

2. Contesto normativo



La normativa di riferimento a livello europeo è la **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**. Tale Direttiva unisce quattro direttive precedenti (la direttiva 96/62/CE “madre”, le direttive “figlie” 1999/30/CE, 2000/69/CE, 2002/3/CE) e la decisione 97/101/CE sullo scambio di informazioni. Introduce alcuni elementi nuovi come la regolamentazione degli obiettivi di qualità del particolato PM_{2,5}, la possibilità di sottrarre nel computo dei superamenti quelli imputabili alle fonti naturali e l'importanza di combattere alla fonte l'emissione di inquinanti.

Tale Direttiva è stata recepita nell'ordinamento nazionale con il **decreto legislativo 13 agosto 2010, n. 155, “Attuazione della direttiva 2008/50/CE relativa alla qualità dell'aria ambiente e per un'aria più pulita in Europa”**. Il Decreto costituisce un quadro normativo unitario in materia di valutazione e di gestione della qualità dell'aria ambiente finalizzato a individuare obiettivi di qualità dell'aria ambiente al fine di evitare, prevenire o ridurre gli effetti dannosi per la salute umana e per l'ambiente nel suo complesso; a valutare la qualità dell'aria ambiente sul territorio nazionale in base a criteri e metodi comuni; a disporre di informazioni adeguate sulla qualità dell'aria ambiente; a mantenere la qualità dell'aria ambiente, laddove è buona, e migliorarla negli altri casi.

A livello provinciale si fa diretto riferimento alla disciplina nazionale per quanto concerne la tutela della qualità dell'aria.

Il decreto legislativo 13 agosto 2010, n.155 prevede che l'intero territorio nazionale sia suddiviso in zone e agglomerati, da classificare ai fini della qualità dell'aria

ambiente. Ai fini della valutazione della qualità dell'aria, zone ed agglomerati sono classificati sulla base di soglie di valutazione, superiori ed inferiori, indicate per biossido di azoto, biossido di zolfo, PM₁₀, PM_{2,5}, piombo, monossido di carbonio, benzene, arsenico, cadmio, nichel e benzo(a)pirene e dell'obiettivo a lungo termine per l'ozono. Il decreto prevede inoltre che le regioni e le province autonome, in conformità alla zonizzazione e alla connessa classificazione, redigano quindi un progetto volto ad adeguare la propria rete di misura ed attuino il proprio programma di valutazione della qualità dell'aria. La Provincia autonoma di Trento si è dotata di tali strumenti per la valutazione e la gestione della qualità dell'aria, come verrà dettagliato nel cap. 4.

La valutazione della qualità dell'aria viene effettuata in conformità al programma di valutazione vigente con riferimento ai **valori limite** ed ai **valori obiettivo** previsti dal Decreto Legislativo del 13 agosto 2010, n.155 (*tabella 1 e tabella 2*).

Inquinante	Periodo di mediazione	Valore limite
PM10	1 giorno	50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ da non superare più di 35 volte per anno civile
	Anno civile	40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
PM2,5	Anno civile	25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
NO ₂	1 ora	200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ da non superare più di 18 volte per anno civile
	Anno civile	40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
SO ₂	1 ora	350 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ da non superare più di 24 volte per anno civile
	1 giorno	125 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ da non superare più di 3 volte per anno civile
CO	Media massima giornaliera calcolata su 8 ore	10 mg/m^3
Benzene	Anno civile	5,0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Pb	Anno civile	0,5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

Tabella 1 - Valori limite previsti dal D. Lgs. 155/2010, Allegato XI

Ozono	Periodo di mediazione	Soglia
Valore obiettivo	Media massima giornaliera su 8 ore	120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ da non superare per più di 25 volte per anno civile (come media su 3 anni)
Obiettivo a lungo termine	Media massima giornaliera su 8 ore nell'arco di un anno civile	120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Soglia di informazione	1 ora	180 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Soglia di allarme	1 ora	240 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

Tabella 2 - Valori obiettivo e soglie previsti per l'ozono dal D. Lgs. 155/2010, Allegato VII e Allegato XII

Inquinante	Periodo di mediazione	Valore obiettivo
Arsenico	Anno civile	6,0 ng/m ³
Cadmio	Anno civile	5,0 ng/m ³
Nichel	Anno civile	20,0 ng/m ³
Benzo(a)pirene	Anno civile	1 ng/m ³

Tabella 3 - Valori obiettivo previsti dal D. Lgs. 155/2010, Allegato XIII

Il Piano provinciale di tutela della qualità dell'aria viene redatto ai sensi decreto legislativo 13 agosto 2010, n. 155, che esplicita i casi e le modalità secondo i quali va redatto nei seguenti articoli:

- Art. 9 - Piano e misure per il raggiungimento dei valori limite e dei livelli critici, per il perseguimento dei valori obiettivo e per il mantenimento del relativo rispetto;
- Art. 12 – Obbligo di concentrazione all'esposizione e obiettivo nazionale di riduzione dell'esposizione per il PM_{2,5};
- Art. 13 - Gestione della qualità dell'aria ambiente in relazione all'ozono;
- Allegato XV - Informazioni da includere nei piani di qualità dell'aria ambiente;
- Appendice IV - Piani di qualità dell'aria e scenari.

In seguito si sintetizza il contenuto di tali articoli evidenziando i passaggi fondamentali.

Art. 9 Piano e misure per il raggiungimento dei valori limite e dei livelli critici, per il perseguimento dei valori obiettivo e per il mantenimento del relativo rispetto

- comma 1: se vi è **superamento dei valori limite**, regioni e province autonome **adottano un piano** che preveda le misure necessarie ad agire sulle principali sorgenti di emissione aventi influenza sulle aree di superamento e a raggiungere i valori limite nei termini prescritti;
- comma 2: se vi è **superamento dei valori obiettivo**, regioni e province autonome **adottano le misure che non comportano costi sproporzionati** necessarie ad agire sulle principali sorgenti di emissione aventi influenza sulle aree di superamento e a raggiungere i valori obiettivo nei termini prescritti;
- comma 3: regioni e province autonome adottano le misure necessarie a **preservare la migliore qualità dell'aria ambiente** compatibile con lo sviluppo sostenibile nelle aree dove valori limite e obiettivo sono **rispettati**. Le misure interessano, anche in via preventiva, le principali sorgenti di emissione e sono inserite nei piani;
- comma 4: se vi è **superamento dei livelli critici per la vegetazione**, regioni e province autonome adottano le misure necessarie ad agire sulle principali sorgenti di emissione aventi influenza sulle aree di superamento e a raggiungere i valori limite nei termini prescritti;
- comma 7: regioni e province autonome **assicurano la partecipazione degli enti locali interessanti**;
- comma 11: è assicurata la **coerenza** con le prescrizioni contenute nella **pianificazione**

nazionale per la riduzione delle emissioni di gas serra [...] e in tutti gli altri **strumenti di pianificazione e programmazione regionali e locali**, come i piani energetici, piani dei trasporti e i piani di sviluppo;

- comma 12: il Piano è **soggetto a VAS**.

Art. 12 Obbligo di concentrazione all'esposizione e obiettivo nazionale di riduzione dell'esposizione per il PM2,5

- comma 1: in relazione ai **livelli di PM2,5 nell'aria ambiente**, regioni e province autonome **adottano le misure necessarie** ad assicurare il rispetto dell'obbligo di concentrazione dell'esposizione e le misure che non comportano costi sproporzionati necessarie a perseguire il raggiungimento dell'obiettivo nazionale di riduzione dell'esposizione (*modalità di calcolo e valori di riferimento al comma 2, Art.12, e all'allegato XIV*)

Art. 13 Gestione della qualità dell'aria ambiente in relazione all'ozono

- comma 1: se vi è **superamento dei valori obiettivo** regioni e province autonome **adottano le misure che non comportano costi sproporzionati** necessarie ad agire sulle principali sorgenti di emissione aventi influenza sulle aree di superamento e a raggiungere i valori obiettivo nei termini prescritti. Tali misure devono essere previste in un Piano, integrato col piano all'Art.9.

