP.

6.3 RETI DI MONITORAGGIO IN ESSERE (DIVERSE DALLE FINALITÀ DELLE DIRETTIVE 2008/50/CE E 2004/107/CE) IN TERRITORIO ALPINO, FOCALIZZATE SULLA VALUTAZIONE DELL'INQUINAMENTO ATMOSFERICO

6.3.1 RETE TEDESCA PER IL PARTICOLATO ULTRAFINE

La stazione di ricerca ambientale Schneefernerhaus (UFS) sulla Zugspitze misura anche il particolato ultrafine. La struttura fa parte della

rete GUAN - German Ultrafine Aerosol Network, assieme alla stazione di misura Hohenpeißenberg, ai piedi delle Alpi. Le misure di UFP nelle stazioni ad alta quota confrontano i valori del particolato ultrafine nella regione alpina con l'aria nelle aree urbane e forniscono dati sulla formazione naturale di particolato rispetto alle polveri sottili di origine antropogenica.

Data la sua grande sensibilità di misura, la stazione UFS sulla Zugspitze attualmente è utilizzata nel quadro del progetto Osservatorio alpino virtuale, in collaborazione con Italia, Austria, Francia e Svizzera, per la ricerca di alta quota, il monitoraggio della qualità dell'aria e lo sviluppo di modelli predittivi, oltre che per comprendere i processi dei cambiamenti climatici.

6.3.2 PROGETTO NEXTDATA PER LA RICERCA SULL'OZONO

In Italia, il progetto NextData (2011-2013) del Consiglio nazionale delle ricerche (CNR) era volto a favorire l'integrazione di una rete in aree montane e remote, costituita da osservatori per il monitoraggio della composizione atmosferica e di specifiche variabili (parametri meteorologici e radiazione solare). L'obiettivo principale di questa rete consisteva nello studio dei processi che influenzano la variabilità degli inquinanti atmosferici e dei composti climalteranti (alocarburanti coinvolti nei processi di deplezione dell'ozono stratosferico disciplinati dal Protocollo di Montreal, gas serra non-CO₂ inclusi nel Protocollo di Kyoto, ozono e composti organici volatili non metanici, aerosol minerali e nero di carbonio), e nel monitoraggio costante dei gas in traccia, oltre che delle proprietà degli aerosol (distribuzione granulometrica, coefficiente di assorbimento).

La rete includeva cinque osservatori atmosferici di alta quota: Monte Cimone (Appennino settentrionale, 2.165 m s.l.m.), progetto Plateau Rosa (Alpi occidentali, 3.480 m s.l.m.), Col Margherita (Alpi orientali; 2.550 m s.l.m.), Monte Portella - Campo Imperatore (Appennino centrale; 2.401 m s.l.m.), e Monte Curcio (Appennino meridionale, 1.796 m s.l.m.). Sul Col Margherita si eseguivano misure continue dell'ozono per valutare il potenziale trasporto ad alta quota delle masse d'aria, influenzato dalle emissioni antropogeniche. Da altri siti di montagna, è risultata evidente una variabilità diurna dell'ozono nella stagione estiva, con valori massimi nelle ore serali e notturne e minimi durante il giorno. Nel corso della parte centrale del giorno, lungo i versanti dei rilievi si può avere de-

posizione secca, con un conseguente aumento della concentrazione di O_3 , mentre di notte l'ozono probabilmente si accumula per via delle emissioni antropogeniche locali e le condizioni meteo favorevoli, o è trasportato lontano dalla stratosfera e

poi trasferito alla stratosfera. In estate, inoltre, si rileva la presenza di un ciclo settimanale significativo dell'ozono, con valori che aumentano durante la settimana. In inverno, invece, si può osservare un ciclo giorno-notte invertito.

6.4 OSSERVATORIO ALPINO VIRTUALE (VAO): OSSERVAZIONE DELLA QUALITÀ DELL'ARIA NELLA REGIONE ALPINA - UN CONTRIBUTO ALLA CONVENZIONE DELLE ALPI

Michael Bittner, Ehsan Khorsandi, Frank Baier, Thilo Erbertseder Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (Agenzia aerospaziale tedesca), Earth Observation Center, Oberpfaffenhofen.

L'Osservatorio alpino virtuale³⁵ è un'associazione di osservatori alpini e osservatori associati di altre regioni montuose dell'Europa, il cui scopo è di affrontare in modo congiunto aspetti scientifici e sociali rilevanti per le Alpi, soprattutto nel contesto dei cambiamenti climatici. In seno al VAO, la Convenzione delle Alpi ha lo statuto di osservatore.

Nel quadro del VAO si monitora anche la qualità dell'aria nelle regioni alpina e prealpina. A tale fine, si ricorre a misure da stazioni terrestri e satellitari (in particolare il programma Sentinel dell'Agenzia spaziale europea³⁶, figura 30) nonché a dati del servizio di monitoraggio atmosferico europeo COPERNICUS³⁷.

Per le previsioni giornaliere della qualità dell'aria a livello del suolo (attualmente con due giorni di anticipo), l'Agenzia aerospaziale tedesca (DLR) si avvale di un sistema di modelli numerici che consiste in un modello meteorologico (WRF³⁸) e in un modello di trasporto chimico (POLYPHEMUS/DLR³⁹), che tiene conto delle condizioni speciali del territorio alpino. La distribuzione

degli inquinanti atmosferici è prevista con cadenza oraria nei distretti amministrativi (province), con una risoluzione orizzontale di 6 km. La risoluzione spaziale può essere aumentata a 2 km a livello regionale, attraverso cosiddetti "metodi di nesting". Nelle aree urbane si può ottenere una risoluzione fino a diversi metri, mediante accoppiamento con un altro modello idrodinamico (EULAG⁴⁰).

La qualità dell'aria è uno dei cosiddetti "stressori ambientali", cioè gli inquinanti ambientali possono influire sul benessere umano. L'impatto potenziale di una serie di inquinanti atmosferici - e lo stress meteorologico - è pertanto calcolato anche quotidianamente sulla base della situazione della qualità dell'aria e delle condizioni meteorologiche ed è comunicato sotto forma di "indice di rischio aggregato - ARI"

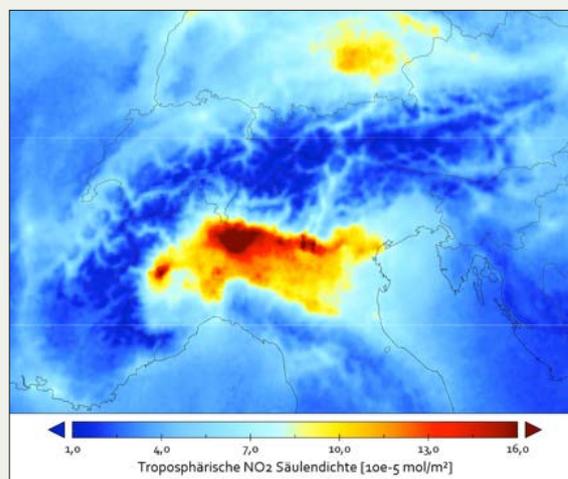


Figura 30: Concentrazione media della colonna di NO_2 troposferico per il periodo da gennaio a giugno 2019 sulla regione alpina (misure satellitari da Sentinel 5P dell'ESA, Agenzia aerospaziale tedesca).

35. <https://www.vao.bayern.de>.

36. <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/home>.

37. <https://atmosphere.copernicus.eu/>.

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

39. <https://www.spiedigitallibrary.org/conference-proceedings-of-spie/10793/1079303/Air-quality-monitoring-and-simulation-on-urban-scale-over-Munich/10.1117/12.2503969.short?webSyncID=a0ce46e9-e6ec-7a49-dab6-a0cbad059329&sessionGUID=ad883c9d-902b-c999-3ced-268bead49a28&SSO=1>.

40. <https://www2.mmm.ucar.edu/eulag/>.

(Sicard P. et al., 2012) o di "indice climatico termico universale UTCI"⁴¹.

Tutti i risultati sono resi disponibili quotidianamente al pubblico attraverso l'Alpine Environmental Data Analysis Center⁴² (AlpEnDAC) del VAO, che offre tale servizio senza limitazioni di accesso.

Il sistema trova anche impiego negli studi scientifici (p.es. sull'influenza dei cambiamenti climatici sulla qualità dell'aria o su aspetti relativi all'impatto della pandemia da Covid-19

sulle concentrazioni di inquinanti atmosferici) e consente anche lo studio di scenari (p.es. impatto sulla qualità dell'aria di un aumento nel traffico motorizzato, espansione delle arterie di trasporto o densificazione urbana).

Qui di seguito sono riportati alcuni esempi.

6.4.1 IL BIOCLIMATIC INFORMATION SYSTEM (BIOCLIS)

Un servizio (di natura progettuale) offerto da AlpEnDAC è il Bioclimatic Information System,

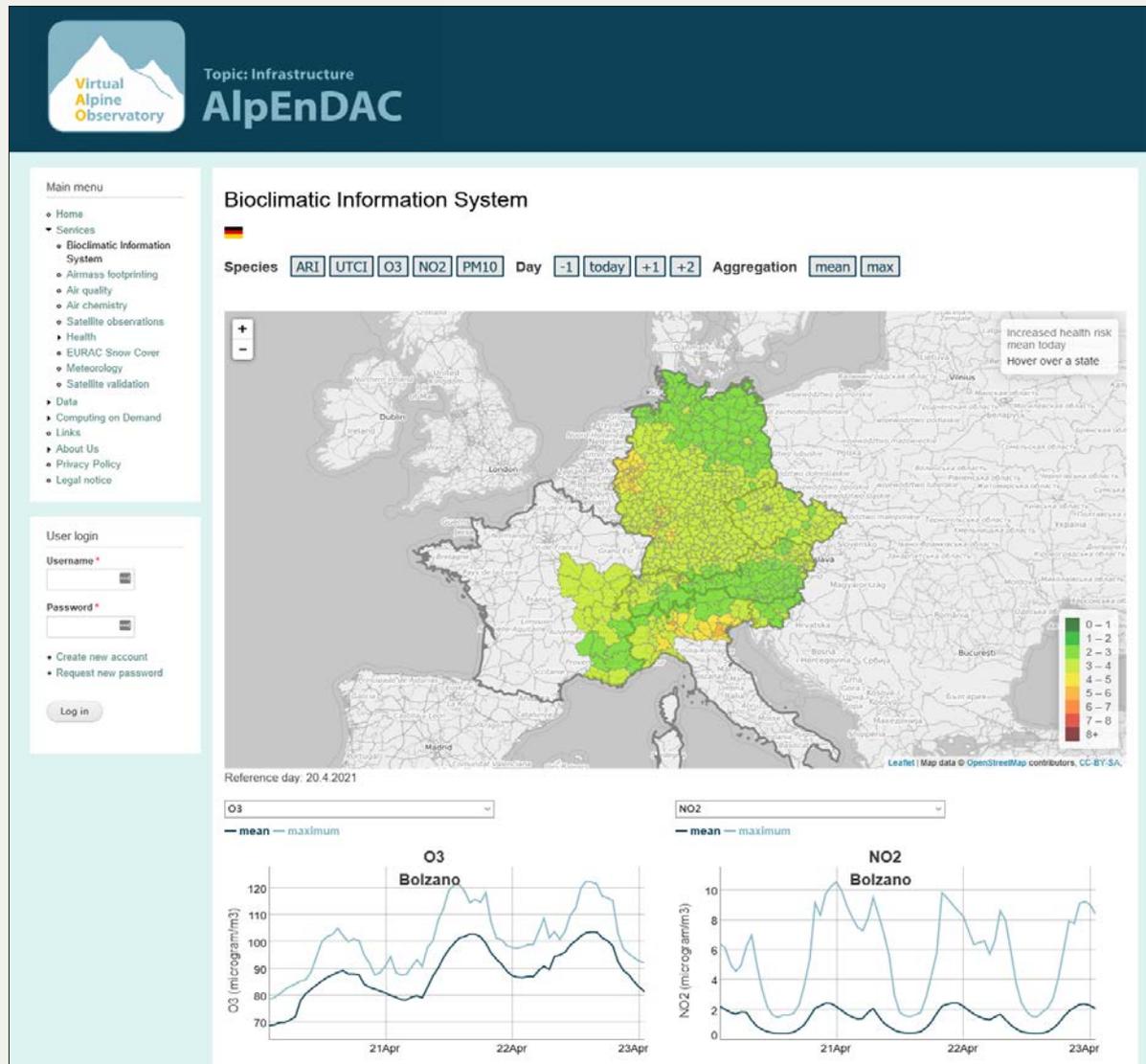
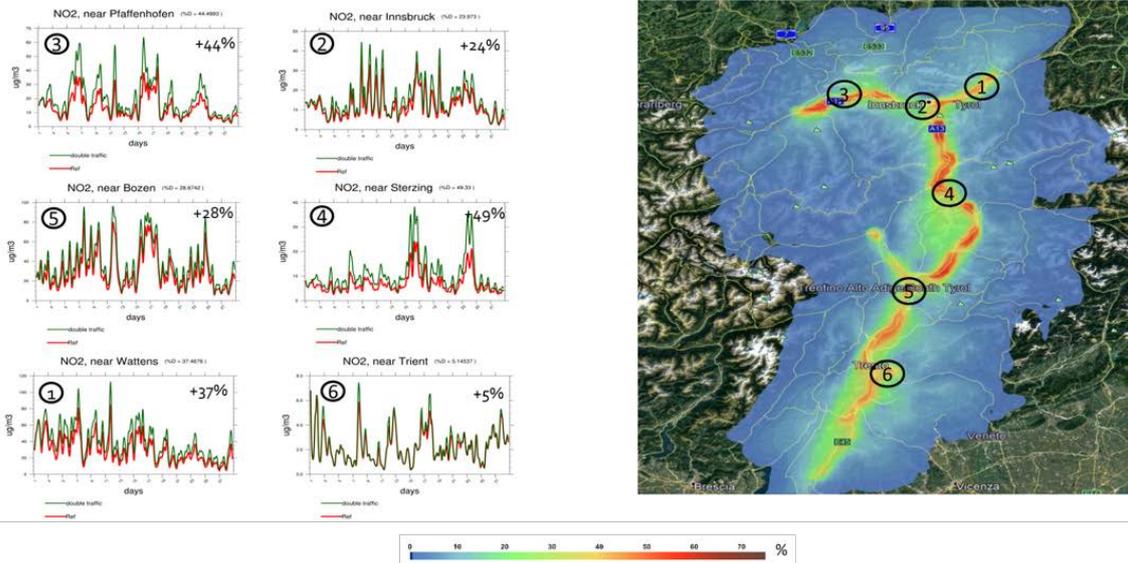


Figura 31: Bioclimatic information system per distretto. (<https://www.alpendac.eu/landkreis-tool>).

41. http://www.utci.org/isb/documents/windsor_vers04.pdf.

42. <https://www.alpendac.eu/>.

Aumento dell'inquinamento da NO₂ in alcuni siti dovuto ad un raddoppiamento del traffico
(Stimato per una durata di 10 giorni nel febbraio 2018)



Aumento dell'inquinamento da PM₁₀ in alcuni siti dovuto ad un raddoppiamento del traffico
(Stimato per una durata di 10 giorni nel febbraio 2018)



Nota: il PM₁₀ può venire trasportato per distanze maggiori; un aumento della densità del traffico interessa quindi aree più estese intorno alle strade rispetto al NO₂

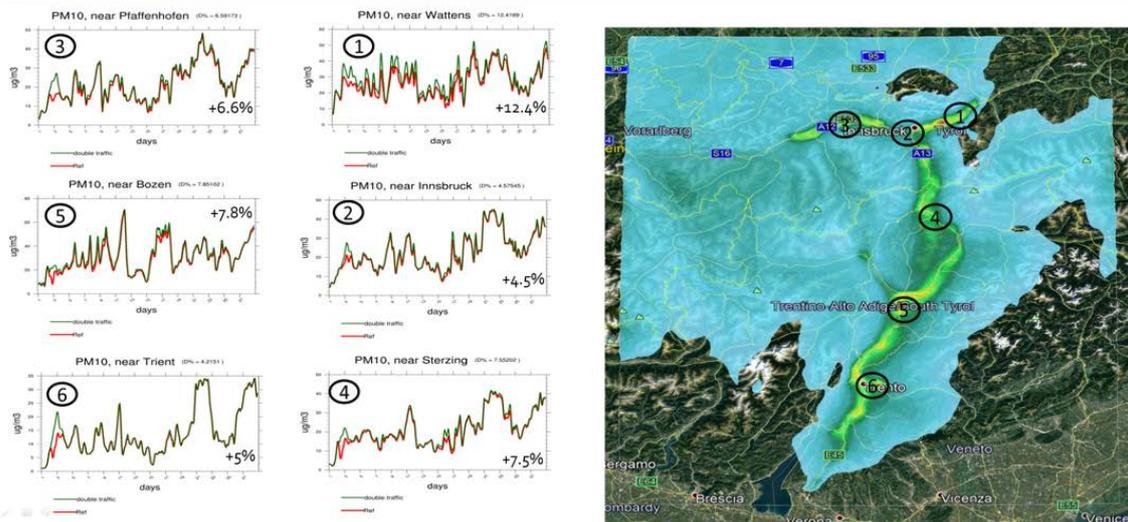


Figura 32: Simulazione dell'influenza di un raddoppiamento del traffico stradale per un periodo di 10 giorni nel febbraio 2018 sulla concentrazione di NO₂ (in alto) e sulla concentrazione di polveri sottili (PM₁₀) (in basso). I dati si riferiscono al traffico normale (rosso) e al traffico raddoppiato (verde). La mappa sul lato destro mostra la deviazione media tra l'inquinamento prodotto dal traffico normale e raddoppiato (solo sull'autostrada) per i primi 10 giorni di febbraio 2018.

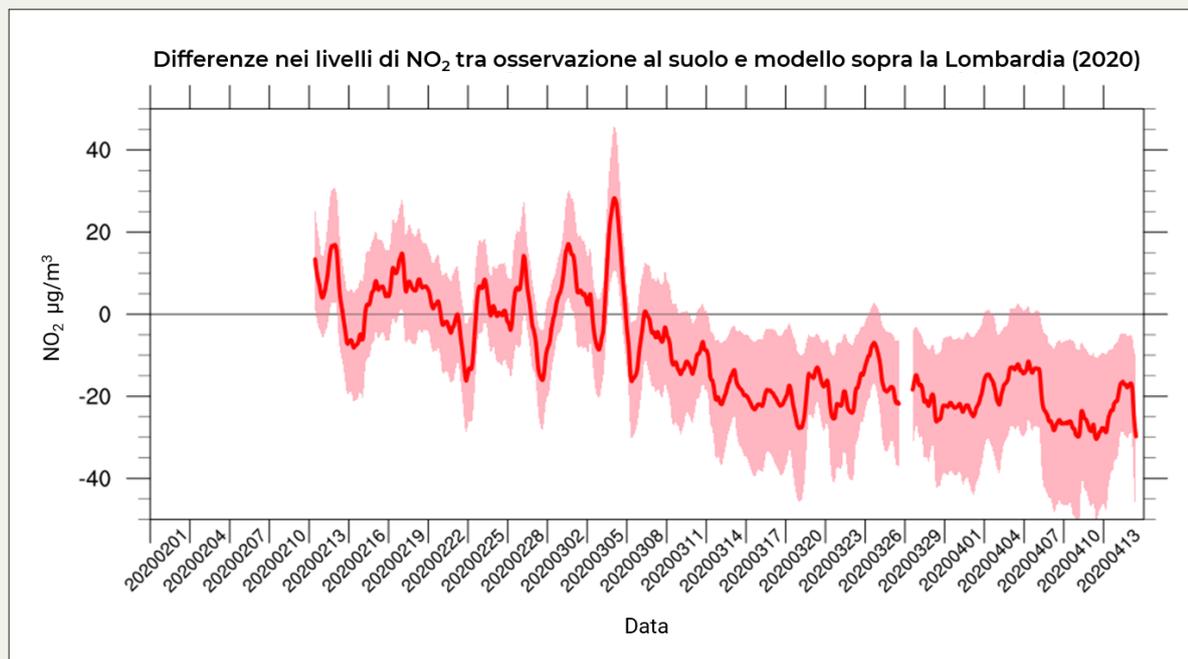


Figura 33: Differenza tra le concentrazioni di NO_2 misurate in 25 stazioni a terra in Lombardia e il modello WRF-POLYPHEMUS/DLR per il periodo dal 1° febbraio 2020 al 13 aprile 2020.

che fornisce valori giornalieri medi e una serie temporale di inquinanti atmosferici, parametri meteorologici e impatto sul benessere umano per un periodo di quattro giorni, aggregati in distretti. La figura 31 mostra uno screenshot della pagina web di BioCliS.

6.4.2 DUE ESEMPI DI SCENARI

A titolo di esempio, la figura 32 mostra una simulazione della distribuzione di NO_2 e della distribuzione di PM_{10} che risulterebbe ipoteticamente se il traffico stradale sulle arterie di transito centrali delle Alpi raddoppiasse. La figura rappresenta la situazione ipotetica per un periodo di 10 giorni nel febbraio 2018, indicando l'aumento percentuale di carico di NO_2 rispetto alla situazione normale. I grafici sulla parte sinistra della figura mostrano il maggiore carico atteso di NO_2 per una serie di località selezionate. Occorre notare, tuttavia, che nei pressi delle città più grandi, ad esempio, come Innsbruck, l'impatto di un traffico autostradale doppio può risultare inferiore per via dell'influenza delle

alte emissioni locali provenienti da molte fonti. Il grafico nella figura 32 mostra la situazione per il PM_{10} .

La figura 33 riporta un altro esempio di un'indagine tipica. Il primo lockdown dovuto alla pandemia da Covid-19 ha limitato notevolmente il traffico stradale e le attività industriali. Le misure di NO_2 da stazioni terrestri o anche satellitari indicano una riduzione dell'inquinamento da NO_2 . Tuttavia, variazioni naturali nel carico di NO_2 , dovute alle condizioni meteorologiche, mascherano questo effetto nelle misure. La riduzione dell'inquinamento da NO_2 dovuto al lockdown diventa particolarmente chiara se si confrontano le misure con il suddetto modello, dato che quest'ultimo considera molte influenze naturali sulla variabilità di NO_2 . La figura 33 mostra la differenza tra il modello e oltre 25 misure provenienti da stazioni a terra lombarde. Risulta evidente il calo di 30 microgrammi circa per metro cubo nel carico di NO_2 , che corrisponde a una diminuzione fino a un massimo di 45% circa rispetto alla situazione normale.



6.5 QUALE FUTURO PER IL MONITORAGGIO DEGLI INQUINANTI NELL'ARIA AMBIENTE?

La misurazione e il monitoraggio degli inquinanti in traccia come POP, gas refrigeranti, gas alogenati e particolato ultrafine nelle stazioni ad alta quota sono necessari e urgenti. Le caratteristiche particolari della regione alpina, ovvero di essere molto sensibile agli inquinanti, di presentare una buona dispersione degli stessi, ma anche di essere una trappola per tali sostanze, richiede ulteriore attenzione. In tale contesto, le Alpi possono anche essere viste come una "sentinella" che rileva gli inquinanti emergenti e allerta sui futuri impatti delle attività antropiche.

In tale contesto, le misure delle UFP possono risultare di interesse anche per i siti vallivi densamente popolati, con industria e traffico. Tuttavia, l'acquisizione di informazioni scientifiche sulla metodologia di misura e sulla valutazione degli effetti sulla

salute è ancora in corso. Occorrono pertanto ulteriori ricerche sulle UFP e sui loro effetti sulla salute umana e sull'ambiente.

Oltre a raccogliere dati precisi sugli inquinanti atmosferici, le stazioni di misura devono essere disposte in modo rappresentativo, anche per poter descrivere in modo affidabile le caratteristiche meteorologiche specifiche delle aree locali.

La rivelazione degli inquinanti atmosferici attraverso i dati satellitari e il loro accoppiamento a misure *in situ* e modellizzazione assumeranno maggiore importanza, come mostra la sezione 6.4 sul VAO. Tale osservatorio fornirà un quadro d'insieme più completo sull'inquinamento atmosferico nelle Alpi. Una rete di sensori a basso costo potrebbe anche integrare le misure esistenti e coinvolgere il pubblico, al fine di sensibilizzarlo alla tematica della qualità dell'aria. Tuttavia, essa non dovrebbe sostituire le misure certificate, poiché manca di affidabilità e attualmente non è adeguata allo studio degli effetti sulla salute.

7. ESEMPI DI SOLUZIONI INTELLIGENTI PER RIDURRE L'INQUINAMENTO ATMOSFERICO

Il presente capitolo verte su esempi di misure e soluzioni forniti dagli esperti del Gruppo di lavoro. Tali misure sono applicabili a livelli diversi, da quello nazionale a quello locale, al fine di migliorare la qualità dell'aria, con particolare attenzione per la regione alpina. Molte azioni destinate a migliorare la qualità dell'aria hanno effetti collaterali che l'attuale analisi cerca di comprendere, soprattutto laddove un effetto positivo su un altro aspetto ambientale, per esempio i cambiamenti climatici, comporti effetti avversi per la qualità dell'aria (l'esempio tipico è la combustione del legno). D'altro canto, le misure non finalizzate specificatamente a ridurre l'inquinamento atmosferico possono anche avere ricadute positive sulla qualità dell'aria. Lo studio evidenzia le situazioni efficienti di win-win, quando tali informazioni sono disponibili. Ad esempio, la decarbonizzazione dell'economia alpina può influire positivamente sulla qualità dell'aria se si implementano sistemi di trasporto più puliti, ma può anche comportare effetti avversi laddove si sviluppi la combustione di biomasse in assenza di una tecnologia adeguata.

7.1 COMBUSTIONE DI BIOMASSE E IMPIANTI DI RISCALDAMENTO GENERALE

Come mostrano i capitoli 2 e 3, alcuni paesi alpini hanno adeguato il proprio quadro giuridico, che include i valori limite e le misure riguardanti specificatamente gli impianti di riscaldamento, i sistemi alimentati a legna e le applicazioni industriali. Le soluzioni intelligenti per ridurre le emissioni degli impianti di riscaldamento, in particolare alimentati a legna, iniziano stabilendo linee guida e soglie per il riscaldamento degli edifici. Oltre alle soglie e alle linee guida, si possono prevedere incentivi finanziari per aiutare i cittadini a rientrare nei limiti. Un altro pilastro consiste nel creare reti di ricerca o di scambio e nel disseminare le conoscenze. Infine, la presente sezione presenta vari esempi di reti

di teleriscaldamento: in determinate circostanze, infatti, il teleriscaldamento rappresenta una soluzione utile per garantire un riscaldamento più efficiente e più pulito.

