



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössische Kommission für Lufthygiene EKL
Commission fédérale de l'hygiène de l'air CFHA
Commissione federale per l'igiene dell'aria CFIAR
Cumissiun federala per l'igiema da l'aria CFIA

Qualità dell'aria 2023

I nuovi valori indicativi 2021 dell'OMS sulla qualità dell'aria e il loro significato per l'ordinanza federale contro l'inquinamento atmosferico



Nota editoriale

Editore

Commissione federale d'igiene dell'aria (CFIAR)

La Commissione federale d'igiene dell'aria (CFIAR) è una commissione extraparlamentare composta da figure esperte nel campo della protezione dell'aria, di cui si avvale il Consiglio federale. Fornisce consulenza al Dipartimento federale dell'ambiente, dei trasporti, dell'energia e delle comunicazioni (DATEC) e all'Ufficio federale dell'ambiente (UFAM) nelle questioni scientifiche e metodologiche di protezione dell'aria e nella valutazione degli effetti degli inquinanti atmosferici sull'uomo, sulla flora e la fauna, sulle biocenosi o sui biotopi. Dal punto di vista funzionale, la CFIAR è una commissione consultiva indipendente e interdisciplinare che per la trattazione di questioni specifiche può ricorrere alla consulenza anche di altri specialisti di vari settori, non appartenenti alla commissione.

Autore

Commissione federale d'igiene dell'aria (CFIAR)

Künzli Nino, Prof. Dr. med. e Ph.D., presidente

Achermann Beat, Dipl. Biochem., Dipl. Pharm.

Ammann Christof, Dott. sc. nat.

Baltensperger Urs, Prof. Dott. phil II

Buchmann Brigitte, Dott. phil II

Colombo Luca, Dott. sc. nat. PF

Emmenegger Lukas, Dott.

Flückiger Alexandre, Prof. Dott. iur.

Gygax Hans, Dott. sc. nat.

Kren Linda, MSc. PF

Kunz Pierre, Dott. sc. nat.

Kutlar Joss Meltem, MSc. PF, MPH

Rothen-Rutishauser Barbara, Prof. Dott. sc. nat. PF

von Känel Andrea, fisico PF

Approvato all'unanimità in occasione della seduta della CFIAR del 10° maggio 2023

Ringraziamenti

La CFIAR ringrazia per i particolareggiati contributi redazionali e i commenti il dott. Christoph Hüglin, Empa e Ron Kappeler, LUDOK, Swiss TPH, che hanno contribuito in misura determinante alla stesura del rapporto.

Indicazione bibliografica

Commissione federale d'igiene dell'aria (CFIAR) 2023: I nuovi valori indicativi 2021 dell'OMS sulla qualità dell'aria e il loro significato per l'ordinanza federale contro l'inquinamento atmosferico. Berna, 119 pagine

Segreteria CFIAR

Brigitte Gälli Purgarth e Lara Milena Lüthi, divisione Protezione dell'aria e prodotti chimici, Ufficio federale dell'ambiente (UFAM)

Foto di copertina

© iStock / AscentXmedia

Link per scaricare il PDF

<https://www.ekl.admin.ch/it/documentazione/pubblicazioni>

La versione cartacea non può essere ordinata

La presente pubblicazione è disponibile anche in lingua francese e tedesca.

La versione originale è in tedesco.

[Die neuen WHO-Luftqualitätsrichtwerte 2021 und ihre Bedeutung für die Schweizer Luftreinhalte-Verordnung](#)

[Les nouvelles lignes directrices OMS relatives à la qualité de l'air 2021 et leur importance pour l'ordonnance fédérale sur la protection de l'air](#)

© CFIAR 2023

Indice

Prefazione	6
Riassunto	7
Zusammenfassung	9
Résumé	11
Executive Summary	13
1 Introduzione	15
2 Obiettivi e struttura del rapporto	25
3 Base delle raccomandazioni della CFIAR	26
4 Polveri fini PM10	27
5 Polveri fini PM2.5	32
6 Ozono O₃	36
7 Diossido di azoto NO₂	43
8 Diossido di zolfo SO₂	48
9 Monossido di carbonio CO	51
10 Fuliggine (<i>Black Carbon</i> o <i>Elemental Carbon</i>)	53
11 Particelle ultrafini, numero di particelle	56
12 Eventi di sabbia e polveri sahariane	59
13 Altri inquinanti e parametri	60
14 Raccomandazioni per un adeguamento dell'OIA	66
15 Discussione	71
16 Conclusioni	78

Allegato

Allegato A – Linee guida sulla qualità dell'aria 2021 dell'OMS.....	79
Allegato B – Fonti di inquinanti atmosferici	83
Allegato C – Integrazioni su PM10 e PM2.5	84
Allegato D – Valori limite per la protezione della vegetazione negli ecosistemi prossimi allo stato naturale	90
Allegato E – Integrazioni sull'ozono: comparabilità dei diversi criteri di valutazione dell'OMS e della Svizzera	93
Allegato F – Integrazioni sull'NO ₂	96
Allegato G – Integrazioni sull'SO ₂	99
Allegato H – Integrazioni sugli IPA.....	100
Allegato I – Rappresentazione grafica delle conseguenze accertate sulla salute dei diversi inquinanti.....	102
Elenco delle abbreviazioni e dei termini.....	105
Elenco delle figure e delle tabelle	108
Bibliografia.....	112

Prefazione

Dieci anni fa, nel rapporto «Le polveri fini in Svizzera 2013», la Commissione federale d'igiene dell'aria (CFIAR) ha raccomandato un valore limite d'immissione aggiuntivo per le polveri fini nonché ulteriori iniziative per ridurre l'inquinamento che ne deriva. Nel 2018 il Consiglio federale ha modificato di conseguenza l'ordinanza contro l'inquinamento atmosferico (OIAAt) e le autorità, in collaborazione con l'economia e la popolazione, hanno proseguito sul percorso intrapreso da decenni per migliorare la qualità dell'aria. I successi sono evidenti: quella che trent'anni fa sembrava una visione lontana è oggi diventata una realtà positiva in quasi tutti i siti di misura, anche negli agglomerati. I valori limite d'immissione sanciti dall'OIAAt sono ampiamente rispettati, tranne nel caso dell'ozono, e le tendenze evidenziano un continuo calo. Grazie ai risultati ottenuti dalla politica contro l'inquinamento atmosferico, la maggior parte della popolazione svizzera vive da decenni in luoghi dove il carico di inquinanti è nettamente inferiore ai valori limite d'immissione attualmente vigenti nel Paese.

Ma i notevoli progressi non hanno riguardato solo la protezione dell'aria. I risultati di ricerca ora disponibili sugli effetti sulla salute dell'inquinamento atmosferico hanno indotto l'Organizzazione mondiale della sanità (OMS), nel 2016, a commissionare una nuova valutazione delle sue linee guida sulla qualità dell'aria del 2005. Il team di autori internazionali aveva il compito di accertare per quali concentrazioni di inquinanti fosse dimostrata l'esistenza di danni alla salute. Ne è emerso che nella maggior parte dei casi le concentrazioni risultano dannose già a livelli nettamente inferiori ai valori indicativi del 2005. Per tale motivo, quando ha ripubblicato le linee guida sulla qualità dell'aria nel 2021, l'OMS ha adeguato al ribasso i valori indicativi.

Nel presente rapporto la CFIAR si confronta con questa nuova situazione. Per i principali inquinanti atmosferici elencati nell'OIAAt, raccomanda di adeguare i valori limite d'immissione allo stato attuale delle conoscenze scientifiche. A tal fine si orienta alle prescrizioni formulate nella legge sulla protezione dell'ambiente, secondo cui la qualità dell'aria non deve pregiudicare gli ecosistemi e la salute della popolazione, comprese le categorie di persone particolarmente sensibili, come i bambini, i malati, gli anziani e le donne incinte. I valori limite d'immissione oggi vigenti non soddisfano più tali prescrizioni. Per tale motivo la CFIAR raccomanda di riprendere integralmente i nuovi valori indicativi dell'OMS nell'OIAAt, così da riallineare i valori limite d'immissione ivi stabiliti con la protezione richiesta dalla legge federale sull'ambiente.

Il rispetto dei nuovi valori limite proposti potrebbe sembrare ancora una volta una «visione lontana». Tuttavia, ormai da decenni le emissioni evidenziano tendenze in calo che inducono all'ottimismo. I progressi tecnologici per la riduzione delle emissioni continuano senza sosta ed è importante puntare ulteriormente sulla mobilità a basse emissioni. Anche la capacità innovativa e la lunga tradizione svizzera di partenariato e approccio federalista nell'esecuzione dei provvedimenti contro l'inquinamento atmosferico hanno portato a continui miglioramenti della qualità dell'aria e potranno dare il loro contributo anche in futuro. Tutte queste esperienze fanno ben sperare in un ulteriore miglioramento della qualità dell'aria e confermano che il raggiungimento degli obiettivi raccomandati in materia di salute è senza dubbio a portata di mano.

Per concludere, desidero cogliere l'occasione per ringraziare tutti i membri della CFIAR e gli altri esperti coinvolti, così come il team internazionale che ha elaborato le linee guida sulla qualità dell'aria 2021 dell'OMS, per il lavoro approfondito e di grande valore. Il 10 maggio 2023 la CFIAR ha approvato il presente rapporto all'unanimità.

Nino Künzli

Presidente della Commissione federale d'igiene dell'aria (CFIAR)

Riassunto

I valori limite d'immissione (VLI) attualmente sanciti dall'ordinanza contro l'inquinamento atmosferico (OIA) corrispondono in ampia misura ai valori indicativi fissati dall'Organizzazione mondiale della sanità (OMS) nel 2005, che si basano sulle conoscenze scientifiche di allora. Nella maggior parte dei casi, questi VLI sono oggi rispettati praticamente su tutto il territorio svizzero. La ricerca nazionale e internazionale degli ultimi 20 anni indica ora che anche concentrazioni nettamente inferiori di inquinanti possono provocare danni alla salute. Per tale motivo l'OMS, dopo essersi confrontata a fondo con lo stato attuale delle conoscenze, ha introdotto una riduzione dei valori indicativi nelle nuove linee guida sulla qualità dell'aria 2021 «Global Air Quality Guidelines» (AQG).

La legge federale sulla protezione dell'ambiente (LPAmb) impone VLI e provvedimenti contro l'inquinamento atmosferico che tengano conto della protezione dell'ambiente e della salute di tutta la popolazione, comprese le categorie di persone particolarmente sensibili. La CFIAR raccomanda pertanto per sei inquinanti (SO₂, NO₂, CO, O₃, PM10, PM2.5 – cfr. tab. 1) l'adeguamento dell'OIA in considerazione dei valori indicativi dell'OMS e quindi una riduzione o integrazione dei VLI. Due VLI non più rilevanti per i picchi di inquinamento a breve termine di SO₂ e NO₂ dovrebbero essere abrogati. Con queste modifiche, i VLI svizzeri saranno resi conformi, secondo lo stato attuale delle conoscenze, ai requisiti di protezione della LPAmb.

Grazie all'applicazione del principio di precauzione e dei provvedimenti già esistenti, è prevedibile un'ulteriore riduzione dell'inquinamento atmosferico. Il rispetto dei VLI più severi su tutto il territorio nazionale richiederà però una riduzione continua delle emissioni anche in futuro. È necessario adeguare e attuare di conseguenza i provvedimenti nazionali e i piani cantonali per la riduzione delle emissioni.

La cooperazione internazionale nella politica contro l'inquinamento atmosferico deve inoltre essere portata avanti e rafforzata, in quanto gli inquinanti atmosferici vengono trasportati anche al di là dei confini.

Tabella 1: Raccomandazioni della CFIAR per l'adeguamento dei VLI nell'OIAt. Si basano in larga misura sui valori indicativi delle linee guida sulla qualità dell'aria 2021 (AQG) dell'OMS e sulle numerose pubblicazioni in materia e se ne discostano solo in casi eccezionali motivati

Inquinante	Unità di tempo per il calcolo del valore medio	AQG 2021 OMS	VLI OIAt attuali	Raccomandazione CFIAR 2023
Diossido di zolfo (SO₂), µg/m³ (cfr. cap. 8)	Valore medio annuo e nuovo valore medio per il semestre invernale	–	30 ^a	20 ^b
	95 % dei valori medi su ½ h di un anno	–	100	abrogare
	Valore medio su 24 h	40 ^c	100 ^d	40 ^c
Diossido di azoto (NO₂), µg/m³ (cfr. cap. 7)	Valore medio annuo	10	30	10
	95 % dei valori medi su ½ h di un anno	–	100	abrogare
	Valore medio su 24 h	25 ^c	80 ^d	25 ^c
Monossido di carbonio (CO), mg/m³ (cfr. cap. 9)	Valore medio su 24 h	4 ^c	8 ^d	4 ^c
Ozono (O₃), µg/m³ (cfr. cap. 6)	Stagione estiva ^e	60	–	60
	98 % dei valori medi su ½ h di un mese	–	100	100
	Valore medio su 8 h	100 ^c	–	–
	Valore medio su 1 h	–	120 ^d	120 ^d
Polveri in sospensione / polveri fini (PM10), µg/m³ (cfr. cap. 4)	Valore medio annuo	15	20	15
	Valore medio su 24 h	45 ^c	50 ^c	45 ^c
Polveri in sospensione / polveri fini (PM2.5), µg/m³ (cfr. cap. 5)	Valore medio annuo	5	10	5
	Valore medio su 24 h	15 ^c	–	15 ^c

^a Valore limite d'immissione che comprende anche la protezione della flora e della fauna, delle loro biocenosi e dei loro biotopi secondo l'articolo 1 capoverso 1 LPAmb e corrisponde allo stato delle conoscenze al momento dell'emanazione dell'ordinanza contro l'inquinamento atmosferico nel 1985.

^b Valore delle linee guida sulla qualità dell'aria 2000 dell'OMS (OMS, 2000), fissato per la protezione dei boschi e di altri ecosistemi prossimi allo stato naturale. Si applica come valore medio annuo e anche per il semestre invernale (ottobre–marzo).

^c 99° percentile (ossia tre superamenti all'anno consentiti).

^d Può essere superato al massimo una volta all'anno.

^e Media dei valori medi giornalieri massimi su 8 ore della concentrazione di ozono nei sei mesi consecutivi con la concentrazione di ozono più elevata sulla media semestrale. Per la Svizzera si tratta del periodo aprile–settembre.

Parole chiave: protezione dell'aria, ordinanza federale contro l'inquinamento atmosferico, valori limite d'immissione in Svizzera, immissioni, monossido di carbonio CO, polveri fini PM10, polveri fini PM2.5, ozono (O₃), diossido di azoto (NO₂), diossido di zolfo (SO₂), fuliggine, particelle ultrafini (UFP), idrocarburi policiclici aromatici (IPA), metalli, potenziale ossidativo delle polveri fini (PO), Air Quality Guidelines (AQG) dell'OMS

Zusammenfassung

Die derzeit in der Luftreinhalte-Verordnung (LRV) festgelegten Immissionsgrenzwerte (IGW) entsprechen weitgehend den Richtwerten der Weltgesundheitsorganisation (WHO) aus dem Jahr 2005, welche auf dem damaligen Wissensstand beruhen. Die meisten dieser IGW werden heute in der Schweiz fast flächendeckend eingehalten. Die nationale und internationale Forschung der letzten 20 Jahre belegt nun gesundheitliche Beeinträchtigungen auch bei deutlich tieferen Konzentrationen von Luftschadstoffen. Deshalb hat die WHO nach umfassender Aufarbeitung des aktuellen Wissensstandes die Richtwerte 2021 in den neuen Luftqualitätsleitlinien «Global Air Quality Guidelines» (AQG) herabgesetzt.

Das Schweizer Umweltschutzgesetz fordert IGW und Luftreinhaltemassnahmen, welche dem Schutz der Umwelt und der Gesundheit der gesamten Bevölkerung – einschliesslich Personengruppen mit erhöhter Empfindlichkeit – gerecht werden. Die EKL empfiehlt deshalb für sechs Schadstoffe (SO₂, NO₂, CO, O₃, PM₁₀, PM_{2.5} – siehe Tabelle 1) die Anpassung der LRV unter Berücksichtigung der WHO-Richtwerte und damit eine Senkung bzw. Ergänzung der IGW. Zwei derzeit nicht mehr relevante IGW zu Kurzzeitbelastungsspitzen von SO₂ und NO₂ sollen gestrichen werden. Mit diesen Anpassungen werden die Schweizer IGW den Schutzanforderungen des Umweltschutzgesetzes nach heutigem Wissensstand entsprechen.

Dank Anwendung des Vorsorgeprinzips und bereits bestehender Massnahmen ist weiterhin eine Abnahme der Luftschadstoffbelastung zu erwarten. Die flächendeckende Einhaltung der verschärften IGW wird aber auch in Zukunft eine nachhaltige Reduktion der Emissionen erfordern. Nationale Massnahmen und die kantonalen Massnahmenpläne zur Emissionsminderung müssen angepasst und konsequent umgesetzt werden.

Ebenso muss die internationale Zusammenarbeit in der Luftreinhaltepolitik fortgesetzt und gestärkt werden, da Luftschadstoffe auch über Grenzen hinweg transportiert werden.

Tabelle 1: Empfehlungen der EKL zur Anpassung der IGW in der LRV. Sie stützen sich weitgehend auf die Richtwerte der WHO-Luftqualitätsleitlinien 2021 (AQG) und die umfangreichen zugehörigen Publikationen und weichen nur in begründeten Ausnahmefällen davon ab.

Schadstoff	Mittelungszeit	WHO AQG 2021	LRV IGW derzeit	Empfehlung EKL 2023
Schwefeldioxid (SO₂), µg/m³ (siehe Kapitel 8)	Jahresmittelwert und neu Mittelwert über das Winterhalbjahr	–	30 ^a	20 ^b
	95 % der ½-h-Mittelwerte eines Jahres	–	100	streichen
	24-h-Mittelwert	40 ^c	100 ^d	40 ^c
Stickstoffdioxid (NO₂), µg/m³ (siehe Kapitel 7)	Jahresmittelwert	10	30	10
	95 % der ½-h-Mittelwerte eines Jahres	–	100	streichen
	24-h-Mittelwert	25 ^c	80 ^d	25 ^c
Kohlenmonoxid (CO), mg/m³ (siehe Kapitel 9)	24-h-Mittelwert	4 ^c	8 ^d	4 ^c
Ozon (O₃), µg/m³ (siehe Kapitel 6)	Sommersaison ^e	60	–	60
	98 % der ½-h-Mittelwerte eines Monats	–	100	100
	8-h-Mittelwert	100 ^c	–	–
	1-h-Mittelwert	–	120 ^d	120 ^d
Schwebestaub / Feinstaub (PM10), µg/m³ (siehe Kapitel 4)	Jahresmittelwert	15	20	15
	24-h-Mittelwert	45 ^c	50 ^c	45 ^c
Schwebestaub / Feinstaub (PM2.5), µg/m³ (siehe Kapitel 5)	Jahresmittelwert	5	10	5
	24-h-Mittelwert	15 ^c	–	15 ^c

^a Immissionsgrenzwert, welcher auch den Schutz von Tieren und Pflanzen, ihren Lebensgemeinschaften und Lebensräumen nach USG Art. 1 Abs. 1 einschliesst und dem Stand des Wissens zum Zeitpunkt des Erlasses der Luftreinhalte-Verordnung im Jahre 1985 entspricht.

^b Wert der WHO-Luftqualitätsleitlinien 2000 (WHO, 2000), welcher zum Schutz von Wäldern und weiteren naturnahen Ökosystemen festgelegt wurde. Er gilt als Jahresmittelwert sowie auch für das Winterhalbjahr. (Oktober–März).

^c 99. Perzentil (d. h. 3 Überschreitungen pro Jahr sind zulässig).

^d Darf höchstens einmal pro Jahr überschritten werden.

^e Durchschnitt der maximalen täglichen 8-h-Mittelwerte der Ozon-Konzentration in den sechs aufeinanderfolgenden Monaten mit der höchsten Ozon-Konzentration im Sechsmonatsdurchschnitt. Für die Schweiz entspricht dies April bis September.

Stichwörter: Luftreinhaltung, Luftreinhalte-Verordnung Schweiz, Immissionsgrenzwerte Schweiz, Immissionen, Kohlenmonoxid CO, Feinstaub PM10, Feinstaub PM2.5, Ozon O₃, Schwefeldioxid SO₂, Stickstoffdioxid NO₂, Russ, Ultrafeine Partikel UFP, Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe PAK, Metalle, oxidatives Potenzial von Feinstaub OP, WHO Air Quality Guidelines

La presente pubblicazione è disponibile anche in lingua tedesca.

[Die neuen WHO-Luftqualitätsrichtwerte 2021 und ihre Bedeutung für die Schweizer Luftreinhalte-Verordnung](#)

Résumé

Les valeurs limites d'immissions (VLI) en vigueur dans l'ordonnance fédérale sur la protection de l'air (OPair) correspondent dans une large mesure aux niveaux de qualité de l'air que l'Organisation mondiale de la santé (OMS) avait recommandés en 2005 en se fondant sur les connaissances d'alors. La plupart de ces VLI sont actuellement respectées quasiment à l'échelle suisse. La recherche nationale et internationale des 20 dernières années a montré des atteintes à la santé, même pour des concentrations de polluants atmosphériques sensiblement plus faibles. Après un examen approfondi des connaissances actuelles, l'OMS a donc abaissé les niveaux de qualité de l'air en 2021 dans de nouvelles lignes directrices relatives à la qualité de l'air (*Global Air Quality Guidelines*, AQG).

La loi suisse sur la protection de l'environnement (LPE) exige des VLI et des mesures de protection de l'air qu'elles tiennent compte de la protection de l'environnement et de la santé de toute de la population, y compris les catégories de personnes particulièrement sensibles. La CFHA recommande donc de modifier les VLI pour six polluants (SO₂, NO₂, CO, O₃, PM10, PM2.5 – voir tableau 1) en considérant les niveaux préconisés par l'OMS, ce qui revient à réduire ou à compléter ces VLI. Deux VLI qui ne sont plus pertinentes pour les pics d'exposition à court terme, concernant le dioxyde de soufre (SO₂) et le dioxyde d'azote (NO₂), devraient être abrogées. Ainsi modifiées, les VLI suisses répondront, selon l'état actuel des connaissances, aux exigences de protection de la LPE.

L'application du principe de précaution et les mesures existantes fixent le cadre pour une nouvelle réduction de la concentration des polluants atmosphériques. Toutefois, le respect de VLI plus strictes à l'échelle nationale nécessitera à l'avenir une diminution durable des émissions. Les mesures nationales et les plans de mesures cantonaux devront dès lors être modifiés en conséquence et mis en œuvre de façon cohérente.

Parallèlement, il faudra poursuivre et renforcer la coopération internationale dans la politique de protection de l'air, les polluants atmosphériques s'affranchissant des frontières géographiques.

Tableau 1 : Recommandations de la CFHA pour adapter les VLI dans l'OPair. S'appuyant dans une large mesure sur les niveaux préconisés par les lignes directrices OMS relatives à la qualité de l'air 2021 (AQG) et les nombreuses publications correspondantes, ces recommandations n'en dérogent que dans des cas exceptionnels dûment justifiés.

Polluant	Unité de temps	AQG OMS 2021	VLI en vigueur (OPair)	Recommandation CFHA 2023
Dioxyde de soufre (SO₂), µg/m³ (voir chap. 8)	Moyenne annuelle et, désormais, moyenne du semestre d'hiver	–	30 ^a	20 ^b
	95 % des moyennes semi-horaires d'une année	–	100	Abroger
	Moyenne par 24 h	40 ^c	100 ^d	40 ^c
Dioxyde d'azote (NO₂), µg/m³ (voir chap. 7)	Moyenne annuelle	10	30	10
	95 % des moyennes semi-horaires d'une année	–	100	Abroger
	Moyenne par 24 h	25 ^c	80 ^d	25 ^c
Monoxyde de carbone (CO), mg/m³ (voir chap. 9)	Moyenne par 24 h	4 ^c	8 ^d	4 ^c
Ozone (O₃), µg/m³ (voir chap. 6)	Saison estivale ^e	60	–	60
	98 % des moyennes semi-horaires d'un mois	–	100	100
	Moyenne par 8 h	100 ^c	–	–
	Moyenne horaire	–	120 ^d	120 ^d
Poussières en suspension / poussières fines (PM₁₀), µg/m³ (voir chap. 4)	Moyenne annuelle	15	20	15
	Moyenne par 24 h	45 ^c	50 ^c	45 ^c
Poussières en suspension / poussières fines (PM_{2.5}), µg/m³ (voir chap. 5)	Moyenne annuelle	5	10	5
	Moyenne par 24 h	15 ^c	–	15 ^c

^a VLI qui englobe également la protection des animaux et des plantes, de leurs biocénoses et de leurs biotopes selon l'art. 1, al. 1, LPE et qui correspond à l'état des connaissances au moment de l'édiction de l'OPair en 1985.

^b Valeur des lignes directrices OMS relatives à la qualité de l'air 2000 (OMS, 2000) qui a été fixée pour protéger les forêts et d'autres écosystèmes proches de la nature. Elle s'applique en tant que moyenne annuelle et pour le semestre d'hiver (d'octobre à mars).

^c 99^e percentile (en d'autres termes, trois dépassements par an sont admis).

^d Ne peut être dépassée qu'une fois par an au maximum.

^e Moyenne calculée à partir des moyennes journalières maximales par 8 heures de la concentration d'ozone pendant six mois consécutifs et de la concentration d'ozone la plus élevée en moyenne semestrielle. En Suisse, cela correspond à la période allant d'avril à septembre.

Mots-clés : protection de l'air, ordonnance fédérale sur la protection de l'air suisse, immissions, monoxyde de carbone, CO, poussières fines, PM₁₀, PM_{2.5}, ozone, O₃, dioxyde de soufre, SO₂, dioxyde d'azote, NO₂, suie, particules ultrafines PUF, hydrocarbures aromatiques polycycliques HAP, métaux, potentiel oxydatif des poussières fines PO, lignes directrices OMS relatives à la qualité de l'air.

La presente pubblicazione è disponibile anche in lingua francese.

[Les nouvelles lignes directrices OMS relatives à la qualité de l'air 2021 et leur importance pour l'ordonnance fédérale sur la protection de l'air](#)

Executive Summary

The ambient air quality standards currently stipulated in the Air Pollution Control Ordinance (OAPC) largely correspond to the benchmarks set by the World Health Organization (WHO) in 2005, which were based on the knowledge available at the time. Switzerland currently complies with almost all of these ambient limit values. However, national and international research over the past 20 years has shown that air pollutants have adverse health effects even at significantly lower concentrations. The WHO has therefore lowered the guideline values for 2021 in its new Global Air Quality Guidelines (AQG) following a comprehensive review of currently available knowledge.

The Swiss Federal Environmental Protection Act calls for ambient air quality standards and measures against air pollution that appropriately protect the environment and the health of the entire population – including particularly sensitive groups. The Federal Commission for Air Hygiene (FCAH) therefore recommends the OAPC to be adjusted for six pollutants (SO₂, NO₂, CO, O₃, PM₁₀, PM_{2.5} – see Table 1) to reflect the WHO guideline values, with ambient air quality standards being either reduced or supplemented. Two ambient air quality standards relating to short-term peaks of SO₂ and NO₂ are no longer relevant and will be removed. These modifications will bring Switzerland's ambient air quality standards into line with the protection requirements of the Environmental Protection Act based on current knowledge.

A further decrease in air pollution levels can be expected thanks to the application of the precautionary principle and existing measures. However, emissions will need to continue falling in the long term to ensure widespread compliance with these stricter ambient air quality standards. National measures and cantonal action plans to reduce emissions will need to be adjusted and consistently implemented.

And because air pollutants travel across borders, international cooperation on air pollution control policy will need to be maintained and reinforced.

Table 1: FCAH recommendations for changes to ambient limit values in the OAPC. These are largely based on the 2021 WHO AQGs and the wide range of related publications, deviating from them only with justification and in exceptional cases.

Pollutant	Averaging time	WHO AQG 2021	Current OAPC ambient limit value	FCAH recommendation 2023
Sulphur dioxide (SO₂), µg/m³ (see Chapter 8)	Annual average and new mean value over winter half-year	–	30 ^a	20 ^b
	95 % of ½ h mean value for a year	–	100	remove
	24h mean value	40 ^c	100 ^d	40 ^c
Nitrogen dioxide (NO₂), µg/m³ (see Chapter 7)	Annual average	10	30	10
	95 % of ½ h mean value for a year	–	100	remove
	24h mean value	25 ^c	80 ^d	25 ^c
Carbon monoxide (CO), mg/m³ (see Chapter 9)	24h mean value	4 ^c	8 ^d	4 ^c
Ozone (O₃), µg/m³ (see Chapter 6)	Summer season ^e	60	–	60
	98 % of ½ h mean value for a month	–	100	100
	8h mean value	100 ^c	–	–
	1h mean value	–	120 ^d	120 ^d
Suspended particulates / particulate matter (PM₁₀), µg/m³ (see Chapter 4)	Annual average	15	20	15
	24h mean value	45 ^c	50 ^c	45 ^c
Suspended particulates / particulate matter (PM_{2.5}), µg/m³ (see Chapter 5)	Annual average	5	10	5
	24h mean value	15 ^c	–	15 ^c

^a Ambient air quality standard, which also includes the protection of animals and plants, their biological communities and habitats according to Article 1 paragraph 1 EPA, and corresponds to the state of knowledge when the Air Pollution Control Ordinance was adopted in 1985.

^b Value stipulated in the 2000 WHO AQGs (WHO, 2000) for the protection of forests and other seminatural ecosystems. Valid as an annual average as well as for the winter half-year. (October–March).

^c 99th percentile (i.e. limit value may be exceeded three times per year).

^d May only be exceeded once per year.

^e Average of the maximum daily 8h mean value ozone concentrations in the six consecutive months with the highest six-month average for ozone concentration. For Switzerland, this corresponds to April to September.

Keywords: Air pollution control, Swiss Air Pollution Control Ordinance, Swiss ambient air quality standards, immissions, carbon monoxide CO, particulate matter PM₁₀, particulate matter PM_{2.5}, ozone O₃, sulphur dioxide SO₂, nitrogen dioxide NO₂, black carbon, ultrafine particles UFP, polycyclic aromatic hydrocarbons PAH, metals, oxidative potential of particulate matter OP, WHO Air Quality Guidelines

1 Introduzione

1.1 Situazione iniziale

La **Commissione federale d'igiene dell'aria** (CFIAR), di cui si avvale il Consiglio federale, fornisce consulenza, in qualità di commissione extraparlamentare, al Dipartimento federale dell'ambiente, dei trasporti, dell'energia e delle comunicazioni (DATEC) e all'Ufficio federale dell'ambiente (UFAM) nelle questioni scientifiche e metodologiche di protezione dell'aria e relative agli effetti degli inquinanti atmosferici sull'uomo, sulla flora e la fauna, sulle biocenosi o sui biotopi. La legge federale del 7 ottobre 1983 sulla protezione dell'ambiente (LPAmb; RS 814.01) costituisce la base per i rapporti, le raccomandazioni, i pareri e le proposte che la CFIAR sottopone all'attenzione del Consiglio federale. Uno strumento importante per la protezione dell'aria sancito dalla LPAmb è la definizione di valori limite d'immissione (VLI). Secondo gli articoli 13 e 14 LPAmb, i VLI devono tenere conto anche degli effetti su categorie di persone particolarmente sensibili (p. es. bambini, malati ecc.) e sono stabiliti in modo che, in base alle più recenti conoscenze scientifiche, le esposizioni al di sotto dei VLI non mettano in pericolo l'uomo, la fauna e la flora, nonché le loro biocenosi e i loro biotopi. I VLI in Svizzera sono regolamentati nell'ordinanza del 16 dicembre 1985 contro l'inquinamento atmosferico (OIA; RS 814.318.142.1, stato 1° gennaio 2023).

Contrariamente alla situazione in molti altri Paesi, negli ultimi 30 anni il Consiglio federale ha sempre tenuto in considerazione le evidenze scientifiche in virtù di queste disposizioni contenute nella LPAmb. La CFIAR si è regolarmente espressa in merito allo stato delle conoscenze sulle conseguenze dell'inquinamento atmosferico e ha fornito al Consiglio federale raccomandazioni per la definizione o l'adeguamento dei VLI nell'OIA, da ultimo nel 2013 (CFIAR, 2013) (cfr. cap. 1.2).

1.2 Lavori preliminari

Nel 2013 la CFIAR ha pubblicato il rapporto «Le polveri fini in Svizzera 2013» (CFIAR, 2013) nel quale, sulla base delle evidenze scientifiche in merito alle conseguenze dell'esposizione alle polveri fini sulla salute della popolazione, ha raccomandato quanto segue:

1. Mantenere i VLI a breve e lungo termine sanciti dall'OIA per il PM10 («Particulate Matter»: polveri fini con un diametro aerodinamico uguale o inferiore a 10 µm)¹.
2. Armonizzare i valori limite per le polveri fini con i valori indicativi orientati all'effetto, applicabili su scala globale, dell'Organizzazione mondiale della sanità (OMS) e integrare un valore medio annuo per il PM2.5 nell'allegato 7 OIA.
3. Fissare un obiettivo intermedio vincolante di dieci anni per la riduzione della fuliggine cancerogena al 20 per cento dei valori del 2013.

Le prime due raccomandazioni sono state recepite nell'OIA con effetto a giugno 2018.

Nel rapporto «Le polveri fini in Svizzera 2013», la CFIAR si è anche data l'incarico di valutare nuovamente la situazione della Svizzera dopo circa cinque anni, al fine di chiarire le seguenti domande.

- I. In che misura sono state ridotte le concentrazioni di polveri fini e di fuliggine, anche nei siti inquinati?
- II. Gli adeguamenti dei VLI proposti dalla CFIAR nel 2013 hanno consentito di migliorare la protezione della salute in misura sufficiente?
- III. Sono necessari VLI per la fuliggine o altri parametri per le polveri fini?
- IV. Esistono nuove evidenze per quanto riguarda le conseguenze sulla salute?

Con la decisione dell'OMS di avviare nel 2016 l'aggiornamento delle linee guida sulla qualità dell'aria («Air Quality Guidelines» [AQG]) e con la nomina del presidente della CFIAR in seno al «WHO Guideline

¹ Per il valore limite giornaliero sono ora ammessi tre superamenti anziché uno.

Development Group» incaricato di elaborare le linee guida sulla qualità dell'aria, per la Commissione si è venuta a creare una nuova situazione. La CFIAR ha quindi deciso di lasciare in sospeso l'analisi delle domande formulate nel suo rapporto del 2013 fino alla pubblicazione delle nuove linee guida dell'OMS.

L'elaborazione e la pubblicazione di tali nuove linee guida ha subito forti ritardi per una serie di motivi. Infatti, se da un lato le procedure previste dalla metodologia erano diventate molto più rigorose, più onerose ma anche più trasparenti, dall'altro la pandemia da COVID-19 ha comportato ulteriori ritardi che hanno a loro volta causato un rinvio dell'elaborazione del presente rapporto. La CFIAR ha così potuto esaminare le domande specifiche in un quadro più generale e, nel caso di adeguamenti dei valori indicativi dell'OMS, discuterne contestualmente la rilevanza per la protezione dell'aria in Svizzera.

1.3 Le linee guida sulla qualità dell'aria dell'OMS

Determinazione dei valori indicativi

Le linee guida sulla qualità dell'aria dell'OMS, con i valori indicativi ivi stabiliti, costituiscono un'opera di riferimento riconosciuta a livello internazionale per la determinazione dei VLI. Sebbene la loro finalità primaria sia la protezione della salute, nella pubblicazione del 2000 tengono conto anche delle conseguenze sulla flora e sui biotopi. I valori indicativi dell'OMS hanno sempre rivestito grande importanza per la protezione dell'aria in Svizzera. Le linee guida sono state pubblicate per la prima volta nel 1987 (OMS, 1987) e sono state adeguate allo stato attuale delle conoscenze nel 2000 e nel 2005 (OMS, 2000, 2006). L'edizione del 2005 è stata utilizzata dal Consiglio federale come base per l'ultimo adeguamento dei VLI nel giugno 2018. Su proposta della CFIAR (2013) è stato ora inserito nell'OIAI un valore medio annuo per la frazione fine delle polveri fini (PM_{2.5}: Particulate Matter: polveri fini con un diametro aerodinamico pari o inferiore a 2,5 µm). Il nuovo valore stabilito nel 2018 di 10 microgrammi per metro cubo d'aria (µg/m³) corrisponde al valore indicativo dell'OMS allora vigente.

Nel settembre 2021 l'OMS ha pubblicato le nuove raccomandazioni sulla qualità dell'aria, applicabili su scala globale (OMS, 2021). Le linee guida sulla qualità dell'aria dell'OMS sono state formulate con compiti e competenze definiti nell'ambito di una rigorosa procedura che ha visto il coinvolgimento di diversi gruppi di esperti (cfr. cap. 2). In linea con il primato della protezione della salute e sulla base delle evidenze scientifiche, i valori indicativi per polveri fini, diossido di azoto (NO₂), ozono (O₃), monossido di carbonio (CO) e diossido di zolfo (SO₂) sono stati quindi adeguati a una metodologia rigorosa. In tale contesto, l'OMS si è concentrata su un numero limitato di conseguenze sulla salute chiaramente attestate dal punto di vista scientifico, che risultano sufficienti ai fini della protezione della salute. Non appena una conseguenza sulla salute è scientificamente dimostrata, è possibile discutere la definizione di un valore indicativo che protegga da qualsiasi effetto dannoso. Per tale motivo l'OMS ha potuto focalizzarsi su sei revisioni sistematiche, senza valutare tutte le altre conseguenze sulla salute.

Nell'ambito di tali studi sono stati indagati gli effetti dell'esposizione a lungo termine (mesi, anni) agli inquinanti atmosferici polveri fini, NO₂ e O₃, nonché dell'esposizione a breve termine (ore, giorni) a polveri fini, NO₂, O₃, SO₂ e CO, su mortalità, affezioni acute delle vie respiratorie e infarti cardiaci, attingendo alla vasta letteratura scientifica disponibile su scala globale su questo argomento (Chen & Hoek, 2020; Huangfu & Atkinson, 2020; Lee et al., 2020; Orellano et al., 2021; Orellano et al., 2020; Zheng et al., 2021).

Sulla base dei risultati, il team scientifico incaricato dall'OMS e formato da esperti provenienti da tutti i continenti ha valutato le evidenze relative alle correlazioni indagate e ne ha ricavato i valori indicativi applicando una procedura trasparente appositamente elaborata per ogni inquinante considerato. La procedura per la determinazione dei valori indicativi è illustrata nell'allegato A.

Il gruppo di esperti dell'OMS è partito dal presupposto che i valori indicativi debbano essere stabiliti in modo da evitare ripercussioni dannose sulla salute. L'approccio alternativo, che contempla un massimo rischio accettabile per la definizione dei valori indicativi, è stato respinto come in passato. Si è quindi dovuto innanzitutto accertare se la scienza indica valori soglia (o soglie di intervento) al di sotto dei quali non sono osservabili conseguenze sulla salute. Il collegio è così giunto alla conclusione che nell'intervallo di concentrazioni preso in esame non esistono valori soglia sicuri per nessuno degli inquinanti considerati. In un secondo momento sono state individuate le concentrazioni più basse riportate negli studi disponibili, per le quali fosse possibile derivare effetti dannosi in maniera affidabile. I livelli di inquinamento più bassi considerati in questi recenti studi sono stati determinanti per ricavare i nuovi valori indicativi a lungo termine (valori medi annui raccomandati).

Diversamente da quelli a lungo termine, i valori indicativi a breve termine (p. es. valori medi giornalieri) non definiscono l'esposizione minima con conseguenze dimostrabili, bensì una concentrazione che dovrebbe essere superata al massimo una volta (ozono) o tre volte (tutti gli altri inquinanti) nell'arco di un anno. Per la fissazione dei valori indicativi a breve termine è stato pertanto adottato un nuovo metodo che mira a raggiungere una coincidenza statistica tra la frequenza dei superamenti del valore indicativo a breve termine e il valore indicativo a lungo termine rilevato dagli studi. In tal modo il rispetto della frequenza massima tollerata di superamenti dei valori indicativi a breve termine garantisce il rispetto dei valori indicativi a lungo termine, e viceversa.

I criteri adottati dall'OMS per definire le linee guida sulla qualità dell'aria si sovrappongono quindi, per quanto riguarda la protezione della salute della popolazione, alle disposizioni della LPAmb in materia di VLI.

I valori indicativi dell'OMS e le raccomandazioni di intervento

Sulla base delle evidenze disponibili e dell'applicazione coerente dei metodi di determinazione, l'OMS (2021) raccomanda i valori indicativi mostrati nella tabella 2 per le esposizioni a breve e lungo termine agli inquinanti «classici»: polveri fini (PM10 e PM2.5), diossido di azoto (NO₂), ozono (O₃), diossido di zolfo (SO₂) e monossido di carbonio (CO). Propone inoltre una serie di obiettivi intermedi. I Paesi con una pessima qualità dell'aria possono così perseguire una politica contro l'inquinamento atmosferico che si avvicini progressivamente all'obiettivo effettivo di qualità dell'aria e attestare i loro risultati intermedi.

Per le componenti delle polveri fini fuliggine (*Black Carbon*), particelle ultrafini e polveri sahariane, l'OMS formula inoltre raccomandazioni di intervento, le cosiddette «buone pratiche», che sono riassunte nei capitoli corrispondenti.

Le nuove linee guida sulla qualità dell'aria e le relative buone pratiche dell'OMS, nonché le domande aperte formulate nel rapporto sulle polveri fini della CFIAR del 2013, costituiscono il quadro di riferimento per il presente rapporto della CFIAR e le relative raccomandazioni.

Tabella 2: Valori indicativi delle linee guida sulla qualità dell'aria 2021 (AQG) dell'OMS e obiettivi intermedi (*Interim Targets*), raccomandati nelle linee guida sulla qualità dell'aria 2005 (OMS, 2006) e 2021 (OMS, 2021) dell'OMS, nonché valori limite d'immissione attualmente validi dell'OIAI (stato 1° gennaio 2023).

Inquinante	Unità di tempo per il calcolo del valore medio	AQG 2005 OMS	Obiettivi intermedi OMS 2021				AQG 2021 OMS	OIAI attuale
			1	2	3	4		
PM2.5, µg/m³	Anno	10	35	25	15	10	5	10
	24 ore ^a	25	75	50	37,5	25	15	–
PM10, µg/m³	Anno	20	70	50	30	20	15	20
	24 ore ^a	50	150	100	75	50	45	50
Ozono, µg/m³	Stagione estiva ^b	–	100	70	–	–	60	–
	8 ore ^a	100	160	120	–	–	100	–
	1 ora						–	120 ^c
	98 % dei valori medi su ½ h di un mese						–	100
NO₂, µg/m³	Anno	40	40	30	20	–	10	30
	24 ore	200 (1-h) ^a	120	50	–	–	25^a	80 ^c
	95 % dei valori medi su ½ h di un anno						–	100
SO₂, µg/m³	Anno	20 ^d					–	30 ^e
	24 ore	20	125	50	–	–	40^a	100 ^c
	95 % dei valori medi su ½ h di un anno						–	100
CO, mg/m³	24 ore	–	7	–	–	–	4^a	8 ^c

^a 99° percentile (ossia tre superamenti all'anno consentiti).

^b Media dei valori medi giornalieri massimi su 8 ore della concentrazione di ozono nei sei mesi consecutivi con la concentrazione di ozono più elevata sulla media semestrale. Per la Svizzera si tratta del periodo aprile–settembre.

^c Può essere superato al massimo una volta all'anno.

^d Valore delle linee guida sulla qualità dell'aria 2000 dell'OMS (OMS, 2000), determinato per la protezione dei boschi e di altri ecosistemi prossimi allo stato naturale. Si applica come valore medio annuo e anche per il semestre invernale (ottobre–marzo).

^e Valore limite d'immissione che comprende anche la protezione della flora e della fauna, delle loro biocenosi e dei loro biotopi secondo l'articolo 1 capoverso 1 e l'articolo 14 lettera a LPAmb e corrisponde allo stato delle conoscenze al momento dell'emanazione dell'OIAI nel 1985.

1.4 Effetti dell'inquinamento atmosferico sulla salute

La ricerca relativa alle conseguenze sulla salute dell'inquinamento atmosferico è molto vasta e il numero delle pubblicazioni scientifiche su questo tema è in continuo aumento. Per la Svizzera sono rilevanti soprattutto le nuove evidenze sulla varietà delle conseguenze sulla salute, sui meccanismi di azione e sugli effetti sulla salute delle esposizioni al di sotto dei VLI vigenti, oggi comunemente riscontrate nel Paese.

Effetti accertati sulla salute

Oltre alle conseguenze degli inquinanti atmosferici sui polmoni, la ricerca indaga anche altri aspetti legati alla salute, come per esempio le ripercussioni sul sistema cardiovascolare, sul feto, sul metabolismo o gli effetti neurocognitivi in età infantile e adulta. L'inquinamento atmosferico può infatti agire in modi molto diversi in tutte le fasi di vita, dalla condizione prenatale all'infanzia fino alla vecchiaia. Inoltre la vulnerabilità agli inquinanti atmosferici può essere accresciuta non solo dall'età, ma anche dallo stato di salute. Brevi studi rilevanti per la Svizzera sono stati pubblicati nel 2014 e nel 2019 (Felber Dietrich, 2014; Kutlar Joss et al., 2019).

Il Centro di documentazione sull'inquinamento atmosferico e la salute (LUDOK) presso l'Istituto tropicale e di salute pubblica svizzero ha presentato un quadro riepilogativo degli effetti accertati sulla salute (Swiss TPH, 2022), che si basa sulle valutazioni di gruppi di esperti riassunte nell'«*Integrated Science Assessment*» (ISA) dell'autorità statunitense per l'ambiente (U.S. EPA, 2010, 2016, 2017, 2019, 2020). Nell'ISA, il grado di evidenza della correlazione causale tra esposizione agli inquinanti e danni specifici alla salute è suddiviso in categorie che raggruppano le conseguenze «causali» e «probabilmente causali»² degli inquinanti. Le conseguenze sulla salute sono disponibili come [infografica interattiva](#) (cfr. anche fig. 1).