Anticipando quanto dettagliatamente descritto nel capitolo dedicato allo stato attuale della qualità dell'aria (**cap. 4**), **la Provincia di Trento è tenuta alla redazione di un Piano** in riferimento a quanto stabilito nell'Art. 9, comma 1, ovvero nel caso siano stati registrati eventi di superamento dei valori limite per uno o più inquinanti, dato il superamento del valore limite annuo di biossido di azoto presso una stazione di monitoraggio relativamente agli anni 2015 e 2016. Ai sensi dell'Art. 9, comma 3, nelle aree dove valori limite ed obiettivo sono rispettati la Provincia si impegna ad adottare le misure necessarie a preservare la migliore qualità dell'aria ambiente in maniera compatibile con lo sviluppo sostenibile del territorio. La Provincia rientra anche in quanto definito nell'Art. 13 poiché nel territorio si verificano situazioni di superamento dei valori obiettivo dell'inquinante ozono, che va quindi inserito tra gli obiettivi e le misure di Piano.

Nell'allegato XV - Informazioni da includere nei piani di qualità dell'aria ambiente e nell'Appendice IV - Piani di qualità dell'aria e scenari

la norma esplicita tutti gli elementi e le informazioni che devono far parte di un Piano, fornendo una sorta di linea guida e un elenco degli elementi fondamentali che devono far parte integrante della pianificazione di settore.

2.1 Contesto sovranazionale

Come dichiarato dal World Health Organization (**WHO**) nel 2016¹: *"Ad oggi, l'inquinamento atmosferico - sia outdoor che indoor - rappresenta il più grande rischio ambientale per la salute, responsabile di circa un caso su nove di morti ogni anno. L'inquinamento dell'aria ambiente uccide circa 3 milioni di persone ogni anno, principalmente a causa di malattie non trasmissibili. Solo una persona su dieci vive in una città che è conforme alle linee guida sulla qualità dell'aria del WHO. L'inquinamento atmosferico continua ad aumentare ad un ritmo allarmante e colpisce le economie e la qualità della vita delle persone; si tratta di una emergenza per la salute pubblica"*.

Nel 2013, la International Agency for Research for Cancer (**IARC**) ha classificato² **l'inquinamento atmosferico come cancerogeno per gli umani** (Gruppo 1) dichiarando che, *"dopo aver accuratamente esaminato l'ultima letteratura scientifica a disposizione, i principali esperti mondiali convocati dal Programma Monografie IARC hanno concluso che vi è sufficiente evidenza che l'esposizione all'inquinamento atmosferico provoca cancro ai polmoni. Hanno inoltre evidenziato un'associazione positiva con l'aumento del rischio di cancro alla vescica"*.

Il particolato atmosferico è stato valutato separatamente ed anch'esso classificato come cancerogeno per gli umani (Gruppo 1). Le valutazioni della IARC mostrano un aumento del rischio di cancro ai polmoni associato ad un aumento dei livelli di esposizione al particolato e in generale

all'inquinamento atmosferico. Nonostante la composizione dell'inquinamento atmosferico ed i livelli di esposizione possano variare significativamente tra le diverse zone le conclusioni del gruppo di lavoro si applicano a tutte le regioni del mondo.

Con riferimento al rispetto della Direttiva Europa 2008/50/CE e all'anno 2014³, i valori limite di particolato PM10 e di biossido di azoto, NO₂, sono stati superati in 23 Stati membri su 28 e il valore obiettivo di PM2,5 in 6 Stati. In alcune aree si verifica anche il mancato rispetto del valore limite di SO₂. Superamenti dei valori limite di PM10 e NO₂ sono ancora attesi in diverse zone nel prossimo futuro, nonostante il periodo di esenzione per il rispetto dei valori limite di PM10 si sia concluso nel 2011 e sia stato prorogato, in molte zone, per l'inquinante NO₂ al 2015.

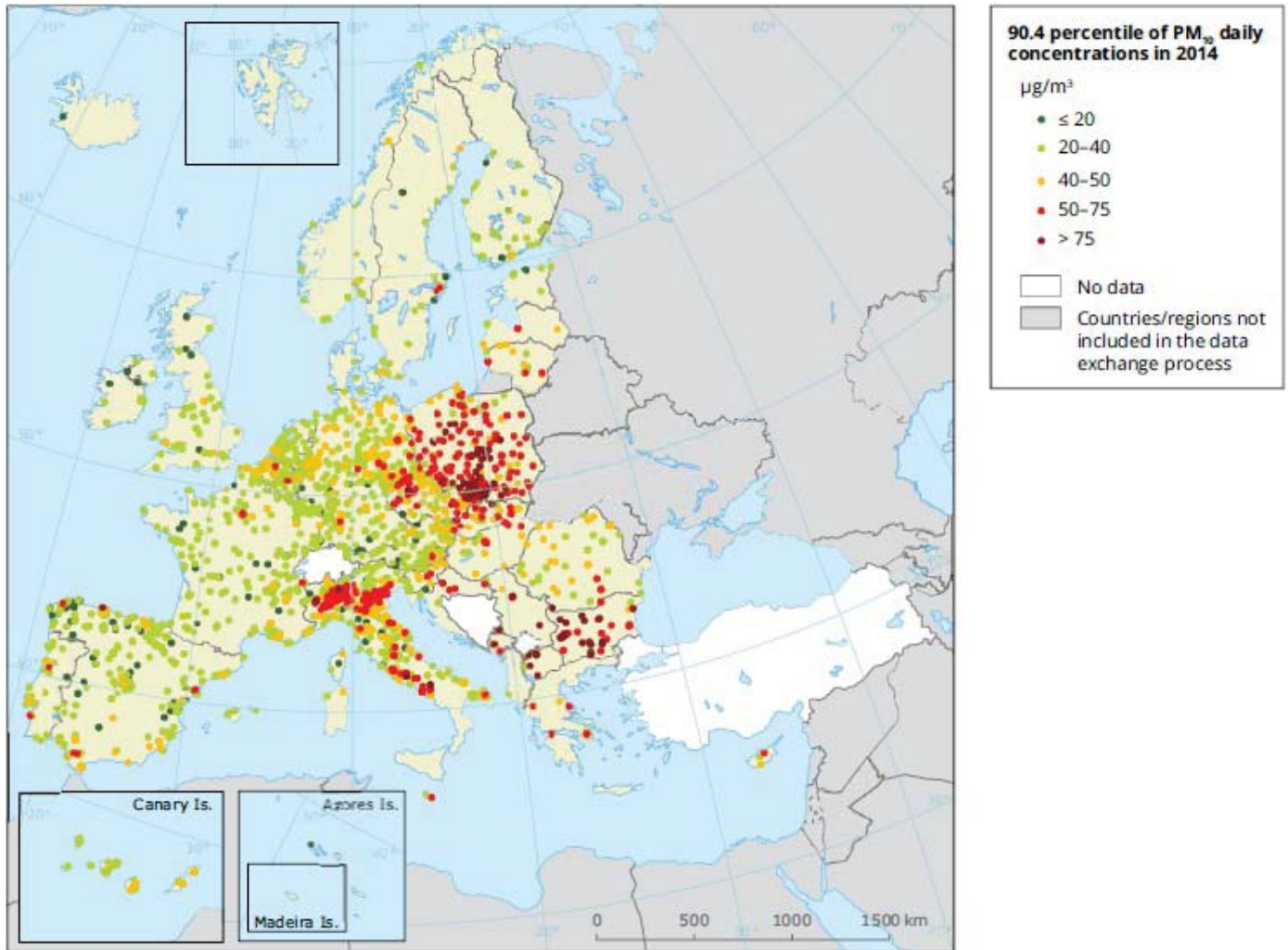
In caso di mancata conformità con la legislazione in vigore sulla qualità dell'aria, a seguito del mancato rispetto dei valori limite di PM10, NO₂ e SO₂, sono state avviate procedure di infrazione da parte della Commissione europea contro vari Stati membri. In particolare la Commissione europea ha avviato, ad ottobre 2016, procedure di infrazione contro 19 dei 28 Stati membri e 10 Stati membri sono stati riferiti alla Corte di Giustizia europea per superamenti dei valori limite di PM10.

