

ALMA MATER STUDIORUM - UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

FACOLTA' DI INGEGNERIA

CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA PER L'AMBIENTE E IL TERRITORIO

TESI DI LAUREA

In

MODELLISTICA AMBIENTALE

**VALUTAZIONE DEI RISCHI PER LA SALUTE UMANA DA ESPOSIZIONE AI
CRITERIA POLLUTANTS NELL'AREA URBANA DI BOLOGNA**

CANDIDATO

Campri Cristina

RELATORE:

Ing. Giacomo Antonioni

CORELATORE:

Ing. Pamela Morra

Anno Accademico 2010/11

Sessione III

Sommario

Abstract	5
CAPITOLO 1	7
INTRODUZIONE.....	7
1.1 LA QUALITÀ DELL'ARIA E I 'CRITERIA POLLUTANTS'	7
1.2 APPROCCIO LEGISLATIVO DELLA COMUNITÀ EUROPEA.....	10
1.3 LEGISLAZIONE IN ITALIA.....	11
CAPITOLO 2.....	18
'CRITERIA POLLUTANTS'	18
2.1 L'ARIA CHE RESPIRIAMO	18
2.2 L'OZONO	19
2.3 IL MONOSSIDO DI CARBONIO	25
2.4 GLI OSSIDI DI AZOTO	27
2.5 GLI OSSIDI DI ZOLFO	31
2.6 IL MATERIALE PARTICOLATO.....	34
2.7 IL PIOMBO	39
CAPITOLO 3.....	41
CORRELAZIONE TRA LA CONCENTRAZIONE DEI "CRITERIA POLLUTANTS" E GLI EFFETTI SULLA SALUTE UMANA	41
3.1. STUDI SULL'EFFETTO DELL'ESPOSIZIONE AI "CRITERIA POLLUTANTS" SULLA SALUTE UMANA	41
3.2 MODELLI PER LA VALUTAZIONE DEGLI EFFETTI.....	43
3.3 CALCOLO DEGLI EFFETTI SULLA POPOLAZIONE RESIDENTE NELL'AREA D'IMPATTO.....	52
CAPITOLO 4.....	55
CASO DI STUDIO:	55
VALUTAZIONE DEI RISCHI SANITARI NELL'AREA URBANA DI BOLOGNA CON APPROCCIO PER ZONE	55
4.1 CASO DI STUDIO: IL COMUNE DI BOLOGNA	55
4.2 RETE DI MONITORAGGIO ARPA.....	56
4.3 ZONIZZAZIONE DEL COMUNE DI BOLOGNA	65
4.4 RACCOLTA DEI DATI DI CONCENTRAZIONE DI NO ₂	71
4.5 RACCOLTA DEI DATI DEMOGRAFICI E PATOLOGIE	86
4.6 APPLICAZIONE CON AIRQ	91
CAPITOLO 5.....	106
VALUTAZIONE DEI RISCHI SANITARI DA ESPOSIZIONE AD NO ₂ NELL'AREA URBANA DI BOLOGNA SENZA APPLICAZIONE DELLA ZONIZZAZIONE	106

5.1 AREA CONSIDERATA	106
5.2 ANALISI DEI DATI	107
5.3 APPLICAZIONE CON AIRQ	110
CAPITOLO 6.....	113
CONFRONTO TRA LE METODOLOGIE UTILIZZATE E CONCLUSIONI	113
6.1 CONFRONTO DEI RISULTATI OTTENUTI	113
6.2 CONCLUSIONI	118
Bibliografia	120

Abstract

Data la crescente consapevolezza dei danni provocati dall'esposizione ai *criteria pollutants*, comprovata da studi epidemiologici sempre più all'avanguardia, la tutela della salute umana è sempre più al centro dell'attenzione delle politiche internazionali.

Nel presente lavoro di tesi è stata effettuata una valutazione sugli effetti sulla salute umana dovuti all'esposizione all'inquinamento atmosferico nel Comune di Bologna per il quinquennio 2006-2010. Tra i sei *criteria pollutants* (PM₁₀, O₃, SO₂, Pb, CO, NO₂), l'analisi è stata focalizzata sugli effetti provocati dall'esposizione all'NO₂, scelta dettata dalla disponibilità dei dati e dalla significativa dannosità dell'inquinante. Questo studio si è prefissato di quantificare tramite la metodologia suggerita dalla World Health Organization (W.H.O.), l'incidenza dell'esposizione ad NO₂ sul numero di decessi e ospedalizzazioni, relativi a patologie individuate negli studi epidemiologici, dato il decremento della concentrazione degli inquinanti dovuto ad un miglioramento della qualità dell'aria imposto dalla legislazione. L'elaborazione è stata portata avanti tramite due metodi che si differenziano per la scelta dell'area in esame. Il primo approccio viene proposto in questo elaborato e si avvale di una discretizzazione dell'area studiata per zone di omogenea distribuzione di concentrazione dell'inquinante, il secondo è quello classico utilizzato nell'analisi della qualità dell'aria da diverse province italiane in cui si considera tutta l'area della città come se fosse sottoposta ad una omogenea concentrazione, definita dalla media delle concentrazioni derivanti dalle centraline della rete di monitoraggio .

E' stato effettuato un confronto fra i due metodi dai quali è scaturito che il metodo proposto può essere una valida alternativa per queste tipologie di analisi. L'elaborazione dei risultati ha evidenziato una diminuzione tra il 20 e il 25% dell'incidenza, per esposizione ad NO₂, sui decessi e le ospedalizzazioni.

CAPITOLO 1

INTRODUZIONE

1.1 LA QUALITÀ DELL'ARIA E I 'CRITERIA POLLUTANTS'

L'inquinamento atmosferico è uno degli argomenti che coinvolgono il dibattito politico in tema ambientale ma anche economico mondiale.

Per inquinamento atmosferico si intende la presenza di sostanze che, modificano la composizione e l'equilibrio dell'atmosfera stessa, ed è causa di effetti dannosi sull'uomo (nel breve e lungo periodo, su scala locale e globale), sul mondo animale e vegetale, sulla qualità ambientale.

Tradizionalmente gli inquinanti vengono classificati in due categorie principali: quelli di origine antropica (derivanti dall'utilizzo dei combustibili fossili, attività di produzione industriale, estrazione dei minerali, incenerimento dei rifiuti, attività agricola) e quelli naturali (derivanti da fenomeni naturali).

L'inquinamento di origine antropica si sprigiona dalle grandi sorgenti fisse (industrie, impianti per la produzione di energia elettrica ed inceneritori); da sorgenti fisse di piccole dimensioni (impianti per il riscaldamento domestico) e da sorgenti mobili (il traffico veicolare). Molte di esse sono legate alla produzione ed al consumo di energia, specialmente combustibili fossili. I contaminanti atmosferici, possono anche essere suddivisi in "primari" cioè liberati nell'ambiente come tali (come ad esempio il biossido di zolfo ed il monossido di azoto) e secondari (come l'ozono) che si formano successivamente in atmosfera attraverso reazioni chimico-fisiche.

La diffusione degli inquinanti dipende da diversi fattori:

1. il numero dei contaminanti presenti nelle emissioni
2. il numero e la concentrazione delle sorgenti che producono l'inquinamento
3. la distanza dalle aree di emissione
4. le trasformazioni chimico-fisiche alle quali sono sottoposte le sostanze emesse
5. l'eventuale velocità di ricaduta al suolo
6. la situazione morfologica delle aree interessate
7. le condizioni meteorologiche locali e globali

Gli effetti dell'inquinamento atmosferico si possono suddividere in due macrogruppi: negli effetti globali e locali. Tra gli effetti globali vi sono l'effetto serra, il buco nell'ozono, il riscaldamento globale del pianeta, le piogge acide... si tratta di tutti quegli effetti causati dall'azione di alcuni inquinanti la cui emissione viene valutata su grande scala. Per quanto riguarda gli effetti locali invece si può citare lo smog, diminuzione della visibilità, nebbie, riscaldamento delle città, effetti sulla salute dell'uomo dovuta all'esposizione diretta a lungo e a breve periodo a determinate concentrazioni di inquinanti.

La qualità dell'aria, è diventata quindi negli ultimi anni un tema molto discusso sia a livello politico che ambientale, a causa degli ormai accertati impatti sull'ambiente, sulla salute umana e sul sistema economico.

Grazie alla sensibilizzazione in primis a livello europeo e di conseguenza a livello nazionale, il problema della qualità dell'aria è stato introdotto anche all'interno del sistema legislativo. Prendendo in considerazione la qualità dell'aria ambiente, sono stati identificati sei inquinanti chiave i “*criteria pollutants*” attraverso le cui concentrazioni è possibile definire un livello di accettabilità della qualità dell'aria, poiché correlabili con diverse patologie sulla salute dell'uomo e dell'ambiente.

I *criteria pollutants* sono sei: ozono (O₃), monossido di carbonio (CO),

piombo (Pb), ossidi di azoto (NO_x), ossidi di zolfo (SO₂) e materiale particolato (PM₁₀, PM_{2,5}).

Ad essi si riferiscono diversi studi effettuati in tutto il mondo. Tra i principali si possono citare quelli di E.P.A., Environmental Protection Agency (C.A.A.A.: The Clean Air Act Amendments of 1990) negli U.S.A. e di World Health Organization W.H.O. (1996) in Europa.

Il termine “ *criteria air pollutants*” è stato assunto da E.P.A. in quanto è possibile correlare questi inquinanti ad effetti sulla salute umana e sull'ambiente, ed è quindi possibile individuare dei livelli limite che non creino danni sulla salute e sull'ambiente. Partendo da questa consapevolezza sono stati creati diversi indici e modelli di rischio sanitario sulla salute basati sulla concentrazione dei *criteria pollutants*.

Prendendo come riferimento gli studi USA, queste concentrazioni soglia sono denominate *National Ambient Air Quality Standards* (NAAQS) e sono state individuate nel C.A.A.A.

L'EPA ha coniato due standard nazionali principali:

- gli standard primari: i quali si riferiscono alla salute umana (in cui è inclusa la popolazione più sensibile, come i bambini, gli asmatici e gli anziani)
- gli standard secondari: che si riferiscono al benessere ambientale (con ambiente identifichiamo: gli animali, la vegetazione compresa anche l'agricoltura e i manufatti).

Nella tabella sottostante sono riportati gli standard di qualità dei *criteria pollutants* negli Stati Uniti, le cui unità di misura sono parti per milione (ppm) volumetriche, parti per miliardo (ppb - 1 part in 1,000,000,000) volumetriche, milligrammi e microgrammi su metro cubo di aria (mg/m³), (µg/m³).

Tabella 1.1: Standard di qualità dell'aria per gli Stati Uniti (NAAQS)

<http://www.epa.gov/air/criteria.html>

Pollutant [final rule cite]	Primary/Secondary	Averaging Time	Level	Form
Carbon Monoxide	primary	8-hour	9 ppm	Not to be exceeded more than once per year
		1-hour	35 ppm	
Lead	primary and secondary	Rolling 3 month average	0.15 µg/m	Not to be exceeded
Nitrogen Dioxide	primary	1-hour	100 ppb	98th percentile, averaged over 3 years
	primary and secondary	Annual	53 ppb	Annual Mean
Ozone	primary and secondary	8-hour	0.075 ppm	¹ / ₃ Annual fourth-highest daily maximum 8-hr concentration, averaged over 3 years
pm _{2,5}	primary and secondary	Annual	15 µg/m ³	annual mean, averaged over 3 years
		24-hour	35 µg/m ³	98th percentile, averaged over 3 years
pm ₁₀	primary and secondary	24-hour	150 µg/m ³	Not to be exceeded more than once per year on average over 3 years
Sulfur Dioxide	primary	1-hour	75 ppb	99th percentile of 1-hour daily maximum concentrations, averaged over 3 years
	secondary	3-hour	0.5 ppm	Not to be exceeded more than once per year

1.2 APPROCCIO LEGISLATIVO DELLA COMUNITÀ EUROPEA

La Comunità Europea, come primo approccio legislativo verso i limiti riguardanti gli inquinanti atmosferici, si avvale di un documento sulle linee guida della qualità dell'aria (AQG). Tale documento, redatto dal WHO, contiene informazioni dettagliate in merito agli effetti sulla salute umana causati dall'esposizione ad aria inquinata.

L'Unione europea utilizzò quindi questo documento come base per decretare dei valori limite su vari inquinanti validi per tutti gli stati membri. A tali stati è imposto l'obbligo di monitoraggio dell'aria, la comunicazione dei risultati alla Commissione e la pubblicazione degli stessi con frequenza annuale.

Di seguito si riporta un breve excursus delle direttive europee a riguardo della qualità dell'aria fino alla direttiva vigente oggi (2008/50/CE):

- Direttiva 96/62/CE - “Valutazione e gestione della qualità dell’aria ambiente”
- Direttiva 99/30/CE - “Valori limite di qualità dell’aria ambiente per il biossido di zolfo, gli ossidi di azoto, le particelle e il piombo”
- Direttiva 00/69/CE - “Valori limite di qualità dell’aria ambiente per benzene ed il monossido di carbonio”
- Direttiva 2002/03/CE - “Valori limite di qualità dell’aria ambiente per l’ozono”
- Direttiva 2008/50/CE - “Qualità dell’aria ambiente e per un’aria più pulita in Europa”.

