



UNIVERSITÀ POLITECNICA DELLE MARCHE

DIPARTIMENTO SCIENZE DELLA VITA E DELL'AMBIENTE

Corso di Laurea Magistrale in Rischio Ambientale e
Protezione Civile

**PARTICOLATO AEREODISPERSO IN AREE PORTUALI:
INDAGINI E INTERVENTI A CONFRONTO NEL
PANORAMA DI TRE PORTI ITALIANI**

**AIRBORNE PARTICULATE MATTER IN HARBOUR
AREAS: INVESTIGATIONS AND INTERVENTIONS
COMPARISON IN THREE ITALIAN PORTS**

Tesi di Laurea Magistrale di
Celeste Napolitano

Celeste Napolitano

Relatrice
Prof.ssa Maria Letizia Ruello

Maria Letizia Ruello

Sessione ESTIVA

Anno Accademico 2022/2023

Indice

RIASSUNTO	- 1 -
1. INTRODUZIONE	- 2 -
1.1 <i>Monitoraggio Ambientale</i>	- 2 -
1.1.1 <i>Procedure e obiettivo di un monitoraggio:</i>	- 2 -
1.1.2. <i>Le tecniche di monitoraggio ambientale:</i>	- 4 -
1.2 <i>Normativa di riferimento</i>	- 10 -
1.3 <i>L'aria e la sua composizione:</i>	- 15 -
1.3.1 <i>Cosa si monitora nell'aria?</i>	- 16 -
2. IL PARTICOLATO ATMOSFERICO	- 20 -
2.1 <i>Definizione particolato</i>	- 20 -
2.2 <i>Inquinamento atmosferico e salute</i>	- 23 -
3. CASI STUDIO	- 30 -
3.1 <i>Progetti sull'inquinamento atmosferico: EpiAir</i>	- 30 -
3.2 <i>Regione Marche</i>	- 42 -
3.2.1 <i>PIA: progetto inquinamento atmosferico – Comune di Ancona</i>	- 42 -
3.2.2 <i>PIA: il verde urbano e il suo ruolo di inquinante</i>	- 48 -
3.2.3 <i>Report di valutazione dell'aria: città portuale di Ancona</i>	- 54 -
3.3 <i>REGIONE TOSCANA</i>	- 62 -
3.3.1 <i>Progetti su inquinamento atmosferico: PATOS</i>	- 64 -
3.3.2 <i>Piano di monitoraggio ambientale: Comune Livorno - Pisa</i>	- 67 -
3.4 <i>REGIONE LAZIO</i>	- 77 -
3.4.1 <i>Piano di Risanamento della Qualità dell'aria (PRQA): Porto di Civitavecchia</i>	- 78 -
3.4.2 <i>Progetto LIFE</i>	- 91 -
4. DISCUSSIONE DEI RISULTATI	- 96 -
4.1 <i>Confronto limiti normativi e OMS</i>	- 96 -
5. EFFETTI SANITARI E POSSIBILI SOLUZIONI	- 107 -
5.1 <i>Effetti sanitari</i>	- 107 -
5.2 <i>Interventi da attuare</i>	- 110 -
Bibliografia	- 120 -

RIASSUNTO

In questo lavoro di tesi poniamo la nostra attenzione sulla correlazione tra l'aumento degli inquinanti, soprattutto del Particolato Atmosferico (PM), provocato dal traffico veicolare, che ha portato nel corso degli anni, all'aumento di casi di malattie e tumori a livello della trachea, bronchi e polmoni, malattie cardiorespiratorie e infezioni respiratorie.

A livello nazionale, citiamo due, degli studi a cui hanno preso parte le regioni italiane, il MISA I e II, condotti in due periodi differenti che illustrano gli effetti a breve termine degli inquinanti atmosferici; e del progetto EpiAir, diviso anch'esso in due fasi, in cui si pongono le basi per svolgere una sorveglianza dell'impatto sanitario dell'inquinamento atmosferico.

Nel presente lavoro, sono state scelte tre regioni e le rispettive aree portuali e per ognuna, è stato valutato il loro piano di qualità dell'aria nell'anno 2021 e i progetti a cui aderiscono a livello regionale per contrastare l'inquinamento atmosferico e le misure da adottare.

Le regioni in questione sono: le Marche, con l'area portuale di Ancona; la Toscana prendendo in riferimento il tratto del porto Livorno – Pisa, ed infine il Lazio, considerando principalmente l'area litoranea di Civitavecchia, in quanto ricca di attività che contribuiscono all'emissioni.

I dati riscontrati dai vari piani di monitoraggio nel rispetto dei valori normativi del D.lgs.155/2010: "Attuazione della direttiva 2008/50/CE relativa alla qualità dell'aria ambiente e per un'aria più pulita in Europa", vengono messi a confronto con i valori guida dettati dall'Organizzazione Mondiale della Sanità (OMS) nell'aggiornamento del 2021.

Ed infine, elenchiamo i possibili interventi che ogni regione può attuare e come alcune città metropolitane europee e non, abbiano messo in atto delle soluzioni a livello di urbanismo tattico che contribuiscono alla riduzione dell'inquinamento, rendendo le loro città a passo d'uomo.

1. INTRODUZIONE

1.1 Monitoraggio Ambientale

1.1.1 Procedure e obiettivo di un monitoraggio:

Il monitoraggio è un complesso processo che mette insieme le procedure di osservazione, misurazione e raccolta di dati bio-fisici che caratterizzano un determinato ambiente; il tutto viene protratto per un periodo di tempo sufficiente a creare una quantità di dati statisticamente importante.

Questo lavoro permette di rilevare dei cambiamenti in quel determinato ambiente, e cioè andare a verificare l'effettivo impatto e garantire la corretta gestione di eventuali problematiche in relazione all'ambiente che possono manifestarsi durante le varie fasi di realizzazione dell'opera.

Dal punto di vista operativo, andiamo a valutare il cambiamento dei parametri nel tempo, basando la scelta su un indicatore deve tenere conto dello specifico obiettivo prefissatosi nell'indagine. La scelta segue un primo criterio di ammissibilità in funzione dello scopo da perseguire, subordinato, secondo Malczewsky (1999) ai principi di comprensibilità e misurabilità.

L'obiettivo fornisce direttive ben precise sia sul monitoraggio dei dati, sia sul tipo e numero di variabili necessarie all'elaborazione dell'indicatore. Una scelta sbagliata può influenzare l'aderenza dei risultati alla realtà, portando ad una valutazione relativa più che assoluta (Stöckle et al., 1994).

Occorre stabilire dunque il giusto tipo e numero di indicatori necessari per raggiungere i traguardi prefissati. Qualora si perseguisse come scopo la descrizione o l'evoluzione del sistema nel tempo si prediligeranno indicatori di stato; per l'analisi del comportamento del sistema si sceglieranno indicatori

diagnostici; indicatori di compatibilità ambientale, nel caso si voglia confermare il raggiungimento di standard prefissati.

La definizione di monitoraggio ambientale viene data dalla European Environment Agency (EEA) come “la misurazione, valutazione e determinazione di parametri ambientali e/o di livelli di inquinamento, periodiche e/o continue allo scopo di prevenire effetti negativi e dannosi verso l’ambiente”.

Come previsto dalla normativa vigente, il monitoraggio ambientale assicura il controllo sugli impatti ambientali significativi sull’ambiente provocati da opere in costruzione e la compatibilità dell’opera stessa con l’ambiente circostante. In questo modo è possibile individuare in maniera rapida e tempestiva eventuali impatti negativi o non previsti e, di conseguenza, prendere le giuste misure correttive.

Infatti, in caso di criticità ambientale rilevate durante il monitoraggio e di cui si attesta la correlazione con le attività di costruzione, è opportuno mettere in atto soluzioni atte a minimizzare il più possibile gli impatti. Il lavoro è svolto dal tecnico di monitoraggio ambientale che, tramite sofisticate apparecchiature (centraline) e sensori, analizza periodicamente i dati in modo da manifestare immediatamente eventuali guasti o anomalie nei lavori.

In alcuni casi, vengono utilizzati i cosiddetti *indicatori biologici*: si tratta di una specie animale, pianta o dalla condizione vantaggiosa di simbiosi tra il fungo e alga ed è caratterizzata dall’essere particolarmente sensibile ai cambiamenti, arrecati all’ecosistema in cui vive, da fattori inquinanti. Un indicatore biologico può riscontrare il livello di inquinamento di una determinata area grazie alla capacità di accumulare sostanze inquinanti - successivamente rilevate in laboratorio - come, ad esempio, i licheni impiegati nella rilevazione della qualità dell’aria perché accumulatori di metalli pesanti.

1.1.2. Le tecniche di monitoraggio ambientale:

I Piani di Monitoraggio Ambientale (PMA) sono piani volti a verificare il rispetto delle condizioni e dei requisiti prescritti dalle autorità ambientali del luogo. Grazie ad un corretto monitoraggio ambientale è possibile misurare in maniera sperimentale l'impatto ambientale di un progetto, generalmente un impianto industriale o una grande opera pubblica.

Un piano di monitoraggio ambientale può variare notevolmente a seconda delle caratteristiche specifiche del progetto che deve essere realizzato. È possibile però delineare alcune macroaree di analisi:

- Monitoraggio della componente atmosferica: questo elemento riguarda il monitoraggio delle emissioni atmosferiche di sostanze inquinanti che si caratterizza per tre principali metodi di controllo ovvero il monitoraggio delle emissioni al camino da parte del gestore dell'impianto, da parte dell'Autorità di Controllo e il monitoraggio della qualità dell'aria nella zona limitrofa all'impianto.
- Monitoraggio della componente biologica: grazie a tecniche di monitoraggio avanzate è possibile studiare le cause di una eventuale contaminazione del suolo e della vegetazione, spesso riconducibili a inquinanti aero dispersi emessi da industrie, impianti di riscaldamento e traffico. Parte degli agenti inquinanti viene trasportata dal vento, ma le particelle più grandi scendono velocemente sulla superficie terrestre per effetto "fall-out" ovvero per la forza di gravità.

L'obiettivo del bio-monitoraggio è quindi di avere una precisa valutazione di un'eventuale ricaduta di elementi e metalli pesanti sul suolo.

- Monitoraggio dell'ambiente idrico: il progetto di monitoraggio ambientale idrico superficiale ha l'obiettivo di individuare possibili variazioni che l'opera in costruzione potrebbe apportare alle acque superficiali presenti nel territorio interessato. In particolare, gli impatti possibili riguardano la modifica del regime idrologico, dei parametri chimico-fisico-batterologici dell'acqua e il consumo delle risorse idriche. (sito: <https://www.uptown-milano.it/monitoraggio-ambientale-cose-e-come-avviene/>)

D.Lgs.152/2006 (T.U. in materia ambientale) e ss.mm.ii. descrive le finalità del monitoraggio ambientale:

-controllo degli impatti ambientali significativi provocati dalle opere approvate
-corrispondenza alle prescrizioni espresse sulla compatibilità ambientale dell'opera

-individuazione tempestiva degli impatti negativi imprevisti per consentire all'autorità competente di adottare le opportune misure correttive che, nel caso di impatti negativi ulteriori e diversi, ovvero di entità

significativamente superiore rispetto a quelli previsti e valutati nel provvedimento di valutazione dell'impatto ambientale, possono comportare, a titolo cautelativo, la modifica del provvedimento rilasciato o la sospensione dei lavori o delle attività autorizzate

-informazione al pubblico sulle modalità di svolgimento del monitoraggio, sui risultati e sulle eventuali

misure correttive adottate, attraverso i siti web dell'autorità competente e delle agenzie interessate.

Il PMA deve pertanto occuparsi degli impatti ambientali significativi, così come documentati dagli studi

ambientali, e non dovrebbe all'opposto occuparsi di componenti ambientali e indicatori per i quali gli studi hanno escluso la presenza di impatti significativi.

Il PMA deve inoltre attentamente considerare le prescrizioni degli Enti e permettere l'individuazione tempestiva degli impatti negativi. In ultimo i risultati del monitoraggio devono essere comunicati al pubblico.

Dal piano di monitoraggio che si sceglie per effettuare le analisi, viene creata una rete di monitoraggio.

Una rete di monitoraggio ambientale è un sistema di rilevamento e raccolta dati che viene utilizzato per monitorare l'ambiente, come l'aria, l'acqua, il suolo e altri elementi naturali. L'obiettivo principale di una rete di monitoraggio ambientale è quello di valutare la qualità dell'ambiente e raccogliere informazioni dettagliate per valutare l'impatto delle attività umane sull'ecosistema.

La rete di monitoraggio ambientale è composta da una serie di stazioni di monitoraggio strategicamente posizionate. Ogni stazione di monitoraggio è attrezzata con sensori e strumenti specializzati che misurano diversi parametri ambientali come la qualità dell'aria, la temperatura, l'umidità, la pressione atmosferica, la concentrazione di inquinanti, la qualità dell'acqua, la presenza di sostanze chimiche e altri fattori rilevanti.

Questi sensori raccolgono dati in tempo reale e li trasmettono a un centro di controllo centrale tramite una connessione di rete. Nel centro di controllo, i dati vengono elaborati, analizzati e archiviati per ulteriori valutazioni e ricerche

scientifiche. Spesso, i dati raccolti dalla rete di monitoraggio ambientale sono resi disponibili al pubblico e agli enti preposti per scopi di valutazione, pianificazione e adozione di decisioni basate su evidenze.

La rete di monitoraggio ambientale svolge diversi ruoli importanti. In primo luogo, aiuta a identificare e valutare le fonti di inquinamento e le condizioni ambientali che potrebbero essere dannose per la salute umana o l'ecosistema. Inoltre, fornisce informazioni cruciali per lo sviluppo di politiche di protezione ambientale, il monitoraggio delle tendenze a lungo termine e la valutazione dell'efficacia delle misure di mitigazione.

In sintesi, una rete di monitoraggio ambientale è un sistema di rilevamento e raccolta dati che svolge un ruolo fondamentale nella valutazione e protezione dell'ambiente. Attraverso l'uso di sensori e strumenti specializzati, fornisce dati accurati sulla qualità dell'aria, dell'acqua e del suolo, contribuendo così a una migliore comprensione e gestione dell'ecosistema.

Ci si basa sulla normativa europea, nazionale e regionale considerando gli indicatori di riferimento e, nel caso, aggiungere quelli non dichiarati dalla normativa, cioè l'acido solfidrico H₂S, ammoniaca NH₃, idrocarburi totali non metanici (NMHC) e particolato PM₁; e in mancanza di riferimenti normativi, a livello nazionale ed internazionale (elencati in fig. 1), si fa riferimento ai valori guida indicati dalla OMS-WHO.

INQUINANTE	NOME LIMITE	INDICATORE STATISTICO	VALORE
SO₂ Biossido di Zolfo	Livello critico per la protezione e della vegetazione	Media annuale e Media invernale	20 µg/m ³
	Soglia di allarme	superamento per 3h consecutive del valore soglia	500 µg/m ³
	Limite orario per la protezione della salute umana	Media 1 h	350 µg/m ³ da non superare più di 24 volte per anno civile
	Limite di 24 ore per la protezione della salute umana	Media 24 h	125 µg/m ³ da non superare più di 3 volte per anno civile
NO_x Ossido di Azoto	Livello critico per la protezione della vegetazione	Media annuale	30 µg/m ³
NO₂ Biossido di Azoto	Soglia di allarme	superamento per 3h consecutive del valore soglia	400 µg/m ³
	Limite orario per la protezione della salute umana	Media 1 h	200 µg/m ³ da non superare più di 18 volte per annocivile
	Limite annuale per la protezione della salute umana	Media annuale	40 µg/m ³
PM10 Polveri	Limite di 24 ore per la protezione della salute umana	Media 24 h	50 µg/m ³ da non superare più di 35 volte per annocivile
	Limite annuale per la protezione della salute umana	Media annuale	40 µg/m ³
PM2.5 Polveri	Valore limite per la protezione della salute umana	Media annuale	25 µg/m ³
CO Monossido di Carbonio	Limite per la protezione della salute umana	Max giornaliero della Media mobile 8h	10 mg/m ³
C₆H₆ Benzene	Limite annuale per la protezione della salute umana	Media annuale	5.0 µg/m ³
O₃ Ozono	Soglia di informazione	superamento del valore orario	180 µg/m ³
	Soglia di allarme	superamento del valore orario	240 µg/m ³
	Obiettivo a lungo termine per la protezione della salute umana	Max giornaliero della Media mobile 8h	120 µg/m ³
	Valore obiettivo per la protezione della salute umana	Max giornaliero della Media mobile 8h	120 µg/m ³ da non superare per più di 25 giorni all'anno come media su 3 anni
	Valore obiettivo per la protezione della vegetazione	AOT40, calcolato sulla base dei valori orari da maggio a luglio	18000 µg/m ³ *h da calcolare come media su 5 anni
Obiettivo a lungo termine per la protezione della vegetazione	AOT40, calcolato sulla base dei valori orari da maggio a luglio	6000 µg/m ³ *h	
BaP Benzo(a)pirene	Valore obiettivo	Media annuale	1 ng/m ³
Pb Piombo	Limite annuale per la protezione della salute umana	Media annuale	0,5 µg/m ³
Ni Nichel	Valore obiettivo	Media Annuale	20 ng/m ³
As Arsenico	Valore obiettivo	Media Annuale	6 ng/m ³
Cd Cadmio	Valore obiettivo	Media Annuale	5 ng/m ³

Figura1: Valori limite per la protezione della salute umana e della vegetazione, D.Lgs 155/2010 e ss.mm.ii.

Inoltre, come viene spiegata nel D.lgs. 155/2010, si fa una zonizzazione che prevede la divisione della regione in zone e agglomerati da classificare in modo da svolgere la valutazione della qualità dell'aria.

E in queste zone si posizionano le centraline fisse o mobili da cui verranno ricavati i dati; queste centraline saranno diverse in base alle stazioni che possono essere: traffico, urbano, fondo, industriale, suburbano e rurale.

Le stazioni di monitoraggio sono classificate in base al:

- tipo di zona ove è ubicata (urbana, periferica, rurale)
- tipo di stazione in considerazione dell'emissione dominante (traffico, fondo, industria)

Tipo di zona

- sito fisso di campionamento urbano: sito fisso inserito in aree edificate in continuo o almeno in modo predominante
- sito fisso di campionamento suburbano (o PERIFERICO): sito fisso inserito in aree largamente edificate in cui sono presenti sia zone edificate, sia zone non urbanizzate
- sito fisso di campionamento rurale: sito fisso inserito in tutte le aree diverse da quelle individuate per i siti di tipo urbano e suburbano. In particolare, il sito fisso si definisce rurale remoto se è localizzato ad una distanza maggiore di 50 km dalle fonti di emissione

Tipo di stazione

- stazioni di misurazione di traffico: stazioni ubicate in posizione tale che il livello di inquinamento sia influenzato prevalentemente da emissioni da traffico, provenienti da strade limitrofe con intensità di traffico medio alta
- stazioni di misurazione di fondo: stazioni ubicate in posizione tale che il livello di inquinamento non sia influenzato prevalentemente da emissioni da specifiche fonti (industrie, traffico, riscaldamento residenziale, ecc.) ma dal contributo integrato di tutte le fonti poste sopravento alla stazione rispetto alle direzioni predominanti dei venti nel sito
- stazioni di misurazione industriale: stazioni ubicate in posizione tale che il livello di inquinamento sia influenzato prevalentemente da singole fonti industriali o da zone industriali limitrofe.

1.2 Normativa di riferimento

La normativa a cui si fa riferimento e che deve essere rispettata nelle procedure di monitoraggio ambientale, è principalmente quella di carattere europeo e nazionale.

A livello europeo adottiamo la direttiva 2008/50/CE che si basa sulla qualità dell'aria ambiente per un'aria più pulita in Europa, modificata con la Direttiva (UE) 2015/1480 della Commissione, del 28 agosto 2015, che modifica vari allegati delle direttiva del 2008 e quella 2004/107/CE del Parlamento europeo e del Consiglio recanti le disposizioni relative ai metodi di riferimento, alla convalida dei dati e all'ubicazione dei punti di campionamento per la valutazione della qualità dell'aria ambiente.

A livello nazionale, si tiene conto del D.lgs. 155/2010, composto da vari articoli, tra cui l'Art. 1, come accennato nel paragrafo precedente, viene esplicitato il concetto di zonizzazione e cioè: “La zonizzazione dell'intero territorio nazionale è il presupposto su cui si organizza l'attività di valutazione della qualità dell'aria ambiente.

A seguito della zonizzazione del territorio, ciascuna zona o agglomerato è classificata allo scopo di individuare le modalità di valutazione mediante misurazioni e mediante altre tecniche in conformità alle disposizioni del presente decreto”. I criteri da seguire per la suddivisione del territorio in zone e agglomerati, sono indicati nell'Appendice I: “Criteri per la zonizzazione del territorio” del D.lgs. 155/2010.

La zonizzazione va riesaminata se variano i presupposti su cui si è basata. La zonizzazione del territorio, secondo il D.lgs. 155/2010 (Art. 1 comma d) richiede in primo luogo l'individuazione degli agglomerati e successivamente quella delle altre zone:

- gli agglomerati sono individuati sulla base dell'assetto urbanistico, della popolazione residente e della densità abitativa;
- le altre zone sono individuate, principalmente, sulla base di aspetti come il carico emissivo, le caratteristiche orografiche, le caratteristiche meteo-climatiche e il grado di urbanizzazione del territorio, al fine di individuare le aree in cui uno o più di tali aspetti sono predominanti nel determinare i livelli degli inquinanti e di accorpate tali aree in zone contraddistinte dall'omogeneità degli aspetti predominanti.

Inoltre per gli inquinanti con prevalente o totale natura "secondaria" (ovvero che si formano in toto o in parte in atmosfera a partire da altri inquinanti o sostanze attraverso reazioni chimiche, anche catalizzate dalla radiazione solare), come il PM₁₀, il PM_{2,5}, gli ossidi di azoto (NO_x) e l'ozono (O₃) "il processo di zonizzazione presuppone l'analisi delle caratteristiche orografiche e meteo-climatiche, del carico emissivo e del grado di urbanizzazione del territorio, al fine di individuare le aree in cui una o più di tali caratteristiche sono predominanti nel determinare i livelli degli inquinanti" (Appendice I, comma 4).

Per gli inquinanti "primari" come il piombo, il monossido di carbonio, gli ossidi di zolfo, il benzene, il benzo(a)pirene e i metalli (Appendice I, comma 6) "la zonizzazione deve essere effettuata in funzione del carico emissivo".

"Le zonizzazioni effettuate in relazione ai diversi inquinanti devono essere tra loro integrate in modo tale che, laddove siano state identificate per un inquinante zone più ampie e per uno o altri inquinanti zone più ridotte, è opportuno che le zone più ampie coincidano con l'accorpamento di quelle più ridotte (Appendice I, comma 9). Per maggiori dettagli si rimanda al D.lgs. 155/2010 (Appendice I).

L'attività di "Ricognizione dei progetti di zonizzazione, classificazione e disegno delle reti regionali" ha perseguito due obiettivi principali:

- fornire un quadro aggiornato su scala nazionale sullo stato di revisione dei Progetti di Zonizzazione e relativa classificazione delle zone e degli agglomerati;
- indagare i criteri (fra quelli stabiliti dall'Appendice I del D.lgs. 155/2010) che hanno avuto maggior peso nell'individuazione delle singole zone, al fine di verificare a livello nazionale l'omogeneità della suddivisione del territorio ai fini della qualità dell'aria e valutare quali sono stati i criteri prevalentemente applicati. (Delibera SNPA,2021)

La normativa di riferimento per il monitoraggio della qualità dell'aria, come abbiamo detto precedentemente, è il D. Lgs. 155/2010 "Attuazione della direttiva 2008/50/CE relativa alla qualità dell'aria ambiente e per un'aria più pulita in Europa" e sostituisce le disposizioni di attuazione della direttiva 2004/107/CE.

Le finalità del decreto sono descritte ed elencate nell'art.1 in cui vengono definiti:

- gli obiettivi di qualità dell'aria ambiente;
- metodi e criteri comuni su tutto il territorio nazionale;
- ottenere le informazioni sulla qualità dell'aria ambiente per individuare le misure da adottare per contrastare l'inquinamento e gli effetti nocivi sulla salute umana;
- mantenere la qualità dell'aria ambiente, laddove buona, e migliorarla negli altri casi;
- garantire al pubblico le informazioni sulla qualità dell'aria ambiente;
- realizzare una migliore cooperazione tra gli Stati dell'Unione europea in materia di inquinamento atmosferico.

Per le finalità del decreto nell'Art.2 sono stati definiti vari concetti, tra cui:

a) aria ambiente: l'aria esterna presente nella troposfera, ad esclusione di quella presente nei luoghi di lavoro;

b) inquinante: qualsiasi sostanza presente nell'aria ambiente che può avere effetti dannosi sulla salute umana o sull'ambiente nel suo complesso;

c) livello: concentrazione nell'aria ambiente di un inquinante o deposizione di questo su una superficie in un dato periodo di tempo;

d) valutazione: utilizzo dei metodi stabiliti dal presente decreto per misurare, calcolare, stimare o prevedere i livelli degli inquinanti;

e) zona: parte del territorio nazionale delimitata, ai sensi del presente decreto, ai fini della valutazione e della gestione della qualità dell'aria ambiente; ripresa poi nell'art. 3 con la zonizzazione.

f) agglomerato: zona costituita da un'area urbana o da un insieme di aree urbane che distano tra loro non più di qualche chilometro oppure da un'area urbana principale e dall'insieme delle aree urbane minori che dipendono da quella principale sul piano demografico, dei servizi e dei flussi di persone e merci, avente:

1) una popolazione superiore a 250.000 abitanti oppure;

2) una popolazione inferiore a 250.000 abitanti e una densità di popolazione per km² superiore a 3.000 abitanti;

g) area di superamento: area, ricadente all'interno di una zona o di un agglomerato, nella quale è stato valutato il superamento di un valore limite o di un valore obiettivo; tale area è individuata sulla base della rappresentatività delle misurazioni in siti fissi o indicative o sulla base delle tecniche di modellizzazione;

h) valore limite: livello fissato in base alle conoscenze scientifiche, incluse quelle relative alle migliori tecnologie disponibili, al fine di evitare, prevenire

o ridurre gli effetti nocivi per la salute umana o per l'ambiente nel suo complesso, che deve essere raggiunto entro un termine prestabilito e che non deve essere successivamente superato;

i) livello critico: livello fissato in base alle conoscenze scientifiche, oltre il quale possono sussistere effetti negativi diretti su recettori quali gli alberi, le altre piante o gli ecosistemi naturali, esclusi gli esseri umani;

l) margine di tolleranza: percentuale del valore limite entro la quale è ammesso il superamento del valore limite alle condizioni stabilite dal presente decreto.

ii) PM₁₀: il materiale particolato che penetra attraverso un ingresso dimensionale selettivo conforme al metodo di riferimento per il campionamento e la misurazione del PM₁₀ (norma UNI EN 12341), con un'efficienza di penetrazione del 50 per cento per materiale particolato di un diametro aerodinamico di 10 µm;

ll) PM_{2,5}: il materiale particolato che penetra attraverso un ingresso dimensionale selettivo conforme al metodo di riferimento per il campionamento e la misurazione del PM_{2,5} (norma UNI EN 14907), con un'efficienza di penetrazione del 50 per cento per materiale particolato di un diametro aerodinamico di 2,5 µm.

Si deve poi effettuare una classificazione (art. 4) del territorio ai fini della valutazione della qualità dell'aria ambiente; il Decreto definisce i criteri per la valutazione della qualità dell'aria ambiente (art. 5).

Tali criteri comprendono sia le misurazioni in siti fissi, sia le tecniche di valutazione modellistica e/o di stima obiettiva; nello specifico i commi 2, 3 e 4 dello stesso articolo, definiscono le situazioni in cui devono essere utilizzate obbligatoriamente le misure, le misure in combinazione con i modelli o solo le tecniche modellistiche.

Il Decreto inoltre definisce le modalità per la redazione di Piani e misure per il raggiungimento dei valori limite e dei valori obiettivi (art. 9) e poi nell'art.11 viene spiegata la modalità e procedure di attuazione dei piani.

Il Decreto stabilisce inoltre tempi e modalità di informazione al pubblico (art. 18) e di trasmissione alle Autorità nazionali dei dati di qualità dell'aria (art. 19). (Gazzetta Ufficiale.,2010)

1.3 L'aria e la sua composizione:

L'aria è una miscela formata da gas, prevalentemente azoto e ossigeno, e particelle di varia natura e dimensioni, che costituisce l'atmosfera terrestre. L'azoto è presente per circa il 78% delle molecole totali e l'ossigeno circa per il 21%; la parte rimanente è formata da argon, anidride carbonica (0,03%) e da altri gas in percentuali molto contenute. Il 99% della massa dell'atmosfera terrestre è compresa nei primi 30 km, e questa massa ci protegge dalle radiazioni ultraviolette, dall'impatto delle particelle ad alta energia provenienti dallo spazio e da escursioni termiche che potrebbero rendere proibitive le condizioni ambientali della superficie. La maggior parte degli inquinanti emessi, che possono avere effetti dannosi sulla salute umana o sull'ambiente nel suo complesso vengono trovati nella parte inferiore dell'atmosfera, detto *troposfera*.

Quindi l'aria viene valutata per garantire la tutela della salute della popolazione e la protezione degli ecosistemi. I vari impatti sulla qualità dell'aria vengono valutati attraverso dei modelli stimati da variazioni di emissioni.

Con il monitoraggio, viene valutato l'andamento degli inquinanti più significativi e la distribuzione di essi, effettuando vari campionamenti con l'utilizzo di un recettore, come oggetto, che permette di risalire, dall'analisi

della contaminazione da esso subita, alla concentrazione di un inquinante nell'ambiente.

In alcuni casi i recettori sono organismi viventi, in altri può essere l'atmosfera e si vanno a raccogliere le deposizioni atmosferiche.

1.3.1 Cosa si monitora nell'aria?

Gli inquinanti possono essere presenti in fase di gas o vapore come costituenti superficiali o anche nella massa di particelle o goccioline (come aerosol), come aria liquida o particelle di ghiaccio.

Si effettua il monitoraggio di:

-inquinanti gassosi primari: emessi direttamente dalle sorgenti come CO, NO, SO₂ o HC;

-inquinanti gassosi secondari: derivanti da reazioni termiche o fotochimiche di inquinanti primari, come O₃, NO₂, acidi organici (H₂S);

-materiale particolato sospeso, come Pb e altri metalli. Il particolato è rappresentato da particelle solide o liquide che a causa della bassa densità rimangono in atmosfera e vengono suddivise in base al loro diametro aerodinamico equivalente. Tra questi abbiamo: TSP o PTS (polveri totali sospese), PM₁₀ PM_{2,5}, PM₁(frazione sub-microbica), PM_{0,1} (frazione ultrafine), FSP.

Questi inquinanti, che elencheremo di seguito, sono quelli principali che si prendono come riferimento in uno studio di monitoraggio.

-PM10

Insieme di sostanze solide e liquide con diametro inferiore a 10 micron.

Derivano da emissioni di autoveicoli, processi industriali, fenomeni naturali.

Parametro di valutazione:

- Media giornaliera

Valore limite: $50\mu\text{g}/\text{m}^3$

-PM2.5

Insieme di sostanze solide e liquide con diametro inferiore a 2.5 micron. Derivano da processi industriali, processi di combustione, emissioni di autoveicoli, fenomeni naturali.

Parametro di valutazione:

- Media annua

Valore limite: $25\mu\text{g}/\text{m}^3$

-O3 (Ozono)

Sostanza non emessa direttamente in atmosfera, si forma per reazione tra altri inquinanti, principalmente NO₂ e idrocarburi, in presenza di radiazione solare.