¹ WHO, 2016 - "Ambient air pollution- a global assessment of exposure and burden of disease"

² IARC, 17 October 2013 - "Outdoor air pollution a leading environmental cause of cancer deaths"

³ Directorate General for Internal Policies, April 2016 - "Implementation of the Ambient Air Quality Directive"

In figura 2 vengono rappresentate spazialmente le situazioni di superamento del valore medio giornaliero di PM₁₀ negli stati dell'Unione Europea (2014). Le situazioni maggiormente critiche sono distribuite negli Stati della Polonia, Bulgaria, Repubblica Ceca, Slovacchia, nei Balcani e in Italia, in particolare nel territorio del bacino Padano.



Note: Observed concentrations of PM₁₀ in 2014. The map shows the 90.4 percentile of the PM₁₀ daily mean concentrations, representing the 36th highest value in a complete series. It is related to the PM₁₀ daily limit value, allowing 35 exceedances of the 50 µg/m³ threshold over 1 year. The red and dark red dots indicate stations with concentrations above this daily limit value. Only stations with more than 75 % of valid data have been included in the map.

Source: EEA, 2016a.

Figura 2 - Situazioni di superamento delle concentrazioni medie giornaliere di PM₁₀ negli Stati dell'Unione Europea con riferimento al 2014 [Air Quality in Europe, 2016 Report, EEA]

In figura 3 si riporta la percentuale della popolazione urbana dei 28 Stati dell'Unione Europea esposta a concentrazioni di inquinanti in atmosfera superiori agli standard europei (*prima colonna "Exposure estimate"*) e a quelli del WHO (*seconda colonna "Exposure estimate"*), per il periodo 2012-2014⁴.

Table ES.1 Percentage of the urban population in the EU-28 exposed to air pollutant concentrations above certain EU and WHO reference concentrations (2012–2014)

Pollutant	EU reference value (*)	Exposure estimate (%)	WHO AQG (*)	Exposure estimate (%)
PM _{2.5}	Year (25)	8-12	Year (10)	85-91
PM ₁₀	Day (50)	16-21	Year (20)	50-63
O ₃	8-hour (120)	8-17	8-hour (100)	96-98
NO ₂	Year (40)	7-9	Year (40)	7-9
BaP	Year (1)	20-24	Year (0.12) (RL)	88-91
SO ₂	Day (125)	< 1	Day (20)	35-49

Key:

< 5 %	5-50 %	50-75 %	> 75 %
-------	--------	---------	--------

Figura 3 - Percentuale della popolazione urbana negli stati dell'Unione Europea esposta a concentrazioni di inquinanti in atmosfera superiori agli standard europei e del WHO (2012-2014) (fonte: EEA, 2016)

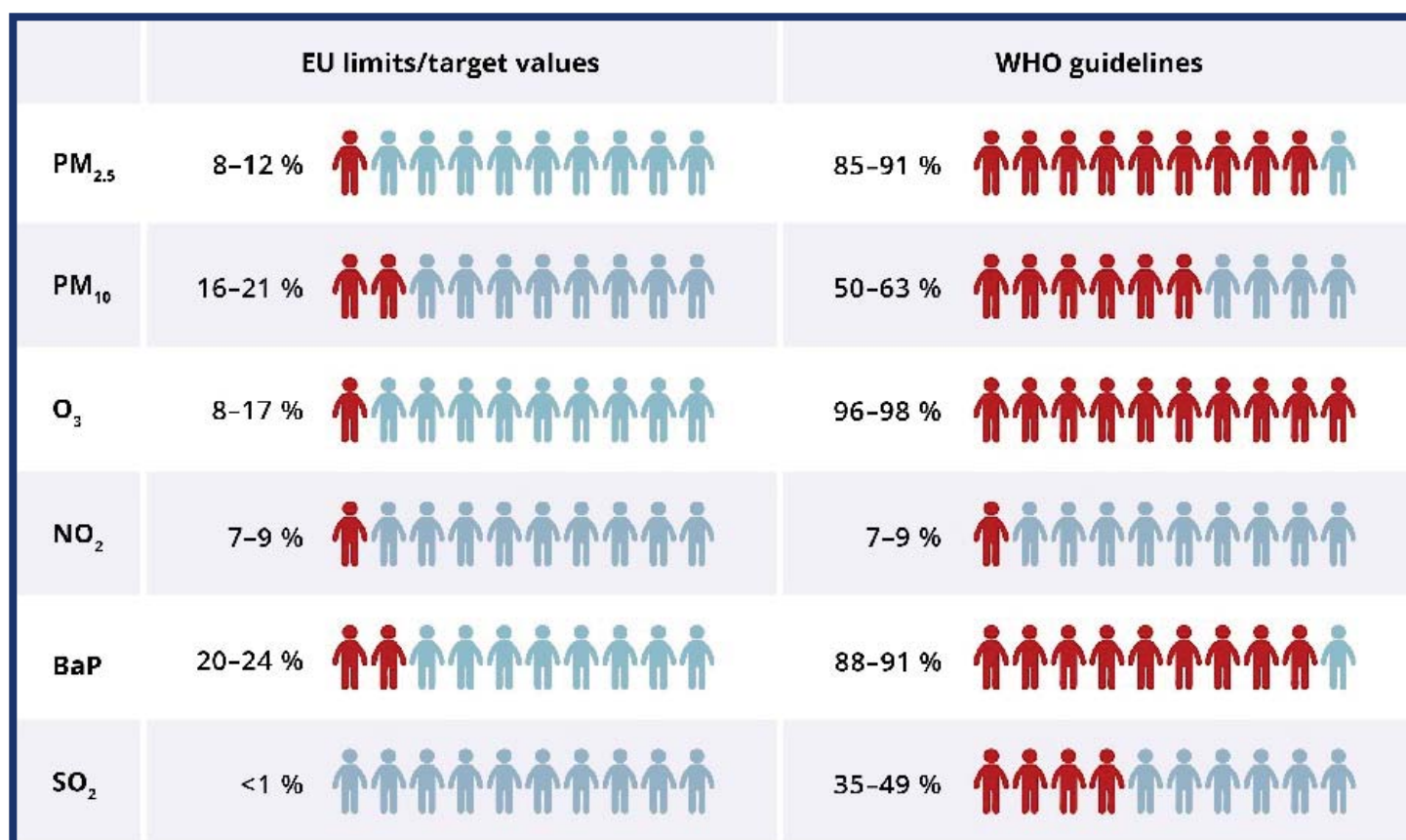


Figura 4 - Percentuale della popolazione urbana negli stati dell'Unione Europea esposta a concentrazioni di inquinanti in atmosfera superiori agli standard europei e del WHO (2012-2014) (Fonte: EEA, 2015)

⁴ EEA, Air Quality in Europe – 2016 Report

Con riferimento al particolato atmosferico, nel 2014 circa il 16% della popolazione urbana dei 28 Stati dell'Unione Europea risulta esposto a valori di PM10 superiori al valore limite medio giornaliero stabilito dalla Direttiva Europea. Tale valore oscilla tra il 16% e il 42% considerando il periodo 2000-2014 e tra il 16% e il 21% nel periodo 2012-2014.