1.3 LEGISLAZIONE IN ITALIA

Le direttive europee sono state recepite dall’Italia attraverso l’emanazione dei seguenti provvedimenti di legge che hanno parzialmente abrogato il D.P.R. 203/88:

- Decreto Presidente del Consiglio dei Ministri 28/03/1983
- Decreto Ministeriale 20/05/1991: ”Criteri per la raccolta dei dati inerenti la qualità dell’aria”
- Decreto Presidente della Repubblica 10/01/1992: “Atto di indirizzo e coordinamento in materia di sistemi di rilevazione dell’inquinamento urbano”
- Decreto Ministeriale del 25/11/1994: “Aggiornamento delle norme tecniche in materia di limiti di concentrazione e di livelli di attenzione e di allarme per gli inquinamenti atmosferici nelle aree urbane e

disposizioni per la misura di alcuni inquinanti di cui al Decreto Ministeriale 15 aprile 1994”

- Decreto Ministeriale 23/10/1998: “Individuazione dei criteri ambientali e sanitari in base ai quali i sindaci adottano le misure di limitazione della circolazione”
- Decreto Legislativo 4 Agosto 1999 n. 351: “Attuazione della direttiva 96/62/CE in materia di valutazione e di gestione della qualità dell’aria ambiente”
- Decreto Ministeriale 2 aprile 2002 n. 60: “Attuazione delle direttive 99/30/CE e 00/69/CE riguardanti i valori limite di qualità dell’aria relativi a biossido di zolfo, ossidi di azoto, PM10, piombo, benzene e monossido di carbonio”. Particolare rilievo viene dato all’informazione al pubblico e vengono definiti con chiarezza sia i criteri per l’ubicazione dei punti di campionamento che quelli per determinare il numero minimo degli stessi. Il decreto dispone inoltre l’abrogazione di tutte le normative precedenti relative agli inquinanti trattati.
- Il decreto ministeriale n.261/2002 introduce le modifiche che più sostanzialmente stanno producendo effetti nei metodi di valutazione e gestione della qualità dell’aria e nei rapporti tra gli enti coinvolti. Infatti qui sono spiegate le modalità tecniche per arrivare alla zonizzazione del territorio, le attività necessarie per la valutazione preliminare della qualità dell’aria, i contenuti dei piani di risanamento, azione, mantenimento.
- D.Lgs. 155/2010. Si tratta del Dlgs che attuando la Direttiva 2008/50/CE riordina completamente la normativa in materia di gestione tutela della qualità dell’aria per i seguenti inquinanti: biossido

di zolfo, biossido di azoto, benzene, monossido di carbonio, piombo e PM10, PM2,5, ozono, arsenico, cadmio, nichel e benzo(a)pirene”

Attraverso queste norme si definiscono le modalità di realizzazione della valutazione e gestione della qualità dell'aria, sia in termini di protezione della popolazione sia di salvaguardia dell'ambiente nel suo complesso. Questo obiettivo è perseguito mediante l'adozione di strumenti conoscitivi integrati quali il monitoraggio della qualità dell'aria, gli inventari delle emissioni e la modellistica di trasporto, dispersione e trasformazione chimica. Da ciò deriva il bisogno di definire un sistema armonizzato di produzione, raccolta e diffusione delle informazioni, con lo scopo di garantire la prevenzione, l'eliminazione o riduzione degli agenti inquinanti, in un'ottica di valutazione integrata dello stato dell'ambiente.

La legislazione italiana prevede quindi un glossario di definizioni chiave che devono supportare l'intero sistema di gestione della qualità dell'aria (Es: valore limite, valore obiettivo, margine di tolleranza, zona, agglomerato etc.) e definisce in modo articolato il livello delle competenze, declinando i compiti di ciascun ente.

Oltre alle funzioni di livello ministeriale, quali il recepimento delle nuove soglie di inquinamento derivanti da direttive europee, vengono individuate nelle **regioni** le articolazioni locali di riferimento con le mansioni di:

- valutazione della qualità dell'aria
- misurazione nei differenti territori opportunamente aggregati in zone
- definizione di piani di azione contenenti le misure da attuare per evitare il superamento dei valori limite e delle soglie di allarme.

Queste disposizioni hanno trovato a livello della Regione Emilia-Romagna un quadro normativo che articola ulteriormente la materia. Infatti con la **legge regionale n.3/1999** la Regione mantiene le funzioni che richiedono un esercizio unitario di coordinamento e di programmazione e pianificazione. L'art.122 pone in capo alle province l'individuazione delle zone per le quali è necessario predisporre un piano finalizzato al risanamento atmosferico.

Il combinato disposto del nuovo quadro normativo (D.Lgs.351, DM60 e DM261, L.R. 3/99) delinea una serie di attività per la pianificazione e gestione della qualità dell'aria che, in virtù della delega regionale, devono essere svolte dalle province:

- valutazione preliminare della qualità dell'aria finalizzata alla zonizzazione
- previsione della rete di monitoraggio (stazioni e parametri)
- elaborazione di piani e programmi di risanamento specifici per ciascun inquinante e per ciascuna zona
- monitoraggio dei piani e programmi
- verifica e valutazione dei risultati
- rielaborazione del processo: nuova valutazione, zonizzazione, piani...

Alla regione resta una competenza in termini di coordinamento e di programmazione delle risorse. In accordo con gli standard europei i valori di riferimento per la qualità dell'aria previsti dal D.Lgs. 155/2010 sono:

Tabella 1.2: Valori limite e livelli critici dei criteria pollutants, DLgs 155/2010, allegato 11

Periodo di mediazione	Valore limite	Margine di tolleranza	Data entro la quale il valore limite deve essere raggiunto
Biossido di zolfo			
1 ora	350 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ da non superare più di 24 volte per anno civile		-(1)
1 giorno	125 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ da non superare più di 3 volte per anno civile		-(1)
Biossido di azoto			
1 ora	200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ da non superare più di 18 volte per anno civile	50% il 19 luglio 1999 con una riduzione il 1° gennaio 2001 e successivamente ogni 12 mesi secondo una percentuale annua costante fino a raggiungere lo 0% entro il 1° gennaio 2010	1° gennaio 2010
Anno civile	40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	50% il 19 luglio 1999 con una riduzione il 1° gennaio 2001 e successivamente ogni 12 mesi secondo una percentuale annua costante fino a raggiungere lo 0% entro il 1° gennaio 2010	1° gennaio 2010
Monossido di carbonio			
Media massima giornaliera calcolata su 8 ore (2)	10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$		-(1)
Piombo			
Anno civile	10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$		-(1)(3)
Pm10			
1 giorno	50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ da non superare più di 35 volte per anno civile	50% il 19 luglio 1999 con una riduzione il 1° gennaio 2001 e successivamente ogni 12 mesi secondo una percentuale annua costante fino a raggiungere lo 0% entro il 1° gennaio 2005	-(1)
Anno civile	40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	20% il 19 luglio 1999 con una riduzione il 1° gennaio 2001 e successivamente ogni 12 mesi secondo una percentuale annua costante fino a raggiungere lo 0% entro il 1° gennaio 2005	-(1)

Pm2,5			
Anno civile	40 µg/m ³	20% il 11 giugno 2008 con una riduzione il 1° gennaio successivo e successivamente ogni 12 mesi secondo una percentuale annua costante fino a raggiungere lo 0% entro il 1° gennaio 2015	

(1) Già in vigore dal 1° gennaio 2005.

(2) La massima concentrazione media giornaliera su 8 ore si determina con riferimento alle medie consecutive su 8 ore, calcolate sulla base di dati orari ed aggiornate ogni ora. Ogni media su 8 ore in tal modo calcolata è riferita al giorno nel quale la serie di 8 ore si conclude: la prima fascia di calcolo per un giorno è quella compresa tra le ore 17:00 del giorno precedente e le ore 01:00 del giorno stesso; l'ultima fascia di calcolo per un giorno è quella compresa tra le ore 16:00 e le ore 24:00 del giorno stesso.

(3) Tale valore limite deve essere raggiunto entro il 1° gennaio 2010 in caso di aree poste nelle immediate vicinanze delle fonti industriali localizzate presso siti contaminati da decenni di attività industriali. In tali casi il valore limite da rispettare fino al 1° gennaio 2010 è pari a 1,0 µg/m³. Le aree in cui si applica questo valore limite non devono comunque estendersi per una distanza superiore a 1.000 m rispetto a tali fonti industriali.

Definizione di 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.

Tabella 1.3: Livelli critici per la protezione della vegetazione, Dlgs 155/2010, allegato 11

Periodo di mediazione	Livello critico annuale (anno civile)	Livello critico invernale (1°ottobre-31 marzo)	Margine di tolleranza
Biossido di zolfo			
	20 µg/m ³	20 µg/m ³	Nessuno
Ossidi di azoto			
	30 µg/m ³ NOx		Nessuno

Definizione di 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.

Tabella 1.4: Soglie di informazione e di allarme Dlgs 155/2010, allegato 12

Finalità	Periodo di mediazione	soglia
Informazione	1 ora	180 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Allarme	1 ora (1)	240 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
-(1) Per l'applicazione dell'articolo 10, comma 1, deve essere misurato o previsto un superamento per tre ore consecutive.		

Soglia di allarme: livello oltre il quale sussiste un rischio per la salute umana in caso di esposizione di breve durata per la popolazione nel suo complesso ed il cui raggiungimento impone di adottare provvedimenti immediati.

In Italia e in tutti i Paesi della Comunità Europea è pertanto obbligatoria l'attuazione di programmi di monitoraggio della qualità dell'aria nelle zone urbane ed extra-urbane, in grado di fornire con continuità le concentrazioni medie orarie di numerosi agenti inquinanti e la conseguente definizione di piani di intervento, in caso di superamento dei limiti di accettabilità.

CAPITOLO 2

'CRITERIA POLLUTANTS'

2.1 L'ARIA CHE RESPIRIAMO

L'aria che respiriamo è costituita per il 78,9% da azoto (N_2) per il 20,9% da ossigeno (O_2) e per lo 0,2% da anidride carbonica (CO_2), gas nobili (elio) e idrogeno (H_2).

L'aria rappresenta una materia prima indispensabile per la vita degli organismi viventi: è infatti fonte dell'ossigeno necessario ai processi di produzione dell'energia che sono alla base della vita e della attività cellulare. Gli interscambi tra aria atmosferica e organismi viventi avvengono attraverso vari organi e apparati, fra questi l'APPARATO RESPIRATORIO rappresenta il principale sistema di contatto con l'atmosfera e tutto ciò che in essa è presente. Un individuo adulto respira:

- in condizioni di riposo: dai 6 ai 9 litri di aria al minuto (circa 9-13 metri cubi al giorno);
- durante una attività fisica moderata: 60 litri al minuto;
- durante un'attività fisica intensa: 130 litri al minuto.

Questi volumi d'aria sono filtrati da una superficie respiratoria che si sviluppa per una estensione complessiva di ben 130-150 metri quadrati. L'inquinamento atmosferico è dato dalla presenza nell'aria di una o più sostanze indesiderate o estranee, in quantità e per una durata tali da alterare la salubrità dell'aria stessa e da costituire un pericolo per la salute umana. Se si considera la quantità di aria che viene quotidianamente respirata da un individuo, ci si può meglio rendere conto della sua importanza ai fini della salute e dei rischi collegati alla respirazione di aria inquinata. Partendo da questa consapevolezza possiamo analizzare i *criteria pollutant* dal punto di

vista della loro origine, distribuzione ed effetti sulla salute dell'uomo.

2.2 L'OZONO

L'ozono (O_3) è il componente dominante dello smog. Sebbene esso abbia un ruolo vantaggioso nella zona più alta dell'atmosfera grazie alla sua facoltà di proteggere la terra dalle radiazioni ultraviolette nocive del sole, concentrazioni elevate di ozono al livello del suolo sono estremamente pericolose per l'ambiente e la salute umana.

In generale l'ozono non è emesso direttamente, ma si forma attraverso complesse reazioni chimiche che avvengono nell'atmosfera. Composti precursori come i composti organici volatili (VOC) e gli ossidi di azoto (NO_x) reagiscono per formare ozono in presenza della luce del sole. Queste reazioni sono stimulate dalla radiazione ultravioletta e dalla temperatura, ne consegue che i livelli di picco di ozono si raggiungono tipicamente durante i periodi più caldi del giorno e dell'anno. L'alta reattività dell'ozono provoca problemi alla salute a livello dei polmoni: ne danneggia il tessuto, ne riduce la funzionalità e causa sensibilità ad altri composti irritanti.

Formazione:

L'aria ricca di monossido di azoto (NO) sale rispetto al livello stradale. Questo NO reagisce con l'ozono (O_3) già nell'aria per formare biossido di azoto (NO_2). Perciò questa prima parte del ciclo di reazioni in verità causa la rimozione dell'ozono dall'atmosfera. Infatti, le concentrazioni di ozono al livello della strada sono spesso molto basse e durante i periodi di inquinamento da ozono, le concentrazioni di ozono in città possono essere più basse che nelle campagne circostanti. Le masse d'aria ricche di NO_x sono

poi trasportate dal vento verso le aree rurali. Un ulteriore problema può sorgere dalle automobili con motore diesel dotate di filtri anti particolato. Sebbene questi filtri trattengano le particelle dannose presenti nei gas di scarico e diminuiscano gli NO_x (solo se presenti catalizzatori), è notevole però l'aumento in fase di rigenerazione del rapporto ossido di azoto e biossido di azoto (NO_2), quindi si salta la parte di ciclo di distruzione dell'ozono per passare direttamente a quella di formazione facendo aumentare l'ozono nel bilancio globale.