7.1.1 INCENTIVI FINANZIARI

7.1.1.1 Riduzione delle emissioni di particolato da impianti di riscaldamento a legna nelle abitazioni private, Francia

In Francia esistono incentivi per le abitazioni private site in comuni particolarmente inquinati da PM. Tali incentivi sono destinati ad aiutare i nuclei familiari a sostituire gli impianti di riscaldamento altamente inquinanti con versioni più moderne, le cui emissioni ed efficienza energetica siano certificate. Tutte le famiglie che rientrano nei parametri possono avere accesso a tali incentivi, a prescindere dal loro reddito, il che rappresenta per la popolazione uno stimolo alla sostituzione dei vecchi impianti di riscaldamento. Gli incentivi sono pubblicizzati attraverso campagne di comunicazione rivolte alla popolazione, al fine di sensibilizzarla alle buone pratiche in questo ambito.

Per le zone inquinate da particolato serviva una misura semplice, ma efficace. Perciò un incentivo economico è stato testato per un periodo di 4 anni in un'area alpina. L'andamento della concentrazione di PM_{10} generato dalla combustione del legno è stato misurato per l'intera durata del progetto pilota, consentendo di osservare il seguente miglioramento nell'efficienza:

- una riduzione costante di PM nel tempo;
- un calo compreso tra 4% e 12% nel PM_{10} dopo 4 anni, grazie alla sostituzione di meno di 30% degli impianti di riscaldamento inefficienti, nel progetto pilota.

Tale misura si è rivelata pertanto un successo ed è stata estesa a livello nazionale.



7.1.2 VALORIZZAZIONE DELLA CONOSCENZA

7.1.2.1 Misure per l'impiego del legno nel riscaldamento, Slovenia

A integrazione delle misure sul riscaldamento descritte nel Piano per mantenere la qualità dell'aria, la *Strategia per un saggio impiego del legno per scopi energetici* è incentrata sul miglioramento dell'utilizzo delle risorse nel riscaldamento a legna. Essa si basa su una precisa analisi dell'impiego del legno per il riscaldamento di edifici in Slovenia, dove 205.000 unità di combustione utilizzano combustibili solidi. Oltre la metà ha più di 20 anni.

Gli obiettivi della Strategia:

- utilizzare il legno, risorsa nazionale e rinnovabile, in modo saggio ed efficiente come materia prima e fonte energetica;
- trasformare e utilizzare in modo efficiente in Slovenia il legno in tronchi provenienti dalle foreste nazionali, innanzitutto nell'industria del legno e in secondo luogo per finalità energetiche;
- garantire un'elevata efficienza nell'impiego del legno per scopi energetici;
- promuovere la realizzazione di caldaie condive moderne ed efficienti, a biomassa legnosa, dove la distribuzione spaziale degli edifici lo consenta;
- incentivare la sostituzione degli impianti di combustione individuali e ridurre le emissioni di particolato dalle unità di combustione obsolete;
- stabilire un centro di competenza per il riscaldamento a legna abbinato a un centro dimostrativo mobile per piccole unità di combustione;
- migliorare cooperazione e coordinamento di decisori, esperti e altri portatori di interessi nell'uso di fonti energetiche rinnovabili.

7.1.2.2 Trasferimento di conoscenza a diversi livelli amministrativi: Cercl'Air Società svizzera dei responsabili della protezione dell'aria, Svizzera

Cercl'Air è un'associazione che riunisce autorità e accademici svizzeri attivi nel settore della qualità dell'aria e delle radiazioni non ionizzanti. Essa

favorisce e promuove, nel complesso sistema federale, il coordinamento intercantonale dell'implementazione della legge sulla protezione della qualità dell'aria e facilita il trasferimento di conoscenza tra scienza e amministrazioni. Uno dei suoi campi di attività riguarda anche il riscaldamento domestico (combustione del legno e qualità del combustibile).

7.1.2.3 Protocollo di intesa sui piccoli impianti a biomasse legnose, Italia

In Italia vi sono incentivi finanziari per sostituire i vecchi impianti con versioni a basse emissioni, ma occorre anche promuovere un cambiamento culturale sulla tematica. È stato pertanto siglato un protocollo di intesa⁴³ tra il Ministero dell'ambiente e della tutela del territorio e del mare e l'Associazione Italiana Energie Agroforestali (AIEL), un'associazione di oltre 500 imprese che operano lungo la filiera legno-energia, e che include produttori e distributori di legna da ardere, cippato e pellet certificati, produttori di sistemi di riscaldamento e cogenerazione e progettisti, installatori e manutentori di sistemi a biomassa. L'associazione promuove la valorizzazione energetica delle biomasse agroforestali.

Tale protocollo d'intesa promuove gli investimenti nella ricerca e nello sviluppo dei produttori associati, per sostenere e accelerare il processo di innovazione tecnologica degli impianti a biomassa, volto ad aumentare l'efficienza dei generatori e a ridurre le emissioni, in particolare relativamente a PM e BAP. Esso attiva idonei processi formativi per l'aggiornamento e la qualificazione professionale degli installatori e dei manutentori di impianti a biomasse legnose. Il protocollo d'intesa prevede inoltre campagne di informazione rivolte a produttori e utenti, e incoraggia l'adozione di una guida rapida al corretto uso degli apparecchi domestici a legna e pellet da allegare al libretto di uso e manutenzione degli impianti termici appartenenti alle classi di qualità più elevata. Infine, tale iniziativa stabilisce alcune azioni volte a reperire risorse per promuovere la sostituzione dei vecchi impianti con impianti nuovi, a basse emissioni.

Il protocollo d'intesa consente inoltre l'accesso a tutte le Regioni e Province autonome interessate, che si assumono l'impegno di intensificare e potenziare le operazioni di verifica e controllo degli

43. https://www.minambiente.it/sites/default/files/archivio/allegati/inquinamento_atmosferico/Protocollo_Intesa_MATTM_AIEL.pdf.

impianti termici civili a biomassa e di informare il pubblico con cadenza più regolare.

7.1.3 TELERISCALDAMENTO

7.1.3.1 Misure per il riscaldamento degli edifici ai sensi del Piano per mantenere le qualità dell'aria, Slovenia

Il Piano per mantenere la qualità dell'aria⁴⁴ copre tutte le aree esterne agli agglomerati urbani che hanno piani individuali finalizzati al miglioramento della qualità dell'aria. Le misure sono differenziate in funzione delle caratteristiche territoriali e includono tra l'altro:

1. creazione di nuovi microsistemi di teleriscaldamento a biomasse legnose in aree separate, densamente popolate, e allacciamento ad essi di tutti gli edifici nell'area;
2. creazione di piccole unità di combustione di biomasse legnose condivise, laddove le condizioni lo consentano, e allacciamento ad esse di tutti gli edifici nell'area;
3. sostituzione delle unità di combustione di biomasse legnose obsolete con unità moderne e in aree di insediamento sparso con pompe di calore;
4. informazione, comunicazione e istruzione delle persone in materia di buone pratiche, nonché dimostrazione e promozione degli effetti positivi sulla qualità dell'aria in aree dove sono ancora in uso piccoli impianti di combustione ormai obsoleti.

7.1.3.2 Sistema di teleriscaldamento a legna, Disentis-Mustér, Svizzera

Con la creazione di una rete di teleriscaldamento nel comune di Disentis-Mustér, nel Cantone dei Grigioni, si sono potute ridurre in misura significativa le emissioni di polveri sottili, rispetto ai sistemi di riscaldamento decentralizzati, attraverso un corretto funzionamento dell'impianto e sistemi di filtrazione. Il combustibile scelto è il legno, che rilascia poche emissioni di CO₂ ed è disponibile localmente.

Disentis-Mustér è un villaggio di montagna nel Cantone dei Grigioni. Nel novembre 2009, molti impianti di riscaldamento a gasolio e a gas al centro del villaggio risultavano ormai obsoleti e dovevano essere sostituiti. All'inizio del 2010, invece di ricorrere nuovamente ai combustibili fossili, la popolazione locale, sostenuta dalle amministrazioni comunale e cantonale, ha preso l'iniziativa e puntato alla realizzazione di un impianto di teleriscaldamento alimentato a biomassa legnosa disponibile localmente, il cui calore è distribuito a tutto il villaggio. Un effetto collaterale positivo è che tale iniziativa consente di ridurre le emissioni di particolato. Ad oggi, 117 utenze sono allacciate alla rete di teleriscaldamento, inclusi il monastero di Disentis, il municipio e il supermercato locale. La prima caldaia per il riscaldamento ha una potenza di 1.977 kW, la seconda di 1.955 kW. La rete di tubazioni ha una lunghezza complessiva di 4,7 km. Il risparmio stimato è pari a 1,2 milioni di litri di gasolio l'anno e l'impianto ha una potenza complessiva di 3,5 MW⁴⁵. Poiché mancano valori comparativi, non è possibile rilasciare alcuna dichiarazione sulla riduzione di emissioni di materiale particolato. Tuttavia, il risparmio in termini di emissioni deve essere notevole, dato che l'impianto è provvisto di precipitatori elettrostatici all'avanguardia e le emissioni sono ben al di sotto dei valori limite per le polveri sottili di 20 mg/Nm³.⁴⁶

Rispetto a numerosi impianti di riscaldamento decentralizzati, le reti di teleriscaldamento offrono il vantaggio di un'unica centralina di comando, munita dei sistemi di filtrazione necessari, con valori di emissione molto bassi e un alto livello di efficienza.

7.1.3.3 Ampliamento della rete di teleriscaldamento, Baviera, Germania

L'iniziativa si prefigge l'obiettivo di ridurre il contributo all'inquinamento atmosferico sostituendo il riscaldamento individuale attraverso l'allacciamento delle utenze a una centrale di cogenerazione di energia termica ed elettrica centralizzata.

Esempio:

Bioenergie Berchtesgadener Land (Baviera)

Nel 2011 la società Bioenergie Berchtesgadener Land GmbH ha messo in funzione una centrale a

44. Dopo una consultazione pubblica all'inizio del 2020 il Governo adotterà il Piano alla fine del 2020.

45. https://www.gr.ch/DE/institutionen/verwaltung/bvfd/aev/dokumentation/EnergieeffizienzEnergieaperoDokumente/EA81_Sac.pdf

46. La lettera "N" sta per "normale", ossia in condizioni standard di temperatura e pressione (normalmente 25 °C e 1 atm rispettivamente).



biomassa nel comune di Schönau am Königssee. Tale centrale si avvale di biomassa per produrre energia elettrica e termica: per la produzione di energia utilizza solo cippato proveniente dalle foreste regionali, entro un raggio di 80 km. La maggior parte del legno proviene direttamente dal bacino di Berchtesgaden. La rete di teleriscaldamento si estende per oltre 33 km di lunghezza e copre parti delle comunità di Schönau am Königssee, Berchtesgaden e Bischofswiesen. Il sistema di teleriscaldamento intercomunale di Bioenergie Berchtesgadener Land, abbinato a una soluzione tecnica in grado di superare 150 m di dislivello, è un progetto innovativo per l'impiego di energie rinnovabili in un'area rurale⁴⁷. Grazie a un'unica centrale di cogenerazione di energia elettrica e termica, le emissioni di inquinanti atmosferici come NO_x e PM risultano significativamente più basse rispetto agli impianti di riscaldamento individuali di ogni abitazione.

7.1.3.4 Programma di incentivi ambientali per il teleriscaldamento, Austria

Allo scopo di promuovere il teleriscaldamento a biomassa, in Austria è stato adottato il Programma di incentivi ambientali per il teleriscaldamento, applicabile a:

- impianti a biomassa per il teleriscaldamento;
- costruzione e ampliamento di reti di distribuzione di calore alimentate a biomassa, energia geotermica o calore di scarto da processi industriali;
- ottimizzazione di sistemi di riscaldamento locali - circuiti primari e secondari;
- sostituzione delle caldaie in sistemi di riscaldamento locale a biomassa già esistenti;
- cogenerazione a biomassa (CHP a biomassa).

Un prerequisito per ottenere i fondi è la partecipazione al programma "QM Heizwerke" (Gestione della qualità per impianti di riscaldamento), che ri-

guarda l'efficienza energetica e l'ottimizzazione di tecnologie e impianti. Un'altra condizione è la realizzazione e gestione dell'impianto per rispettare i valori limite di emissione riportati nella tabella 10.

7.2 RIDUZIONE DELLE EMISSIONI DI COV/ PRECURSORI DELL'OZONO

Questa sezione riguarda due paesi che si sono impegnati nella riduzione delle emissioni di COV e COVNM: il quadro normativo della Germania per gli impianti che emettono COV e la legislazione svizzera corrispondente, nonché l'esempio di successo della tassa d'incentivazione sui COVNM della Svizzera.

7.2.1.1 Normativa sui COVNM, Svizzera

Al fine di ridurre le emissioni di COVNM, la Svizzera ha adottato tre politiche e misure: (i) la normativa sui gas di scarico veicolari, che trova piena attuazione nelle norme svizzere, (ii) l'Ordinanza contro l'inquinamento atmosferico per le fonti stazionarie, e (iii) la tassa d'incentivazione sui COVNM per ridurre le emissioni di COVNM.

La tassa d'incentivazione sui COVNM è stabilita nell'Ordinanza relativa alla tassa d'incentivazione sui composti organici volatili, entrata in vigore nel 1997. Quale strumento di protezione ambientale che fa leva sul mercato, essa crea un incentivo finanziario per ridurre ulteriormente le emissioni di COVNM. La tassa (CHF 3/kg VOC) attualmente consente di raccogliere CHF 110 milioni circa l'anno ed è ampiamente redistribuita ai residenti in Svizzera attraverso pagamenti forfettari.

L'Ufficio federale dell'ambiente (UFAM) svizzero riesamina periodicamente l'effetto della tassa, analizzando i bilanci di massa riferiti e pagati da 600

Potenza termica	≤ 500 kW	0,5 – 1 MW	1 – 2 MW	2 – 5 MW	5 – 10 MW	> 10 MW
NO _x (mg/Nm ³ ; 10% O ₂)	200	275	275	220	220	110
Polveri (mg/Nm ³ ; 10% O ₂)	40	83	36	22	11	11

Tabella 10: Valori limite di emissione per centrali di teleriscaldamento a biomassa (Programma austriaco di incentivi ambientali).

47. <https://www.bebgl.de/>.

delle società che contribuiscono maggiormente. Inoltre, nel 2017 è stata condotta un'indagine aziendale in cooperazione con le associazioni industriali interessate. I risultati mostrano che la tasa continua a contribuire alla riduzione delle emissioni. Dal 2007 al 2016 le emissioni regolamentate dall'ordinanza sono scese complessivamente di 15%, mentre i COV in ingresso sono aumentati di 20% tra le aziende che compilano i bilanci di massa.

La presentazione dell'Informative Inventory Report 2020 (IIR) della Svizzera mostra che l'Ordinanza contro l'inquinamento atmosferico, la tasa d'incentivazione sui COVNM e lo sviluppo degli standard Euro sulle emissioni hanno contribuito in misura notevole alla riduzione delle emissioni di COV, per il 30% circa, rispetto alle emissioni del 2005⁴⁸.

7.2.1.2 Norme più severe per gli impianti che emettono COV, Germania

Per ridurre le concentrazioni di ozono esistono diverse Direttive finalizzate a contenere le emissioni di composti organici volatili da impianti, ad esempio, il Capo V della Direttiva 2010/75/UE relativa alle emissioni industriali e le Direttive 1994/63/CE e 2009/126/CE. Le emissioni di COV possono essere ridotte in larga misura fissando requisiti più severi nell'attuazione delle Direttive sui COV e nell'applicazione delle migliori tecnologie disponibili.

Esempi:

Attuazione del Capo V della Direttiva UE relativa alle emissioni industriali nell'ordinanza tedesca riguardante la riduzione delle emissioni di COV derivanti dall'utilizzo di solventi organici in impianti specifici - 31ª BImSchV (Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes)⁴⁹:

- Molte soglie per attività con emissioni di COV sono state abbassate.
- Per gli impianti per l'applicazione di vernici/primer: gli effluenti gassosi catturati senza purificazione sono considerati emissioni fugitive. Ciò richiede di norma l'applicazione di un programma di riduzione o di abbattimento degli effluenti gassosi.
- Per gli impianti per i quali occorre un'autorizzazione ambientale, è necessario applicare le migliori tecnologie possibili.

- Per le emissioni al camino devono essere applicati i valori delle emissioni per i composti organici di classe I n. 5.2.5 della norma tedesca TA Luft (Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft): 20 mg/Nm³ (rispetto al Capo V della Direttiva 2010/75/UE: solo per i COV alogenati a cui sono assegnate o che devono recare le indicazioni di pericolo H341 "Sospettato di provocare alterazioni genetiche" o H351 "Sospettato di provocare il cancro"). Impianti di lavaggio a secco: per il lavaggio è ammesso solo il percloroetilene (PERC) come solvente alogenato. Le macchine devono essere provviste di interblocco elettronico e di un dispositivo per misurare il PERC. Lo sportello della macchina può essere aperto solo se la concentrazione di massa delle emissioni misurata nell'aria del tamburo dopo l'asciugatura è inferiore a 2 g/m³.

Attuazione delle Direttive 1994/63/CE e 2009/126/CE nelle 20ª e 21ª BImSchV⁵⁰:

- L'ambito di applicazione delle 20ª e 21ª BImSchV è molto più ampio delle Direttive 1994/63/CE e 2009/126/CE e include nafta e miscele di combustibili con 10%-90% di bioetanolo.
- Unità di recupero dei vapori dai terminal: il valore limite di emissione è 50 mg C/Nm³ (senza metano) al posto di 35 g/Nm³ (con metano).
- Sistema di interblocco automatico alle stazioni di servizio che consente lo scarico del combustibile da un'autocisterna solo se la manichetta di convogliamento vapori è collegata al serbatoio di stoccaggio.
- Il monitoraggio automatico del sistema di recupero dei vapori alle stazioni di servizio durante il rifornimento dei veicoli è obbligatorio.

7.3 RIDUZIONE DI NO₂ E PM NEL SETTORE DEI TRASPORTI

Gli esempi nazionali e regionali del settore trasportistico di questa sezione rappresentano l'ambito di azione più ampio, con la gamma più estesa di misure finalizzate alla riduzione dell'inquinamento atmosferico. La maggior parte di questi interventi volti a contenere gli inquinanti atmosferici fa leva su una serie di caratteristiche applicabili a infrastrutture, veicoli, norme, interventi, innova-

48. Switzerland's Fourth Biennial Report under the UNFCCC 2020: https://unfccc.int/sites/default/files/resource/CHE_BR4_2020.pdf.

49. Esempi: https://www.gesetze-im-internet.de/bimschv_31/.

50. Esempi: https://www.gesetze-im-internet.de/bimschv_20_1998/, https://www.gesetze-im-internet.de/bimschv_21/.

zioni tecnologiche e manageriali e finanziamenti. Inoltre, nella maggior parte dei casi le disposizioni normative sono stabilite a livello nazionale, non specificatamente a livello regionale o alpino. I piani d'azione per la qualità dell'aria a livello regionale o i piani di mobilità urbana riflettono il carattere integrale di questo insieme di provvedimenti basati su norme nazionali o europee.

Tuttavia, in caso di necessità, le autorità regionali nel perimetro della Convenzione delle Alpi possono adottare misure specifiche e severe per controbilanciare o porre rimedio a situazioni di superamento dei valori limite.

7.3.1 DISPOSIZIONI NORMATIVE E POLITICA DI TRASFERIMENTO MODALE DALLA STRADA ALLA FERROVIA: TRASPORTO MERCI E PASSEGGERI

7.3.1.1 Trasferimento modale nel trasporto merci, tutto il territorio Alpino

Il trasporto merci transalpino è una delle principali sfide in termini di qualità dell'aria (e inquinamento acustico) per l'arco alpino interno. I quattro assi

stradali principali che attraversano le Alpi hanno un impatto significativo in termini di emissioni di inquinanti atmosferici (Fréjus, Monte Bianco, Gotthard, Brennero) (figura 34).

In tutti i paesi e regioni si sta cercando di ridurre l'inquinamento atmosferico sostituendo il trasporto su gomma con la ferrovia, sia nel settore merci che passeggeri, a livello nazionale e in parte alpino. Nella regione alpina, nello specifico, con le sue valli strette e risorse naturali limitate, ridurre l'impatto negativo sulla qualità dell'aria spostando il trasporto da gomma a rotaia potrebbe avere effetti positivi significativi. Nella maggior parte dei paesi e delle regioni si stanno adottando misure specifiche per promuovere l'intermodalità, allo scopo di incrementare la quota di merci trasportate su rotaia. In molti casi, sebbene le misure per promuovere l'intermodalità siano adottate e attuate in particolare al di fuori della regione alpina, tali iniziative hanno un grande impatto in termini di riduzione delle emissioni in tale regione.

Un confronto tra le emissioni del trasporto merci su rotaia e su gomma è offerto dal Manuale dei fattori di emissione, riassunto nella tabella 11 e ripreso anche dall'Agenzia federale per l'ambiente tedesca



Figura 34: Vie di trasporto transalpino (Alpine Traffic Observatory, 2020).

(Umweltbundesamt Deutschland, UBA)⁵¹ L'ultima riga riporta il fattore medio di uso del suolo (treno ad alta velocità rispetto all'autostrada):

Inquinante atmosferico (g/t.km) / uso del suolo (adimensionale)	VCP (>3.5t) ^(a)	Treno merci ^(b)
NO _x	0,269	0,037
PM ^(c)	0,004	0,000
VOC ^(d)	0,037	0,003
CO _{2equiv}	112	18
Fattore di uso del suolo^(e)	3	1

Tabella 11: Confronto tra le emissioni del trasporto merci su rotaia e su gomma. Anno di riferimento: 2018; g/t.km: grammi per spostare una tonnellata per un chilometro, inclusi processi di trasformazione.

(a) Mix di diversi tipi di veicoli commerciali pesanti (VCP) > 3,5t fino a 40t, camion, autoarticolato, semirimorchio; (b) base, mix medio di elettricità in Germania; (c) senza usura di pneumatici, freni, manto stradale, contatto pantografo; (d) senza metano; (e) <https://www.allianz-pro-schiene.de/themen/umwelt/flaechenverbrauch/>.

Inoltre, lo studio Grace del 2006 e lo studio più recente EUSALP (2017) sui costi esterni nelle aree montane sono stati in grado di calcolare un cosiddetto "fattore montagna" per le Alpi, che tiene conto della specificità delle regioni montane per quanto concerne le esternalità del degrado ambientale. Tali fattori di costo legati alla montagna rappre-

sentano il rapporto tra costi esterni in aree montane e non montane e sono riassunti nella figura 35. Il fattore di costo esterno aggiuntivo per l'inquinamento atmosferico da trasporto su gomma nella regione alpina è pari a 4,2 in media, rispetto a 2,6 per il trasporto su rotaia. In tale contesto, il trasferimento modale da strada a ferrovia può avere un impatto particolarmente positivo nella regione alpina.

7.3.1.2 Politica di trasferimento modale nel trasporto merci transalpino, Svizzera

In Svizzera, la politica di trasferimento modale nel settore del trasporto merci è un argomento chiave da 25 anni. Nel 1994, a seguito di un'iniziativa popolare, è stato inserito nella Costituzione federale un articolo, sulla protezione delle Alpi, cui hanno fatto seguito leggi federali riguardanti l'introduzione di una tassa sul traffico pesante commisurata alle prestazioni. La legge sul trasferimento modale specifica il numero massimo di veicoli pesanti nel trasporto transalpino (650.000/anno), la costruzione del nuovo collegamento ferroviario transalpino e varie misure complementari. L'Accordo sui trasporti terrestri tra Svizzera e UE include questo pacchetto complessivo ai fini della sua attuazione. La politica di trasferimento modale comprende entrambi gli aspetti: riduzione del trasporto in termini di numero di veicoli e, implicitamente, riduzione delle emissioni legate al trasporto. Le misure di dissuasione e incentivazione sono:

Cost category	Present EUSALP study		GRACE study (2006)	
	Road transport	Rail transport	Road transport	Rail transport
Air pollution	4.2 (1.3 – 14.2)	2.6 (0.9 – 6.6)	5.25 (2.4 – 19.8)	3.5 (2.1 – 5.2)
Noise	4.1 (1.3 – 14.7)	3.0 (1.0 – 11.25)	5.0 (2.3 – 19.8)	4.15 (2.1 – 10.4)
Nature & landscape	1.3 (1.0 – 1.6)	1.4 (0.8 – 2.0)	n.a.*	n.a.*
Accidents	3.9	n.a.	n.a.	n.a.

Figura 35: Confronto del fattore di costo esterno aggiuntivo per il trasporto su gomma e su rotaia nella regione alpina (facsimile da Eusalp, 2017).

51. <https://www.hbefa.net/> e <https://www.umweltbundesamt.de/themen/verkehr-laerm/emissionsdaten#emissionen-im-guterverkehr-tabelle>.



- costruzione di infrastrutture alternative al trasporto su strada = nuove gallerie di base per il trasporto ferroviario transalpino;
- introduzione di una tassa sul traffico pesante commisurata alle prestazioni (peso, distanza ed emissioni);
- maggiore limite massimo di peso totale per VCP da 28 a 40t (efficienza di trasporto);
- disposizioni normative per la riforma ferroviaria;
- misure finanziarie per promuovere l'incentivazione del trasporto merci combinato su ferrovia/prezzi delle bande orarie nel trasporto merci, collegamenti terminal.

Dal 2004 i relativi inquinanti atmosferici NO₂ e PM sono calati in misura significativa, dato il miglioramento nella tecnologia dei veicoli e la riduzione nel numero degli stessi, come mostra la figura 36.

Tuttavia, la topografia specifica delle valli alpine continua a comportare un impatto negativo maggiore degli inquinanti atmosferici rispetto alle regioni pianeggianti, causando alcuni superamenti dei valori limite per NO_x and PM. L'esperienza quasi ventennale mostra che l'abbinamento di misure normative, tecniche e finanziarie, comprensive di incentivi, nel contesto di una politica di trasporto merci sostenibile nel suo complesso (strada e rotaia) ha avuto un impatto positivo sulla qualità dell'aria e sull'efficienza di trasporto⁵².