Con riferimento al valore limite medio annuo fissato dal WHO (*maggiormente stringente rispetto a quello europeo*), la percentuale della popolazione urbana esposta a concentrazioni superiori al limite, nel 2014, sale al 50%.

Per quanto riguarda il PM2,5, nel 2014 circa l'8% della popolazione urbana dei 28 Stati dell'Unione Europea è stata esposta a valori superiori al valore obiettivo stabilito dalla normativa europea. Tale percentuale cresce fino all'85% con riferimento agli standard WHO, molto più stringenti (*10 µg/m³ su media annua rispetto ai 25 µg/m³ della norma europea*).

I dati riferiti agli altri inquinanti vanno interpretati in modo analogo.

Si noti che i valori limite proposti dal WHO sono basati su studi strettamente associati all'impatto sulla salute umana a seguito di esposizione prolungata a determinati livelli di concentrazioni di inquinanti, mentre i valori stabiliti dalla direttiva europea rappresentano obiettivi fissati in funzione delle realistiche possibilità di rispettare tali standard da parte degli Stati membri in un determinato orizzonte temporale.

L'obiettivo ultimo che come Amministrazione pubblica si vuole perseguire è il rispetto di quei valori limite in grado di garantire il minimo impatto sulla salute umana e sull'ambiente.

In altre parole, si ci prefigge un **impegno duraturo per un continuo miglioramento della qualità dell'aria**, orientato al rispetto dei valori limite più stringenti che presumibilmente diventeranno i prossimi standard di qualità dell'aria nei futuri aggiornamenti della legislazione europea.

Il 18 dicembre 2013 è stata pubblicata la nuova **strategia tematica sulla qualità dell'aria (Clean Air Policy Package for Europe)**⁵, che prevede l'applicazione più rigorosa delle norme vigenti e l'introduzione di nuovi obiettivi e misure per proteggere la salute e l'ambiente. Nello specifico, prevede di assicurare il pieno rispetto della legislazione vigente entro il 2020 e di favorire ulteriori riduzioni significative delle emissioni entro il 2030, per garantire il rispetto dei valori limite fissati dal WHO.

La strategia include misure di sostegno per ridurre l'inquinamento atmosferico, con particolare riguardo al miglioramento della qualità dell'aria nelle città, al sostegno della ricerca e dell'innovazione e alla promozione della cooperazione internazionale sul tema. È prevista anche l'adozione e l'implementazione di una serie di direttive e regolamenti, tra i quali si citano:

- **Nuova direttiva NEC sui tetti alle emissioni nazionali** [*Direttiva (UE) 2016/2284 del Parlamento 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*]: revisione dell'originaria Direttiva NEC (*Direttiva 2001/81/EC*), che stabiliva dei

⁵ http://ec.europa.eu/environment/air/clean_air_policy.htm

tetti per le emissioni di SO₂, NO_x, NH₃ e NMVOC da rispettare dal 2010 in poi.

La nuova direttiva NEC stabilisce, per il 2020 ed il 2030, nuovi impegni nazionali di riduzione delle emissioni, rispetto al livello base del 2005, degli inquinanti SO₂, NO_x, COV, NH₃, particolato (*polveri fini*) e CH₄;

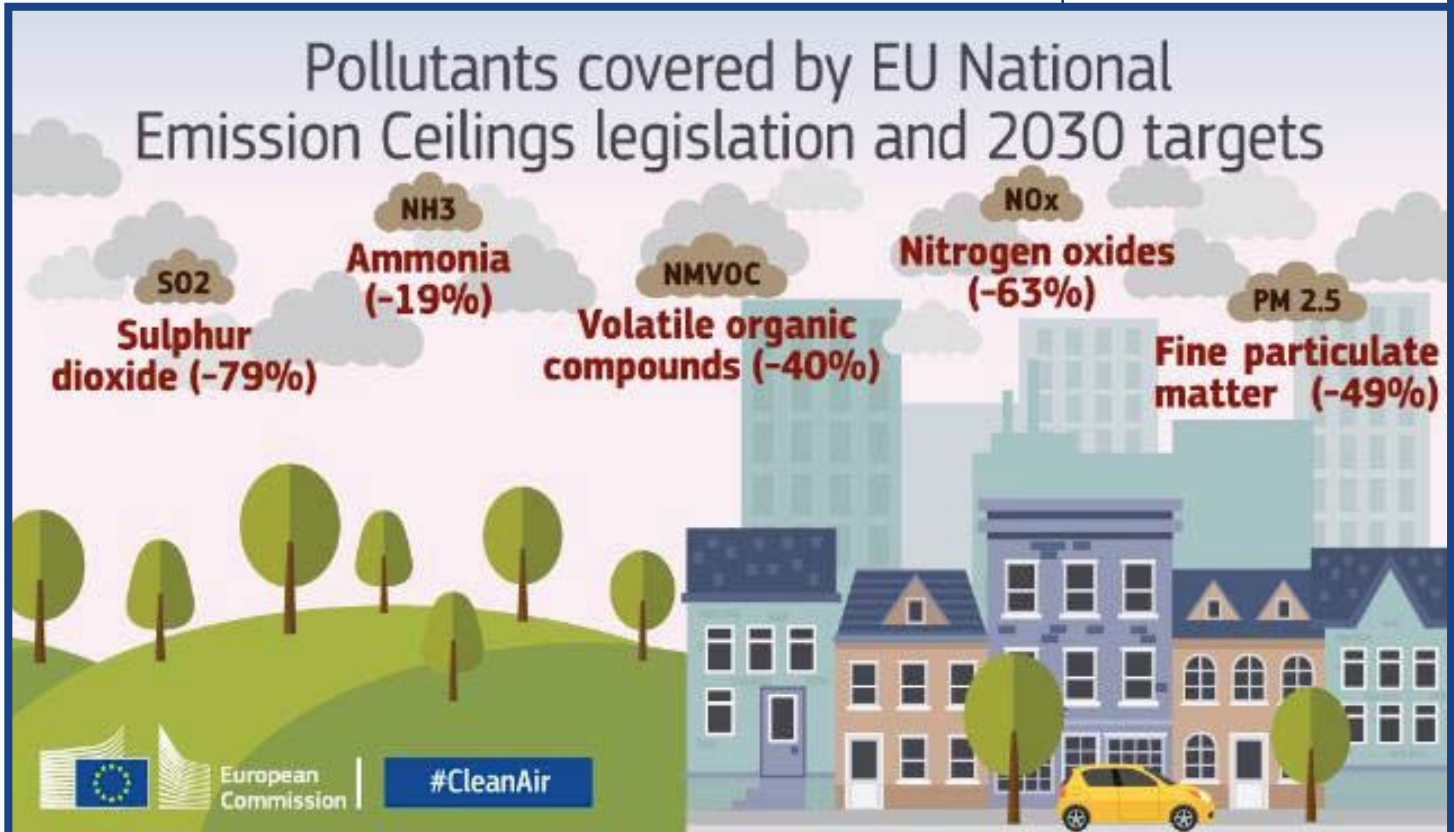


Figura 5 - Impegni europei di riduzione delle emissioni al 2030 previsti nella nuova direttiva NEC

Nuova direttiva sulla limitazione delle emissioni dei medi impianti di combustione

(1-50MW) - [Direttiva (UE) 2015/2193 del Parlamento Europeo e del Consiglio del 25 novembre 2015 relativa alla limitazione delle emissioni nell'atmosfera di taluni inquinanti originati da impianti di combustione medi]. Prevede un regime di registrazione o autorizzazione per tutti gli impianti di combustione tra 1 e 50 MW termici sia di nuova costruzione che esistenti, con tempistiche differenziate nei due casi. Prevede valori limite di emissione in atmosfera da rispettare differenziati per età dell'impianto e per combustibile;

Nuova direttiva sulla limitazione delle emissioni dei veicoli off-road

[Regolamento (UE) 2016/1628 del Parlamento europeo e del Consiglio del 14 settembre 2016 relativo alle prescrizioni in materia dilimiti di emissione di inquinanti gassosi e particolato inquinante e di

omologazione per i motori a combustione interna destinati alle macchine mobili non stradali, e che modifica i regolamenti (UE) n. 1024/2012 e (UE) n. 167/2013 e modifica e abroga la direttiva 97/68/CE];

- **Revisione dei Regolamenti sulle emissioni dei veicoli stradali (715/2007 e 595/2009):** in discussione un nuovo Regolamento (*Real-driving Emission Regulation*) riguardante una nuova procedura di omologazione dei veicoli che includa una fase di test su strada e che consenta di verificare la corrispondenza fra le emissioni di ossidi di azoto in strada e quelle misurate in laboratorio. In discussione un'applicazione dei nuovi test in due fasi, a partire da settembre 2017 e da settembre 2019.