Il secondo componente necessario per la formazione di ozono è la presenza di perossidi organici.

Le molecole organiche sono emesse dalle foreste e dalla vegetazione, così come da sorgenti antropogeniche (ad es. solventi o evaporazione di carburanti alle stazioni di rifornimento). Qui di seguito è riportata la struttura di alcuni composti organici, indicati col termine generico RH. Questi composti subiscono trasformazioni chimiche in fase gassosa. Durante il giorno, la reazione tipica è quella che coinvolge il radicale ossidrile (OH), seguita da addizione di una molecola di ossigeno (O_2). Ne risulta la formazione di un radicale perossidico (RO_2), dove R indica la parte organica non reattiva della molecola. Le specie radicaliche hanno un elettrone spaiato che le rende estremamente reattive.

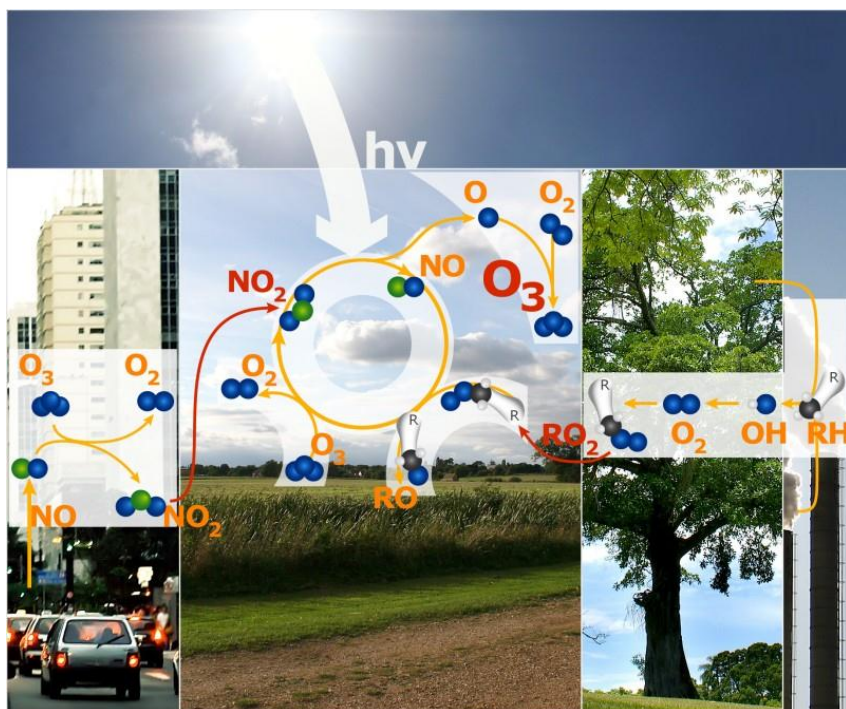
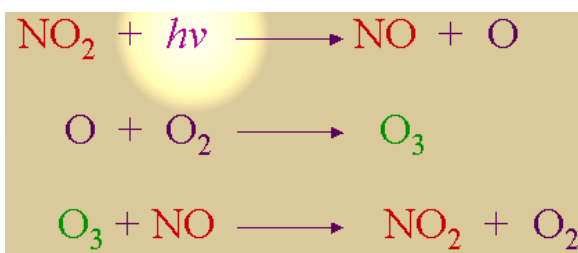


Figura 2.1: Schema delle reazioni di ozono ed ossidi di azoto in atmosfera

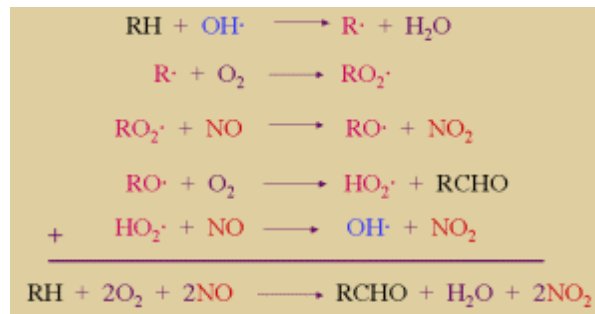
Il ciclo di formazione dell'ozono ha inizio nelle aree rurali, sottovento rispetto alle città:

1) Il biossido di azoto (NO₂) è distrutto dalla radiazione solare per formare atomi di ossigeno (O) e monossido di azoto (NO).



2) Gli atomi di O reagiscono con l'ossigeno molecolare gassoso (O₂) per formare l'ozono (O₃).

3) NO reagisce con i radicali perossidici RO₂ per formare di nuovo. NO₂



4) Parte dell' O₃ è rimosso in seguito alla reazione con NO. La quantità che viene rimossa dipende dalla concentrazione dei radicali RO₂ che competono per la reazione con NO. Alla fine i radicali perossidici sono distrutti e l'ozono si accumula mentre gli ossidi di azoto sono riciclati di continuo. Questo ciclo si verifica solo se:

- c'è abbastanza luce solare da degradare NO₂ in NO e O (la reazione ha luogo nei giorni caldi di sole).
- se la miscela di radicali perossidici e ossidi di azoto favorisce la reazione.

Effetti sulla salute: evidenze scientifiche segnalano che livelli di ozono nell'ambiente colpiscono non solo la popolazione con funzioni respiratorie compromesse, come gli asmatici, ma anche adulti e bambini in buona salute. E' stato dimostrato che l'esposizione ad ozono per parecchie ore a concentrazioni relativamente basse riduce in maniera significativa la funzione polmonare e causa un'inflammatione respiratoria in persone normali e sane. Questa riduzione della funzione polmonare è generalmente accompagnata da sintomi come dolori al torace, tosse, asma, congestione polmonare e compromissione del sistema di difesa immunitaria. Tra i danni alla salute provocati dall'ozono si includono dunque malattie respiratorie croniche come l'enfisema e le bronchiti croniche.

L'ozono può aggravare l'asma e altre patologie, infatti quando i livelli di ozono sono alti, diventa più probabile che gli asmatici possano avere un

attacco, che richiede un uso di farmaci o una visita medica. L'ozono rende gli asmatici più sensibili agli allergeni che scatenano l'attacco. Inoltre gli asmatici sono più sensibili alla riduzione della funzione polmonare e all'irritazione che l'ozono provoca nel sistema respiratorio. L'ozono può aggravare le malattie croniche del polmone, quali enfisemi e bronchiti. Come spesso accade i bambini sono maggiormente a rischio per l'esposizione ad ozono, sia a causa della maggiore quantità di aria inalata per peso corporeo rispetto agli adulti, sia perché il loro sistema respiratorio è ancora in fase di sviluppo e questo li rende più vulnerabili degli adulti alle minacce ambientali. Alcuni studi hanno anche reso noti gli effetti negativi dell'ozono sulla crescita, riproduzione e salute generale delle piante e degli ecosistemi.

Per quanto riguarda la relazione tra l'esposizione all'ozono e casi di mortalità, questa è stata dimostrata solo in alcuni studi che hanno evidenziato pochi casi, ma statisticamente significativi. Non sono ancora convincenti invece i risultati degli studi sull'indipendenza degli effetti dell'ozono rispetto agli altri contaminanti e degli effetti sinergici in combinazione con altri effetti.

Altri effetti sulla salute sono stati riscontrati su alcuni studi su animali che hanno suggerito che l'ozono possa ridurre le capacità del sistema immunitario a combattere le infezioni dell'albero respiratorio. La maggior parte di questi effetti sono considerati a breve termine e cessano una volta che gli individui non sono più esposti a elevati livelli di ozono. Ci si preoccupa però che danni derivati da ripetute esposizioni di breve durata possano portare a cambiamenti permanenti del polmone. Per esempio, ripetute esposizioni all'ozono dei polmoni in fase di sviluppo dei bambini possono portare ad una riduzione della funzione polmonare una volta adulti. Inoltre, l'esposizione ad ozono può accelerare il naturale processo di invecchiamento della funzione polmonare.

Popolazione a rischio: Quattro gruppi di persone sono particolarmente sensibili all'ozono. Questi gruppi diventano particolarmente sensibili quando sono impegnati in attività fisiche all'aperto (per lavoro, gioco o sport). Infatti tali attività determinano nelle persone un aumento della frequenza respiratoria che produce una penetrazione più profonda dell'ozono nelle parti dei polmoni che sono più vulnerabili. I gruppi sensibili includono:

- **Bambini.**

I bambini sono il gruppo a più alto rischio per una esposizione ad ozono, perché essi trascorrono gran parte del periodo estivo all'aperto e sono spesso impegnati in attività fisiche intense. I bambini hanno anche maggiori probabilità di sviluppare l'asma o altre malattie respiratorie che possono essere aggravate dall'esposizione ad ozono.

- **Soggetti sani che fanno attività fisica all'aperto.** Adulti in buona salute che fanno attività fisica all'aperto (sia essa sportiva o lavorativa) diventano un gruppo "sensibile" perché sono più esposti all'ozono rispetto a popolazione meno attiva all'aperto.

- **Persone con malattie respiratorie** (asma, broncopneumopatie croniche). Tali malattie rendono i polmoni più vulnerabili agli effetti dell'ozono. Pertanto gli individui che si trovano in queste condizioni manifestano gli effetti dell'ozono prima e a concentrazioni più basse rispetto agli individui meno sensibili. Questo gruppo può includere molte persone anziane.

- **Persone con una particolare suscettibilità all'ozono.** A tutt'oggi, vi sono alcune evidenze che indicano che gli anziani o le persone con malattie cardiache abbiano un'augmentata sensibilità all'ozono. Comunque, come altri adulti, le persone anziane possono essere ad alto rischio se soffrono di malattie respiratorie o se sono attivi all'aperto.

2.3 IL MONOSSIDO DI CARBONIO

Il Monossido di carbonio (CO) è un gas incolore, insapore, inodore ed è un po' più leggero dell'aria. Esso rappresenta l'inquinante gassoso più abbondante in atmosfera.

Il monossido di carbonio si forma principalmente dalla combustione incompleta degli idrocarburi presenti in carburanti e combustibili. Quando la combustione avviene in condizioni ideali si forma esclusivamente anidride carbonica (CO₂) mentre quando la quantità di ossigeno a disposizione è insufficiente, si forma anche il monossido di carbonio. La principale sorgente di questa sostanza è rappresentata dal traffico veicolare (circa l'80% della produzione complessiva; in ambito urbano anche fino al 90-95%), in particolare dai gas di scarico dei veicoli a benzina. La concentrazione di monossido di carbonio emessa dagli scarichi dei veicoli è strettamente correlata alle condizioni di funzionamento del motore: si registrano concentrazioni più elevate con motore a bassi regimi ed in fase di decelerazione, condizioni tipiche di traffico urbano intenso e rallentato. Altre sorgenti sono gli impianti termici e alcuni processi industriali. Il monossido di carbonio è un inquinante primario con un tempo di permanenza in atmosfera relativamente lungo (circa 4mesi) e con una bassa reattività chimica; pertanto le concentrazioni in atmosfera maggiori di questo inquinante si riscontrano in prossimità delle sorgenti principali (aree urbane con traffico veicolare intenso). Inoltre, la concentrazione spaziale su piccola scala del monossido di carbonio risente in modo rilevante dell'interazione tra le condizioni micrometeorologiche e la struttura delle strade (possibilità di "effetto Canyon").

Gli ossidi di carbonio sono composti generalmente piuttosto stabili tanto che le uniche reazioni (non interessanti le loro interazioni con le grandi biomasse ambientali come mari, vegetazione, inerti), avvengono a livello della troposfera e sono fondamentalmente volte alla conversione di CO in CO₂

Effetti sulla salute: La tossicità del monossido di carbonio è dovuta alla sua capacità di legarsi con l'emoglobina del sangue in concorrenza con l'ossigeno, formando carbossiemoglobina (COHb), interferendo così sul trasporto di ossigeno ai tessuti. Il legame tra Monossido di carbonio ed emoglobina è duecento volte più intenso di quello tra l'emoglobina e ossigeno: dunque la presenza di elevate concentrazioni di monossido di carbonio nell'aria inibisce il naturale processo di ossigenazione del sangue. La concentrazione di carbossiemoglobina nel sangue cresce molto rapidamente soprattutto nelle arterie coronarie e cerebrali, con conseguenze dannose sul sistema nervoso e cardiovascolare, in particolare nelle persone affette da cardiopatie e nei fumatori. In particolare l'esposizione al monossido di carbonio può portare a mutamenti nella funzione cardiaca e polmonare, emicrania, affaticamento, sonnolenza e difetti respiratori. Non sono stati riscontrati effetti particolari nell'uomo per concentrazioni di carbossiemoglobina inferiori al 2%, corrispondente ad un'esposizione per 90 minuti a 47 mg/m^3 di monossido di carbonio; se l'esposizione sale ad 8 ore, concentrazioni di monossido di carbonio di poco superiori a 20 mg/m^3 non possono essere considerate ininfluenti per particolari popolazioni a rischio, quali soggetti con malattie cardiovascolari e donne in gravidanza. Concentrazioni elevatissime di monossido di carbonio possono anche condurre alla morte per asfissia, ma alle concentrazioni abitualmente rilevabili nell'atmosfera urbana gli effetti sulla salute sono reversibili e sicuramente meno acuti: infatti se l'esposizione al monossido di carbonio viene interrotta, il monossido di carbonio combinato con l'emoglobina viene spontaneamente rilasciato in poche ore.