² La U.S. EPA considera come «probabilmente causali» (*likely causal*) le correlazioni che in studi di alta qualità non possono essere spiegate con risultati casuali, fattori di perturbazione o altre distorsioni. In tutte le evidenze permane tuttavia un determinato grado di incertezza, ad esempio, quando negli studi di osservazione viene individuata una correlazione con l'inquinante ma l'influenza di altri inquinanti non può essere chiaramente esclusa, oppure quando i meccanismi di azione o i risultati di studi sperimentali sull'uomo o sugli animali sono limitati o incoerenti, o ancora quando studi sperimentali di alta qualità sugli animali evidenziano effetti sugli animali, ma i dati della ricerca sperimentale o epidemiologica sull'uomo sono assenti o limitati (cfr. U.S. EPA. (2015). *Preamble to the Integrated Science Assessments*. <https://cfpub.epa.gov/ncea/isa/recordisplay.cfm?deid=310244>). In linea con il principio di precauzione, si desume quindi una necessità d'intervento per la protezione della salute anche nel caso di correlazioni «probabilmente causali».

A breve termine



Vie respiratorie

Sintomi respiratori, ad es. respiro sibilante		●	●		
Peggioramento della malattia, più sintomi o farmaci nei pazienti con asma	●	●	●	●	
Funzione polmonare ridotta nei pazienti con asma			●	●	
Peggioramento della malattia o più sintomi in pazienti con COPD	●				
Funzione polmonare ridotta	●	●		●	
Inflammatione delle vie aeree, reazione infiammatoria	●	●			

Sistema cardiovascolare

Iperensione arteriosa	●				
Variabilità della frequenza cardiaca	●				

Metabolismo/sistema immunitario

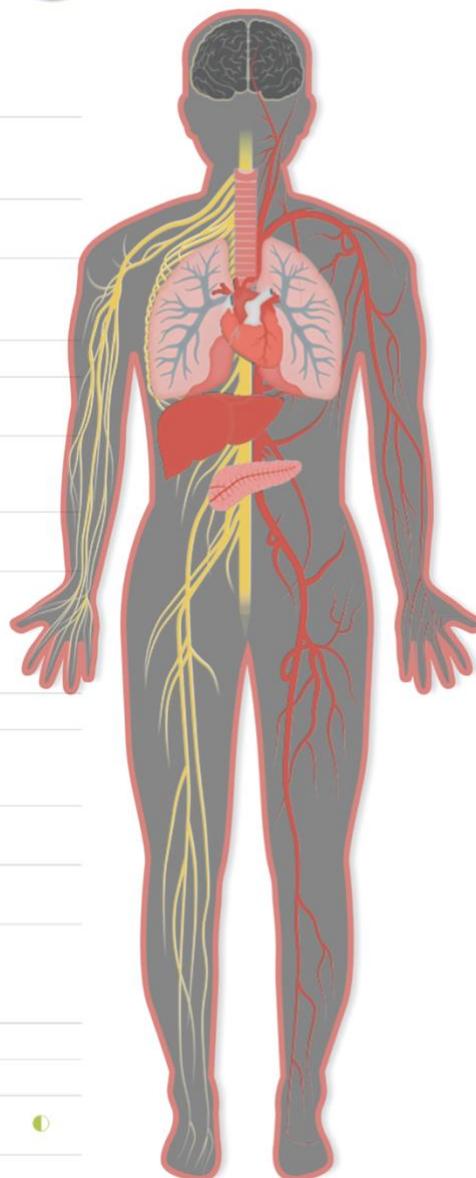
Disturbi/malattie del metabolismo degli zuccheri e dei grassi (ad es. diabete)		●			
Difesa immunitaria ridotta	●				

Mortalità

Mortalità dovuta a malattia	●				
Mortalità dovuta a malattie cardiovascolari	●				
Mortalità a causa di malattie respiratorie	●		●	●	

Emergenze

Emergenze a causa di malattie respiratorie	●	●			
Emergenze a causa di asma		●	●	●	
Emergenze a causa di COPD	●	●			
Emergenze a causa di malattie cardiovascolari	●				●



Causalità: ● causale ● probabilmente causale

A lungo termine



Vie respiratorie

	Polveri sottili	Ozono	Diossido di azoto
Asma	●	●	●
Sintomi respiratori, ad es. respiro sibilante	●		
Peggioramento della malattia, più sintomi o farmaci nei pazienti con asma	●	●	●
Più sintomi per chi soffre di allergie		●	
Bronchite cronica			●
Funzione polmonare ridotta	●		●
Crescita polmonare ridotta	●		●
Riduzione accelerata della funzione polmonare	●		
Bronchite	●		
Inflammatione delle vie aeree, reazione infiammatoria	●		
Sviluppo di cancro ai polmoni	●		

Sistema cardiovascolare

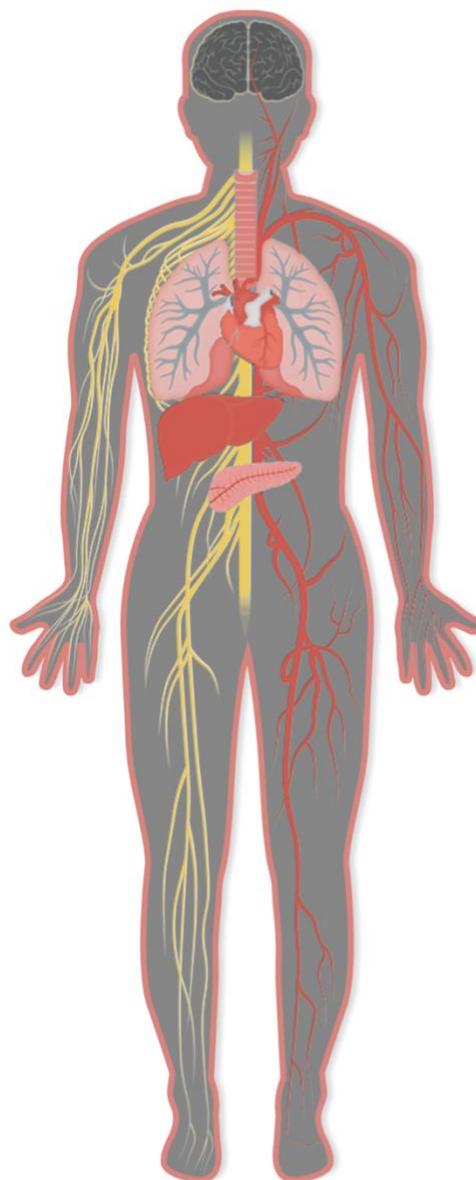
Arteriosclerosi	●
Ipertensione arteriosa	●
Variabilità della frequenza cardiaca	●
Coagulazione del sangue	●

Sistema nervoso

Volume del cervello (massa bianca) ridotto	●
Diminuzione delle prestazioni cognitive (demenza)	●

Mortalità

Mortalità dovuta a malattia	●
Mortalità dovuta a malattie cardiovascolari	●
Mortalità a causa di malattie respiratorie	●
Mortalità: asma	●
Mortalità: COPD	●
Mortalità: cancro ai polmoni	●
Mortalità: infezioni delle vie respiratorie	●



Causalità: ● causale ● probabilmente causale

Figura 1: Effetti sulla salute causali e probabilmente causali che presentano una correlazione con l'impatto a breve e lungo termine degli inquinanti atmosferici (Swiss TPH, 2022).

Meccanismi di azione

Un ruolo importante rivestono le nuove evidenze approfondite sui meccanismi di azione biologici e biochimici degli inquinanti, che spiegano le correlazioni osservate con la salute. Nell'ambito di una revisione sistematica sono stati descritti i principali meccanismi di azione a livello cellulare (Peters et al., 2021).

È così emerso che la responsabilità degli effetti osservati è da ricercarsi principalmente nello stress ossidativo e nella disfunzione mitocondriale, nelle alterazioni genetiche ed epigenetiche e nelle reazioni infiammatorie sistemiche, così come nelle ripercussioni sul sistema nervoso, laddove la rilevanza e l'interazione di tali effetti può variare a seconda dell'inquinante o del mix di inquinanti, del contesto temporale (azione a breve o lungo termine) e delle condizioni individuali (fig. 2).

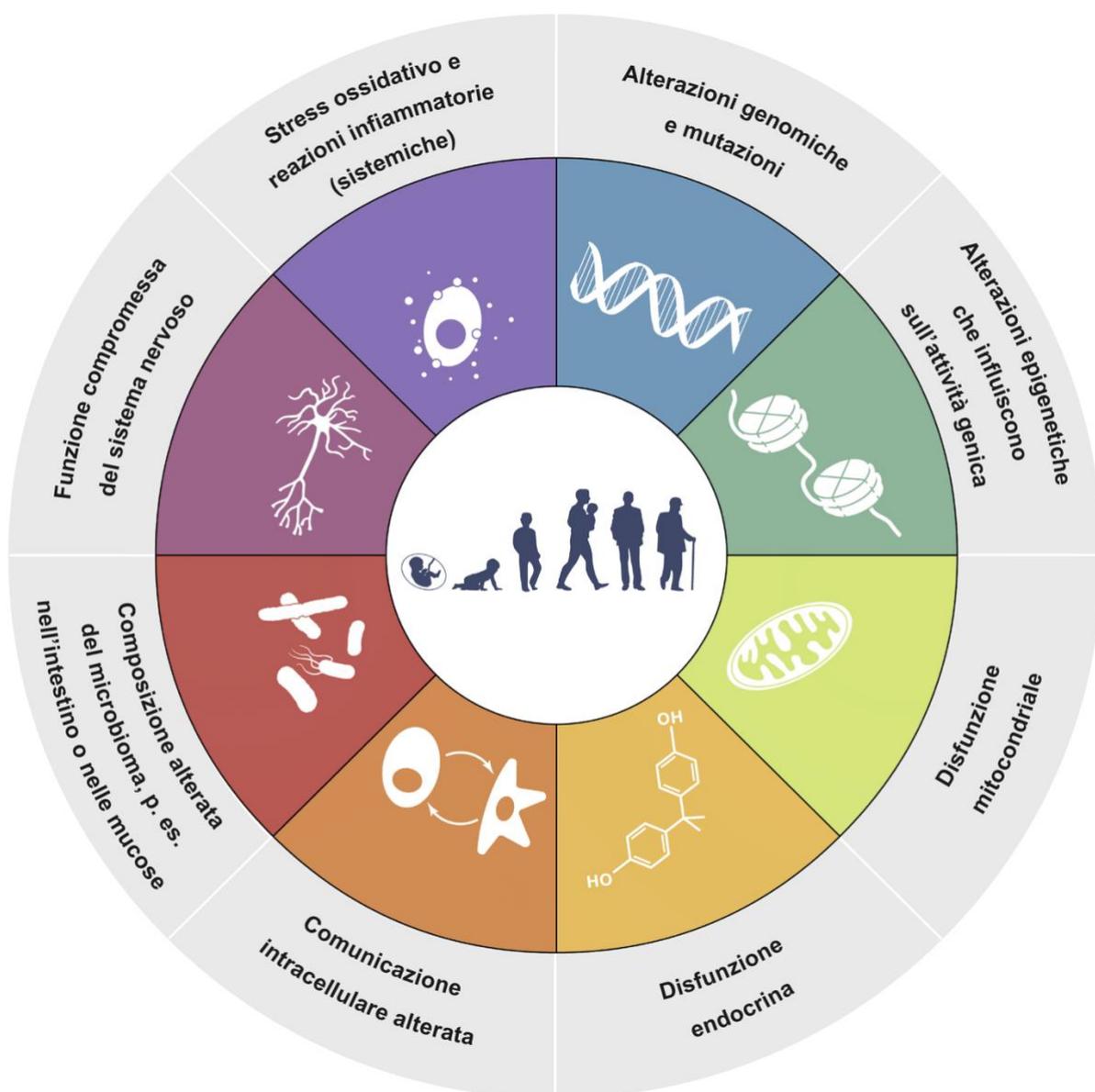


Figura 2: Panoramica dei meccanismi di azione noti che possono essere innescati dai carichi ambientali (Peters et al., 2021).

Soglie d'intervento

Alla luce del sensibile calo dell'inquinamento atmosferico in Svizzera, la questione delle soglie di intervento riveste grande importanza nella determinazione dei valori limite. Chiare indicazioni sulle concentrazioni soglia non dannose mancavano già nella definizione delle linee guida sulla qualità dell'aria 2005 dell'OMS e dei VLI sanciti dall'OIAAt. Del resto, gli studi allora disponibili non contenevano dati sull'intervallo di concentrazione più basso. Come in tutti gli studi dell'epoca, all'inizio dei progetti di ricerca svizzeri SCARPOL su bambini e ragazzi e della coorte di adulti tuttora esistente SAPALDIA, i valori limite erano superati anche nelle regioni di studio meno inquinate. Nel frattempo le cose sono molto cambiate. Gli studi a lungo termine centrali per la valutazione delle evidenze (ossia gli studi di coorte) sono fortemente cresciuti non solo in termini numerici. Grazie alla collaborazione globale tra grandi consorzi di studio, anche con la partecipazione svizzera, possono accedere ai dati di enormi popolazioni di studio formate da centinaia di migliaia di persone. Inoltre, il fatto che ampie fette di queste popolazioni di studio vivano in regioni poco inquinate consente alla ricerca di quantificare le interazioni in situazioni di inquinamento molto basso.

Come menzionato in precedenza, per determinare i valori indicativi, l'OMS deve dapprima valutare la possibilità di definire soglie d'intervento in base alla letteratura scientifica. Sebbene negli ultimi studi disponibili siano indagati anche intervalli di esposizione molto bassi, non risulta possibile individuare alcuna soglia d'intervento. La figura 3 illustra tale situazione sull'esempio della correlazione tra l'esposizione a lungo termine al PM_{2.5} e il rischio di decesso nella coorte Medicare americana (Di et al., 2017). La relazione esposizione/effetto pressoché lineare nell'intervallo di concentrazione basso non fornisce alcuna indicazione su una soglia d'intervento. Non risulta cioè possibile individuare concentrazioni al di sotto delle quali non si manifestino danni. Negli studi disponibili, l'OMS ha pertanto identificato come nuovo valore indicativo la concentrazione all'estremità inferiore dell'intervallo di esposizione per la quale sono individuabili effetti sulla salute (5° percentile dell'esposizione). Su tale base, il valore indicativo dell'OMS per il valore medio annuo delle polveri fini PM_{2.5} è stato quindi ridotto da 10 a 5 µg/m³ (cfr. all. A.1). Lo studio europeo ELAPSE è stato pubblicato solo dopo le linee guida sulla qualità dell'aria dell'OMS. Con oltre 28 milioni di partecipanti delle coorti europee, tra cui anche la «Swiss National Cohort», tale studio conferma effetti al di sotto dell'attuale valore limite svizzero di 10 µg/m³ (Stafoggia et al., 2022). Gli studi attualmente disponibili non consentono di formulare affermazioni sulle conseguenze sulla salute di concentrazioni inferiori a questo nuovo valore indicativo.

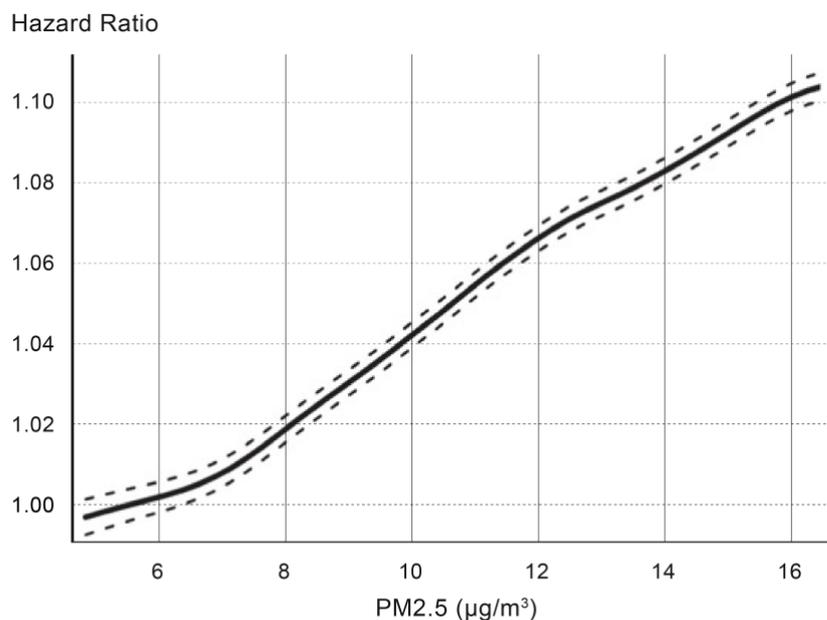


Figura 3: Relazione esposizione/effetto (linea continua con linee tratteggiate a indicare l'intervallo di confidenza superiore e inferiore) del rapporto di rischio di decesso (*Hazard Ratio*, HR) con l'esposizione a lungo termine al PM2.5 nello studio di coorte Medicare americano (Di et al., 2017). Anche con valori medi annui inferiori a 10 µg/m³ sussiste un rischio di decesso aggiuntivo determinato dal PM. Più alta è l'esposizione e più elevato è il rischio di decesso.

2 Obiettivi e struttura del rapporto

Il presente rapporto persegue tre obiettivi superiori. Innanzitutto intende valutare se lo stato attuale delle conoscenze in merito alle conseguenze sulla salute e i nuovi valori indicativi dell'OMS definiti su tale base rendano necessario un adeguamento dei VLI svizzeri. In secondo luogo risponde alle domande sollevate nel rapporto della CFIAR «Le polveri fini in Svizzera 2013», in particolare per quanto riguarda la necessità di VLI per ulteriori inquinanti, e in terzo luogo definisce raccomandazioni corrispondenti all'attenzione del Consiglio federale.

I capitoli seguenti (4–13) offrono una panoramica delle raccomandazioni della CFIAR, delle fonti di emissioni, delle conseguenze sulla salute e della situazione delle immissioni in Svizzera per gli inquinanti esaminati. L'ordine degli inquinanti segue la successione in cui sono trattati nelle linee guida sulla qualità dell'aria dell'OMS. Il rispetto dei VLI attuali (OIA) e dei nuovi valori indicativi della qualità dell'aria 2021 dell'OMS viene discusso alla luce dei valori misurati dalla Rete nazionale d'osservazione degli inquinanti atmosferici (NABEL). Il concetto dei tipi di stazioni di misurazione applicato per la rete NABEL consente una valutazione rappresentativa dell'esposizione in Svizzera, ma non tiene conto degli hotspot locali. In alcuni casi si utilizzano anche valori misurati in ambito cantonale. Viene inoltre indicato se per gli inquinanti trattati esistono metodi di misurazione di riferimento riconosciuti a livello internazionale, essendo questo un requisito imprescindibile per i VLI.

Oltre agli inquinanti elencati nella tabella 1, per i quali l'OMS ha definito valori indicativi, si discutono anche le istruzioni operative dell'OMS, le cosiddette «buone pratiche», per polveri ultrafini, fuliggine ed eventi di polveri sahariane nel contesto svizzero. Dando seguito alle domande sollevate nell'ultimo rapporto sulle polveri fini, ci si sofferma inoltre sugli idrocarburi policiclici aromatici (IPA), sui metalli e sul potenziale ossidativo (PO) delle polveri fini. Nel capitolo 14, la CFIAR presenta una prospettiva per il futuro in cui riassume ancora una volta tutte le sue raccomandazioni.

Nell'allegato B, in una tabella riepilogativa (tab. 15), sono mostrati i contributi delle diversi fonti di emissioni di inquinanti e sono fornite inoltre informazioni integrative sulla definizione dei valori indicativi dell'OMS, nonché maggiori informazioni e presentazioni sugli inquinanti esaminati. In tutte le tabelle riepilogative, gli inquinanti sono elencati nello stesso ordine dell'OIA per consentire la comparabilità (tab. 10).

3 Base delle raccomandazioni della CFIAR

Per le sue raccomandazioni, la CFIAR si orienta al summenzionato mandato legale della LPAmb. Conformemente a questa legge, il Consiglio federale stabilisce valori limite d'immissione per gli inquinanti atmosferici, secondo lo stato delle conoscenze, per la protezione dell'uomo e dell'ambiente. I VLI devono essere definiti in modo che le immissioni al di sotto di tali valori non mettano in pericolo l'uomo, la fauna e la flora, le loro biocenosi e i loro biotopi.

Per definire le linee guida sulla qualità dell'aria 2021, l'OMS ha analizzato attentamente lo stato attuale delle conoscenze, riassumendole e utilizzandole come base per le sue raccomandazioni. I criteri adottati dall'OMS per determinare i valori indicativi nel settore della protezione della salute si sovrappongono quindi alle disposizioni dell'articolo 14 della LPAmb per la definizione dei VLI. Dopo un'analisi approfondita della documentazione scientifica messa a disposizione dall'OMS, la CFIAR recepisce pertanto nelle proprie raccomandazioni, nella maggior parte dei casi, i valori indicativi proposti dall'OMS. Include inoltre nella propria valutazione la protezione degli ecosistemi.

4 Polveri fini PM10

4.1 Raccomandazioni della CFIAR per il PM10

La CFIAR raccomanda di ridurre i valori limite d'immissione per le polveri fini PM10 a 15 µg/m³ per il valore medio annuo e a 45 µg/m³ per il valore medio giornaliero, tenendo così in considerazione l'obiettivo di protezione della LPAmb e le raccomandazioni dell'OMS.

Tabella 3: Valori indicativi a lungo e breve termine delle linee guida sulla qualità dell'aria 2021 (AQG) dell'OMS per il PM10 a confronto con i valori limite d'immissione (VLI) sanciti dall'OIAI e raccomandazioni della CFIAR.

Inquinante	Unità di tempo per il calcolo del valore medio	AQG OMS	VLI OIAI	Raccomandazione CFIAR
PM10, µg/m ³	Anno	15	20	15
	24 ore ^a	45	50	45

^a 99° percentile (ossia tre giorni di superamento all'anno consentiti).

4.2 Fonti di PM10

Le polveri fini sono una miscela complessa di svariati componenti chimici con caratteristiche ed effetti diversi. Sono generate da una varietà di fonti e di processi. Fonti di PM10 sono in particolare le attività industriali e commerciali, i trasporti e gli impianti a legna. Le polveri fini sono composte da una frazione primaria, emessa direttamente sotto forma di particolato, e dalle cosiddette polveri fini secondarie che si formano solo nell'aria a seguito delle reazioni chimiche di gas precursori. Queste polveri fini secondarie costituiscono circa la metà del PM10 complessivo e presentano una distribuzione spaziale fortemente omogenea in virtù della dispersione dei gas precursori e del tempo necessario per la formazione. Nei siti in prossimità delle fonti si registra un incremento delle concentrazioni di polveri fini primarie. Sulle strade con traffico intenso si tratta di polveri di origine minerale sollevate dal suolo, polveri di frenata, di abrasione delle strade e degli pneumatici nonché fuliggine. Nelle regioni in cui sono presenti molti impianti a legna si misurano concentrazioni elevate di aerosol organici di combustione e fuliggine (CFIAR, 2007, 2013). Maggiori informazioni sulla composizione e sulle fonti delle polveri fini PM10 sono reperibili nell'allegato C. Nella misura della frazione di polveri fini PM10 sono incluse anche le polveri fini più piccole, ossia il PM2.5, trattate nel prossimo capitolo.

4.3 Conseguenze delle polveri fini sulla salute

Dal punto di vista qualitativo, gli effetti del PM10 e del PM2.5 sono in gran parte simili. Per tale motivo, in questa sede vengono descritte le conseguenze di entrambe le frazioni di polveri fini (PM10 e PM2.5, cfr. anche [CFIAR, 2013], fig. 1 nell'all. C e fig. 41 nell'all. I.1).

Un incremento a breve termine del carico di polveri fini fa aumentare il numero di decessi, consultazioni di emergenza e ricoveri in ospedale per affezioni cardiovascolari e malattie respiratorie, mentre un incremento a lungo termine contribuisce all'insorgenza di patologie non trasmissibili come affezioni cardiovascolari o malattie neurodegenerative (demenza). Esistono indicazioni che l'esposizione alla frazione più grossolana di polveri fini, vale a dire le particelle con un diametro aerodinamico compreso tra 2,5 e 10 µm, a prescindere dal PM2.5, è associata a conseguenze acute per la salute quali,

soprattutto, affezioni delle vie respiratorie, consulti di emergenza per attacchi d'asma e mortalità (cfr. CFIAR, 2013, pp., all. 2; Liu et al., 2022).

Secondo il quadro generale dell'OMS, le conseguenze dell'esposizione a lungo termine alle polveri fini sono osservabili anche a fronte di bassi livelli di inquinamento. Come esemplificato nella figura 3 (cap. 1.4), il rischio aumenta continuamente man mano che l'esposizione cresce. Poiché spesso gli studi più recenti nelle regioni con un basso livello di inquinamento si concentrano solo sul PM2.5, le conseguenze sulla salute delle basse concentrazioni di PM10 sono descritte con minore frequenza. La figura 1 offre una panoramica delle conseguenze a breve e medio termine attualmente accertate delle polveri fini e può essere consultata in maniera interattiva [nella pagina Internet di LUDOK](#) (cfr. anche fig. 41 nell'all. I.1).

4.4 Evoluzione del carico di PM10 in Svizzera

Come mostrato nella figura 4, l'inquinamento da PM è in continua diminuzione da decenni. Esiste una forte correlazione anche tra valori a breve e a lungo termine. Se il numero massimo consentito di superamenti del valore a breve termine viene rispettato, si può considerare rispettato anche il valore medio annuo e viceversa (cfr. all. C.2).

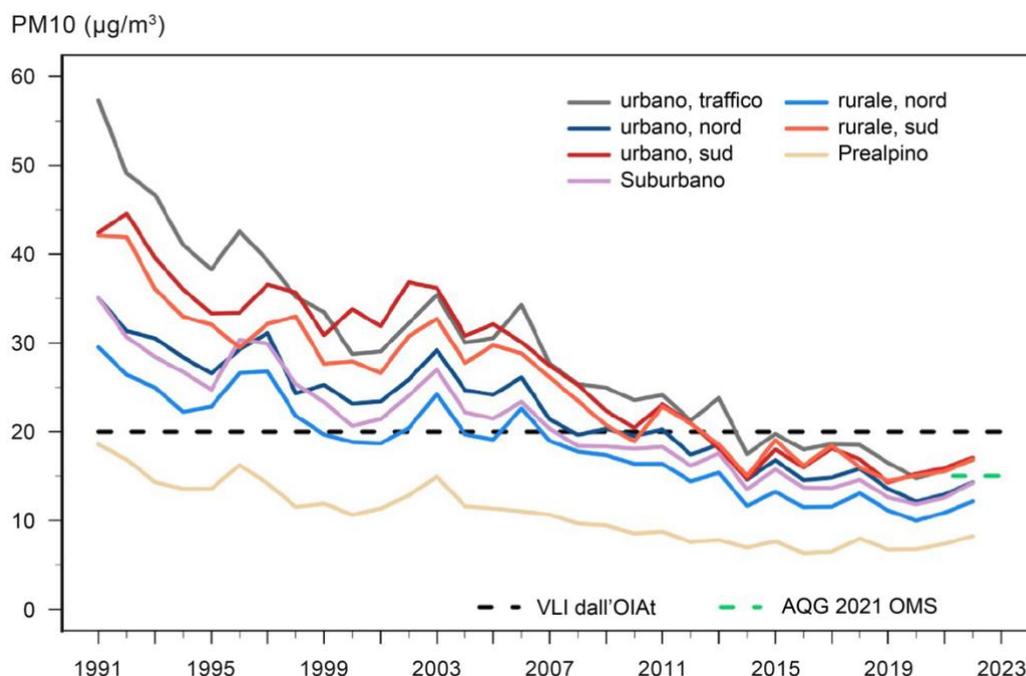


Figura 4: Valori medi annui di polveri fini PM10 nel periodo 1991–2022 per tipo di stazione di misurazione.

4.5 Rispetto dei VLI e dei nuovi valori indicativi dell'OMS per il PM10

I VLI attualmente vigenti sono rispettati?

Il valore limite d'immissione di $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ per il valore medio annuo di PM10 è rispettato da diversi anni in tutte le stazioni della rete di misurazione NABEL (cfr. fig. 4). Il valore limite d'immissione per il valore medio giornaliero è superato solo in pochi casi, principalmente sul versante meridionale delle Alpi e negli anni con eventi di polveri sahariane frequenti e intensi (fig. 5). Occorre tenere presente che secondo l'OIAt sono ammessi fino a tre giorni con immissioni superiori a $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Numero di valori medi giornalieri di PM10 > $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$

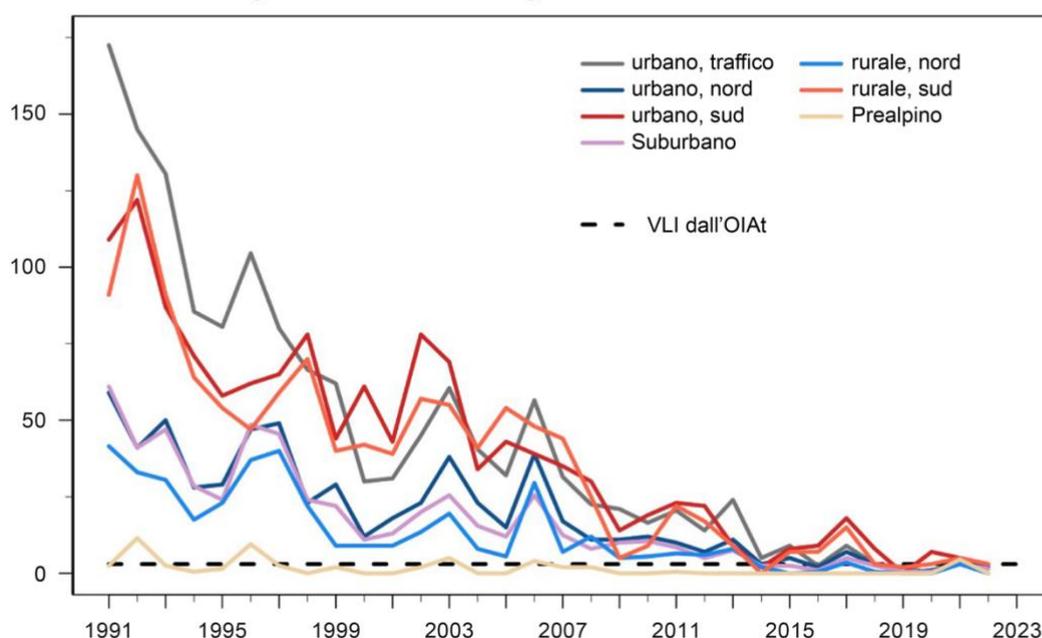


Figura 5: Evoluzione del numero dei valori medi giornalieri di PM10 superiori a $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ nel periodo 1991–2022.

La linea tratteggiata corrisponde al VLI sancito dall'OIAt, che consente tre superamenti all'anno.

I nuovi valori indicativi dell'OMS sono già rispettati in Svizzera?

L'OMS raccomanda come valore indicativo $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ per il valore medio annuo e $45 \mu\text{g}/\text{m}^3$ per il valore medio giornaliero. Tenendo conto dei dati misurati a livello cantonale e urbano è possibile determinare la mappa dell'inquinamento dovuto alle immissioni mostrata nella figura 6 per il valore medio annuo 2021. Le zone colorate di azzurro e di verde rispettano il nuovo valore indicativo medio annuo ($15 \mu\text{g}/\text{m}^3$). La figura 7 mostra il numero di superamenti del nuovo valore indicativo medio giornaliero ($45 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Nel 2021, diversamente dagli anni precedenti, tale valore è stato superato nella maggior parte dei siti di misurazione più delle tre volte consentite, a causa dei frequenti e intensi eventi di polveri sahariane che hanno caratterizzato l'annata.

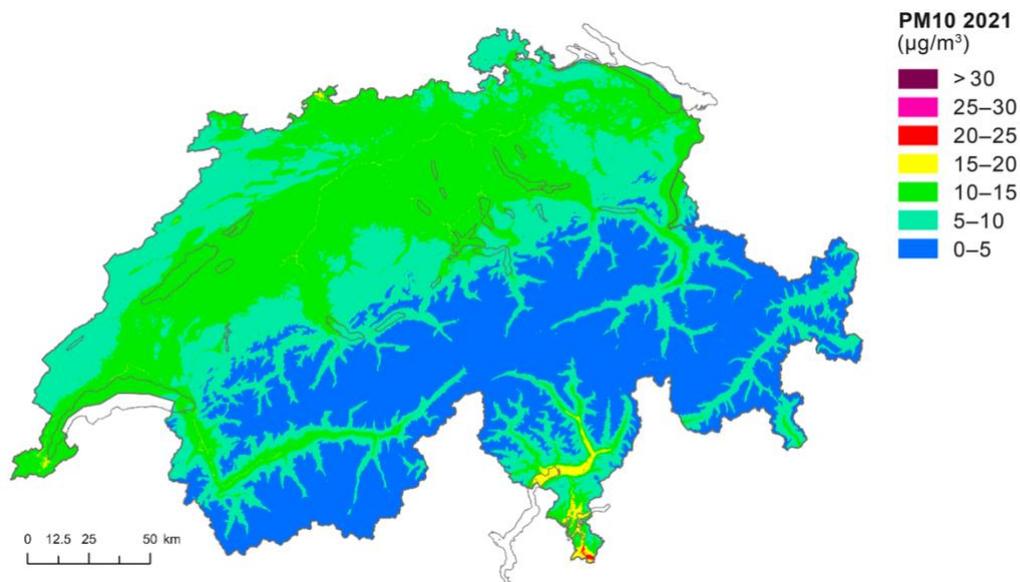


Figura 6: Mappa delle immissioni per il valore medio annuo delle polveri fini PM10 per il 2021.

I codici colore di questa modellizzazione spaziale che tiene conto delle misurazioni delle immissioni mostrano nei toni dell'azzurro e del verde le zone in cui il nuovo valore indicativo dell'OMS ($15 \mu\text{g}/\text{m}^3$) è già rispettato; le zone nei toni del giallo superano il valore indicativo dell'OMS ma rispettano il VLI attualmente vigente (media annua) sancito dall'OIA. I toni del rosso indicano le zone con superamenti del VLI.

Numero di valori medi giornalieri di PM10 > $45 \mu\text{g}/\text{m}^3$

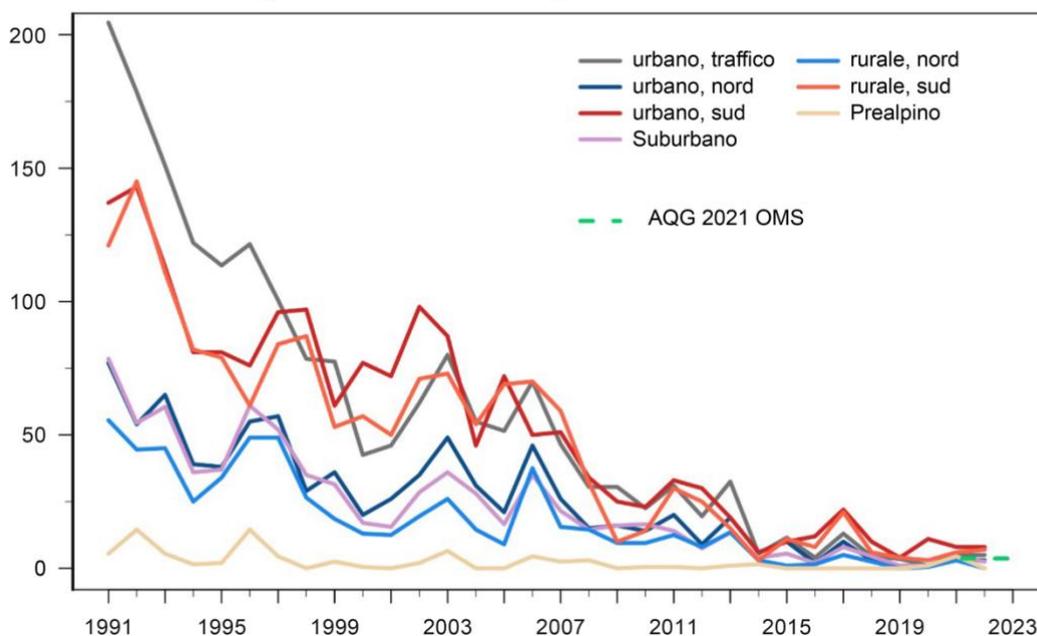


Figura 7: Evoluzione del numero dei valori medi giornalieri di PM10 superiori a $45 \mu\text{g}/\text{m}^3$ nel periodo 1991–2022.

La linea tratteggiata corrisponde al valore indicativo dell'OMS, che consente tre superamenti all'anno.

Dove si registrano le immissioni superiori ai nuovi valori indicativi dell'OMS? Quali fonti o fattori d'influenza caratterizzano questi siti?

Come mostrano le figure 6 e 7, i nuovi valori indicativi non sono ancora rispettati in tutti i siti. Le aree urbane, a causa della loro alta densità demografica, di edifici e di utilizzazione del suolo, presentano emissioni dei trasporti e dell'industria più elevate e quindi anche una maggiore esposizione agli inquinanti. La formazione di polveri fini secondarie dai gas precursori ossidi di azoto (trasporti), ammoniaca (allevamento agricolo) e composti organici volatili (industria, impianti di riscaldamento a legna, attività commerciali e solventi) avviene in modo più uniforme a livello territoriale e non presenta praticamente differenze da una località all'altra. In generale, la loro concentrazione è inferiore alle quote più elevate, ad eccezione dei luoghi che presentano un maggior numero di impianti di riscaldamento a legna. A queste quote possono verificarsi superamenti del valore limite giornaliero dovuti a eventi di polveri sahariane.

Un aumento a breve termine delle immissioni di polveri fini può essere causato da un ricambio d'aria limitato che in determinate condizioni meteorologiche rende più difficile la diluizione degli inquinanti (come p. es. condizioni di inversione termica o inversioni mattutine nelle valli alpine). Le località maggiormente colpite sono quelle che presentano un elevato volume di traffico o numerosi impianti di riscaldamento a legna, combinati con una topografia sfavorevole. I superamenti dei valori indicativi di PM10 interessano dunque prevalentemente il versante meridionale delle Alpi e le stazioni di misura urbane e in corrispondenza di zone di traffico.

Le emissioni imputabili ai gas di scarico continueranno a diminuire grazie all'inasprimento delle prescrizioni in materia e all'auspicata elettrificazione della flotta di veicoli. Permane tuttavia l'inquinamento da polveri fini causato dall'abrasione di pneumatici, rotaie, polveri di frenata e di usura dei rivestimenti stradali o dalle polveri stradali sollevate dal suolo. Queste emissioni non imputabili ai gas di scarico rappresentano già oggi oltre il 50 per cento delle emissioni di polveri fini primarie dei trasporti e contengono tra l'altro metalli come il rame e il ferro (cfr. cap. 13.2). Per ridurle servono provvedimenti più estesi di natura tecnica e organizzativa.

Esistono metodi di misurazione di riferimento riconosciuti a livello internazionale?

Sì: SN EN 12341:2014 e SN EN 16450:2017 (SN EN, 2014, 2017a).

5 Polveri fini PM2.5

5.1 Raccomandazioni della CFIAR per il PM2.5

La CFIAR raccomanda di ridurre il valore limite d'immissione per le polveri fini PM2.5 a 5 µg/m³ per il valore medio annuo e di introdurre un nuovo valore limite d'immissione di 15 µg/m³ per il valore medio giornaliero, tenendo così in considerazione l'obiettivo di protezione della LPAmb e le raccomandazioni dell'OMS.

Tabella 4: Valori indicativi a lungo e breve termine delle linee guida sulla qualità dell'aria 2021 (AQG) dell'OMS per il PM2.5 a confronto con i valori limite d'immissione (VLI) sanciti dall'OIAI e raccomandazioni della CFIAR.

Inquinante	Unità di tempo per il calcolo del valore medio	AQG OMS	VLI OIAI	Raccomandazione CFIAR
PM2.5, µg/m ³	Anno	5	10	5
	24 ore ^a	15	–	15

^a 99° percentile (ossia tre giorni di superamento all'anno consentiti).

Già oggi, per la determinazione del valore medio annuo delle polveri fini PM2.5 vengono effettuate misurazioni ad alta risoluzione temporale. Poiché il PM2.5 presenta una distribuzione spaziale molto omogenea, si può ritenere che per la sorveglianza delle relative immissioni sia sufficiente un numero limitato di siti di misurazione e che pertanto l'introduzione di questo nuovo valore limite d'immissione non comporterà praticamente alcun maggior onere dal punto di vista tecnico delle misurazioni. Maggiori informazioni sono riportate nell'allegato C.4.

5.2 Fonti di PM2.5

Come la frazione più grossolana PM10, anche le polveri fini PM2.5 sono una miscela di svariate componenti chimiche. Le fonti di PM2.5 sono sostanzialmente uguali a quelle del PM10 e consistono soprattutto in attività industriali e commerciali, impianti a legna e trasporti. I contributi assoluti e percentuali di tali fonti al PM2.5 possono tuttavia divergere notevolmente dal PM10 a seconda del sito. Per esempio, nel PM2.5 le polveri fini primarie da sollevamento e abrasione sono nettamente inferiori rispetto al PM10. Per contro, la fuliggine e le polveri fini secondarie si trovano praticamente solo nella frazione di PM2.5. Qui le polveri fini secondarie svolgono un ruolo ancora più importante rispetto al PM10 e costituiscono oltre la metà del carico di PM2.5 (CFIAR, 2007, 2013). Maggiori informazioni sulla composizione e sulle fonti delle polveri fini PM2.5 sono reperibili nell'allegato C.

5.3 Conseguenze del PM2.5 sulla salute

Cfr. cap. 4.3.

5.4 Evoluzione del carico di PM2.5 in Svizzera

La figura 8 seguente conferma il continuo calo dell'esposizione in riferimento ai valori medi annui dall'inizio della misurazione. Esiste una forte correlazione anche tra valori medi a breve e a lungo termine. Se il numero massimo consentito di superamenti del valore a breve termine viene rispettato, si può considerare rispettato anche il valore limite medio annuo e viceversa (cfr. all. C.3).

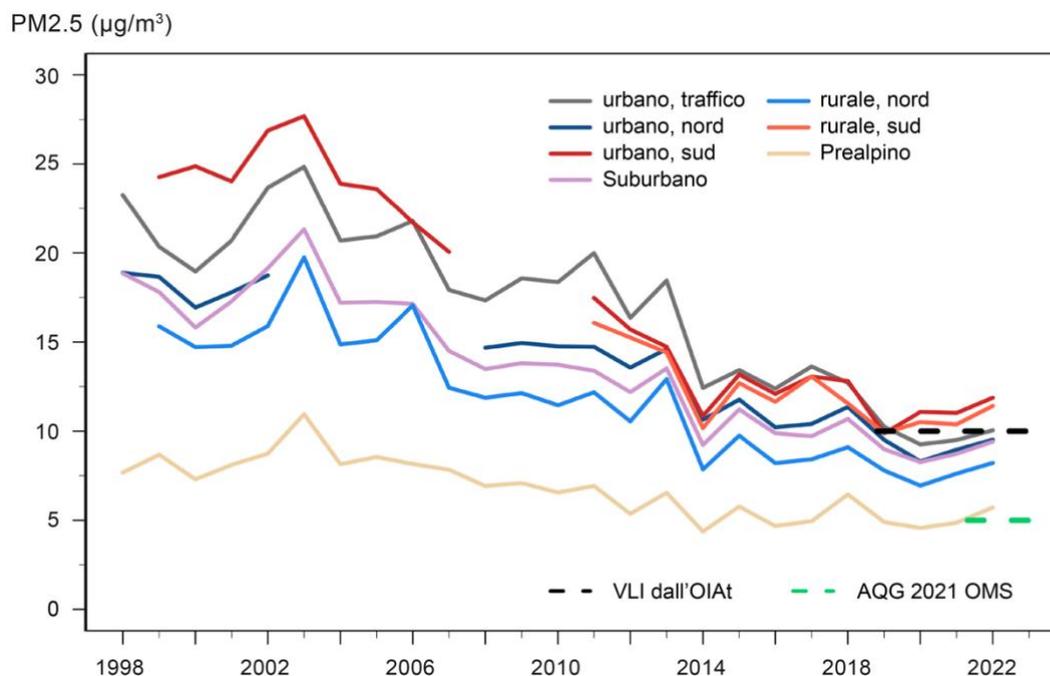


Figura 8: Valori medi annui di polveri fini PM2.5 nel periodo 1998–2022 per tipo di stazione di misurazione.

5.5 Rispetto dei VLI e dei nuovi valori indicativi dell'OMS per il PM2.5

Il VLI attualmente vigente (media annua) è rispettato?

Il valore limite d'immissione per il valore medio annuo delle polveri fini PM2.5 ($10 \mu\text{g}/\text{m}^3$) è oggi ampiamente rispettato sul versante settentrionale delle Alpi. Nella Svizzera meridionale si verificano ancora superamenti (fig. 8 e 9). Ad oggi la Svizzera non ha ancora definito alcun VLI per il valore medio giornaliero di PM2.5.

I nuovi valori indicativi dell'OMS sono già rispettati in Svizzera?

I nuovi valori indicativi dell'OMS per il PM2.5 sono oggi superati nelle stazioni di misurazione urbane e anche in quelle rurali, mentre sono rispettati solo alle quote più elevate, dove possono tuttavia verificarsi superamenti a breve termine dovuti a intensi eventi di polveri sahariane (fig. 9 e 10). Esiste una forte correlazione tra valori a breve e a lungo termine (cfr. all. C.3).