2.2 Altre norme e provvedimenti aventi rilievo in materia di inquinamento atmosferico

La tematica della tutela della qualità dell'aria è per sua **natura trasversale** essendo legata ai numerosi settori antropici che causano emissioni significative e che quindi impattano sulla qualità dell'aria ambiente. La normativa di riferimento a cui un Piano di tutela della qualità dell'aria deve fare riferimento è estremamente vasta e viene analizzata nel Rapporto Ambientale della Valutazione Ambientale Strategica che è parte integrante del Piano. In tale documento è descritto il Quadro di riferimento programmatico a livello comunitario, nazionale e provinciale e viene effettuata l'analisi di coerenza esterna che verifica la coerenza delle strategie e delle misure del Piano con tale quadro programmatico di riferimento.

In questa sede si ritiene di citare solamente, e in modo sintetico, il quadro normativo che disciplina la tematica delle **emissioni in atmosfera**, ambito per sua natura strettamente associato alle immissioni (*concentrazioni*) in atmosfera ma disciplinato

da una normativa a sé stante.

A livello europeo, si citano la direttiva 2010/75/UE relativa alle emissioni industriali (*prevenzione e riduzione integrate dell'inquinamento*), i documenti di riferimento per le migliori tecniche disponibili (BREF - *Best Available Techniques Reference Document*) e le "BAT conclusions", che costituiscono valori massimi di riferimento per la fissazione dei valori limite di emissione delle autorizzazioni.

A livello nazionale, si fa riferimento al **decreto legislativo 3 aprile 2006, n. 152, "Norme in materia ambientale"**, che dedica la Parte V alle "Norme in materia di tutela dell'aria e di riduzione delle emissioni in atmosfera". La Parte V prevede tre titoli (*TITOLO I - Prevenzione e limitazione delle emissioni in atmosfera di impianti e attività; TITOLO II - Impianti termici civili; TITOLO III - Combustibili*) e i relativi allegati, contenenti prescrizioni e valori limite per le attività, gli impianti e i combustibili.

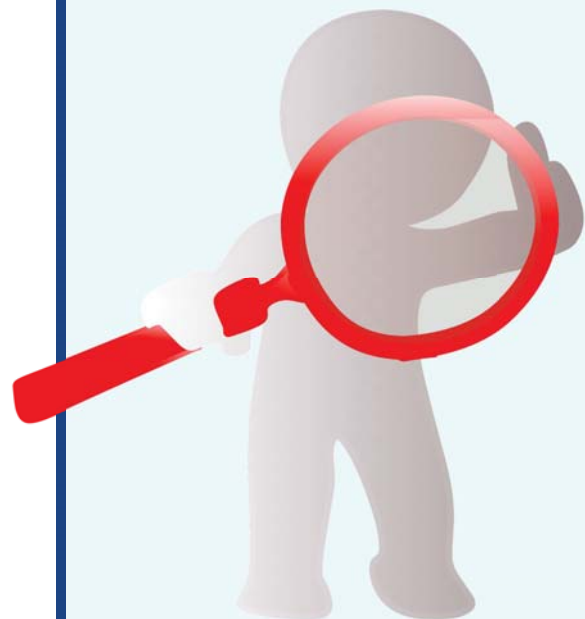
A livello provinciale, si fa riferimento al **T.U.L.P.** (*Testo Unico Provinciale sulla tutela dell'ambiente dagli inquinamento*), Decreto del Presidente della Giunta provinciale 26 gennaio 1987, n. 1-41/Legisl. (1) “**Approvazione del testo unico delle leggi provinciali in materia di tutela dell'ambiente dagli inquinamenti**”.

La Parte I del Testo Unico, Norme per la tutela dell'aria e delle acque dall'inquinamento, “*disciplina le modalità ed i limiti delle emissioni*

nell'atmosfera [...] al fine di tutelare dalle contaminazioni l'ambiente e le sue componenti naturali considerate come beni di interesse collettivo”. Il Titolo II è dedicato alle emissioni in atmosfera e tratta i limiti di accettabilità delle emissioni per diverse tipologie di impianti, l'iter autorizzativo richiesto, fa riferimento ad apposito regolamento per la disciplina dei combustibili ammessi, ecc.



Box di approfondimento: INQUINANTI – caratteristiche e impatto sulla salute



Una trattazione completa dell'**impatto sulla salute** degli inquinanti atmosferici è disponibile approfondendo la vasta letteratura di settore. È comunque di interesse una descrizione, seppur sintetica, delle principali caratteristiche degli inquinanti oggetto del presente Piano, con alcuni cenni al loro impatto sulla salute umana e sull'ambiente.

A conferma della rilevanza sanitaria del tema, si cita quanto riportato nel "Quaderno Inquinamento atmosferico e salute umana"⁶, che raccoglie le informazioni più rilevanti provenienti dalla letteratura scientifica:

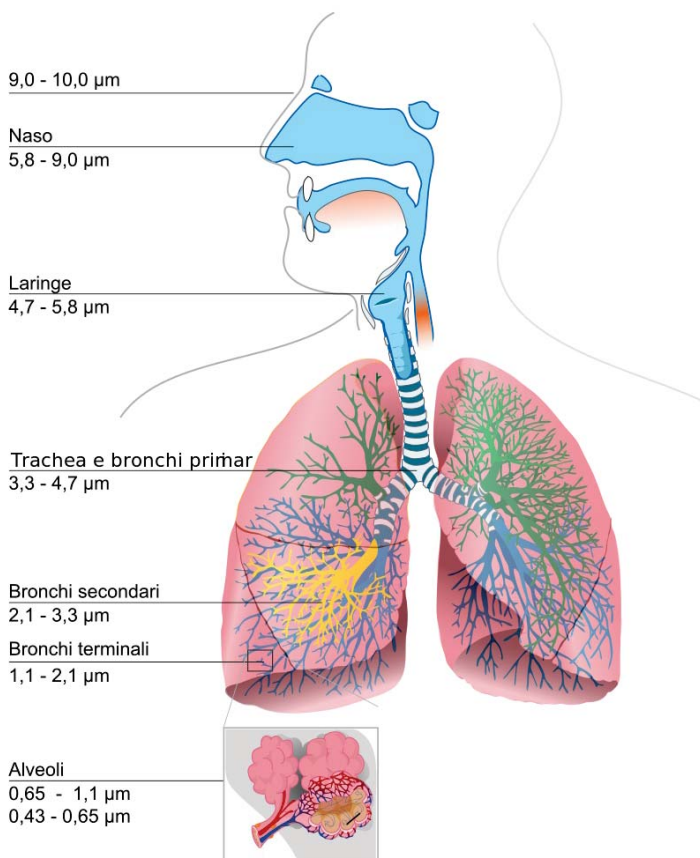
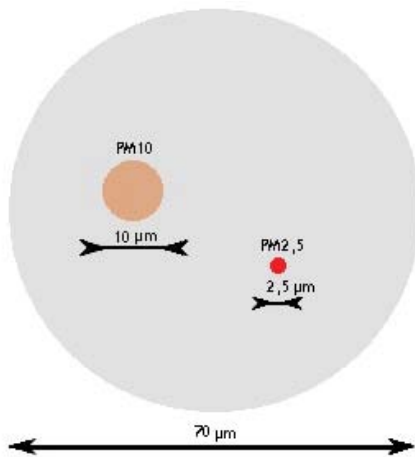
- *la letteratura epidemiologica dimostra oltre ogni ragionevole dubbio che l'esposizione all'inquinamento atmosferico comporta effetti avversi sulla salute delle popolazioni;*
- *si osservano effetti avversi di tipo cardiovascolare, respiratorio e neoplastico;*
- *gli effetti sanitari a breve termine non possono essere considerati semplici anticipazioni di eventi che si sarebbero comunque verificati, ma rappresentano un rischio aggiuntivo per la salute in termini di aumento di mortalità e morbosità;*
- *di fianco agli effetti sanitari a breve termine vanno considerati quelli a lungo termine con i rispettivi periodi di latenza tra esposizione ed effetto sanitario;*
- *gli effetti a lungo termine sono di un ordine di grandezza maggiore degli effetti a breve termine.*