7.3.1.3 Politica di trasferimento modale e di divieto di circolazione di veicoli inquinanti per il trasporto transalpino di merci e passeggeri, Austria

L'Austria offre esempi importanti nel settore trasportistico, soprattutto nel Tirolo che è particolarmente interessato dalle vie di transito principali

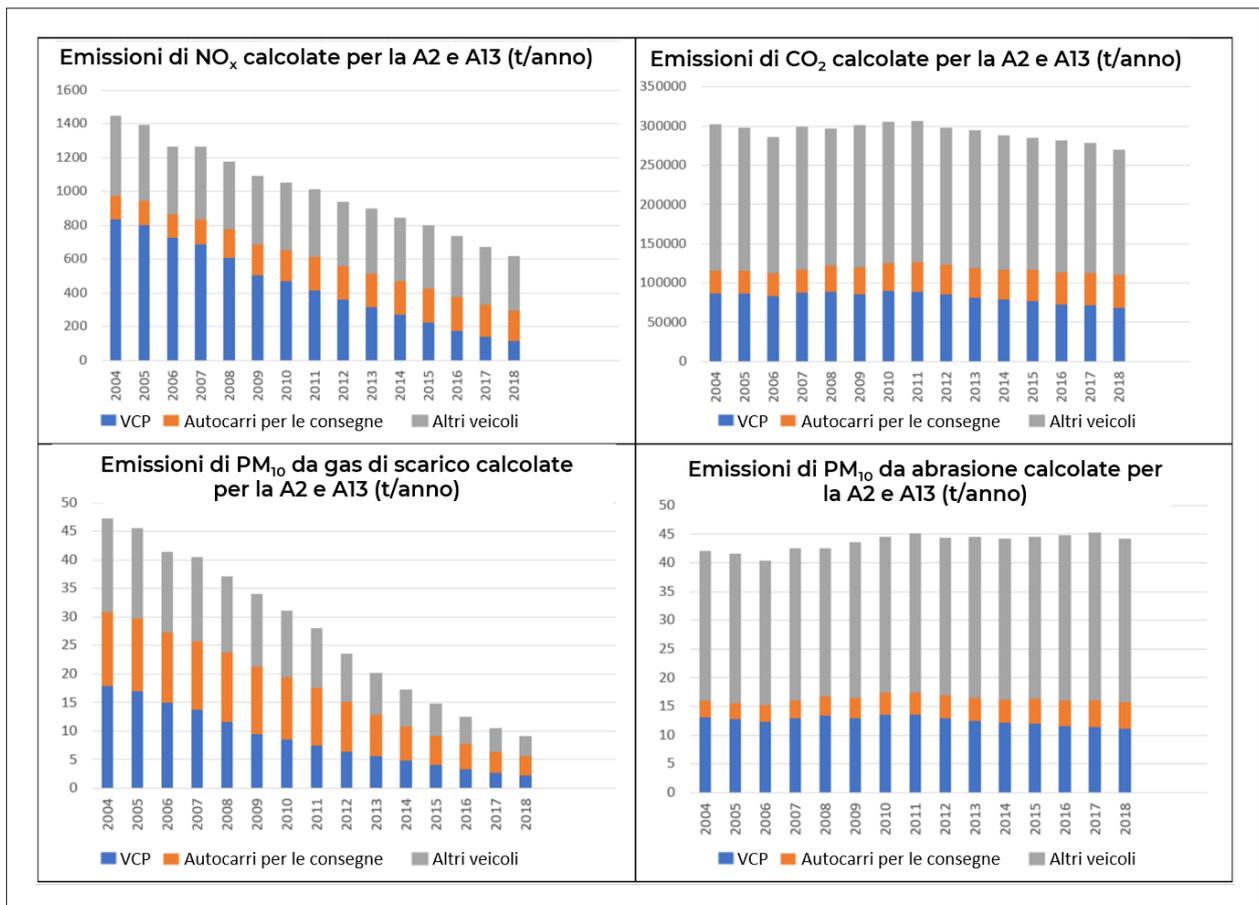


Figura 36: Andamento degli inquinanti atmosferici e delle emissioni di CO₂ nel periodo 2004-2018 lungo le autostrade A2 e A13 della Svizzera nella regione alpina.

52. Si veda il capitolo 3 (Umweltkapitel) nel rapporto sul trasferimento modale: Bericht über die Verkehrsverlagerung vom November 2019.

dell'autostrada della valle dell'Inn e del Brennero (A171 e A13 da Kiefersfelden/Kufstein/confine con la Germania al valico del Brennero/confine con l'Italia). Le emissioni di NO_x da VCP sono calate notevolmente, nonostante la crescita del traffico, grazie a un rinnovo più rapido del parco veicoli su questo asse, come mostrano i valori in rosso e giallo nella figura 37.

Le misure principali sono le seguenti:

- un limite di velocità permanente di 100 km/h per le autovetture private è stato introdotto nel 2006, poi modificato per diventare un limite variabile in funzione delle concentrazioni di NO_2 , e infine nuovamente riportato a un limite fisso nel 2014;
- una serie di divieti settoriali per merci specifi-

che è stata introdotta per i VCP nel 2007, revocata nel 2011 e reintrodotta nel 2016, con un incentivo per il trasferimento su rotaia;

- dal 2006 è stato introdotto anche un divieto di circolazione nelle ore notturne per i VCP, escludendo solo l'ultima classe di emissione Euro (attualmente la classe Euro 6);
- è stato imposto un divieto incrementale sui VCP più vecchi per l'A12/13 e attualmente i VCP fino alla classe di emissione Euro 3 non possono più circolare sulle vie di transito.

La realizzazione della nuova galleria di base del Brennero rappresenta parte della politica di trasferimento modale per riequilibrare i flussi di merci trasportati lungo il corridoio scandinavo-mediterraneo.

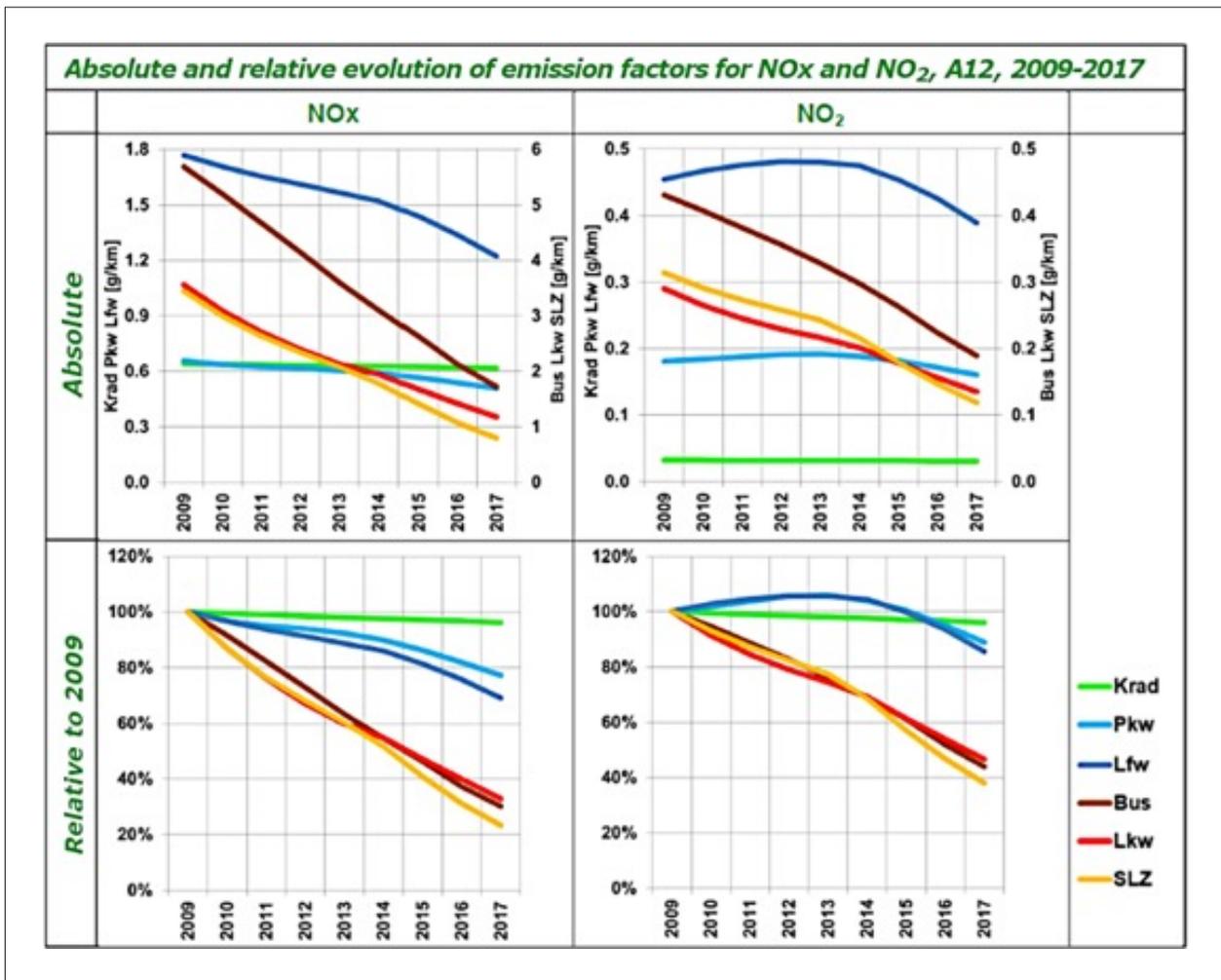


Figura 37: Andamento dei fattori di emissione per NO_x e NO_2 sull'autostrada A12 in Austria⁵³.

Krad: motociclette, PKW: autovetture private; Lfw: veicoli commerciali leggeri; Lkw: veicoli commerciali pesanti; SLZ: autotreni.

53. https://www.tirol.gv.at/fileadmin/themen/umwelt/umweltrecht/Luftseiten/Luft/Evaluation_der_LKW-Massnahmen_auf_der_A12_Euroklassenfahrverbot_Nachtfahrverbot_Sektorales_Fahrverbot.pdf.



7.3.1.4 Zone a basse emissioni e bonus per la conversione dei veicoli, Francia

L'introduzione delle zone a basse emissioni (Low Emission Zones, LEZ) ha un impatto sui comuni quanto sui cittadini. Una LEZ è un'area che limita la circolazione a certi tipi di veicoli inquinanti e attualmente vi sono 220 LEZ in Europa⁵⁴. I veicoli sono classificati con un bollino visibile, richiesto per entrare in queste zone. La classificazione francese dei veicoli si basa sulla quella europea (Euro 1-6). La presenza di un bollino ambientale sul veicolo in queste zone consentirà di effettuare controlli automatizzati in un secondo tempo.

Esiste anche un bonus per la conversione dei veicoli che è un incentivo erogato ai cittadini per sostituire i veicoli ormai vecchi con nuovi modelli, meno inquinanti (106 g di CO₂/km in media, con passaggio a veicoli di classe Euro non inferiore a 4). Si tratta di un incentivo finanziario che soddisfa i requisiti delle LEZ, al fine di ridurre l'esposizione della popolazione a inquinanti pericolosi.

Dal 2018, il bonus per la conversione dei veicoli ha contribuito alla sostituzione di 550.000 veicoli. Si tratta di una misura che ha riscosso un grande successo (a condizione che tali veicoli non siano utilizzati al di fuori degli Stati membri dell'Unione europea/EFTA) dato che ha superato il bilancio previsionale e potrebbe raggiungere la soglia di 1 milione di veicoli sostituiti prima del 2022. Incentivi come questo sensibilizzano anche all'impatto del traffico sulla qualità dell'aria e pertanto migliorano l'accoglienza generale riservata alle LEZ imposte nelle aree urbane (in tutta la Francia, non solo nel perimetro della Convenzione delle Alpi).

Ad esempio, la LEZ è stata introdotta a Grenoble il 2 maggio 2019 insieme a 9 altre città ed ora è operativa in 27 città da febbraio 2020⁵⁵. I veicoli più inquinanti non possono circolare in queste città, ma possono viaggiare sulle autostrade. Lo scopo è di evitare entro il 2026 il superamento dei limiti di esposizione per le 4.300 persone attualmente interessate dalla misura.

Una LEZ è una soluzione altamente efficiente e a costo contenuto per migliorare la qualità dell'aria, dato che impone limitazioni dirette all'inquina-

mento da traffico, la principale fonte di inquinamento nelle aree urbane.

7.3.1.5 Esempio di buone pratiche marittime: zona a emissioni controllate per il trasporto marittimo, Principato di Monaco

La creazione di una zona a emissioni controllate nel mar Mediterraneo offre un'ulteriore spinta alla strategia adottata dall'Organizzazione marittima internazionale tramite la Convenzione di MARPOL (Convenzione internazionale per la prevenzione dell'inquinamento causato da navi). Tale misura è già stata applicata con successo nel mar Baltico e nel mare del Nord. Pubblico e politici locali sono consapevoli dell'impatto del trasporto marittimo sulla qualità dell'aria e sono favorevoli al progetto. Pertanto, garantire il successo del progetto è essenziale per migliorare la qualità dell'aria in questo contesto. La misura creerebbe una zona combinata per ridurre le emissioni di SO₂ e NO_x nel mar Mediterraneo. L'obiettivo specifico per le emissioni di SO₂ è di limitare a 0,1% il contenuto di zolfo nel combustibile.

Da luglio 2018, il Principato di Monaco ha deciso di limitare drasticamente l'impiego di olio combustibile pesante per uso marittimo nelle sue acque territoriali e nei porti, per ridurre al minimo le emissioni atmosferiche delle navi. Il Governo di Monaco ha scelto di agire prima dell'istituzione di una zona a emissioni controllate nel mar Mediterraneo e della riduzione del livello di zolfo nell'olio combustibile pesante a livello globale. Quindi, da luglio 2018 tutte le navi provviste di motori diesel devono usare combustibili per uso marittimo della categoria SO-F-DMA, in linea con la norma ISO 8217, comunemente noto come Diesel Marine Léger (DML) o gasolio marino (Marine Gas Oil, MGO) che ha un contenuto massimo di zolfo pari a 0,1%. In alternativa, esse devono essere munite di un sistema di depurazione dei gas di scarico che operi all'interno di uno scrubber a circuito chiuso. I sistemi di depurazione dei gas aperti sono vietati per limitare l'impatto sulla biodiversità marina.

La Francia e l'Italia sono favorevoli alla creazione di un'area a emissioni controllate nel mar Mediterraneo. Si prevede che tale area consentirà una riduzione di 95% per i SO_x, di 80% per il PM, di 51%

54. <https://urbanaccessregulations.eu/userhome/map>.

55. <https://www.grenoblealpesmetropole.fr/761-la-zone-a-faibles-emissions.htm>.

per il nero di carbonio e di 5% per i NO_x, rispetto al periodo 2015-2016.

7.3.1.6 Misure dinamiche di gestione - BrennerLEC, Italia

Il progetto Life BrennerLEC mira a creare un "corridoio a emissioni ridotte" (Low Emissions Corridor, LEC) lungo l'asse autostradale del Brennero, al fine di migliorare drasticamente l'ambiente in termini di tutela dell'aria e protezione del clima, nonché per ridurre l'inquinamento acustico⁵⁶.

Il progetto è iniziato nel settembre 2016 e sono state condotte due fasi di test sperimentali per verificare gli effetti di una riduzione dinamica del limite di velocità in alcuni tratti dell'autostrada. I limiti di velocità ridotti sono stati visualizzati su pannelli a messaggio variabile lungo l'autostrada, implementando un sistema di gestione semiautomatica del traffico, al fine di valutare i possibili effetti su rumore, inquinamento atmosferico e flussi di traffico. L'applicazione di limiti di velocità era obbligatoria nella prima fase dei test, mentre solo consigliata per finalità ambientali nella seconda fase, ottenendo comunque risultati significativi, sebbene ridotti, anche in quest'ultima fase.

In ogni caso, i risultati confermano gli effetti positivi dell'applicazione dei limiti dinamici di velocità, in termini di miglioramento sia del flusso del traffico nei giorni con un elevato numero di veicoli, sia della qualità dell'aria. Il calo nelle concentrazioni di monossido di azoto ai margini dell'autostrada è in linea con la riduzione della velocità registrata durante le fasi sperimentali. In particolare, i dati sperimentali raccolti durante la fase con limiti di velocità consigliati hanno evidenziato cali di 7% circa per il NO e di 2-3% circa per il NO₂, con una riduzione media di velocità per i veicoli leggeri di 5 km/h circa rispetto al calo di 10% per entrambi gli inquinanti quando i limiti di velocità erano obbligatori, con una riduzione media di velocità per i veicoli leggeri di 14 km/h circa.

7.3.2 MOBILITY MANAGEMENT

Il termine *mobility management* indica la promozione del trasporto sostenibile e la gestione della domanda di uso di autoveicoli attraverso il cambiamento dell'approccio e del comportamento dei viaggiatori, nell'ottica di un trasferimento dal tra-

sporto motorizzato individuale a sistemi di mobilità più sostenibili. Dagli anni '90, questo approccio ha risvegliato un crescente interesse nel quadro degli sforzi intrapresi per trovare un punto di equilibrio nella domanda di mobilità tra impatti negativi e qualità dell'ambiente nel suo complesso. In molti casi, il *mobility management* è anche legato alla pianificazione integrata dell'uso del territorio, in cui le istanze della mobilità sono considerate gli elementi fondamentali e più importanti per ogni pianificazione del territorio e del suo uso a livello locale, regionale e nazionale.

L'interesse per il *mobility management* deriva dai numerosi benefici potenziali che esso può generare, inclusi:

- meno congestione del traffico, con conseguente riduzione dell'inquinamento atmosferico e del rumore, del tempo perso negli ingorghi stradali e dello stress;
- una maggiore varietà di soluzioni di trasporto, con conseguente migliore accessibilità per tutti;
- un uso più efficiente delle infrastrutture di trasporto in essere, con una minore spesa pubblica per infrastrutture non necessarie e costi esterni;
- una gestione del territorio più efficiente;
- minori costi per autorità locali, istituzioni, aziende private e individui;
- stili di vita più sani e meno stress, grazie alle modalità di trasporto più attive, come andare in bicicletta e camminare.

Si riportano esempi nell'ambito della mobilità casa-lavoro, della mobilità casa-scuola, del trasporto collettivo per grandi eventi, dei piani urbani per la mobilità sostenibile inclusa la logistica urbana sostenibile, la gestione dei parcheggi, la mobilità attiva/ciclomobilità e la domanda di trasporto a chiamata. Una sezione specifica sull'interconnessione tra la pianificazione territoriale e la pianificazione della mobilità può offrire un quadro d'insieme sull'impatto positivo delle procedure di pianificazione integrata e della loro implementazione.

7.3.2.1 Quadro istituzionale per la mobilità sostenibile con un Ufficio di coordinamento, Svizzera

In Svizzera è stato istituito un ente di coordinamento intersettoriale specifico per i progetti di mobilità

56. <https://brennerlec.life/it/home>.



sostenibile, allo scopo di promuovere e agevolare i progetti innovativi al fine di contribuire a ridurre le emissioni legate ai trasporti. L'Ufficio di coordinamento per la mobilità sostenibile (COMO) è lo sportello centrale di contatto e coordinamento e il primo interlocutore della Confederazione in materia di mobilità sostenibile. Esso sostiene i progetti innovativi con un contributo finanziario e, come piattaforma di conoscenza, fornisce informazioni su progetti completati e in corso. COMO è diretto da sei uffici federali e si occupa di una serie di settori progettuali per la mobilità sostenibile⁵⁷:

- soluzioni IT;
- *sharing mobility*;
- mobilità del tempo libero;
- traffico ciclabile e pedonale;
- trasporto pubblico;
- trasporto stradale motorizzato privato più efficiente;
- trasporto merci e logistica;
- bambini e giovani;
- *mobility management*.

In questo contesto, vi sono molti esempi nel settore della mobilità, come la creazione della "Quality Alliance Eco-Drive" (QAED), avviata nel 1999 dall'Ufficio Federal dell'Energia e SvizzeraEnergia, un'organizzazione che riunisce associazioni per attuare buone pratiche nell'eco-drive e funge da moltiplicatore per l'eco-drive nel formare gli istruttori di guida e specificatamente gli operatori di flotte per i veicoli pesanti (autobus e VCP).

Tuttavia, il risparmio in termini di quantità di emissioni ancora non è chiaro, per via dei diversi fattori di emissione e della varietà nelle tipologie di veicoli.

7.3.2.2 SvizzeraMobile, una rete per viaggiare senz'auto in tutto il Paese, che collega turismo, tempo libero, alberghi e punti di interesse, Svizzera

Dal 1998, SvizzeraMobile/SchweizMobil è la rete nazionale per il trasporto individuale non motorizzato, soprattutto per il tempo libero e per i turisti. Un sito web e un'app per smartphone per pianifi-

care itinerari⁵⁸ (dal 2012) in inverno e in estate, per attività ricreative/eventi culturali, musei, impianti sportivi e alberghi, consentono di rinunciare all'autovettura privata per viaggiare con i mezzi pubblici (su rotaia, su strada, via funivia, nave, ecc.) o ricorrendo alla mobilità attiva (bicicletta, escursionismo).

La rete SvizzeraMobile è una fondazione e l'applicazione è stata creata e sostenuta da molte organizzazioni come Svizzera Turismo, La Svizzera in bici, Sentieri Svizzeri, Club alpino, Inventario delle vie di comunicazione storiche della Svizzera e altre ancora. Il sostegno finanziario è garantito dalla Confederazione svizzera (vari Uffici federali), tutti i Cantoni e il Principato del Liechtenstein.

L'obiettivo è una mobilità senz'auto nel turismo e nel tempo libero, basata sul sistema di trasporto pubblico estremamente sviluppato e sulla mobilità attiva, e la promozione delle aree montane e periferiche della Svizzera, creando valore aggiunto sotto forma di attrattività turistica, eventi culturali e sport.

Sebbene il suo contributo alla riduzione delle emissioni sia difficile da valutare, il numero di richieste e prenotazioni supera ogni anno il milione.

7.3.2.3 Il Piano di mobility management della Carinzia, Austria

Nell'area di St. Michael ob Bleiburg, nella Carinzia orientale, le aziende con circa 3.000 dipendenti sono la principale fonte occupazionale. Quando si è presentata la necessità di espandere le attività, si è deciso di motivare i dipendenti a sostituire le autovetture private con mezzi pubblici e biciclette, attraverso il *mobility management*.

Le misure del piano sulla mobilità sono state coordinate dal Verkehrsverbund Kärnten (Associazione di aziende di trasporto pubblico della Carinzia) per conto dello Stato federato della Carinzia. Il miglioramento del servizio di S-Bahn era già realtà nel dicembre 2017, garantendo ai lavoratori più collegamenti ferroviari. Dall'agosto 2018, un autobus elettrico collega la stazione ferroviaria di St. Michael e gli stabilimenti, trasportando il personale fino alle sedi delle aziende. L'e-bus sostituisce i veicoli aziendali alimentati a diesel e il servizio rien-

57. <https://www.energieschweiz.ch/page/de-ch/komo-projekte> (in tedesco, francese, italiano).

58. <https://www.schweizmobil.ch/en/summer.html>.

tra nella rete di trasporto pubblico, così da risultare fruibile a tutti i passeggeri. I dipendenti beneficiano di tariffe agevolate.

Chi vive a una distanza dal luogo di lavoro percorribile in bicicletta ha beneficiato di miglioramenti nella rete di collegamenti ciclabili e il numero di parcheggi per biciclette è sensibilmente aumentato. Inoltre, la stazione ferroviaria di St. Michael è dotata di box con lucchetto per parcheggiare le biciclette.

7.3.2.4 Aumento dell'attrattività del sistema di trasporto pubblico grazie al trasporto gratuito per studenti, a sovvenzioni per il trasporto pubblico e a mezzi pubblici gratuiti nei fine settimana Baviera, Germania

La Baviera offre una serie di esempi specifici volti a ridurre l'uso delle autovetture private e ad aumentare l'attrattività dei mezzi pubblici, sia per la popolazione locale che per i turisti. Lo scopo è la riduzione del traffico motorizzato privato, aumentando l'attrattività del sistema di trasporto pubblico in diversi modi:

- **consentendo agli studenti di viaggiare gratis (per ridurre i cosiddetti "taxi genitori")**

I giovani potranno utilizzare meglio le linee esistenti e, per ridurre ulteriormente l'utilizzo delle autovetture private da parte dei genitori che accompagnano i figli, si potenzierà il sistema di trasporto pubblico. La complessità e i costi sono citati spesso come motivi per lo scarso utilizzo dei servizi di trasporto pubblico (autobus) da parte di bambini e adolescenti nel loro tempo libero. Per affrontare questo problema, l'offerta è stata sviluppata assieme all'azienda di trasporto RVO⁵⁹, che offre la maggior parte dei collegamenti di linea nell'"Oberland".

Il distretto di Miesbach ha deciso di consentire agli studenti e ai ragazzi con tessera RVO valida di viaggiare gratis sui mezzi pubblici, a partire dal 1° novembre 2019. Questa offerta è valida per tutti i ragazzi, senza limiti di età purché residenti nel distretto, e su tutte le linee RVO dell'"Oberland". I possessori di una tessera RVO per ragazzi e i ragazzi sprovvisti di tessera RVO per studenti, ma muniti di tessera per ragazzi, possono acquistare un "biglietto mensile a € 0" dal conducente. Per ognuno di questi biglietti RVO riceve € 11

dal distretto. A titolo di copertura per il distretto di Miesbach è stato fissato un tetto annuale di € 23.000. L'allocazione dei costi del "biglietto mensile a € 0" consente di risalire con precisione alle linee di autobus dove è stato acquistato. RVO produce statistiche trimestrali sul numero di passeggeri. Questi biglietti sono validi tutto il giorno durante le vacanze, nelle festività e nei fine settimana. Nei giorni feriali i biglietti sono validi a partire dalle ore 14:00.

- **sovvenzionando in modo coraggioso il trasporto pubblico**

Quale esempio della riduzione del traffico motorizzato privato e dell'inquinamento atmosferico, nonché del potenziamento dell'attrattività del trasporto pubblico, la città di Sonthofen si è prefissa l'obiettivo di lungo periodo di aumentare l'attrattività degli autobus urbani (linea 1 e linea 2). Negli ultimi anni, le linee urbane hanno registrato regolarmente oltre 20.000 passeggeri. La città di Sonthofen promuove gli autobus urbani offrendo tariffe agevolate, con un incentivo finanziario annuale di € 3,50 circa per ogni residente.