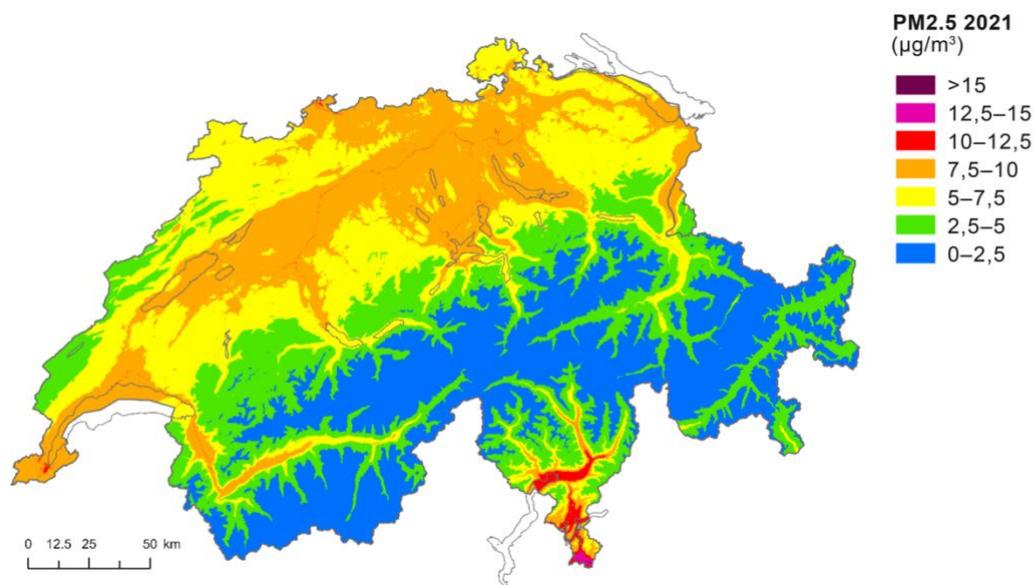


Figura 9: Mappa delle immissioni per il valore medio annuo di PM2.5 per il 2021.

I codici colore di questa modellizzazione spaziale che tiene conto delle misurazioni delle immissioni mostrano nei toni dell'azzurro e del verde le zone in cui il nuovo valore indicativo dell'OMS ($5 \mu\text{g}/\text{m}^3$) è già rispettato; le zone nei toni del giallo e dell'arancio superano il valore indicativo dell'OMS ma rispettano il VLI attualmente vigente (media annua) sancito dall'OIA. I toni del rosso e del lilla indicano le zone con superamenti del VLI.

Numero di valori medi giornalieri di PM2.5 > 15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

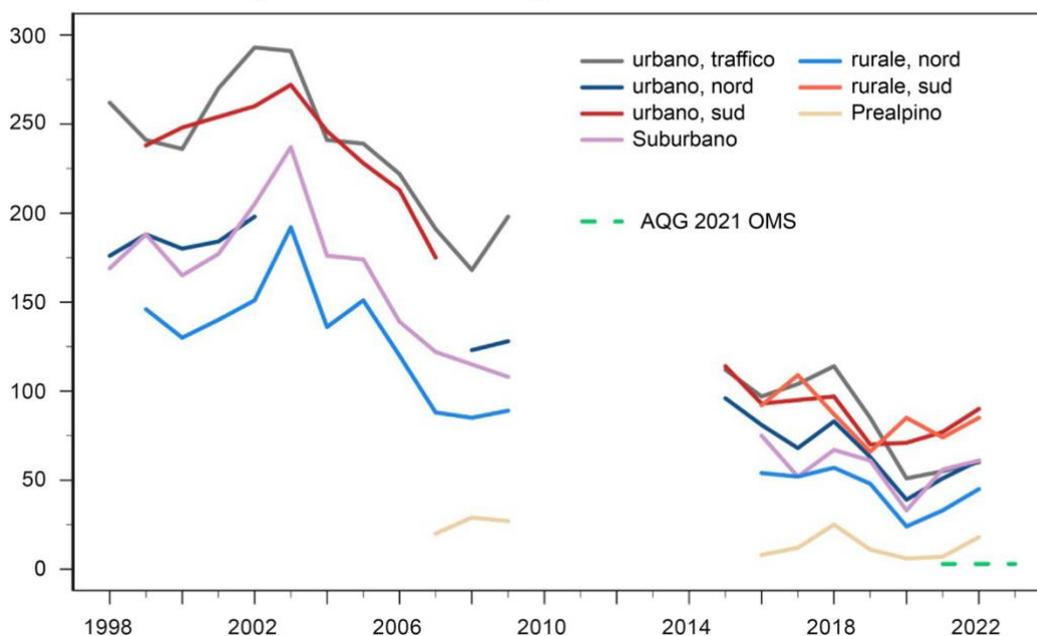


Figura 10: Evoluzione del numero dei valori medi giornalieri di PM2.5 superiori a $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ nel periodo 1991–2022.

La linea tratteggiata corrisponde al valore indicativo dell'OMS, che consente tre superamenti all'anno. Poiché dal 2010 al 2015 sono state effettuate misurazioni solo ogni quattro giorni, per questo periodo non sono disponibili dati sul numero di superamenti.

Dove si registrano le immissioni superiori ai nuovi valori indicativi dell'OMS? Quali fonti o fattori d'influenza caratterizzano questi siti?

Nella rete di misurazione NABEL, il nuovo valore indicativo dell'OMS per il valore medio annuo delle polveri fini PM_{2.5} (5 µg/m³) è rispettato solo nelle stazioni di misurazione rurali alle quote più elevate (fig. 8). Le immissioni in corrispondenza delle altre stazioni di misurazione si collocano nettamente al di sopra del nuovo valore indicativo dell'OMS, fermo restando che il PM_{2.5} è misurato solo in 12 dei 16 siti della rete NABEL. Anche il valore indicativo dell'OMS per il valore medio giornaliero (15 µg/m³) è superato in Svizzera ben più di tre volte all'anno in quasi tutte le regioni abitate (fig. 10).

Si deve dunque ritenere che i nuovi valori indicativi dell'OMS sia per il valore medio giornaliero che per quello annuale siano attualmente rispettati solo nelle stazioni di misurazione rurali al di sopra dei 1000 m s.l.m. Come indicato nel capitolo sul PM₁₀, anche per il PM_{2.5} è prevedibile che le emissioni imputabili ai gas di scarico continueranno a diminuire grazie all'inasprimento delle prescrizioni in materia e all'auspicata elettrificazione della flotta di veicoli. Per ridurre le emissioni non imputabili ai gas di scarico servono provvedimenti più estesi di natura tecnica e organizzativa.

Esistono metodi di misurazione di riferimento riconosciuti a livello internazionale?

Sì: SN EN 12341:2014 e SN EN 16450:2017 (SN EN, 2014, 2017a).

6 Ozono O₃

6.1 Raccomandazioni della CFIAR per l'ozono

Per l'ozono, la CFIAR raccomanda di introdurre come valore a lungo termine il valore indicativo dell'OMS per la stagione estiva (aprile–settembre) pari a 60 µg/m³. Il valore medio su 1 ora (media su 1 h) sancito dall'OIA_t, che può essere superato al massimo una volta all'anno, sarà mantenuto. Poiché esso è statisticamente equivalente al valore indicativo dell'OMS per la media su 8 ore e garantisce quindi la stessa protezione della salute, si rinuncerà all'introduzione di un limite su 8 ore. Per la valutazione delle tendenze a lungo termine sarà mantenuto il valore del 98° percentile dei valori medi semiorari di un mese.

Tabella 5: Valori indicativi a lungo e breve termine delle linee guida sulla qualità dell'aria 2021 (AQG) dell'OMS per l'ozono a confronto con i valori limite d'immissione (VLI) sanciti dall'OIA_t e raccomandazioni della CFIAR.

Inquinante	Unità di tempo per il calcolo del valore medio	AQG OMS	VLI OIA _t	Raccomandazione CFIAR
Ozono, µg/m ³	Stagione estiva ^a	60	–	60
	98 % dei valori medi su ½ h di un mese	–	100	100
	8 ore massimo ^b	100	–	–
	Valore medio orario ^c	–	120	120

^a Media dei valori medi giornalieri massimi su 8 ore della concentrazione di ozono nei sei mesi consecutivi con la concentrazione di ozono più elevata sulla media semestrale. Per la Svizzera si tratta del periodo aprile–settembre.

^b 99° percentile (ossia tre superamenti all'anno consentiti).

^c Il valore medio orario può essere superato al massimo una volta all'anno.

Il valore a lungo termine di 60 µg/m³ per la stagione estiva (aprile–settembre) si basa su nuove evidenze riguardanti la rilevanza per la salute dell'esposizione a lungo termine. Tale valore è utilizzato anche per il rispetto dei valori di esposizione critici specifici per la vegetazione (Critical Levels; cfr. all. D.1), definiti nell'ambito della Convenzione sull'inquinamento atmosferico transfrontaliero a lunga distanza dell'UNECE per proteggere la vegetazione dai danni causati dall'ozono.

Maggiori informazioni sulla comparabilità dei due valori (valore medio su 1 h e su 8 h) sono riportate nell'allegato E. Un adeguamento al valore medio su 8 ore dell'OMS comporterebbe un considerevole onere amministrativo. Inoltre i concetti d'informazione e i piani dei provvedimenti cantonali si basano sul valore medio orario e dovrebbero essere modificati se si optasse per un adeguamento all'OMS (valori medi su 8 h).

Poiché tutti i valori limite possono essere derivati dalle stesse serie di misure, l'integrazione raccomandata o il mantenimento di tali valori limite d'immissione non comporta alcun onere di misurazione aggiuntivo.

6.2 Fonti di ozono

L'ozono antropico presente nello strato inferiore dell'atmosfera non è un inquinante primario, nel senso che non viene emesso direttamente bensì si forma nell'atmosfera, sotto l'effetto della luce solare, tramite reazioni fotochimiche dei suoi precursori (sostanzialmente ossidi di azoto (NO_x) e composti organici volatili (COV diversi dal metano, NMVOC)). Le elevate concentrazioni di ozono troposferico sono quindi causate soprattutto dalle emissioni antropiche di questi precursori. Le attività industriali e commerciali e le economie domestiche, in particolare attraverso le applicazioni di solventi, sono le principali responsabili degli NMVOC antropici, mentre gli ossidi di azoto provengono per circa due terzi dai motori (trasporti stradali, trasporti off road, macchinari e apparecchiature). L'irraggiamento solare e le temperature estive portano alla formazione diffusa di ozono nell'atmosfera. L'ozono può essere trasportato su lunghe distanze, anche al di là dei confini.

Oltre agli NMVOC, anche il metano (CH₄) e il monossido di carbonio (CO), entrambi gas che reagiscono lentamente, contribuiscono all'inquinamento di fondo da ozono. Già nel rapporto sull'ozono in Svizzera 1989 (CFIAR, 1989), la CFIAR aveva fatto presente che per risolvere il problema dell'ozono erano necessari anche sforzi internazionali volti a ridurre le emissioni di metano e di monossido di carbonio. Le emissioni in tutto l'emisfero settentrionale hanno la loro responsabilità nell'inquinamento di fondo da ozono. In Svizzera il metano è emesso principalmente dall'agricoltura, che rappresenta oltre l'80 per cento delle emissioni, mentre il monossido di carbonio proviene da processi di combustione incompleti (cfr. cap. 9.2).

6.3 Conseguenze dell'ozono sulla salute

L'ozono è un gas irritante. Basta un incremento a breve termine dell'esposizione per veder moltiplicare i sintomi respiratori e i consulti di emergenza per affezioni delle vie respiratorie in pazienti che soffrono di asma o di broncopneumopatia cronica ostruttiva (BPCO). Un incremento a lungo termine dell'esposizione aumenta invece il rischio di sviluppare l'asma, peggiorarne la gravità o aumentarne i sintomi nei soggetti già allergici. L'OMS ritiene inoltre che un incremento dell'esposizione all'ozono causi una mortalità più elevata a lungo termine per affezioni delle vie respiratorie. La figura 1 offre una panoramica delle conseguenze a breve e medio termine attualmente accertate dell'esposizione all'ozono (cfr. anche [infografica interattiva su LUDOK](#) e fig. 42 nell'all. I.2).

6.4 Evoluzione del carico di ozono in Svizzera

La figura 11 documenta le tendenze a lungo termine del 98° percentile dei valori medi semiorari di un mese. Mentre le stazioni di misurazione nella Svizzera meridionale, che presenta i livelli di inquinamento più elevati, evidenziano un calo continuo, nel resto della Svizzera si rileva solo una debole tendenza. Il numero di superamenti del valore limite è solo lievemente in calo e si mantiene a un livello elevato (fig. 12).

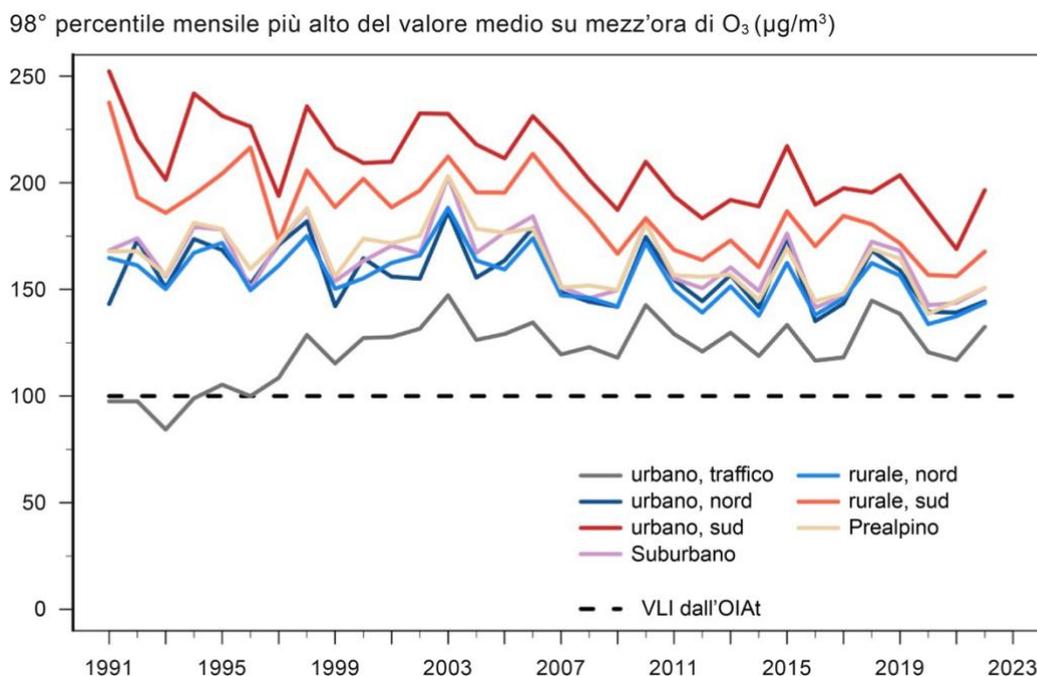


Figura 11: Evoluzione del 98° percentile dei valori semiorari di ozono di un mese nel periodo 1991–2022. Si tratta di una misura della tendenza a lungo termine dei picchi di inquinamento da ozono.

6.5 Rispetto dei VLI e dei nuovi valori indicativi dell'OMS per l'ozono

I VLI attualmente vigenti sono rispettati?

I VLI non sono finora rispettati in nessuna delle stazioni di misurazione NABEL (fig. 11 e 12).

Numero di valori medi orari di $O_3 > 120 \mu\text{g}/\text{m}^3$

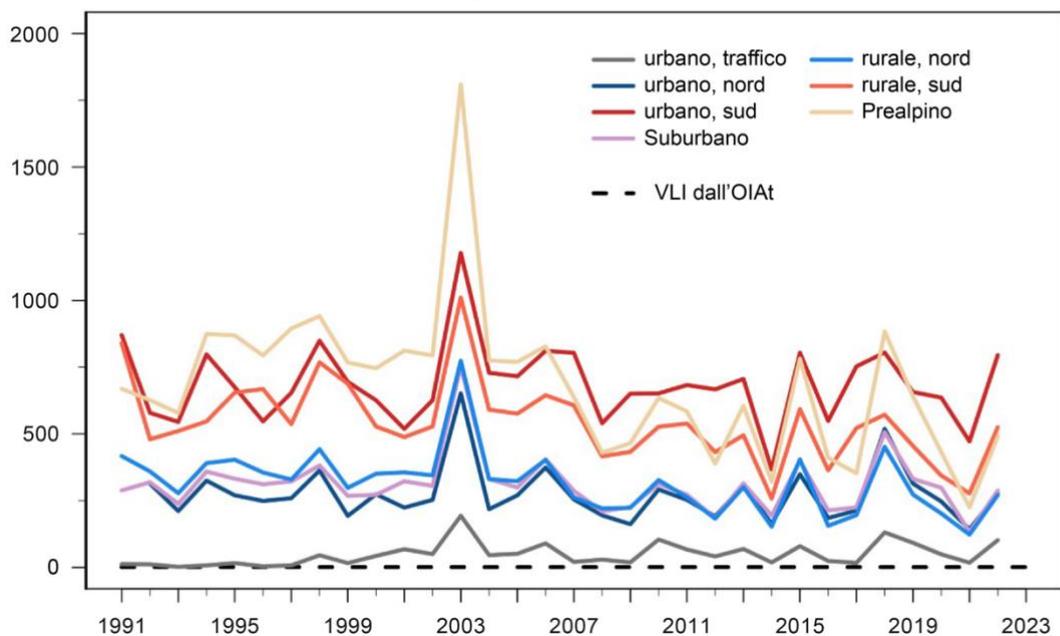


Figura 12: Evoluzione del numero dei valori medi orari di ozono superiori a $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ nel periodo 1991–2022.

La linea tratteggiata corrisponde al VLI sancito dall'OIAt, che consente un superamento all'anno.

I nuovi valori indicativi dell'OMS sono già rispettati in Svizzera?

Nell'ambito della rielaborazione, l'OMS non ha modificato il valore indicativo già raccomandato in precedenza per la media giornaliera su 8 ore di $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Sono consentiti tre superamenti all'anno. In Svizzera tale valore equivale al valore limite d'immissione dell'ozono per la media su 1 ora di $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ fissato nell'OIAI, che può essere superato solo per un'ora all'anno (cfr. all. E per la comparabilità dei valori). Nessuno dei due valori è rispettato (fig. 12 e 13).

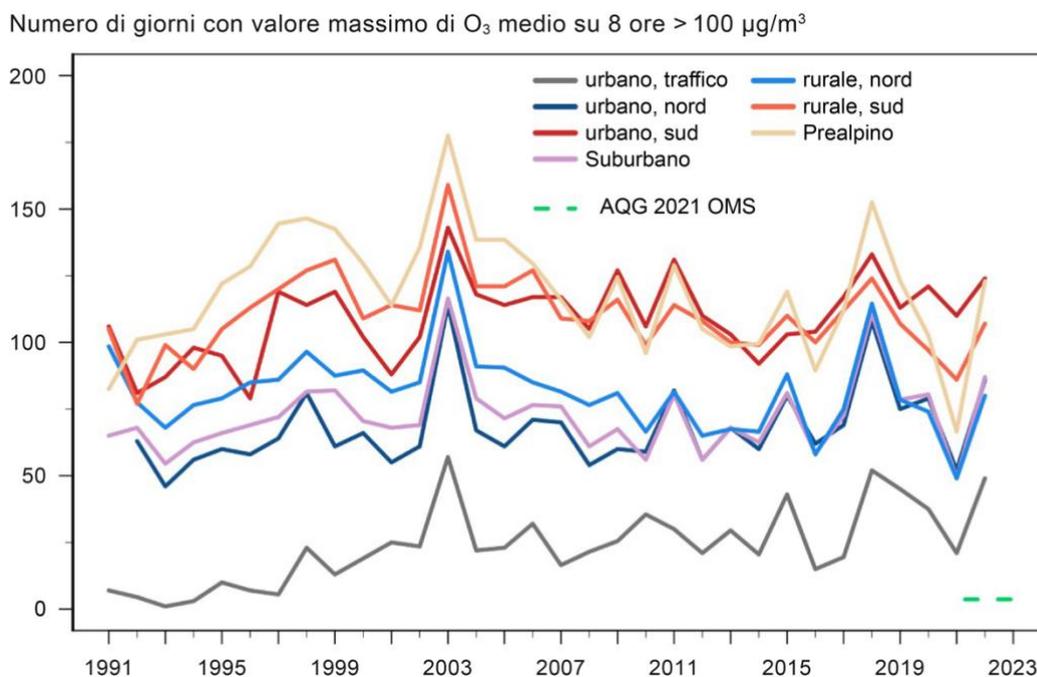


Figura 13: Evoluzione del numero di superamenti della media giornaliera massima su 8 ore di ozono al di sopra di $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ nel periodo 1991–2022.

La linea tratteggiata corrisponde al valore indicativo dell'OMS, che consente tre superamenti all'anno.

Il nuovo valore indicativo proposto dall'OMS per l'esposizione a lungo termine all'ozono, e raccomandato dalla CFIAR per il recepimento nell'OIAAt, non dovrebbe superare i $60 \mu\text{g}/\text{m}^3$ nella media dei valori medi giornalieri massimi su 8 ore della stagione estiva. In Svizzera tale valore non è rispettato in nessun sito (fig. 14).

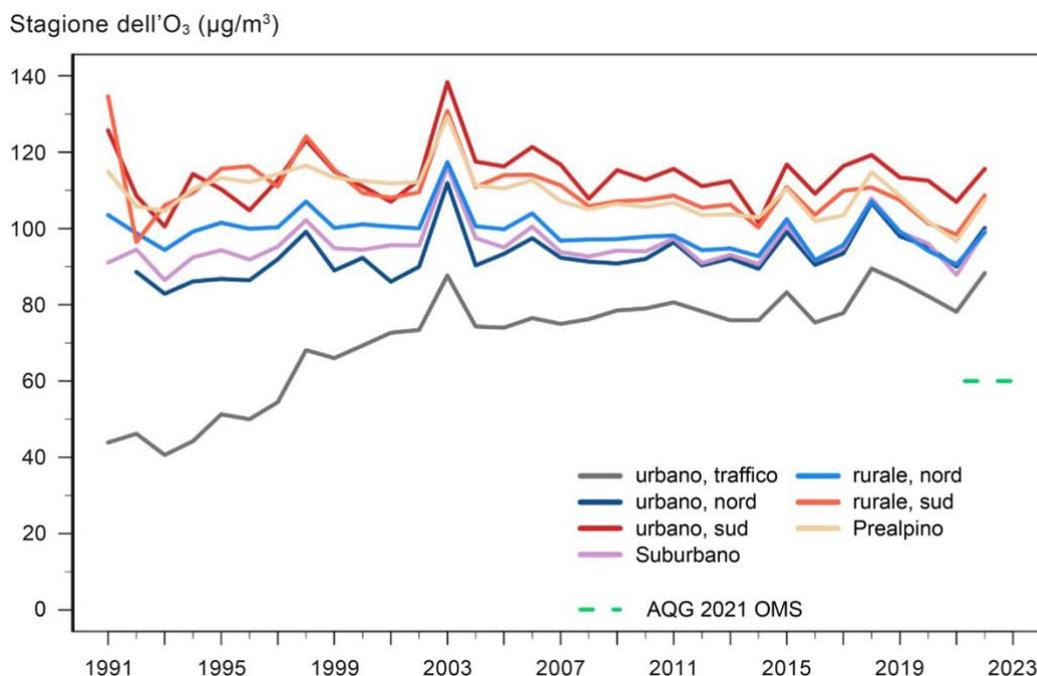


Figura 14: Evoluzione del valore a lungo termine di ozono nel periodo 1991–2022 come media dei valori medi giornalieri massimi su 8 ore della concentrazione di ozono nei sei mesi consecutivi con la concentrazione di ozono più elevata. Per la Svizzera si tratta del periodo aprile–settembre. Il valore indicativo dell'OMS si attesta a $60 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Dove si registrano le immissioni superiori ai nuovi valori indicativi dell'OMS? Quali fonti o fattori d'influenza caratterizzano questi siti?

Tutti i valori indicativi, sia quelli attualmente vigenti che i nuovi valori proposti, sono superati in tutti i siti. L'inquinamento da ozono è più elevato sul versante meridionale delle Alpi rispetto al versante settentrionale. Oltre agli agenti climatici, la responsabilità è imputabile anche all'ozono trasportato dalla pianura padana fortemente inquinata. Il carico inquinante nei periodi di smog estivo si situa sopra i valori limite a breve termine su tutto il territorio svizzero e in alcuni casi in misura rilevante. In Svizzera, il valore limite a lungo termine durante i mesi estivi è attualmente compreso tra circa 80 (città, trasporti) e $110 \mu\text{g}/\text{m}^3$ sul versante meridionale delle Alpi e supera dunque il nuovo valore indicativo dell'OMS su tutto il territorio (fig. 14).

Anche la protezione delle zone di vegetazione è rilevante dal punto di vista dell'ozono. La media semestrale deve rispettare i valori di esposizione critici all'ozono (Critical Levels) fissati nell'ambito della Convenzione sull'inquinamento atmosferico transfrontaliero a lunga distanza dell'UNECE per

proteggere la vegetazione (valore AOT40³ e valore POD_Y classificato come ancora più rilevante dal punto di vista biologico⁴, cfr. all. D.1).

Esistono metodi di misurazione di riferimento riconosciuti a livello internazionale?

Sì: SN EN 14625:2012 (SN EN, 2012c).

³ AOT40: **A**ccumulated Exposure Over a Threshold of 40 ppb = esposizione all'ozono al di sopra del valore soglia di 40 ppb, accumulata durante il periodo vegetativo. Il valore AOT viene utilizzato per misurare l'esposizione cronica a lungo termine delle piante all'ozono.

⁴ POD_Y: **P**hytotoxic **O**zone **D**ose = dose di ozono accumulata durante il periodo vegetativo che viene assorbita dalla pianta attraverso gli stomi (flusso di ozono), in considerazione di un valore soglia Y specifico per la vegetazione che tiene conto della capacità di detossificazione specifica delle piante.

7 Diossido di azoto NO₂

7.1 Raccomandazioni della CFIAR per l'NO₂

La CFIAR raccomanda di fissare i valori limite d'immissione per l'NO₂ a 10 µg/m³ per il valore medio annuo e a 25 µg/m³ per il valore medio giornaliero, tenendo così in considerazione gli obiettivi di protezione della LPAmb per quanto riguarda la salute dell'uomo e degli ecosistemi, nonché le raccomandazioni dell'OMS. Il 95° percentile dei valori medi semiorari di un anno dovrebbe essere abrogato.

Tabella 6: Valori indicativi a lungo e breve termine delle linee guida sulla qualità dell'aria 2021 (AQG) dell'OMS per l'NO₂ a confronto con i valori limite d'immissione (VLI) sanciti dall'OIAI e raccomandazioni della CFIAR.

Inquinante	Unità di tempo per il calcolo del valore medio	AQG OMS	VLI attuali OIAI	Raccomandazione CFIAR
NO ₂ , µg/m ³	Anno	10	30	10
	24 ore	25 ^a	80 ^b	25 ^a
	95 % dei valori medi su ½ h di un anno	–	100	abrogare

^a 99° percentile (ossia tre superamenti all'anno consentiti).

^b Il valore medio su 24 ore può essere superato al massimo una volta all'anno.

Con i nuovi valori limite inferiori raccomandati per il valore medio annuo e giornaliero, il VLI per il 95° percentile dei valori medi semiorari di un anno non è più considerato rilevante per la valutazione dell'igiene dell'aria in Svizzera. Tale valore è rispettato in tutte le stazioni di misurazione NABEL da oltre 20 anni (cfr. all. F.1). La CFIAR raccomanda di abrogare questo valore limite d'immissione, ma di continuare a comunicarlo regolarmente per altri cinque anni ai fini della comparabilità con gli anni passati e della valutazione delle tendenze.

7.2 Fonti di ossidi di azoto

In Svizzera circa il 65 per cento degli ossidi di azoto (NO₂ e NO) è emesso da veicoli e macchinari, in particolare quelli con motori diesel. I trasporti stradali contribuiscono alle emissioni per il 45 per cento circa, mentre i trasporti aerei evidenziano un'incidenza del 7 per cento, ancora in calo a seguito della pandemia da coronavirus (dati territoriali 2021 di EMIS [UFAM, 2023]). Gli impianti a combustione utilizzati dalle attività industriali e commerciali e dalle economie domestiche (inclusi gli impianti di riscaldamento a legna) costituiscono il 20 per cento circa delle emissioni (cfr. all. B).

7.3 Conseguenze sulla salute e altri effetti dell'NO₂

L'NO₂ è un gas irritante. Un incremento a breve termine del carico di NO₂ può irritare i polmoni e fa aumentare il numero di decessi, consulto di emergenza e ricoveri in ospedale per malattie respiratorie, mentre un incremento a lungo termine va di pari passo con un maggior numero di soggetti asmatici e riduce la resistenza alle infezioni respiratorie. Si osservano un aumento dei casi di bronchite cronica, nonché una minore crescita dei polmoni e una funzione polmonare ridotta nei bambini. La figura 1 offre

una panoramica delle conseguenze a breve e medio termine attualmente accertate dell'esposizione all' NO_2 (cfr. anche [infografica interattiva su LUDOK](#) e fig. 43 nell'all. I.3).

Oltre all'effetto diretto dell' NO_2 , gli ossidi di azoto rivestono importanza anche per la formazione dell'ozono, per l'immissione di azoto negli ecosistemi e per la formazione delle polveri fini secondarie.

7.4 Evoluzione del carico di NO_2 in Svizzera

Le emissioni di ossidi di azoto sono già state ridotte di oltre il 60 per cento a partire dagli anni 1980, tra l'altro grazie a prescrizioni severe in materia di gas di scarico (trasporti, impianti di accensione, industria) e alla riduzione del tenore di azoto nell'olio da riscaldamento. La figura 15 visualizza questa impressionante evoluzione in riferimento ai valori medi annui del carico di NO_2 . Esiste una forte correlazione anche tra valori a breve e a lungo termine. Se il numero massimo consentito di superamenti del valore limite a breve termine viene rispettato, si può considerare rispettato anche il valore limite medio annuo e viceversa (cfr. all. F.2).

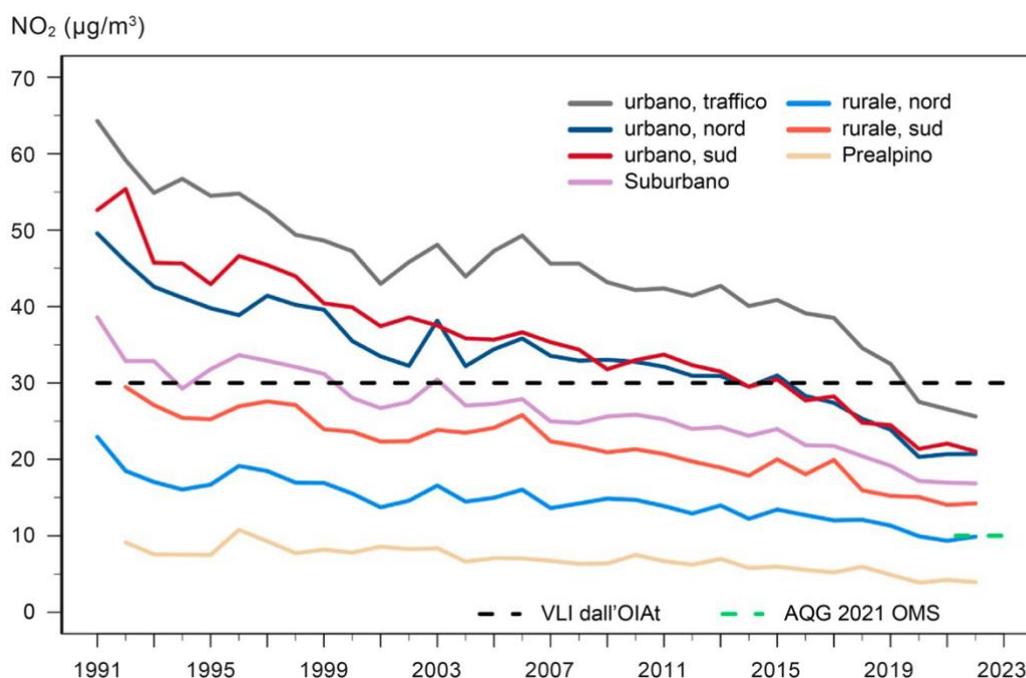


Figura 15: Valori medi annui di NO_2 nel periodo 1991–2022 per tipo di stazione di misurazione.

7.5 Rispetto dei VLI e dei nuovi valori indicativi dell'OMS per l'NO₂

I VLI attualmente vigenti sono rispettati?

I valori limite d'immissione di NO₂ attualmente vigenti sono ampiamente rispettati. Anche secondo calcoli di modellizzazione spaziale, il valore medio annuo di 30 µg/m³ (fig. 15) si colloca al di sopra del VLI sancito dall'OIAAt solo in pochi siti lungo i principali assi stradali.

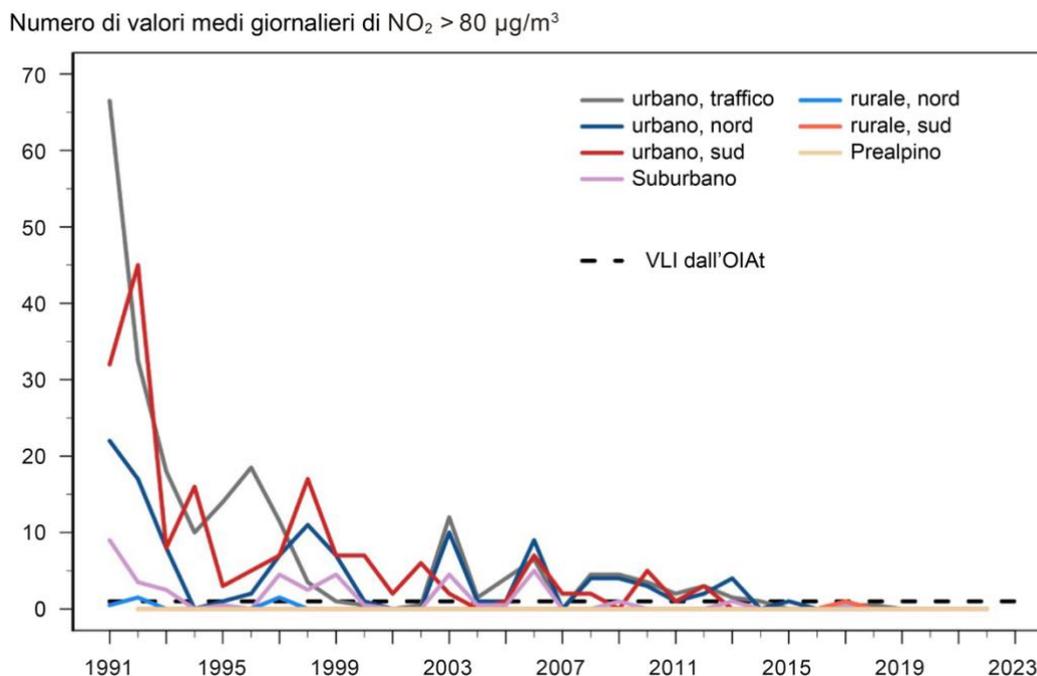


Figura 16: Evoluzione del numero dei valori medi giornalieri di NO₂ superiori a 80 µg/m³ nel periodo 1991–2022 per tipo di stazione di misurazione.

La linea tratteggiata corrisponde al VLI sancito dall'OIAAt, che consente un superamento all'anno.

La figura 16 mostra che anche il VLI di 80 µg/m³ per la media giornaliera di NO₂ non viene più superato in nessun luogo (un superamento all'anno ammissibile). La figura 35 nell'allegato F.1 mostra che anche i picchi di inquinamento non causano più alcun superamento e che il VLI per il 95° percentile dei valori medi semiorari di un anno è rispettato da ormai molto tempo.

I nuovi valori indicativi dell'OMS sono già rispettati in Svizzera?

Secondo calcoli di modellizzazione spaziale (fig. 17), il nuovo valore indicativo dell'OMS di 10 µg/m³ per il valore medio annuo di NO₂ è già rispettato nelle stazioni di misurazione rurali e alle quote più elevate, distanti dagli assi stradali (zone azzurre e verdi).

Dove si registrano le immissioni superiori ai nuovi valori indicativi dell'OMS? Quali fonti o fattori d'influenza caratterizzano questi siti?

Il valore è superato in tutti i restanti siti, a chiara dimostrazione di quanto influiscano le emissioni del traffico stradale. Il valore indicativo per il valore medio giornaliero di $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ è rispettato solo alle quote più elevate (fig. 18).

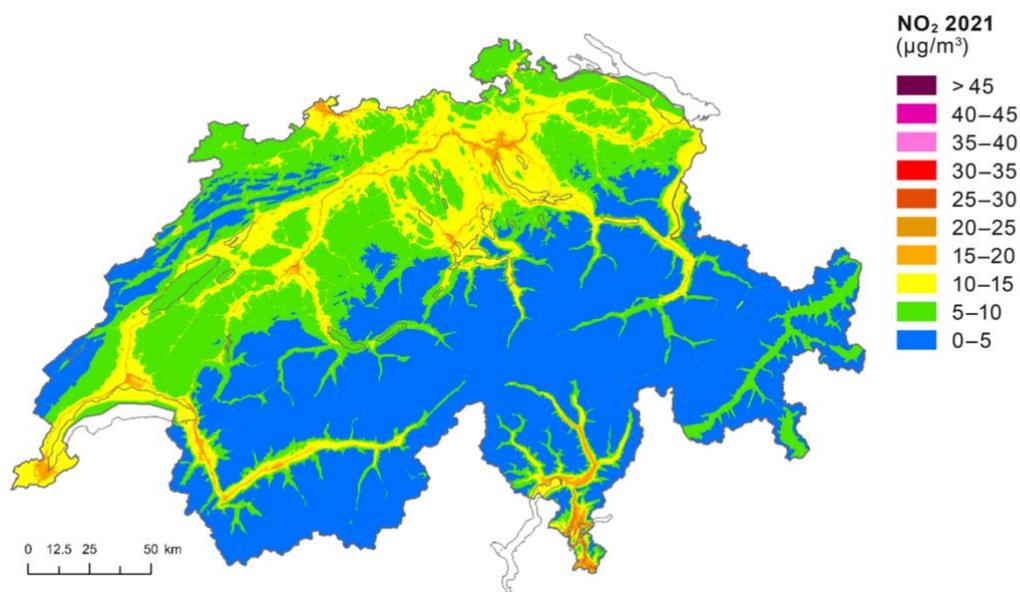


Figura 17: Mappa delle immissioni per il valore medio annuo di NO₂ per il 2021.

I codici colore di questa modellizzazione spaziale che tiene conto delle misurazioni delle immissioni mostrano nei toni dell'azzurro e del verde le zone in cui il nuovo valore indicativo dell'OMS ($10 \mu\text{g}/\text{m}^3$) è già rispettato; le zone nei toni del giallo e dell'arancio superano il valore indicativo dell'OMS ma rispettano il VLI attualmente vigente (media annua) sancito dall'OIA. I toni del rosso e del lilla indicano le zone con superamenti del VLI, che corrispondono principalmente agli agglomerati ad alta densità insediativa.

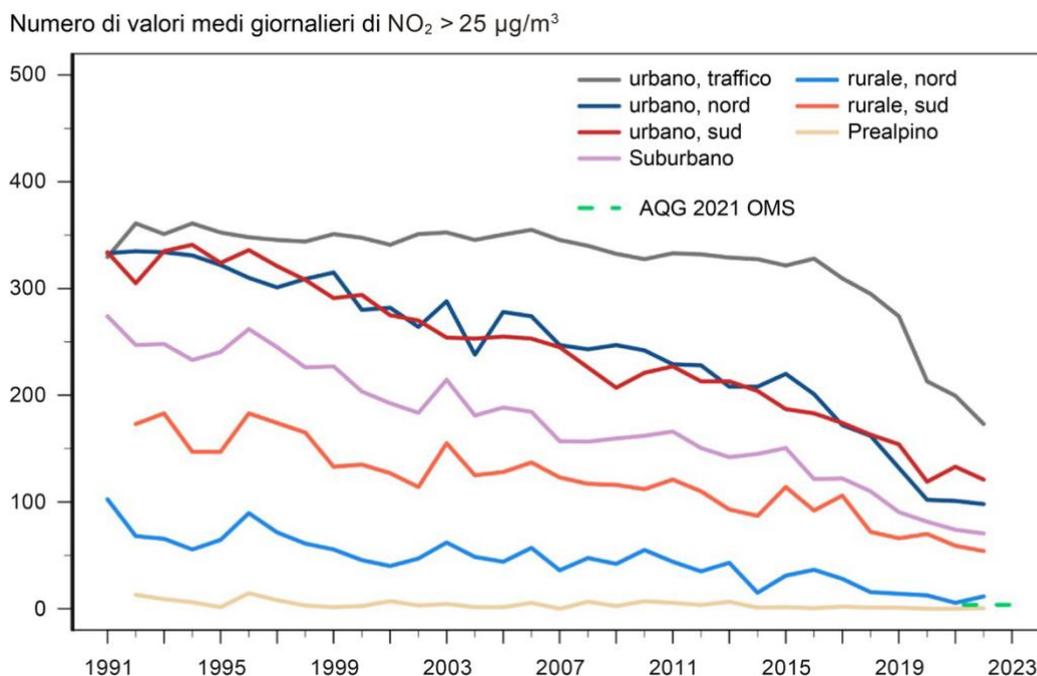


Figura 18: Evoluzione del numero dei valori medi giornalieri di NO₂ superiori a 25 µg/m³ nel periodo 1991–2022.

La linea tratteggiata corrisponde al valore indicativo dell'OMS, che consente tre superamenti all'anno.

Le emissioni di ossidi di azoto continueranno a diminuire grazie all'auspicata elettrificazione della flotta di veicoli.

La riduzione dei valori limite d'immissione raccomandata dalla CFIAR per l'NO₂ contribuisce anche alla protezione degli ecosistemi sensibili prossimi allo stato naturale, che sono minacciati dall'aumento delle immissioni di azoto atmosferico (ossidi di azoto, ammoniaca e relativi prodotti di reazione) e dagli effetti diretti degli NO_x. Rispettando il valore medio annuo proposto di NO₂ pari a 10 µg/m³ si presume che anche la vegetazione possa essere protetta dagli effetti diretti degli ossidi di azoto, impedendo di superare i livelli critici per gli NO_x definiti nell'ambito della Convenzione sull'inquinamento atmosferico transfrontaliero a lunga distanza dell'UNECE e dell'OMS (UNECE, 2017; OMS, 2000).

Esistono metodi di misurazione di riferimento riconosciuti a livello internazionale?

Sì: SN EN 14211:2012 (SN EN, 2012a)

8 Diossido di zolfo SO₂

8.1 Raccomandazioni della CFIAR per l'SO₂

La CFIAR raccomanda di fissare i valori limite d'immissione per l'SO₂ a 20 µg/m³ per il valore medio annuo e per il semestre invernale e a 40 µg/m³ per il valore medio giornaliero, tenendo così in considerazione l'obiettivo di protezione della LPAmb e le raccomandazioni dell'OMS e dell'UNECE. Il valore del 95° percentile dei valori medi semiorari di un anno dovrebbe essere abrogato.

Tabella 7: Valore indicativo a lungo e breve termine delle linee guida sulla qualità dell'aria 2021 (AQG) dell'OMS per l'SO₂ a confronto con i valori limite d'immissione (VLI) a lungo e breve termine sanciti dall'OIAI e raccomandazioni della CFIAR.

Inquinante	Unità di tempo per il calcolo del valore medio	AQG OMS	VLI OIAI	Raccomandazione CFIAR
SO ₂ , µg/m ³	Anno e (d'ora in poi) semestre invernale	–	30 ^a	20 ^b
	24 ore	40 ^c	100 ^d	40 ^c
	95 % dei valori medi su ½ h di un anno	–	100	abrogare

^a Valore limite d'immissione che comprende anche la protezione della flora e della fauna, delle loro biocenosi e dei loro biotopi secondo l'articolo 1 capoverso 1 e l'articolo 14 lettera a LPAmb e corrisponde allo stato delle conoscenze al momento dell'emanazione dell'ordinanza contro l'inquinamento atmosferico nel 1985.

^b Valore delle linee guida sulla qualità dell'aria 2000 dell'OMS (OMS, 2000), definito per la protezione dei boschi e di altri ecosistemi seminaturali. Si applica come valore medio annuo e anche per il semestre invernale (ottobre–marzo).

^c 99° percentile (ossia tre giorni di superamento all'anno consentiti).

^d Può essere superato al massimo una volta all'anno.

Grazie a efficaci provvedimenti di protezione dell'aria come la desolfurazione dell'olio da riscaldamento e dei carburanti, il carico di SO₂ è già di gran lunga inferiore al valore a breve termine proposto dall'OMS. Per la protezione della vegetazione negli ecosistemi seminaturali, la CFIAR raccomanda di recepire come valore medio annuo e come valore medio per il semestre invernale (ottobre–marzo) la concentrazione critica (Critical Level) di 20 µg/m³ stabilita nell'ambito della Convenzione (2017) sull'inquinamento atmosferico transfrontaliero a lunga distanza dell'UNECE (cfr. all. D.3). Tale valore corrisponde anche alle raccomandazioni che l'OMS ha emanato nel 2000 per l'Europa, in relazione alla protezione degli ecosistemi boschivi e naturali (OMS, 2000).

Con i nuovi valori limite inferiori raccomandati per il valore medio annuo, giornaliero e del semestre invernale, il VLI per il 95° percentile dei valori semiorari di un anno non è più considerato rilevante per la valutazione dell'igiene dell'aria in Svizzera. Tale valore è rispettato in tutte le stazioni di misurazione NABEL da oltre 20 anni (cfr. fig. 39 nell'all. G). La CFIAR raccomanda di abrogare questo valore limite d'immissione, ma di continuare a comunicarlo regolarmente per altri cinque anni ai fini della comparabilità con gli anni passati e della valutazione delle tendenze.