Tabella 2.1: Valori indicativi degli effetti di CO sull'uomo, Sanità pubblica della Regione Emilia-Romagna e con la collaborazione dei Dipartimenti di Sanità pubblica delle Aziende Usl.

Valori indicativi degli effetti del CO sull'uomo Concentrazioni per un'ora di esposizione , sintomi			Conc. Troposferica Media
nessun problema apprezzabile	500	ppm	0.1-0.2 ppm
primi effetti apprezzabili	650	ppm	
nausea, vomito, mal di testa e disagio	1500	ppm	
pericolo per la sopravvivenza	1500	ppm	
fatale	>3000	ppm	

Per quanto riguarda la vegetazione, elevate quantità di CO sembra portino ad una riduzione della capacità di fissare l'azoto da parte dei batteri presenti sulle radici delle piante con conseguente ridotta capacità di sviluppo della vegetazione, per piccole concentrazioni come quelle presenti in atmosfera non si riscontrano effetti.

2.4 GLI OSSIDI DI AZOTO

Le forme più importanti di azoto reattivo nell'aria sono il monossido di azoto (NO) e il biossido di azoto (NO₂), gas bruno di odore acre e pungente. Insieme sono chiamati NO_x. Gli ossidi di azoto si formano nell'atmosfera principalmente dalla dissociazione del gas azoto (N₂). Siccome i due atomi di azoto in N₂ sono legati da un legame molto forte (il triplo legame azoto-azoto), non è facile spezzare la molecola di N₂ in due. Anche se alcuni batteri hanno sviluppato speciali meccanismi per farlo, oltre ad essi anche le temperature molto elevate possono rompere questo legame e in special modo durante le combustioni per la produzione di calore, vapore, energia elettrica,

energia meccanica (autotrazione, esplosioni), incenerimento, ecc.... Quindi anche i motori dei veicoli raggiungono temperature sufficientemente alte da emettere ossidi di azoto nei gas di scappamento. Per far fronte a ciò vengono montati convertitori catalitici sulle automobili atti alla diminuzione della produzione di questi composti dannosi. Una volta formatosi l'ossido di azoto dal processo di combustione, questo, interagendo durante il processo di raffreddamento dei fumi con l'ossigeno, il quale si trova in quantitativi sempre in eccesso in un processo di combustione, si trasforma parzialmente in biossido di azoto con formazione di un miscuglio dei due ossidi (NO_x). Alcuni studi hanno dimostrato che il maggiore responsabile dell'inquinamento antropico da ossidi di azoto è il traffico veicolare che rappresenta quasi il 50% della produzione globale ed in particolare per l'utilizzo dei motori diesel.

La notevole reattività fotochimica è sicuramente la caratteristica peculiare degli ossidi di azoto. Le reazioni fotochimiche avvengono in seguito all'assorbimento di energia proveniente dalla radiazione solare da parte di molecole, atomi e ioni. E come è stato precedentemente illustrato (paragrafo 2.2 reazioni di formazione dell'ozono), questo tipo di reattività li rende precursori di una innumerevole serie di reazioni radicaliche che avvengono nella troposfera.

Dalle reazioni del ciclo si vede che se non intervenissero altri fattori si manterrebbero costanti i rapporti tra NO_2 e NO presenti in atmosfera. In realtà la presenza di altre molecole accettrici di radicali, quali ad esempio particolari idrocarburi, favoriscono l'accumulo di NO_2 e di ozono, O_3 . Ulteriori reazioni non ancora completamente studiate sono quelle che portano nel giro di tre, quattro giorni alla scomparsa completa sia di NO che di NO_2 , si pensa per la loro trasformazione in presenza di umidità atmosferica in acido nitrico e di conseguenza in nitrati che ricadono poi al suolo con le piogge o sotto forma di particolati.

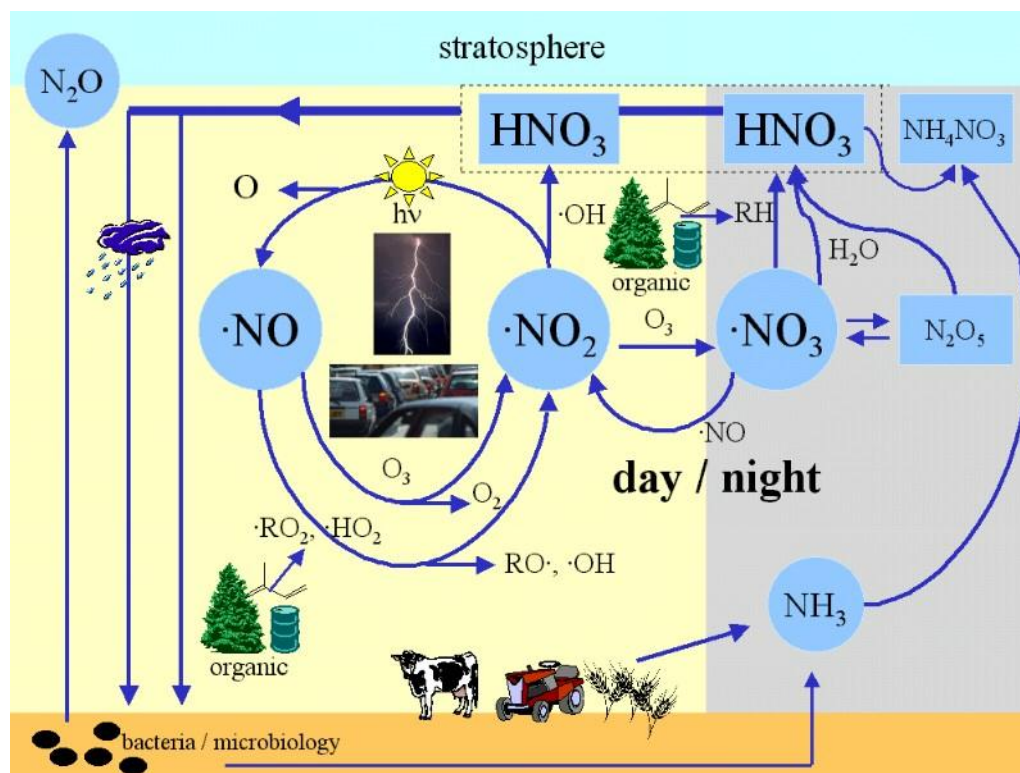


Figura 2.2: Visione d'insieme del ruolo degli ossidi di azoto in alcuni dei più importanti processi nella chimica dell'atmosfera.

Effetti sull'uomo: Gli NO_x sono gas, per questa ragione la sola via significativa di esposizione è costituita dall'inalazione. L' NO_2 è circa 4 volte più tossico dell' NO . Per quest'ultimo, alle normali concentrazioni riscontrabili nell'ambiente, non sono stati mai riportati fenomeni di irritazione o altri effetti sanitari. L' NO_2 agisce come un forte ossidante. I lipidi e le proteine di membrana sono facilmente ossidati con conseguente perdita del controllo della permeabilità della membrana cellulare. Le concentrazioni maggiori sembrerebbero comunque trovarsi nella zona al congiungimento delle vie aeree di conduzione con quella di scambio dei gas del polmone, come dimostrato dal fatto che in numerose specie animali vengono ivi riscontrate le tipiche lesioni morfometriche. Studi sperimentali

hanno evidenziato che l'NO₂ o i suoi metaboliti possono permanere nel polmone per lunghi periodi. In seguito ad esposizione ad NO₂ sono stati rinvenuti nel sangue e nelle urine acido nitrico (HNO₃), acido nitroso (HNO₂) ed i loro sali. L'effetto maggiore, in seguito a concentrazioni di NO₂ elevate, è l'edema polmonare, a sua volta responsabile sia delle alterazioni enzimatiche sia di quelle nel contenuto lipidico che vengono spesso riscontrate nel polmone. Gli effetti sanitari indotti dall'NO₂ in seguito ad esposizione a breve termine comprendono l'aumento della resistenza al passaggio dell'aria delle vie aeree, il decremento della funzionalità polmonare e l'aumento della reattività bronchiale verso i broncocostrittori. Attualmente il più basso livello osservato di NO₂ in grado di influire sulla funzionalità polmonare degli asmatici, senza l'uso di un broncocostrittore, è 560µg/m³ per 30 minuti di esposizione e con esercizio intermittente. E' comunque ancora molto controverso se questo tipo di alterazione debba essere considerata o meno un effetto dannoso. I gruppi "sensibili" sono costituiti dagli asmatici, non dai bronchitici. Per quanto riguarda gli effetti indotti in seguito ad esposizione a lungo termine, sono compresi: l'aumento dell'incidenza delle malattie respiratorie; alterazioni strutturali dell'apparato respiratorio comprendenti una vasta gamma di effetti che vanno da cambiamenti del tipo cellulare nelle regioni tracheobronchiale e polmonare fino ad alterazioni tipo enfisema caratterizzate da assottigliamento delle membrane dei capillari alveolari, perdita dell'epitelio ciliato e formazione di collagene in punti del polmone atipici; incremento della suscettibilità alle infezioni polmonari batteriche e forse virali; alcuni effetti dannosi su milza, fegato e sangue. L'esposizione contemporanea a NO₂ e O₃ può determinare effetti additivi, sinergici o attribuibili al solo O₃, a seconda delle concentrazioni e del tempo di esposizione. I risultati suggeriscono che in generale, i soggetti sani sono meno sensibili agli effetti dell'NO₂ di coloro che hanno affezioni polmonari. (WHO, 1987).

Tabella 2.2:valori indicati degli effetti di Nox sull'uomo, Sanità pubblica della Regione Emilia-Romagna e con la collaborazione dei Dipartimenti di Sanità pubblica delle Aziende Us

Valori indicativi degli effetti del NO sull'uomo Principali effetti sull'uomo			Con. Troposferica Media
presenza avvertibile	0.12	ppm	trascurabile
irritazioni delle mucose e degli occhi	15	ppm	
problemi di respirazione edemi polmonari	100	ppm	

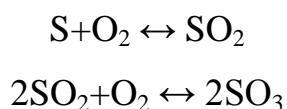
Effetti sulla vegetazione: i maggiori effetti diretti sull'ambiente degli ossidi di azoto sono dovuti alla loro ricaduta sotto forma di acido nitrico che creano zone di aggressione puntiformi ad elevata concentrazione, sia dagli ossidi in quanto tali. Esperimenti condotti hanno portato a verificare che 1 ppm di NO₂ per 24 ore di esposizione crea già le prime necrosi a livello del fogliame, mentre 10 ppm di NO per 24 ore debilitano già in modo sensibile la fotosintesi clorofilliana.

2.5 GLI OSSIDI DI ZOLFO

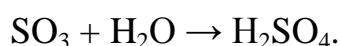
L'assenza di colore, l'odore acre e pungente e l'elevata reattività a contatto con l'acqua sono le caratteristiche principali degli ossidi di zolfo, genericamente indicati come SO_x. Il biossido di zolfo o anidride solforosa (SO₂) è un gas incolore che viene percepito olfattivamente dalla maggioranza degli individui a concentrazioni di 1000-3000 µg/m³; a livelli superiori ai 10000 µg/m³, assume un odore pungente ed irritante. Il biossido di zolfo (SO₂) è riconosciuto come un rischioso inquinante dell'atmosfera urbana fin dalla metà di questo secolo, in occasione delle famose nebbie londinesi, in cui concentrazioni estremamente elevate di SO₂ furono responsabili di un aumento significativo di morti negli anni 50 (WHO,

1979).

In natura tale tipo di inquinamento è causato dalle eruzioni vulcaniche. A livello antropico, SO₂ e SO₃, sono prodotti nelle reazioni di ossidazione per la combustione di materiali in cui sia presente zolfo quale contaminante, ad esempio gasolio, nafta, carbone, legna, ed altro, utilizzati, in misura molto maggiore fino a qualche anno fa, per la produzione di calore, vapore, energia elettrica ed altro. Fino a non molto tempo addietro veniva, infatti, usato come indicatore dell'inquinamento di origine antropica. Inoltre potenzialmente non trascurabile è l'apporto dell'industria chimica ed in particolare in impianti destinati alla produzione dell'acido solforico e in tutti quei processi produttivi in cui viene utilizzato come tale o sottoforma di suo composto. La formazione di SO_x è rappresentata principalmente dai seguenti equilibri:



La quantità di SO₃ prodotta è generalmente sempre molto modesta, poiché in presenza di vapor d'acqua questo si trasforma facilmente in acido solforico (H₂SO₄).



Per questo in atmosfera è più facile trovare H₂SO₄ di SO₃.

La quantità di acido solforico non è però dovuta solo alla produzione primaria di SO₃, infatti l'SO₂ immessa nell'aria può reagire cataliticamente o fotochimicamente con altri inquinanti dando origine prima all'SO₃ e quindi all'acido solforico (H₂SO₄) ai solfati (SO₄⁻) e all'acido solforoso (H₂SO₃).