- **offrendo l'uso gratuito dei mezzi pubblici nei weekend e nei giorni festivi**

Per ridurre il ricorso alle autovetture private da parte dei turisti, usufruendo gratuitamente del trasporto pubblico urbano e nelle comunità locali circostanti, "Stadtwerke Bad Reichenhall" consente di viaggiare gratis sui mezzi pubblici nei fine settimana e nei giorni festivi in tutta l'area di Bad Reichenhall, Bayerisch Gmain e Piding. Varie città più piccole della Baviera settentrionale (Bad Heilbrunn, Benediktbeuren, Bad Tölz, Wolfratshausen, Lenggries, Jachenau, Kochel am See, Garmisch-Partenkirchen e molte altre) offrono la possibilità di viaggiare gratis sui mezzi pubblici a livello locale e regionale ai turisti muniti di apposita tessera (elettronica), evitando così molti viaggi in autovettura privata e riducendo le emissioni di inquinanti atmosferici e CO₂. Il trasporto gratuito su autobus e treni ("Allgäumbobil im Schlosspark") promuove turismo e gite in questa invitante regione di splendidi monti, laghi e castelli.

In linea generale, i turisti con pernottamento ricevono un apposito pass che consente loro di viaggiare gratuitamente sui mezzi pubblici. L'area coperta dal trasporto pubblico gratuito dipende dalle norme stabilite dai singoli comuni. Ad esempio, a

59. RVO: Regionalverkehr Oberbayern GmbH: azienda di trasporto pubblico dell'Oberland bavarese.



Lenggries, in inverno, i turisti che arrivano in treno per trascorrervi le vacanze o anche solo una giornata possono usare lo skibus gratuitamente per i trasferimenti locali nelle aree sciistiche. Le destinazioni turistiche "Garmisch-Partenkirchen, Grainau e Tiroler Zugspitz Arena" offrono ai loro ospiti la Zugspitz Arena Bayern-Tirol Card che consente di viaggiare gratis sui diversi autobus e su altri mezzi di trasporto. La Zugspitz Arena Bayern-Tirol Card è finanziata dall'Unione europea, attraverso un progetto Interreg.

Con il pass per la regione turistica Berchtesgaden-Königssee, i turisti che pernottano possono viaggiare gratis su quasi tutte le linee di "Regionalverkehr Oberbayern" (RVO) e sulla ferrovia Berchtesgadener Land Bahn (BLB), nella regione Berchtesgaden-Königssee. Anche i viaggi per Salisburgo (autolinea 840) e Bad Reichenhall (autolinea 841) costano molto meno con il pass. Tale offerta vale per quasi tutte le linee del distretto meridionale dell'area di Berchtesgaden, con poche eccezioni: per la linea "Kehlstein" (autobus 849), il bus a chiamata "Berchtesgaden" e l'Alpine Experience Bus (autobus 847) si applicano tariffe speciali, per la linea Rossfeld (autobus 848) si paga separatamente. Per i viaggi per Salisburgo e Bad Reichenhall occorre pagare solo un piccolo supplemento.

Riduzione del traffico e dell'inquinamento atmosferico aumentano l'attrattiva di quest'area per i turisti e la rendono una destinazione climatoterapeutica molto ambita, che offre accessibilità ferroviaria e mobilità, sia a livello locale che in un ampio territorio servito dai mezzi pubblici. Sempre più turisti pertanto viaggiano in treno e usano i servizi (gratuiti) di mobilità, liberando queste destinazioni turistiche dal traffico motorizzato privato e ovviando alla mancanza di parcheggi.

7.3.2.5 Piano di mobilità con un progetto di ferrovia suburbana (S-Bahn) - settore dei trasporti, Liechtenstein

Il Piano sulla mobilità 2030, aggiornato dalla strategia per la pianificazione integrata del territorio e della mobilità del 2015, è incentrato su una pianificazione territoriale più rigorosa, stabilendo poli di sviluppo e densificazione al fine di evitare un aumento nella domanda di mobilità. Esso verte inoltre su un migliore uso del trasporto pubblico (strada e rotaia), in particolare sul progetto della S-Bahn

FL-AT-CH di collegamento tra Feldkirch (AT), Schaan (FL), Vaduz (FL) e Buchs (CH), che ha un grande potenziale di trasferimento dei pendolari dalla strada alla rotaia⁶⁰.

7.3.2.6 Promozione della ciclabilità a Salisburgo, Austria

Andare in bicicletta è una delle modalità di trasporto più efficienti in termini energetici e spaziali. Una percentuale rilevante di spostamenti quotidiani in auto potrebbe essere sostituita dalla bicicletta, dato che più di 50% di tutti gli spostamenti risulta inferiore a cinque chilometri. Con un'infrastruttura adeguata, la bicicletta è il mezzo più rapido ed efficiente per percorrere brevi distanze, dato che i ciclisti di norma possono seguire la via più diretta a una velocità media superiore a quella del trasporto motorizzato individuale.

Salisburgo, capoluogo dell'omonimo Stato federato con 156.159 abitanti, di recente ha focalizzato la propria attenzione sul miglioramento della ciclabilità. Nel corso degli ultimi 30 anni la rete di piste ciclabili è stata ampliata progressivamente. Ora vi sono 187 km di piste ciclabili e oltre 6.000 posteggi per biciclette. Più di due terzi di tutte le strade a senso unico possono essere utilizzate dai ciclisti anche in senso contrario a quello di circolazione. Andare in bicicletta è consentito in quasi tutte le aree pedonali e corsie preferenziali. L'obiettivo della strategia sulla ciclabilità 2025+ è di far salire gli spostamenti in bicicletta al 24% del numero totale di spostamenti entro il 2025. Questo significherebbe 20.000 spostamenti in auto in meno ogni giorno a Salisburgo.

La strategia sulla ciclabilità prevede importanti misure quali:

- sviluppo di una rete ciclabile sicura e comoda con ottimizzazione del servizio invernale;
- introduzione di un sistema di noleggio "S-Bike", in una prima fase con 50 postazioni e 500 biciclette;
- implementazione di un primo "percorso ciclabile premium" da Salisburgo a Freilassing (Baviera), con un nuovo ponte sul fiume Saalach, quale modello per l'importanza della ciclabilità, anche per collegare le comunità periferiche con la città;
- campagne e sensibilizzazione alla diffusione della bicicletta;

60. <https://www.mobilitaet2030.li>

- utilizzo di programmi finanziati a livello nazionale ed europeo al fine di aumentare gli stanziamenti per misure volte a promuovere la ciclabilità.

Nella città di Salisburgo, ogni giorno vi sono circa 100.000 spostamenti in bicicletta, pari a 20% del totale, grazie alla presenza di buone infrastrutture per la ciclabilità. Ma il numero di spostamenti in auto, il 45% del totale, rimane ancora piuttosto elevato, mentre il trasporto pubblico, pari al 15% degli spostamenti, offre buone potenzialità di crescita. Nella città di Salisburgo, il 20% degli spostamenti avviene a piedi.

7.3.2.7 Promozione generale dell'uso della bicicletta al posto dei veicoli motorizzati in Baviera, Germania

Il contenimento del traffico motorizzato privato e dell'inquinamento atmosferico non solo aumenta l'attrattiva delle aree per i turisti e le rende mete climatoterapeutiche molto ambite, ma ovvia anche alla mancanza di parcheggi. I comuni hanno adottato approcci diversi per promuovere l'uso della bicicletta al posto dell'auto, ad esempio:

- preparare e implementare un piano per la ciclabilità che garantisca un collegamento sicuro e ben segnalato tra i comuni e al loro interno;
- predisporre postazioni per il noleggio di biciclette;
- espandere l'infrastruttura per la ciclabilità.

Esempi:

- Garmisch-Partenkirchen (Baviera): superstrada ciclabile "Loisachtal", che si estende su 33 km tra Murnau e Garmisch-Partenkirchen, creata grazie ai fondi del progetto "Klimaschutz durch Radverkehr", (Proteggere il clima con la mobilità ciclabile, Ministero federale tedesco dell'ambiente, della tutela della natura, dell'edilizia e della sicurezza nucleare); Jachenau (Baviera): pista ciclabile che collega Jachenau con Lenggries;
- Jachenau (Baviera): postazioni per il noleggio di biciclette con possibilità di sconti per i possessori di pass turistici;
- Sonthofen (Baviera): l'infrastruttura ciclabile è stata potenziata tra il 2017 e il 2019. Sono state attuate importanti misure strutturali: rinnovo della segnaletica orizzontale delle ciclabili, ag-

giunta e creazione della segnaletica agli attraversamenti dei parcheggi, aggiunta di tratti di ciclabili mancanti, realizzazione di una piccola rotonda, realizzazione di parcheggi nel centro cittadino. Inoltre, dal periodo 2018-2020 la città di Sonthofen ha promosso il traffico commerciale a basse emissioni offrendo biciclette cargo al 30% del prezzo d'acquisto. L'impegno della città di Sonthofen come comunità "ciclofila" della Baviera ha ricevuto un riconoscimento dal Ministero bavarese dell'edilizia e dei trasporti il 22 novembre 2019.

7.3.2.8 Promozione della mobilità intelligente con l'AutoPostale per aumentare la quota del trasporto pubblico, Svizzera

Il principale servizio di trasporto pubblico su strada in Svizzera sta promuovendo soluzioni di mobilità intelligente per migliorare la filiera della mobilità in essere, allo scopo di colmare i vuoti e rispondere a esigenze specifiche che finora non hanno potuto trovare una risposta per ragioni di costo⁶¹. Le aree con il maggiore potenziale di incremento nell'uso del trasporto pubblico sono le regioni rurali e montane/turistiche, poiché di norma i mezzi pubblici sono già molto utilizzati nelle aree urbane e suburbane. L'approccio è finalizzato a:

- una risposta dinamica della disponibilità di trasporto pubblico nelle regioni turistiche, in funzione della stagione e delle condizioni meteorologiche, consentendo di moltiplicare i servizi di autobus molto rapidamente per soddisfare la domanda;
- un aumento nella qualità della mobilità nelle città più piccole, abbinandola all'approccio degli *smart village* (sull'esempio di Spiez nell'Oberland bernese), che unisce mobilità, attività locali, shopping, servizi amministrativi e spazi di coworking;
- uno sviluppo della mobilità multimodale per un trasporto senza soluzione di continuità tra il trasporto pubblico tradizionale e il trasporto privato e in taxi (porta a porta).

L'approccio si basa sulla cooperazione di un grande numero di stakeholder, compresa l'integrazione nel programma "Gestione della mobilità aziendale" creato da SvizzeraEnergia per i comuni, allo scopo di cambiare i modelli di mobilità e i comportamenti nel lungo periodo.

61. *Smart Mobility von PostAuto* (<https://www.postauto.ch/de/file/134959/download?token=mE1KUth0>).



7.3.2.9 Potenziare la mobilità dolce, Principato di Monaco

La mobilità è una delle sfide principali per il Governo di Monaco, poiché ha un impatto sia sullo sviluppo sostenibile che sulla salute pubblica, oltre ad avere un importante ruolo economico. Gli interventi principali mirano a:

- sviluppare un trasporto pubblico urbano "pulito": attualmente tutti gli autobus della *Compagnie des Autobus de Monaco* utilizzano diester (bio-diesel), un combustibile fossile più pulito. Sono in corso esperimenti volti ad avere una flotta di autobus elettrici entro il 2025;
- sviluppare un trasporto multimodale pulito: car sharing elettrico a flusso libero, noleggio di bici elettriche in tutto il Principato;
- tariffe agevolate per promuovere l'utilizzo dei parcheggi (con 15.500 posti auto) all'ingresso del Principato in combinazione con l'utilizzo dei mezzi pubblici;
- sviluppare un'ampia rete di scale mobili e ascensori pubblici su tutto il territorio per agevolare i pedoni;
- incentivi finanziari, a partire dal 1994, per acquistare veicoli elettrici o veicoli ibridi diesel-elettrici, che attualmente sono pari al 5% dei veicoli in circolazione a Monaco;
- sviluppare una *Smart nation* utilizzando vari sensori (tra cui i sensori per la qualità dell'aria) combinando informazioni dirette su trasporto, attività locali e indicatori ambientali.

7.3.3 MISURE TECNICHE: COMBUSTIBILI/ MOTORIZZAZIONI ALTERNATIVI

Tra le misure tecniche, le motorizzazioni e i combustibili alternativi innovativi stanno acquisendo una crescente importanza nei sistemi di mobilità, grazie al supporto della Direttiva europea sulla realizzazione di un'infrastruttura per i combustibili alternativi (2014/94/UE). In breve, dal novembre 2016 gli Stati membri hanno predisposto quadri politici nazionali per lo sviluppo del mercato dei combustibili alternativi e delle relative infrastrutture.

La Direttiva "stabilisce un quadro comune di misure per la realizzazione di un'infrastruttura per i combustibili alternativi nell'Unione al fine di ridurre al minimo la dipendenza dal petrolio e attenuare l'impatto ambientale nel settore dei trasporti" e promuoverà combustibili a basse emissioni come l'energia elettrica, l'idrogeno, il gas natura-

le compresso (GNC/bio-GNC) e il gas naturale liquefatto (GNL/bio-GNL)" (Convenzione delle Alpi, 2018b). Molti stakeholder offrono esempi di promozione di veicoli alimentati a combustibili alternativi, inclusa la mobilità elettrica a livello locale o regionale.

7.3.3.1 Strategia energetica 2050 / risparmio energetico, Svizzera

Il Consiglio federale ha predisposto la Strategia energetica 2050 al fine di preparare la Svizzera alle attuali sfide relative all'approvvigionamento energetico e alle domande ed esigenze economiche, ambientali e tecnologiche del prossimo futuro. Tale iniziativa dovrebbe consentire alla Svizzera di trarre vantaggio da questa nuova posizione e di mantenere i suoi standard elevati in termini di approvvigionamento energetico. Al contempo, la Strategia contribuisce a ridurre l'impatto ambientale energetico della Svizzera.

La Strategia energetica è stata adottata attraverso un referendum popolare nel maggio 2017 e un primo passo verso la sua implementazione è stato compiuto nel 2018.

La Strategia energetica 2050 mira a un'uscita graduale della Svizzera dall'energia nucleare e a un aumento nell'uso delle energie alternative e, parallelamente, a una riduzione della dipendenza dalle fonti energetiche importate. Si fonda sostanzialmente su tre pilastri:

- aumento dell'efficienza energetica (edilizia, mobilità, industria, macchine/apparecchiature);
- aumento della quota di energie rinnovabili (rinnovabili tradizionali [idroelettrico] e nuove [solare, eolico]) attraverso una promozione e un miglioramento delle condizioni quadro giuridiche;
- abbandono graduale del nucleare.

Per quanto concerne il settore della mobilità, responsabile di un terzo delle emissioni di CO₂ e inquinanti, l'obiettivo è di ridurre il consumo energetico del 44% per la mobilità personale e del 25% per il trasporto merci entro il 2050.

Gli strumenti per raggiungere questo obiettivo consistono nell'aumento dell'efficienza energetica, nella sostituzione con combustibili e motorizzazioni alternative, nell'integrazione con la produzione decentralizzata di energia elettrica da fonti rinnovabili, nell'impiego di materiali leggeri e negli aspetti sperimentali dei nuovi modelli urbani, nonché nella riduzione della domanda di trasporto,

sviluppando nuove competenze sociali ed economiche⁶².

Sulla scorta del fine dichiarato di un risparmio di 44% nel consumo di energia, l'associazione che rappresenta il settore della rivendita di autovetture in Svizzera (Auto Schweiz) ha anche annunciato l'obiettivo 10/20, ovvero che nel 2020 ogni 10 autovetture private immatricolate in Svizzera e Liechtenstein una dovrà essere elettrica a batteria o ibrida plug-in. Si tratta di un obiettivo molto ambizioso, poiché la quota di tali veicoli sul totale del mercato delle nuove immatricolazioni era pari a solo 5,6% nel 2019.⁶³

7.3.3.2 Analisi approfondita della promozione delle modalità di trasporto non fossili nella viabilità pubblica, Svizzera

Nel marzo 2019, il Consiglio nazionale (una delle due Camere del Parlamento) della Svizzera ha adottato il postulato "Promuovere l'affermazione dei vettori di trasporto non fossili nei trasporti pubblici su strada". Il Consiglio federale (il Governo) ha caldeggiato la sua approvazione, soprattutto al fine di condurre un'ampia analisi del rapporto costo-beneficio della promozione di autobus con motorizzazioni alternative (in particolare autobus elettrici) e di segnalare le misure di sostegno già in essere⁶⁴.

Gli scopi del rapporto relativo al postulato sono i seguenti: il rapporto offrirà un quadro completo del potenziale e dei vantaggi attuali e futuri delle motorizzazioni alternative in sostituzione degli attuali autobus alimentati a diesel, e mostrerà in modo trasparente i costi/costi aggiuntivi attuali e futuri. Inoltre, illustrerà le misure di sostegno sia in essere che nuove, potenziali, a livello nazionale. Al fine di ottenere un risultato che goda di ampio consenso e appoggio, è stato istituito un gruppo di sostegno, in seno al quale sono rappresentati tutti gli attori interessati. Lo scopo è di finalizzare lo studio di riferimento entro giugno 2020 e di presentare il rapporto relativo al postulato nell'autunno 2020.

L'attenzione è rivolta in particolare alle aree rurali ed alpine, dato che sono i luoghi di minore applicazione potenziale, ma con maggiori sfide (condizioni meteorologiche, differenze altimetriche, lunghe distanze, limitate risorse finanziarie, ecc.). In seno al gruppo vi sono pertanto anche rappresentanti

delle aziende di trasporto rurali (RBS e AutoPostale) e aziende di trasporto alpino (Engadin Bus). Il potenziale tecnico applicativo insieme ai costi aggiuntivi sono analizzati per diversi esempi di itinerari, in modo clusterizzato, includendo percorsi rurali e montani impegnativi. Dall'esame dei progetti pilota si è già appreso che la mancanza di stazioni di ricarica per i motori elettrici (e le relative infrastrutture, cioè una rete con una potenza erogata sufficiente) è un problema serio per le aree rurali ed alpine, cui occorre trovare una soluzione.

7.3.3.3 Promozione della mobilità elettrica, Baviera, Germania

Conversione della flotta di veicoli municipali in veicoli elettrici o ibridi

Lo scopo di questa iniziativa consiste nella sostituzione dei veicoli municipali muniti di motori a combustione interna con autovetture elettriche o ibride. La città di Sonthofen (Baviera) ad esempio, ha continuato a dotare la propria flotta di veicoli elettrici e ibridi. I veicoli elettrici sostituiscono i veicoli dismessi con motore a combustione interna. Saranno sostituite sia le autovetture che i veicoli commerciali. Tre veicoli vecchi sono già stati sostituiti con veicoli elettrici. La ricarica dei veicoli elettrici avviene con elettricità da fonti rinnovabili certificate al 100% (energia idroelettrica dalla regione alpina).

La ricarica ha luogo presso una stazione di ricarica per veicoli municipali (stazioni di ricarica a parete). La maggior parte degli spostamenti per lavoro avviene nell'area urbana. L'autonomia dei veicoli elettrici è sufficiente a tale fine. I veicoli elettrici azzerano virtualmente le emissioni su strada e riducono l'inquinamento acustico nel centro cittadino, oltre ad avere costi di gestione significativamente minori rispetto ai veicoli tradizionali.

La conversione è finanziata dal Ministero federale tedesco dell'ambiente, della tutela della natura della sicurezza nucleare (BMU), nel quadro dell'Iniziativa nazionale per il clima, sulla base di una risoluzione del Parlamento federale tedesco.

Servizio comunale di car sharing elettrico e posa in opera di nuove stazioni di ricarica

Grazie all'offerta di un nuovo sistema comunale di car sharing elettrico, a zero emissioni, i cittadini,

62. <http://www.scoer-soe.ch/en/home/>.

63. <https://www.auto.swiss/themen/alternative-antriebe/>.

64. <https://www.parlament.ch/de/suche#k=Postulat%2019.3000>.



l'industria e il commercio locali saranno motivati a non ricorrere più alle seconde autovetture. Il risultato è un vantaggio considerevole in termini di costi, con un risparmio annuale di € 2.000 circa per auto, riducendo il parco di seconde autovetture nel comune e il numero di veicoli con motore a combustione interna.

La città di Fischbachau (Baviera) promuove la mobilità elettrica posando nuove stazioni di ricarica per i veicoli elettrici.

Un altro approccio consiste nel migliorare l'impiego delle autovetture elettriche rispetto a quello dei veicoli a combustione interna progettando e implementando un'"Infrastruttura di ricarica intelligente". Garmisch-Partenkirchen (Baviera) ha partecipato come comune modello al progetto "Infrastruttura di ricarica intelligente", finanziato dallo Stato federato della Baviera dal 2011 al 2016. Lo scopo era di sviluppare un'infrastruttura di ricarica priva di barriere (possibilità di implementare diverse opzioni di ricarica; messa in rete di infrastrutture di ricarica diverse o soluzioni stand-alone, ecc.) con interfacce per l'integrazione in un sistema di *smart grid* comunale con flussi di dati e processi *cross-system*.

Nella città di Sonthofen dal 2011 si possono ricari-

care le autovetture elettriche alle stazioni di ricarica pubbliche. Le stazioni di ricarica sono situate nel centro cittadino. Sonthofen espande e modernizza costantemente la propria infrastruttura di ricarica. Nel centro cittadino vi sono parcheggi specificatamente destinati ai veicoli elettrici ed esistono nove punti di ricarica normali, moderni e pubblici, sperando così le raccomandazioni delle Direttiva sui combustibili alternativi. A tale fine, la città di Sonthofen collabora strettamente con l'azienda "Allgäuer Kraftwerke". La realizzazione è stata possibile grazie al sostegno del Ministero federale dei trasporti e dell'infrastruttura digitale (BMVI), a seguito di una risoluzione del Parlamento federale della Germania.

Per i distretti rurali dell'area di Berchtesgaden e Traunstein, è stato sviluppato un piano per la mobilità elettrica, con il sostegno del Ministero dei trasporti e dell'infrastruttura digitale, volto a potenziare la mobilità elettrica nella regione. Il piano mira alla progettazione di un'infrastruttura di ricarica ad alte prestazioni, e adeguata al fabbisogno per i veicoli elettrici nelle località centrali e nelle destinazioni turistiche, per imprenditori, alberghi e aree residenziali con edifici a uso abitativo. Ne consegue che il numero e la posizione delle stazioni di ricarica predisposte corrisponde alle esigenze di tutti i 50 comuni.

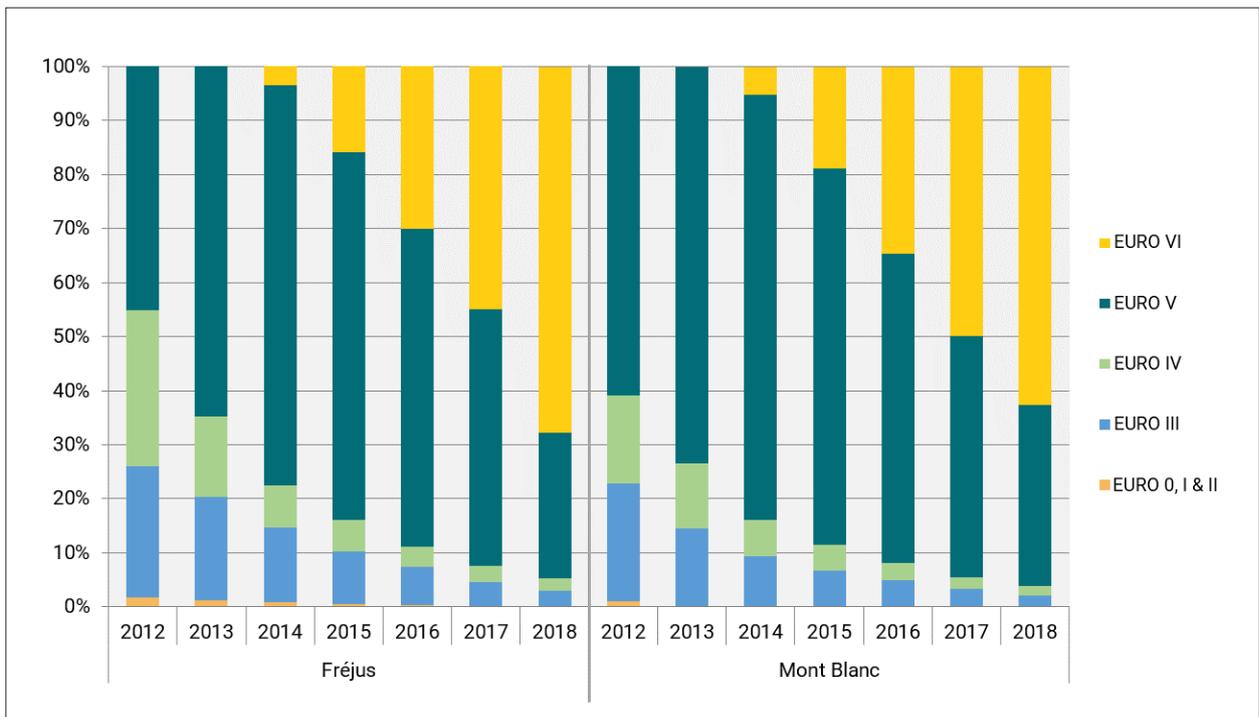


Figura 38: Osservazione e analisi dei flussi di trasporto merci transalpino nelle due gallerie transalpine. Euro 0-6 sono i limiti di emissione UE per i veicoli commerciali pesanti: il livello di NO_x ad esempio, è sceso da 14,4 g/kWh a 0,4 g/kWh tra Euro 0 ed Euro 6 (Alpine Traffic Observatory).

7.3.4 EVOLUZIONE DEL TRASPORTO MERCI SU STRADA

Il presidente del Gruppo di lavoro Trasporti della Convenzione delle Alpi ha analizzato i trend riguardanti il trasporto merci su strada nelle Alpi.

In termini di inquinamento atmosferico, gli standard Euro hanno portato a un innegabile miglioramento nel trasporto stradale. La figura 38 mostra le statistiche per le due gallerie franco-italiane.