8.2 Fonti di SO₂

Il SO₂ si genera soprattutto nel settore industriale, tra l'altro dalla produzione di cemento e grafite e in misura minore dalla combustione di combustibili fossili negli impianti di accensione domestici e nei trasporti.

8.3 Conseguenze dell'SO₂ sulla salute

L'SO₂ è un gas irritante. Un incremento a breve termine del carico di diossido di zolfo può irritare e infiammare le vie respiratorie e fa aumentare il numero di decessi, consulti di emergenza e ricoveri in ospedale per malattie respiratorie. Non sono descritte conseguenze dell'esposizione a lungo termine all'SO₂. La figura 1 offre una panoramica delle conseguenze attualmente accertate dell'esposizione all'SO₂ (cfr. anche [infografica interattiva su LUDOK](#) e fig. 45 nell'all. I.4).

8.4 Evoluzione del carico di SO₂ in Svizzera

Dai primi anni 1990 il carico di SO₂ si colloca ben al di sotto del valore limite medio annuo e giornaliero fissato dall'OIAAt (fig. 19 e 20).

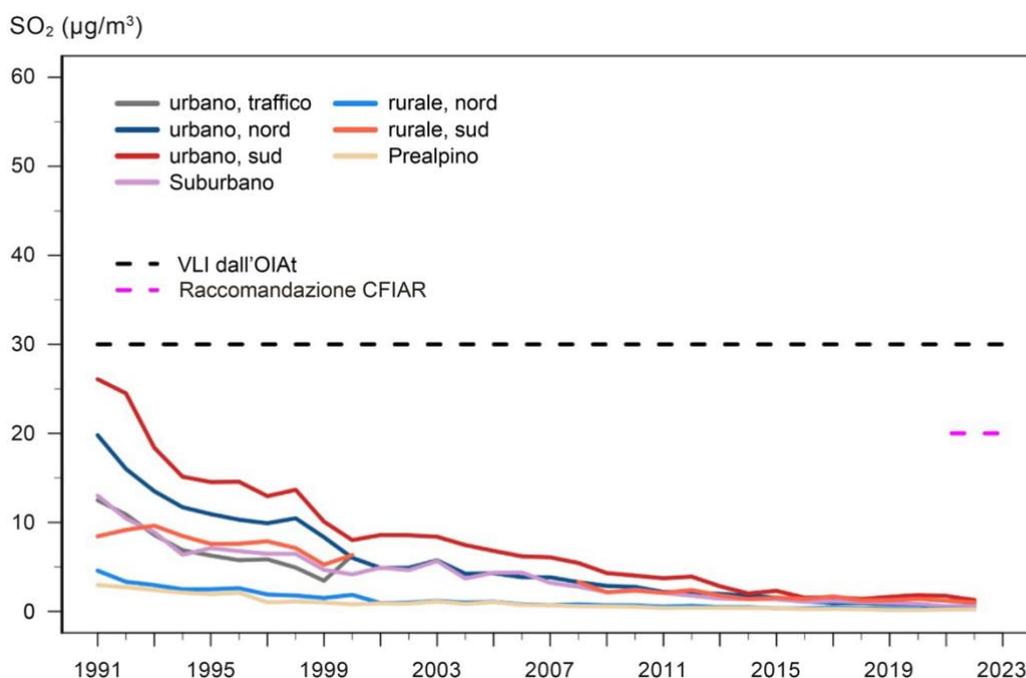


Figura 19: Valori medi annui di SO₂ nel periodo 1991–2022 per tipo di stazione di misurazione.

8.5 Rispetto dei VLI e dei nuovi valori indicativi dell'OMS per l'SO₂

I VLI attualmente vigenti e i nuovi valori indicativi dell'OMS sono rispettati in Svizzera?

Grazie alla riduzione dell'impiego di carbone e alle prescrizioni severe in materia di tenore di zolfo nei combustibili e nei carburanti, le emissioni e quindi anche le immissioni sono sensibilmente calate. Sia il VLI sancito dall'OIAI per il valore medio annuo (30 µg/m³), per il valore medio giornaliero e per i picchi di inquinamento (valore del 95° percentile di tutti i valori medi su ½ h di un anno; entrambi pari a 100 µg/m³), sia il valore indicativo dell'OMS e i nuovi valori medi annui, semestrali e giornalieri raccomandati sono rispettati su tutto il territorio svizzero (fig. 19, fig. 20 e fig. 38 nell'all. G).

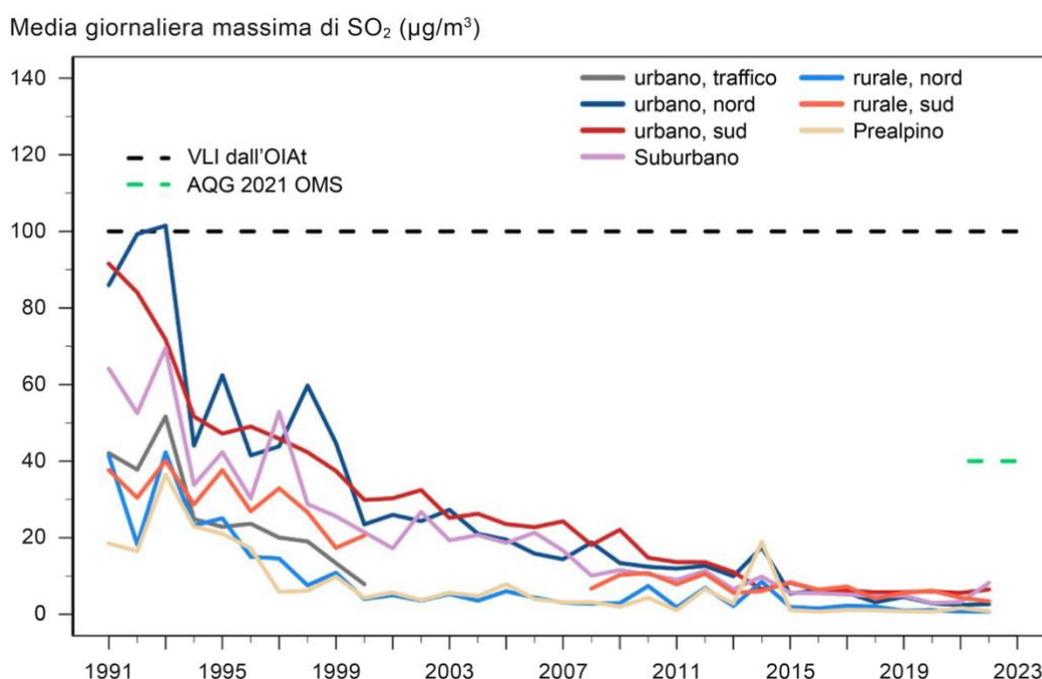


Figura 20: Evoluzione dei valori medi giornalieri massimi di SO₂ nel periodo 1991–2022 per tipo di stazione di misurazione.

Il valore limite d'immissione sancito dall'OIAI può essere superato una volta all'anno e il valore indicativo dell'OMS tre volte all'anno.

Esistono metodi di misurazione di riferimento riconosciuti a livello internazionale?

Si: SN EN 14212:2012 (SN EN, 2012b)

9 Monossido di carbonio CO

9.1 Raccomandazioni della CFIAR per il CO

La CFIAR raccomanda di ridurre il valore limite d'immissione per il CO a 4 mg/m³ per il valore medio giornaliero, tenendo così in considerazione al tempo stesso l'obiettivo di protezione della LPAmb e le raccomandazioni dell'OMS.

Tabella 8: Valore indicativo a breve termine delle linee guida sulla qualità dell'aria 2021 (AQG) dell'OMS per il CO a confronto con il valore limite d'immissione (VLI) sancito dall'OIAI e raccomandazioni della CFIAR.

Inquinante	Unità di tempo per il calcolo del valore medio	AQG OMS	VLI OIAI	Raccomandazione CFIAR
CO, mg/m ³	24 ore	4 ^a	8 ^b	4 ^a

^a 99° percentile (ossia tre giorni di superamento all'anno consentiti).

^b Il valore medio su 24 ore può essere superato al massimo una volta all'anno.

9.2 Fonti di CO

Il CO si genera dalla combustione incompleta di carburanti e combustibili contenenti carbonio, in condizioni di scarsa presenza di ossigeno. È emesso principalmente dai trasporti stradali, che rappresentano il 40 per cento circa delle emissioni.

9.3 Conseguenze del CO sulla salute

Il gas CO compromette l'approvvigionamento di ossigeno nell'uomo, legandosi all'emoglobina che riveste un ruolo importante nel trasporto di ossigeno ai globuli rossi. In presenza di concentrazioni elevate aumenta il numero di consulti di emergenza e decessi per infarto cardiaco. Non sono descritte conseguenze dell'esposizione a lungo termine al CO. La figura 1 offre una panoramica delle conseguenze attualmente accertate del CO (cfr. anche [infografica interattiva su LUDOK](#) e fig. 45 nell'all. I.5).

9.4 Evoluzione del carico di CO in Svizzera

Le concentrazioni medie giornaliere massime di CO hanno evidenziato un calo continuo in tutti i siti di misurazione (fig. 21) e in particolare in quelli che in passato registravano livelli di inquinamento più elevati. Le emissioni di CO sono ora scese a meno di un quinto rispetto ai valori massimi raggiunti verso la metà degli anni 1970.

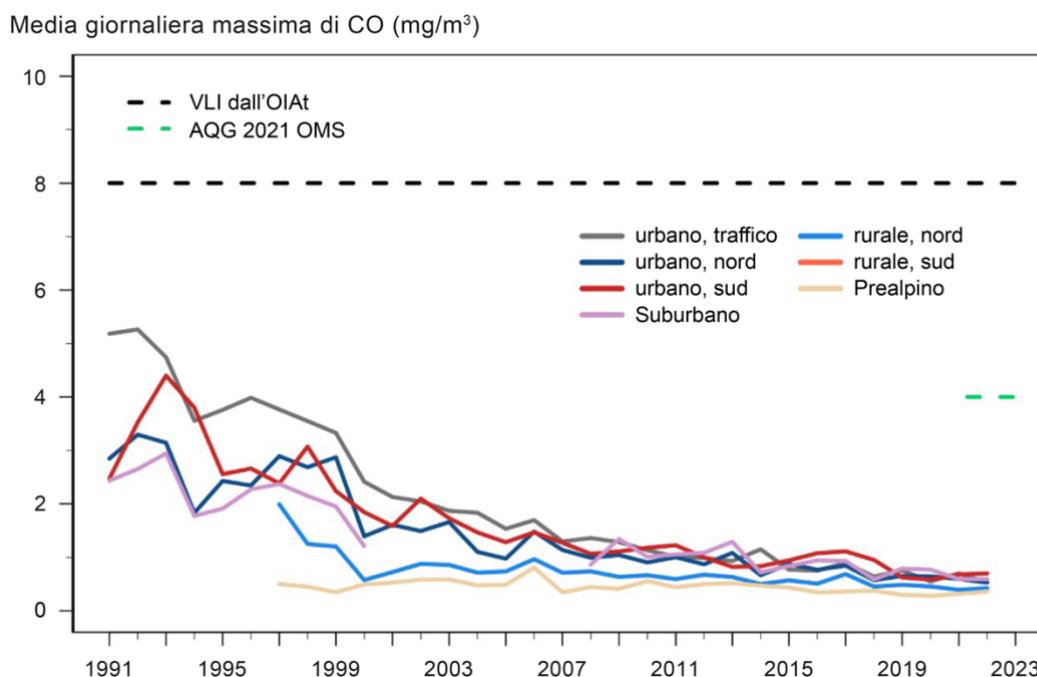


Figura 21: Monossido di carbonio: valori medi giornalieri massimi nel periodo 1991–2022 per tipo di stazione di misurazione.

9.5 Rispetto dei VLI e dei nuovi valori indicativi dell'OMS per il CO

I VLI attualmente vigenti e i nuovi valori indicativi dell'OMS sono rispettati in Svizzera?

Il VLI sancito dall'OIAI per il valore medio giornaliero di 8 mg/m³ è rispettato da decenni in tutte le stazioni di misurazione. Anche il nuovo valore indicativo dell'OMS di 4 mg/m³ non viene superato in nessun sito da oltre 20 anni (fig. 21).

Quali fonti o fattori d'influenza caratterizzano i siti che presentano un carico elevato?

In Svizzera il carico di CO non costituisce più un problema per la salute. Il valore limite fissato dall'OIAI e il valore indicativo dell'OMS sono rispettati anche nelle strette vie del centro città, dove le immissioni di CO sono più elevate a causa del traffico intenso e spesso incolonnato e della cattiva ventilazione. I valori medi giornalieri massimi in Svizzera sono inferiori a 1 mg/m³.

Esistono metodi di misurazione di riferimento riconosciuti a livello internazionale?

Sì: SN EN 14626:2012 (SN EN, 2012d)

10 Fuliggine (*Black Carbon o Elemental Carbon*)

10.1 Raccomandazioni della CFIAR per la fuliggine

In conformità con le linee guida sulla qualità dell'aria dell'OMS, la CFIAR non propone attualmente alcun valore limite d'immissione per la fuliggine. Le immissioni di fuliggine devono continuare a essere monitorate e le emissioni devono essere ridotte conformemente all'obbligo di riduzione al minimo. La CFIAR raccomanda di portare avanti la strategia finora adottata dalla Svizzera in materia di fuliggine (riduzione delle immissioni di fuliggine al 20 % dei valori del 2013) (CFIAR, 2013), che è in linea con le raccomandazioni dell'OMS.

10.2 Fonti di fuliggine

La fuliggine è un componente delle polveri fini PM10 e PM2.5, che in Svizzera sono misurate e regolamentate nell'OIAAt (cfr. cap. 4 e 5). Non è una grandezza chiaramente definita da un punto di vista chimico e non esiste alcun metodo diretto per misurarla. Spesso il carico di fuliggine è indicato come concentrazione del carbonio elementare (*Elemental Carbon*, EC) o del carbonio che assorbe la luce (*Black Carbon*, BC). Il BC è determinato tramite conversione di un coefficiente di assorbimento ottico in una concentrazione di massa ed è pertanto designato come «*equivalent Black Carbon*» o eBC. Poiché la sezione trasversale d'assorbimento utilizzata per la conversione dipende dalle caratteristiche degli aerosol ed è quindi variabile, i valori di concentrazione di EC ed eBC non possono essere confrontati in modo diretto. La coerenza tra i valori eBC ed EC può però essere verificata mediante misure parallele dell'eBC e dell'EC (Petzold et al., 2013).

La fuliggine è emessa per il 60 per cento circa da impianti a legna e per un terzo da veicoli e macchinari. Il carico di fuliggine lungo le strade con traffico intenso è superiore rispetto ai contesti urbani o periferici e rappresenta anche una quota un po' più elevata (circa il 6 %) della concentrazione di massa del PM2.5 rispetto agli altri siti dove la percentuale si aggira attorno al 5 per cento. Nelle zone in cui sono presenti molti impianti di riscaldamento a legna, per esempio in alcune valli montane, si misurano valori elevati di polveri fini e di fuliggine, nonché composti cancerogeni di idrocarburi policiclici aromatici (IPA), soprattutto in condizioni di inversione termica (CFIAR, 2007, 2013; Hüglin & Grange, 2021).

10.3 Conseguenze della fuliggine sulla salute

Gli studi epidemiologici che valutano gli effetti sulla salute dell'EC/BC delineano in modo evidente la situazione soprattutto per quanto riguarda le malattie cardiovascolari e le affezioni delle vie respiratorie (p. es. cancro ai polmoni) e sono ulteriormente corroborati da studi sperimentali sugli animali (ANSES, 2019). Gli studi che indagano le correlazioni con le polveri fini anche nei cosiddetti modelli di inquinanti multipli mostrano un incremento dei rischi indipendente dalle polveri fini ma attribuibile alla frazione di fuliggine.

I corrispondenti effetti sulla salute sono quindi attribuibili alle emissioni legate alla combustione, in particolare alla combustione del legno e ai motori diesel. (OMS, 2021, cap. 4.2 Introduzione sul *Black Carbon*).

10.4 Evoluzione del carico di fuliggine in Svizzera

Grazie ai provvedimenti severi per la riduzione delle emissioni, anche per la fuliggine si registra un netto calo delle concentrazioni di immissioni (fig. 22), in particolare nelle stazioni di misurazione in corrispondenza di zone di traffico.

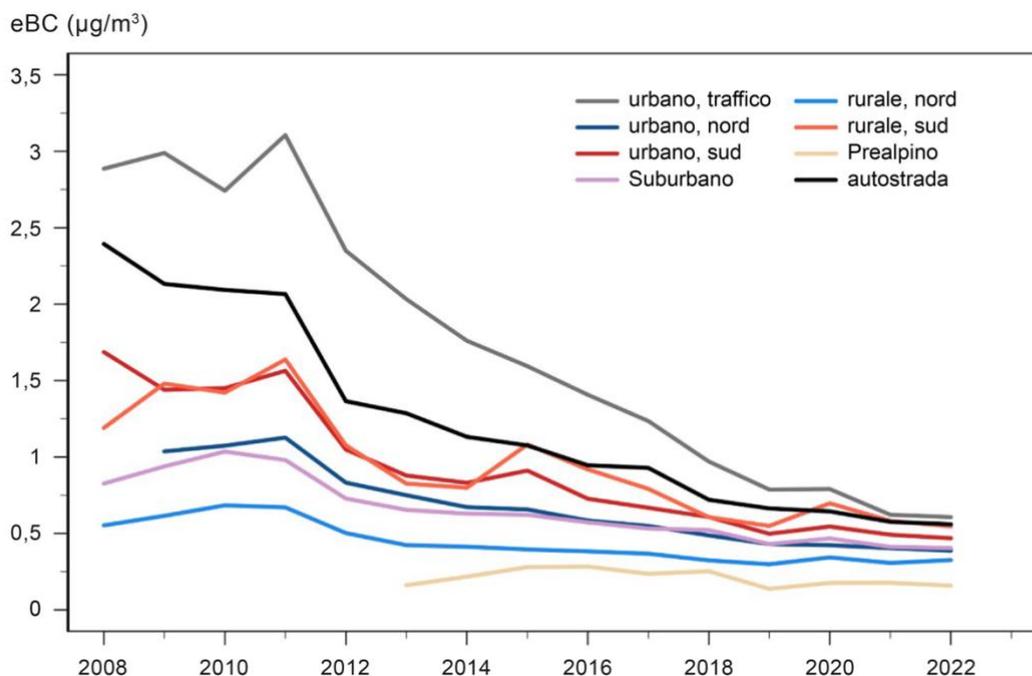


Figura 22: Valori medi annui di fuliggine (eBC = *equivalent Black Carbon* in $\mu\text{g}/\text{m}^3$ di $\text{PM}_{2.5}$) nel periodo 2008–2022 per tipo di stazione di misurazione.

10.5 Valutazione per la Svizzera

Raccomandazioni dell'OMS

L'OMS non definisce alcun valore indicativo per la fuliggine, bensì descrive raccomandazioni di intervento, le cosiddette «buone pratiche». Innanzitutto raccomanda di misurare un parametro per la fuliggine, rimandando tra l'altro allo standard di misura europeo (CEN, 2017). In secondo luogo suggerisce di allestire inventari delle emissioni, di effettuare valutazioni dell'esposizione per la popolazione e di determinare le fonti di fuliggine. Infine raccomanda di introdurre provvedimenti per la riduzione dell'esposizione e, ove possibile e necessario, di definire anche valori obiettivo o limite per le concentrazioni di immissioni.

La Svizzera soddisfa le raccomandazioni dell'OMS?

Le raccomandazioni dell'OMS sono attuate in Svizzera ormai da molto tempo. Già nel piano d'azione contro le polveri fini del 2006 sono presenti numerosi provvedimenti che contribuiscono alla riduzione delle emissioni di fuliggine. Nella rete di misurazione NABEL la Svizzera ha avviato nel 2008 la misurazione dell'eBC e dell'EC nel $\text{PM}_{2.5}$. Entrambi sono oggi misurati in nove siti (l'eBC con metodi ottici e l'EC secondo il metodo di riferimento CEN). Esistono inventari delle emissioni che sono trasmessi regolarmente alla Convenzione sull'inquinamento atmosferico transfrontaliero a lunga distanza dell'UNECE e possono essere richiamati nella banca dati EMEP (<https://www.ceip.at/webdab-emission-database/reported-emissiondata>).

Ulteriori raccomandazioni per la Svizzera

Le concentrazioni di immissioni medie annue in Svizzera sono attualmente comprese tra 0,2 e 0,8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (fig. 23). Nel rapporto sulle polveri fini 2013, la CFIAR ha auspicato la riduzione del carico di fuliggine al 20 per cento dei valori del 2013 nell'arco di dieci anni. A partire da tale anno le emissioni hanno sì continuato a diminuire in modo rilevante, ma l'obiettivo di una riduzione del 20 per cento non è ancora stato raggiunto.

La Svizzera non applica valori limite per le sostanze cancerogene, ma un obbligo di riduzione al minimo. Secondo una perizia giuridica concernente le basi per la limitazione delle emissioni di inquinanti atmosferici cancerogeni, l'obiettivo di protezione sancito nella LPAmb può ritenersi garantito se non è praticamente documentabile alcun rischio dovuto all'azione antropica. Un rischio di cancro pari a un caso su 1 milione di persone esposte sarebbe sostanzialmente trascurabile (Brunner, 2000). Per limitare il rischio di cancro a un caso su 1 milione di persone esposte, la concentrazione di fuliggine nelle stazioni di misurazione in corrispondenza di zone di traffico non dovrebbe superare 0,2–0,3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (CFIAR, 2013).

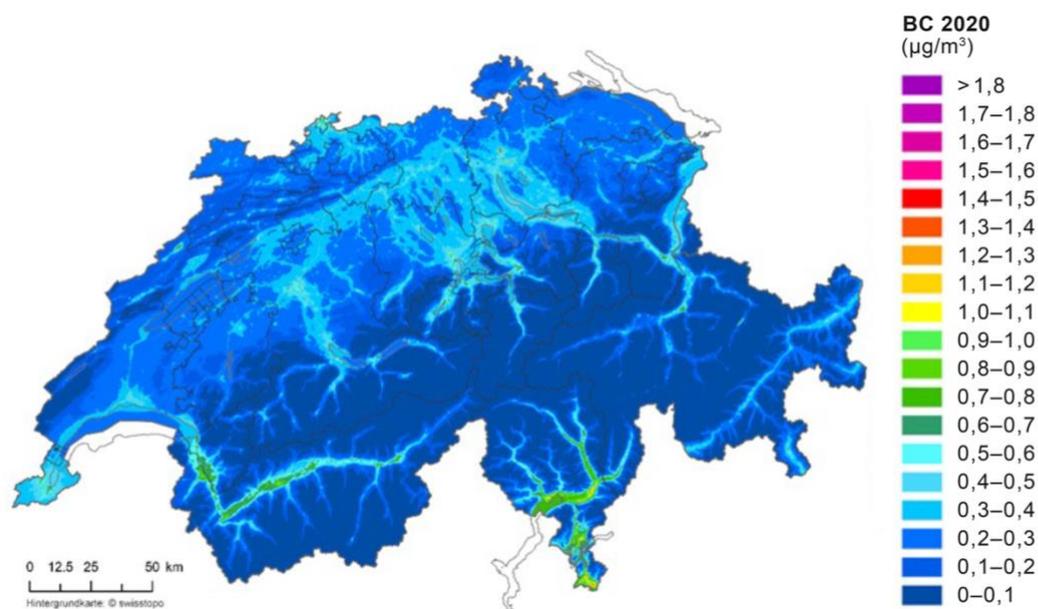


Figura 23: Immissioni di fuliggine per il 2020 (senza tenere conto degli effetti dei provvedimenti associati alla COVID-19) (INFRAS, 2021).

I codici colore di queste modellizzazioni spaziali mostrano nei toni del blu le zone in cui i valori sono inferiori a 0,3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Se la tendenza rimarrà invariata, la CFIAR ritiene che l'obiettivo di riduzione perseguito sarà raggiunto nel giro di qualche anno su tutto il territorio nazionale.

Esistono metodi di misurazione di riferimento riconosciuti a livello internazionale?

Sì: SN EN 16909:2017 (SN EN, 2017b)

11 Particelle ultrafini, numero di particelle

11.1 Raccomandazioni della CFIAR per le particelle ultrafini

In conformità con le linee guida sulla qualità dell'aria dell'OMS, la CFIAR non propone attualmente alcun valore limite d'immissione per le particelle ultrafini (UFP). L'assenza di un metodo di misurazione di riferimento internazionale fa sì che venga meno una condizione centrale per l'introduzione del valore limite d'immissione. La CFIAR sostiene però appieno le raccomandazioni d'intervento o «buone pratiche» proposte dall'OMS, alle quali le autorità svizzere aderiscono già da alcuni anni.

11.2 Fonti di UFP

Le UFP sono particelle con un diametro inferiore a 100 nanometri (nm). Il loro contributo minimo alla concentrazione di massa delle polveri fini le rende inadatte a essere rappresentate dal PM10 o dal PM2.5. Il carico di UFP è dunque descritto nella maggior parte dei casi attraverso la concentrazione numerica. A seconda della loro modalità di insorgenza, le UFP possono essere suddivise in particelle primarie e secondarie. Le particelle primarie si formano nell'aria ambiente per effetto della combustione incompleta all'interno di motori, impianti di riscaldamento, centrali elettriche, in agricoltura o nel caso di incendi boschivi. Nelle aree urbane e periferiche, la fonte principale di UFP sono i trasporti stradali. Anche i trasporti aerei emettono UFP in grandi quantità e per questo motivo le concentrazioni nei dintorni dei grandi aeroporti possono essere molto elevate (OSTLUFT, 2021; Sintermann et al., 2021). Le particelle secondarie si formano solo attraverso l'ossidazione di precursori gassosi nell'atmosfera e sono perlopiù idrosolubili. La concentrazione numerica di UFP diminuisce con la coagulazione delle particelle (collisione e aggregazione con altre particelle) e pertanto cala rapidamente man mano che ci si allontana dalle fonti.

11.3 Conseguenze delle UFP sulla salute

Mentre numerosi effetti e meccanismi di azione delle UFP sono corroborati da studi sugli animali e sulle cellule, le correlazioni epidemiologiche non possono ancora essere valutate in modo definitivo. Sono descritti soprattutto effetti diretti delle UFP nel tessuto polmonare, ma anche effetti indiretti provocati da mediatori dell'infiammazione che dai polmoni possono raggiungere la circolazione sanguigna e scatenare reazioni in altri organi. Se non si disciolgono nel liquido polmonare, le UFP, grazie alle loro dimensioni ridotte, possono penetrare negli alveoli polmonari più piccoli, essere assorbite dalle cellule polmonari e superare la barriera emato-aerea, anche se in piccole quantità, raggiungendo così la circolazione sanguigna (Health Effects Institute (HEI), 2013).

La valutazione epidemiologica delle conseguenze delle UFP sulla salute si basa su un numero relativamente limitato di studi eterogenei in quanto, diversamente dalle polveri fini o dagli ossidi di azoto, misurazioni e modellizzazioni dell'esposizione alle UFP sono disponibili solo in pochi casi. A causa della mancanza di misurazioni standardizzate, della varietà di parametri, di una difficile delimitazione degli effetti delle UFP rispetto alle conseguenze sulla salute attribuibili al PM2.5 e ad altri inquinanti, nonché del numero ridotto di studi epidemiologici di alta qualità, in particolare per gli effetti a lungo termine, le evidenze non sono ancora complessivamente sufficienti per una valutazione epidemiologica delle correlazioni causali (Ohlwein et al., 2019).

11.4 Evoluzione del carico di UFP in Svizzera

Come mostrato nella figura 24, le serie di misurazioni in tutti i tipi di stazioni documentano un calo della concentrazione numerica di particelle a partire dal 2005.

Numero di particelle per cm³

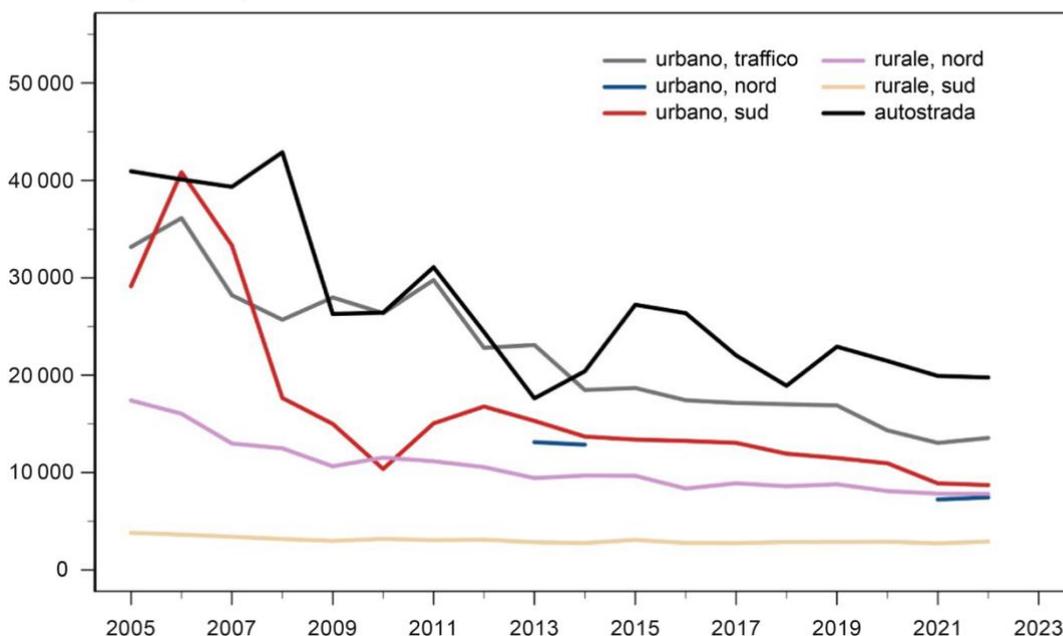


Figura 24: Particelle ultrafini, misurate come numero di particelle (dimensioni da 4 nm a 3 µm), valori medi annui nel periodo 2005–2022 per tipo di stazione di misurazione.

11.5 Valutazione per la Svizzera

Raccomandazioni dell'OMS

L'OMS non definisce alcun valore indicativo per le UFP, bensì descrive raccomandazioni di intervento, le cosiddette «buone pratiche». Oltre alla misurazione degli inquinanti aerei classici (cfr. cap. 4–9), raccomanda di eseguire misurazioni delle UFP come numero di particelle per dimensioni comprese tra un valore minore o uguale a 10 nanometri e 1 micrometro circa. I siti di misurazione dovrebbero essere suddivisi in stazioni con esposizione bassa (valore medio annuo < 1000 part./cm³) e urbane o con esposizione elevata (valore medio annuo > 10 000 part./cm³). I provvedimenti nell'ambito del controllo delle immissioni dovrebbero concentrarsi sulle stazioni di misurazione con esposizione elevata, incluse quelle in corrispondenza di strade con traffico intenso e aeroporti. Infine, l'OMS raccomanda di integrare i siti di misura esistenti con una misurazione continua delle UFP al fine di consentire un controllo di efficacia dei provvedimenti e sostenere la ricerca sull'igiene dell'aria con dati misurati. Questi ultimi dovrebbero confluire in modelli per la valutazione dell'esposizione umana.

La Svizzera soddisfa le raccomandazioni dell'OMS?

Le misurazioni del numero di particelle sono state avviate nella rete NABEL nel 2003. Oggi l'esposizione viene rilevata in sei stazioni NABEL. Le serie di misure indicano un'esposizione «elevata» nel contesto

urbano e in prossimità di zone di traffico (autostrade, aeroporti) e mostrano un dimezzamento dell'esposizione dall'inizio delle misurazioni. Il provvedimento più importante per la riduzione dell'esposizione consiste nella regolamentazione delle emissioni da tutte le fonti (veicoli a motore, compresi macchinari edili e agricoli, impianti di riscaldamento a legna, imbarcazioni e aerei).

Ulteriori raccomandazioni per la Svizzera

Per valutare in modo più mirato la rilevanza per la salute e i provvedimenti in materia di igiene dell'aria, sarebbe utile operare una distinzione tra UFP primarie e secondarie dal punto di vista tecnico delle misurazioni. Grazie a ulteriori provvedimenti per la riduzione delle emissioni alla fonte, il calo dell'esposizione osservato negli ultimi anni dovrebbe continuare. Nel caso di un'inversione di tendenza, si dovrebbero discutere le cause e adottare contromisure.

Alla luce delle domande in sospeso sull'indubbia rilevanza delle UFP per la salute, nei prossimi anni la CFIAR tornerà a occuparsi della regolamentazione in materia.

Esistono metodi di misurazione di riferimento riconosciuti a livello internazionale?

No, per la misurazione della concentrazione numerica di UFP esistono metodi di misurazione consolidati (contatore di particelle di condensazione), ma nessun metodo di riferimento affermato a livello internazionale. Le modalità d'impiego dei contatori di particelle di condensazione sono illustrate in una specifica tecnica del Comitato europeo di normazione (CEN): CEN/TS 16976:2016 (CEN, 2016).

12 Eventi di sabbia e polveri sahariane

12.1 Raccomandazioni della CFIAR per la sabbia e le polveri sahariane

La CFIAR non raccomanda alcun valore limite d'immissione per le polveri sahariane e neppure provvedimenti aggiuntivi per la Svizzera. Con il valore limite d'immissione per il valore medio giornaliero del carico di PM10 e PM2.5 si tiene già conto della sabbia e delle polveri sahariane. Le relative esposizioni svolgono un ruolo secondario per la Svizzera. Le raccomandazioni dell'OMS formulate per le regioni fortemente colpite non sono rilevanti per la Svizzera.

12.2 Conseguenze degli eventi di sabbia e polveri sahariane sulla salute

Anche i carichi di PM10 e PM2.5 causati dalle polveri sahariane aumentano la mortalità per affezioni cardiovascolari e la frequenza di problemi respiratori (Tobias et al., 2019). In Svizzera tali eventi sono però rari e di breve durata e pertanto le conseguenze acute sulla salute sono altrettanto limitate.

12.3 Panoramica sullo stato delle immissioni di polveri sahariane in Svizzera

Dal 2001 l'Istituto Paul Scherrer rileva e registra gli eventi di polveri sahariane sulla Jungfrauoch, misurando le caratteristiche ottiche delle polveri fini. Ogni anno si osservano 10–34 giorni con eventi di polveri sahariane, che possono causare superamenti minimi del valore limite giornaliero per il PM10. Il contributo al valore medio annuo di PM10 è pari a soli 0,8 µg/m³ (Collaud Coen et al., 2004). A bassa quota, gli eventi di polveri sahariane svolgono un ruolo ancora minore rispetto alle regioni di alta montagna. Anche il carico medio annuo di PM2.5 non è praticamente influenzato dalle polveri sahariane.

12.4 Valutazione per la Svizzera

Raccomandazioni dell'OMS e classificazione per la Svizzera

Le raccomandazioni dell'OMS si rivolgono ai Paesi molto interessati dagli eventi di sabbia e polveri sahariane. Per la qualità dell'aria in Svizzera, le polveri sahariane non rivestono alcuna rilevanza e la prassi vigente in materia di misurazione e informazione è sufficiente. Maggiori informazioni sono reperibili sulle pagine di MeteoSvizzera ([Eventi di polveri sahariane](#)). I Cantoni mettono a disposizione una panoramica dell'attuale inquinamento atmosferico su diverse piattaforme e anche tramite app (airCheck). Inoltre gli organi di stampa riferiscono regolarmente in merito agli eventi di polveri sahariane.

Esistono metodi di misurazione di riferimento riconosciuti a livello internazionale?

No, non esiste alcun metodo di misurazione di riferimento per le polveri di origine minerale o le polveri sahariane. L'Agenzia europea dell'ambiente AEA (2012) raccomanda di identificare e quantificare le polveri sahariane tramite una combinazione di caratterizzazione chimica dei campioni di polveri fini e informazioni meteorologiche. Per le regioni interessate sarebbe utile stabilire un metodo di riferimento.

13 Altri inquinanti e parametri

L'OMS stessa, nel rapporto relativo alle nuove linee guida sulla qualità dell'aria, non si esprime in merito a metalli, IPA o al potenziale ossidativo (PO). Nel suo rapporto sulle polveri fini del 2013, la CFIAR ha elencato altri parametri per le polveri fini o i loro componenti (CFIAR, 2013, pag. 40) e ha richiesto una nuova analisi alla luce delle basi scientifiche limitate per la valutazione di questi altri parametri, con particolare riguardo per le conseguenze a lungo termine interessate. È stata tematizzata anche la mancanza di metodi di misurazione di riferimento.

Di seguito si fornisce una panoramica degli altri inquinanti regolamentati nell'OIA o dei parametri IPA, metalli e PO delle polveri fini, approfonditi nel rapporto della CFIAR.

13.1 Idrocarburi policiclici aromatici IPA

Raccomandazioni della CFIAR per gli IPA

La CFIAR non raccomanda alcun valore limite d'immissione per gli IPA. Le immissioni di IPA devono continuare a essere monitorate e le emissioni devono essere ridotte conformemente all'obbligo di riduzione al minimo.

Fonti di IPA

Gli IPA si generano dalla combustione incompleta di materiali organici quali carbone, benzina, tabacco, olio da riscaldamento e gasolio, legno o altri prodotti di origine vegetale. In Svizzera il benzo[a]pirene, l'inquinante di riferimento per gli IPA, è causato per due terzi dagli impianti di riscaldamento a legna. Gli IPA sono composti da due o più anelli benzenici e a seconda delle dimensioni e delle condizioni ambientali si presentano in forma gassosa o legati a particelle.

Conseguenze degli IPA sulla salute

Gli IPA possono essere inalati, ma anche ingeriti insieme agli alimenti o assorbiti attraverso la cute, e si accumulano poi nel tessuto adiposo. Molti IPA, tra cui anche il benzo[a]pirene che ne è il rappresentante più noto, sono cancerogeni. Una volta introdotti nell'organismo, portano alla formazione di prodotti del metabolismo (metaboliti) dannosi che sono da ultimo responsabili delle conseguenze sulla salute.

Negli ultimi decenni sono state condotte solo poche indagini epidemiologiche in merito alle conseguenze dannose sulla salute degli IPA presenti nell'aria ambiente. Sono rarissimi gli studi che esaminano gli IPA con una risoluzione temporale e spaziale adeguata. E tuttavia vi sono alcune indicazioni della loro azione cancerogena. Studi meccanicistici confermano inoltre gli effetti acuti osservati sul sistema cardiovascolare e sulle vie respiratorie, imputabili agli IPA legati alle particelle. Nel complesso non si dispone ancora di una quantità sufficiente di dati disponibili (OMS Europe, 2021).

Evoluzione del carico di IPA in Svizzera

Nella rete di misurazione NABEL e nelle stazioni di misurazione cantonali, la concentrazione di benzo[a]pirene (in breve B[a]P), l'inquinante di riferimento per gli IPA, ha registrato un calo dall'inizio delle misurazioni nel 2006 (fig. 25 e per altri IPA fig. 39 e 40 nell'all. H (Fischer & Hüglin, 2023)). A causa delle emissioni degli impianti di riscaldamento a legna, l'esposizione è più elevata nelle regioni rurali in cui tali impianti sono presenti in abbondanza. Le emissioni locali rivestono un ruolo importante soprattutto per le concentrazioni più elevate di B[a]P nelle regioni rurali (cfr. fig. 25, tipo di stazione di misurazione Rurale sud, e all. H). Nel 2020 la media del carico di B[a]P ponderata in base alla popolazione era pari a 0,3 ng/m³ (Castro et al., 2020).

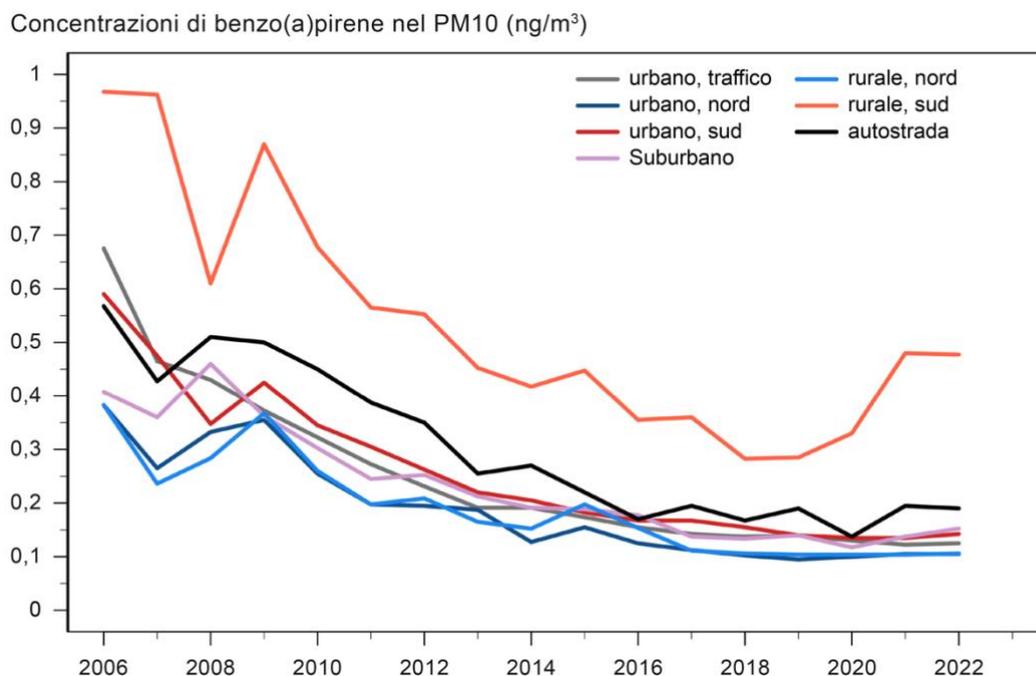


Figura 25: Valori medi annui di benzo[a]pirene nel periodo 2006–2021 per tipo di stazione di misurazione (stazioni NABEL).

Valutazione per la Svizzera

Raccomandazioni dell'UE

A causa della sua tossicità, il B[a]P è spesso utilizzato come inquinante di riferimento per gli IPA. Nella direttiva 2004/107/CE (Parlamento europeo e Consiglio dell'Unione europea, 2004), l'Unione europea ha fissato un valore obiettivo (media annuale) per il B[a]P nelle polveri fini atmosferiche (PM10) pari a 1 ng/m³. La direttiva UE chiede inoltre che siano determinati i seguenti IPA nelle polveri fini: benzo[a]antracene, benzo[b]fluorantene, benzo[j]fluorantene, benzo[k]fluorantene, indeno[1,2,3-cd]pirene, dibenzo[a,h]antracene e fluorantene. In Svizzera le immissioni di questi e di altri IPA sono misurate dal 2006 (fig. 39 e 40 nell'all. H). Per i principali rappresentanti degli IPA esistono anche inventari delle emissioni.

In che modo devono essere valutate le immissioni?

La Svizzera non applica valori limite per le sostanze cancerogene, ma un obbligo di riduzione al minimo. Per limitare il rischio di cancro a un caso su 1 milione di persone, l'esposizione media della popolazione al B[a]P dev'essere inferiore a 0,12 ng/m³ (Brunner, 2000; Guerreiro et al., 2016). Tale valore obiettivo non è stato ancora raggiunto. Essendo un componente importante dell'EC, gli IPA sono anch'essi indirettamente interessati dall'obiettivo di riduzione al minimo formulato dalla CFIAR per l'EC nel 2013. Le concentrazioni più elevate di IPA si registrano nel semestre invernale nelle valli alpine, dove sono ampiamente diffusi gli impianti di riscaldamento a legna e dove predominano spesso condizioni di inversione termica.

Esistono metodi di misurazione di riferimento riconosciuti a livello internazionale?

Sì: SN EN 15549:2008 (SN EN, 2008)

13.2 Ricadute di polvere e contenuto di metalli nelle ricadute di polvere e nelle polveri fini

L'OIAAt prevede valori limite d'immissione per le ricadute di polvere in generale, per il contenuto di piombo, cadmio, zinco e tallio nelle ricadute di polvere e per il contenuto di piombo e cadmio nelle polveri fini PM10. Inoltre, nel programma di misurazione NABEL viene misurato il contenuto di rame, arsenico e nichel nel PM10 e nelle ricadute di polvere.

Raccomandazioni della CFIAR per le ricadute di polvere e il contenuto di metalli nelle polveri fini

La CFIAR raccomanda di mantenere tutti i valori limite attualmente previsti dall'OIAAt per il contenuto di metalli nelle polveri fini PM10 e nelle ricadute di polvere e per le ricadute di polvere stesse. Tali valori sono compatibili con le linee guida sulla qualità dell'aria 2005 dell'OMS (OMS, 2006), che non hanno subito alcun adeguamento al riguardo. Per altri metalli rilevanti per la salute non è attualmente possibile determinare alcun valore limite d'immissione. Si applica il principio di precauzione, in base al quale sono ritenute opportune misurazioni periodiche del contenuto di metalli nel PM10, come avvenuto finora.

Tabella 9: Ricadute di polvere nel complesso e metalli per i quali sono stabiliti VLI nell'OIAAt. L'OIAAt utilizza ancora l'espressione «polvere in sospensione», oggi «polveri fini».

Inquinante	Unità di tempo per il calcolo del valore medio	VLI OIAAt
Piombo nelle polveri fini PM10, ng/m ³	Anno	500
Cadmio nelle polveri fini PM10, ng/m ³	Anno	1,5
Ricadute di polvere totali, mg / (m ² * d)	Anno	200
Piombo nelle ricadute di polvere, µg / (m ² * d)	Anno	100
Cadmio nelle ricadute di polvere, µg / (m ² * d)	Anno	2
Zinco nelle ricadute di polvere, µg / (m ² * d)	Anno	400
Tallio nelle ricadute di polvere, µg / (m ² * d)	Anno	2

Fonti di polveri fini metalliche

L'OIAAt regola le immissioni di quattro metalli (piombo [Pb], cadmio [Cd], tallio [Tl] e zinco [Zn]), le cui fonti principali sono economie domestiche, impianti e processi industriali e trasporti. Altri metalli come per esempio il mercurio sono regolamentati nell'OIAAt attraverso le prescrizioni in materia di emissioni. Le attività industriali e commerciali, insieme all'incenerimento di rifiuti, rappresentano la principale fonte di mercurio con poco meno dell'80 per cento. Il tallio si genera soprattutto nella produzione di cemento, mentre lo zinco proviene dall'incenerimento di rifiuti, dalle acciaierie e dalle polveri di abrasione degli pneumatici nei trasporti stradali motorizzati.