Particolato atmosferico (PM10 e PM2,5)

Con i termini polveri atmosferiche, particolato sospeso, polveri totali sospese (PTS), polveri fini o semplicemente PM (*dall'inglese "Particulate Matter"*) si indica un insieme eterogeneo di particelle solide e liquide che, a causa delle ridotte dimensioni, tendono a rimanere sospese in aria. Le singole particelle sono molto diverse tra loro per dimensione, forma, composizione chimica e processo di formazione.

Le polveri atmosferiche sono sia di origine naturale che antropica. Le più importanti sorgenti naturali sono riconducibili a fenomeni di erosione eolica, all'effetto degli agenti atmosferici, ad incendi boschivi, attività vulcanica, ecc. Le sorgenti antropiche sono principalmente associate ad attività di combustione; altri importanti processi di formazione di particolato atmosferico sono l'erosione della pavimentazione stradale e del suolo, l'usura di freni e pneumatici dei veicoli,

⁶ E&P (Epidemiologia e Prevenzione) Quaderni – Inquinamento atmosferico e salute umana ovvero come orientarsi nella lettura e interpretazione di studi ambientali, tossicologici ed epidemiologici, Anno 37 (4-5) 2013



l'aerosol marino, i flussi di polveri desertiche e, con cadenza stagionale, l'aerosol biogenico (*spore e pollini*).

Oltre alle emissioni dirette (**particolato primario**), le polveri si formano anche per reazioni chimiche e fotochimiche in atmosfera in presenza dei cosiddetti inquinanti precursori, come ossidi di azoto e di zolfo, ammoniaca, composti organici volatili e ozono, formando il **particolato secondario**.

In funzione del diametro, il particolato atmosferico è suddiviso in:

- *particelle grossolane con diametro superiore a 10 µm (si consideri che lo spessore di un capello umano è di 70-100 µm);*
- *particelle fini (PM10) con diametro inferiore a 10 µm;*
- *particelle ultrafini (PM2,5) con diametro inferiore a 2,5 µm.*

La dimensione delle particelle è strettamente legata all'entità del danno che queste possono arrecare alla salute dell'uomo: tanto più piccole sono le particelle, tanto maggiore è la loro capacità di penetrare nell'apparato respiratorio e causare effetti nocivi sia a breve (*effetti acuti come irritazione dei polmoni, broncocostrizione, tosse e mancanza di respiro, diminuzione della capacità polmonare, bronchite cronica, ecc*) che a lungo termine (*effetti cronici, tumori, ecc*). La nocività del particolato è imputabile sia alla tossicità propria dei costituenti delle polveri, sia a quella delle sostanze eventualmente assorbite dalle polveri stesse, quali ad esempio metalli tossici (*piombo, cadmio e nichel*) e Idrocarburi Policiclici Aromatici (*IPA*).

Il particolato atmosferico ha un impatto significativo anche su ambiente e clima: la sua deposizione sulle foglie delle piante inibisce il processo di fotosintesi, le polveri sospese

favoriscono la formazione di nebbie e nuvole e il potenziale verificarsi di fenomeni di piogge acide, gli inquinanti assorbiti nel particolato possono comportare effetti di corrosione dei materiali, inoltre il particolato sospeso riduce la visibilità, assorbe la radiazione solare diretta e la radiazione infrarossa emessa dalla superficie terrestre, alterando l'equilibrio termico dell'atmosfera.

Ossidi di azoto (NO_x)

Gli ossidi di azoto (NO , N_2O , NO_2 ed altri, indicati collettivamente come NO_x) sono generati dai processi di combustione per reazione diretta ad alta temperatura tra l'azoto e l'ossigeno presenti nell'aria.

I processi di combustione emettono quale componente primario monossido di azoto (NO), gas incolore, inodore ed insapore. In presenza di ossigeno (O_2) e di radicali ossidanti, l' NO si trasforma in biossido di azoto (NO_2), gas di colore rosso bruno, di odore forte e pungente, altamente tossico ed irritante. L' NO_2 può essere generato anche da altri processi ossidativi, tra i quali è di particolare rilevanza la reazione tra NO e ozono (O_3), presente in elevate concentrazioni nei periodi di maggior irraggiamento solare. L' NO_2 è dunque principalmente un inquinante secondario, sebbene questo gas si possa formare anche durante il processo di combustione stesso, così come durante processi caratterizzati da assenza di combustione (ad esempio nella produzione di acido nitrico e di fertilizzanti azotati) e processi naturali (attività batterica, eruzioni vulcaniche, incendi).

In merito agli effetti sulla salute dell'uomo, il NO agisce sull'emoglobina, fissandosi ad essa e interferendo con la normale ossigenazione dei tessuti da parte del sangue, anche se non sono mai stati riscontrati casi di decessi per avvelenamento da NO . L' NO_2 è considerato

più pericoloso per la salute umana, in quanto ha una tossicità fino a quattro volte maggiore di quella del NO . Forte ossidante ed irritante, esercita il suo effetto tossico principalmente sugli occhi, sulle mucose e sui polmoni e può essere responsabile di specifiche patologie a carico dell'apparato respiratorio (*bronchiti, allergie, irritazioni, edemi polmonari che possono portare anche al decesso*).

L' NO_2 in condizioni di forte irraggiamento solare provoca reazioni fotochimiche secondarie che danno origine ad altre sostanze inquinanti ("*smog fotochimico*"). Inoltre, la sua trasformazione in acido nitrico in presenza di umidità è una delle cause della formazione delle cosiddette "piogge acide", che provocano ingenti danni alle piante e più in generale alterano gli equilibri ecologici ambientali.

Biossido di zolfo (SO_2)

Il biossido di zolfo o anidride solforosa (SO_2) è un gas incolore, dall'odore pungente ed irritante. In atmosfera l' SO_2 può trasformarsi in triossido di zolfo (SO_3) mediante processi di ossidazione indotti dall'irraggiamento solare; a sua volta, in combinazione con concentrazioni significative di vapore acqueo, l' SO_3 forma facilmente acido solforico (H_2SO_4), causa primaria delle piogge acide. Il tempo di persistenza dell' SO_2 nell'ambiente è tipicamente di circa 4 giorni; in particolari condizioni meteorologiche e in presenza di concentrazioni elevate, tale sostanza può diffondersi nell'atmosfera ed interessare territori situati anche a grande distanza dalla sorgente inquinante.