All'attuale velocità di rinnovo della flotta di veicoli commerciali pesanti, si può ragionevolmente ipotizzare che tutti i VCP in circolazione sulle arterie transalpine saranno in linea con lo standard Euro 6 entro 5 anni e che tutti i VCP che svolgono attività di cabotaggio lo saranno poco dopo. Ciò comporterebbe un miglioramento di 25% circa nelle emissioni di NO_x e PM. La quota di veicoli Euro 6 è addirittura maggiore in Svizzera e Austria, riducendo pertanto il margine di miglioramento.

Nel medio termine, ovviamente, le prospettive rimangono più aperte. Si possono individuare "lievi segnali". L'elettrificazione dei VCP non è più un obiettivo irraggiungibile. In base a recenti analisi condotte dal Ministero francese della transizione ecologica e inclusiva, attualmente il costo (in t/km) per trasportatore di un camion elettrico da 40 t è simile a quello di un camion diesel, mentre risultava molto più caro nel 2017. Produrre batterie da 300 Wh/kg nel 2025-2030

e da 400-500 Wh/kg nel 2040 è ormai un'ipotesi ritenuta ragionevole: un pacco batteria da 4 t garantirà allora un'autonomia di 800 km per un semirimorchio, aprendo pertanto il mercato transalpino.

In futuro, l'inquinamento locale residuo principale legato al traffico di veicoli pesanti sarà quello prodotto dal contatto pneumatici/manto stradale e dai residui dei freni. In Francia, si stima sia pari ad almeno 40% dell'inquinamento da particolato emesso dal traffico stradale. Se la flotta di veicoli pesanti fosse interamente elettrificata, questo problema rimarrebbe. Si può tuttavia prevedere un calo di tale fonte inquinante per almeno due ragioni: il fatto che il sistema frenante di un veicolo elettrico è in parte esclusivamente elettrico, senza contatti, e che sono in corso ricerche tecnologiche promettenti (pneumatici biodegradabili, aspirazione del particolato a monte dei freni...).

La cosa certa è che le normative in materia di inquinamento atmosferico e inquinamento globale diventeranno più severe. Dopo lo standard Euro 6, si sta lavorando a uno standard Euro 7, applicabile a partire dal 2025. Possiamo pertanto prevedere che nel medio termine, con la maggiore diffusione - che si presume sarà economicamente conveniente - della trazione elettrica per i veicoli commerciali pesanti, vi sarà una riduzione di due terzi dell'inquinamento di particolato rispetto allo standard Euro 6, pari a un quarto dell'inquinamento attualmente prodotto dal trasporto merci su strada.

7.4 PIANIFICAZIONE INTEGRATA: PIANIFICAZIONE DELLA MOBILITÀ E DEL TERRITORIO

Il nesso tra pianificazione della mobilità e uso del territorio è fondamentale per la futura domanda di trasporto merci e passeggeri, sia privata che pubblica. Independentemente dalla regione geografica, i processi di pianificazione integrata, a ogni livello amministrativo (locale, regionale, nazionale, sovranazionale), contribuiscono a un sistema di mobilità efficace, che risparmi quanto più possibile risorse naturali e limiti gli effetti negativi su ambiente e salute.

Nell'UE, la Direttiva relativa alla qualità dell'aria richiede la predisposizione di piani d'azione per la qualità dell'aria nelle aree in cui i limiti di qualità dell'aria vengono superati. In Svizzera, ogni Cantone deve predisporre un piano d'azione per la qualità dell'aria in base all'Ordinanza federale contro l'inquinamento atmosferico. Nel perimetro della Convenzione delle Alpi, tutti i Cantoni hanno adottato un piano di questo tipo, che di norma consiste nella descrizione delle fonti di emissione responsabile della produzione di concentrazioni eccessive e contiene misure per la loro riduzione o eliminazione. Inoltre, esso quantifica l'effetto delle singole misure e stabilisce scadenze per la loro adozione e attuazione.



7.4.1.1 Progetto territoriale (Raumkonzept), Svizzera

Il Progetto territoriale Svizzera (pubblicato nel 2012) si prefigge i seguenti obiettivi principali in relazione a trasporti e mobilità:

- la Svizzera gestisce un sistema di trasporto affidabile, sicuro e sostenibile per il trasporto passeggeri e merci;
- i costi di gestione, manutenzione e rinnovo sono accessibili;
- la popolazione e l'economia della Svizzera beneficiano di una buona accessibilità internazionale e regionale. Ciò rafforza la competitività regionale e la coesione del paese;
- il sistema di trasporto promuove lo sviluppo insediativo interno e riduce l'impatto negativo della mobilità su qualità di vita, consumo energetico e paesaggio;
- la popolazione svizzera è avvantaggiata dagli spostamenti brevi tra lavoro, casa e attività del tempo libero;
- centri rurali solidi, con aziende e industrie, consentono di ridurre il pendolarismo;
- nelle procedure pianificatorie, i cosiddetti poli di sviluppo dovrebbero concentrare in luoghi adeguati ulteriori posti di lavoro, aziende, scuole e attività sportive e del tempo libero, allo scopo di ridurre e incentrare la mobilità sulle infrastrutture di trasporto in essere (e potenziate) e di evitare un'urbanizzazione selvaggia e un'ulteriore domanda di mobilità, sia di trasporto privato individuale che pubblico.

Ai diversi livelli di pianificazione (locale, regionale e nazionale), per le nuove aree per insediamenti/complessi residenziali, aziende, luoghi di lavoro, centri commerciali, impianti sportivi e del tempo libero con un'alta intensità di trasporto (>2.000 spostamenti in auto/giorno) occorre un piano sulla mobilità specifico *ex ante*, che preveda una copertura di gran parte della domanda di mobilità attesa attraverso modalità di trasporto sostenibili, p.es. trasporto pubblico o mobilità dolce, prima dell'approvazione del progetto. La maggior parte di questi progetti ad alta intensità di trasporto presenta cosiddetti "modelli di ponderazione dei tragitti" (*Fahrleistungsmodell*), in cui il capo progetto sta-

bilisce come e in che percentuale la domanda di trasporto generata dal progetto sarà coperta dal trasporto pubblico e privato, soprattutto con il potenziamento del trasporto pubblico (infrastrutture e gestione), la mobilità dolce e ulteriori spostamenti con autovetture private. La somma delle ulteriori emissioni del settore trasportistico, risultanti dalla modellazione, e l'inquinamento dell'aria ambiente esistente devono rientrare nei limiti definiti dall'Ordinanza federale contro l'inquinamento atmosferico (OIA)⁶⁵.

Attraverso una convenzione tra capo progetto/investitore e la relativa autorità locale o regionale, la quota modale calcolata viene monitorata e abbinata a un sistema bonus/malus legato al raggiungimento o meno dei valori. Dal 2001, dalla sua implementazione, il modello di ponderazione dei tragitti di Berna funge da strumento di pianificazione per molti comuni. In una fase successiva, le regole di base del modello sono state integrate nei piani cantonali di pianificazione del territorio e di pianificazione della mobilità (Piano direttore cantonale).

Il Governo federale, i Cantoni, le città e i comuni coordinano la pianificazione delle infrastrutture di trasporto con le loro idee di sviluppo del territorio.

Il *Progetto territoriale Svizzera*⁶⁶ è raccomandato soprattutto per lo sviluppo territoriale nelle Alpi:

- per promuovere lo sviluppo sostenibile delle valli laterali con il loro paesaggio tipico;
- la popolazione residente dovrebbe rimanere nelle aree ancora funzionali delle valli laterali;
- ciò richiede che sia garantita una sufficiente disponibilità di merci, servizi e lavori nelle aree turistiche e nei centri rurali alpini;
- le strategie regionali per lo sviluppo del territorio dovrebbero essere basate su queste priorità;
- lo scopo è di raggiungere una combinazione ottimale di turismo naturalistico e culturale, agricoltura e commercio;
- i paesaggi culturali tradizionali, con le loro tipiche forme insediative e la loro storia di traffico dovrebbero essere sapientemente coltivate e ulteriormente sviluppate.

65. <https://www.admin.ch/opc/en/classified-compilation/19850321/index.html>.

66. <https://www.are.admin.ch/are/de/home/raumentwicklung-und-raumplanung/strategie-und-planung/raumkonzept-schweiz.html>.

7.4.1.2 Un piano integrato di protezione dell'atmosfera, Francia

In Francia, in alcune regioni considerate sensibili all'inquinamento atmosferico si adottano ulteriori piani d'azione al fine di migliorare la qualità dell'aria. Nelle Alpi, la valle dell'Arve è il migliore esempio per tali piani. Data la geomorfologia della regione, l'inquinamento atmosferico è un problema per i suoi abitanti: pertanto, nel 2012 è stato adottato un piano di protezione dell'atmosfera⁶⁷, che con cadenza quinquennale è sottoposto a valutazione e revisione, quindi implementato. Il piano approvato nel 2019 include azioni locali, tra cui le seguenti:

Energia:

- "Fonds Air Gaz" (Fondo aria gas): finanziamenti ai soggetti privati per sostituire gli impianti di riscaldamento a legna con sistemi a metano, che emettono molto meno particolato.
- Proibizione dell'uso di caminetti a focolare aperto (importante fonte di PM): decreto che vieta l'uso di caminetti a focolare aperto.
- Sviluppo della produzione di biogas: promuovere lo sfruttamento di diversi tipi di rifiuti per produrre energia verde.

Agricoltura:

- Formazione degli agricoltori in materia di buone pratiche per la riduzione delle emissioni di inquinanti: informare e istruire gli agricoltori sul loro impatto sulla qualità dell'aria e sui nuovi metodi a impatto minimo.

Urbanistica:

- Inserimento della qualità dell'aria nella pianificazione urbana al fine di promuovere la creazione di hub urbani compatti e lo sviluppo di reti di riscaldamento.

Trasporti:

- Promozione di eco-driving e carpooling: favorire la realizzazione di una rete di parcheggi per il carpooling, possibilmente su una scala più adatta ad aree scarsamente popolate; predisposizione di una piattaforma per collegare i carpooler.
- Miglioramento di capacità ed efficienza del trasporto pubblico e promozione della mobilità attiva.

- Aumento del trasferimento di merci dalla strada alla rotaia per ridurre il carico di traffico sulle strade nella regione.

7.4.1.3 Programma regionale comune per l'aria pulita, in vari ambiti, tra cui il Settore sportivo, Italia

Le regioni e città dell'Italia settentrionale e centrale, densamente popolate e altamente inquinate, stanno cooperando in seno a un programma comune per l'aria pulita noto come Life PrepAir⁶⁸. Il programma, cofinanziato dall'Unione europea per il periodo 2017-2024, è coordinato dalla Regione Emilia-Romagna, con il coinvolgimento di 17 partner. Le azioni previste riguardano i seguenti ambiti: agricoltura, combustione di biomassa, trasporti, energia, valutazione delle emissioni, comunicazione e *capacity building*.

Le funzioni principali nel settore dei trasporti sono le seguenti:

● Promozione della mobilità attiva/ciclabilità

I partner coinvolti nel progetto promuovono la mobilità attiva e ciclabile con diverse azioni, in funzione delle diverse specificità territoriali e pianificatorie. Le azioni includono corsi di formazione per funzionari pubblici e cittadini e studenti, volti a modificare e migliorare la pianificazione e l'utilizzo della mobilità ciclabile; indagini sulla disponibilità di infrastrutture ciclabili nelle stazioni ferroviarie; miglioramento delle infrastrutture ciclabili; geolocalizzazione delle piste ciclabili e navigatore per biciclette.

● Azione dimostrativa per la conversione da diesel a elettrico

Una volta selezionato il percorso in autobus più lungo nel territorio del progetto, sarà condotto uno studio di fattibilità per il rinnovamento di un autobus alimentato a diesel e la produzione di un prototipo a propulsione elettrica modulare per gli autobus cittadini, da testare su un percorso vero/operativo di trasporto pubblico.

● Razionalizzazione della logistica merci a corto raggio in aree urbane e periurbane

Razionalizzazione della logistica merci a corto raggio nelle aree urbane, soprattutto nei centri

67. https://www.haute-savoie.gouv.fr/content/download/15754/92617/file/ppa_20120305.pdf

68. <https://www.lifepreparepair.eu/?lang=en>



cittadini, e della logistica merci a corto raggio extraurbana e periurbana, definendo il modello logistico più diffuso e conducendo uno studio pilota per carico/scarico merci.

- **Sviluppo di strumenti ICT nel trasporto pubblico**

L'azione proposta mira a progettare e sviluppare uno strumento di pianificazione dei percorsi "aperto" e integrato, multimodale per i servizi di trasporto pubblico regionali, via web e app.

- **Promozione generale della mobilità elettrica**

Informazione al pubblico e agli stakeholder privati e collaborazione con gli stessi al fine di potenziare la diffusione della mobilità elettrica, anche a livello politico. Si organizzeranno corsi per gli amministratori locali, professionisti e mobility manager, abbinati a consulenze e studi.

- **Formazione in materia di eco-driving**

Lo stile di guida denominato "eco-driving" può aiutare a ridurre il consumo di combustibile e le emissioni dei veicoli, che sono ampiamente influenzati dal comportamento dei conducenti. Questa azione, rivolta ai conducenti di autobus, tassisti e scuole guida, prevede un programma di lezioni di eco-driving, lo sviluppo e l'adozione di soluzioni tecnologiche, l'integrazione dell'eco-driving nei programmi delle scuole guida e negli esami di guida.

7.5 RIDUZIONE DELLE EMISSIONI DI AMMONIACA DELL'AGRICOLTURA NELLE AREE MONTANE

7.5.1.1 Riduzione delle emissioni agricole di ammoniaca, Svizzera

Nel quadro della sua Politica agricola 2014-2017, la Svizzera ha stabilito l'obiettivo di ridurre le emissioni di ammoniaca dell'agricoltura a un massimo di 41.000 t di azoto l'anno entro il 2017. Nella comunicazione riguardante una decisione del Consiglio federale sulle risorse finanziarie per l'agricoltura per il periodo 2018-2021 si dichiarava che gli obiettivi proposti nella Politica agricola 2014-2017 dovevano essere perseguiti come pietre miliari entro il 2021. L'obiettivo ambientale, senza una scadenza precisa, è di ridurre le emissioni a non più di 25.000 t l'anno.

In Svizzera, l'agricoltura produce 93% delle emissioni totali di ammoniaca. La quota di gran lunga maggiore (93%) è imputabile alla zootecnia, in cui predomina l'allevamento di bovini (78%). In un confronto europeo, la Confederazione elvetica presenta le emissioni di ammoniaca per ettaro di terreno agricolo più alte dopo i Paesi Bassi. Le ragioni di tali emissioni elevate risiedono nella pratica di stabulazione aperta della Svizzera e in particolare nell'elevata densità del bestiame. Tra il 1990 e il 2015, le emissioni agricole di ammoniaca in Svizzera sono calate del 18%, soprattutto in seguito alla riduzione del numero di animali tra il 1990 e il 2000. In questo periodo, il numero di capi di bestiame in Svizzera è sceso di quasi 115.000 unità, passando a 1.337.000 capi circa. Da allora, le emissioni sono rimaste invariabilmente alte. Tra il 2007 e il 2017, il numero di capi di bestiame è sceso di 1,8% soltanto. Al fine di avvicinarsi all'obiettivo di 41.000 t l'anno entro il 2017, i capi di bestiame avrebbero dovuto scendere di oltre 130.000 unità (intorno al 10% del bestiame in essere nel 2007) nel periodo corrispondente.

Per ridurre l'impatto delle emissioni di ammoniaca sull'ambiente e sulla qualità dell'aria, dal 2008 al 2018 il Governo federale ha erogato contributi ai progetti a valere su risorse cantonali riguardanti l'ammoniaca, come parte del Programma sulle risorse. Dal 2014, specifiche misure sono state sostenute attraverso contributi per l'efficienza delle risorse in tutta la Svizzera. Le misure promosse si riferiscono in particolare allo stoccaggio e allo spandimento di effluenti, all'adeguamento strutturale delle stalle, per esempio per consentire un rapido drenaggio delle urine, e a un foraggiamento equilibrato e meno ricco di proteine.

Tuttavia, nel periodo in cui la Confederazione ha sostenuto le misure volte a ridurre l'ammoniaca, le emissioni sono scese soltanto di 2% circa. Nonostante gli sforzi intrapresi, l'elevato numero di capi di bestiame nell'agricoltura svizzera e l'importanza attribuita dalla società al benessere animale hanno fatto sì che le emissioni di ammoniaca scendessero solo lievemente (si veda anche la sezione 4.4). Inoltre, le misure riguardanti il foraggiamento e l'uso di tubi flessibili a strascico sono applicabili o fattibili solo in misura limitata, soprattutto nelle aree montane. Una razione di foraggio equilibrata, con un basso eccesso di proteine grezze, dipende dall'apporto di foraggio ad alto valore energetico, come il mais coltivato in valle. Tuttavia, tale soluzione può essere adottata solo in misura limitata, per via del trasporto. Anche lo spandimento degli effluenti con tubi flessibili a strascico, che consente un'applicazione rasoterra e quindi a emissioni ridotte, non è più possibile oltre una certa pendenza

dei versanti. Sebbene le aree montane producano meno emissioni rispetto alle aree pianeggianti, occorre chiedersi quale sia il tipo di allevamento che inquina meno i sensibili ecosistemi montani.

Focalizzare l'attenzione su misure tecniche e costruttive non rende giustizia alla situazione nelle aree montane. Occorre invece un approccio olistico, che tenga conto non solo delle misure tecniche, ma anche degli aspetti riguardanti le risorse foraggiere disponibili e la capacità di carico degli ecosistemi. La qualità dell'aria è protetta adeguando il numero di capi di bestiame alla sensibilità dell'ambiente naturale. La pratica diffusa del pascolo, soprattutto nelle aree montane, è un'altra importante misura per la riduzione dell'ammoniaca: l'urina penetra rapidamente nel suolo e si ha una minore perdita di ammoniaca rispetto alla stabulazione. Inoltre, se si possono utilizzare tubi flessibili a strascico per lo spandimento degli effluenti, l'area

di stoccaggio degli effluenti è coperta e si garantisce anche la pulizia delle zone di deambulazione e di riposo nella stalla, le emissioni di ammoniaca e i loro effetti sugli ecosistemi sensibili possono essere ridotti in misura considerevole.

Il fattore più significativo delle emissioni di ammoniaca in agricoltura è il numero di animali allevati. Se questo numero rimane invariato o addirittura aumenta, è difficile ottenere un calo nelle emissioni di azoto e ammoniaca. Inoltre, la riduzione delle emissioni di ammoniaca in agricoltura è parzialmente in conflitto con gli aspetti riguardanti il benessere animale. La stabulazione aperta contribuisce al benessere animale, ma comporta anche maggiori perdite di ammoniaca. Conciliare le richieste della società riguardo al numero di animali e al benessere animale con la protezione ambientale rimane una sfida ancora da risolvere a livello politico.



8. SINTESI E RACCOMANDAZIONI POLITICHE

8.1 RIDURRE LE EMISSIONI DI PARTICOLATO, E DEL BAP ASSOCIATO, DALLA COMBUSTIONE DI BIOMASSE LEGNOSE

Il capitolo 5.2 ha evidenziato come le concentrazioni di PM, soprattutto di PM_{2,5} e del BaP associato, destino ancora preoccupazioni in molte aree alpine, sebbene la tendenza descritta nel capitolo 5.3 evidenzia concentrazioni di PM₁₀ e PM_{2,5} in calo nell'ultimo decennio. La combustione del legno è una delle fonti principali di materiale particolato, che contribuisce in misura rilevante ai valori critici della qualità dell'aria ambiente nelle Alpi, come è stato dimostrato attraverso specifici programmi di ricerca e illustrato nel capitolo 3.2.1.

Al fine di mitigare questo problema, si propone di predisporre campagne di misura volte a determinare le emissioni delle sorgenti domestiche su piccola scala e a monitorare PM_{2,5} e BaP, al fine di informare gli abitanti delle Alpi sulle opzioni tecniche e operative per contenere le emissioni, e ridurre ulteriormente le emissioni di particolato e BaP attraverso azioni di supporto. Nelle aree con elevato inquinamento da particolato dovrebbero essere adottate norme più rigorose, su base volontaria, per la regione alpina, come valori limite di emissione più severi per i nuovi impianti, controlli più rigorosi sugli impianti in essere e sui combustibili impiegati, oltre a campagne di informazione, formazione sulla corretta gestione, ecc.

8.1.1 MISURARE E INFORMARE

Le campagne di informazione sugli effetti di particolato e BaP sulla salute e quelle sul corretto riscaldamento a legna dovrebbero essere basate sulla possibilità di misurare le emissioni di PM e le relative fonti, nonché di rendere tali informazioni accessibili al pubblico. Le misure delle emissioni dovrebbero essere integrate da campagne di monitoraggio di PM_{2,5}, BaP e *black carbon*, di durata non inferiore a una stagione

di riscaldamento. Le informazioni per i cittadini devono essere suffragate da misure adeguate alle caratteristiche fisiche e geografiche della regione alpina: specificità morfologiche e meteorologiche, diverse tipologie insediative, stagioni di riscaldamento più lunga e varie sorgenti di inquinamento atmosferico (caldaie individuali, traffico, industria...). In relazione alla situazione topografica e climatica, alla distribuzione eterogenea della popolazione e delle fonti di emissione nella regione alpina, la scelta dei punti di monitoraggio dovrebbe tenere conto delle diverse tipologie di aree e includere punti di monitoraggio del black carbon.

RACCOMANDAZIONE 1

Supportare le organizzazioni competenti per:

- misurare *in situ* il particolato fine e soprattutto il benzo(a)pirene provenienti da caldaie e impianti di riscaldamento a legna;
- informare la popolazione sull'impatto che la combustione di biomasse legnose per il riscaldamento ha sulla salute.

8.1.2 SOSTENERE INTERVENTI DI RIQUALIFICAZIONE DI IMPIANTI DI RISCALDAMENTO SU PICCOLA SCALA

In base a diagnosi specifiche, tutti gli operatori e i privati dovrebbero avere la possibilità di beneficiare di interventi di ammodernamento o sostituzione dei vecchi impianti di riscaldamento a legna o a gasolio con impianti di riscaldamento tecnicamente nuovi e moderni, a basse emissioni. Negli insediamenti più grandi, città o agglomerati urbani, occorre vagliare la fattibilità di un sistema di riscaldamento centralizzato per l'intera comunità, dato che questo tipo di impianti di norma garantisce un approvvigionamento di energia più pulita, ha una maggiore efficienza energetica e comporta meno emissioni.

RACCOMANDAZIONE 2

Ridurre le emissioni da riscaldamento domestico attraverso l'ottimizzazione della prestazione energetica complessiva degli edifici e la sostituzione degli impianti di riscaldamento con sistemi a basse emissioni, offrendo sostegno e orientamento agli operatori, e tramite:

- il miglioramento della prestazione energetica degli edifici;
- la sostituzione di caldaie e impianti di riscaldamento vecchi, altamente inquinanti;
- la sostituzione dei combustibili tradizionali con un tipo di combustibile più pulito.

8.2 PROMUOVERE LA MOBILITÀ PULITA

Come illustrato nei precedenti capitoli della presente relazione, soprattutto nel capitolo 3.2, la concentrazione del traffico nelle valli e città alpine rimane una delle fonti principali di inquinamento per le persone che vivono lungo le arterie stradali principali. Gli esempi presentati nel capitolo 7.3 mostrano che le Parti contraenti della Convenzione delle Alpi sono già impegnate nella riduzione dell'inquinamento atmosferico ricorrendo a mobilità attiva, zone a traffico limitato, promozione del trasporto pubblico, introduzione di limiti di velocità e impiego di nuove tecnologie. Questa condivisione delle esperienze è un incentivo per tutti i paesi ad imparare dai propri partner, personalizzando le soluzioni proposte, diffondendo informazioni e campagne di sensibilizzazione e infine attuandole. Le soluzioni sono disponibili a diversi livelli, da quello UE e nazionale alle comunità locali. Inoltre, gran parte di queste azioni ha anche effetti positivi in termini di mitigazione dei cambiamenti climatici.

8.2.1 ADOTTARE POLITICHE DI MOBILITÀ AMBIZIOSE

Città, distretti e regioni sono incoraggiati a usare gli strumenti disponibili (mappatura e modellizzazione della qualità dell'aria, valutazione degli effetti su di essa dell'adozione di modalità attive ecc.) per dimostrare il nesso tra le scelte di mobilità, l'inquinamento atmosferico e la salute umana. Discussioni e dibattiti sull'utilizzo di que-

sti strumenti con i cittadini interessati possono aiutare a proporre e implementare soluzioni ambiziose e a monitorare i benefici per ogni cittadino. Le iniziative di mobilità che si avvalgono di un insieme coerente di misure, abbinando incentivi normativi e finanziari o fiscali alle restrizioni, nelle politiche di trasporto sia passeggeri che merci, adottate dopo una consultazione concertata e una valutazione ambientale, potrebbero aiutare a trasformare gli auspici e le esigenze in politiche pubbliche.

RACCOMANDAZIONE 3

Previa consultazione e valutazione ambientale, adottare iniziative di mobilità regionali e locali per il trasporto passeggeri e merci che favoriscano la mobilità pubblica e attiva, abbinando incentivi a restrizioni, ove sia previsto un impatto rilevante sulla qualità dell'aria.

8.2.2 INVESTIRE NEL TRASPORTO PULITO

Sono già disponibili, e saranno ulteriormente migliorati, sistemi di trasporto intelligente, strumenti numerici per utilizzarli senza intoppi, app per smartphone che integrano il trasporto pubblico nei sistemi di mobilità multimodale, e anche nuove tecnologie per veicoli sempre più prossimi alle zero emissioni. Il loro sviluppo dipende dai segnali del mercato, che possono essere accelerati utilizzando, ad esempio, un insieme coerente di finanziamenti pubblici, norme o sistemi fiscali basati sui costi reali, finalizzato a promuovere la mobilità pulita. Nel quadro delle politiche nazionali e regionali tali strumenti, volti anche alla promozione di soluzioni di trasporto combinato al di fuori del perimetro della Convenzione delle Alpi, ma con un impatto sulla regione alpina, sono raccomandati

RACCOMANDAZIONE 4

Promuovere una strategia di mobilità pulita e di veicoli a zero emissioni, per esempio adottando una tassazione equilibrata e un sistema di incentivi per internalizzare le esternalità dell'inquinamento nei costi di trasporto reali, e potenziare i segnali del mercato a favore di una mobilità pulita e di veicoli a zero emissioni.



per favorire una rapida adozione di soluzioni intelligenti, nonché per creare le premesse affinché le soluzioni innovative possano trovare uno sbocco sul mercato.