Parametro di valutazione:

- Massimo giornaliero

Valore limite: $180\mu\text{g}/\text{m}^3$

-NO2 (Biossido di azoto)

Gas tossico che si forma nelle combustioni ad alta temperatura. Sue principali sorgenti sono i motori a scoppio, gli impianti termici, le centrali termoelettriche.

Parametro di valutazione:

- Massimo giornaliero

Valore limite: $200\mu\text{g}/\text{m}^3$

Soglia di allarme: $400\mu\text{g}/\text{m}^3$

-CO (Monossido di carbonio)

Sostanza gassosa, si forma per combustione incompleta di materiale organico, ad esempio nei motori degli autoveicoli e nei processi industriali.

Parametro di valutazione:

- Max media mobile 8h giornaliera

Valore limite: 10mg/m³

-C6H6 (Benzene)

Liquido volatile e dall'odore dolciastro. Deriva dalla combustione incompleta del carbone e del petrolio, dai gas esausti dei veicoli a motore, dal fumo di tabacco.

Parametro di valutazione: - Media annua.

Valore limite: 5µg/m³

-SO2 (Biossido di zolfo)

Gas irritante, si forma soprattutto in seguito all'utilizzo di combustibili (carbone, petrolio, gasolio) contenenti impurezze di zolfo.

Parametro di valutazione: - Massimo giornaliero

Valore limite: 350µg/m³

Soglia di allarme: 500µg/m³

-H2S

Gas incolore dall'odore caratteristico di uova marce. L'H₂S di origine antropica si forma, tra l'altro, nei processi di depurazione delle acque reflue, produzione di carbon coke, raffinazione del petrolio.

Unità di misura: µg/m³

-Black Carbon

Inquinante costituito da polvere finissima di carbone costituita al 95-99% da carbonio e da molecole aromatiche. È emesso soprattutto durante la combustione incompleta del carbone.

Unità di misura: ng/m³

-IPA

Inquinanti organici costituiti da più anelli benzenici condensati, si formano per combustione incompleta di combustibili fossili ma anche di legno e rifiuti. (Uno di essi, il benzo(a)pirene, è classificato dalla IARC ha come cancerogeno per l'uomo).

Unità di misura: ng/m³

Tra questi, sopra elencati, prenderemo come riferimento nel nostro studio di tesi il PM10 e il PM2,5, in quanto nei vari studi epidemiologici e tossicologici, vengono riscontrati su di essi i vari effetti avversi che hanno sulla salute della specie umana. Essendo particelle molto piccole, queste hanno la capacità di penetrare nel sistema respiratorio e che vanno ad intaccare l'apparato respiratorio aumentando il numero di patologie come malattie cardiovascolari e riescono anche a raggiungere facilmente gli alveoli polmonari e trasferirsi eventualmente sul flusso sanguigno con conseguente intossicazione o accentuazione di altre malattie croniche in atto, quali l'asma, la bronchite e l'enfisema.

2. IL PARTICOLATO ATMOSFERICO

2.1 Definizione particolato

Con il termine Particulate Matter (PM) o Particolato atmosferico si indica l'insieme di particelle solide e liquide che possono rimanere sospese nell'atmosfera terrestre anche per lunghi periodi di tempo. Si tratta di particelle eterogenee le cui caratteristiche chimiche e fisiche sono soggette a continui cambiamenti. Le particelle hanno dimensioni comprese tra pochi nanometri (nm) e decine/centinaia di micrometri (μm). Queste particelle non hanno una forma ben definita, quindi per la loro caratterizzazione si fa riferimento al loro diametro aerodinamico equivalente (d_{ae}), il quale permette di uniformare e caratterizzare univocamente il comportamento aerodinamico delle particelle rapportando il diametro di queste con il diametro di una particella sferica avente densità unitaria (1 gr/cm^3) e un comportamento aerodinamico uguale (ad esempio stessa velocità di sedimentazione) a quello della particella considerata, nelle stesse condizioni di temperatura, pressione e umidità relativa.

In funzione del diametro aerodinamico equivalente, il particolato si classifica essenzialmente in tre grandi gruppi:

-Frazione coarse che comprende particelle con diametro aerodinamico equivalente compreso tra 10 e $2,5 \mu\text{m}$. Sono particelle prodotte da processi meccanici (macinazione, erosione, sospensione meccanica o da parte del vento).

Esse contengono elementi presenti nel suolo e nei sali marini, quali Silicio, Alluminio, Calcio, Ferro, Manganese, Sodio, Stronzio, e Potassio. Essendo relativamente grandi, queste particelle vengono liberate dall'atmosfera per

sedimentazione in tempi di poche ore o minuti e si ritrovano spesso vicino alle sorgenti di emissione in funzione della loro altezza.

-Frazione fine include particelle con diametro aerodinamico equivalente compreso tra 0,1 e 2,5 μm . La loro formazione avviene per coagulo delle particelle ultrafini (UF) e attraverso i processi di conversione gas-particella, conosciuti anche come nucleazione eterogenea, oppure per condensazione di gas su particelle preesistenti nell'intervallo di accumulazione. I maggiori costituenti di queste particelle nelle aree industrializzate sono i solfati, i nitrati, lo ione ammonio, il carbonio elementare ed il carbonio organico. Ad essi si aggiungono le particelle di origine biologica come spore fungine, muffe, pollini, batteri ecc.

-Frazione ultrafine comprende particelle con diametro aerodinamico equivalente compreso tra 0,01 e 0,1 μm . Generalmente queste particelle sono costituite dai prodotti della nucleazione omogenea di vapori sovra-saturi (SO_2 , NH_3 , NO_x e prodotti della combustione), (Marconi 2003).

Attualmente il particolato atmosferico viene collocato tra i principali fattori di rischio ambientale per la salute: l'esposizione ad inquinamento atmosferico è peculiare perché ne è soggetta tutta la popolazione ed è quindi praticamente inevitabile.

Il ruolo fisiopatologico del particolato atmosferico si esplica principalmente a livello dell'apparato respiratorio in quanto la capacità di penetrazione delle particelle e la loro deposizione dal naso agli alveoli, responsabile del loro effetto, dipende proprio dalla loro dimensione. [Pope et al., 2004]. Man mano che si procede dal naso o dalla bocca, come possiamo vedere in fig.2, attraverso il tratto tracheo-bronchiale sino agli alveoli, diminuisce il diametro delle particelle che penetrano e si depositano [Jansen et al., 2005]

L'inquinamento atmosferico non dà origine a una malattia specifica, ma può contribuire ad una vasta gamma di processi multi-causali. È utile distinguere due tipologie di effetti dovuti a differenti modalità di esposizione agli agenti inquinanti, sebbene concretamente questi tendano a sovrapporsi.

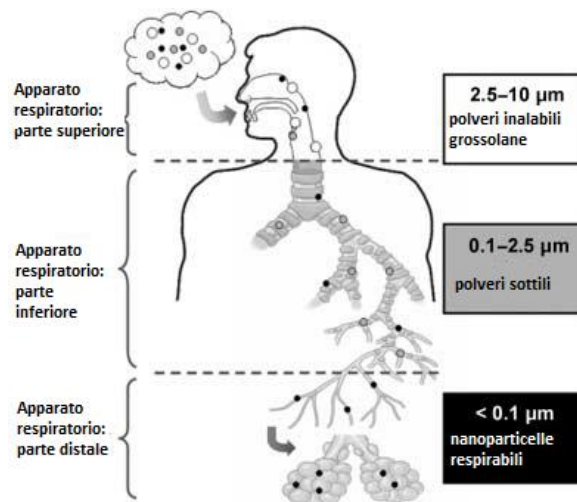


Figura 2: Polveri e apparato respiratorio.

Le principali fonti di particolato sono:

- sorgenti legate all'attività dell'uomo-> processi di combustione;
- sorgenti naturali-> erosione del suolo, incendi boschivi, eruzioni vulcaniche.

Nelle aree urbane, ad esempio, il traffico veicolare è una fonte importante di PM10 da dove monitorare, tanto che secondo l'ISPRA (Istituto superiore per la protezione e ricerca ambientale) oltre il 38% delle stazioni di rilevamento registra superamenti dei limiti di qualità dell'aria per il PM10, nel 2019 il trasporto su strada è la principale fonte di emissioni, con circa il 40,3 % del totale emesso a livello nazionale (Bernetti,2021).

Come metodo di monitoraggio normato per legge 155/2010, abbiamo quella per via gravimetrica e il procedimento consiste in: raccogliere la frazione di PM10 sul filtro e determinarne la massa che si deposita, andando a pesare prima e dopo il filtro e ottenendo così la massa del particolato per differenza.

Gli strumenti utilizzati sono: bilancia analitica (che serve a misurare il filtro), campionatore volumetrico a portata costante, ugello portafiltro, filtro in cellulosa (che deve essere condizionato) e tubi di raccordo.

I campionatori che vengono utilizzati nel monitoraggio possono essere:

-attivi: quando si aspira l'aria campione

-passivi: composti da fiale di plastica o cilindri in vetro con all'interno un composto che reagisce in modo da catturare l'inquinante che interessa (come es. RADIELLO)

Per avere un confronto immediato sulle dimensioni, in figura 3 sono rappresentati un granello di sabbia, un capello umano con le particelle di PM₁₀ e PM_{2.5}.



Figura 3: Dimensioni di una particella di PM₁₀ e PM_{2.5}.

2.2 Inquinamento atmosferico e salute

Da quanto si evince dai dati della Banca Mondiale, si è visto che l'esposizione a livelli di particelle aerodisperse superiori ai limiti indicati dalla World Health Organization (WHO) è responsabile di circa il 2-5% di tutte le morti nelle aree urbane dei paesi in via di sviluppo (nona causa di mortalità per malattie cardio-polmonari). Tale preoccupante impatto sanitario riguarda anche paesi più

sviluppati, come ad esempio Austria, Francia e Svizzera, per i quali è stato stimato che l'inquinamento ambientale da particelle aerodisperse, misurate in termini di PM10, è responsabile del 6% della mortalità totale, di cui circa la metà viene attribuito al traffico veicolare. Il recentissimo rapporto sullo stato della salute nel mondo stima che l'inquinamento da particelle aerodisperse è causa globalmente di circa il 5% della mortalità per tumori della trachea, bronco e polmone, del 2% della mortalità cardiorespiratoria e di circa l'1% della mortalità per infezioni respiratorie. (Marconi, 2003)

Oltre ad effetti cronici, quelli a lungo termine, si sono potuti osservare anche degli effetti acuti con una risposta anche nelle prime ore o in pochi giorni all'esposizione a questi picchi di inquinamento. Questo è avvenuto soprattutto nei grandi centri urbani di molti paesi industrializzati. Ancora adesso sono oggetto di studio quali sono i fattori di rischio, quali sono i gruppi più suscettibili (anche in base al sesso, età o ambito socioeconomico), i meccanismi di azione all'esposizione di questo materiale atmosferico che determina poi negli individui le diverse patologie.

Intorno agli anni '70 che vengono condotti i primi studi sul legame tra eventi acuti e inquinamento atmosferico. In particolare, vengono considerate la mortalità totale per cause "naturali" (escludendo quindi la mortalità per cause violente), la mortalità per cause respiratorie, la mortalità per cause cardiache e i ricoveri ospedalieri sia per cause respiratorie sia per cause cardiache.

Vengono misurati giornalmente i livelli degli inquinanti, tra cui il PM10, si va a stimare se nei giorni in cui l'inquinamento è aumentato, sia aumentato anche il numero degli eventi sfavorevoli di salute. Le tecniche statistiche impiegate sono però piuttosto complesse e cercano di tenere conto anche di altri fattori quali la temperatura, l'umidità, il giorno della settimana, le epidemie influenzali.

Per quanto riguarda gli effetti a breve termine si applica un approccio “at least”, nel senso che nel misurare l’effetto di ciascun inquinante (PM10, NO_x, CO) non si tiene conto dell’azione degli altri inquinanti.

È quindi probabile che se vi fosse un abbattimento delle sorgenti di tali inquinanti (ad es. del traffico), cosa che comporterebbe una diminuzione di molti inquinanti insieme, gli effetti del miglioramento di salute sarebbero probabilmente superiori a quelli stimati come associati ad un solo inquinante. I dati ricavati da numerose osservazioni fatte in varie città sia americane sia europee sono estremamente concordi. Ad ogni aumento degli inquinanti è associato un aumento di eventi negativi per la salute di tipo respiratorio e cardiaco. Anche in Italia sono stati condotti due studi: MISA-1 (Metanalisi italiana degli studi sugli effetti a breve termine dell’inquinamento atmosferico) condotti tra il 1990 e 1999 e MISA-2 negli anni 1996 e 2002, che hanno fornito dati confrontabili con le osservazioni condotte negli altri paesi. (Biggeri et al., 2001-2004)

Il MISA-1, condotto in 8 città italiane nel corso degli anni Novanta 94 ha prodotto per la prima volta nel nostro paese delle stime esaustive e standardizzate sugli effetti a breve termine dell’inquinamento atmosferico sulla salute. Gli inquinanti la cui concentrazione è stata posta nello studio in relazione alla mortalità e alla frequenza di ricoveri ospedalieri per malattie cardiovascolari e respiratorie sono stati:

- SO₂ (biossido di zolfo)
- NO₂ (biossido di azoto)
- CO (biossido di carbonio, il principale gas ad effetto “serra”)
- PM10 (polveri sottili o particolato atmosferico)
- Ozono.

Per la valutazione degli effetti sanitari, anche quelli a breve termine che sono quelli di cui ci stiamo ora occupando, non è tanto importante il numero dei superamenti di un valore prefissato, detto anche soglia, ma piuttosto la media annuale dell'inquinante.

Ma da vari studi, vi è un'importante componente del modello che stiamo costruendo, dove si evince che gli effetti sulla salute a breve termine non riguardano solo la parte più vulnerabile della popolazione, dalla nostra esperienza quotidiana, anche nelle giornate di peggiore inquinamento, è che al massimo siamo affetti da qualche lieve disturbo.

D'altra parte, gli studi sugli effetti a breve termine, come MISA-2 indicano chiaramente un aumento della mortalità negli stessi giorni. Siamo quindi portati a pensare che gli effetti a breve termine dell'inquinamento riguardino solo persone dallo stato di salute molto compromesso e non siano altro se non l'anticipazione di eventi (morte, ricoveri) che sarebbero comunque avvenuti a breve. Se questo può esserci suggerito dalla nostra esperienza quotidiana, esso costituisce solo una parte del fenomeno che stiamo considerando. Se così fosse, infatti, anche se l'inquinamento rimane elevato, una volta esaurito l'insieme degli individui suscettibili (cioè, in cattive condizioni di salute) la mortalità dovrebbe calare. Invece, gli studi 14 che hanno valutato la possibilità di questo fenomeno, chiamato "harvesting", cioè mietitura, termine che indica che l'effetto consiste nella anticipazione di eventi che sarebbero comunque avvenuti nel breve periodo, hanno trovato che non esiste alcun deficit di mortalità dopo l'aumento dovuto all'inquinamento.

L'inquinamento non agisce solo sui soggetti fortemente compromessi, la cui mortalità aumenta in relazione all'inquinamento, e su quelli che stanno solo un pochino meglio, che peggiorano le proprie condizioni e diventano i futuri candidati all'evento, ma su tutti i soggetti facenti parte della popolazione

esposta. L'inquinamento dell'aria, se da un lato fa precipitare le condizioni di salute dell'insieme dei suscettibili, portandoli a morte, allo stesso tempo rifornisce questo insieme di nuove persone che contribuiranno alla mortalità (o ai ricoveri) nei giorni successivi se l'inquinamento permarrà elevato.

La frequenza di malattia associata alla contaminazione dell'aria è inversamente correlata alla gravità. Infatti, in caso d'esposizione, la percentuale di popolazione colpita da disturbi meno gravi è molto più elevata rispetto a quella che affetta da disturbi più severi. Disturbi subdoli o subclinici come deficit della funzione polmonare e infiammazione, che alterano la qualità di vita delle persone e le rendono meno attive, si verificano in molti degli esposti mentre la morte è una evenienza meno frequente. In genere, sono le persone più suscettibili che risentono degli effetti più gravi. L'evenienza di morte prematura può verificarsi dopo giorni, settimane o anche dopo periodi più lunghi, e le persone già ammalate e con condizioni mediche preesistenti hanno necessità più spesso di ricoveri ospedalieri o visite in pronto soccorso.

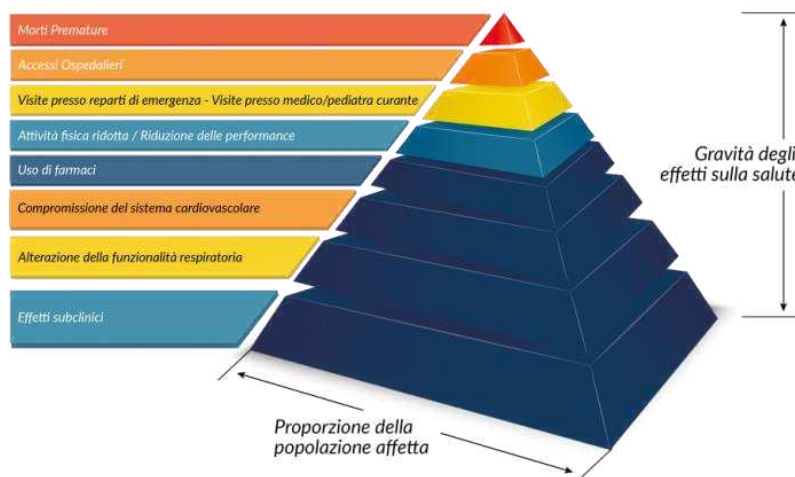


Figura 4: La popolazione e gli effetti dell'inquinamento

La figura 4 illustra come, in caso di esposizione, la frequenza di malattia associata alla contaminazione dell'aria sia inversamente correlata alla gravità. Il danno minore è comunque rilevante, anche per la sua numerosità, e perché crea l'inizio di disturbi funzionali respiratori e/o cardiaci, o carico di altri apparati che si aggravano con il tempo anche per il persistere della contaminazione (WHO 2006).

Le conseguenze di questo modello sono due: i decessi che si misurano o si stimano come effetto dell'inquinamento atmosferico a breve termine, non sono una semplice anticipazione di eventi che sarebbero comunque accaduti ma rappresentano un effetto netto di una mortalità che sarebbe stata evitata se i livelli di inquinamento fossero stati inferiori, e come altra conseguenza è che se l'inquinamento agisce sullo stato di salute di tutta la popolazione, gli effetti a lungo termine dovranno essere molto superiori rispetto a quelli a breve termine. Se ciò fosse vero, rappresenterebbe anche una conferma del modello. Per quanto riguarda gli effetti a lungo termine dell'inquinamento atmosferico è necessario effettuare studi di coorte. Questi consistono nell'individuare gruppi di grandi dimensioni di persone residenti in diverse città, di registrare per ciascuna di esse alcuni fattori di rischio, come il fumo e le esposizioni lavorative, e di seguire poi nel tempo queste persone misurandone la mortalità. Solo in questo modo si riescono ad ottenere stime degli effetti a lungo termine dell'inquinamento tenendo conto anche degli altri fattori. Vengono effettuati due studi principali sull'inquinamento da PM10 e questi due studi hanno fornito stime degli effetti sulla salute dell'inquinamento atmosferico molto coerenti tra loro, facendo riferimento alle stime sugli studi effettuati in America.

Le indicazioni che possiamo trarre dal modello che abbiamo costruito sono:

- Gli effetti a breve termine non sono una semplice anticipazione di eventi che sarebbero comunque accaduti, ma rappresentano un danno netto sulla salute

- Gli effetti a lungo termine sono di gran lunga superiori a quelli a breve
- L'inquinamento agisce peggiorando la salute di tutta la popolazione.
- È la media annuale e non il numero di superamenti il parametro di interesse per la salute. (Crosignani P., Tittarelli A, et. all)

È stato ideato, inoltre, il progetto Health Effects of Particles on Susceptible Subpopulations Study (HEAPSS), uno studio che ha seguito coorti di persone colpite da infarto del miocardio in cinque città europee: Augsburg in Germania, Barcellona in Spagna, Helsinki in Finlandia, Roma in Italia e Stoccolma in Svezia. Contemporaneamente al follow up dei pazienti sono state rilevate le concentrazioni di inquinanti legati alla combustione, tra cui le particelle inferiori ai 10 μm (PM10), il biossido di azoto (NO₂), il monossido di carbonio (CO). Sono state, inoltre, monitorate le particelle ultrafini (il cui diametro è inferiore a 0,1 μm) e la concentrazione numerica di particelle (PNC) derivanti dal processo di combustione che possono essere particolarmente pericolose dal punto di vista biologico. La dimensione, infatti, permette loro di penetrare negli interstizi polmonari, causando infiammazione e un significativo stress ossidativo, e attraverso la barriera alveolo capillare possono quindi passare nella circolazione sanguigna e favorire la formazione dei trombi. Infine, è stato considerato anche l'ozono, inquinante secondario. Il tutto al fine di poter stabilire un'associazione significativa fra la riammissione in ospedale per motivi cardiaci e l'inquinamento urbano in questa speciale sottopopolazione. (Goraya et all.,2003)

3.CASI STUDIO

3.1 Progetti sull'inquinamento atmosferico: EpiAir

Nel corso degli anni, varie città hanno preso parte a diversi progetti in seguito al superamento dei valori soglia da rispettare circa i vari inquinanti e considerando le possibili cause annesse.

Uno di questi progetti che ha trovato riscontro e adesione da parte di più regioni italiane è l'EpiAir che sta per: Sorveglianza epidemiologica dell'inquinamento atmosferico utilizzando la metodologia case crossover¹.

Questo progetto è stato diviso in due fasi: il primo con tempo di studio gli anni dal 2001 al 2005 (EpiAir1) e il secondo va dagli anni 2006 al 2010 (EpiAir2).

Questo progetto è frutto della collaborazione scientifica e dell'integrazione multidisciplinare di diversi ricercatori italiani nel quadro di progetti promossi a livello nazionale, nonché dell'esperienza maturata dai servizi sanitari e dalle agenzie regionali per l'ambiente (ARPA); il progetto è stato finanziato dal Centro nazionale per la prevenzione e il controllo delle malattie (CCM) del Ministero della salute e coordinato nella prima fase dal Dipartimento di epidemiologia del Servizio sanitario della Regione Lazio per EpiAir1 e del Dipartimento di Epidemiologia del Servizio di Epidemiologia di ARPA Piemonte per EpiAir2.

I 2 progetti EpiAir costituiscono complessivamente il più recente e ampio studio sugli effetti a breve termine degli inquinanti atmosferici (PM10, NO2 e

¹È una variante dello studio caso-controllo ed è utile per lo studio di esposizioni transitorie su patologie acute. Il disegno si basa su informazioni raccolte a livello individuale solo sui casi e paragona l'esposizione del caso subito prima dell'evento (hazard period) con quella avvenuta in uno o più periodi di controllo (control periods). Poiché ogni caso serve come controllo di se stesso, c'è un perfetto appaiamento per tutte quelle caratteristiche che non variano con il tempo (es. genere)

O3 e per la prima volta in Italia il PM2.5) rilevati nel periodo 2001-2005 in 10 città italiane (Torino, Milano, Mestre-Venezia, Bologna, Firenze, Pisa, Roma, Taranto, Palermo, Cagliari), a cui si sono aggiunte altre 15 città nella seconda fase (Treviso, Padova, Rovigo, Trieste, Genova, Piacenza, Reggio Emilia, Parma, Modena, Rimini, Ferrara, Ancona, Napoli, Bari, Brindisi).

Gli obiettivi e i temi trattati dal progetto sono stati:

- misura del rischio di mortalità specifico per causa in relazione ai diversi inquinanti;
- misura del rischio di ricovero ospedaliero specifico per causa;
- utilizzabilità dei dati degli accessi in pronto soccorso;
- composizione del particolato urbano per singola centralina e città;
- stima dell'impatto in termini di numero di casi attribuibili di mortalità, per città;
- valutazione delle politiche attualmente adottate per la riduzione dell'inquinamento atmosferico urbano;
- aggiornamento di Linee guida destinate al pubblico sul tema dei rischi per la salute dell'inquinamento atmosferico.

Il progetto EpiAir ha già prodotto numerose pubblicazioni scientifiche che sono state riassunte nella revisione sistematica dell'Organizzazione mondiale della sanità in un documento recente: *Review of evidence on health aspects of air pollution - REVIHAAP Project*

Dai due studi si è visto che dai dati raccolti dell'Istituto superiore per la ricerca e la prevenzione ambientale (ISPRA) relativi agli inquinanti più rilevanti in termini di volumi di emissioni elaborati da Legambiente, evidenziano che in Italia il trasporto su strada è responsabile di poco più del 20% delle emissioni di PM10, di poco più del 50% delle emissioni di ossidi di azoto e benzene, e di circa il 40% di quelle di ossido di carbonio.

Una delle cause principali, vedono il contributo dei trasporti che vede essere il più importante nei grandi agglomerati urbani, eccetto quelli in cui sono presenti altre fonti di emissione, quali grandi insediamenti industriali, impianti per la produzione di energia e porti marittimi. Per esempio, riguardo al primo aspetto, i dati dell'Inventario emissioni aria (INEMAR) di ARPA Lombardia, ad esempio, mostrano come nella Provincia di Milano, un'area con circa 3 milioni di abitanti, i trasporti contribuiscono per il 58% alle emissioni di PM10 e per il 71% a quelli di ossidi di azoto. Considerando le emissioni imputabili al macrosettore dei trasporti, il maggior contributo al PM10 è dato dalle autovetture e dall'usura di pneumatici, freni e manto stradale, quello agli ossidi di azoto da autovetture e veicoli pesanti, quello all'ossido di carbonio da autovetture e motocicli maggiori di 50 cc, mentre quello alle emissioni di benzene da autovetture e motocicli.

Delle varie città gli inquinanti principali a cui è stato fatto il monitoraggio sono: PM10, NO₂, e in 13 città italiane con EpiAir2 anche il PM_{2,5} e in più nel periodo che va da aprile a settembre è stato valutato anche l'O₃ (ozono).

I risultati ottenuti hanno portato a dire che: considerando un incremento di 10 µg/m³ per inquinante, per il PM10 è stato osservato un incremento percentuale di rischio per patologie cardiache dello 0,34% a lag 0 (IC95% 0,04-0,63), e per patologie respiratorie dello 0,75% a lag 0-5 (IC95% 0,25-1,25). Per il PM_{2,5} l'incremento percentuale di rischio per patologie respiratorie è risultato dell'1,23% a lag 0-5 (IC95% 0,58-1,88). Per l'NO₂ la stima di effetto per patologie cardiache è risultata dello 0,57% a lag 0 (IC95% 0,13-1,02), e per patologie respiratorie dell'1,29% a lag 0-5 (IC95% 0,52-2,06). L'ozono non è risultato positivamente associato né alle patologie cardiache né a quelle respiratorie (a differenza del periodo 2001-2005).

Nello specifico si può evincere che:

1. Per il PM10:

- Cause cardiache: un aumento di 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ di PM10 è stato associato a un aumento dello 0,34% degli effetti sulla salute correlati al cuore al ritardo 0 (effetto immediato). L'intervallo di confidenza (IC) al 95% per questo aumento variava dallo 0,04% allo 0,63%.
- Cause respiratorie: lo stesso aumento del PM10 è stato associato a un aumento dello 0,75% degli effetti sulla salute correlati alle vie respiratorie, considerando un periodo di ritardo di 0-5 giorni dopo l'esposizione. L'intervallo di confidenza al 95% per questo aumento variava dallo 0,25% all'1,25%.

2. Per quanto riguarda il particolato PM2.5:

- Cause respiratorie: Un aumento di 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ di PM2.5 è stato associato a un incremento dell'1,23% nelle cause respiratorie, considerando un periodo di ritardo di 0-5 giorni dopo l'esposizione. L'intervallo di confidenza al 95% (IC) per questo aumento variava dallo 0,58% al 1,88%.

3. Per il biossido di azoto (NO₂):

- Cause cardiache: Un aumento di 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ di NO₂ è stato associato a un incremento dello 0,57% nelle cause cardiache al ritardo 0 (effetto immediato). L'intervallo di confidenza al 95% (IC) per questo aumento variava dallo 0,13% all'1,02%.
- Cause respiratorie: Lo stesso aumento di NO₂ era associato a un incremento dell'1,29% nelle cause respiratorie, considerando un periodo

di ritardo di 0-5 giorni dopo l'esposizione. L'IC al 95% per questo aumento variava dallo 0,52% al 2,06%.

I risultati dello studio confermano l'effetto a breve termine dell'inquinamento atmosferico da PM10, PM2.5 e NO2 sulla morbosità, in particolare respiratoria, nelle città italiane. Non sono state rilevate associazioni positive per l'O3. (Cadum E.,2013)

Dall'analisi per quanto riguarda la mortalità ha confermato quanto riportato nel report del primo periodo analizzato (dal 2001 al 2005), confermando gli effetti di PM10, di PM2,5 e un maggiore rischio per l'NO2 rispetto al particolato e rischi maggiori nella stagione più calda. I rischi molto eterogenei tra città per alcune cause suggeriscono l'effetto di fattori locali, per la valutazione dei quali sarà necessario un approfondimento in relazione ai dati di composizione del particolato, a loro volta determinati dalla tipologia di traffico veicolare prevalente, da altre fonti inquinanti fisse (industrie, riscaldamento, navi), dalla presenza di fonti naturali (sabbie sahariane e sale marino) e dalle condizioni climatiche e geografiche. In questi casi, il particolato nelle città considerate potrebbe aver subito variazioni della tossicità. (Alessandrini et al., 2013).

Anche l'impatto sulla mortalità degli effetti a breve termine del PM10 è passato dall' 1,5% allo 0,9% e si concentra nelle aree più inquinate del Nord Italia, in particolare con grandi centri metropolitani e Pianura Padana; ma bisogna sempre valutare gli effetti a lungo termine per i quali vi è un progetto di valutazione a livello nazionale (progetto CCM: valutazione integrata impatto ambientale e sanitario dell'inquinamento atmosferico, VIAS) (Baccini et al.,2013).

Da parte dell'Italia c'è stato un ritardo nell'adottare misure di mitigazione per le emissioni e l'assenza di valutazioni di efficacia delle misure adottate. Il confronto tra i periodi 2000-2005 e 2006-2010 sotto vari aspetti è ancora in corso.

Tuttavia, è possibile affermare in sintesi che sia il quadro ambientale sia quello sanitario sono migliorati rispetto al quinquennio studiato tra il 2000 e il 2005, e che l'Italia, lentamente ma progressivamente, si stava avvicinando alla media europea, pur continuando a essere uno dei Paesi con maggiori criticità.

Come considerazioni finali, in riferimento agli studi condotti secondo il progetto EpiAir, possiamo dire che nel secondo periodo che va dal 2006 al 2010 in cui ci fu una ulteriore adesione al progetto di altre città, l'andamento degli inquinanti mostra una progressiva riduzione negli anni di PM10, PM2.5 e NO2 (seppure in misura minore), mentre i livelli di ozono rimasero stabili nel loro complesso con oscillazioni annuali in dipendenza dalle condizioni meteorologiche estive. Il 2006 fu l'anno interessato dall'oscillazione Nord Atlantica di particolare intensità, con conseguente ristagno della circolazione atmosferica al suolo in Europa Occidentale e livelli di inquinamento elevati, che hanno caratterizzato tutta l'Europa, Italia compresa. Questo fenomeno è alla base dei valori elevati riscontrati in tale anno nelle città in studio nel progetto EpiAir (Gandini et al.,2013).