L' SO_2 è considerato molto pericoloso a causa dell'ipersensibilità ad esso mostrata da alcune fasce di popolazione, come anziani o persone soggette a malattie croniche dell'apparato respiratorio-cardiovascolare. Già a basse

concentrazioni è una sostanza irritante per occhi, gola e tratto superiore delle vie respiratorie; a concentrazioni elevate può dar luogo ad irritazioni delle mucose nasali, bronchiti e malattie polmonari, mentre un'esposizione prolungata può comportare incremento di faringiti, affaticamento e disturbi a carico dell'apparato sensorio. I suoi effetti risultano amplificati in presenza di nebbia, in quanto esso è facilmente solubile nelle piccole gocce d'acqua. Le gocce più piccole possono arrivare in profondità nell'apparato polmonare, causando bronco-costrizione, irritazione bronchiale e bronchite acuta. È inoltre accertato un effetto irritante sinergico in caso di esposizione concomitante con il particolato, dovuto probabilmente alla capacità di quest'ultimo di veicolare il biossido di zolfo nelle zone respiratorie del polmone profondo.

Come anticipato, il biossido di zolfo presente in atmosfera è il principale responsabile delle cosiddette "piogge acide", in quanto, attraverso reazioni con l'ossigeno e le molecole d'acqua, tende a trasformarsi in anidride solforica e, in presenza di umidità, in acido solforico. Le precipitazioni piovose con una componente acida significativa sono responsabili di danni alla vegetazione, con la presenza di zone necrotiche sulla foglie che, successivamente, scoloriscono e seccano, e di danni al sistema acquatico con l'acidificazione dei corpi idrici, in particolare quelli a debole ricambio, con conseguente compromissione della vita acquatica. Si evidenzia anche l'effetto corrosivo dell'acido solforico su alcuni materiali, come metalli e sostanze contenenti carbonati che vengono convertiti a solfati, con danni al patrimonio monumentale delle città.

Monossido di Carbonio (CO)

Il monossido di carbonio è un gas incolore, insapore, inodore e poco più leggero dell'aria, e rappresenta l'inquinante gassoso più abbondante in atmosfera. Si forma principalmente a causa della combustione incompleta degli idrocarburi, presenti in carburanti e combustibili, in carenza di ossigeno.

Il CO è un inquinante primario con un tempo di permanenza in atmosfera relativamente lungo e con una bassa reattività chimica, pertanto le concentrazioni maggiori si riscontrano in prossimità delle sorgenti principali e le aree più a rischio sono quelle caratterizzate da ristagno di aria e scarsa diluizione (ad esempio, nel caso di strade strette circondate da edifici alti e contigui con "effetto canyon"). La tossicità del CO è dovuta alla sua capacità di legarsi con l'emoglobina del sangue in concorrenza con l'ossigeno, interferendo sul trasporto di ossigeno ai tessuti. Il legame tra CO ed emoglobina è 200 volte più intenso di quello tra l'emoglobina e ossigeno: dunque la presenza di elevate concentrazioni di CO nell'aria inibisce il naturale processo di ossigenazione del sangue. Si verificano conseguenze dannose sul sistema nervoso e cardiovascolare, in particolare nelle persone affette da cardiopatie e nei fumatori. Concentrazioni molto elevate di CO possono condurre alla morte per asfissia, ma alle concentrazioni abitualmente rilevabili nell'atmosfera urbana gli effetti sulla salute sono reversibili e sicuramente meno acuti: infatti se l'esposizione al CO viene interrotta, la sua combinazione con l'emoglobina viene spontaneamente rilasciata in poche ore.

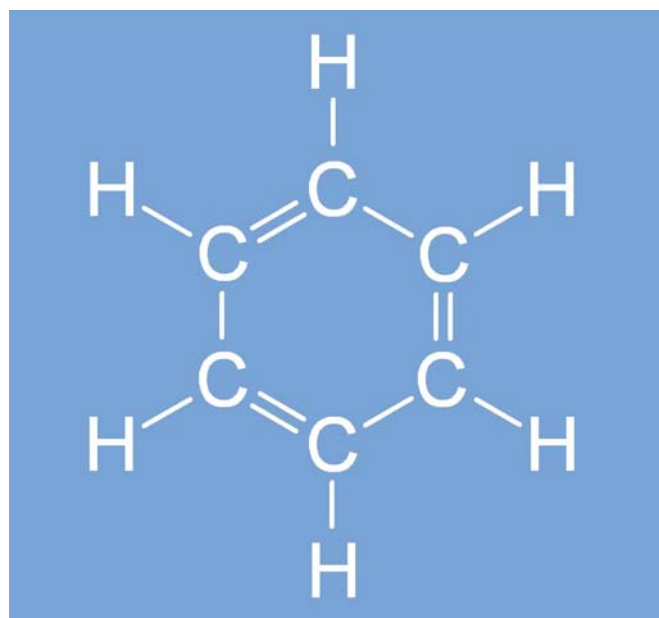
Composti Organici Volatili (COV) e Benzene (C₆H₆)

Per Composti Organici Volatili (COV) si intende una serie di sostanze in miscele complesse che evaporano facilmente a

temperatura ambiente. Il termine “organico” indica che i composti contengono carbonio.

I Composti Organici Volatili sono oltre 300 e i più noti sono gli idrocarburi alifatici (*dal n-esano, al n-esadecano e i metilani*), i terpeni, gli idrocarburi aromatici (*benzene e derivati, toluene, o-xilene, stirene*), gli idrocarburi clorinati (*cloroformio, diclorometano, clorobenzene*), gli alcoli (*etanolo, propanolo, butanolo e derivati*), gli esteri, i chetoni, e le aldeidi (*formaldeide*).

Il benzene (C_6H_6) è il più semplice degli idrocarburi aromatici. È un liquido incolore, molto volatile, poco stabile in acqua e presenta un caratteristico odore aromatico pungente, che diventa irritante a concentrazioni elevate. A temperatura ambiente è volatile, scarsamente solubile in acqua e miscibile invece con composti organici come alcool, cloroformio e tetracloruro di carbonio.



Per le sue caratteristiche lipofile, nel corpo umano il benzene si concentra soprattutto nei tessuti più grassi ed è assunto principalmente per inalazione diretta, favorita dalla sua alta volatilità. L'esposizione cronica al benzene

provoca danni ematologici (*anemie, ecc.*) e genetici (*alterazioni geniche e cromosomiche*).

Ozono (O_3)

L'ozono è un gas di odore pungente, altamente reattivo, dotato di un elevato potere ossidante e, ad elevate concentrazioni, di colore blu/azzurro.

In natura è presente negli strati alti dell'atmosfera terrestre (*nella stratosfera, ad un'altezza compresa fra i 30 e i 50 km dal suolo*) e ricopre l'importante funzione di proteggere la superficie terrestre dalle radiazioni ultraviolette emesse dal sole, che se non intercettate risulterebbero dannose per gli esseri viventi.

Negli strati bassi dell'atmosfera (*nella troposfera, al di sotto dei 10-15 km di altezza dal suolo*), l'ozono è presente naturalmente in basse concentrazioni per effetto del naturale scambio con la stratosfera. Tale concentrazione può però aumentare in alcune aree a causa del cosiddetto “smog fotochimico”, causato da un ciclo di reazioni di inquinanti primari precursori, come ossidi di azoto, idrocarburi e composti organici volatili, che si origina soprattutto nei mesi estivi in concomitanza di intenso irraggiamento solare ed elevate temperature. Per questo motivo l'ozono viene indicato come un inquinante secondario.