RACCOMANDAZIONE 5

Promuovere una gestione intelligente del traffico, per esempio attraverso limiti di velocità e pedaggi stradali, favorendo i veicoli puliti sulle autostrade alpine e nelle gallerie al fine di contenere le emissioni, nonché:

- incoraggiare l'implementazione di tecnologie di trasporto alternative e del trasporto combinato;
- integrare il trasporto pubblico nei sistemi di mobilità multimodali;
- incentivare il trasferimento modale nel trasporto passeggeri e merci.

8.3 RIDURRE LE EMISSIONI NELL'AGRICOLTURA

Come illustrato nei precedenti capitoli, l'agricoltura in genere non è la fonte principale di inquinamento nelle Alpi. Tuttavia, il capitolo 3.2 mostra come il contributo di questo settore non sia trascurabile in alcune aree a coltivazione intensiva. Il capitolo 4.4 spiega come alcune zone delle Alpi superino il carico critico di azoto depositato dall'atmosfera.

RACCOMANDAZIONE 6

Supportare lo sviluppo di buone pratiche agricole che limitino le emissioni di composti azotati come l'ammoniaca, nonché l'incenerimento all'aria aperta dei rifiuti verdi e degli stralci nella regione alpina.

8.4 POLITICHE SULLA QUALITÀ DELL'ARIA

Le Parti contraenti della Convenzione delle Alpi incoraggiano tutte le iniziative che contribuiscono al miglioramento della qualità dell'aria nelle Alpi, la cui coerenza è un aspetto che deve essere affrontato a vari livelli. All'interno dei diversi paesi è importante che tutte le differenti comunità beneficino della buona qualità dell'aria, poiché le disuguaglianze sociali sono spesso legate alle disuguaglianze ambientali⁶⁹.

8.4.1 ADOTTARE INIZIATIVE SULLA QUALITÀ DELL'ARIA NELLE ALPI

Lo scopo è di promuovere interventi da parte dei decisori politici locali e regionali. Tale approccio potrebbe anche contribuire a una migliore comprensione delle differenze e all'eliminazione delle disuguaglianze in materia di mobilità, inquinamento atmosferico ed edilizia abitativa. Predisporre piani sulla qualità dell'aria è un obbligo nell'UE per le aree in cui si superano i limiti di concentrazione UE (Direttiva 2008/50/CE). La Convenzione delle Alpi intende incoraggiare ulteriori iniziative, ispirate alle linee guida OMS sulla qualità dell'aria.

RACCOMANDAZIONE 7

Le Parti contraenti della Convenzione delle Alpi sono invitate ad adottare iniziative sulla qualità dell'aria che includano misure riguardanti le principali fonti di inquinamento atmosferico, come riscaldamento domestico, mobilità, energia, industria e agricoltura.

8.4.2 ESTENDERE L'APPLICAZIONE DEI REQUISITI DELLE CONVENZIONI DI ESPOO E CLRTAP

La Convenzione sulla valutazione di impatto ambientale in un contesto transfrontaliero, adottata a

69. Ad esempio, è più facile andare in bicicletta o camminare per le persone che possono permettersi di vivere vicino ai servizi urbani rispetto alle persone che vivono in periferia, dove il costo degli alloggi è più basso.

Espoo, in Finlandia nel 1991 (UNECE 1991), prevede che le parti contraenti adottino misure adeguate al fine di prevenire, ridurre e controllare gli effetti avversi transfrontalieri delle loro attività. Tale aspetto sono già confluiti ne diritto comunitario grazie alla Direttiva 85/337/CEE del Consiglio del 27 giugno 1985 concernente la valutazione dell'impatto ambientale di determinati progetti pubblici e privati (si veda l'art. 7) e alla Direttiva 2001/42/CE (si veda l'art. 7) del Parlamento europeo e del Consiglio, del 27 giugno 2001, concernente la valutazione degli effetti di determinati piani e programmi sull'ambiente. L'inquinamento alpino può anche provenire dal territorio esterno alla Convenzione delle Alpi, come mostra la Convenzione sul trasporto dell'inquinamento atmosferico a grande distanza.

RACCOMANDAZIONE 8

Le Parti contraenti della Convenzione delle Alpi dovrebbero collaborare con i paesi e le regioni confinanti, al fine di promuovere la riduzione del trasporto transfrontaliero di inquinanti nell'area geografica della Convenzione delle Alpi.

8.4.3 SOSTENERE L'INIZIATIVA DEL GREEN DEAL EUROPEO IN MATERIA DI INQUINAMENTO ATMOSFERICO

I valori obiettivo della qualità dell'aria ambiente nel perimetro della Convenzione delle Alpi per proteggere la salute umana sono basati sulla Direttiva 2008/50/CE relativa alla qualità dell'aria ambiente, ma alcuni Stati membri hanno stabilito norme più severe. In considerazione dell'obiettivo "c" della Convenzione delle Alpi⁷⁰, un allineamento dei limiti di qualità dell'aria alle linee guida OMS sulla qualità dell'aria comporterebbe un netto cambiamento delle politiche a favore di una migliore salvaguardia della salute umana. Ciò non risolve il

problema in sé, poiché non copre le emissioni, ma potrebbe aiutare gli Stati membri e le comunità a identificare le priorità e a mettere in atto soluzioni dove è necessario.

RACCOMANDAZIONE 9

Le Parti contraenti della Convenzione delle Alpi dovrebbero:

- sostenere il capitolo sulla qualità dell'aria del Green Deal europeo;
- ambire a conseguire gli obiettivi fissati dalle linee guida OMS sulla qualità dell'aria.

8.5 DIFFONDERE LA CONOSCENZA SULLE CAUSE ANTROPOGENICHE DELL'INQUINAMENTO ATMOSFERICO

La presente relazione si basa sui rapporti ufficiali di agenzie incaricate: AEA, OMS, U.S. EPA, su precedenti relazioni della Convenzione delle Alpi e anche su pubblicazioni scientifiche, molte delle quali sono il risultato di programmi europei di ricerca collaborativa elencati nell'Allegato 2. La maggior parte di essi è stata avviata nel corso degli ultimi due decenni. Non sarebbe stato possibile redigere numerosi capitoli di questo rapporto senza queste informazioni. Tuttavia, rimangono incertezze sul preciso nesso causale tra attività umane, fonti biogeniche e qualità dell'aria. Gli effetti dei cambiamenti climatici sulla qualità dell'aria devono ancora essere affrontati e modellati in funzione di diversi scenari. L'esposizione delle persone al particolato ultrafine, la generazione, il trasporto e gli effetti di quest'ultimo, sono ancora oggetto di attive ricerche.

Inoltre, le aspettative dei cittadini che vivono nelle Alpi, la loro conoscenza della situazione effet-

70. c. "Salvaguardia della qualità dell'aria - al fine di ridurre drasticamente le emissioni inquinanti e i loro effetti negativi nella regione alpina, nonché la trasmissione di sostanze inquinanti provenienti dall'esterno, ad un livello che non sia nocivo per l'uomo, la fauna e la flora."



tiva e il loro ruolo nell'inquinamento atmosferico, le rivendicazioni che avanzano nei confronti dei decisori politici e la loro volontà di adeguare i comportamenti al fine di migliorare la qualità dell'aria potrebbero essere meglio compresi dai sociologi e politologi coinvolti nei processi di consultazione. La presente relazione invita perciò a potenziare i programmi di ricerca multidisciplinari in materia di qualità dell'aria nelle Alpi, affinché i risultati possano essere comunicati in tempi brevi agli stakeholder, il pubblico possa essere coinvolto nel dibattito e si giunga a una comprensione reciproca con le comunità di ricercatori che studiano le Alpi.

RACCOMANDAZIONE 10

Predisporre studi approfonditi e specifici sulla qualità dell'aria nelle Alpi, in particolare laddove si individuino o si prevedano problemi in relazione alla qualità dell'aria ambiente attraverso il monitoraggio della situazione, al fine di esaminare l'influenza delle fonti di inquinamento atmosferico, ma anche le relative problematiche sociali e politiche.

9. BIBLIOGRAFIA

AEA – Agenzia Europea per l'Ambiente, European Environment Agency (2018). Unequal exposure and unequal impacts: social vulnerability to air pollution, noise and extreme temperatures in Europe. EEA Report No. 22/2018. Found at: <https://www.eea.europa.eu/publications/unequal-exposure-and-unequal-impacts/#additional-files>.

AEA – Agenzia Europea per l'Ambiente, European Environment Agency (2019). Air quality in Europe - 2019 Report, 99 pp. EEA Report No 10/2019. Found at: <https://www.eea.europa.eu/publications/air-quality-in-europe-2019/air-quality-in-europe-2019/viewfile#pdfjs.action=download>.

Agenzia federale per l'ambiente tedesca, Grote, R. (2019). Environmental impacts on biogenic emissions of volatile organic compounds (VOCs) – final report. Found at: <https://www.umweltbundesamt.de/en/publikationen/environmental-impacts-on-biogenic-emissions-of>.

Alpine Traffic Observatory (2020). Observation and analysis of transalpine freight traffic flows. Key figures 2019. Found at: <https://ec.europa.eu/transport/sites/transport/files/2020-alpine-traffic-observatory-key-figures-2019.pdf>.

American Academy of Pediatrics and Committee on Environmental Health (2004). Ambient Air Pollution: Health Hazards to Children. In: Pediatrics, 114, 1699. Found at: <https://pediatrics.aappublications.org/content/114/6/1699>.

Andreani-Aksoyoglu, S. et al. (2008). Contribution of Biogenic Emissions to Carbonaceous Aerosols in Summer and Winter in Switzerland: A Modelling Study. In: Borrego C. and A.I. Miranda (eds.): Air Pollution Modeling and Its Application XIX, NATO Science for Peace and Security Series Series C: Environmental Security. Springer, Dordrecht, 101-108. Found at: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-1-4020-8453-9_11#citeas.

Avakian, M.D. et al. (2002). The Origin, Fate, and Health Effects of Combustion By-Products: A Research Framework. In: Environmental Health Perspectives, 110 (11), 1155.

BAFU – Bundesamt für Umwelt, Switzerland (2016). Umweltbelastungen des alpenquerenden Güterverkehrs (Environmental impact of freight traffic in the Alps). UZ-1628-D. Found at: <https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/ernaehrung-wohnen-mobilitaet/mobilitaet/monitoring-flankierende-massnahmen-umwelt-mfm-u.html>.

Barroso, P.J. et al. (2019). Emerging contaminants in the atmosphere: Analysis, occurrence and future challenges. In: Crit Rev Env Sci Tec, 49, 104-171.

Beelen, R. et al. (2014). Effects of long-term exposure to air pollution on natural cause mortality: an analysis of 22 European cohorts within the multicentre ESCAPE project. In: Lancet, 383, 785-795.

Belis, C.A. et al. (2014). European guide on air pollution source apportionment with receptor models. European Union, JRC reference reports, 9789279325144. Found at: <https://ec.europa.eu/jrc/en/publication/reference-reports/european-guide-air-pollution-source-apportionment-receptor-models>.

Besombes, J.L. et al. (2014). Evaluation des impacts sur la qualité de l'air des actions de modernisation du parc d'appareils de chauffage au bois à Lanslebourg – Rapport Final. Ademe. Found at: <http://hal.univ-smb.fr/hal-02014899/document>.

Blasco, M. et al. (2006). Use of Lichens as Pollution Biomonitors in Remote Areas: Comparison of PAHs Extracted from Lichens and Atmospheric Particles Sampled in and Around the Somport Tunnel (Pyrenees). In: *Environ. Sci. Technol.* 40, 6384-6391.

Blasco, M. et al. (2008). Lichens biomonitoring as feasible methodology to assess air pollution in natural ecosystems: Combined study of quantitative PAHs analyses and lichen biodiversity in the Pyrenees Mountains. In: *Anal. Bioanal. Chem.* 391, 759-771.

Bowman, W.D. et al. (2018). Limited ecosystem recovery from simulated chronic nitrogen deposition. In: *Ecol. App.* 28, 1762-1772.

CE – Commissione Europea, European Commission (2018). COM/2018/773 final. Communication from the Commission. A Clean Planet for all. A European strategic long-term vision for a prosperous, modern, competitive and climate neutral economy. Found at: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:52018DC0773>.

CE – Commissione Europea, European Commission (2019). COM/2019/640 final. Communication from the Commission. The European Green Deal. Found at: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:52019DC0640>.

Chaxel, E. and J.P. Chollet (2009). Ozone production from Grenoble city during the August 2003 heat wave. In: *Atmos. Environ.* 43, 4784-4792.

Chemel, C. et al. (2016). Valley heat deficit as bulk measure of wintertime particulate air pollution in Arve valley. In: *Atmos. Environ.* 128, 208-215.

Climate Action Network Europe (2020). Overview of national phase-out announcements, October 2020. Found at: <https://beyond-coal.eu/2020/10/15/overview-of-national-phase-out-announcements-july-2020/>.

Convenzione delle Alpi (2007). Report on the State of the Alps. Alpine Signals – Special edition 1. Transport and Mobility in the Alps. Found at: https://www.alpconv.org/fileadmin/user_upload/Publications/RSA/RSA1_EN.pdf.

Convenzione delle Alpi (2011). Towards decarbonising the Alps - National policies and strategies, regional initiatives and local actions (ISBN: 978-3-9503014-5-8). Found at: https://www.alpconv.org/fileadmin/user_upload/Publications/AS/AS6_EN.pdf.

Convenzione delle Alpi (2018). Raccolta di testi. Alpine Signals 1, 3rd edition. Found at: <https://www.alpconv.org/en/home/news-publications/publications-multimedia/detail/as1-the-alpine-convention-collection-of-texts/>.

Convenzione delle Alpi (2018a). The Alps in 25 maps. Found at <https://www.alpconv.org/en/home/news-publications/publications-multimedia/detail/the-alps-in-25-maps/>.

Convenzione delle Alpi, Transport Working Group (2018b). Deployment of Alternative Fuels Infrastructure - Implementing the EU Directive 2014/94/EU on the Alpine territory. Found at https://www.alpconv.org/fileadmin/user_upload/fotos/Banner/Topics/transport/AlpineConvention_TransportWG_AlternativeFuels_012019.pdf.

Derognat, C. et al. (2003). Effect of biogenic volatile organic compound emissions on tropospheric chemistry during the Atmospheric Pollution Over the Paris Area (ESQUIF) campaign in the Ile de France region. In: *J. Geophys. R.* 108, 8560.

Diemoz, H. et al. (2014). One Year of Measurements with a POM-02 Sky Radiometer at an Alpine EuroSkyRad Station. In: J. Meteorol. Soc. Jpn. 92A, 1-16.

Diemoz, H. et al. (2019a). Transport of Po valley aerosol pollution to the north-western Alps. Part 1: Phenomenology. In: Atmos. Chem. Phys. 19, 3065-3095.

Diemoz, H. et al. (2019b). Transport of Po valley aerosol pollution to the north-western Alps. Part 2: Long term impact on air quality. In: Atmos. Chem. Phys. 19, 10129-10160.

Directive (EU) 2016/2284 of the European Parliament and of the Council of 14 December 2016 on the reduction of national emissions of certain atmospheric pollutants, amending Directive 2003/35/EC and repealing Directive 2001/81/EC. OJ L 344/1, 17.12.2016. Found at: <http://data.europa.eu/eli/dir/2016/2284/oj>.

Directive (EU) 2016/802 of the European Parliament and of the Council of 11 May 2016 relating to a reduction in the sulphur content of certain liquid fuels. OJ L132/58, 21.05.2016. Found at: <http://data.europa.eu/eli/dir/2016/802/oj>.

Directive 2001/42/EC of the European Parliament and of the Council of 27 June 2001 on the assessment of the effects of certain plans and programmes on the environment. OJ L 197, 21.07.2001. Found at: <http://data.europa.eu/eli/dir/2001/42/oj>.

Directive 2001/81/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2001 on national emission ceilings for certain atmospheric pollutants. OJ L 309, 27.11.2001. Found at: <http://data.europa.eu/eli/dir/2001/81/oj>.

Directive 2004/107/EC of the European Parliament and of the Council of 15 December 2004 relating to arsenic, cadmium, mercury, nickel and polycyclic aromatic hydrocarbons in ambient air. OJ L 23, 26.1.2005. Found at: <http://data.europa.eu/eli/dir/2004/107/oj>.

Directive 2008/50/EC of the European Parliament and of the Council of 21 May 2008 on ambient air quality and cleaner air for Europe. OJ L 152/1, 11.06.2008. Found at: <http://data.europa.eu/eli/dir/2008/50/oj>.

Directive 2009/125/EC of the European Parliament and of the Council of 21 October 2009 establishing a framework for the setting of ecodesign requirements for energy-related products. OJ L 285/10, 31.10.2009. Found at: <http://data.europa.eu/eli/dir/2009/125/oj>.

Directive 2009/30/EC of the European Parliament and of the Council of 23 April 2009 amending Directive 98/70/EC as regards the specification of petrol, diesel and gas-oil and introducing a mechanism to monitor and reduce greenhouse gas emissions and amending Council Directive 1999/32/EC as regards the specification of fuel used by inland waterway vessels and repealing Directive 93/12/EEC. OJ L 140/88, 05.06.2009. Found at: <http://data.europa.eu/eli/dir/2009/30/oj>.

Directive 2010/75/EU of the European Parliament and of the Council of 24 November 2010 on industrial emissions (integrated pollution prevention and control). OJ L 334/17, 17.12.2010. Found at: <http://data.europa.eu/eli/dir/2010/75/oj>.

Directive 2015/1480 of the European Commission of 28 August 2015 amending several annexes to Directives 2004/107/EC and 2008/50/EC of the European Parliament and of the Council laying down the rules concerning reference methods, data validation and location of sampling points for the assessment of ambient air quality (Text with EEA relevance). Found at: <http://data.europa.eu/eli/dir/2015/1480/oj>.

Directive 2015/2193 of the European Parliament and of the Council of 25 November 2015 on the limitation of emissions of certain pollutants into the air from medium combustion plants. OJ L 313/1, 28.11.2015. Found at: <http://data.europa.eu/eli/dir/2015/2193/oj>.

Directive 2014/94/EU of the European Parliament and of the Council of 22 October 2014 on the deployment of alternative fuels infrastructure Text with EEA relevance. OJ L 307, 28.10.2014. Found at: <http://data.europa.eu/eli/dir/2014/94/oj>.



- Ducret-Stich, R. et al. (2013a). Role of highway traffic on spatial and temporal distributions of air pollutants in a Swiss Alpine valley. In: *Sci. Total Environ.* 456, 50-60.
- Ducret-Stich, R. et al. (2013b). PM₁₀ source apportionment in a Swiss Alpine valley impacted by highway traffic. In: *Environ. Sci. Pollut. R.* 20, 6496-6508.
- Egger, I. and K.P. Hoinka (1992). Fronts and orography. In: *Meteorology and Atmospheric Physics*, 48, 3-36.
- Elsasser, M. et al. (2012). Organic molecular markers and signature from wood combustion particles in winter ambient aerosols: aerosol mass spectrometer (AMS) and high time-resolved GC-MS measurements in Augsburg, Germany. In: *Atmos. Chem. Phys.* 12, 6113-6128.
- EUSALP (2017). Action Group 4 "To promote inter-modality and interoperability in passenger and freight transport", Study on External costs in mountain areas. Found at: <https://www.alpine-region.eu/results/study-external-costs-mountain-areas>.
- Fang, T. et al. (2019). Oxidative Potential of Particulate Matter and Generation of Reactive Oxygen Species in Epithelial Lining Fluid. In: *Environ. Sci. Technol.* 53, 12784-12792.
- Favez, O. et al. (2017a). Traitement harmonisé de jeux de données multi-sites pour l'étude de sources de PM par Positive Matrix Factorization (PMF). Ineris DRC-16-152341-07444A / CARA_PMF Harmonisée.
- Favez, O. et al. (2017b). État des lieux sur les connaissances apportées par les études expérimentales des sources de particules fines en France - Projet Sources. Rapport Ademe, 132 pages.
- Finizio, A. et al. (2006). Variation of POP concentrations in fresh-fallen snow and air on Alpine glacier (Monte Rosa). In: *Ecotox Environ. Safe.* 63, 25-32.
- Freier, K.P. et al. (2019). Monitoring of Persistent Pollutants in the Alps. Bavarian Environment Agency & Environment Agency Austria, Brochure of Bavarian Environmental Agency.
- Gianini, M.F.D. et al. (2012). Comparative source apportionment of PM₁₀ in Switzerland for 2008/2009 and 1998/1999 by Positive Matrix Factorisation. In: *Atmos. Environ.* 54, 149-158.
- Gilardoni, S. et al. (2011). Better constraints on sources of carbonaceous aerosols using a combined 14C – macro tracer analysis in a European rural background site. In: *Atmos. Chem. Phys.* 11, 5685–5700.
- Global energy monitor (2019). Air pollution from coal-fired power plants. Found at: https://www.gem.wiki/Air_pollution_from_coal-fired_power_plants.
- Hao, L. et al. (2018). Combined effects of boundary layer dynamics and atmospheric chemistry on aerosol composition during new particle formation periods. In: *Atmos. Chem. Phys.* 18, 17705-17716.
- Hasan, M. et al. (2009). Identification and characterization of trace metals in black solid materials deposited from biomass burning at the cooking stoves in Bangladesh. In: *Biomass Bioenerg* 33, 1376-1380.
- Hazenkamp-von Arx, M.E. et al. (2011). Impacts of highway traffic exhaust in alpine valleys on the respiratory health in adults: a cross-sectional study. In: *Environ Health*, 10, 13. <https://doi.org/10.1186/1476-069X-10-13>. Found at: <https://ehjournal.biomedcentral.com/articles/10.1186/1476-069X-10-13>.
- Health Effects Institute (2019). State of Global Air 2019. Special Report. Boston, MA: Health Effects Institute. Found at: https://www.stateofglobalair.org/sites/default/files/soga_2019_report.pdf.
- Heimann, D. et al. (2007). ALPNAP comprehensive report. Università degli Studi di Trento, Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale, Trento, Italy, 335 pp. Found at: http://www.alpine-space.org/2000-2006/uploads/media/ALPNAP_CR_Part_1.pdf.

- Herich, H. et al. (2014). Overview of the impact of wood burning emissions on carbonaceous aerosols and PM in large parts of the Alpine region. In: *Atmos. Environ.* 89, 64-75.
- Jaward, F.M. et al. (2005). PCB and selected organochlorine compounds in Italian mountain air: the influence of altitude and forest ecosystem type. In: *Environ. Sci. Technol.* 39, 3455-3463.
- Larsen, B.R. et al. (2012). Sources for PM air pollution in the Po Plain, Italy: II. Probabilistic uncertainty characterization and sensitivity analysis of secondary and primary sources. In: *Atmos. Environ.* 50, 203-213.
- Lelieveld, J. et al. (2020). Loss of life expectancy from air pollution compared to other risk factors: a worldwide perspective. *Cardiovascular research*. Found at: <https://doi.org/10.1093/cvr/cvaa025>.
- Lercher, P. et al. (1995). Perceived traffic air pollution, associated behavior and health in an alpine area. In: *Sci. Tot. Environ.* 169, 71.
- Lighty, J.S. et al. (2000). Combustion Aerosols: Factors Governing Their Size and Composition and Implications to Human Health. In: *J Air Waste Manage*, 50, 1565.
- Lin, M. et al. (2020). Vegetation feedbacks during drought exacerbate ozone air pollution extremes in Europe. In: *Nature Climate Change* 10, n°4.
- Löflund, M. et al. (2002). Monitoring ammonia in urban, inner alpine and pre-alpine ambient air. In: *J. Environ. Monitor.* 4, 205-209.
- Maas, R. and P. Grennfelt (eds.) (2016). *CLRTAP_Scientific_Assessment_Report_-_Final*, Oslo. Found at: http://www.unece.org/fileadmin/DAM/env/lrtap/ExecutiveBody/35th_session/CLRTAP_Scientific_Assessment_Report_-_Final_20-5-2016.pdf.
- Mazzuca, G.M. et al. (2016). Ozone production and its sensitivity to NO_x and VOCs: results from the DISCOVER-AQ field experiment, Houston 2013. In: *Atmos. Chem. Phys.* 16, 14463-14474.
- McLachlan, M.S. et al. (1998). Forests as Filters of Airborne Organic Pollutants: A Model. In: *Environ. Sci. Technol.* 32, 413-420.
- Meijer, S.N. et al. (2003). Global Distribution and Budget of PCBs and HCB in Background Surface Soils: Implications for Sources and Environmental Processes. In: *Environ. Sci. Technol.* 37, 667-672.
- Nascimbene, J. et al. (2014). Patterns of traffic polycyclic aromatic hydrocarbon pollution in mountain areas can be revealed by lichen monitoring: A case study in the Dolomites (Eastern Italian Alps). In: *Sci. Total Environ.* 475, 90-96.
- Nilsson, J. and P. Grennfelt (1988). *Critical Loads for Sulphur and Nitrogen*. Skokloster, Schweden, 1988. Found at: https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/4292/dokumente/nilssongrennfelt_1988.pdf.
- Offenthaler, I. et al. (2009). *MONARPOP technical report, revised edition July 2009*. Found at: http://monarpop.at/downloads/MONARPOP_Technical_Report.pdf.
- OMS - WHO (2019). WHO European High-level Conference on Non-communicable Diseases 9 – 10 April 2019 Ashgabat, Turkmenistan. Found at: <https://www.who.int/news-room/events/detail/2019/04/09/default-calendar/who-european-high-level-conference-on-noncommunicable-diseases>.
- OMS - WHO Europe (2013a). *Health risks of air pollution in Europe – HRAPIE project. Recommendations for concentration–response functions for cost–benefit analysis of particulate matter, ozone and nitrogen dioxide*. Found at: <https://www.euro.who.int/en/health-topics/environment-and-health/air-quality/publications/2013/health-risks-of-air-pollution-in-europe-hrapie-project.-recommendations-for-concentrationresponse-functions-for-costbenefit-analysis-of-particulate-matter,-ozone-and-nitrogen-dioxide>.



OMS - WHO Europe (2013b). Review of evidence on health aspects of air pollution, technical report. Found at: <https://www.euro.who.int/en/health-topics/environment-and-health/air-quality/publications/2013/review-of-evidence-on-health-aspects-of-air-pollution-revihaap-project-final-technical-report>.