L'SO₂ e i suoi derivati vengono rimossi dall'aria mediante "deposizione secca" (in assenza di pioggia) su superfici quali il suolo, l'acqua e la vegetazione o mediante "deposizione umida". Le precipitazioni atmosferiche

limitano l'accumulo dei composti dello zolfo nell'aria, minimizzando di conseguenza gli eventuali effetti sanitari.

Effetti sull'ambiente: Questi composti svolgono un ruolo importante nella formazione delle deposizioni acide e della pioggia acida, che causa l'acidificazione di laghi e corsi d'acqua e può recare danni ad alberi (defoliazione), colture agricole (inacidimento dei territori), edifici storici e monumenti (corrosione). Inoltre i composti dello zolfo in atmosfera contribuiscono alla riduzione della visibilità in gran parte dei territori.

Effetti sulla salute umana : Alte concentrazioni di ossidi di zolfo possono colpire la respirazione e aggravare disturbi esistenti respiratori e cardiovascolari. La popolazione più sensibile all'esposizione a questi contaminanti è quella costituita da asmatici, individui con bronchiti o enfisema, i bambini e gli anziani. Più che altro gli effetti tossici degli ossidi di zolfo (SO_x) e delle particelle sospese si sovrappongono e le miscele complesse degli aerosol acidi (H₂SO₄, NH₄HSO₄, (NH₄)₂SO₄, etc), possono raggiungere le vie aeree periferiche e gli alveoli, e diventare importanti nel determinare affezioni respiratorie profonde.

2.6 IL MATERIALE PARTICOLATO

Il materiale particolato (PM) usualmente conosciuto come polveri sottili, è un insieme di piccole particelle solide o liquide che a causa delle sostanze che le costituiscono, possono avere effetti avversi sulla salute umana, provocare danni a materiali e formare in atmosfera una foschia che riduce la visibilità.

La dimensione delle particelle è direttamente collegata con le potenziali conseguenze sulla salute. Infatti il PM è usualmente suddiviso in differenti classi basate sulla dimensione delle particelle : materiale sospeso totale (total suspended matter TSP), PM10 (particelle con diametro aerodinamico minore di 10 microns), PM2.5 (particelle con diametro aerodinamico minore di 2.5 microns).

In generale le particelle più piccole sono quelle che causano i rischi più alti per la salute umana, per la loro capacità di raggiungere le regioni più profonde dell'apparato respiratorio. Diversamente dagli altri inquinanti, il materiale particolato è una miscela nella quale la grandezza delle particelle e la loro composizione chimica varia da luogo a luogo proprio in ragione delle caratteristiche delle fonti di emissione dominanti. Esse hanno infatti le caratteristiche derivanti dalle sostanze chimiche che le compongono e delle altre sostanze per le quali esse fungono da elemento di trasporto, come nel caso dei metalli. Il fattore di generazione principale è costituito dai processi di combustione che a grande scala sono rappresentati da fonti naturali come i vulcani.

Nelle città entrano in gioco il riscaldamento civile e domestico e, soprattutto, il traffico veicolare. Un veicolo ha infatti più modi di originare materiale particolato:

- emissione dei gas di scarico che contengono il materiale particolato che, per le caratteristiche chimiche e fisiche che lo contraddistinguono, può essere chiamato anche "aerosol primario";

- usura dei pneumatici;
- usura dei freni.

Per effetto del loro movimento, tutti gli autoveicoli concorrono poi ad usurare il manto stradale ed a riportare in sospensione il materiale particolato. Anche le particelle che si formano in atmosfera per condensazione o trasformazione di emissioni gassose come SO₂ e VOCs sono considerate materiale particolato. Nelle aree suburbane e rurali, entrano in gioco anche le attività industriali quali, ad esempio, la lavorazione dei metalli e la produzione di materiale per l'edilizia, e le attività agricole.

Effetti sulla salute umana: Studi effettuati su popolazioni umane esposte ad alte concentrazioni di particolato e studi di laboratorio su animali ed umani hanno rivelato i principali effetti preoccupanti sulla salute umana. Tra questi si includono gli effetti sulla respirazione, l'aggravarsi di disturbi esistenti respiratori e cardiovascolari, alterazioni del sistema immunitario e danni al tessuto polmonare, con contributi al sorgere di malattie tumorali o morti premature. Gli individui con malattie croniche polmonari o cardiovascolari, gli asmatici, gli anziani e i bambini sono i più sensibili agli effetti del particolato.

Le dimensioni delle particelle in sospensione rappresentano il parametro principale che caratterizza il comportamento di un aerosol. Dato che l'apparato respiratorio è come un canale che si ramifica dal punto di inalazione (naso o bocca) sino agli alveoli con diametro sempre decrescente, si può immaginare come il ferro si depositi molto prima della particella di sale e questa molto prima di quella di materiale plastico. Il rischio determinato dalle particelle è dovuto alla deposizione che avviene lungo tutto l'apparato respiratorio, dal naso agli alveoli. L'impatto si ha quando la velocità delle particelle si annulla per effetto delle forze di resistenza inerziale alla velocità di trascinamento dell'aria, che decresce dal naso sino

agli alveoli. Questo significa che man mano che si procede dal naso o dalla bocca attraverso il tratto tracheo-bronchiale sino agli alveoli, diminuisce il diametro delle particelle che penetrano e si depositano. Approssimativamente la parte delle particelle totali sospese (PTS) con diametro intorno e inferiore ai 10 µm (PM10) interessano il tratto tracheo-bronchiale e le particelle con diametro intorno e inferiore ai 2,5 µm (PM2,5) si depositano negli alveoli.

Tabella 2.3: Effetti sulla salute dell'uomo dovuto all'esposizione a Pm10. (Da Linee guida sulla qualità dell'aria OMS 2000)

EFFETTI SULLA SALUTE	Incremento % della frequenza degli effetti sulla salute per un aumento di 10 µg/m ³ di PM10	Intervalli di confidenza
Effetti a breve termine (acuti)		
Uso di bronco dilatatori	3	2 - 4
Tosse	3	3 - 5
Sintomi delle basse vie respiratorie	3	1,8 - 4,6
Diminuzione della funzione polmonare negli adulti rispetto alla media (picco espiratorio)	- 13	- 0,17 a 0,09
Aumento dei ricoveri ospedalieri per malattie respiratorie	0,8	0,5 - 1,1
Aumento della mortalità giornaliera totale (escluse morti accidentali)	0,7	0,6 - 0,9
Diminuzione della funzione polmonare negli adulti rispetto alla media (picco espiratorio)	- 13	- 0,17 a 0,09
Aumento dei ricoveri	0,8	0,5 - 1,1

ospedalieri per malattie respiratorie		
Aumento della mortalità giornaliera totale (escluse morti accidentali)	0,7	0,6 - 0,9
Effetti a lungo termine (cronici)		
Aumento complessivo della mortalità (escluse morti accidentali)	10	3 - 18
Bronchiti	29	1 - 83
Diminuzione della funzione polmonare nei bambini rispetto alla media (picco espiratorio)	- 1,2	-2,3 a 0,1
Diminuzione della funzione polmonare negli adulti rispetto alla media (picco espiratorio)	- 1	non valutabile

Popolazioni suscettibili agli effetti delle particelle

Sulla base degli studi epidemiologici, risultano particolarmente suscettibili agli effetti del particolato i soggetti anziani e quelli con malattie cardiocircolatorie e polmonari. Anche i neonati e i bambini risultano essere popolazioni potenzialmente suscettibili. In particolare i bambini sembrano a maggior rischio per alcuni effetti respiratori quali lo scatenamento di crisi di asma bronchiale e l'insorgenza di sintomi respiratori (come tosse e catarro). L'esposizione nei bambini infatti è influenzata dalle loro attività e dal luogo dove queste attività vengono svolte. In confronto agli adulti, stanno molto di più all'aperto praticando giochi e sport. I bambini e i ragazzi hanno in particolare un'alta frequenza respiratoria, in relazione ai loro livelli di consumo di ossigeno. La loro relativa grande superficie corporea per unità di peso e il loro elevato livello di attività determinano una grande spesa

energetica per la maggiore termogenesi di quella richiesta per un adulto. La media della frequenza respiratoria di bambini in età 3-12 anni è approssimativamente doppia rispetto a quella di un adulto (425 rispetto a 232 l/kg/die). Confrontando le frequenze respiratorie in questi due gruppi per un periodo di un'ora, un bambino che gioca può respirare un volume di aria 4,5 volte maggiore di quello di un adulto sedentario.

Effetti sugli ecosistemi, su piante e materiali.

Il particolato atmosferico, in seguito a deposizione secca o umida, può contribuire ai processi di acidificazione (associata in particolare ad H_2SO_4 e HNO_3) e di eutrofizzazione (associata ai sali nitrati) degli ecosistemi terrestri e acquatici. L'acidificazione dei suoli può portare al rilascio di elementi tossici come l'alluminio provocando seri danni alle piante e alle varie forme di vita acquatica.

Inoltre si hanno effetti diretti sulla vegetazione in relazione ad un'azione acida e ossidante delle particelle, che porta al danneggiamento dei tessuti vegetali. A questi se ne aggiungono altri le cui ricerche condotte finora riguardano soltanto gli effetti da polveri specifiche: ad esempio, le polveri provenienti dai forni per cemento, che interagendo con la nebbia o la pioggia, formano una spessa crosta sulla superficie fogliare a mo' di scudo per la luce solare interferendo con la fotosintesi ed inibendo lo sviluppo della pianta.

Il clima e l'inquinamento atmosferico, interagendo tra loro, degradano il patrimonio artistico, architettonico ed archeologico, ed è stato osservato che i danni ai materiali sono legati soprattutto alla composizione chimica e allo stato fisico dell'inquinante. Un primo danno indiretto è causato dall'annerimento dei materiali dovuto alla sedimentazione del particolato il quale può, inoltre, fungere da serbatoio di acidi provocando corrosioni.

I processi corrosivi si intensificano con l'aumento dell'umidità in atmosfera; infatti, il particolato funge da nuclei di condensazione per le goccioline di acqua nelle quali si dissolvono molti gas che aumentano l'acidità delle deposizioni.

Il particolato inoltre danneggia i circuiti elettrici ed elettronici, insudicia gli edifici e le opere d'arte e riduce la durata dei tessuti.

2.7 IL PIOMBO

Il piombo (Pb) fa parte della categoria dei metalli pesanti a cui appartengono circa 70 elementi (con densità $>5 \text{ g/cm}^3$), anche se quelli rilevanti da un punto di vista ambientale sono solo una ventina. La normativa nazionale con il DLgs 155/2010, che ha sostituito la normativa preesistente, ha stabilito gli obiettivi di miglioramento della qualità dell'aria per alcuni metalli: Piombo (Pb) Arsenico (Ar) Cadmio (Cd) e Nichel (Ni) .

In generale metalli pesanti sono presenti in atmosfera sotto forma di particolato aerotrasportato; le dimensioni delle particelle a cui sono associati e la loro composizione chimica dipende fortemente dalla tipologia della sorgente di emissione; per questo motivo vengono generalmente misurati nelle polveri sospese. Infatti, il valore obiettivo è riferito al tenore dell'inquinante presente nella frazione PM10 del materiale particolato. La principale fonte di inquinamento atmosferico da metalli è costituita dagli scarichi dei veicoli alimentati con benzina super (il piombo tetraetile veniva usato come additivo antidetonante). Con il definitivo abbandono della benzina "rossa" (dal 1° gennaio 2002 l'introduzione della benzina "verde" con un contenuto di 0.013 g/l di Pb), i livelli di piombo nell'aria urbano sono notevolmente diminuiti. Altre fonti antropiche derivano dalla combustione del carbone e dell'olio combustibile, dai processi di estrazione e lavorazione dei minerali che contengono Pb, dalle fonderie, dalle industrie ceramiche e

dagli inceneritori di rifiuti. Una volta rilasciato nell'ambiente, il piombo è in grado di contaminare aria, cibo, acqua o suolo.

Effetti sull'uomo: Il piombo è un metallo sottoposto a controllo già a partire dal DM 60/2002. È un elemento in traccia altamente tossico che provoca avvelenamento per gli esseri umani; assorbito attraverso l'epitelio polmonare entra nel circolo sanguigno e si distribuisce in quantità decrescenti nelle ossa, nel fegato, nei reni, nei muscoli e nel cervello. La conoscenza dell'azione tossica del piombo e del saturnismo come fenomeno più grave ed evidente, ha portato ad una drastica riduzione delle possibili fonti di intossicazione, sia nel campo industriale che civile. L'esposizione al piombo presente nelle atmosfere urbane e di provenienza autoveicolare, essendo un fenomeno quotidiano e protratto per l'intero corso della vita, può determinare a causa del suo accumulo all'interno dell'organismo, effetti registrabili come forma patologica. Le esposizioni anche a piccole quantità di piombo su un lungo periodo possono accumularsi e raggiungere livelli pericolosi, così come esposizioni a breve termine ad alti livelli di piombo. Il piombo può avere effetti avversi sui sistemi di riproduzione, digestivi, cardiovascolari e i reni. Esposizioni eccessive al piombo possono causare ictus, ritardi mentali e disturbi del comportamento.