Quello che si voleva far capire con questo progetto, era di puntare sulla fattibilità di verifiche sul campo delle politiche di prevenzione attivate, cioè il principale significato del progetto EpiAir risiede nel porre le basi per un programma di sorveglianza dell'impatto sanitario dell'inquinamento atmosferico fondato sull'utilizzo di indicatori ambientali e sanitari affidabili e standardizzati. L'adesione del numero più elevato di città mai riscontrato finora

in Italia sostiene la speranza che tale sistema, basato su una rete estesa di servizi di sorveglianza epidemiologica e ambientale, piani di monitoraggio e report periodici che possano continuare in futuro.

Il SEA (Servizio di Epidemiologia Ambientale) di ARPA Marche – che ha collaborato altresì alla stesura di specifici articoli pubblicati su riviste di settore a diffusione nazionale - ha fattivamente partecipato, in rappresentanza della Regione Marche, alla seconda parte dello studio, il cosiddetto EpiAir 2, volto a mantenere ed allargare il sistema di sorveglianza degli effetti a breve termine dell'inquinamento atmosferico nelle grandi città italiane già avviato con la prima fase del progetto. Vediamo in tabella 1 gli andamenti temporali dei tassi standardizzati delle malattie associate all'inquinamento atmosferico, studiati attraverso un'associazione tra l'Agenzia Internazionale per la Ricerca sul Cancro (IARC) di Lione che ha descritto l'inquinamento atmosferico e le polveri sottili come cancerogeni per l'essere umano e ha messo insieme i risultati di ESCAPE (European Study of Cohortes for Air Pollution Effects del luglio 2013) che mostrava come le polveri sottili aumentassero il rischio di ammalarsi di tumore al polmone.

La figura 5, che possiamo vedere di seguito mostra una tabella stipulata dall'ampio studio svolto dal progetto EpiAir2, coinvolgendo 25 città italiane, vedendo nello specifico come nelle Marche i tassi sono sempre inferiori a quelli italiani, tranne per le malattie cerebrovascolari.

Questi dati, trovati attraverso i software utilizzati sono Sas System Release 9.3 e Joinpoint 3.5.1. (Di Biagio K. et al., 2014), indicano che nelle Marche, nonostante l'inquinamento atmosferico, si sono registrati tassi più bassi di malattie associate ad esso rispetto alla media nazionale, ad eccezione delle malattie cerebrovascolari. Inoltre, si osserva una riduzione significativa dei

tassi di malattie del sistema circolatorio e cardiopatie ischemiche nei maschi, con una riduzione media annua dei tassi rispettivamente del -3,8%.

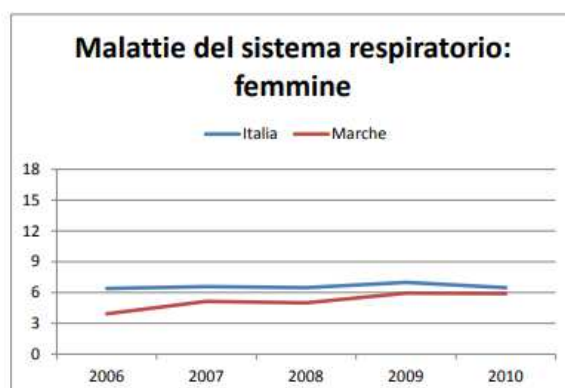
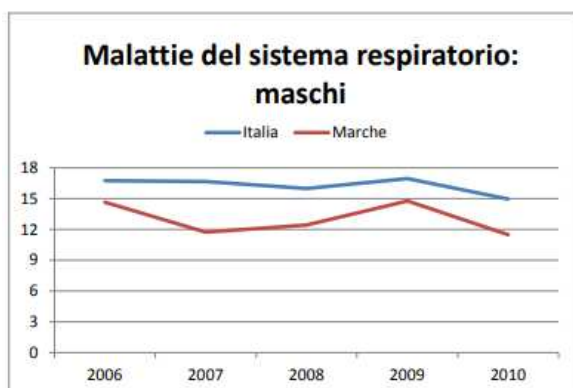
Tali risultati potrebbero indicare l'efficacia di misure preventive e interventi mirati attuati nella regione per contrastare gli effetti dell'inquinamento atmosferico sulla salute.

	Maschi		Femmine	
	Marche	Italia	Marche	Italia
Malattie del sistema respiratorio	-2,5 (-14,6;+11,3)	-2,0 (-6,4;+2,6)	+9,5* (+0,7;+19,0)	+0,9 (-3,0;+4,9)
Tumori maligni della trachea, dei bronchi e del polmone	-4,6 (-12,4;+3,8)	-2,8* (-4,0;-1,6)	+1,0 (-4,9;+7,3)	+1,9* (+0,6;+3,3)
Malattie del sistema circolatorio	-3,8* (-7,0;-0,4)	-3,6* (-5,2;-2,0)	-0,8 (-6,2;+5,0)	-4,7* (-6,7;-2,6)
Cardiopatie ischemiche	-3,3* (-5,1;-1,5)	-4,2* (-5,4;-3,0)	-2,8 (-9,2;+4,2)	-5,7* (-8,3;-3,0)
Malattie cerebrovascolari	-6,3 (-12,5;+0,3)	-3,3* (-6,4;-0,1)	-4,0 (-13,6;+6,7)	-4,2* (-7,6;-0,7)

*Statisticamente significativo al 95% di probabilità

Fig. 5: Variazioni medie annue dei tassi standardizzati nel periodo 2006-2010 (EpiAir2)

Nei grafici sottostanti, vediamo l'andamento delle rispettive malattie nel periodo di studio dell'EpiAir2 (2006-2010) e come hanno reagito i maschi e le femmine:



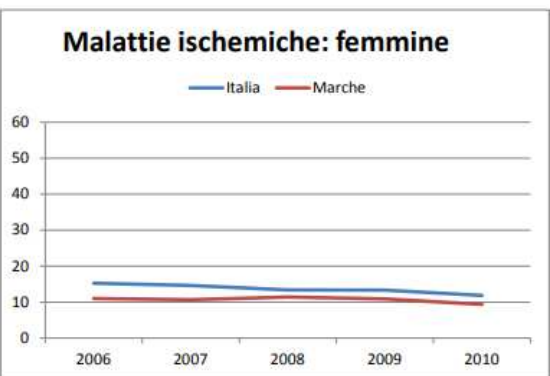
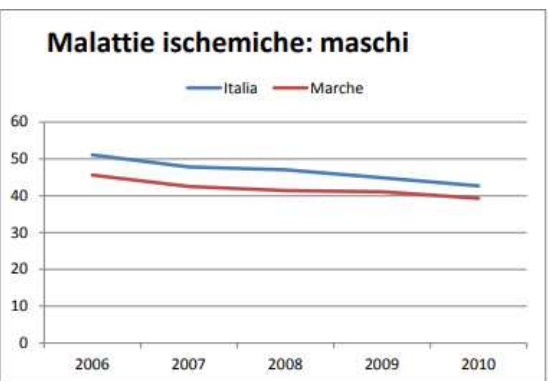
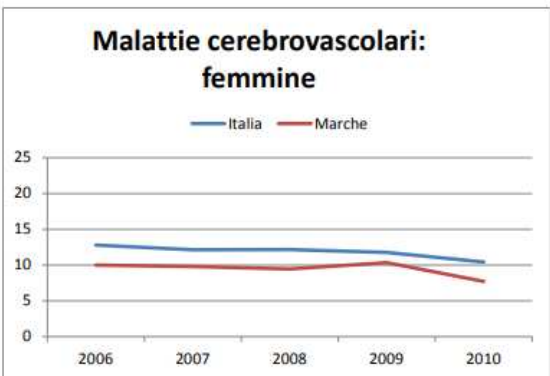
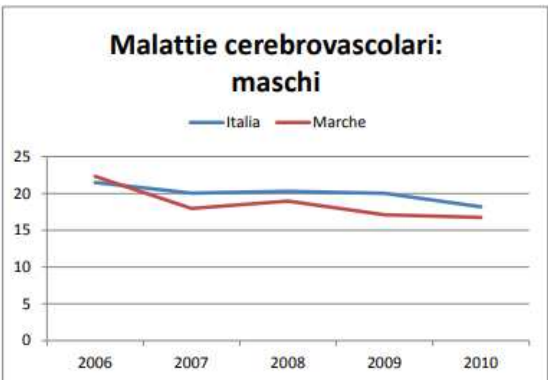
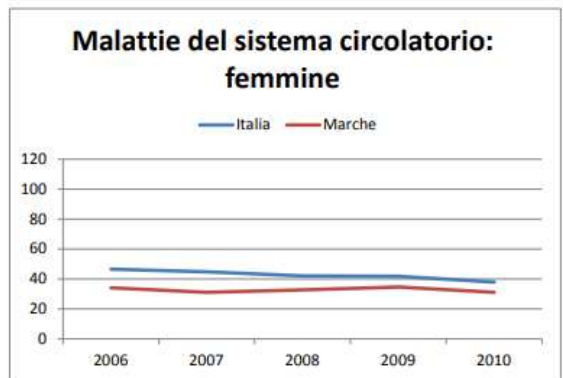
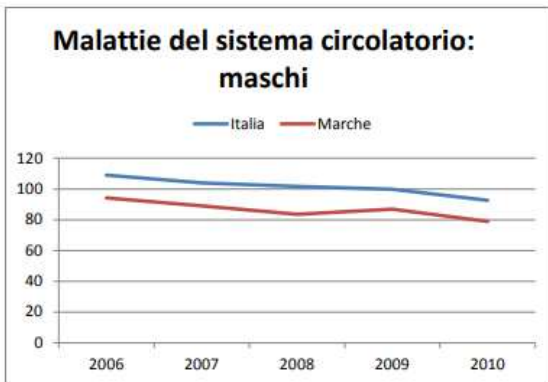
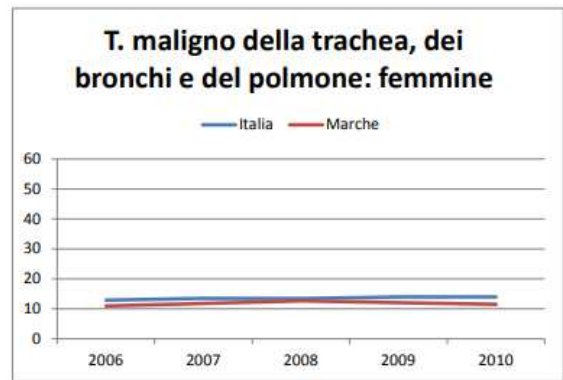
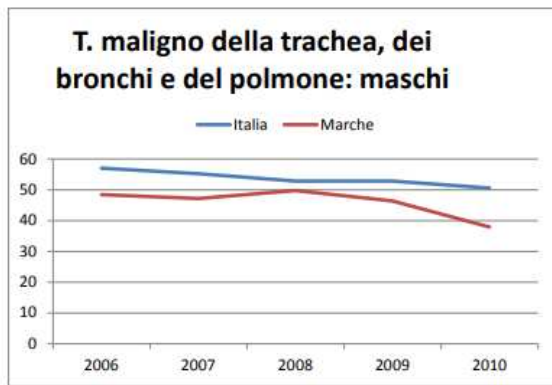


Fig.6: Grafici rappresentanti l'andamento delle malattie nelle Marche in EpiAir 2

Dai grafici forniti, si possono trarre alcune informazioni sull'andamento dei tumori maligni della trachea, dei bronchi e del polmone in Italia e nella regione delle Marche, sia per i maschi che per le femmine.

Nel quinquennio preso in considerazione, sono state osservate alcune tendenze significative.

In Italia, è stato riscontrato un decremento medio annuo del 2,8% (con intervallo di confidenza al 95% tra -4% e -1,6%) per i tumori maligni della trachea, dei bronchi e del polmone nei maschi, il che indica una riduzione della loro incidenza nel tempo. D'altra parte, per le femmine italiane, si è osservato un incremento dell'1,9% (con intervallo di confidenza al 95% tra +0,6% e +3,3%), indicando un aumento dell'incidenza di questi tumori nel periodo in esame. Entrambi questi andamenti sono risultati statisticamente significativi.

Nelle Marche, si sono verificate tendenze simili a quelle dell'Italia nel loro complesso, ma le variazioni osservate non sono risultate statisticamente significative. Per i maschi marchigiani, si è registrato un decremento annuo medio del 4,6% (con intervallo di confidenza al 95% tra -12,4% e +3,8%), mentre per le femmine si è osservato un aumento dell'1% (con intervallo di confidenza al 95% tra -4,9% e +7,3%). Anche se questi risultati non sono stati considerati statisticamente significativi, indicano comunque delle tendenze simili a livello regionale.

Per quanto riguarda le malattie del sistema respiratorio, si è notata una riduzione della mortalità tra i maschi sia a livello nazionale che nelle Marche, ma questi risultati non sono risultati statisticamente significativi. Nel contesto italiano, è stata osservata una riduzione dell'APC (Annual Percent Change) del 2% (con intervallo di confidenza al 95% tra -6,4% e +2,6%). Nelle Marche, si è registrata una diminuzione dell'APC del 2,5% (con intervallo di confidenza

al 95% tra -14,6% e +11,3%). Questi andamenti indicano una tendenza alla diminuzione della mortalità, anche se non statistica significativa.

Per le femmine, invece, si è notata una lieve crescita della mortalità per le malattie del sistema respiratorio sia a livello nazionale che nelle Marche. A livello nazionale, è stato osservato un aumento dell'APC dello 0,9% (con intervallo di confidenza al 95% tra -3% e +4,9%). Nelle Marche, invece, si è verificato un progressivo aumento medio annuo del 9,5%, che è risultato statisticamente significativo. Questi dati indicano un aumento della mortalità per tali malattie nelle donne, sia a livello nazionale che regionale.

In sintesi, dai grafici si evince che c'è stato un decremento dell'incidenza dei tumori maligni della trachea, dei bronchi e del polmone nei maschi italiani nel periodo considerato, mentre si è registrato un aumento nelle femmine italiane. Nelle Marche, sono state osservate tendenze simili, ma non statisticamente significative. Per quanto riguarda la mortalità legata alle malattie del sistema respiratorio, si è verificato un calo nei maschi, anche se non statisticamente significativo, mentre nelle femmine si è osservato un aumento sia a livello nazionale che regionale, con un aumento significativo nelle Marche. (Fonte ARPAM)

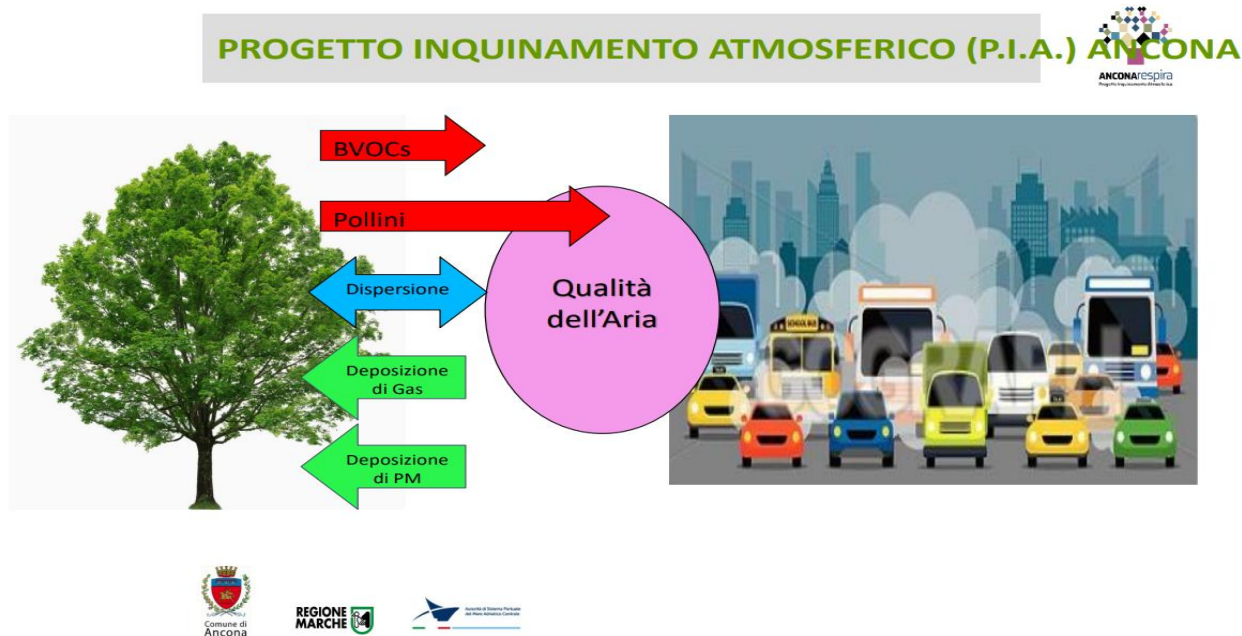
L'argomento sollevato riguarda l'aumento dei ricoveri ospedalieri per malattie cardiovascolari, cerebrovascolari e respiratorie in tutte le fasce di età a causa dell'inquinamento. Negli ultimi anni, l'inquinamento è diventato un problema significativo nelle regioni e nelle città di tutto il mondo, e le conseguenze sulla salute umana sono sempre più evidenti.

I piani di monitoraggio dell'inquinamento sono diventati sempre più comuni come risposta a questo problema. Questi piani comprendono la misurazione e la valutazione dei livelli di inquinamento atmosferico, dell'inquinamento delle acque e di altre fonti di inquinamento ambientale. Lo scopo principale di questi

piani è comprendere l'impatto dell'inquinamento sulla salute umana e sviluppare strategie per ridurre l'esposizione e prevenire le malattie correlate.

3.2 Regione Marche

3.2.1 PIA: progetto inquinamento atmosferico – Comune di Ancona



Il progetto EpiAir nella città di Ancona ha l'obiettivo di descrivere lo stato di salute della popolazione attraverso l'uso di una metodologia chiamata downscaling modellistico. Questa metodologia si riferisce al processo di traduzione delle informazioni ottenute dalle simulazioni di modelli climatici globali a una risoluzione spaziale più dettagliata, specificamente focalizzata sul comune e sul porto di Ancona.

Per realizzare questo obiettivo, i ricercatori utilizzano dati di base sulla popolazione forniti dall'ISTAT (Istituto Nazionale di Statistica) e li integrano con le informazioni ottenute dalle simulazioni del modello climatico globale. Utilizzando il downscaling modellistico, possono quindi ottenere una

rappresentazione più accurata delle condizioni atmosferiche locali nella zona di Ancona.

Successivamente, il progetto mira a esaminare la relazione tra inquinamento atmosferico e impatto sulla salute della popolazione. Attraverso l'analisi dei dati ottenuti dal downscaling modellistico e l'integrazione con informazioni sulla qualità dell'aria e altre variabili ambientali, i ricercatori possono valutare gli effetti dell'inquinamento atmosferico sulla salute dei residenti di Ancona.

I risultati ottenuti dal progetto EpiAir consentiranno di comprendere meglio come l'inquinamento atmosferico influenzi la salute della popolazione e potranno fornire indicazioni utili per lo sviluppo di politiche e misure preventive volte a migliorare la qualità dell'aria e proteggere la salute pubblica nella città di Ancona.

Da questi risultati nel corso del tempo, si sono attivati vari esperti che hanno portato alla formazione di altri progetti, uno di questi è quello più attuale: il Progetto sull'inquinamento atmosferico (PIA).

I suoi principali obiettivi sono:

- migliorare la gestione sanitaria volta al controllo ottimale delle allergopatie respiratorie, delle patologie cardiorespiratorie e neurologiche nella popolazione, urbana di Ancona, inquinamento atmosferico correlate, nell'intendimento di ottenere una migliore qualità della vita e una riduzione diretta e indiretta dei costi del servizio sanitario regionale attuando misure di prevenzione primaria e secondaria;

- valutare l'esposizione della popolazione ai pollini di erbe e piante dell'arredo urbano principalmente, considerando sia la quantità di pollini allergizzanti che la loro potenziale interazione con l'inquinamento da PM 10 e PM2,5;

- aumentare la consapevolezza delle istituzioni, comunità locali, servizio sanitario locale, legislatori, consumatori sull'importanza di un'integrata

informazione previsioni aerobiologiche, chimiche e cliniche per un miglioramento della salute tra le persone che soffrono di allergopatie respiratorie e croniche patologie cardio-polmonari e neurologiche;

-aumentare la consapevolezza di possibili cambiamenti di vita e misure preventive tra coloro che soffrono di allergie al polline o altri pazienti possono risentire sul versante cardio-polmonare e neurologico di elevati livelli di particolato, attraverso l'utilizzo di sistemi di informazione aerobiologica e composizione chimico fisica dell'aria e sostenendo iniziative educative mirate a ridurre il rischio per le popolazioni maggiormente sensibili (bambini e anziani) (sito comune di Ancona, con aggiornamento al 2022).

Con l'inizio del PIA, sono stati effettuati diversi studi epidemiologici nel comune di Ancona, con l'obiettivo principale di: migliorare la gestione sanitaria delle patologie dovute all'inquinamento nella popolazione dei cittadini di Ancona, attuando misure sanitarie di prevenzione primaria e secondaria².

Inoltre, bisogna valutare l'esposizione della popolazione urbana della Città per polveri sottili, gas, pollini e spore fungine fornendo ai cittadini, in tempo reale, tutte le informazioni in modo chiaro, sulla qualità dell'aria di tipo aerobiologico e fisico-chimica; così facendo si va ad aumentare la consapevolezza dei cittadini su ciò che potrebbe succedere, insieme alle varie istituzioni come gli ospedali, dando le giuste informazioni e disposizioni su come gestire quelle

²Per prevenzione primaria sta ad indicare comprendere tutti gli interventi destinati all'insorgenza di malattie nella popolazione, combattendo le cause e i fattori predisponenti, puntando a cambiare abitudini e comportamenti scorretti. La prevenzione secondaria, invece, ha come obiettivo quello di individuare i soggetti ammalati o ad alto rischio per poter ottenere la guarigione o impedire l'insorgenza e la progressione della malattia. Un esempio di intervento mirato su pochi individui è rappresentato dalle indagini epidemiologiche a seguito di un caso di malattia infettiva, mentre gli interventi rivolti a gruppi di popolazione omogenei (per età sesso, ecc.) e numerosi sono i cosiddetti screening.

persone che soffrono di malattie allergiche, patologie respiratorie, cardiache e neurologiche.

Oltre a questo, si vuole anche puntare a una migliore gestione della programmazione urbanistica del traffico, ecosostenibilità del porto, e vedendo anche di migliorare la tipologia di impianti di riscaldamento e adeguata mappatura del verde urbano dal punto di vista qualitativo e quantitativo.

Dal progetto PIA (progetto inquinamento atmosferico) in cui si è trattato dello stato di salute della regione Marche, in particolare del comune di Ancona.

Con questo progetto si è definita una metodologia di indagine andando a vedere anche la relazione che c'è con la salute e l'inquinamento atmosferico e il database utilizzato per la popolazione è stato preso dal sito dell'Istat e in più i dati sanitari, sono stati presi dalla regione Marche in cui si è andato a vedere il tasso di mortalità, ricoveri (SDO) e accessi PS (EMUR).

Dai risultati ottenuti abbiamo visto che a livello di circoscrizioni come in figura 7, si ha avuto un aumento delle malattie cardiovascolari, con un incremento anche dell'incidenza di tumori a livello respiratorio (fig.8).

Circoscrizioni Territoriali (CTP) (Consigli Territoriali Partecipati)

- Comune di Ancona suddiviso in 9 CTP e 772 sezioni di censimento ISTAT

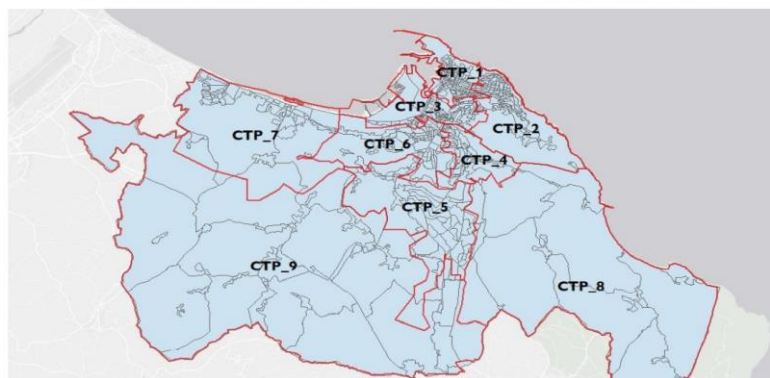


Figura 7: CTP comune di Ancona (Progetto PAI dati epidemiologici).

Frequenza degli eventi sanitari

	N	%
Mortalità		
Totale	5,584	100
Cardiovascolare	2,051	36.7
Respiratoria	395	7.1
Ricoveri		
Cardiovascolare	15,814	13.3
Respiratori	6,161	5.2
Accessi PS		
Cardiovascolari	12,230	3.8
Respiratori	24,312	7.6

Figura 8: Tasso di mortalità, ricoveri e accessi PS del comune di Ancona (Progetto PAI dati epidemiologici).

L'uso dei metodi di calcolo dei tassi grezzi e standardizzati è comune nell'analisi epidemiologica e statistica per comprendere meglio le disparità tra diverse popolazioni o gruppi di individui. Questi metodi consentono di confrontare le misure di salute o altri fenomeni in modo più accurato, tenendo conto delle differenze demografiche che potrebbero influenzare i risultati.

I tassi grezzi sono calcolati dividendo il numero di eventi (ad esempio, casi di una determinata malattia) per la popolazione a rischio nella stessa area geografica o gruppo di interesse. I tassi grezzi possono essere utili per fornire una panoramica iniziale della situazione, ma possono essere influenzati dalle differenze nella struttura demografica delle popolazioni a confronto.

I tassi standardizzati, invece, consentono di confrontare le misure di salute tra diverse popolazioni o gruppi di individui, tenendo conto delle differenze nella composizione demografica. Questo metodo aiuta ad eliminare l'effetto di variabili di confondimento come l'età, il sesso e altre caratteristiche sociodemografiche. La standardizzazione può essere effettuata utilizzando

diverse tecniche, ma l'obiettivo principale è quello di creare un "popolazione standard" che rappresenti la distribuzione demografica di riferimento.

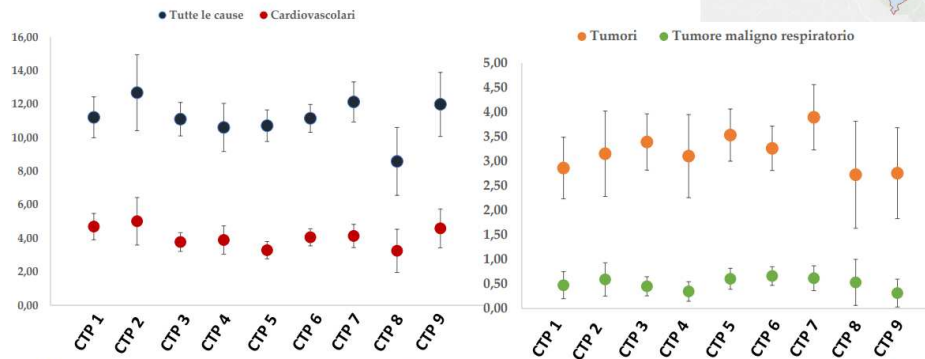
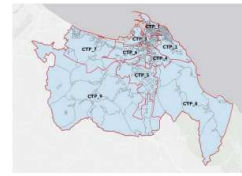
Nel contesto specifico menzionato, l'analisi ha incluso anche la risoluzione geografica con la classificazione in circoscrizioni territoriali, il che significa che i tassi sono stati calcolati per specifiche aree geografiche. Questo può fornire informazioni dettagliate sulle disparità tra diverse zone.

Inoltre, i dati di censimento dell'ISTAT (Istituto Nazionale di Statistica) sono stati utilizzati per la standardizzazione per classe di età, sesso e condizione socioeconomica SEP. La standardizzazione per classe di età e sesso tiene conto delle differenze nella distribuzione demografica per età e sesso, mentre la standardizzazione per condizione socioeconomica SEP tiene conto delle differenze nella struttura socioeconomica delle popolazioni, ma allo stesso tempo consente di ottenere una visione più completa e accurata delle disparità nella salute o in altri fenomeni in diverse popolazioni o gruppi di individui.

Queste analisi possono contribuire a identificare aree o sottogruppi che richiedono particolare attenzione nelle politiche e negli interventi volti a migliorare la salute e ridurre le disuguaglianze.

Questi approcci aiutano a comprendere le differenze tra le popolazioni delle varie circoscrizioni come in fig.9, grazie al quale si riesce ad individuare disuguaglianze e a valutare l'impatto di determinati fattori e le cause che colpiscono.

Tasso standardizzato* di mortalità per 1,000 abitanti a livello di CTP



* Standardizzazione per classe d'età, SEP e sesso utilizzando la popolazione anconetana come standard. Periodo 2013-2017

Fig.9: Tassi standardizzati e cause.

3.2.2 PIA: il verde urbano e il suo ruolo di inquinante

Il progetto PIA ha evidenziato anche il grande contributo del verde urbano che verte a migliorare la qualità della vita dei cittadini e anche la vista di spazi urbani, creando anche luoghi nei quali si possono svolgere anche attività sociali.

Gli effetti che può dare la vegetazione sono:

- modifica la radiazione solare,
- variazione della radiazione infrarossa riemessa dalla superficie terrestre,
- variazione della velocità e della direzione del vento,
- variazione della temperatura dell'aria,
- variazione dell'umidità relativa e dei fenomeni connessi al ciclo dell'acqua.

L'efficacia di questi effetti è legata a molti fattori, quali le dimensioni dei popolamenti e degli elementi vegetali, la loro configurazione/esposizione in rapporto alle aree edificate, la distanza fra gli alberi, l'estensione delle chiome e la loro altezza, oltre che la densità del fogliame (Oke, 1989).

La temperatura media su base annua di una città di un milione di abitanti può risultare da 1 a 3°C più calda rispetto alle campagne circostanti e, durante le

notte caratterizzate da poco vento, questa differenza di temperatura è in grado di salire fino a 12°C (Oke, 1989). Inoltre, nel centro delle città, la grande concentrazione delle aree edificate e le pavimentazioni stradali, unite alla elevata conducibilità termica di alcuni materiali, quale ad esempio il cemento armato, determinano un assorbimento del 10% in più di energia solare, rispetto ad una corrispondente area coperta da vegetazione. Ad esempio, le variazioni della temperatura a livello micro-urbano, per l'estensione di un parco di qualche ettaro, sono in media di 2-3°C (Piringer et al. 2002). Questo effetto di riscaldamento maggiore delle aree urbane costruite, rispetto alle circostanti aree coperte da vegetazione, prende il nome di isola di calore urbana, cioè una zona in cui si notano delle differenze di T tra area urbana che sarà più calda e zone limitrofe che sono quelle più fresche.

Per quanto riguarda il ruolo del verde urbano nelle nostre città italiane, che funge da inquinante di natura biologica o come anche fattore di mitigazione dei danni da inquinamento, si è appreso dalla città di Ancona, l'utilizzo del rilevatore dei pollini. Questo una volta svolto il rilevamento, il campione trasportato all'ARPAM, viene studiato e creato un bollettino pubblicato poi sul sito web dell'Arpa Marche con tutti i vari dati e altri studi condotti in precedenza.

In questo modo lo studio condotto dal progetto PIA, rientra nella rete nazionale di monitoraggio.

Il servizio fornisce, sia sul WEB che su pannelli informativi luminosi all'interno della sede comunale e in futuro in piazza Cavour, i seguenti dati:

- bollettino pollini e spore commentato anche con consigli sanitari di tipo allergologico

- i dati di monitoraggio dei principali gas inquinanti e polveri sottili degli ultimi sette giorni

- gli indici di qualità dell'aria di PM2.5, NO2 e O3 degli ultimi sette giorni
- i dati previsionali delle 24-48 ore dei principali gas inquinanti e delle polveri sottili
- le previsioni delle 24 ore degli indici di qualità dell'aria di PM2.5, NO2 e O3 con i relativi consigli sanitari.