OMS - WHO Europe (2013c). Development of the health economic assessment tools (HEAT) for walking and cycling. Found at: https://www.euro.who.int/___data/assets/pdf_file/0003/155631/E96097.pdf.

Paerl, H.W. (2003). Coastal eutrophication and harmful algal blooms: Importance of atmospheric deposition and groundwater as “new” nitrogen and other nutrient sources. In: *Limnol. Oceanogr.* 42, 1154-1165.

Pascal, M. et al. (2017). Impacts de l'exposition chronique aux particules fines sur la mortalité dans la vallée de l'Arve. *Santé publique France*. Found at: <https://www.santepubliquefrance.fr/determinants-de-sante/pollution-et-sante/air/documents/rapport-synthese/impact-de-l-exposition-chronique-aux-particules-fines-sur-la-mortalite-dans-la-vallee-de-l-arve>.

Pietroangelo, A. et al. (2014). Improved identification of transition metals in airborne aerosols by SEM-EDX combined backscattered and secondary electron microanalysis. In: *Environ Sci Pollut R.* 21, 4023.

Piot, C. (2011). Polluants atmosphériques organiques particulaires en Rhône-Alpes : caractérisation chimique et sources d'émissions. Thesis, Université de Grenoble. Found at: <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00661284>.

Price, M.F. et al. (2011). The Alps. From Rio 1992 to 2012 and beyond: 20 years of Sustainable Mountain Development. What have we learnt and where should we go? Swiss presidency of the Alpine Convention 2011-2012. Found at: http://www.fao.org/fileadmin/user_upload/mountain_partnership/docs/ALPS%20FINAL%2020120228%20RIO%20Alps.pdf.

Regulation (EC) No 1907/2006 of the European Parliament and of the Council of 18 December 2006 concerning the Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals (REACH), establishing a European Chemicals Agency. OJ L 396, 30.12.2006. Found at: <http://data.europa.eu/eli/reg/2006/1907/2014-04-10>.

Regulation (EU) 2015/1185 of 24 April 2015 implementing Directive 2009/125/EC of the European Parliament and of the Council with regard to ecodesign requirements for solid fuel local space heaters. OJ L 193, 21.7.2015. Found at: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=OJ:L:2015:193:TOC>.

Regulation (EU) 2016/1628 of the European Parliament and of the Council of 14 September 2016 on requirements relating to gaseous and particulate pollutant emission limits and type-approval for internal combustion engines for non-road mobile machinery, amending Regulations (EU) No 1024/2012 and (EU) No 167/2013, and amending and repealing Directive 97/68/EC. OJ L 252/53, 16.9.2016. Found at: <http://data.europa.eu/eli/reg/2016/1628/oj>.

Rihm, B. et al. (2016). Critical Loads of Nitrogen and their Exceedances. Swiss contribution to the effects-oriented work under the Convention on Long-range Transboundary Air Pollution (UNECE). Federal Office for the Environment, Bern. In: *Environmental studies*, 1642, 78 p.

Robinson, A.L. et al. (2007). Rethinking organic aerosols: semivolatile emissions and photochemical aging. In: *Science*, 315, 1259–1262.

Rouvière, A. et al. (2006). Monoterpene source emissions from Chamonix in the Alpine valleys. In: *Atmos. Environ.* 40, 3613-3620.

Salvador, P. et al. (2010). Evaluation of aerosol sources at European high-altitude background sites with trajectory statistical methods. In: *Atmos. Environ.* 44, 2316-2329.

Schnelle-Kreis, J. et al. (2010). Anteil von Partikelemissionen aus Holzverbrennungsanlagen PM₁₀-Feinstaub-immissionen im städtischen Umfeld am Beispiel von Augsburg, Teil 1: Emissions- und Immissionsmessungen. In: *Gefahrstoffe - Reinhaltung der Luft*, 5, 203-209.

- Schnitzhofer, R. et al. (2009). A multimethodological approach to study the spatial distribution of air pollution in an Alpine valley during wintertime. In: *Atmos. Chem. Phys.* 9, 3385-3396.
- Seibert, P. et al. (1996). A pollution event in the High Alps - Results from the joint EUMAC-ALPTRAC case study. In: Borrell, P. M., Borrell, P., Kelly, K. and W. Seiler (eds.): *Proceedings of EUROTRAC Symposium 1996 - Transport and Transformation of Pollutants in the Troposphere*. In: Computational Mechanics Publications, Southampton, 251-255.
- Sicard, P. et al. (2012). The Aggregate Risk Index: An intuitive tool providing the health risks of air pollution to health care community and public. In: *Atmos Environ*, 46, 11-16.
- Squizzato, S. et al. (2013). Factors determining the formation of secondary inorganic aerosol: a case study in the Po Valley (Italy). In: *Atmos. Chem. Phys.* 13, 1927-1939.
- Srivastava, D. et al. (2019). Speciation of organic fractions does matter for aerosol source apportionment. Part 3: Combining off-line and on-line measurements. In: *Sci. Total Environ.* 690, 944-955.
- Stefenelli, G. et al. (2019). Secondary organic aerosol formation from smoldering and flaming combustion of biomass: a box model parametrization based on volatility basis set. In: *Atmos. Chem. and Phys.* 19, 11461-11484.
- Stevens, C. J. et al. (2010). Nitrogen deposition threatens species richness of grasslands across Europe. In: *Environ Pollut*, 158, 2940-2945.
- Sturman, A. and H. Wanner (2001). A Comparative Review of the Weather and Climate of the Southern Alps of New Zealand and the European Alps. In: *Mountain Research and Development*, 21 (4), 359-369.
- Szidat, S. et al. (2007). Dominant impact of residential wood burning on particulate matter in Alpine valleys during winter. In: *Geophys. Res. Lett.* 34, L05820.
- Thimonier, A. et al. (2019). Total deposition of nitrogen in Swiss forests: Comparison of assessment methods and evaluation of changes over two decades. In: *Atmos. Environ.* 198, 335-350.
- Tibaldi S., Buzzi A., Speranza A. (1990). Orographic Cyclogenesis. In: Newton C.W., Holopainen E.O. (eds) *Extratropical Cyclones*. American Meteorological Society, Boston, MA. https://doi.org/10.1007/978-1-944970-33-8_7.
- Treaty on the Functioning of the European Union. Part three - Union policies and internal actions Title XX – Environment Article 193. C326/1, 26.10.2012. Found at: http://data.europa.eu/eli/treaty/tfeu_2012/art_193/oj.
- Tuet, W. et al. (2019). Chemical Oxidative Potential and Cellular Oxidative Stress from Open Biomass Burning Aerosol. In: *Environ. Sci. Technol. Lett.* 6, 126-132.
- U.S. EPA - United States Environmental Protection Agency (2013). Integrated Science Assessment (ISA) of Ozone and Related Photochemical Oxidants (Final Report, Feb 2013). U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC, EPA/600/R-10/076F. Found at: https://cfpub.epa.gov/si/si_public_file_download.cfm?p_download_id=511347&Lab=NCEA.
- U.S. EPA - United States Environmental Protection Agency (2016). Integrated Science Assessment (ISA) for Oxides of Nitrogen – Health Criteria (Final Report, 2016). U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC, EPA/600/R-15/068. Found at: https://cfpub.epa.gov/si/si_public_file_download.cfm?p_download_id=526855&Lab=NCEA.
- U.S. EPA - United States Environmental Protection Agency (2019). Integrated Science Assessment (ISA) for Particulate Matter (Final Report, 2019). U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC, EPA/600/R-19/188. Found at: https://ofmpub.epa.gov/eims/eimscomm.getfile?p_download_id=539630.



UNECE (1991). Convention on Environmental Impact Assessment in a Transboundary Context. Found at: https://unece.org/DAM/env/eia/documents/legaltexts/Espoo_Convention_authentic_ENG.pdf.

Valverde, V. et al. (2016). A model-based analysis of SO₂ and NO₂ dynamics from coal-fired power plants under representative synoptic circulation types over the Iberian Peninsula. In: *Sci. Tot. Environ.* 541, 701-713.

Van Drooge, B.L. and P.P. Ballesta (2009). Seasonal and Daily Source Apportionment of Polycyclic Aromatic Hydrocarbon Concentrations in PM₁₀ in a Semirural European Area. In: *Environ. Sci. Technol.* 43, 7310-7316.

Wania, F. et al. (2001). Estimating the Influence of Forests on the Overall Fate of Semivolatile Organic Compounds Using a Multimedia Fate Model. In: *Environ. Sci. Technol.* 35, 582-590.

Weber, S. et al. (2019). Comparison of PM₁₀ Sources Profiles at 15 French Sites Using a Harmonized Constrained Positive Matrix Factorization Approach. In: *Atmosphere*, 10, 310-331.

Weimer, S. et al. (2009). Mobile measurements of aerosol number and volume size distributions in an Alpine valley: Influence of traffic versus wood burning. In: *Atmos. Environ.* 43, 624-630.

Weiss, P. et al. (2015). MONARPOP –Ergebnisse der Dioxin-und PCB-messungen in Luft und Deposition. Report REP-0546. Found at: <https://www.umweltbundesamt.at/fileadmin/site/publikationen/REP0546.pdf>.

Wierzbicka, A. et al. (2005). Particle emissions from district heating units operating on three commonly used biofuels. In: *Atmos. Environ.* 39, 139.

Wotawa, G. et al. (2000). Transport of ozone towards the Alps – results from trajectory analyses and photochemical model studies. In: *Atmos. Environ.* 34, 1367-1377.

Young, P.J. et al. (2018). Tropospheric Ozone Assessment Report: Assessment of global-scale model performance for global and regional ozone distributions, variability, and trends. In: *Elementa. Science of the Anthropocene*, 6: 10. DOI: <https://doi.org/10.1525/elementa.265>.

Zhang, W. et al. (2014). Emission of Metals from Pelletized and Uncompressed Biomass Fuels Combustion in Rural Household Stoves in China. In: *Scientific Reports*, 4, 5611.

Zotter, P. et al. (2014). Radiocarbon analysis of elemental and organic carbon in Switzerland during winter smog episodes from 2008 to 2012 – Part 1: Source apportionment and spatial variability. In: *Atmos. Chem. Phys.* 14, 13551-13570.

ALLEGATO 1

ELENCO DEGLI INQUINANTI PIÙ DIFFUSI

Aerosol organici primari e secondari (POA e SOA)

Un aerosol è un materiale particolato, una sospensione di particelle solide fini o goccioline liquide nell'aria. I POA sono emessi direttamente da varie sorgenti, sia naturali (vegetazione e microrganismi) che antropogeniche (come la combustione di combustibili fossili e la combustione di biomasse). I SOA si formano dalla trasformazione di specie organiche.

Ammoniaca (NH₃)

L'ammoniaca è un gas alcalino inodore ed è uno dei composti contenenti azoto più diffusi nell'atmosfera. Si tratta di un gas irritante con un odore pungente caratteristico. In seguito a inalazione, l'ammoniaca si deposita nelle vie respiratorie superiori: l'esposizione professionale è comunemente associata a sinusite. Piccole quantità di NH₃ si formano naturalmente in quasi tutti i tessuti e organi dei vertebrati.⁷¹

Arsenico (As)

L'arsenico e i suoi composti sono onnipresenti in natura. L'arsenico viene rilasciato nell'atmosfera sia da fonti naturali che antropiche. La principale fonte naturale è l'attività vulcanica, mentre le emissioni in aria prodotte dall'uomo derivano dalla fusione di metalli, dalla combustione di combustibili, specialmente della lignite di bassa qualità, e dall'uso di pesticidi. È principalmente trasportato nell'ambiente dall'acqua. L'arsenico nell'aria è presente principalmente in forme di particolato come arsenico inorganico. È altamente tossico e un cancerogeno confermato nella sua forma inorganica.⁷²

Benzene C₆H₆

Il benzene è un liquido incolore, che evapora rapidamente quando è esposto all'aria. Il benzene si forma da processi naturali, come i vulcani e gli incendi boschivi, ma la maggior parte dell'esposizione al benzene deriva dalle attività umane. Il benzene è un componente naturale del petrolio greggio ed è emesso durante la sua produzione e dai forni a coke. Oltre a queste fonti industriali, l'emissione avviene anche da diverse fonti di combustione, come i motori, la combustione del legno e la combustione stazionaria di combustibili fossili. La sorgente principale sono le emissioni di scarico e le perdite per evaporazione dai veicoli a motore, e le perdite per evaporazione durante la gestione, la distribuzione (ad esempio il rifornimento delle auto) e lo stoccaggio della benzina. La IARC classifica il benzene come cancerogeno per gli esseri umani.⁷³

Benzo(a)pirene (BaP)

Si tratta di un IPA che si forma durante la combustione incompleta di materiale organico. È presente essenzialmente nelle emissioni dei motori alimentati a benzina e diesel, nel fumo di sigaretta, nel catrame di carbone, nei cibi cotti alla griglia, su carbone, e in alcuni altri alimenti. È una sostanza cancerogena e rappresenta una minaccia per l'ambiente, poiché penetra facilmente nel suolo e contamina le acque sotterranee.⁷⁴

Biossido di zolfo (SO₂)

Si tratta di un gas incolore con un odore pungente, che si forma durante la combustione di combustibili fossili e la fusione di minerali contenenti zolfo. La fonte antropogenica principale di SO₂ è

71. <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/222>.

72. <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/arsenic>.

73. <https://www.cancer.org/cancer/cancer-causes/benzene.html>.

<https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/benzene>.

74. https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Benzo_a_pyrene.



la combustione di combustibili fossili contenenti zolfo. Il SO₂ può danneggiare il sistema respiratorio e la funzionalità polmonare e causa irritazione agli occhi. I ricoveri ospedalieri per cardiopatie e la mortalità aumentano nei giorni con livelli più alti di SO₂. A contatto con l'acqua, il SO₂ forma acido solforico, il principale componente della pioggia acida.⁷⁵

Black carbon (BC o particolato carbonioso o fuliggine) e carbonio elementare (EC)

Sono componenti primari degli aerosol atmosferici, e si formano durante la combustione incompleta di combustibili fossili o nelle emissioni da combustione di biomasse.⁷⁶

Cadmio (Cd)

Il cadmio è un metallo pesante che si trova in piccole quantità in aria, acqua, suolo e cibo. In passato il cadmio era usato principalmente nella galvanostegia dei metalli e nei pigmenti o stabilizzatori per la plastica. Al giorno d'oggi, per molti aspetti il cadmio è diventato un componente vitale della tecnologia moderna: per esempio, la produzione di batterie cadmio-nichel consuma il 55% della produzione di cadmio e si prevede che questa applicazione si espanderà (per esempio con l'uso di veicoli elettrici). Nell'Unione europea e nel mondo, circa l'85-90% delle emissioni totali di cadmio nell'aria derivano da fonti antropogeniche, principalmente dalla fusione e raffinazione di metalli non ferrosi, dalla combustione di combustibili fossili e dall'incenerimento di rifiuti urbani. Il cadmio ha un tempo di decadimento biologico eccezionalmente lungo che risulta in un accumulo virtualmente irreversibile del metallo nel corpo per tutta la vita. È classificato come cancerogeno per l'uomo.⁷⁷

Composti organici volatili (COV) e composti organici volatili non metanici (COVNM)

COV e COVNM sono un gruppo di composti organici (come benzene, etanolo, formaldeide, cicloesano, tricloroetano o acetone) che differiscono ampiamente per composizione chimica, ma presentano un comportamento simile nell'atmosfera: sono

emessi da un'ampia serie di prodotti e processi, sia naturali che antropogenici, e sono nell'ordine delle migliaia. La maggior parte di profumi e odori consiste in COV. I COV includono una varietà di sostanze chimiche, alcune delle quali hanno effetti avversi sulla salute a breve e lungo termine. Le concentrazioni di molti COV sono costantemente maggiori (fino a dieci volte) in ambienti chiusi rispetto all'aperto. Alcune specie di COVNM come il benzene sono pericolose per la salute umana e contribuiscono alla formazione dell'ozono troposferico.⁷⁸

Idrocarburi policiclici aromatici (IPA)

Si tratta di una classe di sostanze chimiche presenti nel carbone, nel petrolio greggio e nella benzina, che si formano anche con la combustione di carbone, petrolio, gas, legno, rifiuti e tabacco. Gli IPA si sviluppano anche negli alimenti, durante la cottura ad alta temperatura. Nel 2010 la IARC, con il Programma Monografie, ha revisionato i dati sperimentali relativi a 60 sostanze della classe degli IPA. Di queste, il benzo(a)pirene (BaP) è stato classificato come cancerogeno per l'uomo (Gruppo 1), altre sono state classificate come probabilmente cancerogene (Gruppo 2A) o possibilmente cancerogene (Gruppo 2B) per l'uomo, mentre altre non sono classificabili come cancerogene per l'uomo (Gruppo 3) per limitate o inadeguate evidenze scientifiche. Gli IPA presentano un meccanismo di azione carcinogenica simile nell'uomo e negli animali da laboratorio. In questi ultimi, l'esposizione a una serie di IPA ha causato cancro, disturbi della riproduzione, danni a pelle, liquidi corporei e sistema immunitario. Gli IPA destano preoccupazioni perché sono persistenti e possono permanere nell'ambiente per lunghi periodi di tempo.⁷⁹

Inquinanti organici persistenti (POP)

I POP sono principalmente sostanze chimiche di sintesi, di origine antropogenica, che possono essere create come prodotti industriali o come sottoprodotti non intenzionali risultanti da processi industriali o combustione, ma possono anche provenire dai rifiuti e dalla combustione dei rifiuti, dal

75. [https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health).

76. <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/2014JD022144>.
<https://www.hindawi.com/journals/amete/2014/179301/>.

77. <https://www.cancer.gov/about-cancer/causes-prevention/risk/substances/cadmium>.
https://www.who.int/ipcs/assessment/public_health/cadmium/en/.

https://www.euro.who.int/_data/assets/pdf_file/0016/123073/AQG2ndEd_6_3Cadmium.PDF.

78. <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/eea-32-non-methane-volatile-1>.
<https://www.epa.gov/indoor-air-quality-iaq/volatile-organic-compounds-impact-indoor-air-quality>.

79. <https://archive.epa.gov/epawaste/hazard/wastemin/web/pdf/pahs.pdf>.
https://www.epa.gov/sites/production/files/2014-03/documents/pahs_factsheet_cdc_2013.pdf.
<https://publications.iarc.fr/Book-And-Report-Series/Iarc-Scientific-Publications/Tumour-Site-Concordance-And-Mechanisms-Of-Carcinogenesis-2019>.

traffico e dall'agricoltura (alcuni POP sono pesticidi, come il DDT). Queste sostanze destano preoccupazioni a livello globale per il loro potenziale di trasporto a lunga distanza (sono distribuiti globalmente e possono entrare nei processi atmosferici), la loro persistenza nell'ambiente (fino a decenni o secoli), la loro capacità di bioaccumulo e bioamplificazione in ecosistemi e organismi (le maggiori concentrazioni si trovano pertanto in organismi in cima alla catena alimentare: i livelli di fondo ambientale dei POP possono essere rilevati nel corpo umano), e i loro effetti negativi significativi sulla salute umana e sull'ambiente. L'esposizione umana ad alcuni di tali composti - anche in scenari previsionali che considerano bassi livelli di POP - può portare a un aumento del rischio di cancro, disturbi della riproduzione, alterazioni del sistema immunitario, problemi neurocomportamentali e maggiori anomalie alla nascita.⁸⁰

Mercurio (Hg)

Il mercurio e i suoi composti sono onnipresenti in natura. Vengono rilasciati nell'ambiente sia naturalmente, dall'attività vulcanica e dall'azione degli agenti atmosferici sulle rocce, sia come risultato dell'attività umana, che è la causa principale delle emissioni di mercurio, in particolare le centrali elettriche a carbone, la combustione residenziale del carbone per il riscaldamento e la cottura, i processi industriali. L'esposizione al mercurio - anche piccole quantità - può causare seri problemi di salute, ed è una minaccia per lo sviluppo del bambino nell'utero e nei primi anni di vita. L'esposizione umana avviene principalmente attraverso l'inhalazione di vapori di mercurio elementare rilasciati dalle otturazioni di amalgama dentale, e attraverso il consumo di pesce e molluschi contaminati da composti di metilmercurio. Lo IARC classifica quest'ultimo come possibilmente cancerogeno per gli esseri umani.⁸¹

Monossido di carbonio (CO)

Il monossido di carbonio è un gas inodore, insapore, velenoso che si forma durante la combustione incompleta di composti carboniosi. L'inhalazione di alte concentrazioni causa danni al sistema nervoso centrale e asfissia.⁸²

Nichel (Ni)

Il nichel è un metallo pesante ampiamente distribuito e normalmente si presenta a livelli molto bassi in natura. La combustione di olii residui e combustibili, l'estrazione e la raffinazione del nichel e l'incenerimento dei rifiuti urbani sono le principali fonti antropogeniche di emissioni di nichel nell'atmosfera, che rappresentano circa il 90% delle emissioni globali totali. I fumi di nichel sono irritanti per le vie respiratorie. I composti di nichel sono classificati da IARC come cancerogeni per gli esseri umani.⁸³

Ossidi di azoto (NO_x)

NO_x è un termine generico che indica il monossido di azoto (NO) e il biossido di azoto (NO₂). Questi gas sono velenosi e reagiscono con altre sostanze chimiche nell'aria a formare particolato, ozono e pioggia acida. Di norma i gas NO_x si formano durante la combustione di combustibili, come gli idrocarburi, soprattutto ad alte temperature, come nei motori delle autovetture, nella produzione di energia termica ed elettrica. Nelle zone ad alto traffico veicolare, come nelle grandi città, gli ossidi di azoto emessi possono rappresentare una fonte significativa di inquinamento atmosferico. I NO_x sono molto tossici e possono causare un'inflammatione significativa delle vie respiratorie.⁸⁴

Ozono (O₃)

L'ozono è un gas composto da tre atomi di ossigeno, ed è presente sia negli strati superiori dell'atmosfera terrestre, che a livello del suolo. Il primo tipo di ozono, detto ozono stratosferico, è presente in natura e forma uno strato protettivo, che filtra le radiazioni UV. L'ozono al suolo (o troposferico) è un inquinante atmosferico dannoso per la salute, che non è emesso direttamente nell'aria, ma si forma mediante reazione tra NO_x e COV in presenza della luce del sole. Ne consegue che l'ozono, di norma, raggiunge livelli dannosi per la salute umana nei giorni caldi e soleggiati, in ambiente urbano, ma può raggiungere livelli elevati anche nei mesi più freddi. L'ozono può anche essere trasportato su lunghe distanze dal vento, al punto che anche le aree rurali possono presentare alti livelli di ozono. Respirare ozono può causare una serie di problemi

80. https://www.who.int/foodsafety/areas_work/chemical-risks/pops/en/.

81. https://www.who.int/ipcs/assessment/public_health/mercury/en/.

82. <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/281>.

83. https://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0014/123080/AQG2ndEd_6_10Nickel.pdf.

84. [https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health).
<https://www.epa.gov/no2-pollution/basic-information-about-no2#What%20is%20NO2>.



respiratori. L'ozono può danneggiare anche vegetazione ed ecosistemi sensibili.⁸⁵

Particolato, o materiale particolare (PM)

PM indica una miscela di particelle solide e goccioline liquide aerosospese. Tali particelle hanno forme e dimensioni diverse e possono essere composte da centinaia di sostanze chimiche differenti. Alcune particelle sono emesse direttamente da una sorgente (come cantieri edili, campi o incendi), ma la maggior parte si forma nell'atmosfera a seguito di complesse reazioni tra sostanze chimiche come SO₂ e NO_x. Il PM include: PM₁₀ (diametro minore o uguale a 10 micrometri (µm)), PM_{2,5} (minore o uguale 2,5 µm) e UFP (o PM_{0,1}, inferiore a 0,1 µm). Quanto minori le particelle, tanto maggiore la facilità con cui raggiungono gli alveoli polmonari e da qui le cellule e gli organi.⁸⁶

Percloroetilene (PERC)

Il PERC è un liquido incolore che può emettere fumi tossici se esposto alla luce del sole o alle fiamme. L'esposizione al PERC irrita le vie respiratorie superiori e gli occhi e causa danni neurologici, renali ed epatici. È ragionevolmente prevedibile che sia cancerogeno per l'uomo. Il PERC è un contaminante del suolo comune. Data la sua mobilità nelle acque sotterranee, la sua tossicità a bassi livelli e la sua densità (per cui si distribuisce sotto la falda acquifera), le attività di bonifica di sversamenti sono più difficili rispetto agli idrocarburi.⁸⁷

Piombo (Pb)

Il piombo è un metallo pesante che è più denso della maggior parte dei materiali comuni. È considerato altamente velenoso e può entrare nel corpo umano attraverso acqua o cibo contaminati, o respirando fumi o polvere che contengono piombo. Su scala globale la combustione degli additivi alchilici al piombo nei carburanti per motori rappresenta la maggior parte di tutte le emissioni di piombo nell'atmosfera, seguita dalla combustione del carbone. La maggior parte delle persone riceve la maggior parte della loro assunzione giornaliera di piombo attraverso il cibo: la maggior parte del piombo entra nel cibo durante la conservazione e la produzione, o attraverso la contaminazione fogliare diretta delle piante da parte del piombo atmosferico. Le tubature dell'acqua al piombo o la vernice contenente piombo nelle case più vecchie possono essere fonti importanti di esposizione al piombo per gli esseri umani.

La tossicità del piombo può essere in gran parte spiegata dalla sua interferenza con diversi sistemi enzimatici e per questo motivo molti organi o sistemi di organi sono potenziali bersagli: soprattutto può avere effetti sulla formazione dell'eme, sul sistema nervoso, sulla pressione sanguigna e sul sistema cardiovascolare così come sui reni. Secondo lo IARC, l'evidenza della cancerogenicità dei composti del piombo negli esseri umani è inadeguata.⁸⁸

85. <https://www.epa.gov/ground-level-ozone-pollution/ground-level-ozone-basics>.

[https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health).

86. <https://www.epa.gov/pm-pollution/particulate-matter-pm-basics>.

<https://www.nature.com/articles/s12276-020-0403-3>.

87. <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/31373>.

88. https://www.euro.who.int/_data/assets/pdf_file/0020/123077/AQG2ndEd_6_7Lead.pdf.