Gli studi epidemiologici utilizzano anche altri metalli contenuti nelle polveri fini (PM10 o PM2.5) come indicatori per determinate fonti. Così, per esempio, il rame e il ferro segnalano la presenza di inquinamento atmosferico legato ai trasporti. Il rame proviene dalle polveri di frenata e il ferro dall'usura meccanica di motori, freni e rotaie (Piscitello et al., 2021).

Conseguenze delle polveri fini metalliche sulla salute

I metalli contenuti nelle polveri fini (Pb, Cd) e regolamentati nell'OIA presentano una comprovata neurotossicità. In un rapporto di sintesi dell'autorità francese ANSES (2019), le evidenze relative alle conseguenze sulla salute sono state valutate sulla base di studi epidemiologici e sugli animali, anche per i componenti metallici delle polveri fini. È stato così riscontrato un alto grado di evidenza per gli effetti del nichel sulle vie respiratorie e del ferro e del vanadio sul sistema cardiovascolare, e un grado moderato per gli effetti dello zinco sul sistema cardiovascolare. Le evidenze relative a un incremento della mortalità sono state giudicate moderate per il ferro e basse per il rame.

Evoluzione delle immissioni di metalli in Svizzera

L'evoluzione delle concentrazioni dei metalli regolamentati nell'OIA è documentata nei rapporti di misurazione annuali della rete NABEL (UFAM, 2020; UFAM & Empa, 2022). Le concentrazioni dei metalli regolamentati (Pb, Cd) nelle polveri fini (PM10) e nelle ricadute di polvere (Pb, Cd, Tl, Zn) sono fortemente diminuite negli ultimi tre decenni e i VLI sono chiaramente rispettati (UFAM & Empa, 2021). Hanno registrato un notevole calo anche le concentrazioni di rame (cfr. fig. 26), nichel e arsenico nel PM10, che vengono misurate nelle stazioni NABEL dal 2006 (UFAM, 2020; UFAM & Empa, 2022). L'evoluzione nel tempo delle concentrazioni di altri metalli non regolamentati contenuti nel PM10 è invece meno nota, in quanto sono disponibili solo i dati delle indagini periodiche, basate su progetti, condotte presso un numero limitato di stazioni di misurazione.

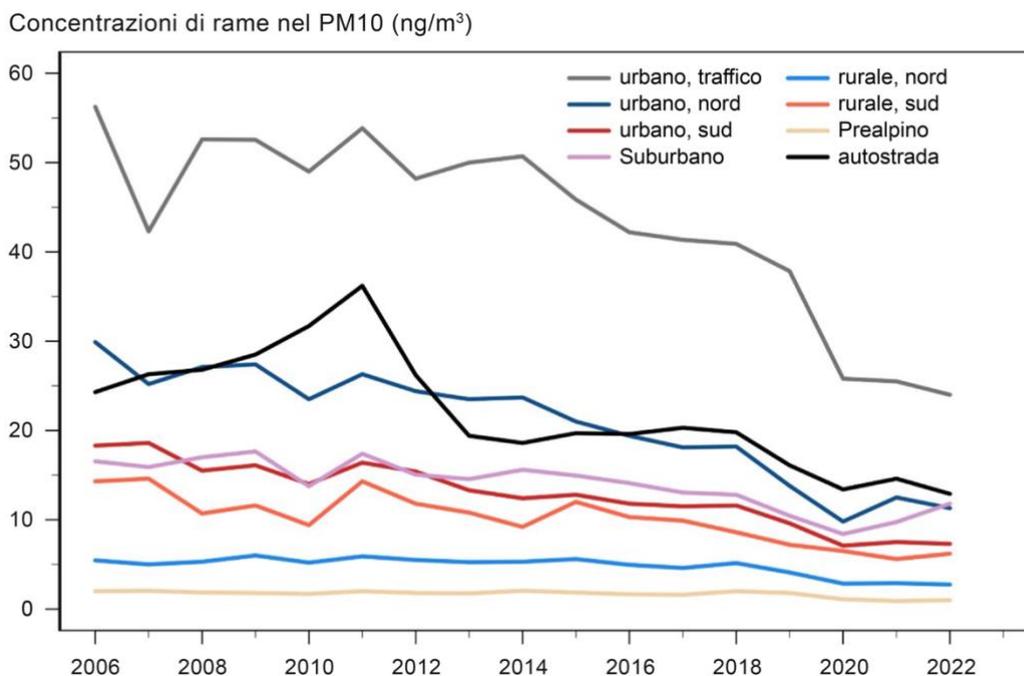


Figura 26: Media annua del carico di rame nel PM10 nel periodo 2006–2022 per tipo di stazione di misurazione come esempio dell'andamento nel tempo dei metalli nel PM10.

Valutazione per la Svizzera

Le concentrazioni di metalli nelle polveri fini PM10 sono molto più elevate nelle aree urbane che non in quelle rurali (Grange et al., 2021). Una fonte importante, per esempio di antimonio (Sb), bario (Ba), rame (Cu), ferro (Fe) e zinco (Zn), sono le cosiddette emissioni dei trasporti stradali non imputabili ai gas di scarico, vale a dire le polveri degli pneumatici, di frenata e di abrasione delle superfici stradali. Poiché tali emissioni non sono attualmente regolamentate, è prevedibile che il loro contributo relativo crescerà in futuro, a fronte di un ulteriore calo delle emissioni dai tubi di scappamento risultante dall'aumento della mobilità elettrica. Se da un lato si stanno moltiplicando le evidenze riguardanti gli effetti sulla salute, dall'altro le misurazioni e le valutazioni dell'esposizione negli studi epidemiologici rimangono ancora limitate. Mancano le basi per determinare un valore limite. Sarebbe opportuno vagliare provvedimenti per la riduzione alla fonte e misurare periodicamente i metalli contenuti nelle polveri fini che sono rilevanti per l'igiene dell'aria. L'esortazione a ridurre le emissioni di metalli a scopo precauzionale trova il suo fondamento nella LPAmb.

13.3 Potenziale ossidativo (PO) delle polveri fini

Le particelle di polveri fini possono causare stress ossidativo se ossidanti legati direttamente alle particelle penetrano nelle vie respiratorie o componenti delle polveri fini formano specie reattive dell'ossigeno (in inglese: *reactive oxygen species* [ROS]) per via catalitica nell'organismo umano. Da diversi studi risulta che determinati composti organici e metalli come ferro, manganese, rame o nichel possono formare ROS nei sistemi biologici. Le ROS contenute nelle polveri fini o formate per via catalitica possono degradare gli antiossidanti e sono misurate come PO. Per determinare il PO delle polveri fini si utilizzano diversi test di laboratorio (Bates et al., 2019) che reagiscono in modo differente ai componenti delle polveri fini. Inoltre, laboratori diversi effettuano in parte gli stessi test del PO con metodi differenti, a causa dell'attuale assenza di standard internazionali in materia di metodi di misurazione. Ciò ostacola la comparabilità delle misurazioni del PO.

Raccomandazioni della CFIAR per il PO delle polveri fini

Per il PO, una proprietà scientificamente interessante delle polveri fini che potrebbe essere rilevante ai fini della salute, non si possono attualmente determinare valori limite d'immissione e non esistono metodi di misurazione di riferimento. La CFIAR raccomanda il monitoraggio periodico e l'integrazione delle misurazioni del PO negli studi epidemiologici, al fine di poter rispondere in futuro alle domande relative ai metodi di misurazione e valutare meglio la rilevanza del PO dal punto di vista dell'igiene dell'aria.

Fonti di incremento del PO nelle polveri fini

I test del PO utilizzati reagiscono sostanzialmente a metalli come ferro, rame e manganese e ai composti organici fortemente ossidati. Le fonti di questi composti determinano il PO delle polveri fini. Studi sulla correlazione tra le fonti di emissioni e il PO delle polveri fini mostrano che i composti organici provenienti dagli impianti a legna, così come gli elementi di transizione nelle emissioni di polveri di abrasione dei trasporti, presentano un PO elevato. Gli impianti a legna e le polveri fini organiche secondarie contribuiscono in misura determinante al PO di entrambe le frazioni (PM2.5 e PM10). Date le loro dimensioni, le particelle emesse dai trasporti in modo indipendente dalla combustione (sollevamento di polvere, abrasione ecc.) sono responsabili principalmente del PO del PM10 (Daellenbach et al., 2020).

Conseguenze sulla salute delle polveri fini con incremento del PO

I diversi componenti delle polveri fini possono produrre specie reattive dell'ossigeno (*reactive oxygen species*, ROS) o dell'azoto (*reactive nitrogen species*, RNS) e generare quindi stress ossidativo, che rappresenta un importante meccanismo di azione dei carichi ambientali sulla salute (Peters et al., 2021). L'incremento dello stress ossidativo nelle cellule polmonari, ossia uno squilibrio tra processi ossidativi e

antiossidativi, causa disturbi del metabolismo e danni ossidativi a lipidi, proteine e patrimonio genetico, che possono a loro volta portare a reazioni infiammatorie croniche e causare affezioni delle vie respiratorie e del sistema cardiovascolare o il cancro. È possibile che il PO delle polveri fini rappresenti un parametro più specifico per questo meccanismo di azione rispetto alla concentrazione di massa o numerica delle particelle di polveri fini.

I pochi studi epidemiologici delineano un quadro eterogeneo degli effetti osservati sulla salute, eventualmente imputabile alle differenze tra i metodi di misurazione e tra le valutazioni dell'esposizione (cfr. Atkinson et al., 2016; Weichenthal et al., 2016; Weichenthal et al., 2021). Nell'ambito di uno studio di coorte olandese, un'analisi congiunta basata su modelli di inquinanti multipli con PM_{2.5}, PM₁₀, fuliggine (assorbimento della luce del PM_{2.5}), NO₂ e PO (misurato con ditiotreitolo [DTT]) ha dimostrato che gran parte dell'incremento del rischio di decesso è attribuibile alla concentrazione di massa del PM_{2.5} (Traini et al., 2022). L'ipotesi secondo cui il PO delle polveri fini rappresenta un parametro più rilevante per la salute rispetto alla determinazione tradizionale della massa delle polveri fini o del numero di particelle non è stata finora dimostrata.

Evoluzione dell'esposizione al PO in Svizzera

In Svizzera il PO delle polveri fini non viene ancora misurato sistematicamente. Nell'ambito di due progetti di ricerca sono state realizzate misurazioni del PO presso diversi tipi di stazioni di misurazione in Svizzera nel periodo 2013–2014 (Daellenbach et al., 2020) e 2018–2019 (Grange et al., 2022). In tali analisi, il PO è risultato notevolmente più elevato nel PM₁₀ rispetto al PM_{2.5} e i siti esposti al traffico hanno mostrato un carico più elevato rispetto agli altri. I valori misurati nella stazione urbana Berna-Bollwerk, situata in corrispondenza di una zona di traffico, indicano un calo del PO nel PM_{2.5} e nel PM₁₀.

Valutazione per la Svizzera

Ad oggi non esiste un metodo di misurazione standardizzato per la quantificazione del PO. Per misurare il PO si impiegano metodi diversi, che per di più reagiscono in modo differente ai componenti delle polveri fini. Inoltre non è chiaro se le proprietà ossidative rilevanti per la salute possano essere caratterizzate utilizzando particelle raccolte su filtri o se siano necessari metodi molto più onerosi che separano le particelle direttamente in una soluzione. Resta poi da chiarire in che modo debbano essere interpretati i risultati dei test del PO e come debbano essere ponderate le proprietà delle particelle. La situazione è ulteriormente complicata dal fatto che anche altri componenti dell'aria inquinata, in particolare ozono e ossidi di azoto, hanno forti effetti ossidativi.

Servono ulteriori ricerche per stabilire se e con quale metodo il PO potrebbe essere utilizzato in futuro come indicatore di igiene dell'aria indipendente dalla concentrazione di massa o dal numero di particelle. Un'esigenza di ricerca esiste anche per chiarire la questione dell'importanza del parametro PO come indicatore di tossicità delle polveri fini e il metodo di misurazione (Bates et al., 2019).

14 Raccomandazioni per un adeguamento dell'OIAAt

La CFIAR raccomanda al Consiglio federale di adeguare i valori limite d'immissione (VLI) nell'allegato 7 dell'OIAAt come indicato nella tabella 10, in modo che corrispondano anche in futuro ai requisiti della LPAmb. I valori raccomandati sono ampiamente in linea con i valori indicativi sulla qualità dell'aria definiti dall'OMS su base scientifica. Le minime differenze tra le raccomandazioni della CFIAR e i nuovi valori indicativi dell'OMS sono illustrate e motivate nei capitoli precedenti.

I VLI restanti devono essere mantenuti senza variazioni. Per il momento la CFIAR rinuncia a raccomandare VLI per altri inquinanti atmosferici non ancora regolamentati, ma sostiene le raccomandazioni di intervento o «buone pratiche» formulate nelle linee guida sulla qualità dell'aria 2021 dell'OMS per la riduzione al minimo della fuliggine e delle UFP. Per semplificare la lettura, le motivazioni formulate nei capitoli precedenti sono ripetute ancora una volta di seguito. Nel capitolo seguente, le raccomandazioni sono discusse tenendo conto di diversi punti di vista.

Tabella 10: Raccomandazioni della CFIAR per l'adeguamento dei VLI nell'OIAI (identica alla tabella 1). Si basano in ampia misura sui valori indicativi delle linee guida sulla qualità dell'aria 2021 (AQG) dell'OMS e sulle estese pubblicazioni in materia e se ne discostano solo in casi eccezionali motivati. L'OIAI utilizza ancora l'espressione «polvere in sospensione», oggi si predilige la designazione «polveri fini».

Inquinante	Unità di tempo per il calcolo del valore medio	AQG 2021 OMS	VLI OIAI attuali	Raccomandazione CFIAR 2023
Diossido di zolfo (SO₂), µg/m³ (cfr. cap. 8)	Valore medio annuo e nuovo valore medio per il semestre invernale	–	30 ^a	20 ^b
	95 % dei valori medi su ½ h di un anno	–	100	abrogare
	Valore medio su 24 h	40 ^c	100 ^d	40 ^c
Diossido di azoto (NO₂), µg/m³ (cfr. cap. 7)	Valore medio annuo	10	30	10
	95 % dei valori medi su ½ h di un anno	–	100	abrogare
	Valore medio su 24 h	25 ^c	80 ^d	25 ^c
Monossido di carbonio (CO), mg/m³ (cfr. cap. 9)	Valore medio su 24 h	4 ^c	8 ^d	4 ^c
Ozono (O₃), µg/m³ (cfr. cap. 6)	Stagione estiva ^e	60	–	60
	98 % dei valori medi su ½ h di un mese	–	100	100
	Valore medio su 8 h	100 ^c	–	–
	Valore medio su 1 h	–	120 ^d	120 ^d
Polveri in sospensione / polveri fini (PM10), µg/m³ (cfr. cap. 4)	Valore medio annuo	15	20	15
	Valore medio su 24 h	45 ^c	50 ^c	45 ^c
Polveri in sospensione / polveri fini (PM2.5), µg/m³ (cfr. cap. 5)	Valore medio annuo	5	10	5
	Valore medio su 24 h	15 ^c	–	15 ^c

^a Valore limite d'immissione che comprende anche la protezione della flora e della fauna, delle loro biocenosi e dei loro biotopi secondo l'articolo 1 capoverso 1 LPAmb e corrisponde allo stato delle conoscenze al momento dell'emanazione nel 1985.

^b Valore delle linee guida sulla qualità dell'aria 2000 dell'OMS (OMS, 2000), fissato per la protezione dei boschi e di altri ecosistemi. Si applica come valore medio annuo e anche per il semestre invernale (ottobre–marzo).

^c 99° percentile (ossia tre superamenti all'anno consentiti).

^d Può essere superato al massimo una volta all'anno.

^e Media dei valori medi giornalieri massimi su 8 ore della concentrazione di ozono nei sei mesi consecutivi con la concentrazione di ozono più elevata sulla media semestrale. Per la Svizzera si tratta del periodo aprile–settembre.

Polveri fini PM10

La CFIAR raccomanda di ridurre i valori limite d'immissione per le polveri fini PM10 a 15 µg/m³ per il valore medio annuo e a 45 µg/m³ per il valore medio giornaliero, tenendo così in considerazione l'obiettivo di protezione della LPAmb e le raccomandazioni dell'OMS.

Polveri fini PM2.5

La CFIAR raccomanda di ridurre il valore limite d'immissione per le polveri fini PM2.5 a 5 µg/m³ per il valore medio annuo e di introdurre un nuovo valore limite d'immissione di 15 µg/m³ per il valore medio giornaliero, tenendo così in considerazione l'obiettivo di protezione della LPAmb e le raccomandazioni dell'OMS.

Già oggi, per la determinazione del valore medio annuo delle polveri fini PM2.5 vengono effettuate misurazioni ad alta risoluzione temporale. Poiché il PM2.5 presenta una distribuzione territoriale molto omogenea, si può ritenere che per la sorveglianza delle relative immissioni sia sufficiente un numero limitato di siti di misurazione e che pertanto l'introduzione di questo nuovo valore limite d'immissione non comporterà praticamente alcun maggior onere dal punto di vista tecnico delle misurazioni.

Ozono

Per l'ozono, la CFIAR raccomanda di introdurre come valore a lungo termine il valore indicativo dell'OMS per la stagione estiva (aprile–settembre) pari a 60 µg/m³. Il valore medio su 1 ora (media su 1 h) sancito dall'OIA, che può essere superato al massimo una volta all'anno, sarà mantenuto. Poiché tale valore è statisticamente equivalente al valore indicativo dell'OMS per la media su 8 ore e garantisce quindi la stessa protezione della salute, si rinuncerà all'introduzione di un valore limite su 8 ore. Per la valutazione delle tendenze a lungo termine sarà mantenuto il valore del 98° percentile dei valori medi semiorari di un mese.

Il valore a lungo termine di 60 µg/m³ per la stagione estiva si basa su nuove evidenze riguardanti la rilevanza per la salute dell'esposizione a lungo termine. Esso è utilizzato anche per il rispetto dei valori di esposizione critici specifici per la vegetazione (Critical Levels; cfr. all. D.1), che sono stati definiti nell'ambito della Convenzione sull'inquinamento atmosferico transfrontaliero a lunga distanza dell'UNECE per proteggere la vegetazione dai danni causati dall'ozono.

Maggiori informazioni sulla comparabilità dei due valori (valore medio su 1 h e su 8 h) sono riportate nell'allegato E. Un adeguamento al valore medio su 8 ore dell'OMS comporterebbe un considerevole onere amministrativo. Inoltre i concetti d'informazione e i piani dei provvedimenti cantonali si basano sul valore medio orario e dovrebbero essere modificati se si optasse per un adeguamento all'OMS (valori medi su 8 h).

Poiché tutti i valori limite possono essere derivati dalle stesse serie di misure, l'integrazione raccomandata o il mantenimento di tali limiti d'immissione non comporta alcun onere di misurazione aggiuntivo.

Diossido di azoto NO₂

La CFIAR raccomanda di fissare i valori limite d'immissione per l'NO₂ a 10 µg/m³ per il valore medio annuo e a 25 µg/m³ per il valore medio giornaliero, tenendo così in considerazione gli obiettivi di protezione della LPAmb per quanto riguarda la salute dell'uomo e degli ecosistemi, nonché le raccomandazioni dell'OMS. Il valore del 95° percentile dei valori medi semiorari di un anno dovrebbe essere abrogato.

Con i nuovi valori limite inferiori raccomandati per il valore medio annuo e giornaliero, il valore del 95° percentile dei valori medi semiorari di un anno non è più considerato rilevante per la valutazione dell'igiene

dell'aria in Svizzera. Tale limite è rispettato in tutte le stazioni di misura NABEL da oltre 20 anni (cfr. fig. 35 nell'all. F). La CFIAR raccomanda di abrogare questo valore limite d'immissione, ma di continuare a comunicarlo regolarmente per altri cinque anni ai fini della comparabilità con gli anni passati e della valutazione delle tendenze.

Diossido di zolfo SO₂

La CFIAR raccomanda di fissare i valori limite d'immissione per l'SO₂ a 20 µg/m³ per il valore medio annuo e per il semestre invernale e a 40 µg/m³ per il valore medio giornaliero, tenendo così in considerazione l'obiettivo di protezione della LPAmb e le raccomandazioni dell'OMS e dell'UNECE. Il valore del 95° percentile dei valori medi semiorari di un anno dovrebbe essere abrogato.

Grazie a efficaci provvedimenti di protezione dell'aria come la desolforazione dell'olio da riscaldamento e dei carburanti, il carico di SO₂ è già di gran lunga inferiore al valore a breve termine proposto dall'OMS. Per la protezione della vegetazione negli ecosistemi prossimi allo stato naturale, la CFIAR raccomanda di recepire come valore medio annuo e come valore medio per il semestre invernale (ottobre–marzo) la concentrazione critica (Critical Level) di 20 µg/m³ stabilita nell'ambito della Convenzione (2017) sull'inquinamento atmosferico transfrontaliero a lunga distanza dell'UNECE (cfr. all. D.3). Tale valore corrisponde anche alle raccomandazioni che l'OMS ha emanato nel 2000 per l'Europa, in relazione alla protezione degli ecosistemi boschivi e naturali (OMS, 2000).

Con i nuovi valori limite inferiori raccomandati per il valore medio annuo, giornaliero e del semestre invernale, il valore del 95° percentile non è più considerato rilevante per la valutazione dell'igiene dell'aria in Svizzera. Tale limite è rispettato in tutte le stazioni di misurazione NABEL da oltre 20 anni (cfr. fig. 38 nell'all. G). La CFIAR raccomanda di abrogare questo valore limite d'immissione, ma di continuare a comunicarlo regolarmente per altri cinque anni ai fini della comparabilità con gli anni passati e della valutazione delle tendenze.

Monossido di carbonio CO

La CFIAR raccomanda di ridurre il valore limite d'immissione per il CO a 4 mg/m³ per il valore medio giornaliero, tenendo così in considerazione al tempo stesso l'obiettivo di protezione della LPAmb e le raccomandazioni dell'OMS.

Fuliggine

In conformità con le linee guida sulla qualità dell'aria dell'OMS, la CFIAR non propone attualmente alcun valore limite d'immissione per la fuliggine. Le immissioni di fuliggine devono continuare a essere monitorate e le emissioni devono essere ridotte conformemente all'obbligo di riduzione al minimo. La CFIAR raccomanda di portare avanti la strategia finora adottata dalla Svizzera in materia di fuliggine (riduzione delle immissioni di fuliggine al 20 % dei valori del 2013, CFIAR, 2013), che è in linea con le raccomandazioni dell'OMS.

Particelle ultrafini UFP

In conformità con le linee guida sulla qualità dell'aria dell'OMS, la CFIAR non propone attualmente alcun valore limite d'immissione per le particelle ultrafini (UFP). L'assenza di un metodo di misurazione di riferimento internazionale fa sì che venga meno una condizione centrale per l'introduzione del valore limite d'immissione. La CFIAR sostiene però appieno le raccomandazioni d'intervento o «buone pratiche» proposte dall'OMS, alle quali le autorità svizzere aderiscono già da alcuni anni.

Sabbia e polveri sahariane

La CFIAR non raccomanda alcun valore limite d'immissione per le polveri sahariane e neppure provvedimenti aggiuntivi per la Svizzera. Con il valore limite d'immissione per i valori medi giornalieri di PM10 e PM2.5 si tiene già conto della sabbia e delle polveri sahariane. Le relative esposizioni svolgono un ruolo secondario per la Svizzera. Le raccomandazioni dell'OMS formulate per le regioni fortemente colpite non sono rilevanti per la Svizzera.

Idrocarburi policiclici aromatici IPA

La CFIAR non raccomanda alcun valore limite d'immissione per gli IPA. Le immissioni di IPA devono continuare a essere monitorate e le emissioni devono essere ridotte conformemente all'obbligo di riduzione al minimo.

Ricadute di polvere e contenuto di metalli nelle ricadute di polvere e nelle polveri fini

La CFIAR raccomanda di mantenere tutti i valori limite attualmente previsti dall'OIAAt per il contenuto di metalli nelle polveri fini (PM10) e nelle ricadute di polvere e per le ricadute di polvere stesse. Tali valori sono compatibili con le linee guida sulla qualità dell'aria 2005 dell'OMS, che non hanno subito alcun adeguamento al riguardo. Per altri metalli rilevanti per la salute non è attualmente possibile determinare alcun valore limite d'immissione. Si applica il principio di precauzione, in base al quale sono ritenute opportune misurazioni periodiche del contenuto di metalli nelle polveri fini PM10, come avvenuto finora.

Potenziale ossidativo PO

Per il PO, una proprietà scientificamente interessante delle polveri fini che potrebbe essere rilevante ai fini della salute, non si possono attualmente determinare valori limite d'immissione e non esistono metodi di misurazione di riferimento. La CFIAR raccomanda il monitoraggio periodico e l'integrazione delle misurazioni del PO negli studi epidemiologici, al fine di poter rispondere in futuro alle domande relative ai metodi di misurazione e valutare meglio la rilevanza del PO dal punto di vista dell'igiene dell'aria.

15 Discussione

15.1 La legge sulla protezione dell'ambiente impone la tutela della salute

La legge sulla protezione dell'ambiente (LPAmb) costituisce la base legale dell'ordinanza contro l'inquinamento atmosferico (OIA) e prevede, tra le altre cose, che il Consiglio federale stabilisca valori limite d'immissione (VLI) per inquinanti atmosferici al fine di garantire la protezione della salute e dell'ambiente. Le linee guida sulla qualità dell'aria 2021 dell'OMS spiegano in modo convincente che l'inquinamento atmosferico causa malattie e decessi prematuri anche in presenza di esposizioni inferiori ai valori indicativi del 2005 (OMS, 2006). Le attuali evidenze scientifiche richiedono pertanto una riduzione dei valori indicativi dell'OMS finora vigenti a valori di concentrazione al di sotto dei quali non siano ancora state attese conseguenze dell'esposizione a inquinanti.

Da decenni le linee guida sulla qualità dell'aria dell'OMS, regolarmente adeguate allo stato attuale della ricerca, sono considerate in Svizzera come un punto di riferimento scientifico per la politica contro l'inquinamento atmosferico imposta dalla LPAmb. La CFIAR ritiene che lo stato della scienza nella forma documentata nelle linee guida sulla qualità dell'aria e nelle pertinenti pubblicazioni dell'OMS renda necessario un adeguamento dei VLI sanciti dall'OIA al fine di poter soddisfare anche in futuro le disposizioni della LPAmb. È dunque indispensabile adeguare i VLI vigenti sulla base delle nuove linee guida sulla qualità dell'aria 2021 dell'OMS. L'introduzione di VLI più severi nell'OIA comporta tuttavia nuove sfide e domande che sono discusse in seguito dal punto di vista locale, nazionale e internazionale. Successivamente vengono trattate le conseguenze derivanti dai metodi in parte nuovi per la determinazione dei valori indicativi dell'OMS e vengono quindi riassunte le motivazioni degli scostamenti tra i VLI proposti dalla CFIAR e i nuovi valori indicativi dell'OMS (2021). Prima delle conclusioni, la CFIAR espone le attuali lacune conoscitive.

15.2 Protezione dell'aria: una sfida a livello locale, nazionale e internazionale

Necessità di ulteriori provvedimenti

Negli ultimi 40 anni, con grande efficacia, la Svizzera ha orientato la propria politica contro l'inquinamento atmosferico a VLI incentrati sull'effetto e basati sulla LPAmb. Tali limiti sono ormai perlopiù rispettati in quasi tutti i siti per la maggior parte degli inquinanti. Tuttavia, con l'adeguamento proposto dei VLI, la qualità dell'aria sarà ritenuta giuridicamente fuori limite soprattutto negli agglomerati più densamente popolati. Per poter rispettare a medio termine anche i nuovi VLI proposti dalla CFIAR, le emissioni di inquinanti atmosferici devono essere ulteriormente ridotte. Per assicurarsi il sostegno degli attori locali e nazionali e della popolazione, occorre dunque comunicare in modo chiaro e trasparente i motivi per i quali è necessario ridurre i VLI. Di seguito sono riassunti i motivi principali:

- al momento della definizione dei VLI vigenti e delle linee guida sulla qualità dell'aria 2005 dell'OMS (OMS, 2006) non esistevano ancora dati consolidati sulle conseguenze delle basse esposizioni agli inquinanti; i gruppi di popolazione che hanno partecipato agli studi nazionali e internazionali di grande portata e centrali per la ricerca erano esposti a carichi di inquinanti che nella grande maggioranza dei casi erano superiori ai precedenti valori indicativi dell'OMS o dei VLI attualmente vigenti, sanciti dall'OIA;
- l'inquinamento atmosferico non è diventato «più pericoloso», ma grazie ai grandi successi nella protezione dell'aria e alla più intensa attività di ricerca in Europa e Nordamerica è stato possibile dimostrare le conseguenze anche di un'esposizione relativamente bassa. Secondo la legge sulla protezione dell'ambiente, l'evidenza per cui anche concentrazioni di inquinanti più basse possono nuocere alla salute impone di ridurre i VLI sanciti dall'OIA;
- la scienza conferma che ogni riduzione dell'inquinamento atmosferico si ripercuote positivamente sulla salute della popolazione.

Aggiornamento dei piani d'azione

Il rispetto dei nuovi valori limite più severi comporta l'aggiornamento dei provvedimenti in materia di protezione dell'aria. Le autorità cantonali e nazionali dovranno continuare a dedicarsi con tenacia all'applicazione di misure precauzionali e ai piani d'azione per l'igiene dell'aria. Alla luce delle nuove sfide in materia di igiene dell'aria, si impone una revisione in tempi rapidi della strategia di lotta contro l'inquinamento atmosferico del Consiglio federale.

I provvedimenti per la protezione dell'aria già in vigore hanno comportato un netto calo dell'inquinamento atmosferico, tendenza che dovrebbe proseguire grazie all'adeguamento coerente delle prescrizioni in materia di emissioni ai progressi della tecnica. Per raggiungere gli obiettivi è però necessario integrare e attuare rapidamente i piani dei provvedimenti per tutte le fonti. In caso contrario, gli obiettivi dei nuovi VLI proposti difficilmente potranno essere raggiunti o subiranno forti ritardi.

Vista la necessità di ridurre ulteriormente esposizioni relativamente basse, diventa ancora più importante una regolamentazione mirata e orientata alle fonti che consenta di dare priorità ai provvedimenti efficienti in termini di costi. A tal fine possono essere necessarie ponderazioni dei provvedimenti diverse a livello regionale o cantonale, in quanto le emissioni di agricoltura, edilizia, trasporti, aeroporti, industria e impianti di accensione variano da regione a regione. Esempi di notevoli differenze a livello regionale riguardano le sfide legate all'agricoltura, agli impianti di riscaldamento (in particolare quelli a legna) o alle industrie locali (p. es. cemento o grafite). È inoltre importante tenere fede alle disposizioni in materia di igiene dell'aria contenute nella LPAmb, e quindi alla protezione della salute, anche dinanzi a nuove sfide come per esempio la gestione della crisi energetica.

La politica contro l'inquinamento atmosferico finora perseguita dalla Svizzera ha dato buoni risultati in tal senso, ottenendo la riduzione di gran parte degli inquinanti (sia regolamentati che non regolamentati). Per esempio, i provvedimenti per la riduzione delle emissioni di NO_x hanno ripercussioni positive su diversi settori: da un lato contribuiscono al rispetto dei valori limite d'immissione per l'NO₂ e alla riduzione dei picchi di ozono e dall'altro, attraverso la riduzione della formazione secondaria di nitrati, ottengono anche una riduzione del carico di polveri fini PM10 e PM2.5. Inoltre riducono l'immissione di azoto reattivo negli ecosistemi prossimi allo stato naturale (cfr. rapporti CFIAR, 2005; CFIAR, 2014, 2020), che conformemente alla LPAmb devono essere anch'essi protetti da conseguenze negative. Anche i provvedimenti incentrati sulla riduzione della massa di polveri fini hanno dato ottimi risultati, sebbene questo indicatore di qualità dell'aria riproduca solo in modo incompleto la complessità tossicologica dei componenti delle polveri fini. Parallelamente sono infatti diminuite anche le frazioni delle particelle ultrafini non ancora regolamentate.

L'ozono desta preoccupazione

A livello nazionale ed europeo, l'inquinamento da ozono è ancora ben lontano dal diminuire nella misura necessaria, nonostante una politica generale contro l'inquinamento atmosferico che mira a ridurre inquinanti precursori quali gli ossidi di azoto (NO_x) e i composti organici volatili diversi dal metano (NMVOC). Si è tuttavia riusciti a contenere i picchi di ozono, che nelle estati del 2020 e del 2022, nonostante le ondate di caldo, sono rimasti ben al di sotto dei livelli toccati nella torrida estate del 2003. Gli sforzi volti a ridurre precursori quali gli ossidi di azoto, i composti organici volatili (diversi dal metano, NMVOC), il metano e il monossido di carbonio devono essere intensificati a tutti i livelli, sia in ambito nazionale che internazionale. I provvedimenti dovrebbero essere armonizzati anche con la politica climatica. Una riduzione delle concentrazioni di metano e dell'ozono sarebbe infatti molto importante ed efficace anche per la protezione del clima.

La prospettiva internazionale conta

Da anni la Svizzera si impegna per l'igiene dell'aria anche sul fronte internazionale. Ha infatti ratificato tutti gli otto protocolli per la riduzione degli inquinanti atmosferici approvati nell'ambito della Convenzione sull'inquinamento atmosferico transfrontaliero a lunga distanza (*Convention on Long-range Transboundary Air Pollution*, CLRTAP) della Commissione economica delle Nazioni Unite per l'Europa (UNECE). L'Ufficio federale dell'ambiente partecipa attivamente a diversi organismi della CLRTAP. La DSC sostiene nei Paesi partner pacchetti di provvedimenti innovativi per il miglioramento della qualità dell'aria. Con i nuovi VLI raccomandati la cooperazione internazionale in materia di protezione dell'aria acquisirà ancora più importanza, in quanto l'incidenza relativa dell'«inquinamento di fondo» su superfici estese diverrà più importante in presenza di basse esposizioni. In particolare le fasce di confine dipendono anche dalla politica contro l'inquinamento atmosferico dei Paesi limitrofi (p. es. a causa della dispersione nell'aria o del contributo della flotta di veicoli dei frontalieri).

Anche nei Paesi confinanti la qualità dell'aria è costantemente migliorata, sebbene l'inquinamento atmosferico negli agglomerati dei Paesi limitrofi diminuisca con un certo ritardo rispetto alla Svizzera. Tale circostanza è dovuta tra l'altro al fatto che la direttiva 2008/50/CE (Parlamento europeo e Consiglio dell'Unione europea, 2008), diversamente dall'OIA, non si orienta direttamente agli obiettivi di protezione della salute derivati nelle linee guida sulla qualità dell'aria 2005 dell'OMS, in particolare nel settore delle polveri fini. I valori limite delle polveri fini nell'Unione europea (UE) sono infatti due o tre volte superiori ai valori indicativi 2005 dell'OMS e ai VLI svizzeri.

Il 26 ottobre 2022 la CFIAR ha preso atto con interesse della riduzione dei valori limite proposta dalla Commissione europea (Commissione europea, 2022; Parlamento europeo, 2022), accogliendo con favore la proposta di quest'ultima, contenuta nel Green Deal europeo, di creare un ambiente privo di sostanze tossiche entro il 2050 (Commissione europea, 2019; Commissione europea, 2021). Inoltre la direttiva NEC (Parlamento europeo e Consiglio dell'Unione europea, 2016) stabilisce elevati impegni di riduzione per gli Stati membri fino al 2030 e oltre. Il carico di inquinanti nei Paesi confinanti e quindi anche il trasporto transfrontaliero di inquinanti in Svizzera dovrebbero pertanto diminuire sensibilmente nel medio e lungo periodo. A beneficiarne saranno soprattutto il Ticino e altre regioni di confine, come Ginevra e Basilea.

Se l'attuale proposta della Commissione europea per la nuova direttiva sulla qualità dell'aria dovesse essere accolta, l'UE recepirebbe però come nuovi valori limite solo i valori indicativi dell'OMS del 2005, con il risultato che anche in futuro la regolamentazione dell'UE non attribuirebbe sufficiente priorità alle esigenze della protezione della salute. Di conseguenza, con i nuovi valori limite proposti dalla CFIAR, la politica svizzera contro l'inquinamento atmosferico continuerebbe a divergere come in passato dalle disposizioni normative dell'UE. Per inquadrare l'andamento più lento della politica europea contro l'inquinamento atmosferico, occorre considerare un'importante differenza normativa tra l'UE e la Svizzera. Diversamente dalla Svizzera, l'UE non fissa solo valori limite, ma definisce anche scadenze per il raggiungimento di tali obiettivi, pena l'applicazione di sanzioni agli Stati membri. Inoltre i livelli di inquinamento in alcuni Paesi dell'UE sono ancora nettamente superiori a quelli svizzeri. Tali circostanze fanno sì che i valori limite non si basino solo su una giustificazione scientifica legata alla salute, ma siano determinati anche da compromessi politici in materia di protezione della salute e dalla formulazione di «obiettivi intermedi» meno ambiziosi.

Per quanto riguarda il rispetto dei valori limite d'immissione, la protezione dell'aria in Svizzera non è soggetta a limiti temporali giuridicamente vincolanti né a sanzioni monetarie come accade nell'UE. Questo potrebbe essere uno dei motivi per cui finora non si sono mai frapposti ostacoli sostenuti da una maggioranza politica all'introduzione di valori limite derivati scientificamente e corrispondenti agli obiettivi di

protezione della LPAmb. Inoltre, il modo di procedere finora adottato dalla Svizzera ha dimostrato di essere una scelta vincente. La proposta della CFIAR tiene fede alla LPAmb e ai principi e agli obiettivi di protezione ivi sanciti, cui è improntata l'efficace politica ambientale della Svizzera.

L'OIAI non regola l'inquinamento dell'aria interna

In seguito al miglioramento della qualità dell'aria, l'attenzione è sempre più rivolta alla questione del ruolo dell'inquinamento dell'aria interna, in quanto la popolazione trascorre in media circa il 90 per cento del tempo negli ambienti chiusi. I valori indicativi derivati dall'OMS si basano sulla letteratura scientifica relativa alle conseguenze dell'esposizione agli inquinanti nell'aria esterna. Un'estesa letteratura conferma però anche l'esistenza di un'elevata correlazione tra la concentrazione di inquinanti che dall'aria esterna penetrano negli ambienti chiusi e le concentrazioni nell'aria esterna utilizzate negli studi. Anche ulteriori carichi generati da importanti fonti negli ambienti chiusi, come il fumo di tabacco o i fornelli a gas, sono prese in considerazione negli studi sulle conseguenze dell'aria esterna. Le evidenze relative agli effetti dell'aria esterna non risultano dunque sostanzialmente alterate dagli inquinanti nell'aria interna. In linea di principio, i valori indicativi definiti dall'OMS per la qualità dell'aria esterna potrebbero essere applicati anche per gli inquinanti negli ambienti chiusi.

Tuttavia, la qualità dell'aria interna non è solo il risultato delle immissioni dall'aria esterna, ma anche di contributi importanti e in parte maggiormente rilevanti degli stessi inquinanti (e anche di altri) da fonti presenti negli ambienti chiusi. Sigarette, candele, fornelli e impianti a legna sono fonti di fumo importanti che influiscono fortemente sulla qualità dell'aria interna. L'ambito di applicazione della LPAmb e di conseguenza anche dei valori limite dell'OIAI è circoscritto all'aria esterna. Esistono tuttavia disposizioni di legge in materia di aria interna nei posti di lavoro e valori limite per l'emissione di inquinanti dai materiali edili negli ambienti chiusi (p. es. formaldeide). Inoltre vige il divieto di fumare negli ambienti chiusi pubblici. Come menzionato anche in un precedente rapporto della CFIAR (CFIAR, 2010), l'Ufficio federale della sanità pubblica (UFSP) è incaricato di informare la popolazione, conformemente all'articolo 29 della legge federale sulla protezione contro le sostanze e i preparati pericolosi (LPChim; RS 813.1, stato 1° gennaio 2017), in merito alle sostanze nocive all'interno di locali. Nel complesso, le prescrizioni svizzere in materia di emissioni di inquinanti atmosferici negli ambienti chiusi privati sono lacunose e contenute in diversi atti emanati dalla Confederazione o dai Cantoni.

Le esperienze maturate con la pandemia da coronavirus hanno riaperto la discussione sulla regolamentazione a livello giuridico della qualità dell'aria interna. Un'aerazione interna idonea alle esigenze della pandemia non ridurrebbe infatti solo la quantità di particelle virali presenti nell'aria, ma anche, a seconda della tecnologia impiegata, il carico di inquinanti regolamentati nell'OIAI provenienti da fonti interne ed esterne. L'individuazione di soluzioni realizzabili e auspicabili, nonché efficaci sotto il profilo sanitario, da un lato richiede ampi sforzi di ricerca a livello interdisciplinare e dall'altro un'analisi e una valutazione approfondite delle possibili disposizioni legali in materia di aria interna.

15.3 Conseguenze del nuovo metodo dell'OMS per la determinazione dei valori indicativi

Diversi adeguamenti

La revisione 2021 delle linee guida sulla qualità dell'aria dell'OMS e le raccomandazioni formulate dalla CFIAR su tale base comportano adeguamenti di varia entità dei valori indicativi. Per esempio, il valore indicativo per il PM_{2.5} è stato dimezzato, mentre quello per l'NO₂ è stato ridotto di quattro volte rispetto alle linee guida 2005 e di tre volte rispetto ai VLI attualmente vigenti sanciti dall'OIAI. Tali divergenze non sono giustificate da differenze nelle conseguenze sulla salute o nella loro ponderazione, bensì sono solo il risultato dell'aggiornamento del metodo per la determinazione dei valori indicativi. Negli ultimi anni, per

esempio, sono stati pubblicati ampi studi a lungo termine i cui partecipanti erano esposti a bassi carichi di NO₂ nel loro luogo di residenza. Poiché, come per le polveri fini, si è evidenziato un continuo aumento delle conseguenze sulla salute già a partire dalle concentrazioni osservate più basse, i valori indicativi sono stati definiti a livelli altrettanto bassi in assenza di indicazioni di valori soglia non dannosi. Per contro, gli studi più recenti e quelli più datati presentano differenze minori per quanto riguarda il carico di PM_{2.5} e per tale ragione il nuovo valore indicativo è stato solo dimezzato.

La causalità degli effetti diretti dei singoli inquinanti non risulta dimostrata in egual misura per tutte le conseguenze sulla salute finora esaminate. Dal punto di vista dell'esigenza della protezione della salute, centrale per la determinazione dei valori indicativi dell'OMS e dei VLI sanciti dall'OIA, secondo la LPAmb è tuttavia sufficiente dimostrare una correlazione causale per almeno un effetto. Per esempio, è dimostrato che il diossido di azoto causa un aumento della sintomatologia asmatica e dei consulti di emergenza.

Importanza della definizione statistica dei valori limite a breve termine

Nelle linee guida sulla qualità dell'aria 2021, l'OMS ha adottato nuovi approcci metodologici per la definizione dei valori indicativi a breve termine. Ha prima proceduto a una determinazione scientifica basata sulla salute dei valori a lungo termine e da tali valori ha poi ricavato quelli a breve termine per PM₁₀, PM_{2.5} e NO₂ applicando principi di base statistici. I valori indicativi giornalieri sono valori statisticamente definiti che possono essere superati al massimo poche volte all'anno. Il nuovo metodo contemplato dalle linee guida mira a garantire che attraverso il rispetto delle regole relative ai valori giornalieri, per esempio al massimo tre superamenti del valore giornaliero all'anno, siano soddisfatte anche le disposizioni in materia di valore medio giornaliero (e viceversa).

L'incoerenza normativa tra valori medi giornalieri e annui può avere conseguenze indesiderate sulla politica contro l'inquinamento atmosferico. Potrebbero infatti sorgere problemi legati ai valori a lungo termine, meno severi rispetto a quelli giornalieri, con il risultato che potrebbero verificarsi frequenti superamenti dei valori giornalieri nonostante il rispetto dei VLI annui. Potrebbero così rendersi necessari provvedimenti volti a contrastare i superamenti dei picchi giornalieri. Dal punto di vista della protezione della salute, la politica contro l'inquinamento atmosferico dovrebbe però focalizzarsi in via prioritaria sulla riduzione a lungo termine dell'esposizione e sul rispetto dei valori limite a lungo termine, ossia dei valori medi annui. Se da un lato i «provvedimenti d'emergenza» volti a limitare i superamenti di alcuni cosiddetti «picchi» possono sensibilizzare la politica e la popolazione al problema dell'inquinamento atmosferico, dall'altro la loro utilità per la salute è limitata rispetto a quella dei provvedimenti con un orientamento a lungo termine. Poiché i valori medi giornalieri dipendono fortemente dalle condizioni meteorologiche, l'influenza dei provvedimenti a breve termine sull'esposizione è inoltre incerta e perlopiù marginale. Le nuove linee guida sulla qualità dell'aria 2021 dell'OMS intendono evitare questi falsi incentivi attraverso l'armonizzazione statistica dei valori indicativi a lungo e breve termine.