L'indice della qualità dell'aria di un determinato gas o tipo di polvere sottile mostrato è basato sull'indice europeo della qualità della aria elaborato dall'European Environment Agency (EEA).

Gli indici della qualità dell'aria non sono strumenti per verificare il rispetto degli standard di legge della qualità dell'aria e non può essere utilizzato a tale scopo. I messaggi sanitari sono ispirati a quelli emanati dalla U.S. Environmental Protection Agency (EPA) (Agenzia Statunitense per la protezione dell'ambiente).

Gli alberi sono i principali alleati contro l'inquinamento, ad esempio tramite le foglie, infatti, riescono a trattenere il particolato e a neutralizzare l'effetto degli agenti inquinanti e il loro effetto cambia a seconda delle specie e di come vengono posizionate nell'ambiente urbano. Sono anche essi a contrastare in modo più significativo l'innalzamento delle temperature nelle città, anche donando ombra e il refrigerio delle loro chiome.

Gli alberi fungono, quindi, da filtri per l'aria grazie al processo della fotosintesi clorofilliana che assorbe anidride carbonica e produce ossigeno. Essi trattengono, tramite le foglie, il tronco e le ramificazioni, una grande quantità di particolato atmosferico e gas inquinanti. Gli stomi sono presenti sulla pagina inferiore della foglia e la loro funzione è consentire lo scambio gassoso fra l'interno e l'esterno della pianta. Sono fondamentali la grandezza e il numero degli stomi e la presenza di peli (cere e tricomi) che risiedono nella pagina inferiore della foglia. Il particolato viene intercettato da quelle superfici fogliari

che sono particolarmente rugose e ricche di peli. Una volta trattenuto, il particolato viene poi dilavato dalle piogge. I gas inquinanti vengono invece immagazzinati attraverso gli stomi. Più sono numerosi, maggiore è la capacità di purificare l'aria. Il processo di neutralizzazione degli inquinanti avviene poi attraverso una serie di processi chimici interni alla pianta.

Le foglie degli alberi possono agire come trappole naturali per una serie di inquinanti atmosferici, inclusi metalli pesanti, composti organici persistenti (POP) e altri contaminanti. Questi inquinanti possono essere assorbiti dalle foglie attraverso le particelle sospese nell'aria o essere depositati sulla superficie delle foglie stesse. L'accumulo dei contaminanti nelle foglie può avvenire nel corso del tempo in base alla durata dell'esposizione. Le concentrazioni dei contaminanti possono variare in base a diversi fattori, come il tipo di inquinante, le condizioni meteorologiche, la posizione geografica e la specie di albero.

Una volta raccolte le foglie, è possibile analizzarle in laboratorio. Alcune tecniche con le quali si può determinare la presenza e la concentrazione di contaminanti includono la spettrometria di massa, la cromatografia liquida ad alta prestazione (HPLC) e altre metodologie specifiche per i diversi tipi di inquinanti. L'accumulo dei contaminanti sulle foglie avviene mediante processi di intercettazione (sedimentazione, precipitazione ed effetti di superficie influenzati dalla morfologia, umidità, forze elettrostatiche e di van der Waals) e questi processi non possono essere riprodotti nei sistemi comunemente impiegati per la raccolta del particolato atmosferico.

Tra le varie tecniche che usiamo per il monitoraggio atmosferico nel bio-rilevamento, ritroviamo anche quelle in cui usiamo piante superiori, muschi e licheni che vengono usati come bioindicatori sulla deposizione e gli effetti degli

inquinanti atmosferici costituiscono un indispensabile complemento ai dati acquisiti con i sistemi automatici di monitoraggio.

La distribuzione di specie arboree o di crittogame su scala regionale, nazionale o sovranazionale, consente infatti di tracciare, con poca spesa ed in tempi brevi, mappe di diffusione e di deposizione degli inquinanti persistenti o degli effetti dell'ozono troposferico ed altri composti fitotossici. Sono metodi più semplici e meno costosi e sono uniti ai sistemi convenzionali di monitoraggio.

A differenza dei sistemi automatici di monitoraggio, i bioaccumulatori consentono un'elevata densità spaziale di misurazione e, in tempi brevi e con spesa contenuta, consentono di tracciare mappe di deposizione di molti contaminati persistenti. Tali mappe sono utili all'individuazione delle principali sorgenti di emissione dei contaminanti e delle aree urbane a maggior livello di inquinamento e possono essere utilizzate per la corretta localizzazione delle centraline di monitoraggio, la verifica di eventuali modelli di diffusione e deposizione degli inquinanti, la realizzazione di studi epidemiologici.

Oltre alle foglie, in molti biomonitoraggi sono state analizzate anche le scorze degli alberi o gli anelli di accrescimento del tronco (es., KIMBERLY e ANDERSON 2002; SAARELA et al., 2005).

Ma tutto dipende dagli obiettivi dello studio e dall'area da analizzare, cioè dove questa si trova e quali elementi di disturbo ha attorno.

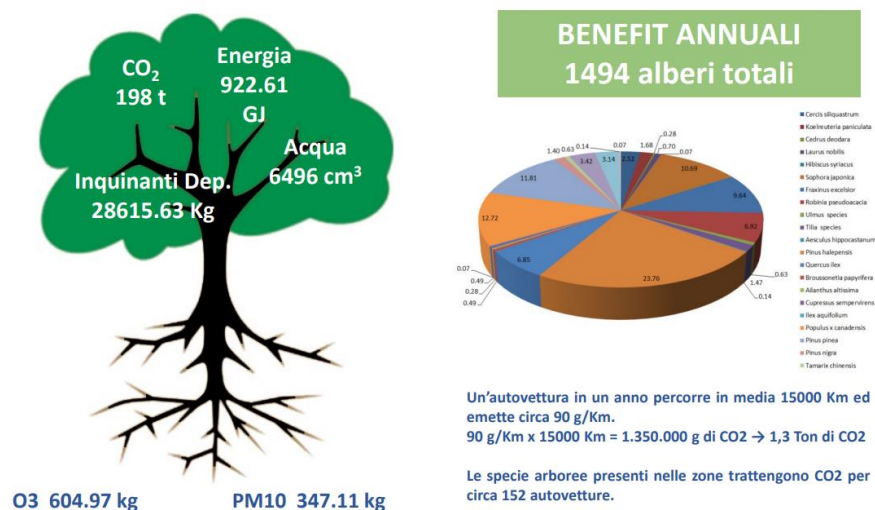


Fig.10: Uso degli alberi in città.

Come città più “green” in Italia, secondo Legambiente, nel report dell’anno 2021, vediamo come Ancona nel corso degli anni ha avuto una risalita nella classifica nazionale, dove la vediamo al 26° posto, ma ancora non riesce ad essere tra le 20 città più verdi. Questo report chiamato “Ecosistema Urbano 2022” prende in esame 5 macroaree, tra cui: aria, acqua, rifiuti, mobilità e ambiente; e dai risultati pervenuti si evince una nota positiva nelle medie nazionali con una diminuzione di NO2, ma si vede anche che la transizione ecologica nel nostro territorio è ancora troppo lenta.

Nell’immagine sopra riportata (fig.10), si può capire come la presenza di verde urbano porta a trattenere circa 198 t di CO2, donando così benefici alla città e popolazione in termini di salute, riducendo la quantità di inquinanti in aria ma anche a volte donando un aspetto migliore dal punto di vista paesaggistico alla città stessa.

Dal monitoraggio ambientale degli inquinanti abbiamo visto il calcolo delle emissioni navali bottom-up del porto di Ancona, per quanto riguarda il traffico portando alla realizzazione di un sistema modellistico integrato per la qualità dell’aria per la regione Marche; inoltre, si è effettuata una procedura

per dedurre informazioni ad alta risoluzione da variabili a bassa risoluzione (detta downscaling) per quanto riguarda sia il porto di Ancona che il comune stesso.

Dallo studio della componente ambientale e dal lavoro di ARIANET ci sono dei contributi emissivi per quanto riguarda:

-il trasporto stradale da cui si è visto:

- In generale e dei mezzi pesanti diretti al porto sui percorsi urbani
- I mezzi pesanti sono la fonte più importante delle emissioni da risospensione in ambito urbano.

-traffico navale: con fase di stazionamento è quella in cui le emissioni di Nox sono più elevate

-riscaldamento.

Da qui, si è effettuata anche un'analisi dal punto di vista sanitario elaborando i dati sanitari presi dall'ISTAT delle regioni Marche, considerando la mortalità, i ricoveri e gli accessi PS e questo tipo di progetto ha evidenziato che questo sistema informativo e con flusso di dati deve essere mantenuto e monitorato nel tempo.

3.2.3 Report di valutazione dell'aria: città portuale di Ancona

Nel report regionale considerato per la regione Marche considerato dal 2015 al 2021, viene effettuata la zonizzazione, indicando la tipologia delle stazioni di monitoraggio della qualità dell'aria dal quale poi vengono ricavati i dati dei rispettivi indicatori.

Tutte le stazioni regionali sono gestite dal Centro Regionale della Qualità dell'Aria ARPAM che provvede anche alla validazione dei dati provenienti

dalle stazioni stesse, divise nella zona collinare montana e costiera e valliva (fig.11). (Report ARPAM, 2015-2021)

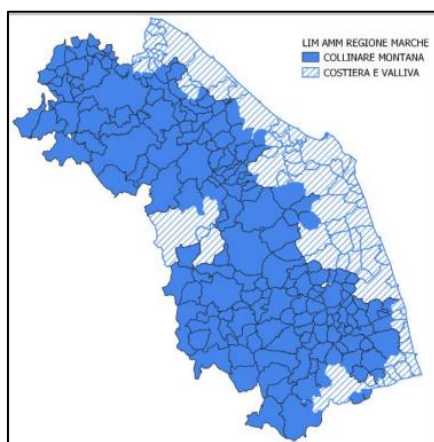


Fig.11: Zonizzazione delle Marche.

La rete regionale di rilevamento della qualità dell'aria prevede il monitoraggio degli inquinanti attraverso 17 stazioni fisse e un laboratorio mobile adibito a fisso (fig.12 e 13).

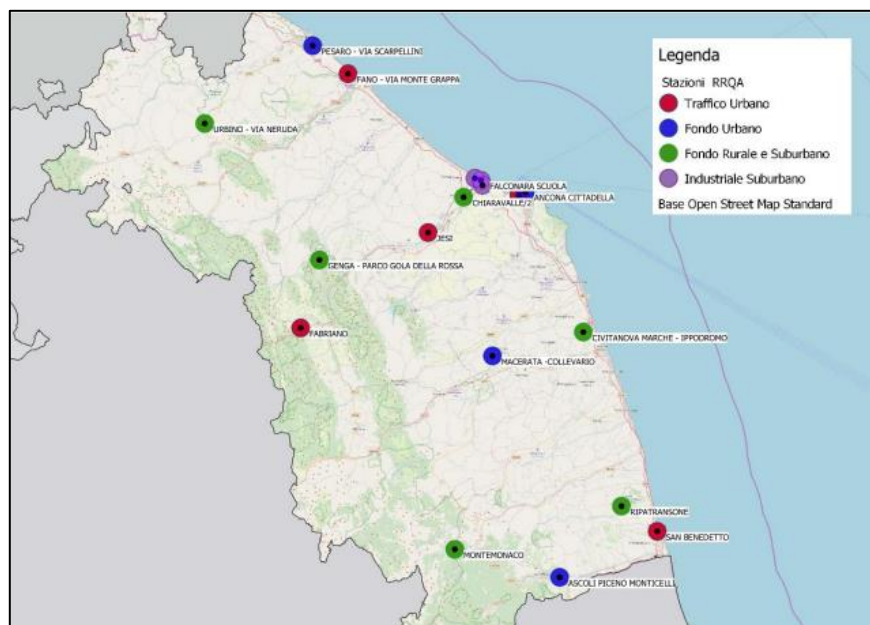


Fig.12: Ubicazione delle stazioni di monitoraggio della qualità dell'aria.

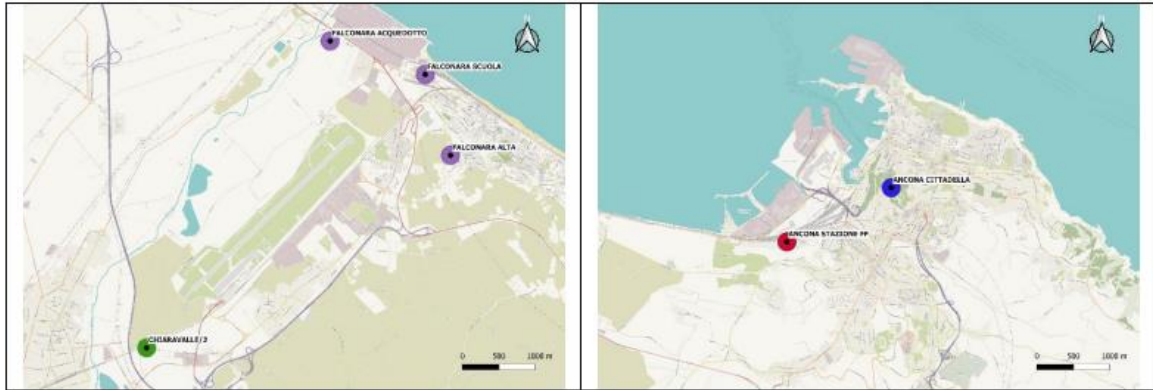


Fig.13: Stazioni di monitoraggio della qualità dell'aria: a) Zoom su Falconara M.ma e Chiaravalle; b) Zoom su Ancona.

Nelle stazioni della RRQA considerate complessivamente è stata determinata la tendenza temporale di lungo periodo delle concentrazioni di PM10, PM2,5, NO2 e O3 nel decennio che va dal 2012 al 2021.

La tendenza di lungo periodo con la relativa significatività statistica (valore p/p-value) è stata stimata utilizzando un modello di regressione lineare multilivello ad intercetta casuale, che tiene conto della correlazione esistente tra le concentrazioni misurate nella stessa stazione di monitoraggio, dell'influenza stagionale (estate: aprile-settembre; inverno: ottobre-marzo) e della tipologia di stazione (traffico urbano, fondo urbano, fondo rurale e suburbano, industriale suburbano). Un risultato statisticamente non significativo indica che la variazione osservata è attribuibile al caso e pertanto può essere considerata nulla.

Il trend decennale, dal 2012 al 2021, risulta in significativa riduzione per il PM10, PM2,5 e NO2, a differenza dell'ozono per il quale risulta una tendenza all'aumento.

Nel 2021, il PM10, PM2,5 e NO2 mostrano mediamente una riduzione delle concentrazioni rispettivamente, del 34%, 27% e 35% mentre l'ozono presenta un incremento del 6%.

Per quanto riguarda il quadro dello stato della qualità dell'aria ambiente delle Marche per il 2021, ottenuto dall'analisi dei dati forniti dalla rete regionale, avremo che per il PM10 (fig.14 e 15): il limite massimo pari a 35 superamenti annui del valore medio giornaliero di $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ è stato rispettato da tutte le stazioni di monitoraggio come è stato sempre rispettato anche il limite del valore medio annuo di $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

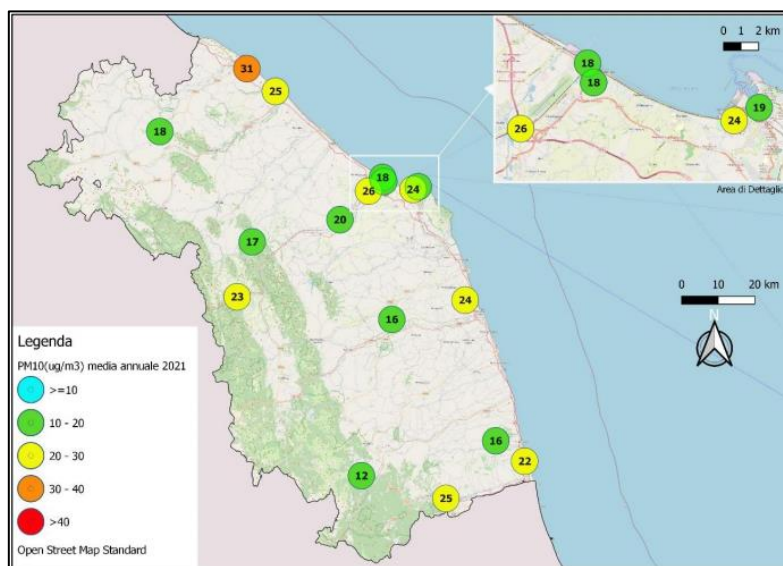


Fig.14: PM10 media annuale 2021

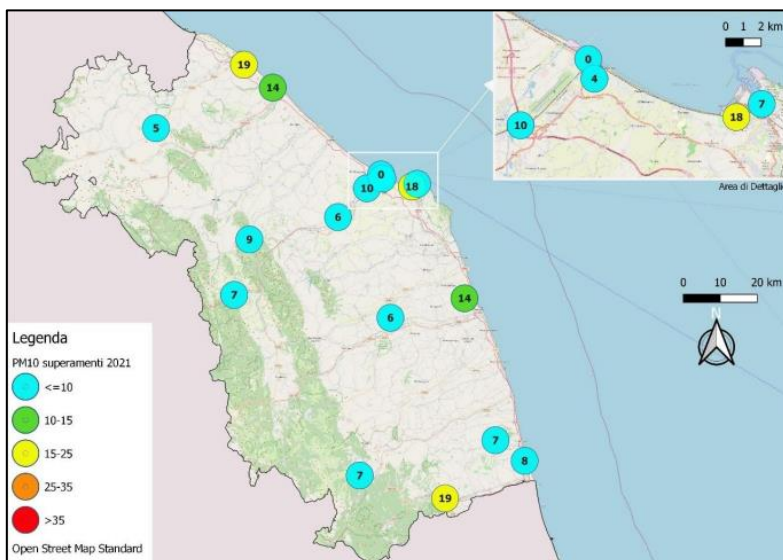


Fig.15: PM10 superamenti annui 2021

Come per il PM10 anche per gli altri indicatori PM2,5, NO2, NOx, SO2, CO, Benzene e Benzo(a)pirene e metalli.

La criticità è confermata per l'ozono soprattutto nei mesi estivi nelle stazioni di Ascoli e Montemonaco.

Dall'analisi degli indicatori sui dati di concentrazione di PM10, misurati nel 2021, e di cui si riportano anche i valori degli anni precedenti, è possibile esprimere alcune considerazioni, scaturite dal confronto con i valori limite di legge (allegato XI D.Lgs. 155/2010 e s.m.i.) che per il PM10 rappresentano il numero delle medie giornaliere con concentrazione superiore a 50 µg/m³ e alla media annuale.

Per una visione globale, i risultati ottenuti dal monitoraggio, nel periodo 2015-2021 sono riassunti nel grafico sottostante (fig.16), in cui sono riportate il numero delle stazioni di monitoraggio della RRQA che rispettano/non rispettano (verde/rosso) i limiti normativi per la protezione della salute secondo il D. Lgs.155/2010 per i parametri PM10 ed NO2, presso le stazioni di monitoraggio della RRQA (Report ARPAM, 2015-2021).

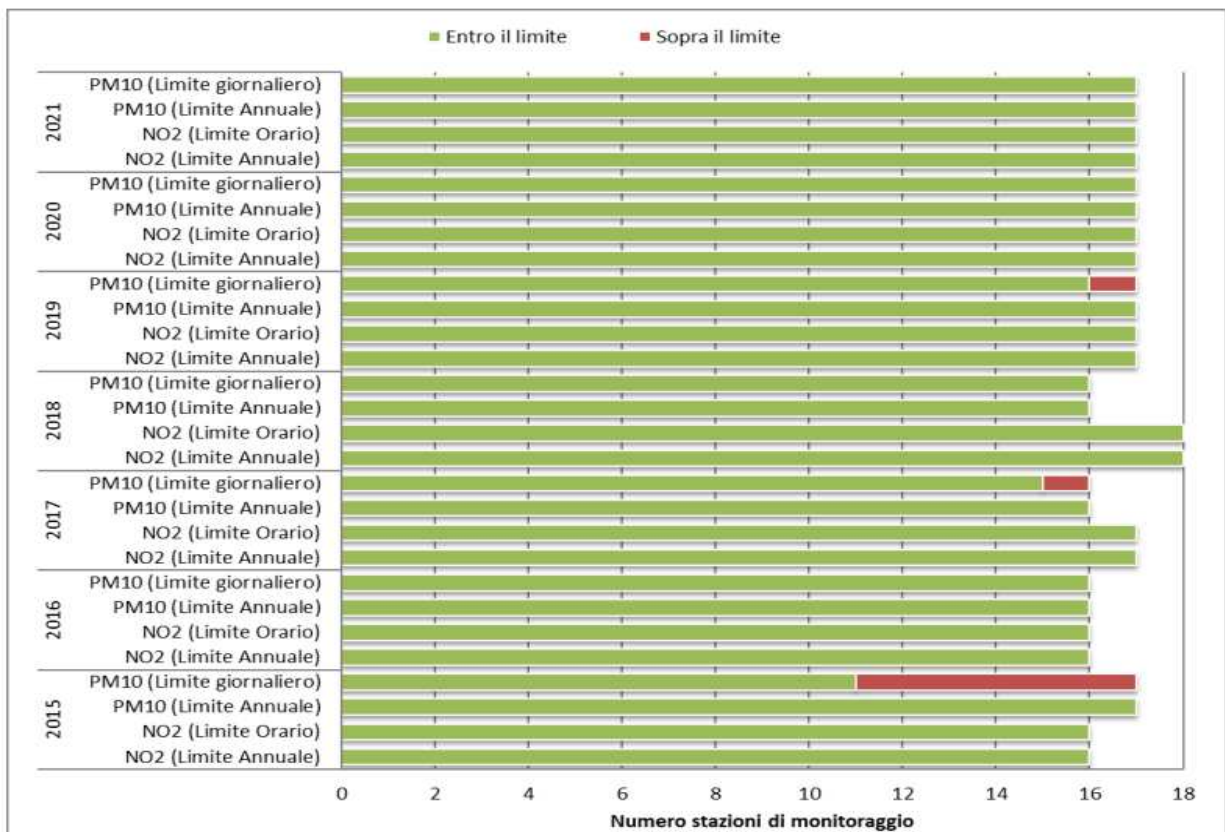


Fig. 16: Numero di stazioni che rispettano/non rispettano i valori limite per la protezione della salute (D. Lgs.155/2010) per i parametri PM10 e NO2.

Dalla seguente tabella (17a) e relativi grafici (17b e 17c), possiamo riscontrare un aumento del PM10 negli anni precedenti al 2021, rispettivamente nel 2015, 2017 e 2019 nelle zone però di Jesi, Pesaro, Fano e Falconara.

PM10																
Stazione	Tipo stazione	Tipo zona	Media del periodo (V.L. annuo 40 µg/m³)							N° Superamenti (V.L. 50 µg/m³ da non superare più di 35 volte anno)						
			2021	2020	2019	2018	2017	2016	2015	2021	2020	2019	2018	2017	2016	2015
Fabriano	T	U	23	24	26	24	20	24	19	7	7	9	3	6	11	5
Fano Via Montegr.	T	U	25	26	29	30	29	28	32	14	34	36	29	35	33	40
Jesi	T	U	20	25	27	30	26	29	37	6	18	20	20	15	25	57
San Benedetto	T	U	22	22	26	31	23	25	29	8	11	23	26	9	25	38
Ancona Stazione FF (*)	T	U	24	26	24	19	\	\	\	18	26	8	4	\	\	\
Ancona Cittadella	F	U	19	22	21	26	25	26	30	7	18	7	18	18	13	19
Ascoli Monticelli	F	U	25	22	24	20	19	19	22	19	7	13	2	0	0	5
Macerata Colleverario	F	U	16	16	19	17	16	16	17	6	1	2	0	0	0	1
Pesaro Via Scarpellini	F	U	31	23	33	26	31	31	34	19	29	33	20	38	35	45
Civitanova Ippodromo	F	R	24	19	15	17	18	16	19	14	3	0	0	0	0	3
Genga - Parco G.	F	R	17	21	22	20	14	15	17	9	3	5	2	0	0	1
Montemonaco	F	R	12	11	17	15	9	9	9	7	3	3	1	0	1	0
Ripatransone	F	R	16	20	19	21	12	13	15	7	4	1	0	0	0	0
Chiaravalle/2	F	S	26	26	26	25	23	24	29	10	18	15	4	10	5	27
Urbino - Via Neruda (**)	F	S	18	16	17	20	21	23	21	5	6	1	6	9	8	4
Falconara Alta	I	S	18	21	24	24	22	24	28	4	12	13	9	16	23	21
Falconara Scuola	I	S	18	23	24	25	24	28	34	0	10	6	17	19	27	49

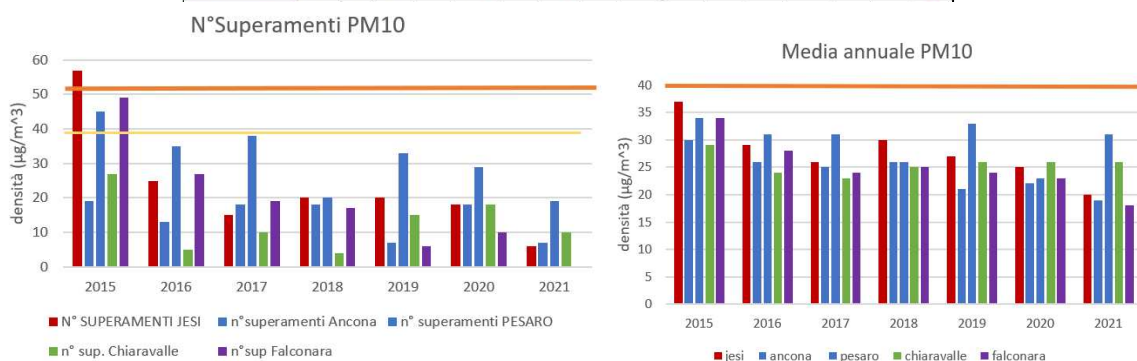


Fig.17: (a) Valori in tabella di PM10 anni 2015-2021; (b) Grafico n°superamenti di PM10; (c) Media annuale PM10.

Quindi per quanto riguarda la concentrazione media registrata nelle sole stazioni di traffico è stata pari a 23 µg/m³, facendo registrare una leggera diminuzione rispetto agli anni precedenti.

Se andiamo invece a vedere il numero di superamenti della media giornaliera di 50 µg/m³ di PM10, che sono stati registrati nel 2021, il limite di 35 superamenti annuali indicato dal D.Lgs. 155/2010 non è stato superato da nessuna stazione.

Per il PM2.5 gli indicatori elaborati sui dati misurati nel 2021 sono stati confrontati con il valore limite di legge (allegato XI del D.Lgs. 155/2010 e s.m.i.) che per il PM2.5 corrisponde alla media annuale di 25µg/m³.

		PM2.5								
Stazione	Tipo stazione	Tipo zona	Media annuale (Valore Limite 25 µg/m ³)							
			2021	2020	2019	2018	2017	2016	2015	
Fabriano	T	U	14	13	13	14	11	11	11	
Fano (**)	T	U	14	\	\	\	\	\	\	
Ancona Stazione (*)	T	U	13	14	14	14	\	\	\	
Ancona Cittadella	F	U	12	14	14	13	15	14	17	
Ascoli Monticelli	F	U	12	13	14	12	13	13	13	
Macerata Collevario (***)	F	U	9	8	10	10	9	\	\	
Pesaro Via Scarpellini	F	U	13	13	17	16	17	17	16	
Civitanova Ippodromo	F	R	7	6	10	11	11	10	12	
Genga - Parco Gola della Rossa Via	F	R	7	9	10	12	8	8	11	
Ripatransone	F	R	8	11	10	11	\	\	\	
Chiaravalle/2	F	S	16	15	14	13	12	13	15	
Falconara Scuola	I	S	12	14	15	14	13	18	19	

(*) Laboratorio Mobile attrezzato come stazione fissa attivo dal 27/04/2018
 (**) Nella Stazione di Fano il polverometro per PM2.5 è in funzione dal 22/04/2021
 (***) Nella stazione di Macerata il polverometro per PM2.5 è stato installato nel 2017

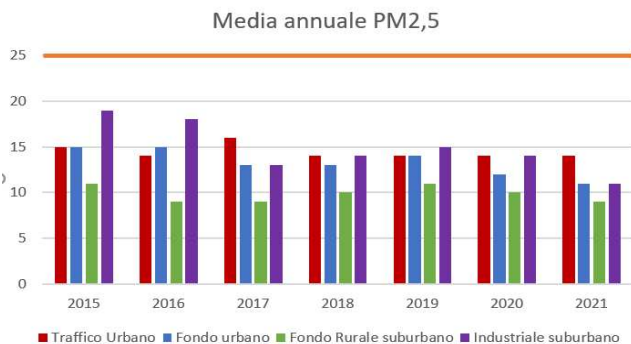


Fig.18: (a)Valori di PM2,5 anni 2015-2021; (b) Grafico media annuale PM10

Il limite normativo sulla media annuale nel 2021 è stato ampiamente rispettato in tutte le stazioni della Rete Regionale, da quelle da traffico alle industriali fino a quelle da fondo, sia urbane che rurali, come si può vedere nel grafico (fig18b).

I valori medi più alti di PM2.5 nel 2021 sono stati registrati dalla stazione di fondo suburbano di Chiaravalle/2, con un valore medio di 16 µg/m³, seguita dalle stazioni di Fabriano e Fano a pari merito con una media annua pari a 14 µg/m³. I valori di PM2.5, nel confronto con i dati degli anni precedenti, mostrano una situazione abbastanza stabile.

PM2.5 – valore medio (µg/m ³)	Anno 2021	Anno 2020	Anno 2019	Anno 2018	Anno 2017	Anno 2016	Anno 2015
Stazioni di tipo traffico urbano	14	14	14	14	16	14	15
Stazioni di tipo fondo urbano	11	12	14	13	13	15	15
Stazioni di tipo fondo rurale e suburbano	9	10	11	10	9	9	11
Stazioni di tipo industriale suburbano	11	14	15	14	13	18	19
Media regionale (tutte le stazioni)	11	11	12	12	12	13	14

Fig.19: Valori di PM2,5 anni 2015-2021, riepilogativo.

La concentrazione media registrata nelle sole stazioni di traffico è stata pari a 14 µg/m³ (fig.19).

3.3 REGIONE TOSCANA

Come per le Marche, anche per la regione Toscana, sempre attraverso la normativa, si è iniziato a voler migliorare sensibilmente la qualità dell'aria (basti pensare alle normative sulle emissioni delle centrali elettriche, degli impianti industriali e dei veicoli a motore) e nei prossimi decenni si prevedono ulteriori progressi. Considerando sempre il materiale particolato fine (PM10 e PM2,5), gli ossidi di azoto (NO2 in particolare) e l'ozono troposferico - i problemi, tuttavia, rimangono, e ogni anno incidono sulla salute di molte persone ed impongono l'adozione di ulteriori provvedimenti specifici.

I problemi si concentrano nelle aree urbane dove si registra la concentrazione di molte fonti inquinanti (impianti di riscaldamento degli edifici, trasporti ed attività industriali) e dove sono presenti particolari condizioni climatiche e geografiche: in tal caso sono le autorità locali e regionali responsabili che devono intervenire opportunamente per ridurre le emissioni.