CAPITOLO 3

CORRELAZIONE TRA LA CONCENTRAZIONE DEI "CRITERIA POLLUTANTS" E GLI EFFETTI SULLA SALUTE UMANA

3.1. STUDI SULL'EFFETTO DELL'ESPOSIZIONE AI "CRITERIA POLLUTANTS" SULLA SALUTE UMANA

Sia il W.H.O (World Health Organization) che l'EPA (Environmental Protection Agency) hanno evidenziato e ormai confermato la stretta relazione esistente tra i livelli di concentrazione in aria di determinati inquinanti atmosferici e gli effetti sanitari sulle popolazioni esposte, soprattutto in termini di mortalità e di ricoveri ospedalieri, questo grazie all'incremento delle ricerche sugli effetti sulla salute dovuti all'esposizione all'inquinamento atmosferico, avvenute negli ultimi decenni (EPA, The Benefits and costs of the Clean Air Act, 1990t o 2010. Appendice D.).

Gli studi presi in considerazione per l'analisi della correlazione tra l'esposizione ai *criteria pollutants* e gli effetti scaturiti sull'uomo si possono suddividere in due macrogruppi principali:

gli studi di laboratorio (*chamber studies*) e gli studi epidemiologici.

Gli studi di laboratorio, si basano sull'analisi di un gruppo di soggetti esposti ad inquinanti specifici in condizioni controllate e monitorate in laboratorio. La loro condizione fisica viene monitorata prima, durante e dopo l'esposizione. Di solito questi studi pongono l'individuo esposto in situazioni di fatica, in modo da aumentare la sua respirazione e aumentare conseguentemente la quantità di inquinante inalato. Il vantaggio principale degli studi di laboratorio è che possono potenzialmente stabilire le relazioni

causa-effetto tra i contaminanti e gli effetti sull'uomo. Possono inoltre, variando i livelli di contaminante, e le condizioni fisiche del soggetto studiato, ricavare le soglie di effetto per le diverse tipologie di persone studiate.

Lo svantaggio che si ha in questa tipologia di studi è il fatto che possono essere utilizzati solo per il rilevamento di sintomi acuti per esposizioni di poche ore, non possono essere utilizzati per lo studio di effetti a lungo termine. Per motivi etici non possono essere studiati neanche gli effetti cronici, poichè sono patologie generalmente irreversibili.

Gli studi epidemiologici invece presentano un'analisi statistica della relazione tra l'esposizione all'inquinamento atmosferico e gli effetti sulla salute della popolazione esposta. I dati che vengono presi in considerazione sono derivanti dal monitoraggio della qualità dell'aria ambiente, dalla mortalità (Pope et al. 1995, "mortalità dovuta a malattie croniche") e dalle ospedalizzazioni (Burnet et al. 1997; Delfino et al. 1994). I dati per quest'analisi richiedono anche la partecipazione della popolazione per un certo periodo di tempo, attraverso la compilazione di questionari e diari.

I risultati ricavati da questo tipo di studi, considerano la complessità e l'eterogeneità degli scenari di vita reali della popolazione esposta, e i possibili effetti sinergici dei diversi contaminanti presenti in atmosfera. Un problema importante di cui tener conto sono dunque i *confounding factors* (come la dipendenza da droghe, alcol o un'alimentazione sbagliata) che possono falsare i risultati.

Tra gli studi epidemiologici si distinguono due sottogruppi: gli studi di coorte a livello individuale e gli studi ecologici a livello della popolazione.

Gli studi di coorte seguono individui inizialmente sani per un certo periodo di tempo, effettuando analisi periodiche sul loro stato di salute.

Studi riguardanti patologie rare come i tumori o la mortalità, seguono l'individuo per lunghi periodi di tempo, cosa non necessaria per lo studio di patologie più frequenti come sintomi all'apparato respiratorio.

Una caratteristica importante degli studi di coorte è che sono note molte informazioni degli individui analizzati come la dipendenza da fumo, alcol o a droghe. Il fatto che si conoscano queste variabili i così detti *confounding variables*, rende più realistica l'analisi.

Il secondo gruppo di studi epidemiologici sono gli studi ecologici a livello della popolazione, in cui si determinano le relazioni tra l'informazione sulla salute dell'intera popolazione (ospedalizzazioni e mortalità) e i livelli di inquinamento nell'aria.

Gli ostacoli degli studi epidemiologici includono una difficile caratterizzazione dell'esposizione, possibili errori nella determinazione delle variabili chiave e l'influenza delle variabili non misurate che possono portare a delle conclusioni spurie. Tuttavia gli studi epidemiologici coinvolgono un elevato numero di persone e non soffrono delle problematiche di estrapolazione dei risultati degli studi di laboratorio.

3.2 MODELLI PER LA VALUTAZIONE DEGLI EFFETTI

Gli studi epidemiologici sono quindi finalizzati all'individuazione di funzioni di rischio esposizione-risposta, che consentono di effettuare le stime di impatto sanitario dell'inquinamento atmosferico con margini d'errore sempre minori. Gli studi non permettono ovviamente di individuare le persone decedute o ricoverate a causa dell'inquinamento atmosferico, ma servono per quantificare con determinati margini d'errore, l'impatto dell'inquinamento atmosferico su una data comunità.

3.2.1 FUNZIONI CONCENTRAZIONE-RISPOSTA

Gli approcci tipici che si utilizzano quando si opera sui modelli che analizzano gli effetti sulla salute umana dovuti all'esposizione ai *criteria pollutant*, si basano su tre input principali:

- la variazione della concentrazione dell'inquinante nell'aria
- la variazione del numero di persone che sono esposte agli inquinanti
- le funzioni C-R, che quantificano la relazione tra le variazioni di esposizione e le variazioni degli effetti sulla salute, derivanti dagli studi epidemiologici.

Dai modelli è stato eliminato lo studio del Pb in quanto la quantità dispersa è molto diminuita grazie alla conversione dei carburanti.

Per la quantificazione degli effetti dovuti all'esposizione a CO, NO₂, SO₂, O₃, l'EPA nel documento "812 prospective analysis", ha utilizzato il modello Concentrazione-Risposta, dove per Risposta si intende la mortalità e le morbosità. Tra gli effetti sulla salute a cui possono essere applicate le C-R functions si possono citare la morte prematura, le malattie cardiache e cardiovascolari, le malattie polmonari. Tali effetti sono dunque riferiti al numero di individui presenti in una popolazione esposta a variazioni della concentrazione di un inquinante. E' importante sottolineare che queste funzioni dipendono dalle attività e dalle abitudini della popolazione presa in esame.

Le funzioni C-R consentono di stimare il tasso di mortalità e di morbosità legate al quantitativo di inquinante e al periodo di esposizione a cui una popolazione è esposta, in modo da analizzare in maniera quantitativa l'impatto che si ha sulla salute per un inquinamento outdoor in un luogo specifico, una città, una regione o una nazione.

Le differenti patologie che risultano dagli studi derivano dalla disponibilità dei dati sulla salute e dagli studi epidemiologici.

La qualità dello studio di una valutazione del rischio sanitario in una determinata area dipende:

- dall'accuratezza delle C-R functions
- dal fatto che le funzioni siano applicabili al luogo di studio e al periodo, rispetto a quelli per cui sono state originalmente create
- dall'estensione per cui le C-R functions sono applicabili rispetto alle concentrazioni con cui sono state originalmente stimate
- dal numero di malattie che vengono analizzate.

La selezione per l'uso della migliore relazione C-R viene effettuata attraverso revisioni e aggiornamenti degli studi, ricerche sull'esposizione cronica, studio del luogo, e della popolazione e dei diversi inquinanti inseriti nell'analisi.

La metodologia alla base della costruzione delle relazioni Concentrazione-Risposta è riportata nel seguito.

L'effetto sulla salute è tipicamente identificato con la variabile y . Un cambiamento della qualità dell'aria (variazione della concentrazione ΔC) corrisponde ad una variazione sulla salute Δy .

Le C-R functions mettono dunque in relazione la concentrazione con l'effetto sulla salute e la variazione della concentrazione del contaminante con la variazione dell'effetto considerato conseguente all'esposizione (Δy). Tale relazione dipende dallo studio effettuato, dalla zona, dalla popolazione considerata nello studio epidemiologico.

Alcuni studi per esempio hanno assunto come relazione tra y e C (concentrazione di inquinante a cui il campione di popolazione studiato è esposto) una funzione lineare, dove la relazione è stimata attraverso una regressione lineare in cui y è una variabile dipendente, e C è una delle

variabili indipendenti, mentre altri studi hanno ipotizzato una relazione log-lineare.

Nel valutare le differenze nelle C-R functions è importante anche considerare quali dati sono stati presi in considerazione nello studio, ad esempio alcuni studi hanno considerato il dato della mortalità già con l'esclusione delle morti cruente mentre in altri studi il dato sulle mortalità comprende tutte le cause di morte. Come anche la variabilità delle concentrazioni prese in considerazione, in alcuni casi, vengono presi valori di 24 ore e in altri di 2 giorni.

Inoltre anche la parte di popolazione che viene presa in considerazione è importante, perchè in alcuni studi sono prese tutte le fasce di età in altri solo alcune e questo porta a risultati differenti nella stima della risposta. La relazione tra la concentrazione dell'inquinante e l'effetto sulla salute dipende dalla tipologia della funzione utilizzata dalla relazione e dai valori e dai parametri assunti dalla relazione.

Per stimare la relazione tra C e lo stato di salute, y, la metodologia si sviluppa in due steps:

- 1) scegliere la forma della funzione della relazione
- 2) stimare i valori dei parametri nella funzione assunta.

Le due funzioni più utilizzate nella letteratura degli studi epidemiologici sono la relazione log-lineare e la lineare.

La relazione log-lineare è nella forma:

$$y = B \cdot e^{\beta \cdot C} \quad (1)$$

o equivalentemente la si può esprimere anche sottoforma:

$$\ln(y) = \alpha + \beta \cdot C \quad (2)$$

con $\alpha = \ln(B)$

in cui B è l'incidenza di y quando la concentrazione di C è zero, mentre il parametro β è il fattore esponenziale di pericolosità ottenuto tramite alcune ricerche epidemiologiche, pertinente a patologie specifiche.

Se la forma della funzione C-R è log-lineare, la relazione tra ΔC ($\Delta C = C_{\text{baseline}} - C_{\text{after change}}$) e Δy sarà :

$$\Delta y = y_{\text{baseline}} - y_{\text{after change}} = -y_{\text{baseline}} [e^{-\beta \cdot \Delta C} - 1] \quad (3)$$

Dove y_{baseline} è la base per gli effetti sulla salute (prima della variazione dell'inquinante).

La maggior parte degli studi riporta il valore di $RR_{\Delta C}$ in rapporto a prima e dopo la variazione di concentrazione allora si otterrà :

$$RR_{\Delta C} = \frac{y_{\text{after change}}}{y} = e^{-\beta \cdot \Delta C} \quad (4)$$

Alcuni studi epidemiologici riportano il rischio relativo per un dato ΔC , anziché del coefficiente β . Tuttavia il coefficiente può essere derivato tramite il rischio relativo e il ΔC , risolvendo l'equazione per β :

$$\beta = -\frac{\ln(RR)}{\Delta C} \quad (5)$$

La relazione lineare sarà nella forma :

$$y = \alpha + \beta \cdot C \quad (6)$$

In cui α incorpora tutte le variabili indipendenti nella regressione e i rispettivi coefficienti. Gli studi che usano la relazione lineare riportano direttamente il valore di beta. Nella forma lineare la relazione tra ΔC e Δy è semplice:

$$\Delta y = \beta \cdot \Delta C \quad (7)$$

questa relazione è usualmente utilizzata per esprimere Δy associata alla ΔC , considerando che la misurazione di ΔC è compatibile con le misurazioni di

C utilizzate negli studi sugli effetti sulla salute con cui sono state derivate le C-R functions.

Molti studi che hanno accertato la relazione tra lo scaturire di malattie e l'inquinamento dell'aria hanno utilizzato forme funzionali come quelle appena viste, anche se è doveroso ricordare che molti studi epidemiologici utilizzano relazioni con forme diverse.

3.2.2 QUANTIFICAZIONE DELL'IMPATTO TRAMITE IL RISCHIO PROPORZIONALE ATTRIBUIBILE (AP) E IL PROGRAMMA AirQ

Una volta derivato dagli studi epidemiologici il valore del Rischio Relativo (RR) per la mortalità e le patologie di interesse, si può procedere allo studio dell'impatto sulla salute umana dell'esposizione di una popolazione in uno specifico territorio. Per la quantificazione dell'impatto sulla salute in una determinata area in cui siano note le concentrazioni e la popolazione esposta, la WHO propone un approccio che si basa sul concetto di rischio proporzionale attribuibile (AP), cioè la proporzione degli eventi sfavorevoli che in una data popolazione è attribuibile all'esposizione (assumendo l'esistenza di un'associazione casuale tra esposizione ed effetto e che non vi siano importanti fattori confondenti in tale associazione). Per un dato periodo di tempo si può scrivere (Krzyanowski M., 1997) :

$$AP = \frac{\sum [(RR(c)-1) \cdot p(c)]}{\sum [RR(c) \cdot p(c)]} \quad (8)$$

in cui:

RR(c) : rischio relativo per la categoria esposta, espresso per aumento della concentrazione di inquinante di un determinato ΔC (nell'applicazione proposta in questo studio di tesi sarà di $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$)

p(c) : popolazione esposta ad una determinata concentrazione C.