Occorre tuttavia sottolineare che la definizione statistica dei valori medi giornalieri è in grado di riprodurre solo la correlazione media tra valori medi annui e giornalieri. Benché fondata su serie di dati internazionali molto estese, la correlazione statistica evidenzia infatti differenze regionali e locali tra il valore medio annuo e il numero di superamenti dei valori medi giornalieri. Da un'analisi dettagliata dei dati NABEL emerge che anche in Svizzera, in tutti i tipi di stazioni di misurazione, esiste un'elevata correlazione tra la media giornaliera e annua per quanto riguarda il rispetto dei VLI. Come illustrato negli allegati C.2, C.3 e F.2, tale constatazione vale anche in particolare per i nuovi VLI proposti. Si può dunque ritenere che rispettando il VLI giornaliero sia rispettato anche il valore medio annuo e viceversa. Tendenzialmente, il VLI giornaliero sembra essere un po' meno severo per la situazione svizzera ed è quindi possibile che, nonostante il rispetto del VLI annuo, la concentrazione superi il VLI a breve termine anche per più di tre

giorni. Questi potenziali scostamenti non sono rilevanti né per l'esecuzione né per la protezione della salute.

15.4 Proposte divergenti rispetto a quelle dell'OMS e abrogazione dei valori limite

Per quanto riguarda i valori di ozono e di SO₂, la CFIAR formula raccomandazioni divergenti da quelle dell'OMS, e per l'SO₂ e l'NO₂ propone l'abrogazione dei valori limite esistenti. I motivi sono riassunti ancora una volta brevemente di seguito.

Ozono

Ad oggi l'OIAAt regola le esposizioni a breve termine con un valore medio orario e con il valore del 98° percentile dei valori medi semiorari di un mese, orientato ai picchi di inquinamento. La CFIAR non ritiene che vi sia motivo di derogare agli attuali valori limite d'immissione previsti dall'OIAAt. I diversi parametri a breve termine presentano un'elevata correlazione statistica e i valori proposti dall'OMS e quelli fissati dall'OIAAt sono equivalenti (cfr. all. E). Si può dunque ritenere che attraverso il rispetto dei valori limite fissati dall'OIAAt siano rispettati anche i valori indicativi dell'OMS. Il mantenimento della regolamentazione dell'OIAAt comporta per le autorità svizzere il grande vantaggio di disporre ancora di dati comparabili, grazie ai quali possono monitorare le tendenze in modo affidabile e lasciare invariati i piani d'azione elaborati su tale base.

Le linee guida sulla qualità dell'aria dell'OMS non specificano un periodo fisso per il nuovo valore indicativo per la stagione estiva, ma si limitano a fissare un valore indicativo per i sei mesi che presentano i carichi più elevati, che coincidono con quelli più caldi in estate, quando l'inquinamento da ozono è tipicamente elevato e persistente. In Svizzera, alcune stazioni situate ad altitudini elevate possono registrare un valore di ozono da marzo ad agosto più elevato rispetto a quello del periodo da aprile a settembre. Per maggiore uniformità e semplicità, la CFIAR ha deciso di proporre per la Svizzera un valore limite orientato al periodo aprile–settembre. Tale scelta non si ripercuote in alcun modo sulla politica contro l'inquinamento atmosferico e sulle conseguenze sulla salute.

NO₂

Con l'introduzione di un valore medio giornaliero molto più severo, il valore limite a breve termine finora applicato per il controllo dei picchi di inquinamento (valore del 95° percentile dei valori medi su ½ h di un anno) diviene superfluo. Attraverso il rispetto dei nuovi VLI raccomandati sarà rispettato anche questo valore dei picchi di inquinamento.

SO₂

Mentre le linee guida sulla qualità dell'aria 2021 dell'OMS non specificano alcun valore medio annuo indicativo, in Svizzera si è applicato finora un VLI medio annuo di 30 µg/m³. La CFIAR propone adesso un valore medio annuo e semestrale di 20 µg/m³, che corrisponde ai valori di esposizione critici per la protezione degli ecosistemi prossimi allo stato naturale definiti nell'ambito della Convenzione sull'inquinamento atmosferico transfrontaliero a lunga distanza dell'UNECE (UNECE, 2017). Diversamente dalle linee guida sulla qualità dell'aria 2021 dell'OMS, secondo la LPAmb i VLI per la Svizzera devono anche proteggere la natura dagli influssi dannosi. Con i nuovi valori limite inferiori raccomandati, viene meno la necessità del valore del 95° percentile dei valori medi semiorari di un anno. Tale limite è rispettato in tutte le stazioni di misurazione NABEL da oltre 20 anni.

15.5 Lacune conoscitive

Le basi scientifiche per l'adeguamento proposto dei VLI sono molto ampie e coerenti. Le discussioni in seno alla CFIAR hanno però individuato anche una necessità di ricerca per i prossimi anni. I punti principali sono riassunti brevemente di seguito.

- Tra qualche anno si dovrà nuovamente valutare lo stato delle conoscenze sugli effetti combinati di diversi inquinanti. È improbabile che tale nuova valutazione individui una necessità di adeguamenti dei VLI, ma gli effetti combinati potrebbero tuttavia richiedere una ridefinizione delle priorità per i provvedimenti di protezione dell'aria. Per esempio, vi sono indicazioni secondo cui gli effetti delle polveri fini sarebbero amplificati dall'inquinamento da ozono. La riduzione dell'inquinamento da ozono sarebbe dunque rilevante anche in relazione alle conseguenze delle polveri fini sulla salute.
- L'affermazione di standard internazionali per la misurazione delle UFP e del numero di particelle dovrebbe essere promossa anche dalle autorità svizzere, essendo tali standard un presupposto per l'eventuale introduzione di VLI. Le UFP sono dannose per la salute e potrebbero così essere regolamentate sulla base della LPAmb. Sono tuttavia necessarie ulteriori ricerche. Nei prossimi anni la CFIAR tornerà a occuparsi della regolamentazione in materia in UFP.
- La rilevanza per la salute di specifiche caratteristiche o fonti di inquinanti dovrebbe essere identificata con maggiore chiarezza dal punto di vista scientifico. Ne sono un esempio il potenziale ossidativo delle polveri fini o la polvere di frenata. In tale contesto si dovrebbero valutare sia gli effetti sulla salute sia l'opportunità di eventuali provvedimenti.
- Occorre continuare a sviluppare e applicare metodi per la determinazione del contributo di fonti di emissioni specifiche all'inquinamento da polveri fini, in considerazione dell'ardua sfida che comporta la loro ulteriore riduzione. Le indagini su questo fronte sono impegnative e devono essere condotte in modo mirato al fine di sostenere le autorità nella promozione di provvedimenti efficaci ed efficienti in termini di costi e nella definizione delle relative priorità.
- Occorre promuovere la ricerca sui costi e sull'utilità per la salute e per l'igiene dell'aria dei provvedimenti di protezione dell'aria, affinché questa possa contribuire a raggiungere i nuovi VLI proposti possibilmente in un'ottica di redditività e sostenibilità.

16 Conclusioni

In sintesi si può affermare che in virtù delle disposizioni della legge sulla protezione dell'ambiente gli attuali valori limite d'immissione dell'OIAAt devono essere adeguati ai nuovi valori indicativi delle linee guida sulla qualità dell'aria 2021 dell'OMS, al fine di continuare a garantire la protezione della salute secondo le evidenze scientifiche più recenti. Il rispetto dei nuovi VLI proposti richiede un'ulteriore riduzione delle emissioni e quindi l'attuazione rapida e coerente di provvedimenti per la protezione dell'aria. La storia di successo della politica svizzera contro l'inquinamento atmosferico, improntata alla collaborazione costruttiva e mirata delle autorità locali, cantonali e nazionali con le attività industriali, commerciali e agricole, ci rende fiduciosi che i nuovi valori limite d'immissione proposti possano essere rispettati in una prospettiva a medio termine. L'esecuzione deve continuare a tenere conto delle peculiarità locali e regionali e in particolare dare priorità anche ai settori nei quali si è ancora in ritardo con i provvedimenti (p. es. l'agricoltura), nonché alle fonti che stanno diventando sempre più rilevanti (p. es. impianti a legna), sfruttando appieno le sinergie tra protezione dell'aria e politica climatica. La stretta cooperazione internazionale, in particolare anche con i Paesi confinanti, continuerà a rivestire grande importanza.

Allegato

Allegato A – Linee guida sulla qualità dell'aria 2021 dell'OMS

A.1 Metodo per la definizione delle nuove linee guida sulla qualità dell'aria ed effetti sulla salute esaminati

I valori indicativi delle linee guida sulla qualità dell'aria 2021 dell'OMS sono stati elaborati attraverso i seguenti passaggi:

- definizione del campo di applicazione delle linee guida e formulazione delle domande per le revisioni sistematiche;
- revisioni sistematiche delle evidenze e meta-analisi delle stime degli effetti quantitativi come base per l'aggiornamento dei valori indicativi di qualità dell'aria;
- valutazione della qualità delle evidenze risultanti dalle revisioni sistematiche per gli inquinanti;
- determinazione dei valori indicativi, ossia del carico più basso per il quale esiste una correlazione dimostrata con conseguenze negative sulla salute.

Fondamentale è stata la definizione degli inquinanti atmosferici e delle conseguenze sulla salute da valutare nell'ambito delle revisioni sistematiche commissionate. Queste dovevano fornire informazioni sull'entità dell'effetto e sul tipo di relazione esposizione/effetto, e quindi sui possibili valori soglia e sul tipo di aumento del rischio a fronte di un aumento dell'esposizione (p. es. lineare). In una fase successiva si doveva valutare anche la qualità scientifica degli studi disponibili. A tal fine i ricercatori hanno potuto basarsi su metodi ottimizzati per la misurazione e la valutazione dell'esposizione, ma anche attingere a un numero crescente di studi che indagavano le conseguenze sulla salute in presenza di basse esposizioni in Europa e Nordamerica.

Sulla base dei risultati delle revisioni sistematiche, il comitato scientifico di esperti del gruppo addetto all'elaborazione delle linee guida ha valutato le evidenze relative alle correlazioni esaminate e ne ha ricavato i valori indicativi applicando una procedura trasparente elaborata ad hoc. Per i valori a lungo termine (valori medi annui raccomandati) è stata considerata determinante, in presenza di evidenze sufficienti, l'esposizione più bassa rilevata negli studi che osservavano le conseguenze dannose sulla salute. Per la definizione dei valori indicativi a breve termine (p. es. media giornaliera), in mancanza di valori soglia è stata scelta una misura statistica che fosse in relazione con il valore a lungo termine, oppure valori che negli studi a breve termine corrispondessero alle esposizioni massime che dovevano essere superate nel complesso solo tre o quattro volte all'anno.

La tabella 11 mostra gli studi sulla bassa esposizione utilizzati per la definizione del valore limite a lungo termine di PM_{2.5}. È stata calcolata la media dei cinque valori più bassi del 5° percentile, tratti da studi che mostravano le conseguenze sulla mortalità in presenza di basse esposizioni. Il 5° percentile dell'esposizione ottenuto dagli studi di Pinault et al. (2016), Cakmak et al. (2018), Pinault et al. (2017), Di et al. (2017) e Hart et al. (2015) è risultato pari a 4,9 µg/m³. Tale valore è stato arrotondato a 5 µg/m³ e utilizzato come valore indicativo. Poiché gli studi di Weichenthal et al. (2014) e di Parker et al. (2018) non mostravano rispettivamente alcun incremento e alcun incremento significativo del rischio di decesso e lo studio di Villeneuve et al. (2015) non indicava alcun incremento del rischio di decesso al di sotto di 8 µg/m³, tali studi non sono stati presi in considerazione nel calcolo (cfr. OMS, 2021, pag. 76 Step 2).

Tabella 11: Studi sulla bassa esposizione che sono confluiti nella meta-analisi OMS di Chen and Hoek (2020) sulla mortalità associata all'esposizione a lungo termine al PM2.5 (OMS, 2021). Ordinati in base al carico mediano. HR = Hazard Risk, stima degli effetti sanitari, 95 %; CI = intervallo di confidenza del 95 %.

Studio	Media / mediana [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	Scostamento standard	5° percentile	25° percentile	HR (95 %-CI) ogni 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Pinault et al. (2016)	5,9	–	3,0	4,2	1,26 (1,19–1,34)
Cakmak et al. (2018)	6,5	2,0	3,2	–	1,16 (1,08–1,25)
Pinault et al. (2017)	7,1	–	3,5	5,4	1,18 (1,15–1,21)
Weichenthal et al. (2014)	9,5	1,7	6,7	–	0,95 (0,76–1,19)
Villeneuve et al. (2015)	9,5	3,5	4,8	–	1,12 (1,05–1,20)
Di et al. (2017)	11,5	2,9	7,1	9,5	1,08 (1,08–1,09)
Parker et al. (2018)	11,8	–	–	10,1	1,03 (0,99–1,08)
Bowe et al. (2018)	11,8	–	7,9	10,2	1,08 (1,03–1,13)
Hart et al. (2015)	12,0	2,8	7,8	10,2	1,13 (1,05–1,22)

A.2 Quadro generale dell'OMS sugli effetti sulla salute

L'OMS ha deciso di esaminare gli inquinanti «classici», ossia polveri fini PM10 e PM2.5, diossido di azoto (NO_2), ozono (O_3), diossido di zolfo (SO_2) e monossido di carbonio (CO), limitandosi ai parametri target importanti per la salute. Per gli effetti a lungo termine sono state esaminate le correlazioni con la mortalità. Per le conseguenze di un incremento a breve termine dell'esposizione, oltre alla mortalità sono stati analizzati anche il rischio di infarto cardiaco associato al CO e i consulti di emergenza per attacchi d'asma associati a NO_2 , SO_2 e O_3 .

Nuovi studi epidemiologici mostrano conseguenze sulla salute in un ampio intervallo di esposizioni. Gli studi condotti in Paesi a basso e medio reddito hanno dimostrato l'esistenza di conseguenze negative sulla salute associate a un inquinamento atmosferico molto elevato, mentre gli studi realizzati in Paesi con un reddito alto e una qualità dell'aria migliore hanno provato l'esistenza di effetti negativi anche a fronte di un inquinamento relativamente basso.

I risultati relativi all'esposizione a lungo termine alle polveri fini PM2.5 e PM10 (Chen & Hoek, 2020), all' NO_2 e all' O_3 (Huangfu & Atkinson, 2020) durante i mesi estivi (*peak season*) sono riassunti nella tabella 12. Si ritiene che esista un alto grado di evidenza della correlazione tra diverse cause di decesso e l'esposizione al PM2.5, ad eccezione della mortalità per malattie respiratorie, per la quale si riscontra però un grado di evidenza elevato della correlazione con il PM10. Secondo le meta-analisi, un aumento di 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ dell'esposizione al PM2.5 è associato a un incremento del rischio di decesso dell'8–16 per cento (a seconda della malattia e della causa di decesso).

Per la correlazione dell' NO_2 con la mortalità complessiva e la mortalità per (diverse) malattie respiratorie si calcola un incremento del rischio del 2–6 per cento a ogni aumento di 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ nell'esposizione a lungo termine all' NO_2 . Il grado di evidenza è giudicato moderato. Questa valutazione si spiega con le forti variazioni tra le stime degli effetti sanitari (rischi) nei singoli studi, che hanno determinato un calo della qualità delle evidenze. Si ritiene che una causa delle stime divergenti degli effetti possano essere le differenze nella valutazione dell'esposizione. Alcuni studi, per esempio, utilizzano misurazioni meno

accurate basate sul monitoraggio, mentre altri dispongono di valutazioni molto più precise presso l'indirizzo di residenza.

Per la prima volta è stata descritta una correlazione tra la mortalità e l'incremento a lungo termine dell'inquinamento da O₃ nei mesi estivi, suffragata da un moderato grado di evidenza dovuto alla disponibilità di un numero limitato di studi.

Tabella 12: Quadro riepilogativo dei rischi di decesso in caso di incremento dell'inquinamento atmosferico a lungo termine con aumenti di 10 µg/m³ per PM10, PM2.5 (Chen & Hoek, 2020), NO₂ e inquinamento da O₃ nei mesi estivi (Huangfu & Atkinson, 2020).

Mortalità Aumento in %	PM2.5 [ogni 10 µg/m ³]	PM10 [ogni 10 µg/m ³]	NO ₂ [ogni 10 µg/m ³]	O ₃ ^a (peak season) [ogni 10 µg/m ³]
Mortalità per malattia	8 (6–9) % 25 studi	4 (3–6) % 17 studi	2 (1–4) % 24 ^a studi	1 (0–2) % 7 studi
Mortalità per affezioni cardiovascolari	11 (9–14) % 21 studi	4 (-1–10) % 15 studi	Non indagato	Non indagato
Mortalità per malattie cardiache ischemiche (p. es. infarto cardiaco)	16 (10–21) % 22 studi	6 (1–10) % 13 studi	Non indagato	Non indagato
Mortalità per ictus	11 (4–18) % 16 studi	1 (-17–21) % 9 studi	Non indagato	Non indagato
Mortalità per affezioni delle vie respiratorie	10 (3–18) % 17 studi	12 (6–19) % 13 studi	3 (1–5) % 15 studi	2 (-1–5) % 4 studi
Mortalità per BPCO	11 (5–17) % 11 studi	19 (-5–49) % 5 studi	3 (1–4) % 9 studi	Non indagato
Mortalità per infiammazioni delle vie respiratorie inferiori (p. es. polmonite)	16 (1–34) % 4 studi	Non indagato	6 (2–10) % 5 studi	Non indagato
Mortalità per cancro al polmone	12 (7–16) % 15 studi	8 (4–13) % 13 studi	Non indagato	Non indagato

Stime dei rischi sanitari (intervallo di confidenza del 95 %), numero di studi confluiti nella valutazione e grado di evidenza (**grassetto** = elevato, normale = moderato, *corsivo* = basso, rosso = incremento non statisticamente significativo).

^a Dato non rappresentato: in aggiunta è stata indagata la correlazione con il valore medio annuo dell'inquinamento da O₃ per la mortalità complessiva e la mortalità per affezioni delle vie respiratorie. Non è stata riscontrata alcuna correlazione (rischio relativo RR 0,97 con intervallo di confidenza del 95 % compreso tra 0,93 e 1,02, [9 studi] e RR 0,99 con intervallo di confidenza del 95 % compreso tra 0,89 e 1,11 [4 studi]). Il grado di evidenza di una correlazione causale è giudicato «basso».

^b Si tratta di 23 pubblicazioni, tra cui uno studio che fornisce le stime degli effetti per due diverse coorti.

Esempio: mortalità per malattia associata al PM2.5: un incremento dell'esposizione a lungo termine di 10 µg/m³ era associato a un incremento del rischio di mortalità pari all'8 per cento (intervallo di confidenza da 6 a 9 %, ossia la stima effettiva potrebbe attestarsi tra 6 e 9 %). Nell'analisi sono confluiti 25 studi e la qualità degli studi e quindi il grado di evidenza della correlazione sono stati giudicati elevati.

Mortalità per BPCO associata al PM10: un incremento dell'esposizione a lungo termine di 10 µg/m³ era associato a un incremento (non significativo) del rischio di mortalità per BPCO pari al 19 per cento (intervallo di confidenza da -5 a +49 %). Nell'analisi sono confluiti 5 studi e la qualità degli studi e quindi il grado di evidenza della correlazione sono stati giudicati moderati.

La tabella 13 e la tabella 14 riassumono i risultati delle revisioni sistematiche relative alle conseguenze di un incremento a breve termine dell'esposizione a inquinanti atmosferici (Orellano et al., 2021; Orellano et al., 2020; Zheng et al., 2021).

Tabella 13: Quadro riepilogativo della somma delle stime degli effetti sanitari dei rischi di decesso in caso di incremento dell'inquinamento atmosferico a breve termine (giorni, settimane) con aumenti di 10 µg/m³ per PM10, PM2.5, NO₂ e inquinamento da O₃ nei mesi estivi e SO₂.

Mortalità	PM2.5 24 h	PM10 24 h	NO ₂ ^a 24 h	O ₃ 8 / 24 h	SO ₂ ^b 24 h
Per malattia o tutte le cause	0,65 (0,44–0,86) % 29 studi	0,41 (0,34–0,49) % 66 studi	0,72 (0,59–0,85) % 54 studi	0,43 (0,34–0,52) % 48 studi	0,59 (0,46–0,71) % 36 studi
Affezioni cardiovascolari	0,92 (0,61–1,23) % 28 studi	0,60 (0,44–0,77) % 44 studi	Non indagato	Non indagato	Non indagato
Ictus	0,72 (0,12–1,32) % 7 studi	0,44 (0,22–0,66) % 20 studi	Non indagato	Non indagato	Non indagato
Affezioni delle vie respiratorie	0,73 (0,29–1,16) % 20 studi	0,91 (0,63–1,19) % 41 studi	Non indagato	Non indagato	0,67 (0,25–1,09) % 23 studi

Stime dei rischi (intervallo di confidenza del 95 %), numero di studi confluiti nella valutazione e grado di evidenza (**grassetto** = elevato, normale = moderato).

^a Orellano et al. (2020), il grado di evidenza è stato giudicato elevato per tutte le correlazioni; non rappresentato: in aggiunta, il grado di evidenza della correlazione tra le esposizioni a brevissimo termine all'NO₂ per massimo 1 ora (valore massimo su 1 h di un giorno) e la mortalità complessiva è stato giudicato moderato: 10 studi, 0,24 (-0,05–0,53) per cento.

^b Non rappresentato: correlazione dell'esposizione a breve termine all'SO₂ per massimo 1 ora con la mortalità complessiva: grado di evidenza basso, 4 studi, 0,16 (-0,7–1,02) per cento ogni 10 µg/m³ di incremento dell'esposizione all'SO₂ per massimo 1 ora; e con la mortalità per malattie respiratorie: grado di evidenza elevato, 3 studi, 0,52 (0,13–0,91) per cento ogni 10 µg/m³ di incremento dell'esposizione all'SO₂ per massimo 1 ora (Orellano et al., 2021).

Tabella 14: Quadro riepilogativo della somma delle stime degli effetti sanitari dell'incremento della morbilità in funzione dell'incremento dell'inquinamento atmosferico a breve termine con aumenti di 10 µg/m³ per NO₂, O₃ e SO₂ (Zheng et al., 2021) e di 1 mg/m³ per il CO (Lee et al., 2020).

Conseguenze sulla salute	PM 10 / PM2.5	NO ₂ (24 h)	O ₃ (8 / 24 h) ^a	SO ₂ (24 h)*	CO [mg/m ³]
Ricoveri in ospedale e consulti d'emergenza per asma	Non indagato	1,4 (0,8–1,2) % 22 studi	0,8 (0,5–1,1) % 27 studi	1,0 (0,1–2,0) % 23 studi	Non indagato
Infarto cardiaco (totalità)	Non indagato	Non indagato	Non indagato	Non indagato	5,2 (1,7–8,9) % 26 studi

Stime dei rischi (intervallo di confidenza del 95 %), numero di studi confluiti nella valutazione e grado di evidenza (**grassetto** = elevato, normale = moderato).

^a Non rappresentato: correlazione tra l'incremento a breve termine dell'esposizione e l'RR massimo su 1 ora dell'inquinamento da O₃ pari a 1,7 per cento (-2,7–6,3 %, 3 studi) ogni 10 µg/m³, l'RR massimo su 1 ora del carico di NO₂ pari a -0,01 per cento (-4,3–3,3 %, 5 studi) e l'RR massimo su 1 ora del carico di SO₂ pari a 0,3 per cento (-0,8–1,4 %, 4 studi)

Allegato B – Fonti di inquinanti atmosferici

Sulla base dei dati dell'UFAM relativi alle emissioni per il 2021, economie domestiche, trasporti, industria, agricoltura e silvicoltura contribuiscono in varia misura alle emissioni. In determinati processi con emissioni elevate sono coinvolte diverse categorie di cause; per esempio, la combustione di legna avviene sia nelle economie domestiche sia nelle attività industriali e commerciali e nell'agricoltura (UFAM, 2023).

Tabella 15: Quota di emissioni dalle diverse fonti nel 2021 secondo la banca dati delle emissioni EMIS dell'UFAM, aggregazione territoriale (in grassetto: categorie di cause principali).

Inquinante	Trasporti	Economie domestiche	Attività industriali e artigianali	Agricoltura e silvicoltura	Fonti / processi principali
Polveri fini primarie PM10	31 %	16 %	37 %	16 %	Cantieri, polveri di abrasione nei trasporti
Polveri fini primarie PM2.5	24 %	31 %	37 %	8 %	Combustione di legna
Ossidi di azoto NO_x^{a, b}	56 %	9 %	24 %	10 %	Motori diesel
Diossido di zolfo SO₂^b	9 %	15 %	75 %	–	Industria dei prodotti delle cave
Monossido di carbonio CO	43 %	23 %	24 %	10 %	Motori di veicoli
Ammoniaca NH₃^b	2 %	2 %	2 %	94 %	Allevamento di animali da reddito
Fuliggine (BC)	23 %	51 %	15 %	11 %	Combustione di legna, motori diesel
Benzo[a]pirene BaP	12 %	62 %	16 %	10 %	Combustione di legna
Piombo Pb	23 %	55 %	22 %	–	
Cadmio Cd	17 %	39 %	42 %	2 %	Trattamento dei rifiuti
Mercurio Hg	5 %	20 %	75 %	1 %	Trattamento dei rifiuti

^a Contribuisce in misura sostanziale, come gas precursore, alle polveri fini secondarie PM10 e PM2.5.

^b Contribuisce come gas precursore alla formazione di ozono.

Allegato C – Integrazioni su PM10 e PM2.5

C.1 Composizione e fonti delle polveri fini PM10 e PM2.5 in Svizzera

Le polveri fini sono una miscela complessa di svariati componenti chimici. Sono emesse direttamente dalle fonti (polveri fini primarie) o si formano nell'atmosfera da precursori gassosi (polveri fini secondarie). Le polveri fini primarie possono quindi variare notevolmente a livello spaziale, mentre i componenti delle polveri fini secondarie presentano una distribuzione territoriale piuttosto omogenea.

PM10

In Svizzera il PM10 è formato all'incirca per metà da polveri fini primarie e per metà da polveri fini secondarie, le cui percentuali variano a seconda del tipo di stazione di misurazione. La quota principale nel PM10 è rappresentata dai composti organici provenienti da una varietà di fonti e sono per metà primari e per metà secondari. Negli ultimi 20 anni la concentrazione dei composti organici è diminuita e oggi costituiscono circa il 35–40 per cento della massa di polveri fini.

Importanti fonti primarie di composti organici sono gli impianti a legna, le polveri degli pneumatici e le emissioni dalla combustione dei trasporti (UFAM, 2023). Nel PM10 si trovano anche emissioni delle cucine a gas e componenti vegetali. Nelle polveri fini organiche secondarie, le percentuali di precursori biogeni e antropici sono più o meno uguali. Nel primo caso si tratta soprattutto di emissioni di terpeni e isopreni dalle piante, mentre nel secondo si tratta prevalentemente di emissioni gassose di impianti a legna e dei trasporti. I componenti anorganici nitrato e solfato si formano quasi esclusivamente per via secondaria dall'ossidazione di NO_x e SO₂. Attraverso la reazione con l'ammoniaca, questi ultimi generano diversi sali con i componenti principali nitrato, solfato e ammonio. Negli ultimi 20 anni la somma dei componenti inorganici nell'atmosfera è diminuita e oggi costituiscono circa il 30 per cento del PM10. Contributi minori al PM10 provengono per esempio da polveri minerali, oligoelementi, fuliggine e acqua (cfr. Hüglin & Grange, 2021).

I trasporti continuano a rappresentare una fonte importante di PM10, laddove le emissioni dei motori dovute alla combustione svolgono un ruolo meno rilevante rispetto all'abrasione e al sollevamento di polvere. Durante i mesi invernali, nelle località in cui sono presenti molti impianti a legna le loro emissioni rappresentano la quota principale del PM10.

PM2.5

Le fonti principali delle polveri fini primarie PM2.5 in Svizzera sono i trasporti e gli impianti a legna, che contribuiscono rispettivamente per circa un quarto. Le percentuali di polveri fini secondarie provenienti dai gas precursori svolgono un ruolo ancora più importante rispetto al PM10 e costituiscono circa la metà del PM2.5.

Le polveri fini secondarie e la fuliggine sono composte prevalentemente da particelle fini e sono pertanto contenute quasi completamente nel PM2.5. La quota principale nel PM2.5 è rappresentata dai composti organici con il 30–50 per cento circa. I composti anorganici (nitrato, solfato e ammonio) contribuiscono a loro volta al PM2.5 per circa un terzo. Le polveri minerali e le particelle emesse per abrasione nei trasporti e nell'edilizia hanno un ruolo molto meno importante nel PM2.5 rispetto al PM10. Contributi minori provengono per esempio da polveri minerali, oligoelementi, fuliggine e acqua (Daellenbach et al., 2020; Grange et al., 2021).

C.2 PM10: correlazione tra il numero di valori medi giornalieri > 45 µg/m³ e i valori medi annui

Le figure 27 e 28 si basano sui dati NABEL e rappresentano la situazione di varie stazioni di misurazione in Svizzera. Per diverse stazioni NABEL dello stesso tipo è stata calcolata la media dei valori misurati (*urbana, traffico*: Berna-Bollwerk e Losanna-César-Roux; *periferica*: Basilea-Binningen e Dübendorf-Empa, *rurale, nord*: Payerne e Tänikon, *Prealpi*: Chaumont e Rigi-Seebodenalp).

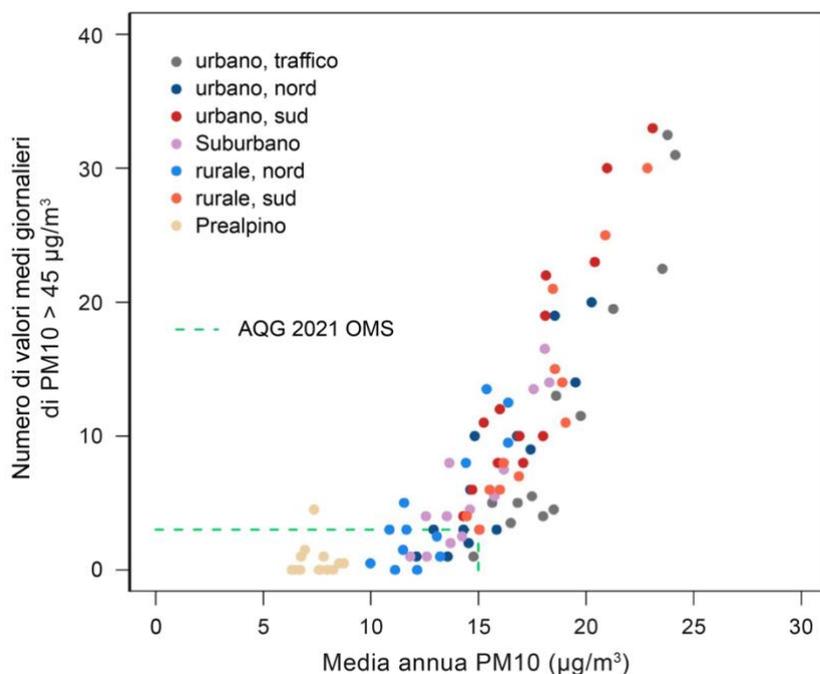


Figura 27: Grafico a dispersione dei valori medi annui di PM10 e del numero di superamenti del valore indicativo dell'OMS su 24 ore pari a 45 µg/m³ nel periodo 2010–2022 per tipo di stazione di misurazione.

Le linee verdi tratteggiate indicano l'area in cui sono rispettati i valori indicativi per il valore medio giornaliero e annuo secondo l'OMS. Tali valori consistono nei superamenti massimi consentiti (99° percentile di 365 giorni) del valore medio giornaliero di 45 µg/m³ e nel valore medio annuo di 15 µg/m³.

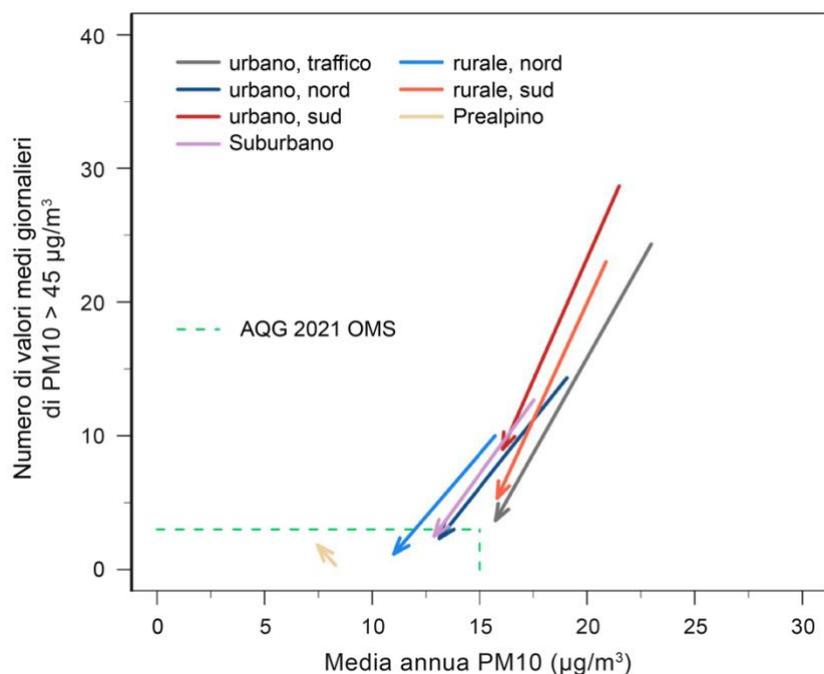


Figura 28: Correlazione tra i valori medi annui di PM10 e il numero di superamenti del valore indicativo dell'OMS su 24 ore pari a 45 µg/m³ nel periodo 2010–2022 per tipo di stazione di misurazione.

Le frecce iniziano in corrispondenza della media 2010–2022 e terminano in corrispondenza della media 2020–2022. Le linee verdi tratteggiate indicano l'area in cui sono rispettati i valori indicativi per il valore medio giornaliero e annuo secondo l'OMS. Tali valori consistono nei superamenti massimi consentiti (99° percentile di 365 giorni) del valore medio giornaliero di 45 µg/m³ e nel valore medio annuo di 15 µg/m³.

I punti nella figura 27 sono fortemente correlati e le frecce nella figura 28 puntano verso l'area dell'angolo in alto a destra delle linee verdi tratteggiate. Questo significa che in presenza di un'esposizione a inquinanti al di sotto del valore indicativo medio annuo è generalmente rispettato anche il numero massimo consentito di superamenti del valore indicativo medio giornaliero. Il rispetto del valore indicativo medio giornaliero è un po' più difficile da garantire. Per il PM10, l'obiettivo per i tipi di stazioni Prealpi, rurale e urbana nord e periferica è già stato raggiunto. Nelle stazioni urbane e in corrispondenza di zone di traffico, così come sul versante meridionale delle Alpi, i valori indicativi previsti dall'OMS sono ancora superati. Ai superamenti del valore indicativo medio giornaliero per il PM10 possono contribuire anche gli eventi di polveri sahariane, un fattore non influenzabile.

C.3 PM2.5: correlazione tra il numero di valori medi giornalieri > 15 µg/m³ e i valori medi annui

Le figure 29 e 30 si basano sui dati NABEL e rappresentano la situazione di varie stazioni di misurazione in Svizzera. Per diverse stazioni NABEL dello stesso tipo è stata calcolata la media dei valori misurati (*urbana, traffico*: Berna-Bollwerk e Losanna-César-Roux; *periferica*: Basilea-Binningen e Dübendorf-Empa, *rurale, nord*: Payerne e Tänikon, *Prealpi*: Chaumont e Rigi-Seebodenalp).

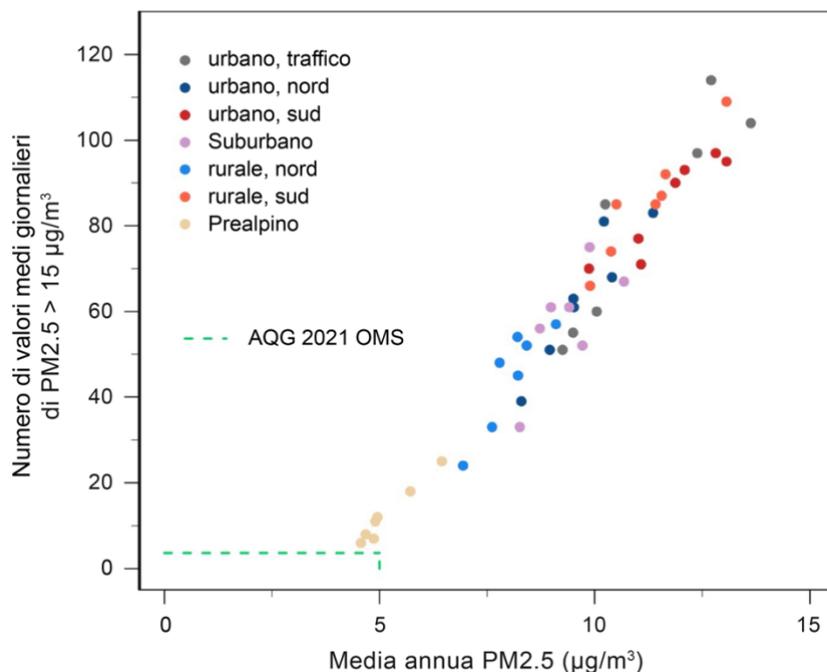


Figura 29: Grafico a dispersione dei valori medi annui di PM2.5 e del numero di superamenti del valore indicativo dell'OMS su 24 ore pari a 15 µg/m³ nel periodo 2016–2022 per tipo di stazione di misurazione.

Le linee verdi tratteggiate indicano l'area in cui sono rispettati i valori indicativi per il valore medio giornaliero e annuo secondo l'OMS. Tali valori consistono nei superamenti massimi consentiti (99^o percentile di 365 giorni) del valore medio giornaliero di 15 µg/m³ e nel valore medio annuo di 5 µg/m³.

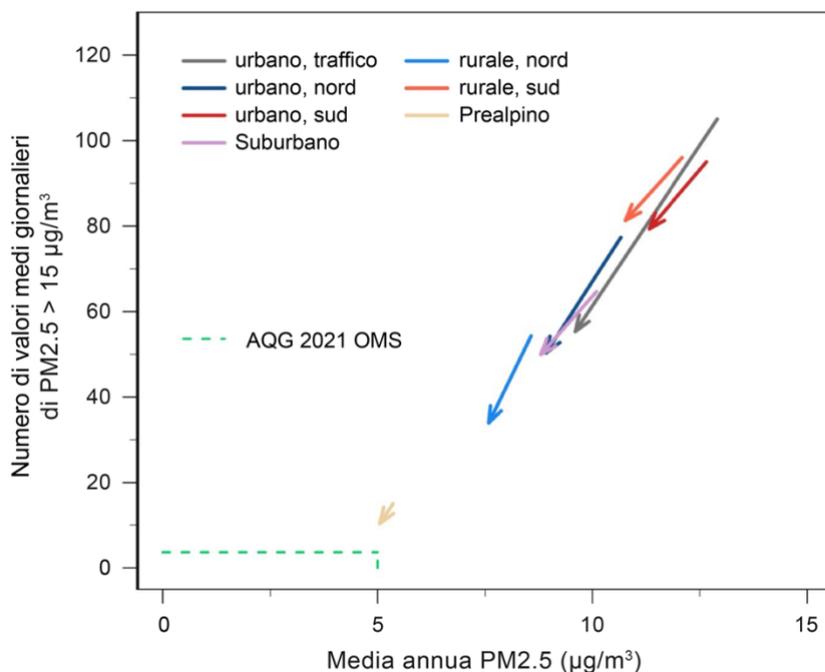


Figura 30: Correlazione tra i valori medi annui di PM2.5 e il numero di superamenti del valore indicativo dell'OMS su 24 ore pari a 15 µg/m³ nel periodo 2016–2022 per tipo di stazione di misurazione. Le frecce iniziano in corrispondenza della media 2016–2019 e terminano in corrispondenza della media 2020–2022.

Le linee verdi tratteggiate indicano l'area in cui sono rispettati i valori indicativi per il valore medio giornaliero e annuo secondo l'OMS. Tali valori consistono nei superamenti massimi consentiti (99° percentile di 365 giorni) del valore medio giornaliero di 15 µg/m³ e nel valore medio annuo di 5 µg/m³.

I punti nella figura 29 sono altamente correlati e le frecce nella figura 30 puntano verso l'angolo in alto a destra delle linee verdi tratteggiate. Questo significa che i due criteri sono ampiamente equivalenti. Tendenzialmente, come per il PM10, il valore indicativo dell'OMS per il valore medio giornaliero sembra essere un po' più severo rispetto al valore indicativo per il valore medio annuo. Per il PM2.5, i valori indicativi dell'OMS sono ancora nettamente superati.

C.4 Misurazione del PM2.5

Spesso, nei Cantoni, la misurazione dei valori medi giornalieri di PM2.5 viene già effettuata e analizzata parallelamente alle misurazioni del PM10. L'onere supplementare è sostenibile e non costituisce un ostacolo rilevante sotto il profilo finanziario o dal punto di vista tecnico delle misurazioni. Nell'ambito dell'esecuzione, i Cantoni possono quindi già procedere all'introduzione di un valore limite medio giornaliero per il PM2.5 a fronte dei livelli di inquinamento attuali. Con il progressivo calo delle concentrazioni, occorre prestare particolare attenzione alla garanzia della qualità. Poiché il PM2.5 presenta una distribuzione territoriale molto omogenea, oltre alle misurazioni NABEL sono necessarie solo poche altre misurazioni del PM2.5 per poter valutare l'inquinamento su superfici estese.

Allegato D – Valori limite per la protezione della vegetazione negli ecosistemi prossimi allo stato naturale

D.1 Ozono (O₃)

Nell'ambito della Convenzione sull'inquinamento atmosferico transfrontaliero a lunga distanza dell'UNECE, per la protezione della vegetazione dagli effetti dannosi dell'ozono sono stati fissati valori di esposizione critici sotto forma di valori AOT40 (*Accumulated Exposure Over a Threshold of 40 ppb*) basati sulle concentrazioni e di valori POD_Y (*Phytotoxic Ozone Dose*) basati sul flusso di ozono (UNECE, 2017).

Dal punto di vista scientifico, i valori POD_Y sono considerati maggiormente rilevanti sotto il profilo biologico, in quanto gli effetti dannosi dell'ozono vengono posti in relazione con il flusso di ozono che penetra attraverso gli stomi delle piante e determina la dose di ozono fitotossica. In tale contesto, con un valore soglia Y specifico per la vegetazione si tiene conto anche dell'inquinamento da ozono che non causa effetti dannosi sulle piante grazie alla loro capacità di detossificazione. Per il calcolo dei flussi di ozono occorre considerare fattori specifici per le piante e diversi fattori ambientali (fenologia, luce, differenza di pressione del vapore, temperatura, siccità del suolo). Questi complessi rilevamenti sono possibili nell'ambito di progetti, ma non possono essere effettuati in maniera continuativa nelle reti esistenti per la misurazione della qualità dell'aria.

Per contro, con i valori AOT40, la concentrazione di ozono presente nell'aria ambiente al di sopra di un valore soglia di 40 ppb viene accumulata durante il periodo vegetativo e posta in relazione con gli effetti osservati dell'ozono sulle piante.

Né i valori di esposizione critici sotto forma di valori AOT40 né quelli sotto forma di valori POD_Y si prestano a essere recepiti come valori limite d'immissione nell'OIA. Piuttosto, i valori di esposizione critici menzionati sono impiegati in prima linea nell'ambito della Convenzione sull'inquinamento atmosferico transfrontaliero a lunga distanza dell'UNECE come parametri target orientati all'effetto ai fini della modellizzazione su scala europea della necessaria riduzione degli inquinanti precursori dell'ozono NO_x (ossidi di azoto) e COV (composti organici volatili) (*Integrated Assessment Modelling*). Il recepimento dell'esigenza di riduzione degli inquinanti precursori su scala europea nelle disposizioni nazionali per la riduzione delle emissioni ai fini del raggiungimento dei valori di esposizione critici è infine oggetto di negoziati nell'ambito della Convenzione sull'inquinamento atmosferico transfrontaliero a lunga distanza dell'UNECE. Il valore AOT40 per la protezione della vegetazione è definito come obiettivo a lungo termine anche nella direttiva 2008/50/CE del Parlamento europeo e del Consiglio, del 21 maggio 2008, relativa alla qualità dell'aria ambiente e per un'aria più pulita in Europa (Parlamento europeo e Consiglio dell'Unione europea, 2008).

I superamenti dei valori critici per l'ozono (AOT40, POD_Y) sono modellizzati dallo *European Monitoring and Evaluation Programme* (EMEP) nell'ottica di una valutazione dei rischi su superfici estese e sono documentati in rapporti annuali per gli Stati membri della Convenzione sull'inquinamento atmosferico transfrontaliero a lunga distanza dell'UNECE (EMEP, 2022).

Per la valutazione della relazione quantitativa tra i superamenti dei nuovi valori indicativi 2021 proposti dall'OMS per l'ozono (valore medio stagionale dei valori medi massimi su 8 h dell'ozono di 60 µg/m³) e i superamenti dei valori critici per l'ozono specifici per la vegetazione definiti dall'UNECE (AOT40, POD_Y), sarebbero necessarie analisi onerose, specie nel caso dei POD_Y. Si può tuttavia ritenere che con le riduzioni delle emissioni, che potrebbero portare al rispetto del valore medio per la stagione estiva

(«*peak season*») proposto dall'OMS di $60 \mu\text{g}/\text{m}^3$, anche l'obiettivo del rispetto dei valori AOT40 o POD_y specifici per la vegetazione diventerà più facilmente realizzabile. La figura 31 mostra che, con il rispetto del valore indicativo dell'OMS per l'inquinamento da ozono nei mesi estivi di $60 \mu\text{g}/\text{m}^3$, il valore AOT40 per gli ecosistemi boschivi non viene più superato.