Per quanto riguarda i livelli di PM10 misurati in Toscana, questi indicano che in alcune zone del territorio l'obiettivo di rispettare il valore limite entrato in vigore il 1° gennaio 2005³ è ancora da raggiungere, limitatamente al numero massimo dei superamenti annuali (35) della concentrazione media giornaliera di 50 µg/m³, mentre, per quanto riguarda il valore limite della media annuale di 40 µg/m³, questo è sostanzialmente rispettato in tutto il territorio regionale. Il quadro di riferimento regionale è costituito dalla L.R. 9/2010 "Norme per la tutela della qualità dell'aria ambiente" che, all'art. 9, prevede il Piano regionale per la qualità dell'aria ambiente (PRQA) quale strumento di programmazione con cui la Regione, in attuazione delle strategie e degli indirizzi definiti nel

³ Norme per il governo del territorio - Approvata dal consiglio regionale nella seduta del 21 dicembre 2004; in pubblicazione sul BURT n. 2 del 12 gennaio 2005

Programma regionale di sviluppo (PRS) di cui alla L.R. 1/2015 (Disposizioni in materia di programmazione regionale), e in accordo con il Piano ambientale ed energetico regionale (PAER) di cui alla L.R. 14/2007 (Istituzione del Piano ambientale ed energetico regionale), persegue una strategia regionale integrata per la tutela della qualità dell'aria ambiente e per la riduzione delle emissioni dei gas climalteranti, con riferimento alla zonizzazione e classificazione del territorio e alla valutazione della qualità dell'aria.

Esistono alcune consapevolezza sulle carenze conoscitive circa il PM10 che costituisce la frazione del materiale particolato di interesse, principalmente per le implicazioni igienico-sanitarie, riguardanti, in particolare:

- i meccanismi di formazione;
- la composizione qualitativa;
- le origini (sorgenti di emissione);
- i tempi di permanenza in atmosfera;
- la solubilità;
- i processi di rimozione;
- le scale spaziali caratteristiche.

La componente secondaria del PM10 è, in genere, un contributo importante ai livelli di concentrazione, ed ha la caratteristica di non poter essere controllato localmente.

Evidenze sperimentali indicano che:

- nelle aree urbane la componente di origine secondaria del PM10 può arrivare fino al 30-40% in massa;
- una efficace politica di riduzione delle concentrazioni del PM10 e, ancor di più, del PM2,5 deve non solo limitare le emissioni di PM10 primario, ma anche quelle dei precursori del secondario, cioè in particolare le emissioni di SO₂, NO_x, COV e NH₃;

– sulla base degli effetti sanitari, il particolato fine PM10 e PM2,5 deve essere considerato un inquinante diverso rispetto al particolato grossolano.

3.3.1 Progetti su inquinamento atmosferico: PATOS

Per acquisire queste ulteriori conoscenze la Regione Toscana Settore “Qualità dell’aria, rischi industriali, prevenzione e riduzione integrata dell’inquinamento”, ha promosso il progetto regionale PATOS (Particolato Atmosferico in TOScana).

Questo progetto, realizzato in collaborazione con le Università di Firenze e Pisa, l’ARPAT (Agenzia Regionale per la Protezione Ambientale della Toscana), il LaMMA (Laboratorio di Meteorologia e Modellistica Ambientale), l’Istituto Superiore di Sanità e la Techne-Consulting s.r.l., ha lo scopo di fornire elementi conoscitivi, affidabili e scientificamente rigorosi sia sulla distribuzione spaziale del livello di concentrazione del PM10 e del PM2,5, in particolare nelle zone della Toscana dove si sono verificati vari superamenti dei parametri previsti dalla normativa, sia sulla composizione e l’origine del particolato (sostanze inorganiche ed organiche, natura primaria, secondaria, e terziaria, entità e natura dei contributi naturali, identificazioni delle sorgenti, ecc.).

Gli obiettivi:

- determinare la composizione ed origine del PM10 nelle varie aree della regione (natura primaria, secondaria e terziaria, identificazione delle sorgenti);
- determinare il range dei livelli di concentrazione di fondo (background) regionali;
- determinare le “possibili” correlazioni tra le condizioni meteorologiche e l’accadimento, la persistenza e la spazialità di episodi con elevate concentrazioni di PM10;

- ottenere informazioni sul PM10 secondario, la sua formazione ed origine (es. trasporto e trasformazione da sorgenti puntiformi importanti per SO_x e NO_x)
- conoscere la distribuzione spaziale dei livelli di concentrazione di PM10 in aree rappresentative della regione ed in particolare dove si hanno situazioni di superamento dei valori limite;
- approfondire, nel limite delle risorse disponibili ed a seguito dell'ottenimento delle informazioni precedenti, ovvero in collegamento con altre iniziative di ricerca, le conoscenze circa la frazione ultrafini, PM_{2,5}, PM₁ e PUF del PM10, in particolare sulla loro composizione ed origine.

La scelta delle stazioni di campionamento è stata strettamente legata alle finalità del progetto, tese ad ottenere elementi conoscitivi sulla distribuzione spaziale dei livelli di concentrazione di PM10 in aree rappresentative della regione e risalire alla conoscenza della composizione ed origine di tali polveri (natura primaria, secondaria e terziaria). La finalità ultima è stata quella di identificare le sorgenti del PM10 (tipologie), anche di tipo naturale, prevalenti in aree urbane e rurali per impostare le azioni di risanamento, determinare le correlazioni tra condizioni meteorologiche ed accadimenti di episodi acuti, identificare i rischi igienicosanitari, predisporre piani e programmi coerenti con l'analisi delle situazioni. Alcuni aspetti legati alla logistica ed alla fattibilità dell'esecuzione del progetto hanno portato alla decisione di collocare i campionatori nell'immediata vicinanza delle stazioni della rete di rilevamento atmosferico gestita da ARPAT.

Questi aspetti riguardano:

1. la necessità di avere una conoscenza pregressa del sito candidato, quindi avere a disposizione dei dati di qualità dell'aria che potessero compiutamente descrivere la situazione d'inquinamento della zona da scegliere;

2. la possibilità di confrontare i dati ottenuti con il metodo gravimetrico manuale (metodica ufficiale secondo il DM 60/02) con i dati di PM10 ottenuti in parallelo dagli strumenti della rete di rilevamento in continuo della qualità dell'aria, che utilizza strumentazione automatica;

3. il fatto che i siti già utilizzati per le stazioni di rilevamento della rete possedessero i requisiti necessari in termini di accessibilità in sicurezza, fornitura di corrente elettrica e protezione della strumentazione da installare.

Nell'individuazione puntuale dei siti, sono stati valutati anche i seguenti fattori:

4. rappresentatività dei siti di campionamento nei confronti di tutte le zone oggetto dei piani di risanamento (fig.20), secondo la classificazione del territorio regionale (DGRT n.1325/03) e dove sono indicate le stazioni di misura (figura 21):

- Zona di risanamento Livornese, Pisana e del cuoio,
- Zona di risanamento della Piana Lucchese,
- Zona di risanamento dell'area metropolitana di Firenze-Prato-Pistoia e del Comprensorio Empolese,
- Zona di risanamento comunale.

Zona di risanamento (DGRT 1325/03)	Tipo di stazione (Decisione 2001/752/CE)	Identificazione sito
Livornese, Pisana e del cuoio	Periferica-Fondo	Livorno - Maurogordato
Piana Lucchese	Urbana-Fondo	Lucca - Capannori
Firenze-Prato-Pistoia e del Comprensorio Empolese	Urbana-Fondo	Firenze - Bassi
	Urbana-traffico	Prato - Strozzi
	Rurale-Fondo	Pistoia - Montale (*)
Comunale	Urbana-traffico	Arezzo - Fiorentina
	Urbana-Fondo	Grosseto - URSS

Fig.20: Elenco stazioni selezionate per il Progetto PATOS



Fig.21: Ubicazione dei siti di campionamento scelti nel progetto PATOS.

5. rappresentatività dei livelli di concentrazione a cui è esposta la maggior parte della popolazione. Per tale motivo è stata data rilevanza alle stazioni ubicate in zone classificate come “fondo”, in base alla Decisione 2001/752/CE.
6. indicazioni riguardo all’esposizione a cui è sottoposta la popolazione in prossimità.

3.3.2 Piano di monitoraggio ambientale: Comune Livorno - Pisa

Nella campagna di misurazione, si considera il comune di Livorno-Pisa come zona portuale e vengono analizzati i dati di qualità dell’aria e nello specifico l’inquinante PM10 e PM2,5.

La procedura di analisi ha previsto le seguenti fasi: utilizzo dei dati della concentrazione media giornaliera di inquinante ($[PM_{10}]$ e $[PM_{2,5}] = \mu g/m^3$) e calcolo dei parametri di statistica descrittiva (medie, massimi, minimi, percentili, etc.) e del numero di superamenti dei valori limite, per:

- caratterizzare la variabilità delle misure nella singola stazione su scala annuale
- la verifica dei parametri di qualità dell'aria
- la valutazione, su scala mensile, della variabilità stagionale delle misure (utilizzando parametri medi mensili sia di concentrazione che di valore della deviazione standard, etc.).
- studio delle correlazioni tra le varie centraline presenti nella rete regionale (regressione lineare e coeff. Concordanza di Lin).
- applicazione di tecniche di statistica multivariata (analisi dei gruppi), per valutare le correlazioni tra i dati di concentrazione misurati.

Dalla campagna di analisi, effettuata nel 2021 da parte di ARPAT con risultati del monitoraggio indicano che le concentrazioni di polveri PM10 e PM2,5 sono state inferiori ai limiti di normativa, con valori poco più elevati rispetto a quelli del fondo urbano registrate nel periodo dalle stazioni della Zona Costiera della rete regionale di monitoraggio della qualità dell'aria.

La rete di monitoraggio è stata divisa in più stazioni (fig.21) che sono classificate sulla base del D.Lgs 155/2010 con i seguenti limiti di riferimento per il PM10 (fig.22) e il PM2,5 (fig.23):

Valore di riferimento	Periodo di mediazione	Valori limite
Valore limite sulle 24 ore per la protezione della salute umana	24 ore	50 µg/m ³ da non superare più di 35 volte per anno civile
Valore limite annuale per la protezione della salute umana	anno civile	40 µg/m ³

Fig.22-Particolato PM10: Limiti di riferimento (D.Lgs. 155/2010 all. XI e s.m.i.)

Valore di riferimento	Periodo di mediazione	Valori limite
Valore limite annuale per la protezione della salute umana	Anno civile	25 µg/m ³

Fig.23 -Particolato PM2,5: Limiti di riferimento (D.Lgs. 155/2010 all. XI ed all. XIV e s.m.i.)

Nel monitoraggio effettuato nella regione Toscana nel 2021, si è visto come la criticità più evidente si conferma nel rispetto dei valori obiettivo per l'ozono che, nonostante negli ultimi due anni siano stati registrati valori nettamente inferiori alle stagioni precedenti, non sono attualmente raggiunti in gran parte del territorio.

Si confermano inoltre alcune criticità per PM10 e NO2 per i quali il rispetto dei limiti non è ancora stato pienamente raggiunto. I limiti a livello regionale per il PM10 corrispondono ad un limite di 35 giorni di superamento del valore medio giornaliero di 50 µg/m³ è stato rispettato in tutti i siti eccetto in una stazione di fondo della Zona del Valdarno Pisano e Piana Lucchese, mentre il limite di 40 µg/m³ come media annuale è rispettato in tutte le stazioni.

Come prima cosa viene creata una struttura riguardante la Rete Regionale di rilevamento della Qualità dell'Aria della Toscana, che viene poi modificata nel corso degli anni a partire da quella descritta dall'allegato III della DGRT 1025/2010, fino alla struttura dell'allegato C della Delibera n. 964 del 12 ottobre 2015.

Nel corso del 2021 la Regione Toscana ha rivalutato la configurazione della RRQA alla luce dei risultati del monitoraggio degli ultimi 5 anni apportando alcune modifiche che saranno però effettive a partire dal 2022. Nel 2021, le 37 le stazioni previste dalla Delibera n. 964/2015, come illustrato in fig.24, hanno funzionato a pieno regime, monitorando i parametri stabiliti.

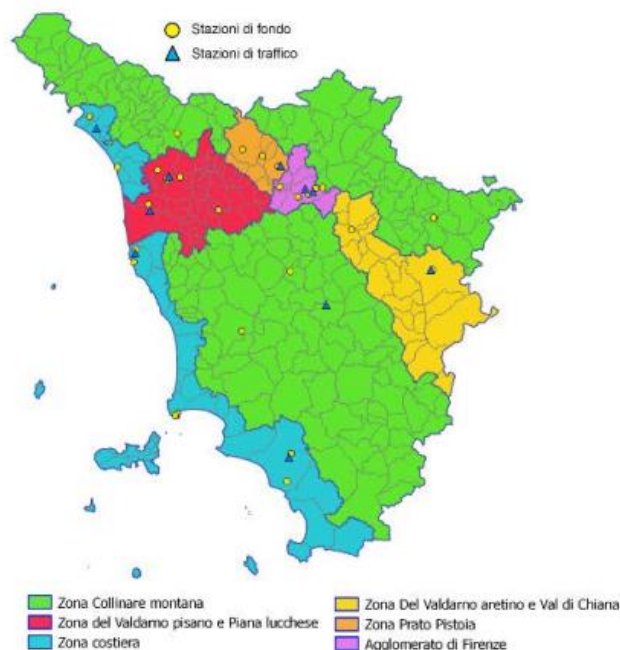


Fig.24: Stazioni previste dalla delibera

I metodi utilizzati per il campionamento e l'analisi dei vari parametri rilevati, tramite l'apposita strumentazione, elencati secondo gli allegati del D.Lgs. 155/2010, attraverso la filtrazione per 24 ore di un volume noto di aria su apposite membrane. Per quanto riguarda il PM10, preso come oggetto di studio, vediamo che i valori limite di legge per esso, inserito nell'allegato XI del D.Lgs. 155/2010 e s.m.i, sono stati confrontati con gli indicatori elaborati sui valori giornalieri del 2021.

Il valore limite relativo all'indicatore della media annuale di PM10 di $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$, e come avviene da diversi anni consecutivi, questo valore è stato rispettato in tutte le stazioni della Rete Regionale anche nel 2021, come si evince dalla tabella di seguito (fig.25).

Zona	Classif. Zona e stazione	Provincia	Comune	Nome stazione	N° medie giornaliere > 50 µg/m³	V.L.	Media annuale (µg/m³)	V.L. (µg/m³)
Agglomerato di Firenze	UF	FI	Firenze	FI-Boboli	5	35	17	40
	UF	FI	Firenze	FI-Bassi	4		18	
	UT	FI	Firenze	FI-Gramsci	7		22	
	UT	FI	Firenze	FI-Mosse	8		21	
	UF	FI	Scandicci	FI-Scandicci	8		19	
	UF	FI	Signa	FI-Signa	14		20	
Zona Prato Pistoia	UF	PO	Prato	PO-Roma	14		22	
	UT	PO	Prato	PO-Ferrucci	10		20	
	UF	PT	Pistoia	PT-Signorelli	8		19	
	SF	PT	Montale	PT-Montale	18		22	
Zona Valdarno aretino e Valdichiana	UF	AR	Arezzo	AR-Acropolis	1		17	
	UF	FI	Figline e Incisa Valdarno	FI-Figline	7		20	
	UT	AR	Arezzo	AR-Repubblica	10		22	
Zona costiera	UF	GR	Grosseto	GR-URSS	0		16	
	UT	GR	Grosseto	GR-Sonnino	0		23	
	UF	LI	Livorno	LI-Cappiello	0		16	
	UT	LI	Livorno	LI-Carducci	0		20	
	UF	LI	Livorno	LI-LaPira	0		17	
	SI	LI	Piombino	LI-Cotone	0		16	
	UF	LI	Piombino	LI-Parco VIII Marzo	0		18	
	UF	MS	Carrara	MS-Colombarotto	1		20	
	UT	MS	Massa	MS-MarinaVecchia	1		21	
	UF	LU	Viareggio	LU-Viareggio	11		24	
Zona Valdarno pisano e Piana lucchese	UF	LU	Capannori	LU-Capannori	44		29	
	UF	LU	Lucca	LU-San Concordio	13		23	
	UT	LU	Lucca	LU-Micheletto	19		26	
	UF	PI	Pisa	PI-Passi	4		19	
	UT	PI	Pisa	PI-Borghetto	5		22	
	SF	PI	Santa Croce sull'Arno	PI-Santa Croce	18		24	
Zona collinare e montana	SF	PI	Pomarance	PI-Montecerboli	0		11	
	R regF	AR	Chitignano	AR-Casa Stabbi	0	9		
	UF	SI	Poggibonsi	SI-Poggibonsi	0	18		
	UT	SI	Siena	SI-Bracci	0	17		
	UF	LU	Bagni di Lucca	LU-Fomoli	6	22		
Media annuale di PM10 complessiva della Rete Regionale (esclusa la Rreg F)							20,0	
Media annuale di PM10 stazioni di tipo fondo							19,7	
Media annuale di PM10 stazioni di tipo traffico							21,4	

Fig.25: Valori del PM10 nelle varie stazioni

Dai valori riportati in tabella, possiamo vedere che nella regione vengono rispettati i valori limite durante i vari campionamenti, ma l'unico valore evidenziato riguarda la zona nella Piana Lucchese (LU-Capannori), con 44 eventi giornalieri che hanno evidenziato un aumento e, quindi, un discostamento dal valore limite di legge.

Nelle varie stazioni posizionate nella zona costiera di Arezzo, Grosseto, Livorno, Massa e Carrara, si vede un range ottimale di medie giornaliere in

cui sono stati superati, con Livorno e Grosseto dove addirittura non viene indicato alcun giorno in cui vi è un superamento (fig.26).



Fig.26: Medie annuali di PM10 nel 2021

Come conclusioni inerenti al monitoraggio effettuati nel 2021, si è riscontrato che, come conferma la serie storica, vi è una situazione positiva per la Toscana.

L'unica sostanziale criticità riguarda l'O₃ e anche alcune criticità in casi particolari per il PM10 (nel caso di LU-Capannori) e per il NO₂ (nel caso di Firenze).

Per quanto riguarda la media annuale viene indicato un valore guida di 5 µg/m³ (pari al 20% del limite in vigore costantemente rispettato in tutto il territorio toscano), che nel 2021 è stato superato dalle medie annuali di tutte le stazioni di Rete Regionale, comprese quelle della zona costiera e della zona collinare e montana. (fig.27).

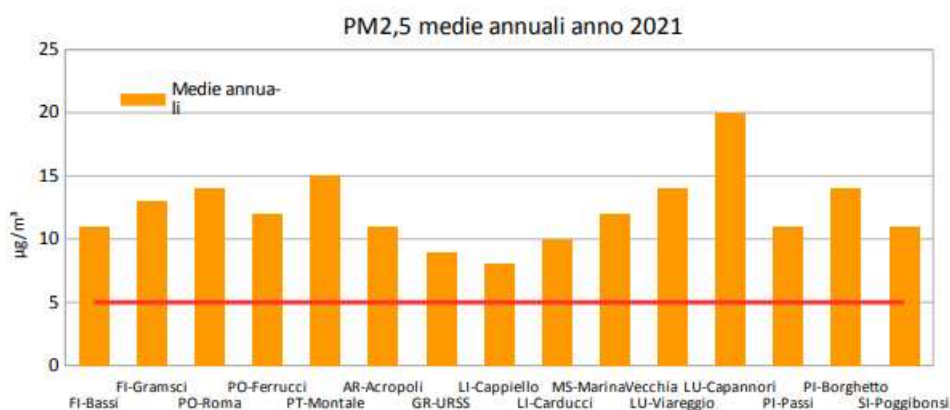


Fig.27: Medie annuali del PM2,5 nel 2021

In conclusione, dal monitoraggio viene evidenziato che dall'analisi degli episodi del 2021 vi è una stima di 25 principali giorni riferibili a contributi naturali di polveri per il materiale particolato PM10 in aria ambiente, per i quali le stazioni di Rete Regionale hanno registrato 107 casi di superamento del valore limite relativo della media giornaliera.

L'episodio più significativo si è verificato tra il 23 e il 27 febbraio. Durante questo periodo, presso la stazione di Ar-Casa Stabbi, sono stati registrati carichi giornalieri massimi di polvere fino a 45 µg/m³. Si ritiene che l'origine di questa polvere sia stata attribuita, attraverso l'uso di modelli di calcolo, a un contributo proveniente dal Nord Africa.

In media, i contributi giornalieri medi calcolati rappresentano il 70% (per la stazione di Pi-Montecerboli) e l'80% (per la stazione di Ar-Casa Stabbi) della concentrazione giornaliera di PM10. Il contributo medio giornaliero stimato per gli episodi di trasporto atmosferico si attesta a 30 µg/m³ per la stazione di Pi-Montecerboli e 32 µg/m³ per la stazione di Ar-Casa Stabbi.

La sottrazione dei contributi di polveri legati al trasporto atmosferico non ha comportato variazioni significative in relazione al rispetto del valore limite per

la media giornaliera di PM10. Tuttavia, si è riscontrata una non conformità solo nella stazione di misurazione di Lu-Capannori. (ARPAT, 2021).

Dal grafico in figura 28, emerge che le medie annuali delle concentrazioni di fondo di PM10 sono state pressoché simili in gran parte del territorio, eccetto che nella Zona del Valdarno pisano e Piana lucchese, dove la media di zona è nettamente superiore al resto del territorio toscano.

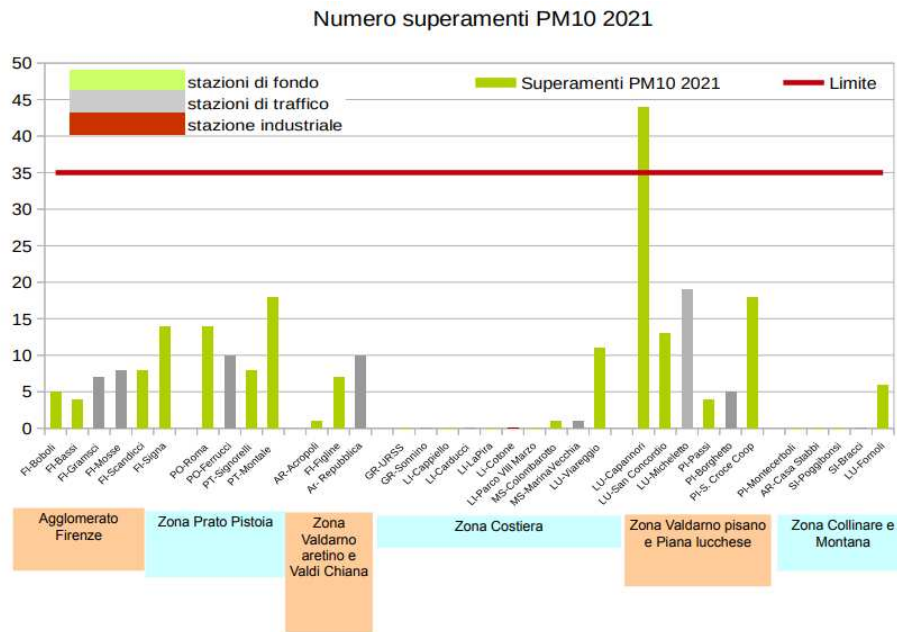


Fig.28: N° superamenti PM10 (2021)

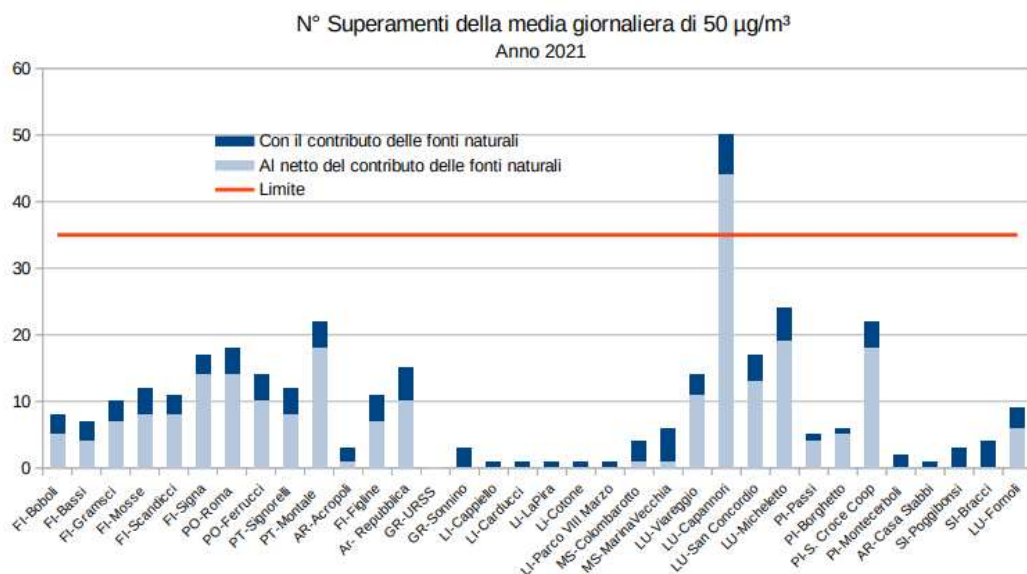


Fig.29: N° superamenti nel 2021

Come si evince dalla figura 29 e più nello specifico in figura 30 nel grafico viene rappresentato il numero massimo di 35 superamenti della media giornaliera di 50 µg/m³ di PM10 indicato dal D. Lgs.155/2010 è stato rispettato da tutte le stazioni delle Rete Regionale, con eccezione della sola stazione urbana di fondo di LU-Capannori, che ha registrato 44 superamenti, 9 in più di quanto previsto dalla normativa.

Numero superamenti registrati nel fondo per zona anno 2021
 Media superamenti per zona, massimo e minimo numero di superamenti per zona

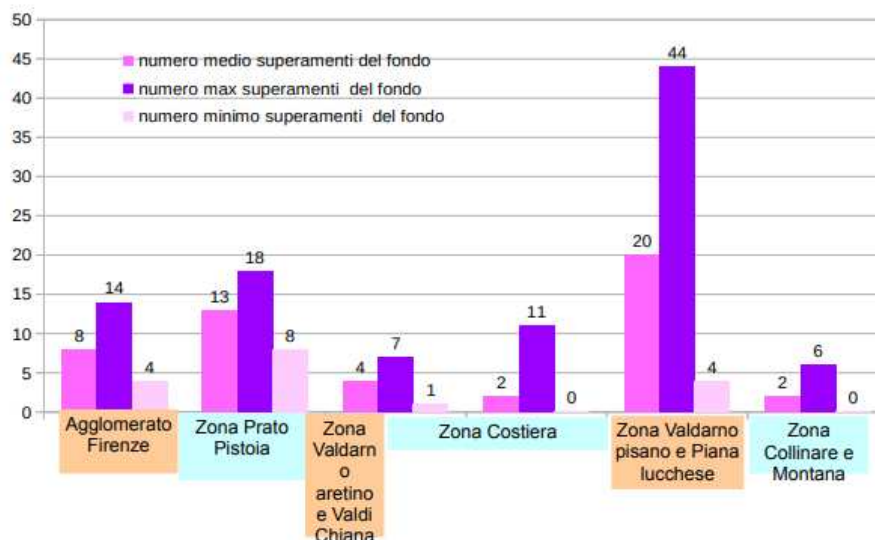


Fig.30: N° superamenti nelle stazioni di fondo

Esaminando la panoramica dei superamenti che si sono verificati in ogni zona si nota che:

- le stazioni della zona costiera, del Valdarno aretino e della Zona Collinare e Montana hanno registrato mediamente pochi superamenti;
- le stazioni dell'Agglomerato di Firenze e della zona di Prato e Pistoia hanno rilevato episodi di superamento in numero comunque molto contenuto;
- le stazioni della zona del Valdarno pisano e Piana lucchese hanno registrato mediamente il numero massimo di superamenti della regione, con media pari a 20, sulla quale influisce significativamente la stazione di LU-Capannori con 44 episodi (fig.30), senza la quale la media del fondo sarebbe pari a 12, in linea con altre zone interne della regione.

3.4 REGIONE LAZIO

Per quanto riguarda la regione Lazio, anche in questo caso secondo il D.lgs. 155/2010 con l'attuazione dell'art. 9 "Piani 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", istituendo un piano di qualità dell'aria che rappresenta lo strumento indicato dalla normativa, attraverso cui le Autorità competenti individuano misure che garantiscano il rispetto degli obiettivi di qualità dell'aria stabiliti al fine di evitare, prevenire o ridurre gli effetti nocivi dell'inquinamento atmosferico sulla salute umana e sull'ambiente.

Nel D.Lgs prima citato, vengono descritti i vari obiettivi attraverso degli allegati, tra cui nel XV allegato del cosiddetto decreto vengono descritte le misure necessarie ad agire sulle principali sorgenti di emissione aventi influenza sulle aree dove si è verificato il superamento e raggiungere i valori limite nei termini prescritti.

Le misure attuate dalla Regione Lazio negli ultimi anni, nei diversi settori che contribuiscono alle emissioni in atmosfera, hanno permesso di ottenere un significativo miglioramento della qualità dell'aria; tuttavia, permangono ancora alcune criticità legate al superamento degli standard di qualità dell'aria di particolato atmosferico (PM10 e PM2.5) e biossido di azoto (NO2).

È stato poi effettuato un aggiornamento in riferimento al PRQA con uno sguardo verso il 2021, in quanto con il persistere di alcune situazioni di criticità ambientale, si pone l'obiettivo di raggiungere livelli di qualità dell'aria ambiente volti a evitare, prevenire o ridurre gli effetti nocivi per la salute umana e per l'ambiente nel suo complesso e perseguire il mantenimento dei livelli di qualità dell'aria, laddove buona, e migliorarla negli altri casi.

3.4.1 Piano di Risanamento della Qualità dell'aria (PRQA): Porto di Civitavecchia

In attuazione della normativa comunitaria recepita dalla legislazione nazionale, il Piano di Risanamento Qualità dell'Aria (PRQA) si pone l'obiettivo di raggiungere livelli di qualità dell'aria ambiente volti a evitare, prevenire o ridurre gli effetti nocivi per la salute umana e per l'ambiente nel suo complesso e perseguire il mantenimento dei livelli di qualità dell'aria, laddove buona, e migliorarla negli altri casi individuando, descrivendo e valutando, nel Rapporto Ambientale, gli impatti significativi che l'attuazione del Piano medesimo potrebbe avere sull'ambiente e il patrimonio culturale.

Il Piano di Risanamento della Qualità dell'aria della Regione Lazio vigente approvato con Delibera del Consiglio Regionale n.66 del 10 dicembre 2009 stabilisce norme tese ad evitare, prevenire o ridurre gli effetti dannosi per la salute umana e per l'ambiente nel suo complesso, determinati dalla dispersione degli inquinanti in atmosfera. Il Piano è stato redatto, ai sensi d.lgs. 4 agosto 1999, n. 351, conformemente ai criteri stabiliti dal Decreto del Ministero dell'Ambiente e del Territorio 1° ottobre 2002, n. 261.

Il Piano di Risanamento della Qualità dell'aria della Regione Lazio stabilisce norme tese ad evitare, prevenire o ridurre gli effetti dannosi per la salute umana e per l'ambiente nel suo complesso, determinati dalla dispersione degli inquinanti in atmosfera, e deve essere rispettato e ci deve essere la partecipazione di tutti gli Enti Locali.

Il piano inoltre deve assicurare il controllo sugli impatti significativi sull'ambiente derivanti dall'attuazione del piano stesso, assicurando un coordinamento del presente piano e degli obiettivi che si prefigge con gli altri strumenti di pianificazione settoriale e con gli strumenti di pianificazione degli

enti locali; e secondo l'art. 11 in cui vengono individuati e coordinati i provvedimenti di attuazione, al fine di assicurare che gli stessi concorrano in modo efficace e programmato all'attuazione del piano, con una serie di prescrizioni e limitazioni.