Conoscendo l'incidenza di base (tasso grezzo per 100.000 abitanti) dell'evento sanitario nella popolazione in esame, il rateo (il numero di casi per unità di popolazione) attribuito all'esposizione della popolazione, può essere calcolato tramite:

$$IE = I * AP \quad (9)$$

In cui:

IE : è il rateo attribuibile all'esposizione;

I : è il tasso grezzo dell'evento sanitario nella popolazione in esame.

Sulla base delle dimensioni della popolazione, quindi, il tasso attribuibile all'esposizione può essere convertito in numeri di casi attribuibili :

$$NE = IE * N \quad (10)$$

In cui:

NE : numero stimato di casi attribuibili all'esposizione;

IE : è il rateo attribuibile all'esposizione

N : dimensione della popolazione.

Conseguentemente, la frequenza che risulta nella popolazione libera dall'esposizione (INE) può essere stimata tramite:

$$INE = I - IE = I * (1 - AP) \quad (11)$$

Il programma AirQ:

Si tratta di un software sviluppato dal Who European Center for Environment and Health Bilthoven Division. Il programma permette la valutazione e la quantificazione dell'impatto potenziale dell'esposizione a determinati inquinanti atmosferici (TSP, NO₂, PM10, PM2.5, SO₂) sulla salute umana in

un certo periodo di tempo e in una certa area, partendo dai valori sperimentali degli inquinanti stessi.

Gli impatti sulla salute umana sono definiti come valori in input, del tipo :

- Mortalità – rateo di morte (e.g. per 100000 persone) per un dato periodo di tempo. Vengono definiti per mortalità totale, per gruppi diversi d'età (0-64), (65-in poi) oppure (0-74), (75-in poi), per mortalità dovuta a malattie cardiovascolari per tutte le età e infine per malattie respiratorie.
- Patogenicità - vengono quindi valutati il numero di casi o il rateo (per unità di popolazione) rispetto al periodo di esposizione considerato. Questi possono essere effetti cronici : ricoveri ospedalieri per disagi respiratori, per diversi gruppi di età (0-14) , (15-64) , (65 o più) ecc.; ricoveri ospedalieri per asma per gruppi (<15 anni), (15-64anni); ricoveri ospedalieri per problemi cardiovascolari . Effetti acuti, infarti, bronchiti acute, attacchi d'asma nei bambini e negli adulti.

Può essere scelto uno di questi parametri su cui poter determinare l'output, adatto alla tipologia di inquinante studiato, non tutte le patologie possono essere applicate a tutte le tipologie di inquinanti. Questo perché il programma è basato su studi epidemiologici, attraverso i quali sono state scelte le patologie relative all'esposizione all'inquinante prescelto e gli RR relativi alla patologia, che vengono proposti come default. Se l'utilizzatore è in possesso di propri dati risultanti da studi della popolazione sotto esame, è possibile modificare le informazioni di default proposte dal programma e inserire le proprie.

Dal punto di vista delle relazioni per determinare gli effetti sulla salute umana provocati dall'esposizione agli inquinanti viene utilizzato il modello

che si basa sul rischio proporzionale attribuibile. Infatti i risultati ottenuti dal programma sono: NE (numero di casi stimato attribuibili all'esposizione) ed AP (rischio proporzionale attribuibile) relativi allo specifico caso di studio.

Il programma richiede come dati in input, oltre alla tipologia di inquinante e le patologie che si vogliono studiare, il totale della popolazione esposta (pc) e i rilevamenti relativi alle concentrazioni di inquinanti. Quest'ultima informazione viene richiesta sottoforma di numero di giorni in cui si verificano specifici intervalli di concentrazione ($10 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$), per cui varierà anche il RR preso in considerazione, in quanto viene espresso come il rischio relativo ad un aumento di un determinato intervallo di concentrazione. Attraverso queste informazioni il programma calcola AP, distribuendo pc in percentuali nei giorni di esposizione e quindi negli intervalli individuati tramite i rilevamenti. Il programma definisce quindi i valori totali tramite iterazioni della (8) avendo suddiviso la popolazione totale in percentuali esposte a certi intervalli di concentrazioni. Per ogni iterazione si ottiene l'aumento del rischio partendo da un valore di base 1, posto alla soglia per cui possiamo supporre che non vi siano effetti, a cui verrà addizionato l'aumento del RR relativo all'intervallo successivo.

Per proseguire con il calcolo di IE il programma richiede un ultimo dato in ingresso, il tasso grezzo relativo alla patologia studiata, individuabile tramite studi statistici della popolazione di interesse.

Infine il programma propone tramite una tabella riassuntiva i valori di pc, RR, NE ed IE, relativi ad ogni intervallo di concentrazione preso in considerazione e cumulati.

Nel capitolo 4 sarà possibile visualizzare un caso di studio in cui verrà proposta un' applicazione pratica del programma e in cui sarà possibile visualizzare in modo approfondito i passaggi precedentemente elencati.

Il programma AirQ calcola anche l'impatto sulla salute dovuto all'esposizione a lungo termine, assumendo che il livello di inquinamento rimanga costante per gli anni della simulazione. Per tale computazione è necessario l'inserimento dei dati relativi alla struttura della popolazione e alla mortalità specifica per classi di età, utilizzati per calcolare il numero di persone sopravvissute e il numero di morti per ogni classe di età. L'impatto sulla salute viene misurato mediante: riduzione dell'aspettativa di vita per certe classi di età; anni di vita persi (YoLL) nel primo anno della simulazione; anni di vita persi nei successivi 10 anni.

Anche in questo caso i coefficienti di rischio per tale computazione derivano dagli studi epidemiologici di coorte che hanno mostrato un incremento di rischio di mortalità per popolazioni che vivono per tempi lunghi in aree con livelli di inquinamento atmosferico più elevati rispetto alla media.

3.3 CALCOLO DEGLI EFFETTI SULLA POPOLAZIONE RESIDENTE NELL'AREA D'IMPATTO

I risultati scaturiti dai modelli, quindi l'effetto dovuto dall'esposizione ad un inquinante, vengono espressi tramite il Δy . Il Δy deve successivamente essere proiettato sul campione di popolazione totale (N) preso in considerazione dallo studio, per ottenere i risultati riguardanti una popolazione distribuita in una specifica area caratterizzata da una particolare distribuzione di concentrazione.

Il calcolo può avvenire attraverso un'analisi più generale o di maggior dettaglio, attraverso le seguenti ipotesi:

- Per un'analisi più generale o se si hanno pochi dati a disposizione, si può ipotizzare che la popolazione sia esposta ad una distribuzione omogenea della concentrazione dell'inquinante su tutta l'area in cui essa è collocata. L'effetto sulla popolazione totale, espresso in termini di numero di casi totali attribuibili alla concentrazione in eccesso (NE_{tot}) verrà quindi ricavato tramite:

$$NE_{tot} = \Delta y * N \quad (12)$$

In cui: Δy : è la variazione dell'effetto che si ottiene con la variazione del ΔC preso in considerazione in un certo intervallo di tempo.

N: è la popolazione totale esposta

Un esempio di analisi portate avanti attraverso questa metodologia, sono gli studi effettuate dalle Provincie. di molte regioni italiane come per Bologna : il “Rapporto sulla valutazione sanitaria della qualità dell'aria a Bologna per l'anno 2006” (Provincia di Bologna, 2006) o “Valutazione della qualità dell'aria 2004” (Provincia di Bologna, 2004), e il secondo approccio sviluppato in questa tesi (capitolo 5.).

- Può essere effettuata un'analisi di dettaglio per cui si ipotizza un andamento delle concentrazioni variabile in ogni punto dell'area presa in esame, che coinvolge gli individui collocati negli stessi punti:

$$NE_{tot} = \int_A \Delta y(x, y) * N(x, y) dA \quad (13)$$

In cui: Δy , N : variano in ogni punto dell'area

A: è l'area totale presa in considerazione

- Se si considera invece una popolazione distribuita in un'area caratterizzata da zone in cui si verificano condizioni di esposizione

diverse, ma all'interno di esse omogenee, verrà effettuata una discretizzazione dell'area totale in aree in cui si può supporre un'esposizione ad una concentrazione omogenea. In questo modo si otterrà l'impatto su di N tramite :

$$NE_{tot} = \sum_{i=1}^K \Delta y_i * N_i \quad (14)$$

Con K= numero totale aree ;

i= area i-esima

Secondo questo principio è stata effettuata l'analisi di E.P.A negli Stati Uniti attraverso il progetto C.A.M.P.S. (Criteria Air Pollutant Modeling System), in cui gli Stati Uniti, sono stati suddivisi in aree da 8 km², per le quali sono stati rilevati i cambiamenti delle concentrazioni, la diversa popolazione e il diverso impatto sanitario.

Su questa impronta si è sviluppato anche il lavoro di tesi che sarà esposto nel capitolo 4, per cui è stata discretizzata l'area di Bologna attraverso la zonizzazione, basata sull'individuazione di 5 tipologie di zone in cui si sono supposte uguali distribuzioni di concentrazione.

CAPITOLO 4

CASO DI STUDIO:

VALUTAZIONE DEI RISCHI SANITARI NELL'AREA URBANA DI BOLOGNA CON APPROCCIO PER ZONE

4.1 CASO DI STUDIO: IL COMUNE DI BOLOGNA

Il caso di studio presentato in questa tesi considera l'area del comune di Bologna, caratterizzato da una disomogenea distribuzione dei *criteria pollutants* dovuta alla presenza di aree chiuse al traffico, aree densamente trafficate, aree densamente popolate, aree riservate a parchi e aree rurali.

Per studiare gli effetti epidemiologici scaturiti dall'esposizione della popolazione bolognese agli inquinanti presenti nell'aria ambiente della città, è stato applicato il software Air Q, predisposto e consigliato dalla WHO per questo tipo di analisi.

L'area del Comune di Bologna si estende su una superficie di 140,73 km², ed è abitato da una popolazione di circa 372000 persone (Censimento 2001).

L'analisi degli effetti sulla salute della popolazione ha esaminato in particolare cinque anni consecutivi, dal 2006 al 2010, al fine di osservare la variazione degli effetti nella popolazione di riferimento a seguito della variazione negli anni della concentrazione degli inquinanti considerati (*criteria pollutants*).

Nello specifico fra gli inquinanti critici della qualità dell'aria è stato preso in considerazione l'NO₂¹. L'obiettivo del caso di studio è di valutare il numero di casi di mortalità e di patologie che possono essere attribuite

¹ La scelta è stata dettata dalla completezza dei dati a disposizione.

all'esposizione della popolazione agli ossidi di azoto, dunque all'inquinamento dell'aria dovuto alle emissioni di questo specifico contaminante. Come è stato già descritto nel paragrafo 3.3, il presente caso di studio prevede un approccio per zone, che tenga cioè in considerazione della variabilità dell'esposizione della popolazione residente agli NO_x nelle diverse zone del comune di Bologna.

I dati relativi alla qualità dell'aria, dunque i valori di concentrazione, sono stati estrapolati dalle informazioni liberamente consultabili dal sito dell'ARPA Emilia Romagna. La rete di monitoraggio della qualità dell'aria di ARPA è descritta nel paragrafo che segue.

4.2 RETE DI MONITORAGGIO ARPA

La Storia

La Regione Emilia-Romagna ha iniziato il rilevamento sistematico della qualità dell'aria nella prima metà degli anni '70, con la costituzione della rete regionale di monitoraggio tramite iniziative degli Enti Locali, della Regione e delle principali industrie insediate nelle aree di Ravenna, Piacenza, Ferrara e nel comprensorio delle ceramiche. Tale sistema venne ampliato, cambiando la sua funzione a seguito della pubblicazione del D.P.C.M. 28/3/1983, con il quale veniva rivoluzionato il concetto di misura alle immissioni, introducendo anche in Italia limiti di accettabilità e limiti massimi di esposizione, detti *standard di qualità*, per otto sostanze inquinanti, al fine della protezione igienico-sanitaria della popolazione.

Nel 1988 i presupposti per la realizzazione delle reti di misura cambiarono all'atto della emanazione del D.P.R. 203/88 e, con l'emanazione del D.M. 20 maggio 1991, vennero definiti i criteri base per la realizzazione di un nuovo sistema di rilevamento. La ristrutturazione, avviata nel 1996, ha consentito di cominciare ad estendere il monitoraggio a nuovi inquinanti, tra cui le prime

misure della frazione inalabile delle polveri (PM₁₀) e del benzene, normati nel 1994, nonché di estendere le misure anche ai centri urbani con 40.000-50.000 abitanti e, in particolari casi, installando stazioni di rilevamento anche in centri abitati minori, confinanti con vasti comprensori industriali e aree urbane.

L'evoluzione della rete regionale

A partire dall'anno 2006 è in corso un'ulteriore evoluzione della rete per rispondere a necessità sanitarie e normative emerse in questi ultimi anni. Questa attività è stata avviata definendo quelli che risultavano essere i punti di misura più significativi all'interno delle stazioni già esistenti e individuando nuovi siti "ad hoc" che consentano una lettura uniforme dell'inquinamento della qualità dell'aria sul territorio sia per la protezione della salute, sia per la protezione dell'ambiente.