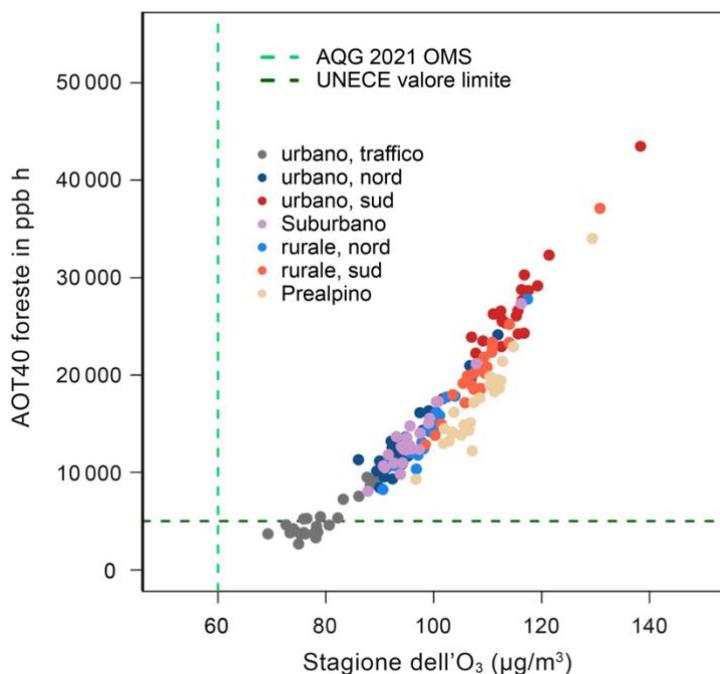


Figura 31: Confronto dei valori di ozono nella stagione estiva (secondo l'OMS) per il periodo 2000–2022 con il valore AOT40 (*Accumulated Exposure Over a Threshold of 40 ppb*) per il bosco per tipo di stazione di misurazione.

L'area tratteggiata in verde scuro indica l'intervallo per il rispetto del valore AOT40 basato sulla vegetazione e la parte tratteggiata in verde chiaro indica l'intervallo per il valore di ozono a lungo termine durante la stagione estiva di $60 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

D.2 Diossido di azoto (NO_2)

La riduzione dei valori limite d'immissione raccomandata dalla CFIAR per l' NO_2 contribuisce anche alla protezione degli ecosistemi sensibili prossimi allo stato naturale, che sono minacciati dall'aumento delle immissioni di azoto atmosferico (ossidi di azoto, ammoniaca e relativi prodotti di reazione) e dagli effetti diretti degli NO_x . Rispettando il valore medio annuo proposto di NO_2 pari a $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ si presume che anche la vegetazione possa essere protetta dagli effetti diretti degli ossidi di azoto, impedendo di superare i valori critici per gli NO_x definiti nell'ambito della Convenzione sull'inquinamento atmosferico transfrontaliero a lunga distanza dell'UNECE e dell'OMS (UNECE, 2017; OMS, 2000).

D.3 Diossido di zolfo (SO_2)

I valori di concentrazione dell' SO_2 al di sopra dei quali si manifestano effetti dannosi per la vegetazione in diversi ecosistemi sono stati valutati da gruppi di esperti nell'ambito della Convenzione sull'inquinamento atmosferico transfrontaliero a lunga distanza dell'UNECE, sulla base di studi sul campo e di indagini

sperimentali, e fissati come cosiddetti valori critici già nel 1993. Tali valori sono riassunti nella tabella 16 seguente (UNECE, 2017). Per gli ecosistemi importanti come boschi e altri ecosistemi prossimi allo stato naturale che costituiscono anche l'habitat di licheni, il valore critico per l' SO_2 è pari a $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ come valore medio annuo e come valore medio per il semestre invernale.

Tabella 16: Valori critici per il carico di SO_2 per tipo di vegetazione.

Tipo di vegetazione	Valori critici SO_2 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	Periodo dell'anno
Piante coltivate agricole	30	Valore medio annuo e valore medio per il semestre invernale da ottobre e marzo
Ecosistemi boschivi	20	Valore medio annuo e valore medio per il semestre invernale da ottobre e marzo
Ecosistemi prossimi allo stato naturale (p. es. torbiere alte e basse)	20	Valore medio annuo e valore medio per il semestre invernale da ottobre e marzo
Licheni	10	Valore medio annuo

Alla luce del fatto che la protezione dell'ambiente è importante anche per la salute dell'essere umano, nel 2000 l'Ufficio Regionale per l'Europa dell'OMS ha approvato i valori critici per l' SO_2 e li ha inseriti nelle linee guida sulla qualità dell'aria per l'Europa (OMS, 2000). Inoltre, nel 1999 il valore critico per l' SO_2 di $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (valore medio annuo e valore medio per il semestre invernale da ottobre a marzo) è stato inserito come valore limite per la protezione degli ecosistemi nella direttiva 1999/30/CE del Consiglio dell'Unione europea, del 22 aprile 1999, concernente i valori limite di qualità dell'aria ambiente per il biossido di zolfo, il biossido di azoto, gli ossidi di azoto, le particelle e il piombo (Consiglio dell'Unione europea, 1999). Nella direttiva 2008/50/CE del Parlamento europeo e del Consiglio, del 21 maggio 2008, relativa alla qualità dell'aria ambiente e per un'aria più pulita in Europa, il valore limite per l' SO_2 per la protezione della vegetazione è stato mantenuto invariato (Parlamento europeo e Consiglio dell'Unione europea, 2008). I valori medi annui mostrati nella figura 19 si collocano ben al di sotto di $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ e suggeriscono che anche nel semestre invernale i valori non superino i $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Allegato E – Integrazioni sull'ozono: comparabilità dei diversi criteri di valutazione dell'OMS e della Svizzera

I grafici si basano sui dati NABEL e rappresentano la situazione di varie stazioni di misurazione in Svizzera. Per diverse stazioni NABEL dello stesso tipo è stata calcolata la media dei valori misurati (*urbana, traffico*: Berna-Bollwerk e Losanna-César-Roux; *periferica*: Basilea-Binningen e Dübendorf-Empa, *rurale, nord*: Payerne e Tänikon, *Prealpi*: Chaumont e Rigi-Seebodenalp).

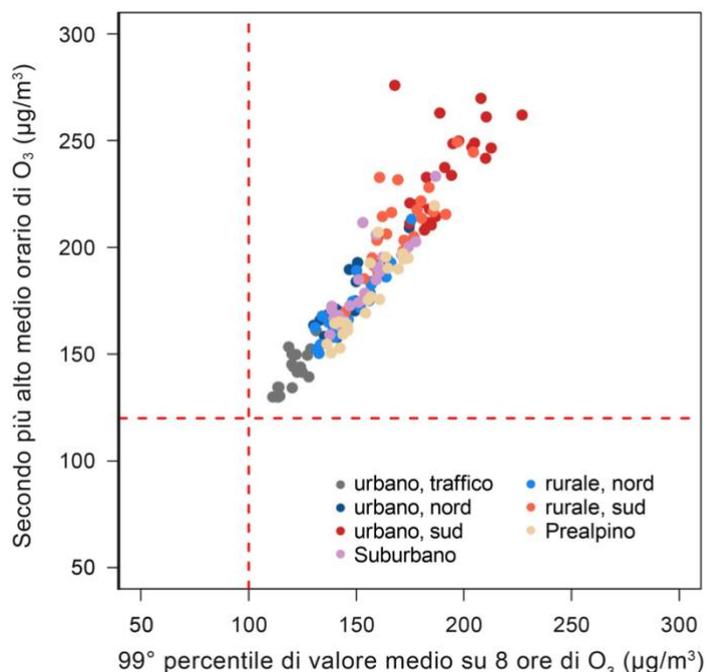


Figura 32: 99° percentile del valore medio massimo giornaliero su 8 ore (valore indicativo AQG dell'OMS) rispetto al secondo valore medio più elevato di ozono (O_3) su 1 ora all'anno (VLI sancito dall'OIA) nel periodo 2000–2022 per tipo di stazione di misurazione.

Le linee rosse tratteggiate indicano l'area in cui sono rispettati i valori indicativi per il valore medio su 8 ore secondo l'OMS e il VLI su 1 ora sancito dall'OIA. Tali valori consistono nei superamenti massimi consentiti (99° percentile di 365 giorni) del valore medio su 8 ore di $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ e nel secondo valore medio più elevato su 1 ora, che non deve superare $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Secondo l'OIA, il valore medio su 1 ora di ozono può superare $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ una volta all'anno e quindi il secondo valore medio più elevato su 1 ora dev'essere inferiore a $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

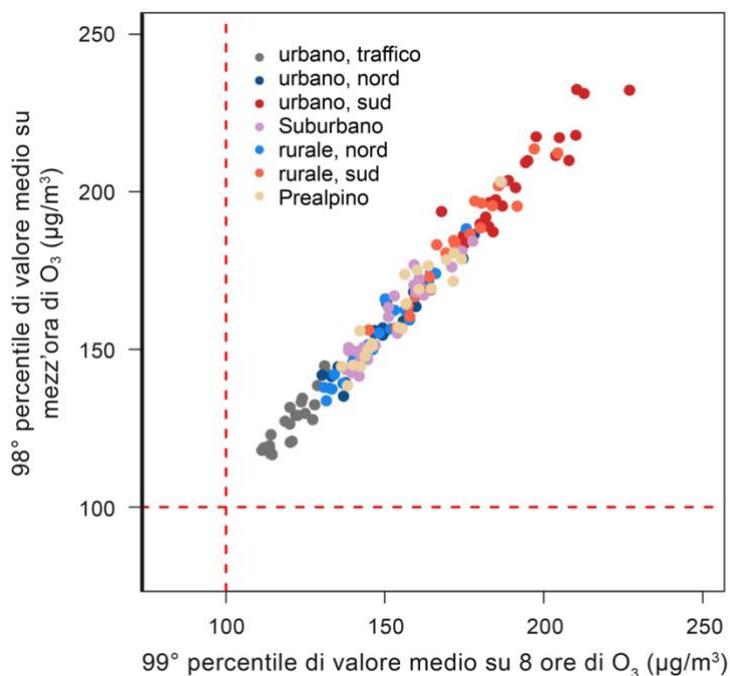


Figura 33: 99° percentile del valore medio massimo giornaliero su 8 ore di ozono (ossia il valore indicativo 2021 dell'OMS) rispetto al 98° percentile dei valori medi mensili su 30 minuti (O_3 OIAt, ossia VLI secondo l'OIAt) nel periodo 2000–2022 per tipo di stazione di misurazione.

Le linee rosse tratteggiate indicano l'area in cui sono rispettati i valori indicativi per il valore medio su 8 ore secondo l'OMS e il 98° percentile dei valori medi semiorari di un mese (VLI sancito dall'OIAt). Tali valori consistono nei superamenti massimi consentiti (99° percentile di 365 giorni) del valore medio su 8 ore di $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ e nel 98° percentile dei valori medi semiorari di un mese, che non deve superare $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

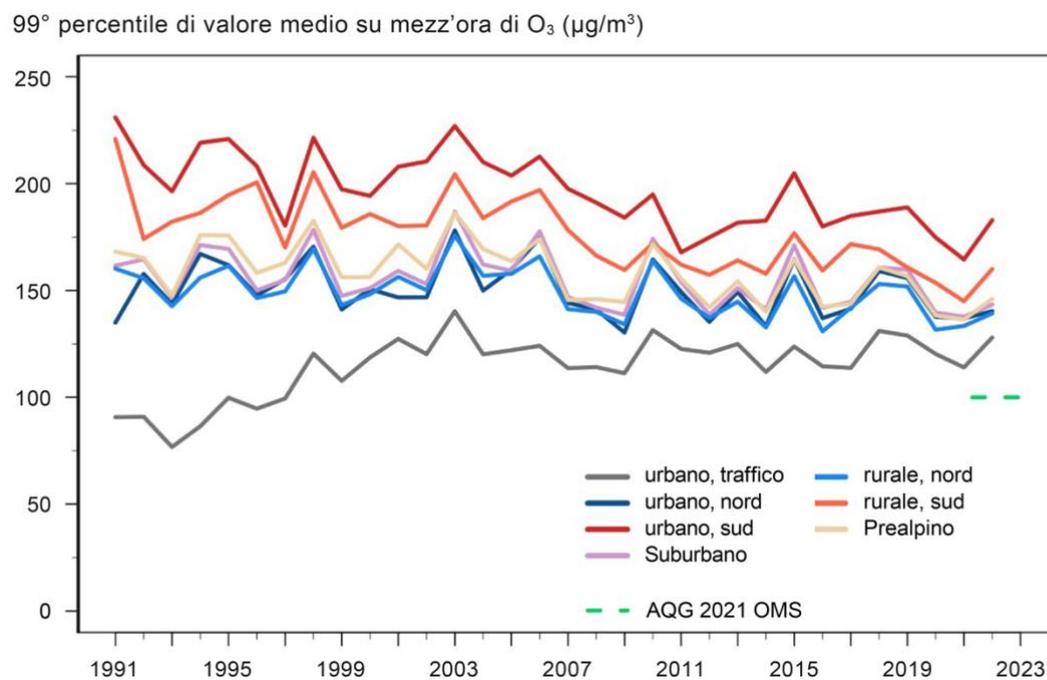


Figura 34: Evoluzione del 99° percentile del valore medio massimo giornaliero su 8 ore dell'ozono (valore indicativo AQG dell'OMS) nel periodo 1991–2022 per tipo di stazione di misurazione.

Allegato F – Integrazioni sull'NO₂

F.1 95° percentile dei valori medi semiorari

I grafici si basano sui dati NABEL e rappresentano la situazione di varie stazioni di misurazione in Svizzera. Per diverse stazioni NABEL dello stesso tipo è stata calcolata la media dei valori misurati (*urbana, traffico*: Berna-Bollwerk e Losanna-César-Roux; *periferica*: Basilea-Binningen e Dübendorf-Empa, *rurale, nord*: Payerne e Tänikon, *Prealpi*: Chaumont e Rigi-Seebodenalp).

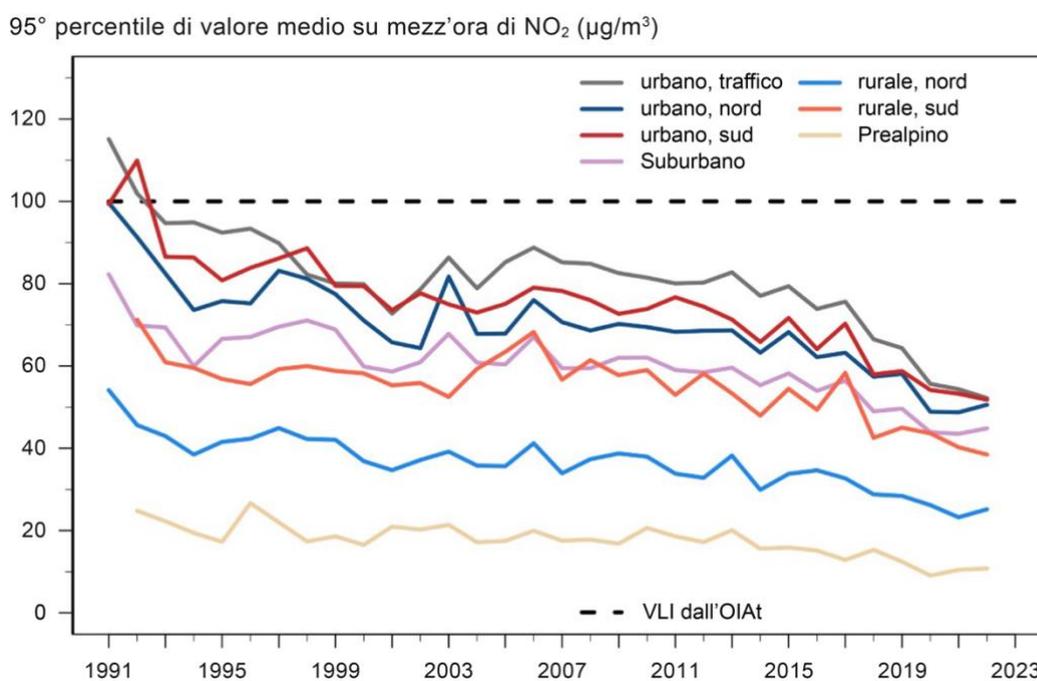


Figura 35: Evoluzione del 95° percentile dei valori medi su 30 minuti di NO₂ nel periodo 1991–2022 per tipo di stazione di misurazione.

La linea tratteggiata mostra il VLI sancito dall'OIA.

F.2 Correlazione tra valori a breve termine e valori a lungo termine

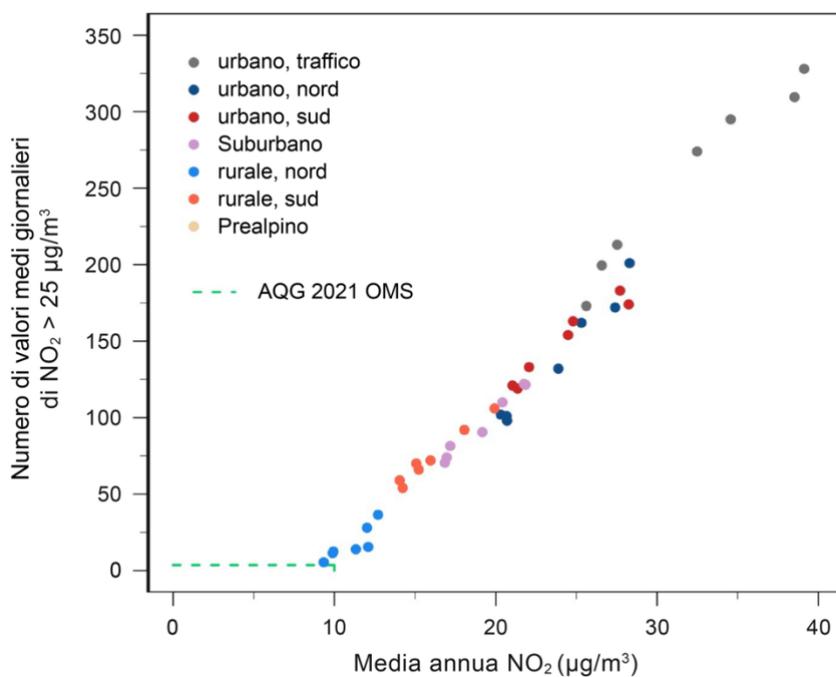


Figura 36: Grafico a dispersione dei valori medi annui di NO₂ e del numero di superamenti del valore indicativo dell'OMS su 24 ore (AQG 2021 dell'OMS) pari a 25 µg/m³ nel periodo 2016–2021 per tipo di stazione di misurazione.

L'area tratteggiata in verde (3 superamenti del valore giornaliero di 25 µg/m³ e valore medio annuo di 10 µg/m³) mostra l'intervallo in cui sono rispettati i valori indicativi per il valore medio giornaliero e il valore medio annuo secondo l'OMS.

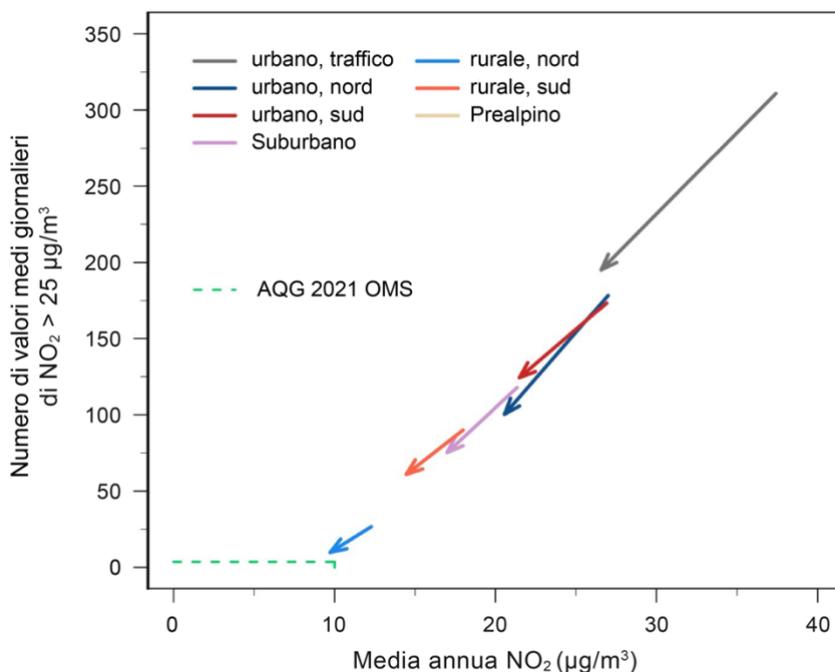


Figura 37: Correlazione tra i valori medi annui di NO₂ e il numero di superamenti del valore indicativo dell'OMS su 24 ore (AQG 2021 dell'OMS) pari a 25 µg/m³ nel periodo 2016–2021 (le frecce iniziano in corrispondenza della media 2016–2018 e terminano in corrispondenza della media 2019–2021) per tipo di stazione di misurazione.

L'area tratteggiata in verde (3 superamenti del valore giornaliero di 25 µg/m³ e valore medio annuo di 10 µg/m³) indica l'intervallo target in cui sono rispettati i valori indicativi per il valore medio giornaliero e il valore medio annuo secondo l'OMS.

I punti nella figura 36 sono altamente correlati e le frecce nella figura 37 puntano verso l'angolo in alto a destra delle linee verdi tratteggiate. Questo significa che i due criteri sono ampiamente equivalenti. Tendenzialmente, come per l'NO₂, il valore indicativo dell'OMS per il valore medio giornaliero sembra essere un po' più severo rispetto al valore indicativo per il valore medio annuo, in particolare per le stazioni rurali (freccia arancione). Per l'NO₂ i valori indicativi dell'OMS sono ancora ampiamente superati, tranne nelle stazioni rurali sul versante settentrionale delle Alpi e nelle Prealpi.

Allegato G – Integrazioni sull'SO₂

95° percentile di valore medio su mezz'ora di O₃ (µg/m³)

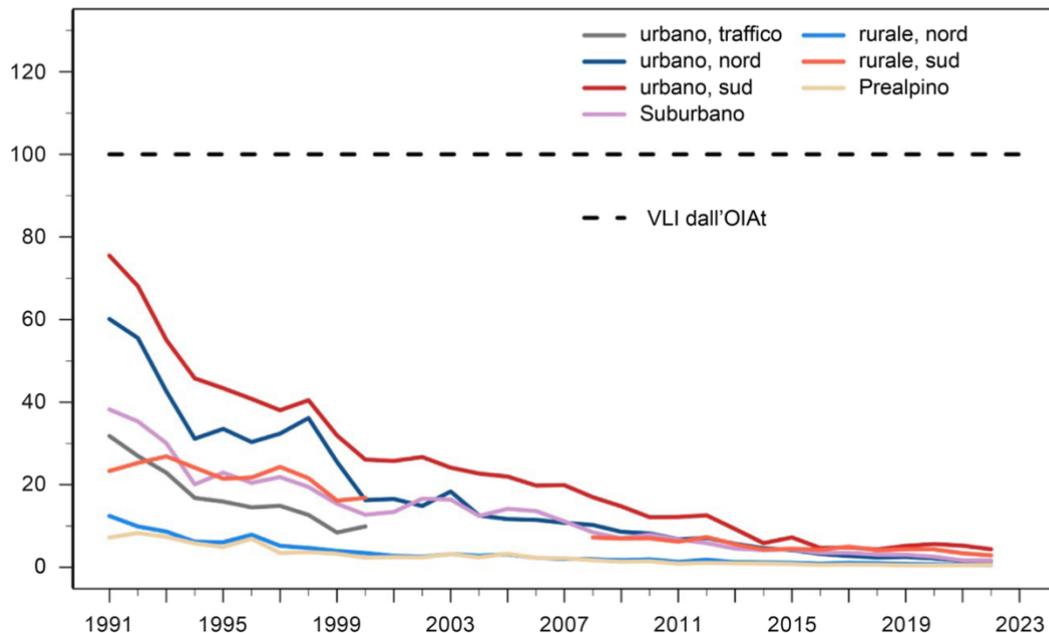


Figura 38: Evoluzione del 95° percentile dei valori medi su 30 minuti di SO₂ di un anno nel periodo 1991–2022 per tipo di stazione di misurazione.

La figura 38 mostra che il valore a breve termine del 95° percentile dei valori medi semiorari di un anno è rispettato da 30 anni e quindi i restanti VLI sono sufficienti per la valutazione delle immissioni in Svizzera sotto il profilo dell'igiene dell'aria.

Allegato H – Integrazioni sugli IPA

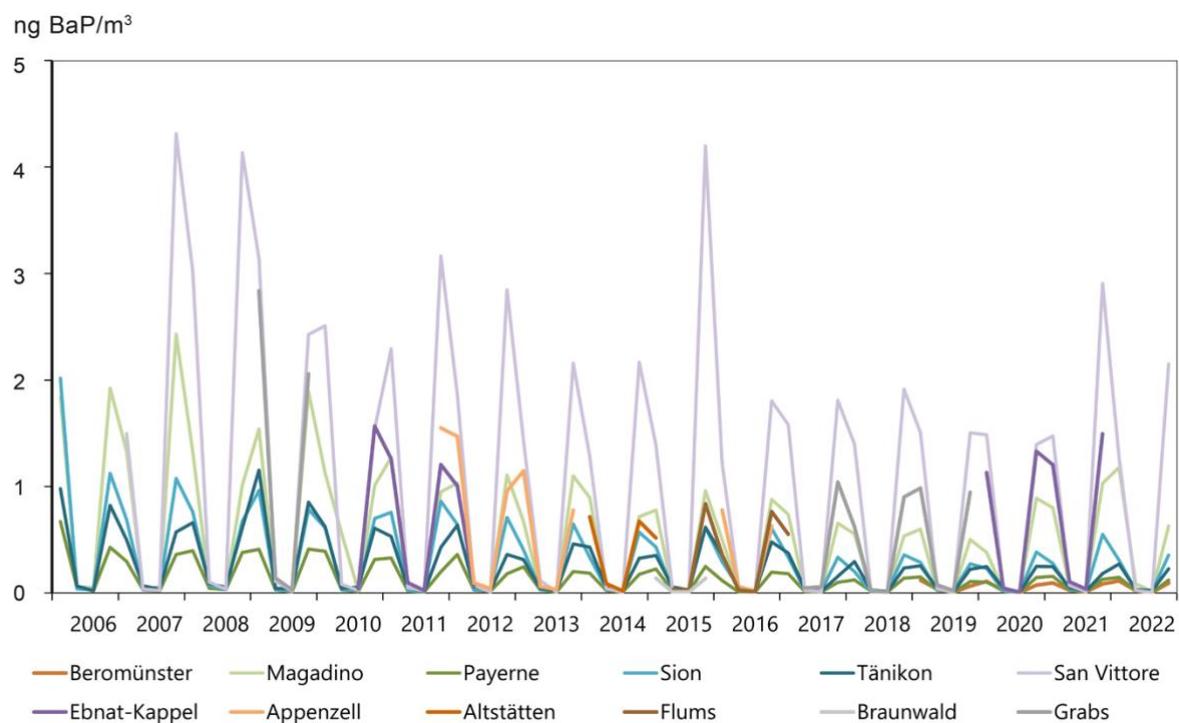
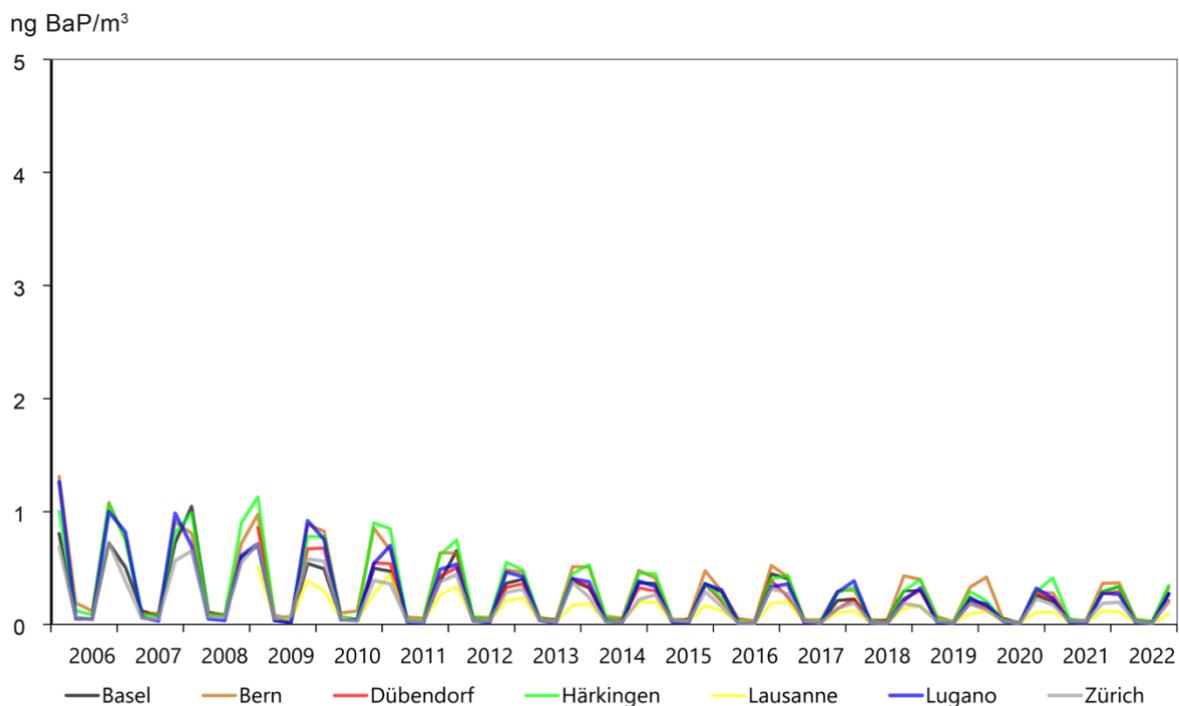


Figura 39: Valori trimestrali delle concentrazioni di benzo[a]pirene nel PM10 nel periodo 2006–2020. Sopra le stazioni di misurazione urbane, periferiche e in corrispondenza di zone di traffico, sotto le stazioni di misurazione rurali (Fischer & Hüglin, 2023).

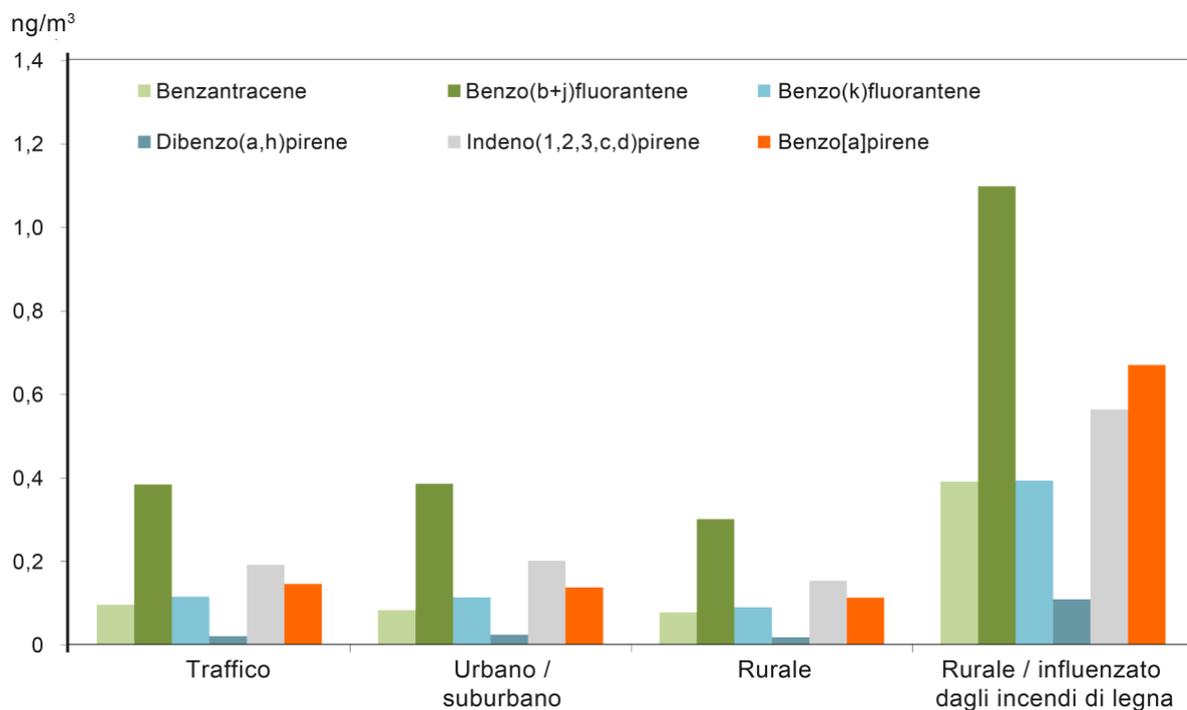


Figura 40: Valori medi annui delle concentrazioni di IPA rilevanti sotto il profilo tossicologico nel PM10 nel 2020 per tipo di stazione di misurazione (Fischer & Hüglin, 2023).

Allegato I – Rappresentazione grafica delle conseguenze accertate sulla salute dei diversi inquinanti

(cfr. <https://www.swisstph.ch/en/projects/ludok/effetti-sulla-salute>)

I.1 Polveri fini

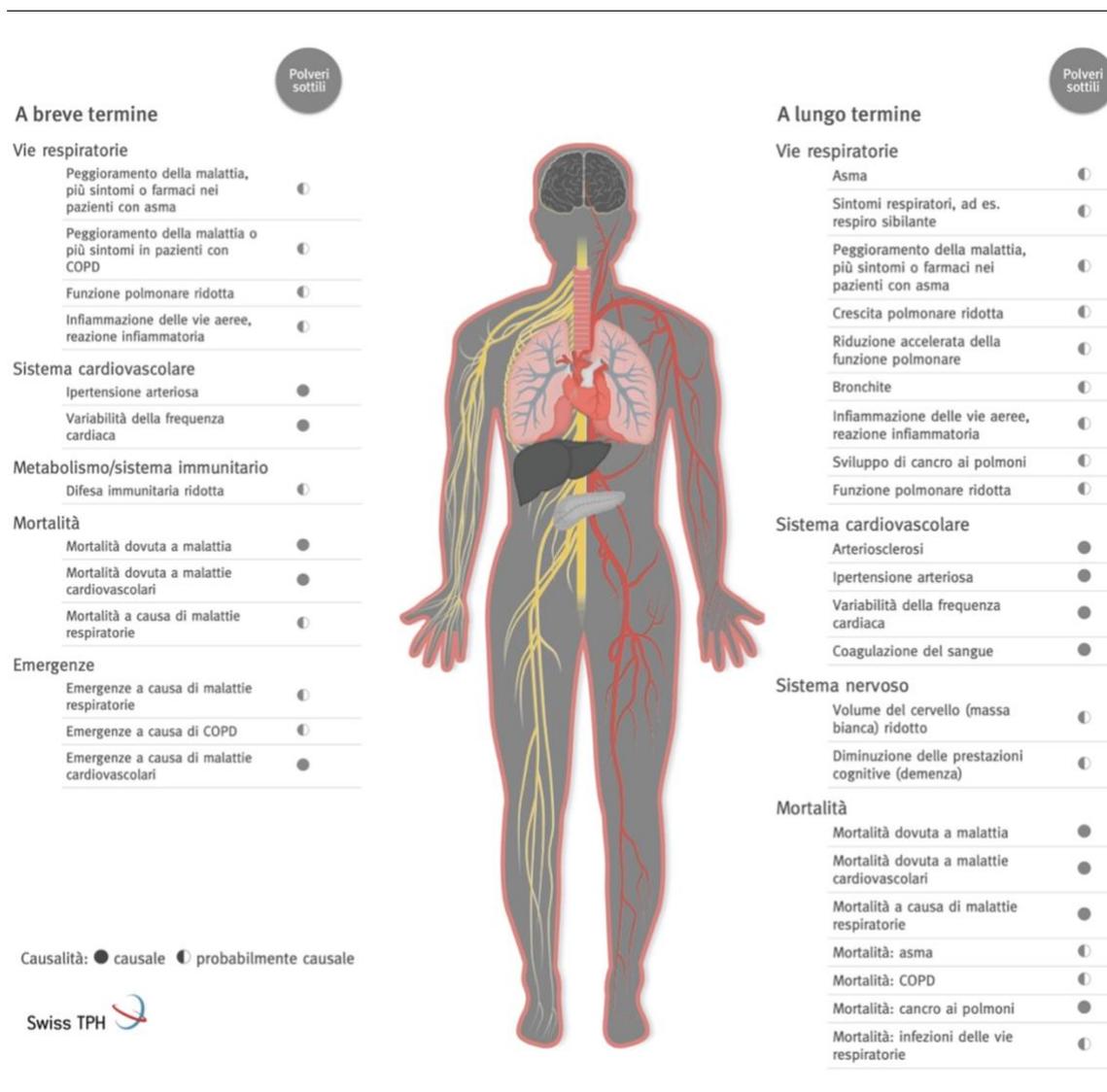


Figura 41: Effetti a breve e a lungo termine dell'incremento del carico di polveri fini (Swiss TPH, 2022).

I.2 Ozono

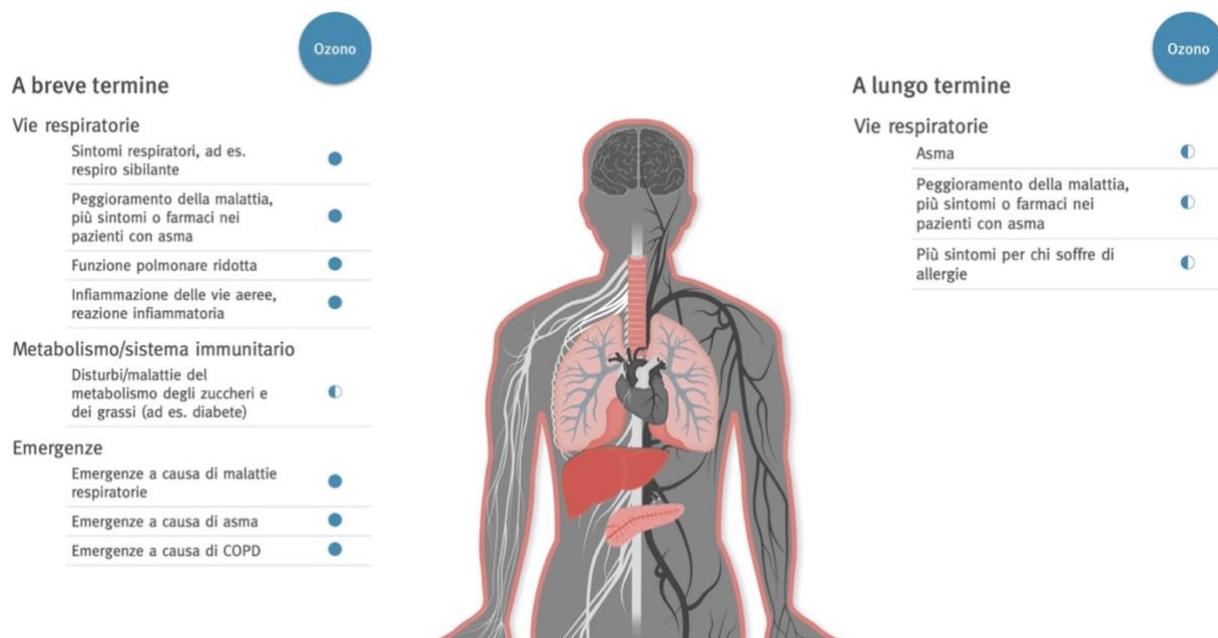


Figura 42: Effetti a breve e a lungo termine dell'incremento del carico di ozono (Swiss TPH, 2022).

I.3 NO₂

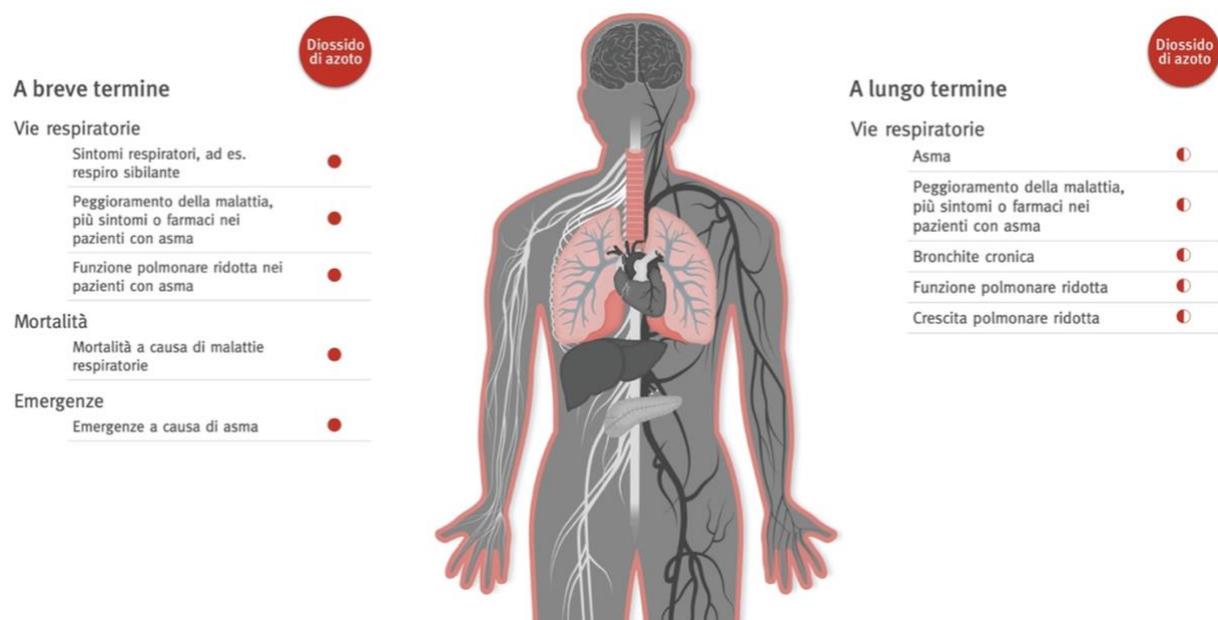


Figura 43: Effetti a breve e a lungo termine dell'incremento del carico di NO₂ (Swiss TPH, 2022).

I.4 SO₂

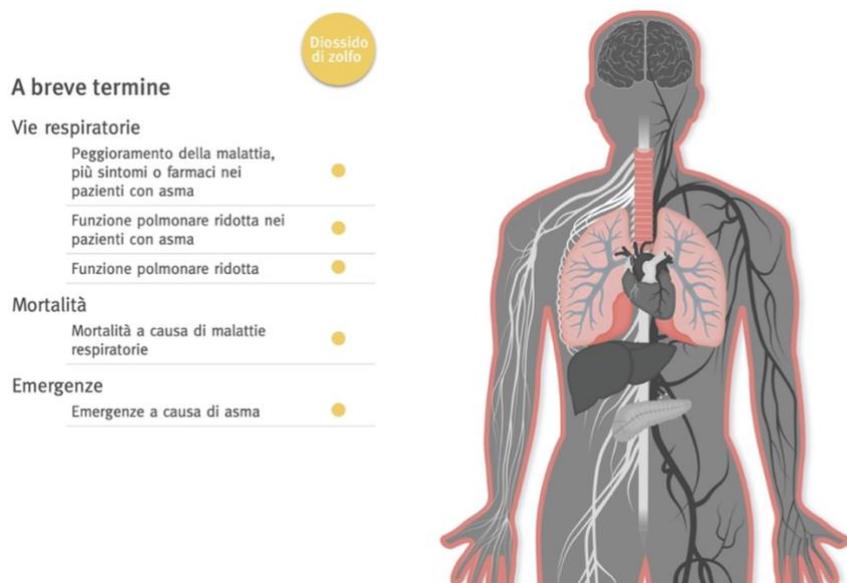


Figura 44: Effetti a breve termine dell'incremento del carico di SO₂ (Swiss TPH, 2022).

I.5 CO

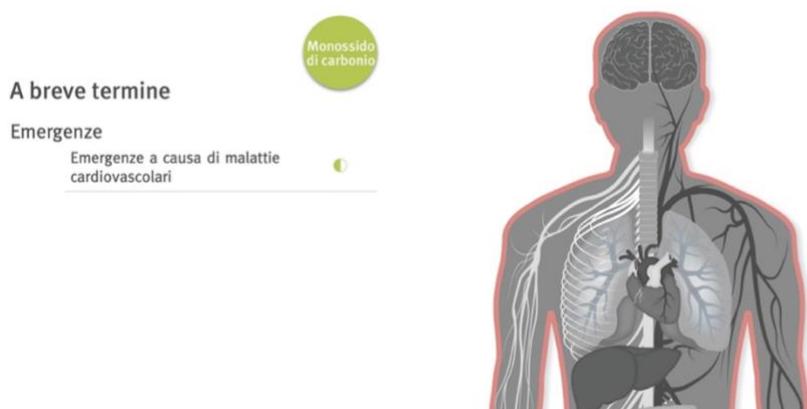


Figura 45: Effetti a breve termine dell'incremento del carico di CO (Swiss TPH, 2022).