Il Piano è il risultato di un articolato e complesso processo dinamico, previsto dalla normativa europea e nazionale, che prevede momenti conoscitivi, valutazione preliminare della qualità dell'aria, zonizzazione del territorio sulla base dei livelli degli inquinanti, sviluppo di modelli integrati finalizzati alla stima della concentrazione degli inquinanti in atmosfera, e quindi dei livelli di qualità dell'aria sull'intero territorio, nonché alla previsione di scenari futuri, individuazione dei principali fattori determinanti l'inquinamento, pianificazione degli interventi, infatti vengono stabilite delle misure preventive che serviranno a preservare la migliore qualità dell'aria ambiente compatibile con lo sviluppo sostenibile nelle aree in cui i valori limite e i valori obiettivo degli inquinanti sono rispettati. E inoltre, deve esserci un continuo aggiornamento in base al miglioramento delle conoscenze sullo stato di qualità dell'aria e sui processi ad essa connessi, creando un meccanismo di protezione di protezione per la salute umana e l'ambiente.

Il territorio regionale è suddiviso in 3 zone e un agglomerato(fig.31), come stabilito dalla zonizzazione di cui alla D.G.R. n. 119 del 15 marzo 2022, recante “Modifica ed integrazione della D.G.R. 305/2021 “Riesame della zonizzazione del territorio regionale ai fini della valutazione della qualità dell'aria ambiente del Lazio (artt. 3 e 4 del D.lgs.155/2010 e s.m.i) e aggiornamento della classificazione delle zone e Comuni ai fini della tutela della salute umana”.

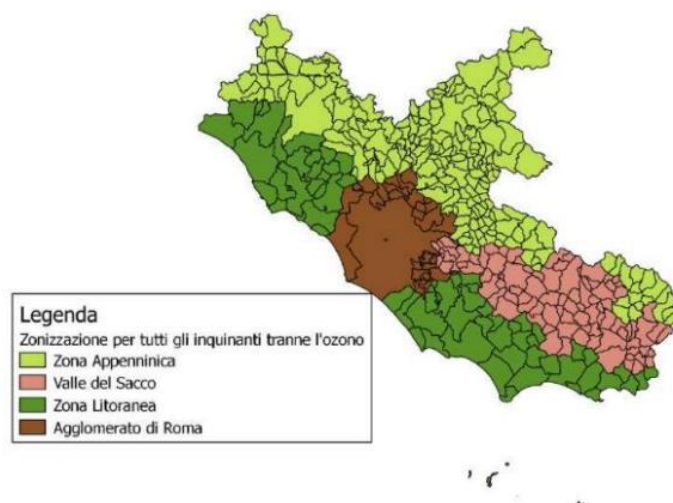


Fig.31: Zonizzazione per tutti gli inquinanti (eccetto l'ozono); Fonte: ARPA Lazio

La classificazione è stata effettuata per l'ozono rispetto all'obiettivo a lungo termine mentre per gli altri inquinante si basa sulle soglie di valutazione superiori e inferiori, così come già definito dalle direttive 2008/50/CE e 2004/107/CE e dall'art.4 del D.lgs. 155/2010.

Per quanto riguarda la rete di monitoraggio della qualità dell'aria in gestione all'ARPA Lazio, nel 2018, è costituita da 55 postazioni chimiche di misura, di cui 47 appartenenti al programma di valutazione della qualità dell'aria regionale (D.G.R. n.478/2016).

Le stazioni di misura sono dislocate nell'intero territorio regionale come di seguito indicato:

- 5 stazioni in zona Appenninica;
- 10 stazioni in zona Valle del Sacco;
- 18 stazioni nell'Agglomerato di Roma (di cui 2 non incluse nel Programma di Valutazione regionale);
- 22 stazioni in zona Litoranea (di cui 7 non incluse nel Programma di Valutazione regionale).

Nelle immagini seguenti, con le centraline chimiche di misura e la loro dotazione di analizzatori, con l'indicazione del comune in cui si trovano, della tipologia di zona in cui sono posizionate in tutto il territorio regionale, classificate come: U-urbana, S- suburbana, R- rurale, I-industriale e in base al tipo di inquinamento che monitorano: Background, T- traffico (fig.32) e nello specifico, in figura 33, si osservano le postazioni posizionate nella zona portuale di Civitavecchia.

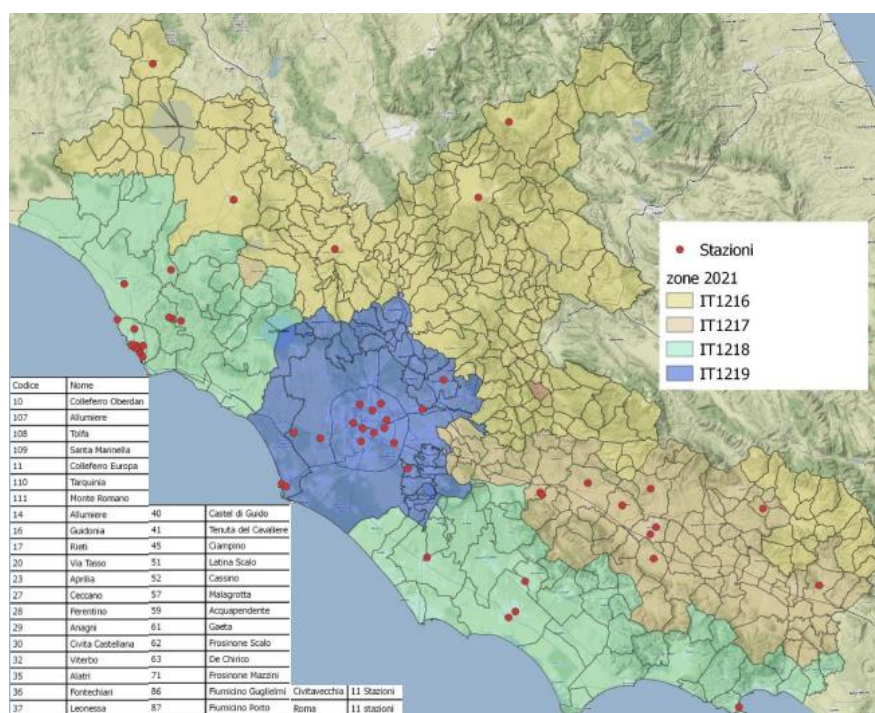


Fig.32: Stazioni in tutto il Lazio

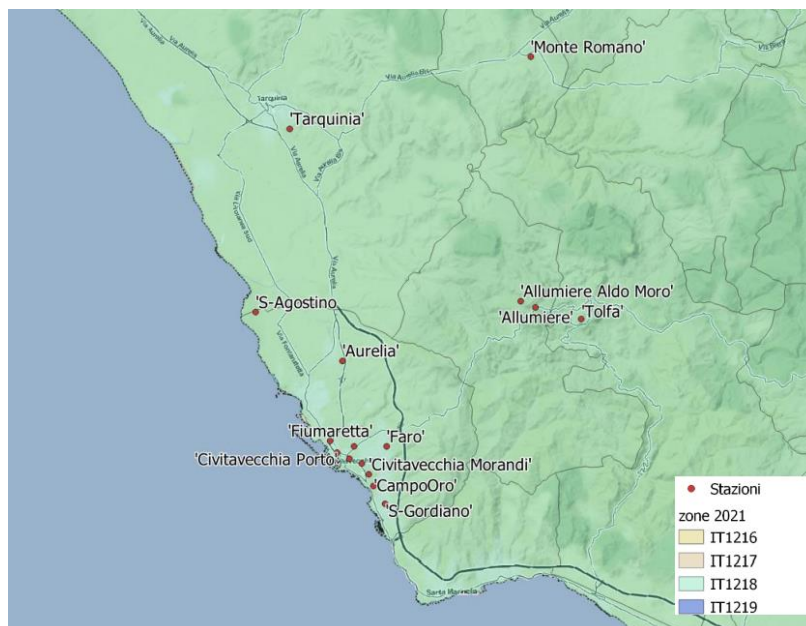


Fig.33: Stazioni situate in prossimità del Porto di Civitavecchia (Agglomerato di Roma)

Attraverso l'uso delle diverse centraline posizionate, vengono monitorati gli inquinanti imposti per legge dal D.Lgs 155/2010 che sono riferiti sempre ad un arco temporale pari ad un anno civile con i rispettivi valori limite, considerando i valori del PM10 e del PM2,5.

Nella tabella in figura 34, vengono elencati gli inquinanti monitorati con i relativi tempi di mediazione previsti e le unità di misura utilizzate. In particolare, per tutti gli inquinanti considerati, ad eccezione del particolato atmosferico, il periodo di mediazione è l'ora, mentre per il particolato atmosferico il tempo di mediazione è di 24h.

INQUINANTE	TEMPO DI MEDIAZIONE	UNITÀ DI MISURA
NO ₂	1 ora	µg/m ³
BENZENE	1 ora	µg/m ³
CO	1 ora	mg/m ³
O ₃	1 ora	µg/m ³
SO ₂	1 ora	µg/m ³
PM10	24 ore	µg/m ³
PM2.5	24 ore	µg/m ³

Fig.34: Tempi di misurazione dei rispettivi inquinanti

Per il PM_{2,5}, sia per il sito dell'Agglomerato di Roma e la zona della Valle del Sacco, nell'analisi di monitoraggio svolte nel 2021, i valori sono risultati inferiori ai rispettivi valori limite fissati per la tutela della salute umana, rispettando quelli riscontrati nella serie storica come in figura. (Fig.35)

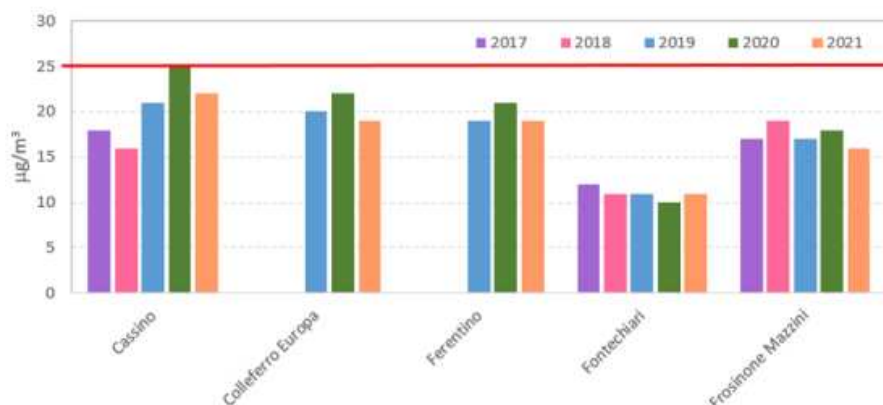


Fig.35: Media annua in µg/m³ di PM_{2.5} (Valle del Sacco)

Per quanto riguarda la zona delimitata dell'Agglomerato di Roma, vediamo in figura 36, delle criticità nei confronti del PM₁₀ solo nella stazione Tiburtina con dei superamenti pari a 37, con il numero massimo di superamenti del valore limite giornaliero di 50 µg/m³. Anche nella zona della Valle del Sacco, grafico in figura 37a, si evince un accumulo di PM₁₀ rappresenta la maggior criticità della zona.

La media annua non è mai superiore al valore limite consentito di 40 µg/m³ (fig.37b). Il numero di superamenti giornalieri è superiore ai 35 consentiti nel 30% delle stazioni della zona, con il valore più elevato registrato nella stazione di Ceccano con 71 superamenti. Nella zona Appenninica non sono stati riscontrati superamenti per quanto riguarda il PM₁₀, come anche nella zona Litoranea.

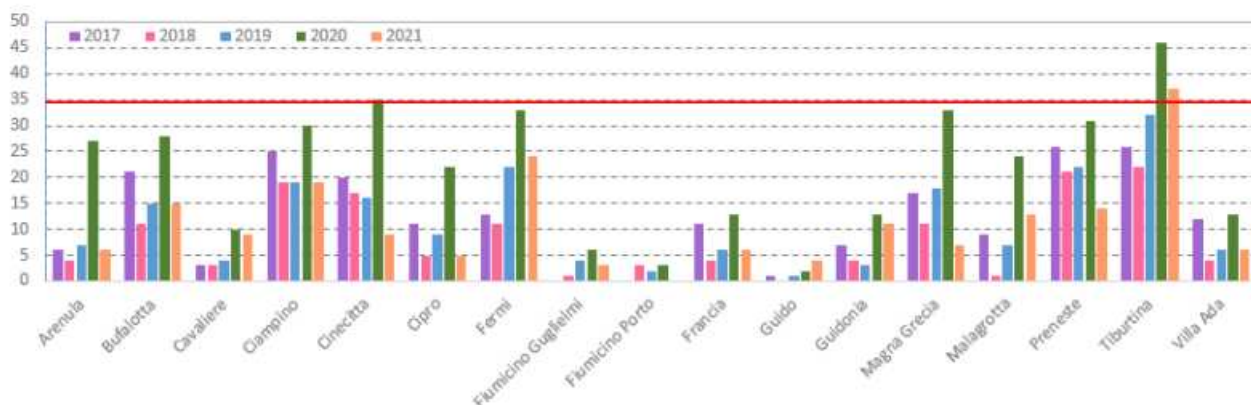
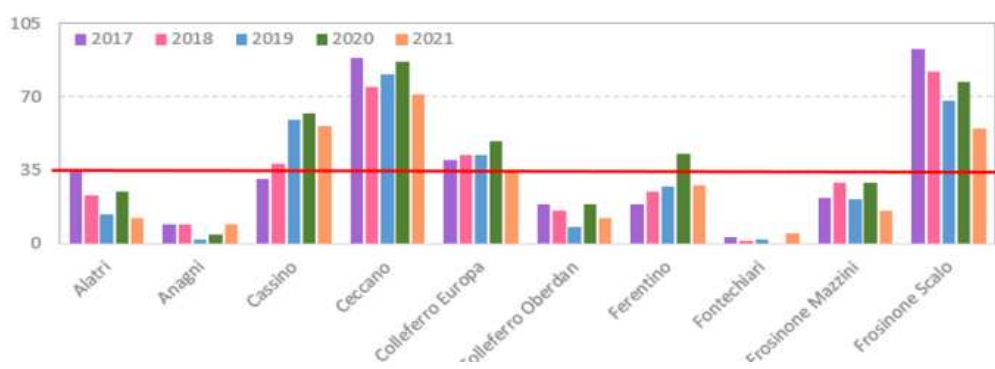
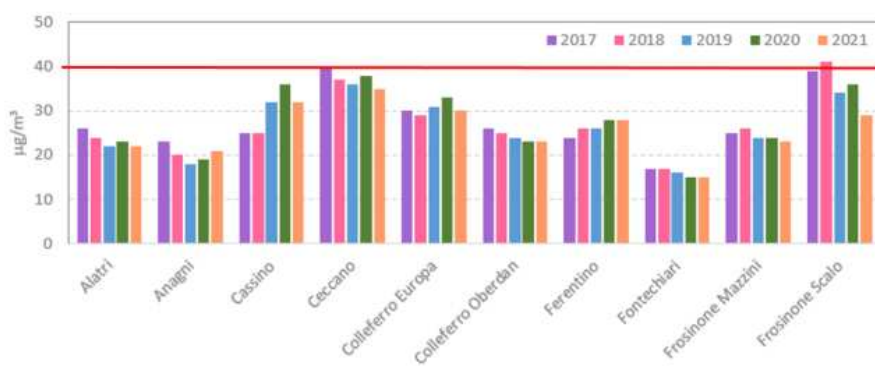


Fig.36: Numero di superamenti del valore limite giornaliero di PM10 (AGGLOMERATO DI ROMA)



(a)



(b)

Fig.37: (a) Numero di superamenti del valore limite giornaliero; (b) Media annua del PM10 (Zona della Valle del Sacco)

Per quanto riguarda la zona Litoranea, a differenza delle altre zone, vi è solo il superamento degli standard di ozono, e per esso non è facile stabilire una tendenza, in quanto la sua formazione è fortemente influenzata da caratteristiche meteorologiche molto variabili di anno in anno oltre che dalla

disponibilità in aria dei suoi precursori, tanto che la norma prevede degli standard mediati su più anni.

Come detto in precedenza per lo strato di ozono, di cui non si può avere una tendenza certa, tutti gli inquinanti, la loro concentrazione viene dalle condizioni meteorologiche e principalmente da tre fattori: precipitazione (frequenza e intensità), vento (intensità e direzione), turbolenza. Questi tre fattori determinano le azioni di dilavamento (fenomeni di washout, rainout, e mancato risollevarimento dal suolo), di dispersione meccanica, e la capacità dispersiva dell'atmosfera.

Prendendo come riferimento l'Agglomerato di Roma e la Valle del Sacco, attraverso un grafico mettendo in rapporto le precipitazioni cumulate, giorni ventosi e superi del PM10. La fig.38 rappresenta col rosso la distribuzione relativa all'Agglomerato di Roma, in verde quella relativa alla zona Valle del Sacco. È evidente come, in linea generale, i superamenti di PM10 più numerosi avvengano in corrispondenza di basse precipitazioni e basso numero di giorni ventosi (e viceversa), riflesso di una scarsa ventilazione associato a un diretto dilavamento dell'atmosfera.

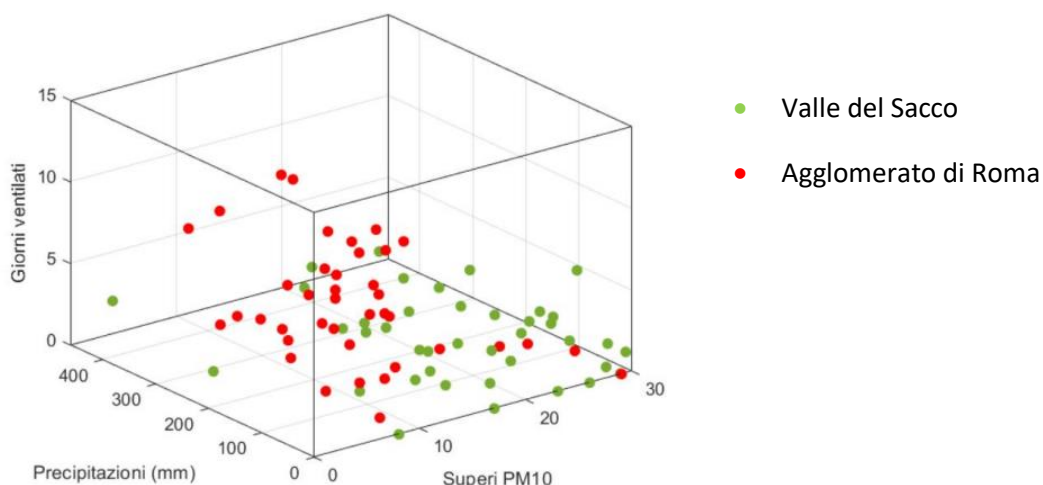


Fig.38: Grafico del PM10 in funzione delle precipitazioni, giorni ventosi e superi PM10

Questo sistema modellistico è stato istituito tramite l'ARPA Lazio, un sistema che riesce a determinare la distribuzione spaziale e temporale delle concentrazioni di inquinanti previsti dal D.Lgs. 155/2010, attraverso il quale si valutano le previsioni di inquinamento atmosferico considerando le 120 ore (5 giorni) della distribuzione spaziale della concentrazione dei principali inquinanti sul territorio regionale, con attenzione particolare in alcune aree, quella metropolitana di Roma e la Valle del Sacco, poiché più critiche per la qualità dell'aria, quella di Civitavecchia, per la concentrazione di sorgenti. E poi si va a valutare la ricostruzione dello stato della qualità dell'aria del giorno precedente, cioè quotidianamente il sistema modellistico fornisce, per il giorno precedente, le informazioni necessarie ai fini della verifica del rispetto dei valori limite imposti dal D.lgs. 155/2010 su tutto il territorio regionale a partire dai campi di concentrazione prodotti dalla catena modellistica integrati/combinati con le misure, sia fisse che indicative, mediante tecniche di assimilazione e tecniche statistiche di stima oggettiva.

Questo processo serve per comunicare ai cittadini le previsioni sull'inquinamento e agli enti competenti le informazioni per l'attuazione di eventuali azioni a tutela della salute umana necessarie nel caso di previsione di eventi acuti di inquinamento atmosferico.

In più attraverso questo sistema modellistico, si può ricostruire la concentrazione degli inquinanti in tempo quasi reale, con un ritardo di tre ore, detto ricostruzioni Near-Real Time; e per la valutazione della qualità dell'aria, usato quindi come verifica del rispetto dei limiti previsti dalla norma su tutto il territorio regionale.

Le emissioni riscontrate, partono dal database ISPRA 2015, a livello provinciale e sono suddivise per sorgenti diffuse e puntuali. Come primo passo le emissioni diffuse a livello provinciale sono state disaggregate a quello

comunale, utilizzando un approccio top-down grazie all'utilizzo di indicatori ausiliari, comunemente detti variabili surrogato o proxy, che si assumono rappresentativi della distribuzione spaziale delle attività responsabili delle emissioni. In questo modo le pressioni ambientali ad opera delle diverse attività risultano definite con maggior dettaglio ed assumono importanza diversa comune per comune.

Tra le cause principali, come fonti di inquinamento, tramite un'indagine ISTAT relativa al 2013 e poi in seguito nel 2015, si è visto come dai dati ISPRA vi è un alto uso di riscaldamento domestico che porta ad un aumento della combustione di biomasse con un incremento del 40%. Questo aumento viene visto più nelle zone montane, cioè fuori dai centri urbani verso Rieti e Frosinone; mentre per quanto riguarda i centri urbani la fonte di inquinamento più importante è il trasporto stradale con la diffusione di combustibili come il metano.

Il sistema modellistico, ha subito delle integrazioni, in quanto le concentrazioni dei diversi inquinanti, ricostruite dal sistema modellistico risultano essere in alcuni casi distanti dalle concentrazioni misurate dalla rete di monitoraggio della qualità dell'aria. Tali incongruenze sono legate a diversi fattori tra cui, la risoluzione spaziale adottata nelle ricostruzioni modellistiche e le emissioni con le quali viene alimentata la catena modellistica. Attraverso la risoluzione spaziale del dominio del calcolo, aiuta a descrivere i complessi fenomeni fisici e chimici che avvengono in atmosfera.

Effettuare una simulazione modellistica, ad un target equivale trascurare l'insieme dei fenomeni meteorologici che chimici caratterizzate da scale spaziali inferiori alla risoluzione target scelta; come soluzione appare chiaro scegliere una di altissima risoluzione spaziale in modo da comprendere nella

ricostruzione delle concentrazioni i fenomeni fisici che avvengono su scale locali.

Nella valutazione della qualità dell'aria nel 2021 l'elemento base per la verifica del rispetto dei valori limite previsti dal d.lgs. 155/2010 attuata mediante "l'utilizzo dei metodi stabiliti dal presente decreto per misurare, calcolare, stimare o prevedere i livelli degli inquinanti.". I metodi stabiliti dalla norma fanno riferimento a diversi strumenti di controllo della qualità dell'aria: la gestione della rete fissa di monitoraggio, le misure indicative effettuate tramite laboratori mobili (per loro natura discontinue nel tempo), l'applicazione di metodi statistici di stima oggettiva e l'utilizzo di catene modellistiche in grado di spazializzare la concentrazione degli inquinanti.

L'integrazione dei suddetti elementi, così profondamente differenti tra loro, è l'obiettivo che ci si è posti per effettuare una valutazione della qualità dell'aria che tenesse in considerazione sia dell'intrinseca precisione delle misure sperimentali sia delle capacità descrittive di un modello di simulazione. Si è deciso di combinare le misure sperimentali effettuate tramite la rete fissa con il sistema modellistico tramite tecniche di assimilazione in modo da conservare le capacità descrittive del sistema modellistico introducendo, nel sistema stesso, le informazioni prodotte dalla rete di monitoraggio tramite tecniche di assimilazione.

Nelle rispettive mappe (fig.39), attraverso uno schema a colori si notano i superamenti del PM10 a livello annuale e giornaliero, utilizzando un metodo statistico di stima oggettiva per ricostruire la serie temporale annuale a partire dalle poche osservazioni svolte e dalle misure della rete fissa.

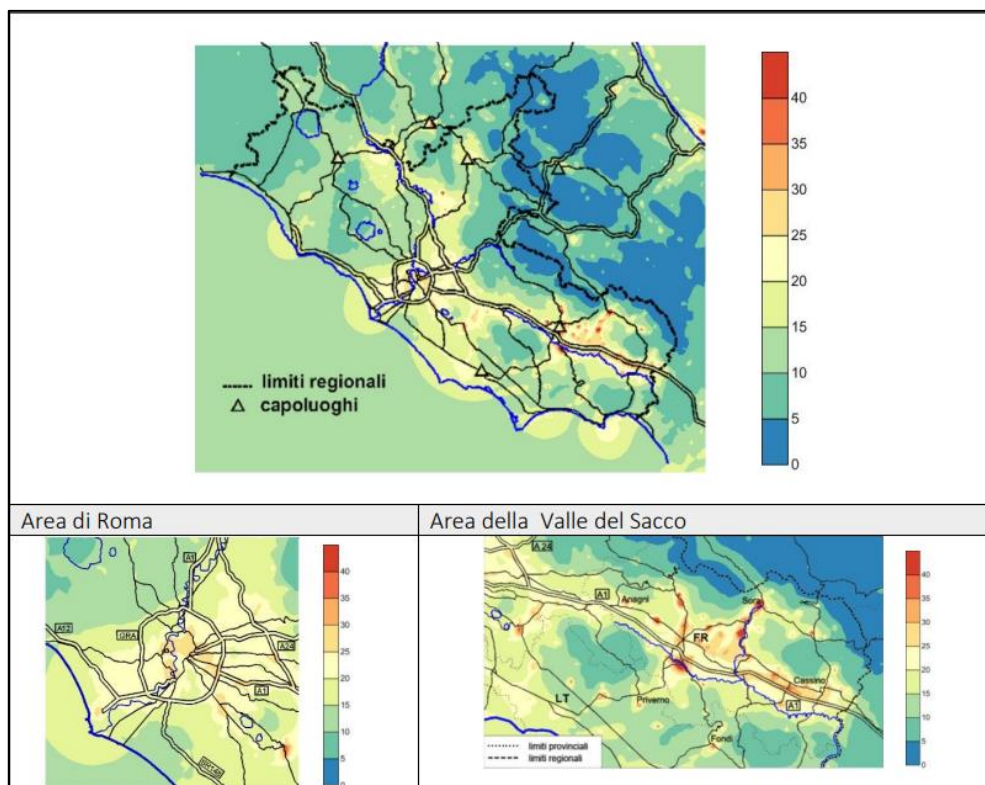


Fig.39: Distribuzione spaziale della media annua di PM10 nel 2021

Da come si può vedere, i valori che superano il limite di 40 µg/m³ sono nella zona della Valle del Sacco.

Per le restanti zone: l'Agglomerato e la zona Litoranea nonostante il carico emissivo che le caratterizza beneficiano della vicinanza con la costa che garantisce una buona dispersione degli inquinanti mentre la zona Appenninica è caratterizzata da un'emissione più bassa di polveri.

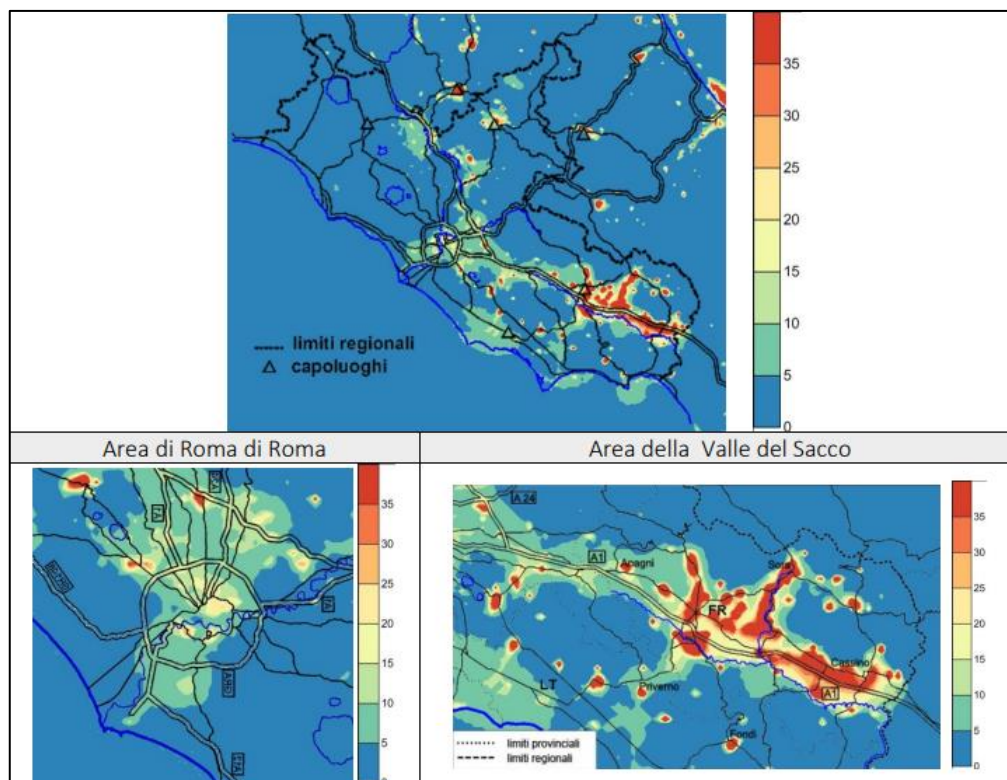


Fig.40: distribuzione spaziale del numero di superamenti di 50 µg/m³ di PM10 nel 2021.

Nella fig.40 in base al numero di superamenti del valore limite di 50 µg/m³, risulta maggiormente critica nella Zona Valle del Sacco, tanto da eccedere il numero massimo di superamenti consentiti anche in alcune aree della zona Appenninica confinante. Per la zona Litoranea e nell'agglomerato di Roma e si osserva l'eccedenza del numero massimo di superamenti stabilito dalla normativa in modo discontinuo nel territorio.

La costruzione dello scenario di piano ha avuto come obiettivo principale il raggiungimento dei valori limite indicati dal D.Lgs. n.155/2010 sull'intero territorio regionale entro l'anno 2025, coerentemente con i tre obiettivi di Piano.

Considerando che la stima delle concentrazioni degli inquinanti in atmosfera dipende dall'origine degli inquinanti stessi, sia dal punto di vista delle sorgenti degli inquinanti atmosferici (inquinamento di origine primaria) e delle trasformazioni chimiche che questi subiscono (inquinamento di origine

secondaria), che dal punto di vista dell'origine geografica (inquinamento dovuto al trasporto di inquinanti e dei loro precursori all'interno dell'area di studio a partire da componenti esterne a tale area), per valutare il rispetto dei valori limiti di legge ci si è avvalsi dell'ausilio di un modello chimico di trasporto e dispersione (fig.41).

L'utilizzo, infatti, delle simulazioni tramite modelli chimici di trasporto (CTM) ha consentito di stabilire la relazione tra variazioni nelle emissioni di inquinanti primari e precursori e la concentrazione in aria degli stessi.