La capacità dell' O_3 di spostarsi con le masse d'aria anche a diversi chilometri dalla fonte comporta la presenza di concentrazioni elevate fino a grandi distanze dalle sorgenti (*decine o centinaia di km*), determinando il rischio di esposizioni significative in gruppi di popolazione relativamente distanti dalle fonti principali di inquinanti precursori. È importante sottolineare che, in prossimità di sorgenti emissive di monossido di azoto (NO), l'ozono viene significativamente consumato dalla

reazione $\text{NO} + \text{O}_3 = \text{NO}_2 + \text{O}_2$. Di conseguenza i valori più elevati di questo inquinante si raggiungono normalmente nelle zone meno interessate dalle attività umane. Negli ambienti interni la concentrazione di O_3 è notevolmente inferiore, poiché la sua grande reattività ne consente la rapida distruzione. Per questo motivo in situazioni di allarme è consigliabile che le persone a maggior rischio rimangano in casa.

A causa del suo alto potere ossidante, elevati livelli di O_3 danneggiano la salute umana e quella degli animali, hanno effetti nocivi sulla vegetazione (*riduzione dell'attività di fotosintesi, formazione delle piogge acide, necrosi fogliare*), deteriorano i materiali e riducono la visibilità. Per quanto riguarda gli effetti sulla salute dell'uomo, non sono ancora ben note le conseguenze croniche derivanti da una lunga esposizione a basse concentrazioni di ozono. Gli effetti acuti più evidenti sono invece severe irritazioni della mucosa degli occhi, infiammazioni ed alterazioni a carico dell'apparato respiratorio ed un senso di pressione sul torace. Concentrazioni particolarmente elevate possono portare anche ad alterazioni delle funzioni respiratorie, ad un aumento della frequenza degli attacchi asmatici, all'insorgere di malattie dell'apparato respiratorio ed al peggioramento di patologie, già in atto, di tipo respiratorio e cardiaco. Le più recenti indagini mostrano che lo smog estivo ed il forte inquinamento atmosferico possono portare anche ad una maggiore predisposizione ad allergie delle vie respiratorie. I soggetti più sensibili al fenomeno sono i bambini, gli anziani, le donne in gravidanza, chi svolge attività fisica o lavorativa all'aperto. I soggetti a rischio sono le persone asmatiche, con patologie polmonari o cardiache.

Metalli (Pb, As, Cd, Ni)

Nel particolato atmosferico sono presenti metalli di varia natura, tra i quali i principali sono piombo (**Pb**), arsenico (**As**), cadmio (**Cd**), nichel (**Ni**), zinco (**Zn**), rame (**Cu**) e ferro (**Fe**). Essi provengono da una molteplice varietà di fonti, da processi industriali, processi di combustione, emissioni autoveicolari, erosione dei suoli, ecc.

I metalli monitorati a maggiore rilevanza sotto il profilo tossicologico sono il nichel, il cadmio ed il piombo. In particolare, i composti del nichel e del cadmio sono classificati come cancerogeni per l'uomo.

Benzo(a)Pirene (B(a)P)

Gli Idrocarburi Policiclici Aromatici (**IPA**) sono composti organici con due o più anelli aromatici fusi, formati interamente da carbonio e idrogeno. In generale si tratta di sostanze solide a temperatura ambiente, scarsamente solubili in acqua, degradabili in presenza di radiazione ultravioletta ed altamente affini ai grassi presenti nei tessuti viventi. Il composto più studiato e rilevato è il benzo(a)pirene, caratterizzato da una struttura con cinque anelli aromatici condensati.

L'assorbimento degli IPA può avvenire per inalazione di polveri, aerosol o vapori, essendo presenti come sostanze adsorbite sul particolato, per ingestione di alimenti contaminati o attraverso la cute.

Per quanto riguarda le conseguenze sulla salute, mentre non sono stati rilevati casi di effetti tossicologici acuti, un numero considerevole di IPA presentano attività cancerogena, accertata sia tramite esperimenti di laboratorio che indagini epidemiologiche.

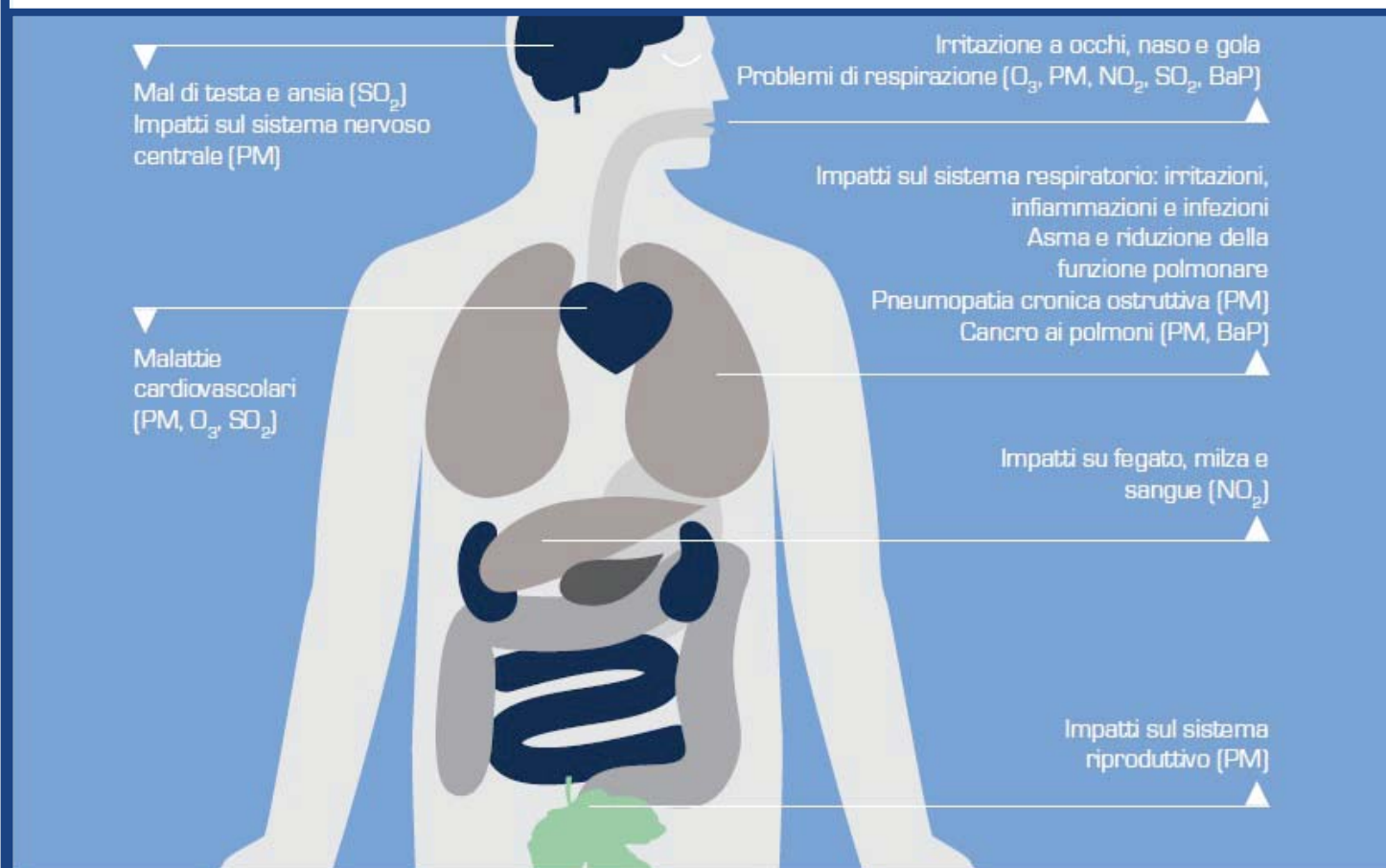


Figura 6 - Impatti sulla salute dei principali inquinanti
[fonte: Segnali ambientali 2013 - L'aria che respiriamo, EEA]