Elenco delle abbreviazioni e dei termini

Aerosol	Miscela di particelle liquide e/o solide sospese e aria
ANSES	Agenzia francese per la sicurezza alimentare, ambientale e sul lavoro
AOT40	<i>Accumulated Exposure Over a Threshold of 40 ppb</i> : dose di ozono superiore al valore soglia di 40 ppb. Il valore AOT viene utilizzato per misurare l'esposizione cronica a lungo termine delle piante all'ozono e viene calcolato per il periodo vegetativo
AQG	<i>Air Quality Guidelines</i> : linee guida sulla qualità dell'aria dell'OMS. Questa sigla viene utilizzata nelle tabelle e nei grafici per i valori indicativi riportati in tali linee guida
ARE	Ufficio federale dello sviluppo territoriale
B[a]P	Benzo[a]pirene (un idrocarburo policiclico aromatico)
BC	<i>Black Carbon</i> (carbonio nero), viene utilizzato per misurare la concentrazione di fuliggine
BPCO	Broncopneumopatia cronica ostruttiva
CEN	Comitato europeo di normalizzazione
CFIAR	Commissione federale d'igiene dell'aria
CLRTAP	<i>Convention on Long-range Transboundary Air Pollution</i> (Convenzione sull'inquinamento atmosferico transfrontaliero a lunga distanza)
CO	Monossido di carbonio
COPD	<i>Chronic obstructive pulmonary disease</i> – Broncopneumopatia cronica ostruttiva (BPCO)
COV	Composti organici volatili
DATEC	Dipartimento federale dell'ambiente, dei trasporti, dell'energia e delle comunicazioni
Diametro aerodinamico	Il diametro aerodinamico si definisce come il diametro di una particella sferica di densità pari a 1 g/cm ³ , che presenta la stessa velocità di sedimentazione della particella considerata
DSC	Direzione dello sviluppo e della cooperazione del Dipartimento federale degli affari esteri (DFAE)
DTT	Ditiotreitolo
eBC	<i>Equivalent Black Carbon</i> : viene utilizzato per misurare la concentrazione di fuliggine, determinata tramite conversione di un coefficiente di assorbimento ottico in una concentrazione di massa; è necessario indicare la sezione trasversale d'assorbimento utilizzata per la conversione
EC	<i>Elemental carbon</i> (carbonio elementare): componente del carbonio nelle polveri fini che rimane come residuo nel processo termico-ottico dopo il riscaldamento in un'atmosfera inerte (elio); viene utilizzato per misurare la concentrazione di fuliggine
ELAPSE	<i>Effects of Low-Level Air Pollution: A Study in Europe</i> : studio epidemiologico con valutazione armonizzata dell'esposizione, che tiene conto dei dati provenienti da studi di coorte condotti in diversi Paesi europei

EMEP	<i>European Monitoring and Evaluation Programme</i>
EMIS	Sistema svizzero di informazione delle emissioni
EUSAAR	<i>European Supersites for Atmospheric Aerosol Research</i> (progetto UE per il periodo 2006–2011, https://www.eusaar.net)
Fuliggine	Si forma a seguito della combustione incompleta o pirolisi degli idrocarburi. Oltre al carbonio elementare, contiene pertanto anche percentuali di carbonio organico. Per semplificare anche nel presente rapporto è spesso equiparata al carbonio elementare (EC)
h	Ora
HR	<i>Hazard Ratio</i> : rapporto di rischio di decesso, è un quoziente dei rischi di due gruppi a confronto e indica di quanto il tasso di decesso è più alto in un gruppo rispetto all'altro
IARC	Agenzia internazionale per la ricerca sul cancro (organismo dell'OMS)
IPA	Idrocarburi policiclici aromatici
ISA	<i>Integrated Science Assessment</i> : valutazione scientifica integrata
LPAmb	Legge sulla protezione dell'ambiente (RS 814.01)
LUDOK	Centro di documentazione sull'inquinamento atmosferico e la salute presso l'Istituto tropicale e di salute pubblica svizzero su mandato dell'UFAM
OIAt	Ordinanza contro l'inquinamento atmosferico (RS 814.318.142.1), stato attuale 1° gennaio 2023
$\mu\text{g}/\text{m}^3$	Microgrammo per metro cubo d'aria (1 μg = 0,001 mg)
mg/m^3	Milligrammo per metro cubo d'aria (1 mg = 0,001 g)
NABEL	Rete nazionale d'osservazione degli inquinanti atmosferici
ng/m^3	Nanogrammo per metro cubo d'aria (1 ng = 0,001 μg)
NMVOC	<i>Non Methane Volatile Organic Compounds</i> : composti organici volatili ad eccezione del metano
NO	Monossido di azoto
NO ₂	Diossido di azoto
NO _x	Ossidi di azoto, totale di monossido di azoto e diossido di azoto
O ₃	Ozono
OC	<i>Organic Carbon</i> (carbonio organico): componente del carbonio nelle polveri fini che passa alla fase gassosa o viene pirolizzato nel processo termico-ottico durante il riscaldamento in un'atmosfera inerte (elio)
OEHHA	<i>Office of Environmental Health Hazard Assessment</i> , autorità californiana per la valutazione delle conseguenze sulla salute provocate dai fattori di stress ambientali
OMS	Organizzazione mondiale della sanità

Percentile	Indica il tasso percentuale dei valori di una distribuzione uguale o inferiore a un determinato dato. Il 98° percentile significa che il 98 % dei valori si attesta al di sotto di questo 98° percentile. Il valore limite è rispettato se il 98° percentile si colloca al di sotto del valore limite Per il valore limite d'immissione dell'ozono, il 98° percentile dei valori medi su 30 minuti al mese significa che il 98 % dei valori medi semiorari di un mese dev'essere uguale o inferiore a 100 µg/m ³
PM	<i>Particulate Matter</i> : polveri fini, polveri in sospensione
PM10	<i>Particulate Matter</i> : polveri fini / polveri in sospensione con un diametro aerodinamico uguale o inferiore a 10 µm
PM2.5	<i>Particulate Matter</i> : polveri fini / polveri in sospensione con un diametro aerodinamico uguale o inferiore a 2,5 µm
PO	Potenziale ossidativo delle polveri fini
POD _Y	<i>Phytotoxic Ozone Dose</i> : dose di ozono accumulata durante il periodo vegetativo che viene assorbita dalla pianta attraverso gli stomi (flusso di ozono), in considerazione di un valore soglia Y specifico per la vegetazione che tiene conto della capacità di detossificazione specifica delle piante
ppb	<i>Parts per billion</i> (10 ⁻⁹), parti per miliardo
ppm	<i>Parts per million</i> (10 ⁻⁶), parti per milione
ROS	<i>Reactive oxygen species</i> , specie reattive dell'ossigeno come il superossido O ₂ ⁻ o il radicale idrossile altamente reattivo OH
SAPALDIA	Studio di coorte svizzero che indaga sulle conseguenze dell'inquinamento atmosferico a lungo termine sulla salute degli adulti in Svizzera
SCARPOL	Studio svizzero che indaga sulle conseguenze dell'inquinamento atmosferico sulla salute di bambini e ragazzi
SO ₂	Diossido di zolfo
UFAM	Ufficio federale dell'ambiente
UFP	<i>Ultrafine particles</i> (particelle ultrafini) con un diametro aerodinamico pari o inferiore a 100 nanometri (spesso vengono considerate anche le particelle di dimensioni fino a 1 µm)
UNECE	Commissione economica delle Nazioni Unite per l'Europa
U.S. EPA	<i>U.S. Environmental Protection Agency</i> , autorità statunitense per l'ambiente
VLI	Valore limite d'immissione sancito dall'ordinanza contro l'inquinamento atmosferico (all. 7 OIAAt)

Elenco delle figure e delle tabelle

Figura 1: Effetti sulla salute causali e probabilmente causali che presentano una correlazione con l'impatto a breve e lungo termine degli inquinanti atmosferici (Swiss TPH, 2022).	21
Figura 2: Panoramica dei meccanismi di azione noti che possono essere innescati dai carichi ambientali (Peters et al., 2021).	22
Figura 3: Relazione esposizione/effetto (linea continua con linee tratteggiate a indicare l'intervallo di confidenza superiore e inferiore) del rapporto di rischio di decesso (<i>Hazard Ratio</i> , HR) con l'esposizione a lungo termine al PM _{2.5} nello studio di coorte Medicare americano (Di et al., 2017)	24
Figura 4: Valori medi annui di polveri fini PM ₁₀ nel periodo 1991–2022 per tipo di stazione di misurazione	28
Figura 5: Evoluzione del numero dei valori medi giornalieri di PM ₁₀ superiori a 50 µg/m ³ nel periodo 1991–2022	29
Figura 6: Mappa delle immissioni per il valore medio annuo delle polveri fini PM ₁₀ per il 2021	30
Figura 7: Evoluzione del numero dei valori medi giornalieri di PM ₁₀ superiori a 45 µg/m ³ nel periodo 1991–2022	30
Figura 8: Valori medi annui di polveri fini PM _{2.5} nel periodo 1998–2022 per tipo di stazione di misurazione.	33
Figura 9: Mappa delle immissioni per il valore medio annuo di PM _{2.5} per il 2021.	34
Figura 10: Evoluzione del numero dei valori medi giornalieri di PM _{2.5} superiori a 15 µg/m ³ nel periodo 1991–2022.	34
Figura 11: Evoluzione del 98° percentile dei valori semiorari di ozono di un mese nel periodo 1991–2022	38
Figura 12: Evoluzione del numero dei valori medi orari di ozono superiori a 120 µg/m ³ nel periodo 1991–2022	39
Figura 13: Evoluzione del numero di superamenti della media giornaliera massima su 8 ore di ozono al di sopra di 100 µg/m ³ nel periodo 1991–2022	40
Figura 14: Evoluzione del valore a lungo termine di ozono nel periodo 1991–2022.....	41
Figura 15: Valori medi annui di NO ₂ nel periodo 1991–2022 per tipo di stazione di misurazione.	44
Figura 16: Evoluzione del numero dei valori medi giornalieri di NO ₂ superiori a 80 µg/m ³ nel periodo 1991–2022 per tipo di stazione di misurazione.	45
Figura 17: Mappa delle immissioni per il valore medio annuo di NO ₂ per il 2021.	46
Figura 18: Evoluzione del numero dei valori medi giornalieri di NO ₂ superiori a 25 µg/m ³ nel periodo 1991–2022.	47

Figura 19: Valori medi annui di SO ₂ nel periodo 1991–2022 per tipo di stazione di misurazione	49
Figura 20: Evoluzione dei valori medi giornalieri massimi di SO ₂ nel periodo 1991–2022 per tipo di stazione di misurazione.....	50
Figura 21: Monossido di carbonio: valori medi giornalieri massimi nel periodo 1991–2022 per tipo di stazione di misurazione.....	52
Figura 22: Valori medi annui di fuliggine (eBC = <i>equivalent Black Carbon</i> in µg/m ³ di PM _{2.5}) nel periodo 2008–2022 per tipo di stazione di misurazione	54
Figura 23: Immissioni di fuliggine per il 2020 (senza tenere conto degli effetti dei provvedimenti associati alla COVID-19) (INFRAS, 2021)	55
Figura 24: Particelle ultrafini, misurate come numero di particelle (dimensioni da 4 nm a 3 µm), valori medi annui nel periodo 2005–2022 per tipo di stazione di misurazione.	57
Figura 25: Valori medi annui di benzo[a]pirene nel periodo 2006–2021 per tipo di stazione di misurazione (stazioni NABEL).	61
Figura 26: Media annua del carico di rame nel PM ₁₀ nel periodo 2006–2022 per tipo di stazione di misurazione come esempio dell'andamento nel tempo dei metalli nel PM ₁₀	63
Figura 27: Grafico a dispersione dei valori medi annui di PM ₁₀ e del numero di superamenti del valore indicativo dell'OMS su 24 ore pari a 45 µg/m ³ nel periodo 2010–2022 per tipo di stazione di misurazione.....	85
Figura 28: Correlazione tra i valori medi annui di PM ₁₀ e il numero di superamenti del valore indicativo dell'OMS su 24 ore pari a 45 µg/m ³ nel periodo 2010–2022 per tipo di stazione di misurazione.....	86
Figura 29: Grafico a dispersione dei valori medi annui di PM _{2.5} e del numero di superamenti del valore indicativo dell'OMS su 24 ore pari a 15 µg/m ³ nel periodo 2016–2022 per tipo di stazione di misurazione.....	87
Figura 30: Correlazione tra i valori medi annui di PM _{2.5} e il numero di superamenti del valore indicativo dell'OMS su 24 ore pari a 15 µg/m ³ nel periodo 2016–2022 per tipo di stazione di misurazione	88
Figura 31: Confronto dei valori di ozono nella stagione estiva (secondo l'OMS) per il periodo 2000–2022 con il valore AOT ₄₀ (<i>Accumulated Exposure Over a Threshold of 40 ppb</i>) per il bosco per tipo di stazione di misurazione	91
Figura 32: 99° percentile del valore medio massimo giornaliero su 8 ore (valore indicativo AQG dell'OMS) rispetto al secondo valore medio più elevato di ozono (O ₃) su 1 ora all'anno (VLI sancito dall'OIAAt) nel periodo 2000–2022 per tipo di stazione di misurazione.	93
Figura 33: 99° percentile del valore medio massimo giornaliero su 8 ore di ozono (ossia il valore indicativo 2021 dell'OMS) rispetto al 98° percentile dei valori medi mensili su 30 minuti (O ₃ OIAAt, ossia VLI secondo l'OIAAt) nel periodo 2000–2022 per tipo di stazione di misurazione.	94
Figura 34: Evoluzione del 99° percentile del valore medio massimo giornaliero su 8 ore dell'ozono (valore indicativo AQG dell'OMS) nel periodo 1991–2022 per tipo di stazione di misurazione.....	95

Figura 35: Evoluzione del 95° percentile dei valori medi su 30 minuti di NO ₂ nel periodo 1991–2022 per tipo di stazione di misurazione.	96
Figura 36: Grafico a dispersione dei valori medi annui di NO ₂ e del numero di superamenti del valore indicativo dell'OMS su 24 ore (AQG 2021 dell'OMS) pari a 25 µg/m ³ nel periodo 2016–2021 per tipo di stazione di misurazione.	97
Figura 37: Correlazione tra i valori medi annui di NO ₂ e il numero di superamenti del valore indicativo dell'OMS su 24 ore (AQG 2021 dell'OMS) pari a 25 µg/m ³ nel periodo 2016–2021 (le frecce iniziano in corrispondenza della media 2016–2018 e terminano in corrispondenza della media 2019–2021) per tipo di stazione di misurazione.	98
Figura 38: Evoluzione del 95° percentile dei valori medi su 30 minuti di SO ₂ di un anno nel periodo 1991–2022 per tipo di stazione di misurazione.	99
Figura 39: Valori trimestrali delle concentrazioni di benzo[a]pirene nel PM10 nel periodo 2006–2020 (Fischer & Hüglin, 2023).	100
Figura 40: Valori medi annui delle concentrazioni di IPA rilevanti sotto il profilo tossicologico nel PM10 nel 2020 per tipo di stazione di misurazione (Fischer & Hüglin, 2023).	101
Figura 41: Effetti a breve e a lungo termine dell'incremento del carico di polveri fini (Swiss TPH, 2022).	102
Figura 42: Effetti a breve e a lungo termine dell'incremento del carico di ozono (Swiss TPH, 2022).	103
Figura 43: Effetti a breve e a lungo termine dell'incremento del carico di NO ₂ (Swiss TPH, 2022).	103
Figura 44: Effetti a breve termine dell'incremento del carico di SO ₂ (Swiss TPH, 2022).	104
Figura 45: Effetti a breve termine dell'incremento del carico di CO (Swiss TPH, 2022).	104
<hr/>	
Tabella 1: Raccomandazioni della CFIAR per l'adeguamento dei VLI nell'OIAAt.	8
Tabelle 1: Empfehlungen der EKL zur Anpassung der IGW in der LRV (pag. 10)	
Tableau 1 : Recommandations de la CFHA pour adapter les VLI dans l'OPair (pag. 12)	
Table 1: FCAH recommendations for changes to ambient limit values in the OAPC (pag. 14)	
Tabella 2: Valori indicativi delle linee guida sulla qualità dell'aria 2021 (AQG) dell'OMS e obiettivi intermedi (<i>Interim Targets</i>), raccomandati nelle linee guida sulla qualità dell'aria 2005 (OMS, 2006) e 2021 (OMS, 2021) dell'OMS, nonché valori limite d'immissione attualmente validi dell'OIAAt (stato 1° gennaio 2023).	18
Tabella 3: Valori indicativi a lungo e breve termine delle linee guida sulla qualità dell'aria 2021 (AQG) dell'OMS per il PM10 a confronto con i valori limite d'immissione (VLI) sanciti dall'OIAAt e raccomandazioni della CFIAR.	27
Tabella 4: Valori indicativi a lungo e breve termine delle linee guida sulla qualità dell'aria 2021 (AQG) dell'OMS per il PM2.5 a confronto con i valori limite d'immissione (VLI) sanciti dall'OIAAt e raccomandazioni della CFIAR.	32

Tabella 5: Valori indicativi a lungo e breve termine delle linee guida sulla qualità dell'aria 2021 (AQG) dell'OMS per l'ozono a confronto con i valori limite d'immissione (VLI) sanciti dall'OIAAt e raccomandazioni della CFIAR.....	36
Tabella 6: Valori indicativi a lungo e breve termine delle linee guida sulla qualità dell'aria 2021 (AQG) dell'OMS per l'NO ₂ a confronto con i valori limite d'immissione (VLI) sanciti dall'OIAAt e raccomandazioni della CFIAR.....	43
Tabella 7: Valore indicativo a lungo e breve termine delle linee guida sulla qualità dell'aria 2021 (AQG) dell'OMS per l'SO ₂ a confronto con i valori limite d'immissione (VLI) a lungo e breve termine sanciti dall'OIAAt e raccomandazioni della CFIAR.	48
Tabella 8: Valore indicativo a breve termine delle linee guida sulla qualità dell'aria 2021 (AQG) dell'OMS per il CO a confronto con il valore limite d'immissione (VLI) sancito dall'OIAAt e raccomandazioni della CFIAR.....	51
Tabella 9: Ricadute di polvere nel complesso e metalli per i quali sono stabiliti VLI nell'OIAAt. L'OIAAt utilizza ancora l'espressione «polvere in sospensione», oggi «polveri fini».	62
Tabella 10: Raccomandazioni della CFIAR per l'adeguamento dei VLI nell'OIAAt.....	67
Tabella 11: Studi sulla bassa esposizione che sono confluiti nella meta-analisi OMS di Chen and Hoek (2020).....	80
Tabella 12: Quadro riepilogativo dei rischi di decesso in caso di incremento dell'inquinamento atmosferico.....	81
Tabella 13: Quadro riepilogativo della somma delle stime degli effetti sanitari dei rischi di decesso in caso di incremento dell'inquinamento atmosferico a breve termine	82
Tabella 14: Quadro riepilogativo della somma delle stime degli effetti sanitari dell'incremento della morbilità in funzione dell'incremento dell'inquinamento atmosferico	82
Tabella 15: Quota di emissioni dalle diverse fonti nel 2021 secondo la banca dati delle emissioni EMIS dell'UFAM.....	83
Tabella 16: Valori critici per il carico di SO ₂ per tipo di vegetazione.	92

Bibliografia

ANSES. (2019). *Particulate matter in ambient air: Health effects according to components, sources and particle size and impact on air pollution of the technologies and composition of the motor vehicle fleet operating in France*. <https://www.anses.fr/en/system/files/AIR2014SA0156RaEN.pdf>

Atkinson, R. W., Samoli, E., Analitis, A., Fuller, G. W., Green, D. C., Anderson, H. R., Purdie, E., Dunster, C., Aitlhadj, L., Kelly, F. J., & Mudway, I. S. (2016, Aug). Short-term associations between particle oxidative potential and daily mortality and hospital admissions in London. *Int J Hyg Environ Health*, 219(6), 566-572. <https://doi.org/10.1016/j.ijheh.2016.06.004>

Bates, J. T., Fang, T., Verma, V., Zeng, L. H., Weber, R. J., Tolbert, P. E., Abrams, J. Y., Sarnat, S. E., Klein, M., Mulholland, J. A., & Russell, A. G. (2019, Apr 16). Review of Acellular Assays of Ambient Particulate Matter Oxidative Potential: Methods and Relationships with Composition, Sources, and Health Effects. *Environmental Science & Technology*, 53(8), 4003-4019. <https://doi.org/10.1021/acs.est.8b03430>

Bowe, B., Xie, Y., Li, T., Yan, Y., Xian, H., & Al-Aly, Z. (2018, Jul). The 2016 global and national burden of diabetes mellitus attributable to PM(2.5) air pollution. *Lancet Planet Health*, 2(7), e301-e312. [https://doi.org/10.1016/s2542-5196\(18\)30140-2](https://doi.org/10.1016/s2542-5196(18)30140-2)

Brunner, U. (2000). *Rechtsgutachten betreffend Grundlagen für die Anordnung verschärfter Emissionsbegrenzungen bei kanzerogenen Luftschadstoffen*. CFIAR. https://www.ekl.admin.ch/inhalte/ekl-dateien/dokumentation/Rechtsgutachten_Kanzerogene_Luftschadstoffe_U._Brunner_Stand_September_2000.pdf

Cakmak, S., Hebborn, C., Pinault, L., Lavigne, E., Vanos, J., Crouse, D. L., & Tjepkema, M. (2018, Feb). Associations between long-term PM(2.5) and ozone exposure and mortality in the Canadian Census Health and Environment Cohort (CANCHEC), by spatial synoptic classification zone. *Environ Int*, 111, 200-211. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2017.11.030>

Castro, A., Gotschi, T., Achermann, B., Baltensperger, U., Buchmann, B., Felber Dietrich, D., Fluckiger, A., Geiser, M., Galli Purghart, B., Gygas, H., Kutlar Joss, M., Luthi, L. M., Probst-Hensch, N., Strahl, P., & Kunzli, N. (2020, Mar). Comparing the lung cancer burden of ambient particulate matter using scenarios of air quality standards versus acceptable risk levels. *International Journal of Public Health*, 65(2), 139-148. <https://doi.org/10.1007/s00038-019-01324-y>

CEN. (2016). CEN/TS 16976:2016: Aussenluft – Bestimmung der Partikelanzahlkonzentration des atmosphärischen Aerosols.

CEN. (2017). Ambient air – measurement of elemental carbon (EC) and organic carbon (OC) collected on filters. EN 16909:2017.

CFIAR. (1989). Ozon in der Schweiz. *Schriftenreihe Umweltschutz*, n. 101, 270.

CFIAR. (2005). Stickstoffhaltige Luftschadstoffe in der Schweiz. *Schriftenreihe Umwelt*, n. 384. <https://www.ekl.admin.ch/inhalte/ekl-dateien/themen/stickstoffhaltigeluftschadstoffeinderschweiz.pdf>

CFIAR. (2007). *Feinstaub in der Schweiz. Status-Bericht der eidgenössischen Kommission für Lufthygiene*. Commissione federale d'igiene dell'aria (CFIAR).

<https://www.ekl.admin.ch/inhalte/ekl-dateien/dokumentation/d-bericht-feinstaub-2008.pdf>

CFIAR. (2010). *25 Jahre Luftreinhaltung auf der Basis des Umweltschutzgesetzes. Thesen und Empfehlungen*. Commissione federale d'igiene dell'aria (CFIAR).

https://www.ekl.admin.ch/inhalte/ekl-dateien/dokumentation/EKL_D_Internet_2010-10-12.pdf

CFIAR. (2013). *Le polveri fini in Svizzera 2013*. Commissione federale d'igiene dell'aria (CFIAR).

https://www.ekl.admin.ch/inhalte/ekl-dateien/themen/Le_polveri_fini_in_Svizzera_2013.pdf

CFIAR. (2014). *Ammoniak-Immissionen und Stickstoffeinträge*. Commissione federale d'igiene dell'aria (CFIAR).

https://www.ekl.admin.ch/inhalte/ekl-dateien/themen/Ammoniak-Immissionen_und_Stickstoffeintraege.pdf

CFIAR. (2020). *Stickstoffhaltige Luftschadstoffe in der Schweiz: Situation mit Bezug zur Landwirtschaft im Zeitraum 2000–2018*. Commissione federale d'igiene dell'aria (CFIAR).

https://www.ekl.admin.ch/inhalte/ekl-dateien/dokumentation/EKL-Stickstoffhaltige-Luftschadstoffe-in-der-Schweiz-200826-2_de.pdf

Chen, J., & Hoek, G. (2020). Long-term exposure to PM and all-cause and cause-specific mortality: A systematic review and meta-analysis. *Environ Int*, 143, 105974.

<https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.105974>

Collaud Coen, M., Weingartner, E., Schaub, D., Hueglin, C., Corrigan, C., Henning, S., Schwikowski, M., & Baltensperger, U. (2004). Saharan dust events at the Jungfraujoch: detection by wavelength dependence of the single scattering albedo and first climatology analysis. *Atmos. Chem. Phys.*, 4(11/12), 2465-2480. <https://doi.org/10.5194/acp-4-2465-2004>

Commissione europea. (2019). Il Green Deal europeo COM(2019) 640 final (11.12.2019).

<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/IT/TXT/HTML/?uri=CELEX:52019DC0640&qid=1683811543435>

Commissione europea. (2021). *Green Deal europeo: raggiungere i nostri obiettivi*. Ufficio delle pubblicazioni dell'Unione europea. <https://doi.org/doi/10.2775/373022>

Commissione europea. (2022). Proposta di direttiva del Parlamento europeo e del Consiglio relativa alla qualità dell'aria ambiente e per un'aria più pulita in Europa (rifusione). 2022/0347(COD) (26.10.2022).

<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/IT/TXT/HTML/?uri=CELEX:52022PC0542&qid=1683813000857>

Consiglio dell'Unione europea. (1999). Direttiva 1999/30/CE del Consiglio, del 22 aprile 1999, concernente i valori limite di qualità dell'aria ambiente per il biossido di zolfo, il biossido di azoto, gli ossidi di azoto, le particelle e il piombo. *Gazzetta ufficiale dell'Unione europea*, L164/41.

<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/IT/TXT/?qid=1676046184453&uri=CELEX:31999L0030>

Daellenbach, K. R., Uzu, G., Jiang, J., Cassagnes, L. E., Leni, Z., Vlachou, A., Stefanelli, G., Canonaco, F., Weber, S., Segers, A., Kuenen, J. J. P., Schaap, M., Favez, O., Albinet, A., Aksoyoglu, S., Dommen, J., Baltensperger, U., Geiser, M., El Haddad, I., Jaffrezo, J. L., & Prévôt, A. S. H. (2020, Nov). Sources of particulate-matter air pollution and its oxidative potential in Europe. *Nature*, 587(7834), 414-419.

<https://doi.org/10.1038/s41586-020-2902-8>

Di, Q., Wang, Y., Zanobetti, A., Wang, Y., Koutrakis, P., Choirat, C., Dominici, F., & Schwartz, J. D. (2017, Jun 29). Air Pollution and Mortality in the Medicare Population. *N Engl J Med*, 376(26), 2513-2522. <https://doi.org/10.1056/NEJMoa1702747>

EEA. (2012). *Particulate matter from natural sources and related reporting under the EU Air Quality Directive in 2008 and 2009*. <https://www.eea.europa.eu/publications/particulate-matter-from-natural-sources>

EMEP. (2022). Transboundary air pollution by sulphur, nitrogen, ozone and particulate matter in 2020. Country Report Switzerland. (11.5.2023), Data Note 1/2022. https://www.emep.int/publ/emep2022_publications.html

Felber Dietrich, D. (2014). *Inquinamento atmosferico e salute. Panoramica degli effetti*. <https://www.bafu.admin.ch/bafu/it/home/temi/aria/pubblicazioni-studi/pubblicazioni/inquinamento-atmosferico-e-salute.html>

Fischer, A., & Hüglin, C. (2023). *Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe im PM10 an ausgewählten Stationen des NABEL sowie der Kantone. Messbericht 2022*. <https://www.empa.ch/web/s503/weitere-dokumente>

Grange, S. K., Fischer, A., Zellweger, C., Alastuey, A., Querol, X., Jaffrezo, J. L., Weber, S., Uzu, G., & Hueglin, C. (2021, Dec). Switzerland's PM10 and PM2.5 environmental increments show the importance of non-exhaust emissions. *Atmospheric Environment-X*, 12. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.aeaoa.2021.100145>

Grange, S. K., Uzu, G., Weber, S., Jaffrezo, J. L., & Hueglin, C. (2022). Linking Switzerland's PM10 and PM2.5 oxidative potential (OP) with emission sources. *Atmos. Chem. Phys.*, 22(10), 7029-7050. <https://doi.org/10.5194/acp-22-7029-2022>

Guerreiro, C. B. B., Horálek, J., de Leeuw, F., & Couvidat, F. (2016, Jul). Benzo(a)pyrene in Europe: Ambient air concentrations, population exposure and health effects. *Environ Pollut*, 214, 657-667. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2016.04.081>

Hart, J. E., Liao, X., Hong, B., Puett, R. C., Yanosky, J. D., Suh, H., Kioumourtzoglou, M. A., Spiegelman, D., & Laden, F. (2015, May 1). The association of long-term exposure to PM2.5 on all-cause mortality in the Nurses' Health Study and the impact of measurement-error correction. *Environ Health*, 14, 38. <https://doi.org/10.1186/s12940-015-0027-6>

Health Effects Institute (HEI). (2013). *Understanding the Health Effects of Ambient Ultrafine Particles*. <https://www.healtheffects.org/publication/understanding-health-effects-ambient-ultrafine-particles>

Huangfu, P., & Atkinson, R. (2020). Long-term exposure to NO2 and O3 and all-cause and respiratory mortality: A systematic review and meta-analysis. *Environ Int*, 144, 105998. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.105998>

Hüglin, C., & Grange, S. K. (2021). *Chemical characterisation and source identification of PM10 and PM2.5 in Switzerland*. <https://www.bafu.admin.ch/dam/bafu/de/dokumente/luft/externe-studien-berichte/chemical-characterisation-and-source-identification-of-pm-in-switzerland.pdf.download.pdf/Characterisation-source-identification-PM.pdf>

INFRAS. (2021). *Black Carbon-Immissionen Schweiz und Liechtenstein. Resultate 2015, 2020 und 2030.* <https://www.bafu.admin.ch/dam/bafu/de/dokumente/luft/externe-studien-berichte/black-carbon-immissionen-schweiz-und-liechtenstein.pdf.download.pdf/BC-Immissionen-CH-FL.pdf>

Kutlar Joss, M., Kappeler, R., Probst-Hensch, N., & Künzli, N. (2019, 27.3.2019). Luft und Gesundheit in der Schweiz und anderswo. *Swiss Medical Forum*, 19(1314), 213-218. <https://doi.org/https://doi.org/10.4414/smf.2019.08079>

Lee, K. K., Spath, N., Miller, M. R., Mills, N. L., & Shah, A. S. V. (2020). Short-term exposure to carbon monoxide and myocardial infarction: A systematic review and meta-analysis. *Environ Int*, 143, 105901. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.105901>

Liu, C., Cai, J., Chen, R., Sera, F., Guo, Y., Tong, S., Li, S., Lavigne, E., Correa, P. M., Ortega, N. V., Orru, H., Maasikmets, M., Jaakkola, J. J. K., Rytö, N., Breitner, S., Schneider, A., Katsouyanni, K., Samoli, E., Hashizume, M., Honda, Y., Ng, C. F. S., Diaz, M. H., la Cruz Valencia, C., Rao, S., Palomares, A. D., Pereira da Silva, S., Madureira, J., Holobac, I. H., Fratanni, S., Scovronick, N., Garland, R. M., Tobias, A., Iñiguez, C., Forsberg, B., Åström, C., Vicedo-Cabrera, A. M., Ragetti, M. S., Guo, Y. L., Pan, S. C., Milojevic, A., Bell, M. L., Zanobetti, A., Schwartz, J., Gasparrini, A., & Kan, H. (2022, Oct 15). Coarse Particulate Air Pollution and Daily Mortality: A Global Study in 205 Cities. *Am J Respir Crit Care Med*, 206(8), 999-1007. <https://doi.org/10.1164/rccm.202111-2657OC>

Ohlwein, S., Kappeler, R., Kutlar Joss, M., Künzli, N., & Hoffmann, B. (2019, May). Health effects of ultrafine particles: a systematic literature review update of epidemiological evidence. *International Journal of Public Health*, 64(4), 547-559. <https://doi.org/10.1007/s00038-019-01202-7>

OMS Europa. (2021). Human health effects of polycyclic aromatic hydrocarbons as ambient air pollutants: report of the Working Group on Polycyclic Aromatic Hydrocarbons of the Joint Task Force on the Health Aspects of Air Pollution.

<https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/350636/9789289056533-eng.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

OMS. (1987). *Air quality guidelines for Europe*. Ufficio Regionale per l'Europa dell'OMS. <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/107364/9789289011143-eng.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

OMS. (2000). *Air quality guidelines for Europe*. (2nd Edition ed.). Ufficio Regionale per l'Europa dell'OMS. http://www.euro.who.int/_data/assets/pdf_file/0005/74732/E71922.pdf?ua=1

OMS. (2006). *Air quality guidelines. Global update 2005*. Ufficio Regionale per l'Europa dell'OMS. http://www.euro.who.int/_data/assets/pdf_file/0005/78638/E90038.pdf?ua=1

OMS. (2021). WHO Global Air Quality Guidelines. Particulate matter (PM_{2.5} and PM₁₀), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide. OMS. <https://apps.who.int/iris/handle/10665/345329>

Orellano, P., Reynoso, J., & Quaranta, N. (2021). Short-term exposure to sulphur dioxide (SO₂) and all-cause and respiratory mortality: A systematic review and meta-analysis. *Environ Int*, 150, 106434. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2021.106434>

Orellano, P., Reynoso, J., Quaranta, N., Bardach, A., & Ciapponi, A. (2020). Short-term exposure to particulate matter (PM10 and PM2.5), nitrogen dioxide (NO2), and ozone (O3) and all-cause and cause-specific mortality: Systematic review and meta-analysis. *Environ Int*, 142, 105876.

<https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.105876>

Organizzazione mondiale della sanità. (2021). Linee guida globali OMS sulla qualità dell'aria: particolato (PM2,5 e PM10), ozono, biossido di azoto, anidride solforosa e monossido di carbonio: sintesi. Organizzazione mondiale della sanità. Ufficio Regionale per l'Europa.

<https://apps.who.int/iris/handle/10665/346506>

OSTLUFT. (2021). *OSTLUFT-Jahresbericht 2020*. OSTLUFT. <https://jahresbericht.ostluft.ch/2020/>

Parker, J. D., Kravets, N., & Vaidyanathan, A. (2018, Apr 17). Particulate Matter Air Pollution Exposure and Heart Disease Mortality Risks by Race and Ethnicity in the United States: 1997 to 2009 National Health Interview Survey With Mortality Follow-Up Through 2011. *Circulation*, 137(16), 1688-1697.

<https://doi.org/10.1161/circulationaha.117.029376>

Parlamento europeo e Consiglio dell'Unione europea. (2004). Direttiva 2004/107/CE del Parlamento europeo e del Consiglio, del 15 dicembre 2004, concernente l'arsenico, il cadmio, il mercurio, il nickel e gli idrocarburi policiclici aromatici nell'aria ambiente. *Gazzetta ufficiale dell'Unione europea*, L23/3 (26.1.2005). <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/IT/TXT/HTML/?uri=CELEX:32004L0107&from=IT>

Parlamento europeo e Consiglio dell'Unione europea. (2008). Direttiva 2008/50/CE del Parlamento europeo e del Consiglio, del 21 maggio 2008, relativa alla qualità dell'aria ambiente e per un'aria più pulita in Europa. *Gazzetta ufficiale dell'Unione europea*, L 152/1 (21. Mai 2008). <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/IT/TXT/HTML/?uri=CELEX:32008L0050&qid=1675349020477&from=IT>

Parlamento europeo e Consiglio dell'Unione europea. (2016). Direttiva (UE) 2016/2284 del Parlamento europeo e del Consiglio, del 14 dicembre 2016, concernente la riduzione delle emissioni nazionali di determinati inquinanti atmosferici, che modifica la direttiva 2003/35/CE e abroga la direttiva 2001/81/CE. *Gazzetta ufficiale dell'Unione europea*, L344/1 (17.12.2016).

<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/IT/ALL/?uri=CELEX%3A32016L2284>

Parlamento europeo. (2022). *Revision of the EU Ambient Air Quality Directives - Implementation Appraisal*.

[https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2022/734679/EPRS_BRI\(2022\)734679_EN.pdf](https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2022/734679/EPRS_BRI(2022)734679_EN.pdf)

Peters, A., Nawrot, T. S., & Baccarelli, A. A. (2021, Mar 18). Hallmarks of environmental insults. *Cell*, 184(6), 1455-1468. <https://doi.org/10.1016/j.cell.2021.01.043>

Petzold, A., Ogren, J. A., Fiebig, M., Laj, P., Li, S. M., Baltensperger, U., Holzer-Popp, T., Kinne, S., Pappalardo, G., Sugimoto, N., Wehrli, C., Wiedensohler, A., & Zhang, X. Y. (2013). Recommendations for reporting "black carbon" measurements. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 13(16), 8365-8379.

<https://doi.org/10.5194/acp-13-8365-2013>

Pinault, L. L., Weichenthal, S., Crouse, D. L., Brauer, M., Erickson, A., Donkelaar, A. V., Martin, R. V., Hystad, P., Chen, H., Fines, P., Brook, J. R., Tjepkema, M., & Burnett, R. T. (2017, Nov). Associations between fine particulate matter and mortality in the 2001 Canadian Census Health and Environment Cohort. *Environ Res*, 159, 406-415. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2017.08.037>

Pinault, L., Tjepkema, M., Crouse, D. L., Weichenthal, S., van Donkelaar, A., Martin, R. V., Brauer, M., Chen, H., & Burnett, R. T. (2016, Feb 11). Risk estimates of mortality attributed to low concentrations of ambient fine particulate matter in the Canadian community health survey cohort. *Environ Health*, 15, 18. <https://doi.org/10.1186/s12940-016-0111-6>

Piscitello, A., Bianco, C., Casasso, A., & Sethi, R. (2021, Apr 20). Non-exhaust traffic emissions: Sources, characterization, and mitigation measures. *Sci Total Environ*, 766, 144440. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.144440>

Sintermann, J., Schaufelberger, U., Eugster, R., & Götsch, M. (2021). *Ultrafeine Partikel in Kloten 2019 & 2020. Belastungssituation und Einfluss des Flugverkehrs*. OSTLUFT. https://www.ostluft.ch/fileadmin/intern/LZ_Information/Publikationen/Fachberichte/BE_UltrafeinePartikel_Kloten2019-2020_GeK_20210526.pdf

SN EN. (2008). SN EN 15549:2008: Qualità dell'aria - Metodo normalizzato per la misurazione della concentrazione di benzo[a]pirene in aria ambiente.

SN EN. (2012a). SN EN 14211:2012: Qualità dell'aria ambiente - Metodo normalizzato per la misurazione della concentrazione di diossido di azoto e monossido di azoto mediante chemiluminescenza.

SN EN. (2012b). SN EN 14212:2012, Qualità dell'aria ambiente - Metodo normalizzato per la misurazione della concentrazione di diossido di zolfo mediante fluorescenza ultravioletta.

SN EN. (2012c). SN EN 14625:2012: Qualità dell'aria ambiente - Metodo normalizzato per la misurazione della concentrazione di ozono mediante fotometria ultravioletta.

SN EN. (2012d). SN EN 14626:2012: Qualità dell'aria ambiente - Metodo normalizzato per la misurazione della concentrazione di monossido di carbonio mediante spettroscopia a raggi infrarossi non dispersiva.

SN EN. (2014). SN EN 12341:2014: Aria ambiente - Metodo gravimetrico di riferimento per la determinazione della concentrazione in massa di particolato sospeso PM10 o PM2,5.

SN EN. (2017a). SN EN 16450:2017: Aria ambiente - Sistemi di misura automatici per la misurazione della concentrazione del particolato (PM10; PM2.5).

SN EN. (2017b). SN EN 16909:2017: Aria ambiente - Determinazione di carbonio elementare (EC) e di carbonio organico (OC) depositato su filtri.

Stafoggia, M., Oftedal, B., Chen, J., Rodopoulou, S., Renzi, M., Atkinson, R. W., Bauwelinck, M., Klompmaker, J. O., Mehta, A., Vienneau, D., Andersen, Z. J., Bellander, T., Brandt, J., Cesaroni, G., de Hoogh, K., Fehst, D., Gulliver, J., Hertel, O., Hoffmann, B., Hvidtfeldt, U. A., Jöckel, K.-H., Jørgensen, J. T., Katsouyanni, K., Ketzel, M., Kristoffersen, D. T., Lager, A., Leander, K., Liu, S., Ljungman, P. L. S., Nagel, G., Pershagen, G., Peters, A., Raaschou-Nielsen, O., Rizzuto, D., Schramm, S., Schwarze, P. E., Severi, G., Sigsgaard, T., Strak, M., van der Schouw, Y. T., Verschuren, M., Weinmayr, G., Wolf, K., Zitt, E., Samoli, E., Forastiere, F., Brunekreef, B., Hoek, G., & Janssen, N. A. H. (2022). Long-term exposure to low ambient air pollution concentrations and mortality among 28 million people: results from seven large European cohorts within the ELAPSE project. *The Lancet Planetary Health*, 6(1), e9-e18. [https://doi.org/10.1016/S2542-5196\(21\)00277-1](https://doi.org/10.1016/S2542-5196(21)00277-1)

Swiss TPH. (2022). LUDOK - Infografica interattiva sugli effetti dell'inquinamento dell'aria sulla salute [Interaktive Infografik]. <https://www.swisstph.ch/en/projects/ludok/effetti-sulla-salute>

Tobias, A., Karanasiou, A., Amato, F., Roqué, M., & Querol, X. (2019). Health effects of desert dust and sand storms: a systematic review and meta-analysis. *Environmental Epidemiology*, 3, 396.
<https://doi.org/10.1097/01.Ee9.0000610424.75648.58>

Traini, E., Huss, A., Portengen, L., Rookus, M., Verschuren, W. M. M., Vermeulen, R. C. H., & Bellavia, A. (2022, Jul). A Multipollutant Approach to Estimating Causal Effects of Air Pollution Mixtures on Overall Mortality in a Large, Prospective Cohort. *Epidemiology*, 33(4), 514-522.
<https://doi.org/10.1097/Ede.0000000000001492>

U.S. EPA. (2010). Integrated Science Assessment (ISA) for Carbon Monoxide.

U.S. EPA. (2015). *Preamble to the Integrated Science Assessments*.
<https://cfpub.epa.gov/ncea/isa/recordisplay.cfm?deid=310244>

U.S. EPA. (2016). Integrated Science Assessment (ISA) for Oxides of Nitrogen – Health Criteria.

U.S. EPA. (2017). Integrated Science Assessment (ISA) for Sulfur Oxides – Health Criteria.

U.S. EPA. (2019). Integrated Science Assessment (ISA) for Particulate Matter.

U.S. EPA. (2020). Integrated Science Assessment (ISA) for Ozone and Related Photochemical Oxidants.

UFAM & Empa. (2021). *Luftqualität 2020 – Messresultate des Nationalen Beobachtungsnetzes für Luftfremdstoffe*. Ufficio federale dell'ambiente.
https://www.bafu.admin.ch/dam/bafu/de/dokumente/luft/uz-umwelt-zustand/nabel-luftqualitaet-2020.pdf.download.pdf/UZ-2114-D_Jahrbuch_NABEL2020.pdf

UFAM & Empa. (2022). *Luftqualität 2021 – Messresultate des Nationalen Beobachtungsnetzes für Luftfremdstoffe*. Ufficio federale dell'ambiente.
https://www.bafu.admin.ch/dam/bafu/de/dokumente/luft/uz-umwelt-zustand/luftqualitaet-2021.pdf.download.pdf/UZ-2227-D_NABEL2021.pdf

UFAM. (2020). *Grafici dei valori annui NABEL*. Ufficio federale dell'ambiente.
https://www.bafu.admin.ch/dam/bafu/it/dokumente/luft/fachinfo-daten/grafiken_jahreswertenabel.pdf.download.pdf/grafici_dei_valoriannualinabel.pdf

UFAM. (2023). Quellenbeiträge auf Basis des Luftschadstoff- und Treibhausgas-Emissionsinventars 2021 der Schweiz berechnet.

UNECE. (2017). Manual on methodologies and criteria for Modelling and Mapping Critical Loads & Levels and Air Pollution Effects, Risks and Trends. Chapter III on Mapping Critical Levels for Vegetation (version 2017).
<https://www.umweltbundesamt.de/en/manual-for-modelling-mapping-critical-loads-levels?parent=68093>

Villeneuve, P. J., Weichenthal, S. A., Crouse, D., Miller, A. B., To, T., Martin, R. V., van Donkelaar, A., Wall, C., & Burnett, R. T. (2015, Jul). Long-term Exposure to Fine Particulate Matter Air Pollution and Mortality Among Canadian Women. *Epidemiology*, 26(4), 536-545.

<https://doi.org/10.1097/EDE.0000000000000294>

Weichenthal, S., Lavigne, E., Evans, G., Pollitt, K., & Burnett, R. T. (2016, Mar 24). Ambient PM2.5 and risk of emergency room visits for myocardial infarction: impact of regional PM2.5 oxidative potential: a case-crossover study. *Environ Health*, 15, 46. <https://doi.org/10.1186/s12940-016-0129-9>

Weichenthal, S., Lavigne, E., Traub, A., Umbrio, D., You, H., Pollitt, K., Shin, T., Kulka, R., Stieb, D. M., Korsiak, J., Jessiman, B., Brook, J. R., Hatzopoulou, M., Evans, G., & Burnett, R. T. (2021, Oct). Association of Sulfur, Transition Metals, and the Oxidative Potential of Outdoor PM2.5 with Acute Cardiovascular Events: A Case-Crossover Study of Canadian Adults. *Environ Health Perspect*, 129(10), 107005. <https://doi.org/10.1289/ehp9449>

Weichenthal, S., Villeneuve, P. J., Burnett, R. T., van Donkelaar, A., Martin, R. V., Jones, R. R., DellaValle, C. T., Sandler, D. P., Ward, M. H., & Hoppin, J. A. (2014, Jun). Long-term exposure to fine particulate matter: association with nonaccidental and cardiovascular mortality in the agricultural health study cohort. *Environ Health Perspect*, 122(6), 609-615. <https://doi.org/10.1289/ehp.1307277>

Zheng, X. Y., Orellano, P., Lin, H. L., Jiang, M., & Guan, W. J. (2021). Short-term exposure to ozone, nitrogen dioxide, and sulphur dioxide and emergency department visits and hospital admissions due to asthma: A systematic review and meta-analysis. *Environ Int*, 150, 106435.

<https://doi.org/10.1016/j.envint.2021.106435>