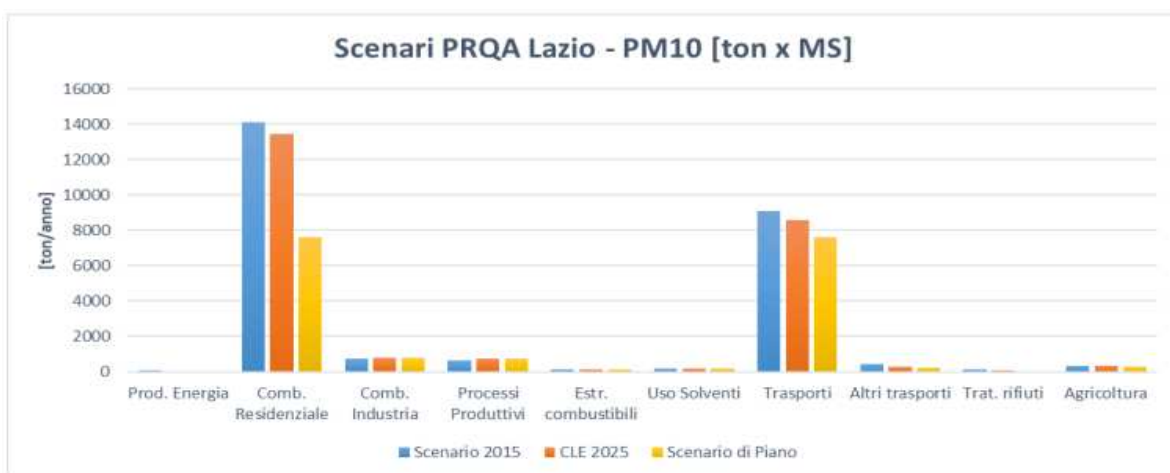


Fig.41: Confronto degli scenari per PM10 per macrosettore (ton/anno)

3.4.2 Progetto LIFE

Il programma comunitario di finanziamento LIFE nasce nel 1992 per contribuire allo sviluppo e all'attuazione della legislazione e della politica comunitaria in materia ambientale e sin dall'inizio indirizza la propria azione anche alla conservazione della natura, per contribuire alla protezione degli habitat e delle specie interessate dalla Direttiva 92/43/CEE Habitat e dalla Direttiva 79/409/CEE Uccelli selvatici. Per questo settore, a partire dal 1996 è stata individuata una linea specifica LIFE-Natura e ciò ha aumentato l'efficacia e l'efficienza dello strumento nel settore, dando rilievo inoltre all'importanza delle rotte migratorie e delle zone

cuscinetto per la conservazione della biodiversità oltre che all'implementazione della tutela delle specie e degli habitat comunitari. (LIFE 1992)

Nel 2010 col progetto LIFE+, ENV/IT/391 “DIAPASON” coordinato dall’ISAC CNR di Tor Vergata finalizzato allo scopo di implementare metodologie e tecnologie innovative per la valutazione degli effetti delle avvezioni di polvere sahariana sulle concentrazioni di particolato (PM10) rilevate dalle stazioni della rete di monitoraggio di qualità dell’aria. Poiché In Europa, in particolare nelle regioni del Sud, gli eventi di polvere desertica possono avere un impatto significativo sulle misure di PM10 la Direttiva Quadro 2008/50/CE permette di sottrarre, ai superamenti del valore limite giornaliero di PM10 rilevati nelle stazioni delle reti di monitoraggio della qualità dell’aria, gli eventi di trasporto da lunga distanza che sono ritenuti responsabili di tali superamenti.

Nel 2010, con l’obiettivo di fornire una metodologia comune e standardizzata per la valutazione dell’impatto di tali eventi, la Comunità Europea ha emanato delle Linee Guida che definiscono la metodologia di riferimento per tale valutazione sul territorio europeo specificando che tale metodologia è stata testata e sviluppata sul caso pilota della Penisola Iberica e che era necessario un approfondimento che tenesse conto dei diversi casi specifici in modo da generalizzare ed estendere, per quanto possibile, la metodologia sul territorio di interesse. Obiettivo del Progetto “Diapason” è ottimizzare le Linee Guida Europee integrando la strumentazione standard di qualità dell’aria con strumentazione avanzata come i PLCs (Polarization Lidar-Ceilometers) in grado di fornire informazioni sul particolato lungo la verticale, contatori ottici di particelle e modelli dust-oriented. L’area metropolitana di Roma, successivamente estesa al territorio regionale del Lazio, costituisce il caso pilota del progetto su cui è stata definita la metodologia “Diapason” finalizzata

all'identificazione degli eventi di avvezione da lunga distanza ed alla valutazione dell'impatto di tali eventi sulle concentrazioni di PM10 rilevate nella rete regionale di monitoraggio di qualità dell'aria (LIFE+, 2010).

Nel 2022 la regione Lazio ha preso parte, insieme alle città di Salanicco (Grecia) e Nicosia (Cipro), al progetto europeo LIFE SIRIUS (System for Integrated enviRonmental Information in Urban areaS), con valenza di tre anni avente l'obiettivo fornire un percorso tangibile per aumentare e accelerare le soluzioni ai problemi di inquinamento atmosferico con approccio ambientale olistico e l'avanzamento di conoscenze, abilità e competenze delle autorità responsabili.

La politica dell'UE si è concentrata sulla riduzione delle emissioni di cinque inquinanti atmosferici chiave, cioè gli ossidi di azoto, composti organici volatili non metanici, biossido di zolfo, ammoniaca e particolato fine, che sono particolarmente dannosi per la salute umana, con limiti fissati per le concentrazioni di inquinanti nell'ambiente. I livelli di inquinanti atmosferici superano comunque gli standard dell'UE e le linee guida dell'Organizzazione Mondiale della Sanità. Una relazione speciale della Corte dei conti europea del 2018 ha concluso che la salute nei Paesi dell'UE non è sufficientemente protetta. Secondo la Corte, una delle ragioni principali è che i piani di qualità dell'aria (AQP), un requisito fondamentale della direttiva 2008/50/CE, non aiutano molte aree a soddisfare gli standard di qualità dell'aria dell'UE.

Il rapporto ha evidenziato misure poco mirate, una governance debole, la mancanza di analisi costi-benefici e la mancanza di un orientamento basato sull'impatto. Ed è proprio su questi fattori che il progetto LIFE vuole andare ad agire e perfezionare, aumentando il controllo in materia di inquinamento con un sistema di monitoraggio efficace utilizzando delle simulazioni di scenari

futuri per valutare l'evoluzione ed intervenire con azioni correttive in modo tempestivo.

L'inquinamento atmosferico è particolarmente pronunciato nelle aree urbane a causa dell'impatto delle isole di calore urbane e delle isole di inquinamento urbano. Ad esempio, le temperature elevate dell'aria aumentano i processi fotochimici, portando infine a livelli più elevati di O₃. Questi problemi sono esacerbati dalle ondate di calore, sempre più frequenti a causa dei cambiamenti climatici. La gestione della qualità dell'aria nelle aree urbane deve quindi affrontare questi problemi. I Paesi devono garantire che i piani di gestione della qualità dell'aria affrontino l'ambiente urbano nel suo complesso, tenendo conto degli impatti sulla salute e di questi effetti combinati.

Con questo progetto si vuole mirare a identificare i processi decisionali e le carenze di capacità nell'attuazione degli AQP nelle aree metropolitane delle regioni partner. Fornirà inoltre una valutazione approfondita dello stato attuale della qualità dell'aria (concentrazioni di inquinanti atmosferici, fonti di emissione, impatto ed efficacia delle misure di abbattimento degli AQP) nelle città oggetto di studio.

Il progetto valuterà anche lo stato della qualità dell'aria nel prossimo futuro negli agglomerati urbani interessati, considerando gli effetti del cambiamento climatico. Attraverso questa valutazione, il progetto mirerà a migliorare l'efficacia degli AQP nelle regioni partner nelle condizioni climatiche attuali e del prossimo futuro. Fornirà inoltre una valutazione quantitativa della mortalità prematura dovuta all'esposizione ad alti livelli di inquinamento nelle regioni partner, considerando gli effetti della modifica della temperatura, e stabilirà sistemi di modellazione ambientale urbana personalizzati nelle regioni partner. Il progetto svilupperà e convaliderà un sistema di allerta flessibile per la salute, facilmente adattabile a ciascuna regione partner e a qualsiasi agglomerato

urbano in cui le informazioni sulla salute pubblica sono fondamentali; ed inoltre organizzerà e implementerà un sistema di gestione ambientale (EMS) unificato, adattato a ciascuna regione partner e facilmente replicabile in altre città, e stabilirà regolamenti decisionali nelle regioni partner per garantire la corretta attuazione degli AQP aggiornati con l'uso degli EMS. (Ministero Dell'ambiente E Della Sicurezza Energetica, LIFE SIRIUS 2022)

4.DISCUSSIONE DEI RISULTATI

4.1 Confronto limiti normativi e OMS

Secondo quanto riportato dai vari casi studio analizzati, possiamo notare una differenza tra i limiti stabili per legge dal D.Lgs 155/2010, che vengono seguiti dalle varie ARPA regionali e quelli forniti e stabiliti dalle nuove linee guida dell'OMS.

L'obiettivo generale delle linee guida globali aggiornate, è di offrire raccomandazioni quantitative basate su considerazioni di carattere sanitario per la gestione della qualità dell'aria, espresse in concentrazioni a lungo o breve termine dei principali inquinanti atmosferici. Il superamento dei valori delle linee guida sulla qualità dell'aria (AQG) è associato a importanti rischi per la salute pubblica.

Le presenti linee guida non sono norme giuridicamente vincolanti; tuttavia, mettono a disposizione degli Stati membri dell'OMS uno strumento informativo utilizzabile per i legislatori e la politica in generale.

In definitiva, l'obiettivo delle presenti linee guida consiste nel fornire orientamenti finalizzati alla riduzione dei livelli di inquinanti atmosferici nell'intento di diminuire l'enorme impatto sulla salute derivante dall'esposizione all'inquinamento atmosferico in tutto il mondo.

Il 22 settembre 2021 l'Organizzazione Mondiale della Sanità (OMS) ha pubblicato le attese nuove linee guida sulla qualità dell'aria "WHO global air quality guidelines" (AQGs), per il PM_{2,5}, PM₁₀, NO₂, O₃, SO₂, CO, con l'obiettivo di proteggere la salute delle popolazioni. L'ultimo aggiornamento risale al 2005 quando per la prima volta sono stati introdotti i valori guida per

il PM10 e PM2,5 e si procedeva con un ulteriore approfondimento per gli altri inquinanti come l'ozono, gli ossidi di azoto e di zolfo.

Inquinante	Riferimento temporale	Valori Interim $\mu\text{g}/\text{m}^3$				Linee Guida OMS 2021	Linee Guida OMS 2005	Italia DLgs 155/2010
		1	2	3	4			
PM _{2,5}	Annuale	35	25	15	10	5	10	25
	24 ore	75	50	37,5	25	15	25	--
PM ₁₀	Annuale	70	50	30	20	15	20	40
	24 ore	150	100	75	50	45	50	50
O ₃	Valore di picco stagionale	100	70	--	--	60	--	--
	8 ore	160	120	--	--	100	100	--
NO ₂	Annuale	40	30	20	--	10	40	40
	24 ore	120	50	--	--	25	--	--
SO ₂	24 ore	125	50	--	--	40	20	125
CO	24 ore	7 mg/m ³	--	--	--	4 mg/m ³	--	--

Fig.42: Tabella di confronto dei limiti di legge stabiliti dal D.lgs. e dall'OMS.
Fonte: sito ISS (Istituto Superiore della Sanità)

La tabella (fig.42) riassume i valori AQGs aggiornati rispetto a quelli suggeriti nel 2005, confrontati anche con quelli della normativa italiana (D.Lgs 155/2010), e indica i valori *interim* di concentrazione per ciascun inquinante. Questi ultimi sono infatti i livelli ambientali definiti per supportare le autorità decisionali, soprattutto nelle aree del mondo a più alto inquinamento, nell'adozione di politiche più severe per attuare un realistico percorso di riduzione dei livelli di inquinamento. Le riduzioni dei valori guida sono rilevanti per tutti gli inquinanti, in particolare per il valore annuale del PM2,5 e dell'NO2, per il quale viene anche introdotto un valore guida sulla media giornaliera precedentemente non presente. Solo per SO2 le nuove raccomandazioni suggeriscono un valore più elevato sulle 24 ore rispetto al

precedente sulla base di nuove valutazioni sugli effetti a breve termine. Rimangono invariati alcuni valori guida sulle esposizioni di breve periodo per quanto riguarda il CO, NO₂ e SO₂.

Possiamo vedere come i valori sono stati resi ancora più restrittivi, in quanto sui rapporti causa effetto relativi all'esposizione di questi inquinanti dell'intera popolazione il quadro generale sia cambiato tempestivamente. Ad esempio, prendendo in considerazione il PM₁₀ il precedente valore guida annuale OMS raccomandato di 20 µg/m³, è stato superato nel 65% delle stazioni di rilevazione e anche il valore guida giornaliero di 50 µg/m³ è stato superato nel 54% delle stazioni. Per il PM_{2,5} il valore limite annuale della normativa di 25 µg/m³ è rispettato nella quasi totalità delle stazioni di misura, e valori più elevati si sono registrati in 3 stazioni. Ma è ampiamente superato nell'80% delle stazioni il valore guida annuale della OMS del 2005 di 10 µg/m³.

Sicuramente il disallineamento tra i valori di legge attualmente vigenti e i livelli AQGs dell'OMS dovranno stimolare l'identificazione e l'adozione di azioni ambiziose, strutturali, sinergiche, integrate e coerenti nei diversi settori, da quello industriale a quello civile, e a tutti i livelli regionale, nazionale ed europeo per riuscire a traguardare gli obiettivi di riduzione continua in tempi non troppo lontani.

In gran parte dei Paesi sviluppati come l'Italia e molti altri Paesi europei, queste nuove indicazioni impongono riflessioni ed evidenziano criticità importanti, con particolare attenzione alle aree urbane.

Prendendo in considerazione i valori riscontrati nei casi studio, valutiamo se ci sono differenze con i dati ottenuti dai vari report regionali, mettendoli a paragone con i valori dell'OMS.

- Per quanto riguarda la regione Marche, nella provincia di Ancona dal monitoraggio a lungo periodo tra il 2012 e il 2021, è stata riscontrata una diminuzione del 34% del PM10, e anche di altri inquinanti come il PM2,5 e NO2. In tutte le stazioni prese in esame (fig.43-44), il limite dei 35 superamenti viene rispettato sia per quanto riguarda il limite giornaliero ($50\mu\text{g}/\text{m}^3$), ad esclusione del 2015, e sia per quello annuale ($40\mu\text{g}/\text{m}^3$), tenendo conto dei limiti imposti per legge dal D.lgs. 155/2010.

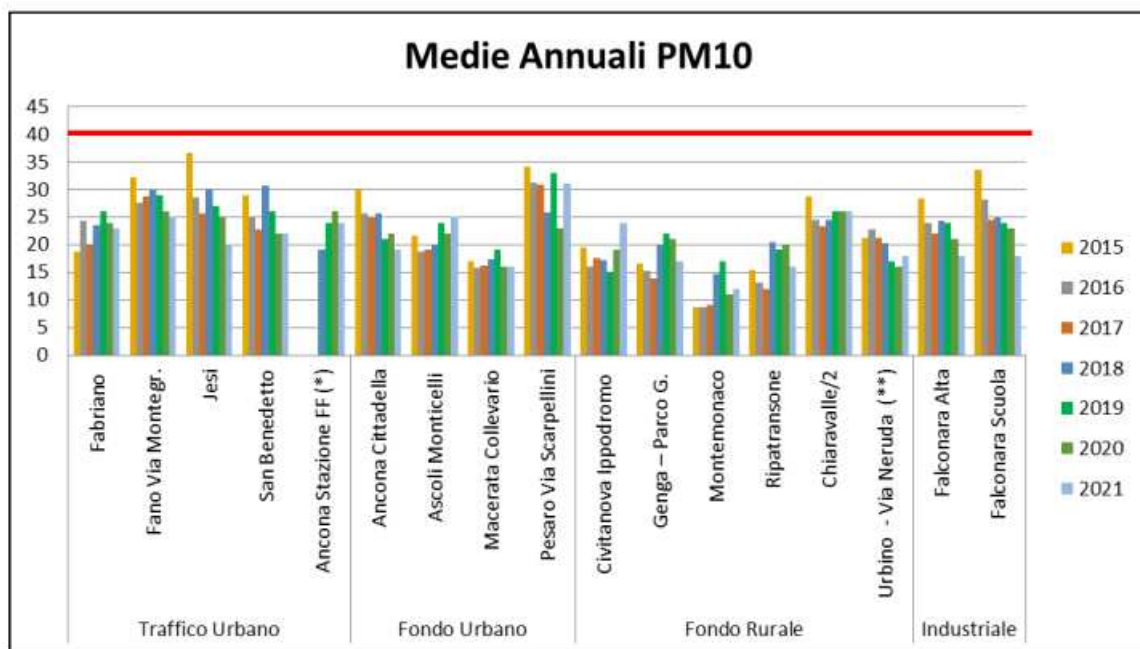


Fig.43: medie annuali dal 2015 al 2021
 Fonte: Report Regionale qualità dell'aria 2015-2021, ARPAM

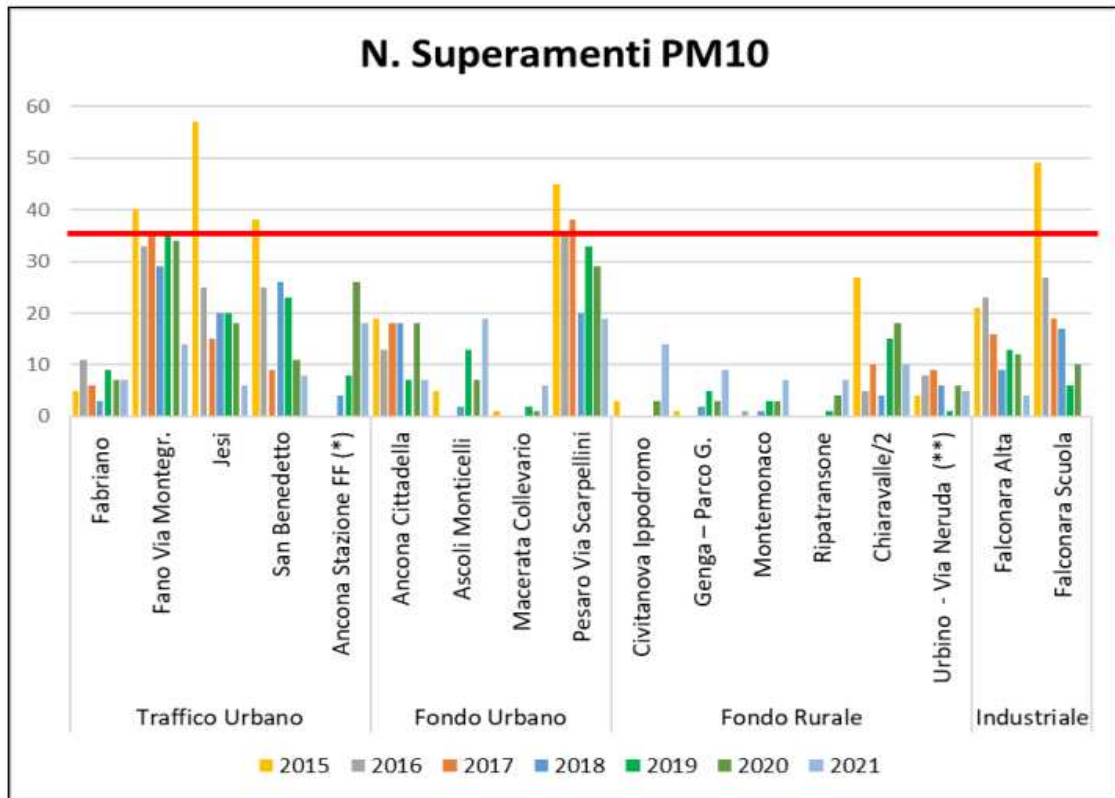


Fig.44: N. Superamenti soglia 50 µg/m³ PM10 anni 2015-2021.
Fonte: Report Regionale qualità dell'aria 2015-2021, ARPAM

Facendo un confronto, invece, con i valori stabiliti dall'OMS (fig.42), viene riscontrato un aumento significativo da parte di tutte le stazioni per entrambi i valori considerati.

Anche per quanto riguarda, il confronto tra i valori guida normativi dati dal D.Lgs 155/2010 con quelli aggiornati dall'OMS, si vede come non vengano rispettati anche nel caso del PM_{2,5}; in quanto dalle analisi svolte nel 2021 il valore viene superato in tutte le stazioni. Ciò è evidente nelle tabelle riportate in figura 18 e 19.

- Nel caso della regione Toscana, vengono rispettati anche qui i valori limite in tutte le stazioni

(fig.45), ma nel caso dei valori dell'OMS vengono evidenziate delle criticità e superamenti in riferimento ai valori attualmente vigenti di PM10 e PM2,5.

Per quanto riguarda la media annuale viene indicato un valore di 15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (pari al 37,5% del limite in vigore costantemente rispettato in tutto il territorio toscano) e, ad eccezione delle due stazioni di AR-CasaStabbi e PI-Montecerboli, rappresentative entrambe del fondo della regione, il valore guida è superato dalle medie annuali di tutte le stazioni di Rete Regionale.

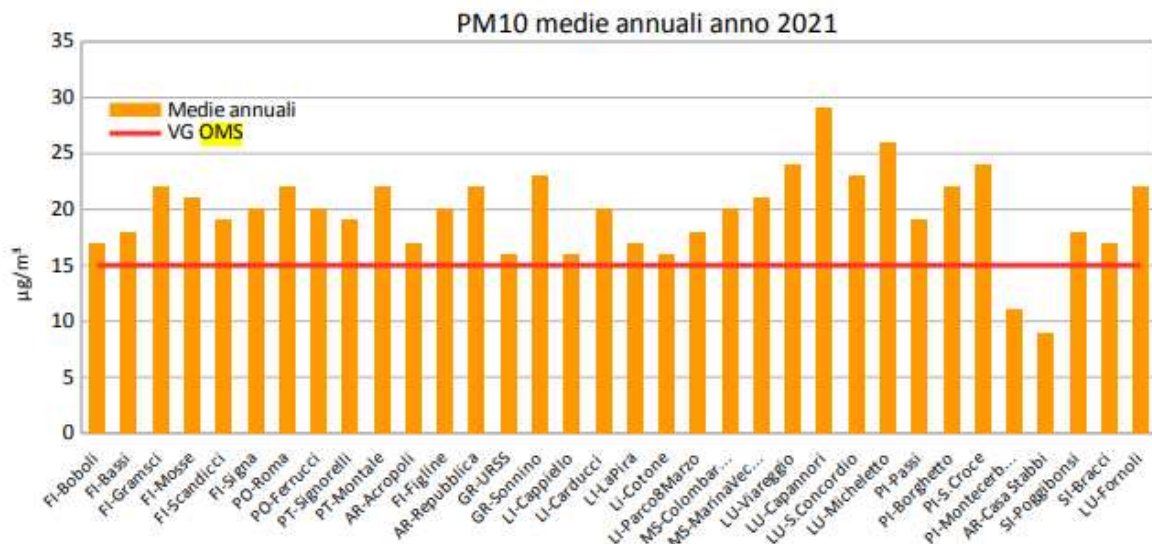


Fig.45: Particolato PM10 confronto con il valore guida per la media annuale indicato dall'OMS. Fonte: ARPAT

Anche il nuovo valore guida per la media giornaliera che viene indicato è fortemente restrittivo, in quanto pari a una massima media giornaliera di 45 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, con la tolleranza di soltanto 3-4 eventi nell'arco dell'anno; il VG è stato dunque confrontato con il 99° percentile delle medie giornaliere di ciascuna stazione di Rete Regionale. Questo valore guida, nell'anno 2021, è stato rispettato soltanto in 9 stazioni (fig.46):

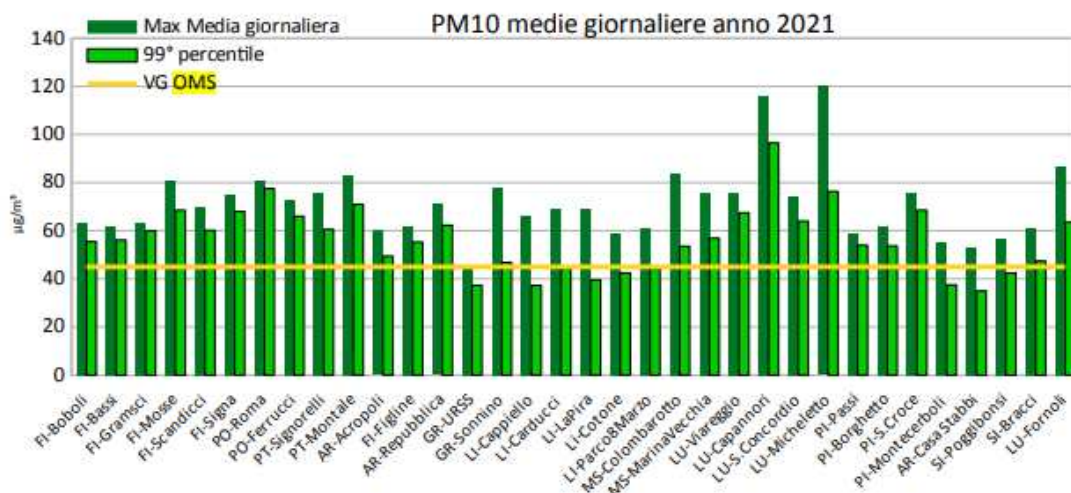


Fig.46: Particolato PM10 confronto con il valore guida per la media giornaliera indicato dall'OMS. Fonte: ARPAT

- 3 della zona collinare e montana tra cui le due stazioni di AR-Casa Stabbi e PI-Montecerboli che rappresentano il fondo regionale;
 - 6 stazioni appartenenti alla zona costiera, tra cui 4 stazioni di fondo, la stazione UT di LI-Carducci e la stazione industriale di LI-Cotone (Piombino).
- Il grafico seguente (fig.47), mostra il numero di superamenti del valore guida per la media giornaliera di PM10 indicato dall'OMS che si sono verificati nel 2021 per ogni stazione.

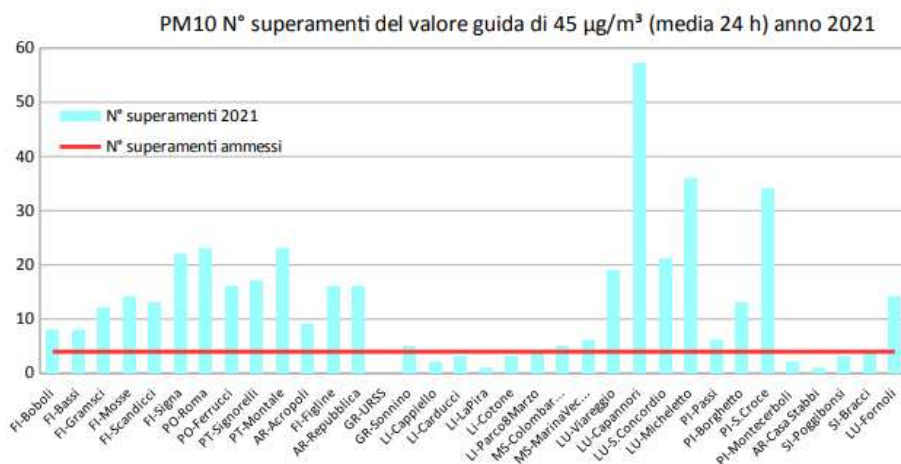


Fig.47: Particolato PM10 - numero dei superamenti del valore guida per la media giornaliera indicato dall'OMS avvenuti nel 2021. Fonte: ARPAT

Differentemente da quanto emerso dal confronto con i limiti normativi in vigore nel 2021, la maggior parte del territorio toscano ha mostrato grande criticità nel rispetto dei valori guida indicati dall'OMS per le concentrazioni di PM10.

Nel caso del PM2,5 l'Organizzazione Mondiale della Sanità. Introduce per la prima volta uno per la media giornaliera. Per quanto riguarda la media annuale viene indicato un valore guida di 5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (pari al 20% del limite in vigore costantemente rispettato in tutto il territorio toscano), che nel 2021 è stato superato dalle medie annuali di tutte le stazioni di Rete Regionale, comprese quelle della zona costiera e della zona collinare e montana (fig.48).

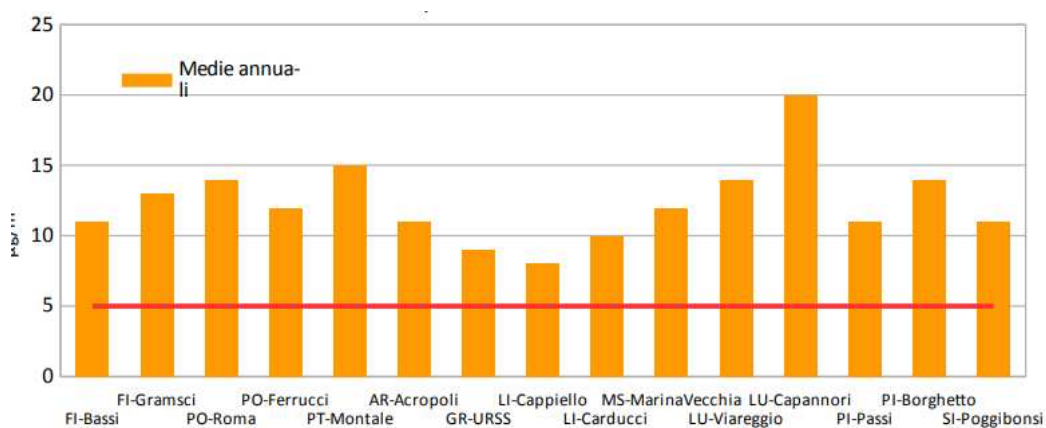


Fig.48: PM2,5 medie annuali anno 2021, confronto con il valore guida per la media annuale indicato dall'OMS. Fonte: ARPAT

Per quanto riguarda le medie giornaliere (fig.49), il nuovo valore guida che viene indicato è pari a una media massima di 15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, con la tolleranza di soltanto 3-4 eventi nell'arco dell'anno; il VG è stato dunque confrontato con il 99° percentile delle medie giornaliere di ciascuna stazione di Rete Regionale.

Il valore guida indicato è stato superato in tutte le stazioni della Rete Regionale, comprese quelle della zona costiera e della zona collinare e montana.

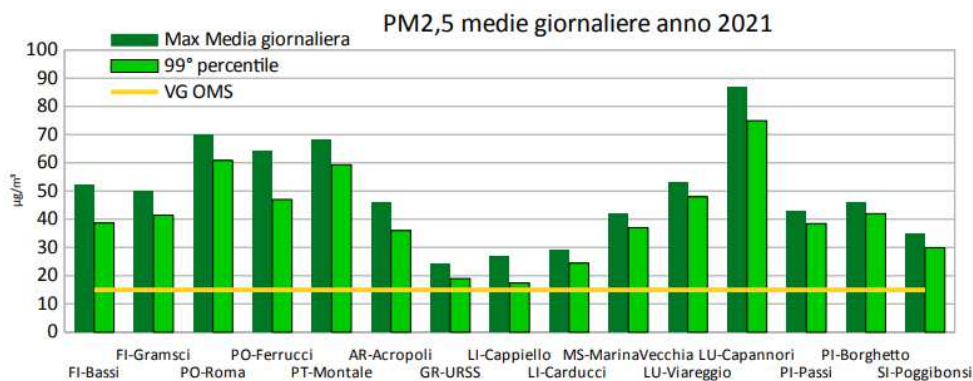


Fig.49: Particolato PM2,5 confronto con il valore guida per la media giornaliera indicato dall'OMS. Fonte: ARPAT

Il grafico seguente (fig.50), mostra il numero di superamenti del valore guida per la media giornaliera di PM2,5 indicato dall'OMS che si sono verificati nel 2021 per ogni stazione.