ALLEGATO 2

PROGETTI RILEVANTI NELLA REGIONE ALPINA

ALPNAP: PROGRAMMA INTERREG III B "SPAZIO ALPINO"

ALPNAP (Monitoraggio e minimizzazione dell'inquinamento acustico ed atmosferico" causato dal traffico veicolare lungo le principali vie di comunicazione alpine) si è concluso nel 2007. Questo progetto di durata triennale (2005-2007) è stato cofinanziato dal Fondo europeo di sviluppo regionale (FESR) nell'ambito del Programma europeo Interreg III B Spazio Alpino. ALPNAP ha raccolto e descritto metodi scientifici moderni per osservare e prevedere l'inquinamento atmosferico e acustico lungo i corridoi transalpini e per valutare gli effetti del traffico su salute e benessere. ALPNAP ha prodotto un maggiore valore aggiunto grazie alla cooperazione coordinata con il progetto parallelo MONITRAF ("Monitoraggio degli effetti del traffico stradale nello Spazio alpino e misure comuni"), una rete di amministrazioni regionali in materia di trasporti e ambiente nelle Alpi. MONITRAF ha sviluppato un insieme completo di misure finalizzate a ridurre gli effetti negativi del traffico stradale, migliorando al contempo la qualità della vita nella regione alpina.

<http://alpnap.i-med.ac.at/>

<http://alpnap.i-med.ac.at/results-en.html>

LIFE BRENNERLEC CORRIDOIO DEL BRENNERO A EMISSIONI RIDOTTE (ITALIA)

"BrennerLEC" è l'acronimo di "Brenner Lower Emissions Corridor" (Corridoio del Brennero a emissioni ridotte). BrennerLEC si propone di rendere il traffico veicolare di transito sull'asse del Brennero maggiormente rispettoso della salute della popolazione residente e più compatibile con le caratteristiche geografiche del territorio, al fine di tutelare il particolare ambiente alpino attraversato.

Con limitazioni della velocità e misure di regolazione del traffico si dovrebbe ottenere la massima efficienza ambientale e trasportistica. Il progetto

intende dimostrare l'efficacia di tali misure al fine di applicarle su una scala più ampia.

<http://brennerlec.life/en/home>

ESPACE MONT BLANC (FRANCIA, ITALIA, SVIZZERA)

Espace Mont-Blanc è un'iniziativa di cooperazione transfrontaliera che riunisce Savoia, Alta Savoia, Valle d'Aosta e Vallese, per la protezione dell'eccezionale patrimonio naturale e ambientale e la realizzazione di attività economiche e turistiche comuni. Espace Mont-Blanc ha lanciato una campagna di monitoraggio della qualità dell'aria nel 1998. Tale azione è stata portata avanti attraverso l'implementazione di un monitoraggio costante della qualità dell'aria. L'efficacia delle azioni avrebbe ulteriori benefici per l'intera regione, data la riduzione delle fonti locali e del trasporto di inquinanti dalla Pianura Padana.

<http://www.espace-mont-blanc.com/>

MONARPOP (AUSTRIA, GERMANIA, ITALIA, SVIZZERA, SLOVENIA)

Monarpop (Rete di monitoraggio degli inquinanti organici persistenti e altri inquinanti nella regione alpina) si è concluso nel 2008. Si è trattato di un progetto comune europeo di Austria, Germania, Italia, Slovenia e Svizzera. Come progetto pilota, Monarpop ha valutato per la prima volta il carico dei POP nelle Alpi (fase 1) e ha stabilito - sulla base dei risultati - conclusioni (p.es. una dichiarazione congiunta) e interventi graduali di riduzione di tale carico (fase 2). Le Alpi sono un importante recettore e una barriera per i POP trasportati su lunghe distanze. Questo è il risultato più importante cui è giunto il progetto Monarpop.

Il progetto ha studiato l'inquinamento atmosferico delle Alpi dovuto ai POP e ad altri componenti or-



ganici. I 12 partner della rete hanno cooperato nel quadro del Programma Spazio Alpino dell'Unione europea, analizzando piante, suolo e aria con profili altitudinali diversi. La deposizione e il flusso d'aria mostrano il percorso del trasporto atmosferico e la posizione dell'area di origine. Monarpop ha contribuito a vigilare in modo efficace sulla Convenzione di Stoccolma, misurando costantemente l'aria e le precipitazioni su una serie di cime montuose, al fine di monitorare le serie temporali. Si rende necessaria una proroga del progetto per trarre conclusioni sull'origine geografica e sulle variazioni stagionali dell'origine dei POP nell'atmosfera alpina.

<http://www.monarpop.at/>

<https://keep.eu/project/122/monitoring-network-in-the-alpine-region-for-persistent-and-other-organic-pollutants>

LIFE PREPAIR (PO REGIONS ENGAGED TO POLICIES OF AIR) (ITALIA)

“Il progetto PREPAIR mira a implementare le misure previste dai piani regionali e dall'Accordo di Bacino su scala maggiore e a rafforzarne la sostenibilità e la durabilità dei risultati: il progetto copre la valle del Po e le regioni e le città che influenzano maggiormente la qualità dell'aria nel bacino. Le azioni di progetto si estendono anche alla Slovenia con lo scopo di valutare e ridurre il trasporto di inquinanti anche oltre il mare Adriatico.”

Il progetto mira all'adozione di misure nei piani regionali del Bacino Padano su scala più ampia ai fini di una sostenibilità e durabilità. Il Bacino Padano nell'Italia settentrionale è un'importante fonte di PM, NO_x (NO₂), NH₃ e O₃. La zona copre il territorio delle regioni dell'Italia del nord e include diversi agglomerati urbani come Milano, Torino e Bologna. Il trasporto e la distribuzione degli inquinanti sono determinati dalle influenze morfologiche della Valle del Po. Al fine di ridurre ulteriormente l'inquinamento atmosferico di fondo, tutte le regioni del Bacino Padano si sono riunite per pianificare misure volte a ridurre le emissioni derivanti dalla combustione di biomasse, dal trasporto merci e passeggeri, dal riscaldamento, dall'industria, dall'energia e dall'agricoltura negli anni a venire. Hanno pertanto siglato un accordo per sviluppare e coordinare misure di breve e lungo periodo al fine di migliorare la qualità dell'aria nel Bacino Padano. Le azioni di progetto si estenderanno anche alla Slovenia con lo scopo di valutare e ridurre il trasporto di inquinanti oltre Adriatico.

<http://www.lifeprepare.eu/>

PUREALPS (GERMANIA, AUSTRIA, ITALIA)

Lo scopo del progetto austro-bavarese PureAlps è di proteggere le Alpi dagli effetti critici dei POP e di monitorare le concentrazioni atmosferiche, la deposizione di POP mediante precipitazione, neve e polveri. 106 sostanze e classi di sostanze legate ai POP sono state analizzate nell'aria ambiente presso la stazione di ricerca ambientale Schneefernerhaus (UFS) sulla Zugspitze.

GUAN (GERMAN ULTRAFINE AEROSOL NETWORK, GERMANIA, ITALIA, AUSTRIA, SVIZZERA)

Il particolato ultrafine potrebbe comportare rischi per la salute umana. GUAN è una rete di cooperazione tra stazioni di misura in Germania che crea nuove basi scientifiche per la valutazione del particolato ultrafine. Le principali variabili di misura sono il numero di particelle, la distribuzione granulometrica e le concentrazioni di massa di fuliggine. Nel frattempo, il numero di stazioni di misura della rete di cooperazione è cresciuto a 17. I dati raccolti possono essere utilizzati per la revisione della Direttiva UE relativa alla qualità dell'aria ambiente. Le stazioni di misura di GUAN nel territorio alpino si trovano presso la UFS sulla Zugspitze e presso la stazione di Hohenpeißenberg, nella fascia pedemontana settentrionale delle Alpi.

INDAGINE SUL BILANCIO REGIONALE DI CO₂ SU SERIE DI MISURE ATMOSFERICHE (GERMANIA, ITALIA, AUSTRIA E SVIZZERA)

La caratterizzazione del bilancio di CO₂ e CH₄ dello Spazio Alpino basata sulle misure degli osservatori locali è un approccio possibile e affidabile. Inoltre, la metodologia del progetto può essere usata per misurare in modo affidabile le aree che sono fonti e recettori con un impatto sul clima, nonché le variazioni stagionali.

VOTALP I E VOTALP II VERTICAL OZONE TRANSPORT IN THE ALPS (SVIZZERA, AUSTRIA, GERMANIA, UE)

Votalp (Vertical Ozone Transport in the Alps) si è concluso alla fine del 1999; si è trattato di un progetto congiunto tra l'Università di scienze agrarie di Vienna, Austria, l'Università di Colonia e il Fraunhofer Institut per la ricerca ambientale atmosferica a Garmisch-Partenkirchen, Germania, il Paul Scherrer Institut, l'Università di Berna e Metair AG, Svizzera, il Consiglio nazionale delle ricerche, Ita-

lia, e l'Università di Ljubljana, Slovenia. Il progetto mirava a studiare l'incremento nello scambio verticale sulle Alpi e altri processi che possono essere rilevanti per le maggiori concentrazioni di ozono, e si è articolato in due progetti consecutivi: Votalp I e Votalp II. Il progetto è stato finanziato dalla Commissione europea nell'ambito del Programma Quadro IV, Ambiente e clima e dal Governo della Svizzera.

Gli obiettivi principali di Votalp consistevano nello studio dello scambio verticale di inquinanti sopra la fascia pedemontana alpina attraverso misure aeree, con analisi delle concentrazioni di ozono. Anche i "pennacchi di inquinanti delle città" di Milano e Monaco nella regione alpina sono stati analizzati attraverso misure aeree e confrontati con campagne precedenti. Nella fascia pedemontana alpina si è potuto osservare un aumento significativo nelle concentrazioni. Con questi studi si è caratterizzato per la prima volta lo scambio verticale di inquinanti nella fascia pedemontana. Milano è la fonte principale di inquinanti. Nel corso dei mesi estivi, gli inquinanti di quest'area raggiungono spesso il territorio alpino.

<https://imp.boku.ac.at/votalp/>

VAO – OSSERVATORIO ALPINO VIRTUALE (GERMANIA, ITALIA, FRANCIA, AUSTRIA E SVIZZERA)

Il progetto dell'Osservatorio alpino virtuale (VAO) intende mettere in rete le attività di ricerca delle stazioni di ricerca alpina di alta quota in Europa, ai fini di un migliore monitoraggio climatico e ambientale. L'Osservatorio sostiene le attività di ricerca delle stazioni di ricerca di alta quota combinando le loro misure e avviando progetti di ricerca comuni. Oltre all'accesso ad altri dati, p.es dati satellitari e potenti infrastrutture informatiche, tale iniziativa consente di mettere in campo opportunità di ricerca pressoché uniche.

GAW – GLOBAL ATMOSPHERE WATCH (GERMANIA, ITALIA, FRANCIA, AUSTRIA, SVIZZERA)

Il programma Global Atmosphere Watch (GAW) dell'OMM è un partenariato tra membri dell'OMM, cui partecipano reti oltre a organizzazioni e istituzioni legate da un rapporto di cooperazione, che forniscono informazioni e dati scientifici affidabili sulla composizione chimica dell'atmosfera, le sue variazioni naturali e antropogeniche, e contribuiscono a migliorare la comprensione delle intera-

zioni tra atmosfera, LRTAP e biosfera.

Il programma GAW è incentrato su aerosol, gas serra, una serie di gas reattivi, ozono, radiazioni UV e chimica delle precipitazioni (o deposizione atmosferica), e costituisce una rete per la ricerca, una piattaforma dati e una rete di modellizzazione e monitoraggio.

BB-CLEAN – STRATEGIC TOOLS TOWARDS A SUSTAINABLE USE OF BIOMASS FOR LOW CARBON DOMESTIC HEATING (ITALIA, FRANCIA, SLOVENIA, AUSTRIA): STRUMENTI STRATEGICI PER UN USO SOSTENIBILE DELLE BIOMASSE PER IMPIANTI DI RISCALDAMENTO DOMESTICO A BASSE EMISSIONI

Nella regione alpina occorre promuovere un migliore uso delle risorse locali come il legno e, al contempo, ridurre l'impatto su ambiente e clima. La biomassa è una risorsa economica disponibile localmente e pertanto molto importante per la popolazione. La combustione della biomassa legnosa ovvia alle emissioni di CO₂ da fonti fossili nell'atmosfera. Tuttavia, l'utilizzo della tecnologia sbagliata nella combustione di biomassa (BB) comporta emissioni inaccettabili di particolato (PM) nell'aria ambiente, di cui la popolazione non è neppure consapevole. L'obiettivo che il progetto si prefigge consiste pertanto nello sviluppo di strategie transnazionali per un uso sostenibile delle biomasse per il riscaldamento domestico, al fine di minimizzare tali impatti e garantire un impiego intelligente delle risorse nella regione alpina. La predisposizione di documenti comuni, rilevanti ai fini politici, promuoverà l'applicazione di regole armonizzate per un uso sostenibile delle biomasse nel territorio alpino.

ACTRIS / ACTRIS II AEROSOL, CLOUDS AND TRACE GASES RESEARCH INFRASTRUCTURE (AUSTRIA, FRANCIA, GERMANIA, ITALIA, SVIZZERA)

ACTRIS (Aerosol, Clouds and Trace Gases Research Infrastructure) è un'iniziativa paneuropea che coordina le attività tra i partner europei producendo osservazioni di alta qualità su aerosol, nubi e gas in traccia. Diversi processi atmosferici sono sempre più al centro di molte sfide sociali e ambientali, come qualità dell'aria, salute, sostenibilità e cambiamenti climatici. ACTRIS intende contribuire ad affrontare tali sfide, offrendo una piattaforma che consenta ai ricercatori di unire in modo più efficace i propri sforzi e fornendo dati osservazionali su



aerosol, nubi e gas in traccia a chiunque desideri utilizzarli.

CLIMGAS-CH (HALCLIM)/AGAGE MISURAZIONE DEI GAS SERRA ALOGENATI SUL JUNGFRAUJOCH

Nel periodo 2000-2018 sono stati misurati in maniera continuativa oltre 50 gas responsabili della deplezione dell'ozono e gas serra sul Jungfraujoch nell'ambito del progetto nazionale svizzero HALCLIM, coordinato da Empa e UFAM (Ufficio federale dell'ambiente). Dal 2018, il progetto CLIMGAS-CH, coordinato congiuntamente da Empa e UFAM, provvede ad analizzare tutti i gas serra non-CO₂ (alocarburanti, metano e monossido di azoto) e a stimarne le emissioni regionali. Tale attività contribuisce anche con la consueta tecnica di misurazione GCMS (gascromatografia-spettrometria di massa) alla rete AGAGE. Ciò rende possibile quanto segue: (1) valutazione delle emissioni svizzere e regionali europee di gas serra non-CO₂ e (2) contributo al controllo dell'inventario nazionale delle emissioni, (3) localizzazione di fonti e aree sorgente dominanti di gas serra non-CO₂ utilizzando modelli di trasporto atmosferico, (4) misure continue a lungo termine di diversi alocarburanti possono essere utilizzate per identificare emissioni globali e regionali. Ad esempio, HFC-134a trova impiego in grandi quantità come refrigerante (p.es. nei climatizzatori mobili). HFC-125 trova impiego nelle miscele per climatizzatori fissi. Attualmente, le concentrazioni di entrambi i gas sono in aumento (identificazione precoce).

INQUINAMENTO ATMOSFERICO DA NERO DI CARBONIO - STUDIO DEL CASO LOSKI POTOK

La ricerca si è focalizzata su uno studio sull'inquinamento atmosferico causato da nero di carbonio e particolato fine, condotto nell'area rurale del comune di Loški Potok, nella stagione invernale 2017/2018. I risultati delle misure hanno svelato le fonti principali di inquinamento atmosferico da nero di carbonio in quest'area: il riscaldamento domestico a biomassa (quasi 80% delle emissioni di nero di carbonio) e le condizioni meteorologiche sfavorevoli alla diluizione degli inquinanti durante gli eventi di inversione termica. Nell'inverno 2017/2018, le concentrazioni medie nella dolina carsica di Retje erano addirittura più alte che a Ljubljana, richiamando l'attenzione anche sul problema dell'aria inquinata nelle aree rurali (collinari e montane).

OVERVIEW OF THE IMPACT OF WOOD BURNING EMISSIONS ON CARBONACEOUS AEROSOLS AND PM IN LARGE PARTS OF THE ALPINE REGION: IN ATMOSPHERIC ENVIRONMENT JOURNAL 89 (2014) 64-75 [RAPPORTO SCIENTIFICO]

In passato, in molti paesi europei le azioni adottate per ridurre le emissioni di particolato si sono concentrate sulle emissioni dovute al traffico stradale. Un'attenzione di gran lunga minore è stata rivolta alle emissioni dalla combustione domestica del legno, nonostante molti studi abbiano dimostrato l'importanza della combustione domestica del legno come fonte di particolato atmosferico (PM) nella regione alpina. Il presente studio è una disamina delle attuali conoscenze sul contributo delle emissioni dalla combustione del legno alle concentrazioni ambientali di carbonio elementare (EC), carbonio organico (OC) e PM nella regione alpina. I risultati pubblicati, ottenuti con diversi approcci (p.es. metodo dei macrotraccianti, modellizzazione multivariata dei recettori, modellizzazione del bilancio di massa chimica e la cosiddetta modellizzazione etalometrica), trovano impiego in un approccio monotracciante ambientale per stimare il rapporto rappresentativo tra traccianti della combustione del legno (levoglucosano e mannosano) ed EC, OC e PM dalla combustione del legno. I rapporti rilevati sono applicati alle misure ambientali disponibili di levoglucosano e mannosano nei siti alpini, al fine di stimare il contributo delle emissioni dalla combustione di legno ai livelli medi di aerosol carboniosi e PM in tali siti. I risultati mostrano che in diverse valli alpine, in inverno, il particolato prodotto esclusivamente dalla combustione del legno spesso contribuisce con una percentuale uguale o superiore a 50% del valore limite giornaliero UE per il PM₁₀. Le concentrazioni di aerosol carboniosi in queste valli sono spesso fino a sei volte più elevate di quelle rilevate nei siti urbani o rurali nella fascia pedemontana delle Alpi.

IMPATTO SULLE EMISSIONI DI PARTICOLATO DELLA SOSTITUZIONE DI VECCHI IMPIANTI DI RISCALDAMENTO A LEGNA CON EFFICIENTI STUFE A LEGNA

L'impatto è valutato effettuando misure sul posto e in seguito a sostituzione dell'impianto (misure eseguite nella valle dell'Arve, Alta Savoia). I test sono condotti direttamente a casa, tenendo conto delle condizioni reali di funzionamento degli impianti in termini di prestazioni termiche, tipo di biomassa legnosa e umidità, carico di legna, tiraggio, ecc. Sono stati analizzati 35 siti, con 19 sostituzioni con impianti a legna e 16 impianti a pellet. I risultati ot-

tenuti forniscono informazioni sull'impatto della sostituzione degli impianti sulle emissioni di inquinanti e sull'efficienza energetica. Il passaggio da un vecchio impianto a uno nuovo, a legna, comporta un miglioramento dell'efficienza energetica di 16 punti e una riduzione del particolato di 57%. Il passaggio da un vecchio impianto a uno nuovo, a pellet, comporta un miglioramento dell'efficienza energetica di 34 punti e una riduzione del particolato di 44%.

MONITORAGGIO A LUNGO TERMINE DEL PARTICOLATO DA COMBUSTIONE DI BIOMASSA A GRENOBLE

Lo studio si basa su misure effettuate nell'ambito del programma nazionale CARA, un programma volto alla caratterizzazione della composizione chimica del PM, in stretta collaborazione con Atmo Auvergne Rhône-Alpes e l'Istituto di geoscienze ambientali (IGE). Sono state analizzate le misure raccolte nel periodo 2008-2017. L'obiettivo del monitoraggio consiste nella determinazione dell'influenza della combustione di biomassa sui livelli di PM, una fonte considerata una delle attività antropogeniche più inquinanti, in particolare nelle valli alpine. Un altro obiettivo è lo studio della relazione tra l'andamento del particolato da biomassa (con levoglucosano come tracciante della combustione di biomassa) e le concentrazioni di IPA. I risultati evidenziano un calo significativo delle concentrazioni di PM₁₀, ma anche di EC e IPA. D'altro canto, le concentrazioni di PM dalla combustione di biomassa non mostrano alcun trend significativo. Il contributo relativo al PM₁₀ è aumentato: in inverno tale contributo è salito da 20% negli anni 2009-2010 a 30-35% nel periodo 2016-2017. Questi risultati suggeriscono un calo nelle emissioni di PM da fonti diverse dalla combustione di biomassa, mentre quest'ultima rimane una delle sorgenti principali di PM a Grenoble.

VARIAZIONI SPAZIOTEMPORALI DEI PRINCIPALI COMPOSTI IN TRACCIA E SPECIE CHIMICHE DEL PM₁₀ NELLA FRANCIA METROPOLITANA

Lo studio si basa su misure effettuate nell'ambito del programma nazionale CARA (un programma volto alla caratterizzazione della composizione chimica del PM) e dall'Istituto di geoscienze ambientali (IGE) e analizza la variabilità stagionale e spaziale delle concentrazioni medie di composti specifici del particolato misurate in 19 siti di vario tipo (rurali di fondo, urbani di fondo, traffico, val-

li alpine). Lo studio è stato condotto assieme a un ampio studio sulle fonti di PM, effettuato mediante fattorizzazione di matrici positive. Lo studio offre un quadro d'insieme delle principali fonti di PM e del loro impatto in funzione del tipo di sito. Per quanto concerne le valli alpine (si vedano le pagine 11 e 13 del rapporto LCSQA), i risultati mostrano livelli più alti di materiale organico e levoglucosano in inverno (siti di Passy, Marnaz e Chamonix), indicanti l'influenza della combustione di biomassa.

SOURCES (FRANCIA)

Programma di ricerca finanziato da Ademe, condotto da IGE e coordinato da Ineris, creato per raccogliere e studiare in modo armonizzato 15 set di dati di composti chimici, da PM₁₀ raccolto per studi di PMF nel corso di un quinquennio (2012-2016), in Francia. Il programma comprende i siti di Chamonix e Revin (Weber S. et al., 2019).

<http://pmsources.u-ga.fr/>

NETDESA: EMISSIONI, TRASPORTO E DEPOSIZIONE DI AEROSOL IN CONDIZIONI ESTREME DI RISTAGNO IN AREE INFLUENZATE DALLE ATTIVITÀ UMANE NELLE REGIONI MONTANE

Il ciclo di vita degli aerosol, di origine antropogenica (dal traffico veicolare al rilascio accidentale) o naturale, è interessante per comprendere e prevedere l'inquinamento atmosferico. Il progetto intende simulare in modo più accurato le emissioni, il trasporto e la deposizione di aerosol negli ambienti con rilievi scoscesi e in condizioni di ristagno atmosferico, quando le concentrazioni superano i limiti normativi per la qualità dell'aria.

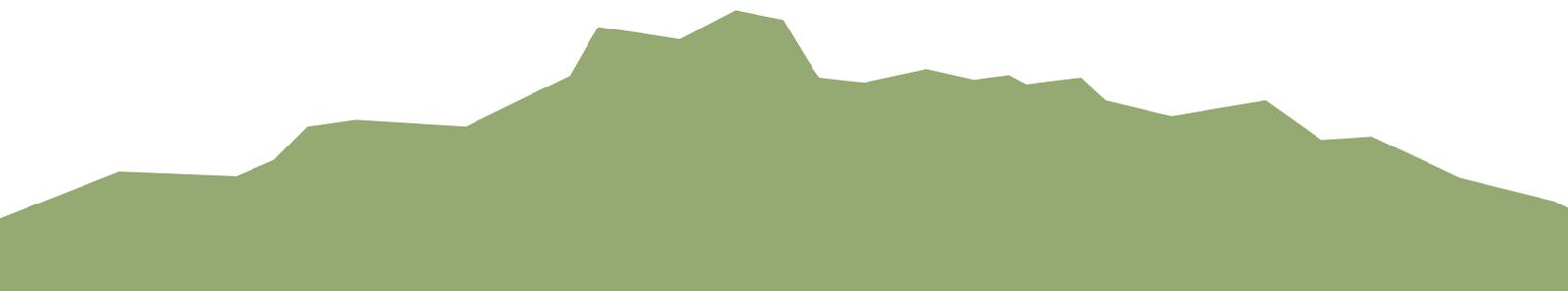


La **Convenzione delle Alpi** è un precursore nel suo genere essendo il primo trattato internazionale dedicato alla protezione e allo sviluppo sostenibile di un'intera catena montuosa: le Alpi. La Convenzione è stata firmata dagli otto Paesi alpini (Austria, Francia, Germania, Italia, Liechtenstein, Monaco, Slovenia e Svizzera) e dall'Unione Europea, ed è entrata in vigore nel 1995.

I fondamenti della Convenzione delle Alpi sono la Convenzione quadro, i Protocolli tematici e le Dichiarazioni di attuazione, che forniscono i principi guida e un quadro per la cooperazione transnazionale nei settori chiave dell'ambiente, della società e dell'economia alpina. Sulla base di ciò, la Convenzione delle Alpi lavora per costruire partenariati e stabilire approcci intersettoriali per affrontare le sfide più urgenti nelle Alpi.

Il lavoro viene svolto con diverse modalità dai vari organi della Convenzione delle Alpi: la Conferenza biennale delle Alpi, il lavoro delle Parti contraenti, il Comitato permanente, il Gruppo di Verifica, i numerosi Gruppi di lavoro tematici e il Segretariato Permanente. Numerose organizzazioni con status di Osservatore contribuiscono anch'esse all'attuazione della Convenzione.

La Convenzione delle Alpi è in prima linea per una vita sostenibile nelle Alpi, e si impegna a preservare il loro patrimonio naturale e culturale unico – ora e in futuro.



Cosa sappiamo della qualità dell'aria Alpina, elemento vitale di questa regione sul tetto d'Europa? E cosa si può fare per migliorarla?

Queste ed altre domande vengono analizzate in questa Relazione, che conduce un'indagine rigorosa sulla qualità dell'aria alpina e sui fenomeni ed i trend che la influenzano.

La Relazione propone inoltre un elenco di soluzioni intelligenti attuate in tutta la regione alpina, nonché un insieme di raccomandazioni politiche per preservare questo essenziale bene pubblico.