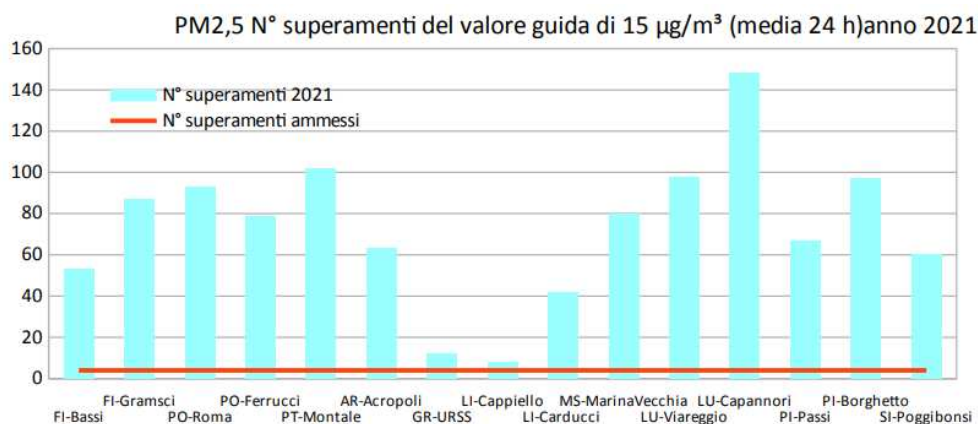


Fig.50: Particolato PM2,5 numero dei superamenti del valore guida per la media giornaliera indicato dall'OMS avvenuti nel 2021. Fonte: ARPAT

Si nota che il VG per il PM2,5 è stato superato un numero di giorni nettamente superiore rispetto a quello del PM10 (fig.51).

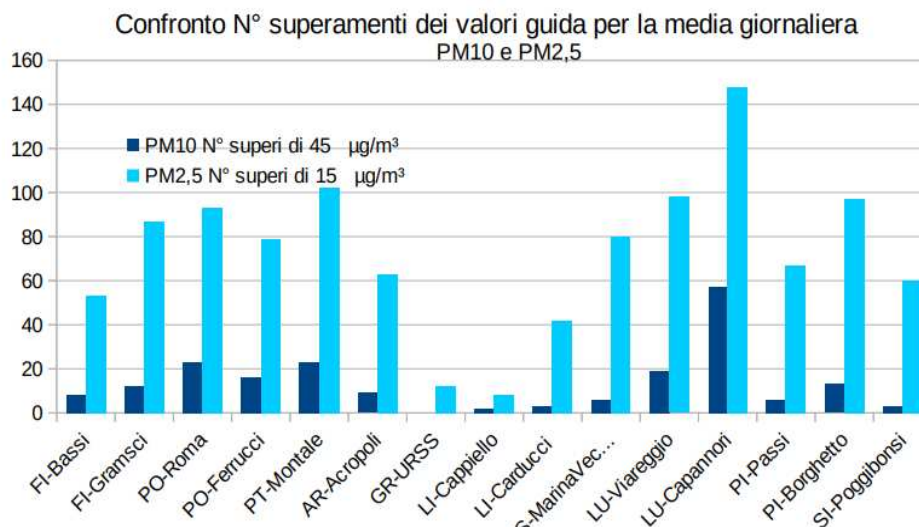


Fig.51: Particolato PM2,5 numero dei superamenti del valore guida per la media giornaliera indicato dall'OMS avvenuti nel 2021. Fonte: ARPAT

- Infine, per quanto riguarda la regione Lazio, vediamo che il valore del PM10 in confronto ai valori limite normativi, come visto in precedenza nei rispettivi grafici in figura 36, è rispettato per quanto riguarda il numero dei superamenti giornalieri nel caso dell'Agglomerato di Roma, tranne che nella centralina Triburtina. Nella Zona della Valle del Sacco, il numero dei superamenti è superiore in tutte le stazioni; mentre la media annuale è rispettata (fig.37a e 37b).

Confrontando, quindi, anche i limiti giornalieri, questi non vanno a rispettare i nuovi limiti stabiliti dall'OMS, in quanto le Linee Guida OMS indicano un valore minore come limite giornaliero, $45 \mu\text{g}/\text{m}^3$, ed un numero massimo di tre/quattro superamenti in un anno.

Nel caso del PM2,5, in figura 35 che rappresenta la media annuale, esso non è rispettato in quanto il limite dall'OMS è di $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Le misurazioni del PM2,5 a livello annuale, hanno riportato un aumento di esso in più di 29 comuni del

Lazio, che sono stati misurati attraverso un modello a dispersione, e quindi anche in questo caso vi è un superamento nei valori guida riportati dell'OMS.

5. EFFETTI SANITARI E POSSIBILI SOLUZIONI

5.1. Effetti sanitari

Gli effetti sanitari associati all'inquinamento atmosferico delle polveri aerodisperse, sono stati inizialmente riscontrati a causa dei primi eventi che sono successi nel corso degli anni. Tra quelli avvenuti negli anni, possiamo citare la “nebbia assassina” nella piccola città di Donora in Pennsylvania, 1948 (fig.52) che causò la morte di 20 persone ma ha causato inoltre gravi malattie a livello delle vie respiratorie di oltre 7 mila persone e nel tempo ha portato ad avere alti tassi di mortalità rispetto alle città vicine. Dal New York Times è stato definito come “uno dei peggiori disastri ambientali dovuti all'inquinamento dell'aria nella storia della nazione”.



Fig.52: Donora (USA), “nebbia assassina” del 1948

Un altro evento è la particolare virulenza dello “smog” di Londra nel 1952, nel quale morirono circa 4000 persone e oltre 100 mila hanno subito gravi effetti alle vie respiratorie, furono attribuite all'utilizzo diffuso di combustibili “sporchi” e costituirono lo stimolo per indurre i governi a adottare misure contro l'inquinamento atmosferico dell'aria urbana (fig.53)



Fig.53: Nebbia di smog, Londra 1952

Da allora molti paesi hanno adottato standard di qualità dell'aria mirati alla protezione della salute umana e ambientale, ma, malgrado i sostanziali investimenti per il controllo dell'inquinamento, la qualità dell'aria nelle aree urbane dei paesi industrializzati resta ancora preoccupante. È aumentato il rischio soprattutto nelle città dove vi era l'incremento dell'industrializzazione e dell'uso dei veicoli.

La Banca Mondiale ha stimato che l'esposizione a livelli di particelle aerodisperse superiori ai limiti indicati dall'Organizzazione Mondiale della Sanità (OMS) è responsabile di circa il 2-5% di tutte le morti nelle aree urbane dei paesi in via di sviluppo.

Il rapporto sullo stato della salute nel mondo, stima che l'inquinamento da particelle aerodisperse è causa globalmente di circa il 5% della mortalità per cancro della trachea, bronco e polmone, del 2% della mortalità cardiorespiratoria e di circa l'1% della mortalità per infezioni respiratorie. Queste stime prendono in considerazione solo l'impatto sulla mortalità, e non sulla morbilità, la cui incidenza, anche se più difficile da determinare,

certamente apporta almeno un incremento della stessa entità al bilancio totale delle patologie.

L'analisi eseguita nell'ambito del programma europeo Clean Air for Europe (CAFE) nel 2004, col documento dal titolo "Second position Paper on Particulate Matter", ha mostrato che il solo tipo di inquinante dell'aria costituito dal materiale particolato fine è responsabile di circa 350.000 morti premature ogni anno nei 25 paesi europei (EU25).

Nei vari studi epidemiologici condotti negli ultimi anni, hanno riguardato gli effetti sanitario dell'inquinamento atmosferico da particelle con diametro aerodinamico inferiore a 10 µm (PM10) e 2.5 µm (PM2,5): associazioni sono state evidenziate tra le concentrazioni in massa di tali particelle ed un incremento sia di mortalità che di ricoveri ospedalieri per malattie cardiache e respiratorie nella popolazione generale. Gli anziani, i bambini, le persone con malattie cardiopolmonari croniche, influenza o asma sono ritenute maggiormente suscettibili e su di esse si concentrano incrementi di mortalità e seri effetti patologici a seguito di esposizioni acute a breve termine.

Un ruolo importante, lo hanno anche le particelle ultrafini (PUF – con diametro inferiore a 0,1 µm) (Oberdörster et al, 1995), esse hanno origine da processi di combustione e sono largamente presenti nell'atmosfera degli ambienti di vita e di lavoro e in particolare nell'aria urbana caratterizzati da flussi di traffico continui ed intensi veicolari che fanno aumentare la concentrazione di fondo delle particelle, anche se hanno una massa irrilevante (Wichmann e Peters, 2000).

Infatti, esse provocano una reazione infiammatoria a causa del processo combustivo, sul chimismo atmosferico e la dinamica dell'aerosol, che modificano le particelle, sui fenomeni di deposizione e trasporto delle particelle nel corpo umano ed infine sull'interazione tra particelle e funzioni cellulari.

Una gran quantità degli studi più recenti condotti sugli animali e gli effetti dell'esposizione umana al PM suggeriscono che la capacità delle PUF di indurre effetti sanitari negativi può essere maggiore di quella percepita a seguito degli effetti riscontrati con le particelle di maggiori dimensioni di materiali simili (incluse quelle comprese nel PM_{2,5}).

Nell'intervallo dimensionale nanometrico (<100 nm) i materiali possono presentare proprietà sostanzialmente diverse da quelle possedute dagli stessi materiali con dimensioni maggiori.

Nelle linee-guida per la qualità dell'aria in Europa (AQG) (WHO, 2000), l'Organizzazione Mondiale della Sanità (WHO) riporta lo stato delle conoscenze scientifiche relativamente ad una serie di inquinanti ed in particolare gli aspetti riguardanti le vie di esposizione, gli effetti sulla salute e le AQG o gli indici di rischio unitario per l'esposizione inalatoria. Nella più recente revisione di queste linee guida (WHO 2006) vengono stabiliti per la prima volta dei valori numerici di riferimento per il materiale particolato, sulla base della constatazione di una consistenza ubiquitaria dell'evidenza scientifica sugli effetti sanitari dell'esposizione al PM in aria. Gli effetti patogeni osservati sono diversi, ma predominano quelli sul sistema respiratorio e cardiovascolare, e colpiscono la popolazione generale, la cui suscettibilità all'inquinamento può variare con lo stato di salute o con l'età.

5.2 Interventi da attuare

Nella quotidianità a seguito dei vari effetti negativi riscontrati a causa dell'inquinamento, può dire che il continuo incremento del volume dei trasporti e delle loro emissioni costituiscono un serio pericolo per la salute, in particolare per la maggioranza della popolazione residente nei grandi agglomerati urbani. I costi dell'impatto negativo sulla salute e sugli ecosistemi appaiono del tutto

inaccettabile ed è necessario progettare ulteriori misure per ridurre gli attuali livelli di inquinamento, a partire dalla adozione di strategie mirate alla minimizzazione degli effetti determinati dal crescere del traffico. Infatti, si pensa che in futuro bisogna iniziare a pensare a future strategie di controllo e gestione delle emissioni veicolari, andando ad aumentare lo sviluppo di nuove tecnologie “meno sporche”, aumentando l’efficienza dei combustibili.

Possiamo puntare sull’utilizzo di azioni tecnologiche che consentono la riduzione delle emissioni inquinanti attraverso l’introduzione di sistemi di abbattimento (ad es. desolficatori al camino) od il cambio di tecnologia (ad es. la sostituzione di veicoli Euro IV con veicoli Euro VI), oppure ancora attraverso la sostituzione di sistemi di combustione (ad es. camini aperti sostituiti con stufe a basse emissioni).

Altre soluzioni, che possono essere adottate nel corso del tempo dalle regioni e dai vari comuni possiamo trovare ad esempio: adottare il piano urbano del traffico tenendo conto della necessità di riduzione delle emissioni in atmosfera, anche nei periodi turistici utilizzando magari dei parcheggi di scambio e servizi navetta per il trasporto. Aumentare le aree pedonali e a piste ciclabili, individuare le zone a traffico limitato; oppure pianificazione ed implementazione della mobilità sostenibile del Comune, sviluppo di servizi Smart City, promozione e diffusione dei veicoli elettrici e anche aumento del trasporto pubblico e rinnovo dei veicoli a basse emissioni.

Le industrie hanno un ruolo fondamentale nel dover diminuire le emissioni e come appunto azioni “riparatrici” possiamo avere un miglioramento delle prestazioni emissive delle attività industriali, con un miglior controllo delle prestazioni emissive delle attività industriali, promuovere iniziative volte alla costruzione di piattaforme energetiche industriali di fornitura centralizzata di

energia elettrica e termica a vari livelli entalpici e definizione a livello regionale di valori limite di emissione e prescrizione per le attività produttive

Dal punto di vista, invece, in ambito civile e ciò che possiamo fare noi cittadini: regolamentare l'utilizzo degli impianti di riscaldamento domestico a biomassa, estendere il divieto di utilizzo degli impianti termici meno efficienti, e tra i più importanti è quello di attuare campagne di comunicazione alla popolazione sul corretto uso delle biomasse da parte degli utilizzatori ed i corsi di formazione per gli installatori, tenuti alla denuncia di installazione o modifica di un impianto installato, e per gli spazzacamini per avvicinare le persone alla professione e aggiornare coloro che già lavorano sul campo.

Come altro ambito in cui vengono attuate azioni riparatrici, è quello zootecnico e agricolo che fanno capo al Programma di Sviluppo Rurale (PSR), come quello della regione Lazio; attraverso di esso, ad esempio, vengono stabiliti come interventi: individuare le migliori tecniche di applicazione dei concimi, elaborazione di un modello comune per la valutazione delle emissioni gassose, emissioni di odori e potenziale rilascio di composti azotati in acqua, promuovere buone pratiche per lo spandimento degli effluenti per minimizzare le emissioni di ammoniaca. Con il PSR, si ha l'attuazione di attività concrete di queste strategie declinate secondo le esigenze del territorio regionale e deve contribuire per favorire una crescita economica nell'Unione europea intelligente, sostenibile e inclusiva e fondata sul raggiungimento di cinque traguardi di miglioramento in tema di: occupazione, istruzione, riduzione della povertà, lotta ai cambiamenti climatici ed energia. (ARPA LAZIO,2022)

Quindi possiamo ricorrere a molteplici applicazioni che vadano a ridurre l'inquinamento, tra cui:

1. Riduzione delle emissioni industriali: le industrie sono spesso responsabili di una quantità significativa di particolato atmosferico. L'implementazione di

tecnologie più pulite e l'adozione di norme più rigorose sulle emissioni possono aiutare a ridurre le emissioni industriali di particolato.

2. Controllo delle emissioni veicolari: i veicoli a motore sono una delle principali fonti di particolato atmosferico nelle aree urbane. L'introduzione di veicoli elettrici o ibridi, il miglioramento delle norme sulle emissioni e l'incentivazione dei trasporti pubblici e delle modalità di trasporto sostenibili possono contribuire a ridurre l'impatto delle emissioni veicolari sul particolato atmosferico.

3. Promozione delle energie rinnovabili: la produzione di energia da fonti rinnovabili come il sole, il vento e l'acqua non produce particolato atmosferico. Incentivare e investire nelle energie rinnovabili può contribuire a ridurre l'uso di combustibili fossili, che sono una fonte comune di particolato atmosferico.

4. Miglioramento della qualità dell'aria indoor: molte persone trascorrono gran parte del loro tempo in ambienti indoor, come case, uffici e scuole. Implementare sistemi di filtrazione dell'aria efficaci e adottare pratiche di ventilazione adeguate può aiutare a ridurre il livello di particolato atmosferico all'interno degli edifici.

5. Sensibilizzazione e educazione pubblica: informare la popolazione sugli effetti negativi del particolato atmosferico sulla salute e sull'ambiente può aumentare la consapevolezza e stimolare l'adozione di comportamenti sostenibili. Campagne di sensibilizzazione e programmi educativi possono fornire informazioni sulle azioni individuali e collettive che possono essere adottate per ridurre l'impatto del particolato atmosferico.

6. Monitoraggio della qualità dell'aria: L'implementazione di sistemi di monitoraggio della qualità dell'aria in tempo reale consente di rilevare rapidamente le aree con alti livelli di particolato atmosferico e prendere misure

preventive. Questi sistemi consentono di identificare le fonti di inquinamento e di adottare interventi mirati.

7. Normative e regolamentazioni più stringenti: L'adozione di normative e regolamentazioni più rigorose per il controllo delle emissioni e la gestione del particolato atmosferico può avere un impatto significativo sulla riduzione dell'inquinamento atmosferico. Le autorità governative possono introdurre leggi e politiche che impongono limiti più severi alle emissioni e incentivano l'adozione di tecnologie pulite.

Nell'ultimo report di Legambiente, per combattere l'inquinamento in ambito urbano, l'Associazione propone una serie di interventi "a misura di città":

- Il passaggio dalle Ztl (zone a traffico limitato) alle ZEZ (Zone a zero emissioni). Come dimostra l'esperienza di Milano (con l'area B) e, soprattutto, dell'ultra Low Emission Zone (LEZ) londinese, le limitazioni alla circolazione dei veicoli più inquinanti riducono le emissioni da traffico del 30% e del 40%.
- LEZ anche per il riscaldamento. Servono un grande piano di riqualificazione energetica dell'edilizia pubblica e privata, e incentivare una drastica riconversione delle abitazioni ad emissioni zero grazie alla capillare diffusione di misure strutturali, come il Superbonus, opportunamente corretto dagli errori del passato come gli incentivi alla sostituzione delle caldaie a gas.
- Potenziamento del Trasporto Pubblico e Trasporto Rapido di Massa (TRM) attraverso la quadruplicazione dell'offerta di linea e la promozione di abbonamenti integrati, come fece la Germania nell'estate del 2022.

- Sharing mobility: Incentivare la mobilità elettrica condivisa (micro, bici, auto, van e cargo bike) e realizzare e realizzare ulteriori 5000 km di percorsi ciclabili.
- Ridisegnare lo spazio pubblico urbano a misura d'uomo, "città dei 15 minuti", sicurezza stradale verso la "Vision Zero", "città 30" all'ora seguendo l'esempio di Cesena, Torino, Bologna e Milano.
- Tutto elettrico in città, anche prima del 2035, grazie alla progressiva estensione delle ZEZ alla triplicazione dell'immatricolazione di autobus elettrici e l'istituzione dei distretti ZED (Zero Emissions Distribution) (Legambiente,2023,<https://www.legambiente.it/comunicati-stampa/emergenza-smog-i-dati-del-report-malaria-di-citta-2023/>).

Oltre all'Italia, anche altre nazioni hanno preso parte già da molti anni ad alcune opere di ristrutturazione o in alcuni casi alla "demolizione" dell'urbanistica, aumentando e mettendo in risalto il verde in città.

L'obiettivo è quello di ridurre l'inquinamento atmosferico e acustico e soprattutto di incentivare la mobilità sostenibile rispetto all'utilizzo dell'automobile.

Tra i casi più interessanti, vediamo:

-Harbor Drive, Portland – USA



Fig.54: Harbor Drive di Portland, Oregon (USA)

In fig.54, rappresenta una delle prime autostrade negli Stati Uniti ad essere stata eliminata per far posto a un parco è la Harbor Drive di Portland, nell’Oregon, che si snodava sulla riva del fiume Willamette. Nel 1974 sono iniziati i lavori di trasformazione, che hanno fatto ‘nascere’ il Tom McCall Park. Il ponte Hawthorne, che originariamente era parte della superstrada, è diventato un ponte per ciclisti e pedoni, che collega First Avenue con il parco.

Un altro esempio, in cui ci viene riportata un’altra località oltre oceano, è quello di Cheonggyecheon, Seoul – Corea del Sud, in cui da come si vede in fig.55, vi è la strada sopraelevata Cheonggyecheon a Seoul è stata costruita su un canale che porta lo stesso nome. Con l’obiettivo di affrontare in modo deciso le problematiche legate all’inquinamento, sia atmosferico sia acustico, causato dal transito di più di 160mila veicoli al giorno, il sindaco Lee Myung Bak ha approvato un piano che ha previsto lo smantellamento dell’arteria e la realizzazione di un’area verde al suo posto. È stato lanciato un bando, vinto dallo studio di progettazione Kee Yeon Hwang, che proponeva un’azione di

bonifica del canale, per trasformarlo in un nuovo luogo di incontro. L'intervento riqualificativo, oltre ad offrire un nuovo spazio alla comunità, ha contribuito al miglioramento della qualità dell'aria e a un abbassamento delle temperature nell'area circostante.



Fig.55: Cheonggyecheon, Seoul (Corea del Sud)

Una grande novità viene riportata anche dalla città di Barcellona (fig.56), che ha pensato di stravolgere le strade della città per favorire la mobilità attiva e l'adattamento ai cambiamenti climatici.

Secondo l'articolo riportato da BikeItalia nel febbraio del 2022, sono state attuate le prime trasformazioni temporanee dello spazio pubblico di Barcellona attraverso interventi e soluzioni di urbanismo tattico; adesso arrivano i progetti definitivi che cambieranno il volto delle strade.

I nuovi lavori riguarderanno una parte dell'Eixample, quartiere frutto dell'espansione dell'urbanista Ildefonso Cerdà, dove Barcellona sta già sperimentando i super blocchi. Le quattro strade coinvolte dalla trasformazione vedranno diminuire drasticamente le aree pavimentate, eliminando completamente l'uso dell'asfalto e ricreando le condizioni per piantare moltissimi alberi, riducendo così il fenomeno dell'isola di calore in ambito urbano.

Le strade diverranno così delle aree a vocazione pedonale, dove muoversi a piedi o in biciclette sarà molto più semplice, sicuro e piacevole.

Secondo la sindaca di Barcellona, questo progetto di trasformazione urbana a cui sta lavorando con insistenza l'amministrazione cittadina sarà in grado di ripensare il "modello di città": "Non si tratta di un'idea sporadica, ma di una progettazione a lungo termine che risponde alle esigenze dell'emergenza climatica che stiamo vivendo. Con questo e altri progetti nel 2023 la città avrà cambiato volto."



Fig.56: Barcellona, le nuove trasformazioni previste per l'area dell'Eixample

L'obiettivo di fondo dell'intervento che porterà a realizzare dei corridoi verdi nel centro di Barcellona è incrementare lo spazio pubblico di qualità, riducendo l'inquinamento del quartiere che è attraversato ogni giorno da 350.000 veicoli.

Al posto dell'asfalto verrà posizionato del granito nelle aree di maggior pregio, unito alle caratteristiche piastrelle di Barcellona, le "Flor de Barcelona" o in catalano "Panot de Flor": mattonelle di cemento della misura 20 cm x 20 cm, riproducente in negativo un cerchio e quattro petali.

Queste permetteranno non solo di rendere l'ambiente più accogliente, ma di fare anche un investimento in termini di manutenzione stradale: così come i

classici autobloccanti utilizzati in modo diffuso nei Paesi Bassi, anche le “Panot de Flor” sono resistenti e facilmente sostituibili.

Lungo queste strade la vegetazione passerà dall’occupare dall’1% al 12% dello spazio: saranno messi a dimora 400 alberi e oltre 8.000 mq di specie arbustive. L’accesso veicolare alle strade riqualificate sarà limitato ai residenti e ai veicoli di servizio per emergenza o carico e scarico. Le automobili saranno così “ospiti” della strada, proprio come accade nei woonerven olandesi.

L’idea di città della sindaca di Barcellona, fatta pedonalizzazioni, aree verdi, di nuovi tram e altre importanti trasformazioni urbane, non convince tutti: le criticità portate avanti dagli abitanti e dai commercianti sono diverse; tuttavia, la storia ci insegna che una volta compresi i benefici è la popolazione stessa a non voler tornare alle condizioni precedenti

[\(https://www.bikeitalia.it/2022/02/11/barcellona-alberi-e-fiori-al-posto-delle-auto-le-vie-del-centro-diventano-corridoi-verdi/\)](https://www.bikeitalia.it/2022/02/11/barcellona-alberi-e-fiori-al-posto-delle-auto-le-vie-del-centro-diventano-corridoi-verdi/).

Grazie a tutti questi esempi sopra indicati, ci mostrano come l’Europa e tutto il mondo si stia impegnando per “alleggerire” di questo carico di inquinanti che sta andando man mano a peggiorare la situazione; ma è importante sottolineare che le soluzioni per ridurre l’impatto del particolato atmosferico richiedono un approccio multidisciplinare e una cooperazione tra governo, industrie, comunità e individui. Combattere l’inquinamento atmosferico richiede, quindi, uno sforzo collettivo in grado di riuscire a proteggere la salute umana e l’ambiente.

Bibliografia

Alessandrini ER, Faustini A, Chiusolo M et al. Inquinamento atmosferico e mortalità in venticinque città italiane: risultati del progetto EpiAir2. *Epidemiol Prev* 2013;37(4-5):220

ARPAM, Agenzia regionale per la protezione ambientale Marche – Report Regionale della qualità dell’aria 2015-2021.

ARPAT, Agenzia regionale per la protezione ambientale della Toscana -
RELAZIONE ANNUALE SULLO STATO DELLA QUALITÀ DELL’ARIA
IN TOSCANA MONITORAGGIO 2021 - CRTQA Centro Regionale per la
Tutela della Qualità dell’Aria.

ARPALazio, Agenzia regionale per la protezione ambientale Lazio –
RAPPORTO AMBIENTALE E VALUTAZIONE E DELLA QUALITÀ
DELL’ARIA DELLA REGIONE LAZIO, 2021.

ARPALazio, Agenzia regionale per la protezione ambientale Lazio –
RELAZIONE DI PIANO- PIANO DI RISANAMENTO DELLA QUALITÀ
DELL’ARIA AGGIORNAMENTO, 2022

Baccini M, Biggeri A. Impatto a breve termine dell’inquinamento dell’aria nelle città coperte dalla sorveglianza epidemiologica EpiAir2. *Epidemiol Prev* 2013;37(4-5):252-62

Bargagli R., Monitoraggio degli inquinanti atmosferici persistenti mediante i muschi e le piante superiori, 2006.

Bernetti A., ISPRA - Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale, “Le emissioni dal trasporto stradale in Italia” 2021.

Biggeri A, Bellini P, Terracini B. Meta-analysis of the Italian studies on short-term effects of air pollution. *Epidemiol Prev* 2001; 25 (2) suppl: 1 - 72. 8.

Biggeri A, Bellini P, Terracini B. Meta-analysis of the Italian studies on short-term effects of air pollution. *Epidemiol Prev* 2004; 28 (4-5) suppl: 1 - 100.

Cadum E., Forestiere F., “EpiAir Project: Introduction and reading guide to the articles”, December 2013 *Epidemiologia e Prevenzione* 37(4-5):206-8
SourcePubMed

Crosignani P., Tittarelli A., Borgini A., Bertoldi M., “Effetti a breve e a lungo termine dell’inquinamento atmosferico sulla salute umana” 2007. Unità di Epidemiologia Ambientale e Registro Tumori – Istituto Nazionale tumori, Milano.

Delibera del Consiglio SNPA, seduta del 26.05.2021; Doc. n°120/21- Monitoraggio della qualità dell’aria ambiente attraverso stazioni fisse e mobili: modalità tecniche, organizzative e gestionali del SNPA.

Di Biagio K., Simeoni R., Bartolacci S., Baldini M., Mariottini M., “Studio della mortalità per patologie associate all’inquinamento atmosferico in Italia e nelle Marche”, 2014.

Gandini M, Berti G, Cattani G et al. Indicatori ambientali nello studio EpiAir2: i dati di qualità dell'aria per la sorveglianza epidemiologica. *Epidemiol Prev* 2013;37(4-5):209-19

Gazzetta Ufficiale della Repubblica Italiana, 2010 -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. Decreto del 13 agosto 2010, Art. 1, 2, 3, 4, 5, 9, 11, 18 e 19.

Goraya TY, Jacobsen SJ, Kottke TE, Frye RL, Weston SA, Roger VL. Coronary heart disease 6 death and sudden cardiac death: a 20-year population-based study. *Am J Epidemiol* 2003; 157:763– 770. “inquinamento e salute Francesco Forastiere, Dipartimento di Epidemiologia, ASL Roma E,2008”

GOV – Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica - Progetto LIFE (1992), LIFE+ (2010) e LIFE SIRIUS (2022)

Jansen K.L, Timothy V. Larson, Jane Q. Koenig, Therese F. Mar, Carrie Fields, Jim Stewart, and Morton Lippmann., “Associations between Health Effects and Particulate Matter and Black Carbon in Subjects with Respiratory Disease”, Vol. 113, No. 12, 2005.

Marconi A., “Materiale particellare aero-disperso: definizioni, effetti sanitari, misura e sintesi delle indagini ambientali effettuate a Roma”, *Ann. Istituto Superiore di Sanità* 39(3), 329-342, 2003.

Maraun D., Wetterhall F., Ireson A.M., Chandler R.E., Kendon E.J., Widmann M., Brienen S., Rust H.W., Sauter T., Themeßl M., Venema V.K.C., Chun K.P., Goodess C.M., Jones R.G., Onof C., Vrac M., Thiele-Eich I., Precipitation downscaling under climate change. Recent developments to bridge the gap between dynamical models and the end user. *Rev. Geophys.*, 48, RG3003. doi: 10.1029/2009RG000314, 2010.

Oberdörster G, Gelein RM, Ferin J, Weiss B. 1995. Association of particulate air-pollution and acute mortality

Oke T. R. “The micrometeorology of urban forest”, *Phil. Trans. R. Soc. Lond.*, B324, pp. 335- 349 (1989)

Pope, C. A. III, et al., “Cardiovascular mortality and long-term exposure to particulate air pollution: epidemiological evidence of general pathophysiological pathways of disease”, *Circulation*, 2004, pp. 109(1): 71-77.

Progetto regionale PATOS (particolato atmosferico in Toscana): il materiale particolato fine PM10, Regione Toscana Settore Energia, tutela della qualità dell'aria e dall'inquinamento elettromagnetico e acustico, nell'ambito del PRAA 2004-2006

Progetto PIA Ancona: il quadro epidemiologico e l'inquinamento atmosferico. Convenzione tra Comune di Ancona e CNR-IBIM, 2021

Piringer M., Grimmmond, C.S.B., Joffre, S.M., Mestayer, P., Middleton, D.R., Rotach, M.W., Baklanov, A., De Ridder, K., Ferreira, J., Guilloteau, E.,

Karppinen, A., Martilli, A., Masson, V., Tombrou, M. “Investigating the surface energy balance in urban areas Recent advances and future needs. Water, Air and Soil Poll”, Focus 2, 1-16 (2002)

Report sull’ Emergenza smog, cambio di passo cercasi – Legambiente, 2023
<https://www.legambiente.it/comunicati-stampa/emergenza-smog-i-dati-del-report-malaria-di-citta-2023/>

Sangalli G, (11 febbraio 2022), Barcellona, alberi e fiori al posto delle auto: le vie del centro diventano corridoi verdi.
<https://www.bikeitalia.it/2022/02/11/barcellona-alberi-e-fiori-al-posto-delle-auto-le-vie-del-centro-diventano-corridoi-verdi/>

Scarinzi C, Alessandrini ER, Chiusolo M et al. Inquinamento atmosferico e ricoveri ospedalieri urgenti in 25 città italiane: risultati del progetto EpiAir2. Epidemiol Prev 2013;37(4-5):230-41.

Stöckle C. O., Papendick R. I., Saxton K. E., Campbell G. S., van Evert F. K., 1994. A framework for evaluating the sustainability of agricultural production systems. American Journal of Alternative Agriculture, 1-2:45-50.

UpTown-The place to be. (5 ottobre 2020). Monitoraggio ambientale: cos’è e come avviene <https://www.uptown-milano.it/monitoraggio-ambientale-cose-e-come-avviene/>

World Health Organization. Regional Office for Europe. (2006). Air quality guidelines: global update 2005: particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide. World Health Organization. Regional Office for Europe.

WHO global air quality guidelines. Particulate matter (PM_{2.5} and PM₁₀), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide. Geneva: World Health Organization; 2021. Licence: CC BY-NC-SA 3.0 IGO

Wichmann HE, Spix C, Tuch T, Wölke G, Peters A, Heinrich J, Kreyling WG, Heyder J. 2000. Part I: Role of particle number and particle mass. In: Daily Mortality and Fine and Ultrafine Particles in Erfurt, Germany. Research Report 98. Health Effects Institute, Cambridge, MA.