Il progetto di ristrutturazione, che doveva essere terminata nel 2010, prevede la predisposizione di nuove stazioni con strumenti che permettono di focalizzare l'attenzione sugli inquinanti più critici quali PM₁₀, per i quali viene raddoppiata la copertura delle misure, e sul PM_{2,5} installando almeno due strumenti di misura in ogni provincia.

Sono state inoltre attivate due attività complementari che prevedono l'individuazione e la sostituzione della strumentazione non più "performante" e l'obbligo per il manutentore della rete di misura di garantire il raggiungimento del 90% di dati validi richiesto pena l'applicazione di congrue penali.

Le stazioni sono posizionate secondo i dettami del D.M. 60/2002 e del D.lgs. 183/2004 (ora abrogati dal D.Lgs 155/2010). La normativa suddivide il territorio in aree omogenee: l'agglomerato gravitante sui comuni con più di 50.000 abitanti o con comparti produttivi significativi in cui la maggioranza

dei cittadini è sottoposta a valori critici di inquinamento, l'area esterna all'agglomerato (Zona A), sostanzialmente la restante parte del territorio regionale di pianura e la zona di tutela o sensibile (Zona B) in cui si deve preservare la qualità dell'aria affinché non siano perturbati gli ecosistemi naturali presenti e generalmente individuata dai parchi naturali e dai territori di collina/montagna.

La rete di monitoraggio attuale

L'attuale rete di monitoraggio, in fase di costante evoluzione, a seguito del progetto illustrato, viene costantemente modificata dall'attività di predisposizione e aggiornamento delle stazioni di misura e dei sensori ed è attualmente composta da 193 analizzatori, distribuiti in 60 stazioni di misura².

Gli inquinanti monitorati sono: Biossido di zolfo (SO₂), Biossido di azoto (NO₂), Ossido di carbonio (CO), Ozono (O₃), Particolato (PM₁₀ e PM_{2,5}), Benzene, Toluene e Xilene (BTX).

Rete di monitoraggio di Bologna

La rete di monitoraggio della qualità dell'aria presente sul territorio provinciale di Bologna è attiva dal 1998 e, a seguito delle varie fasi di ristrutturazione come descritto sopra, è costituita dalle 5 stazioni di rilevamento riportate in figura 4.1.

²Dati aggiornati al maggio del 2010.

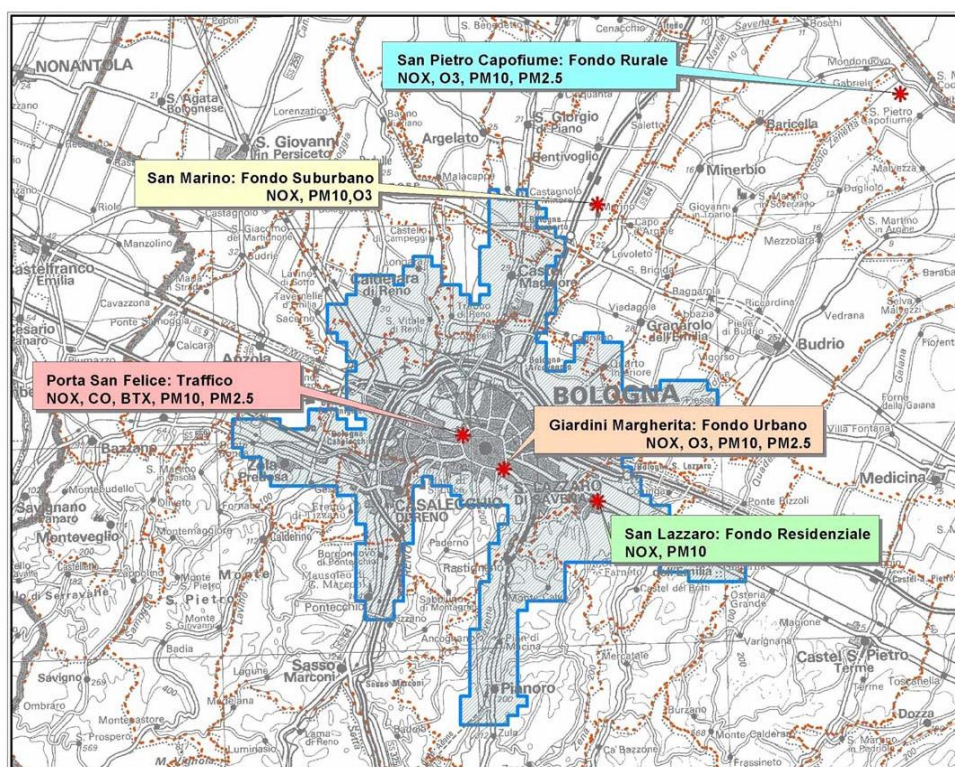


Figura 4.1. Agglomerato di Bologna, in cui sono visibili le centraline della rete di monitoraggio di Bologna (Arpa, 2010)

La zonizzazione prevista dalla normativa aggrega territori comunali e sovracomunali in agglomerati e porzioni di territori omogenee in base alle caratteristiche della qualità dell'aria, alla continuità urbanistica e alla densità di popolazione. Per questa ragione nessun territorio comunale è ricompreso interamente in un unico *agglomerato*; quello di Bologna ad esempio non comprende la collina e due piccole zone in corrispondenza dei cunei agricoli. In particolare l'agglomerato di Bologna: comprende parte dei territori urbanizzati dei comuni di Bologna, Argelato, Bentivoglio, Calderara di Reno, Castel Maggiore, Casalecchio di Reno, Castenaso, Granarolo, Ozzano dell'Emilia, Pianoro, S.Lazzaro di Savena, Sasso Marconi, Zola Predosa. La restante parte del territorio è l'area del territorio provinciale in cui i valori degli inquinanti critici risultano inferiori al limite previsto dalla normativa vigente.

Nel 2010 all'interno dell'agglomerato di Bologna sono posizionate 3 stazioni

di misura, mentre altre 2 risultano collocate nella restante parte del territorio: una in area suburbana (San Marino - Bentivoglio) e una di fondo rurale (San Pietro Capofiume – Molinella)³.

Le stazioni di monitoraggio

Si descrivono ora i dettagli delle stazioni di monitoraggio, specificando in particolare le tipologie e la nomenclatura utilizzata da Arpa Emilia Romagna.

Si premette che secondo la Decisione 2001/752/CE, le zone di un territorio possono essere classificate in:

- **Urbana (U)**: centro urbano di consistenza rilevante per le emissioni atmosferiche, con più di 3000-5000 abitanti;
- **Suburbana (S)**: periferia di una città o area urbanizzata residenziale posta fuori dall'area urbana principale;
- **Rurale (Ru)**: zona all'esterno di una città, ad una distanza di almeno 3 km; un piccolo centro urbano con meno di 3000-5000 abitanti è da ritenersi tale.

In generale le centraline di monitoraggio dovrebbero essere in grado di rappresentare la qualità dell'aria delle zone di traffico, di fondo e industriali. Dunque una buona rete di monitoraggio dovrebbe comprendere almeno:

- **una Stazione da Traffico (T)**, cioè un punto di campionamento rappresentativo dei livelli d'inquinamento massimi caratteristici dell'area che si vuole monitorare, influenzato prevalentemente da emissioni da traffico provenienti da strade limitrofe;
- **una Stazione di Fondo o Background (B)**, ovvero un punto di campionamento rappresentativo dei livelli d'inquinamento medi caratteristici dell'area che si vuole monitorare;
- **una Stazione Industriale (I)**, cioè un punto di campionamento per il

³ Informazioni tratte dal sito: <http://www.arpa.emr.it>

monitoraggio di fenomeni acuti, posto in aree industriali con elevati gradienti di concentrazione degli inquinanti.

Le centraline della rete di monitoraggio devono ricadere nelle seguenti tipologie:

1) Stazioni urbane da traffico (TU)

Sono stazioni urbane ubicate in prossimità di strade ad intenso traffico veicolare localizzate in aree con forti gradienti di concentrazioni di inquinanti. Il dato fornito da questa tipologia di stazione di campionamento deve essere accompagnato dalla tipologia del traffico e dalla tipologia della strada che si vuole monitorare (strada larga, autostrada, street canyon,...) al fine di normalizzare il più possibile l'informazione fornita dal campionamento.

Tipicamente il flusso del traffico è suddiviso in tre differenti categorie:

- largo volume di traffico (numero di veicoli giornalieri >10000),
- medio volume di traffico (numero di veicoli giornalieri compresi tra 2000 e 10000)
- basso volume di traffico (numero di veicoli giornalieri <2000).

L'area di rappresentatività deve essere di almeno 200 m² secondo quanto stabilito per legge dal DM 60/2002.

Seguendo le indicazioni contenute nel *Criteria for EUROAIRNET* è possibile integrare il concetto di area di rappresentatività con le specifiche di lunghezza della strada. La strada deve avere una lunghezza minima di 100 m in aree fortemente urbanizzate e una lunghezza minima di 1000 m per strade suburbane (*Criteria for EUROAIRNET*, cap. 4.5.4, pag 30, EEA (European Environment Agency) ,Published: Apr 14, 1999). Le stazioni devono essere ubicate a circa 4 m dal bordo stradale più vicino (ed entro i 5 m dal bordo stradale se sono corredate di analizzatori per NO₂ e CO) ed almeno 25 m da incroci, semafori, ecc.

2) Stazione di fondo urbano (BU)

Sono stazioni usate per monitorare i livelli medi di inquinamento, all'interno di vaste aree urbane (tessuto urbano continuo, prevalentemente capoluoghi di regione e/o provincia), dovuti a fenomeni di trasporto provenienti dall'esterno della città stessa e fenomeni prodotti all'interno della città che si vuole monitorare. Sono poste preferibilmente all'interno di aree verdi pubbliche e aree pedonali (parchi, impianti sportivi, scuole, ...) non direttamente sottoposte a sorgenti di inquinamento specifiche quali il traffico autoveicolare e le emissioni industriali. La distanza minima della centralina da arterie stradali eventualmente presenti (numero di veicoli giornalieri superiori a 2500) deve essere almeno 50 m. L'area di rappresentatività deve essere individuata da un raggio compreso tra i 100 m e 1 Km.

3) Stazione di fondo urbano residenziale (BU-Res)

Sono stazioni usate per monitorare i livelli medi di inquinamento all'interno di vaste aree urbane (tessuto urbano continuo) dovuti a fenomeni di trasporto provenienti dall'esterno della città stessa e fenomeni prodotti all'interno della città. Sono ubicate in aree urbane caratterizzate da una elevata densità abitativa di almeno 8000 ab/Km², distribuzione quasi continua di abitazioni e non attraversate da strade ad elevata percorrenza. Le arterie stradali eventualmente presenti (numero di veicoli giornalieri superiori a 2500) devono essere poste ad una distanza di almeno 50 m dalla stazione di rilevamento. L'area di rappresentatività è caratterizzata da un raggio compreso tra 100 m e 5 km.

4) Stazioni di fondo suburbano (BS)

Sono stazioni usate per monitorare i livelli medi di inquinamento all'interno di aree suburbane (tessuto urbano discontinuo, generalmente paesi limitrofi

ai capoluoghi di provincia e/o regione) dovuti a fenomeni di trasporto provenienti dall'esterno della città stessa e fenomeni prodotti all'interno della città che si vuole monitorare. Poste preferibilmente all'interno di aree verdi pubbliche (parchi, impianti sportivi, ...) e non direttamente sottoposte a sorgenti di inquinamento diretto. Le arterie stradali eventualmente presenti (numero di veicoli giornalieri superiori a 2500) devono essere poste ad una distanza di almeno 500 m. Se il numero di veicoli giornalieri è inferiore ai 500 la distanza deve essere compresa tra 100 e 500 m. L'area di rappresentatività è individuata da un raggio compreso tra 1 e 5 Km.

5) Stazioni di fondo rurale (BRu)

Stazioni atte a monitorare i livelli di inquinamento dovuti a fenomeni di trasporto su lungo raggio e da emissioni di inquinanti prodotti all'interno della regione stessa. Le stazioni sono poste all'esterno delle maggiori città e insediamenti, in aree prevalentemente rurali/agricole maggiormente soggette ad inquinamento da ozono e non situate all'interno di un agglomerato, sottovento rispetto alla direzione del campo di vento più probabile e non nelle immediate vicinanze dell'area di massima emissione di inquinanti. L'area di rappresentatività è caratterizzata da un raggio di almeno 5 Km.

6) Stazione di fondo remoto (BRe)

Sono stazioni atte a monitorare i livelli di fondo degli inquinanti risultanti da sorgenti naturali e fenomeni di trasporto sul lungo raggio. Esempi sono forniti dalle stazioni della rete EMEP (rete delle deposizioni acide). Caratterizzate da un'area di rappresentatività di almeno 1000 Km² e posizionate in aree naturali (ecosistemi naturali, foreste) a grande distanza da aree urbane ed industriali e distanti dall'influenza delle emissioni locali. Devono essere evitate le zone soggette ad un locale aumento delle condizioni di inversione termica al suolo, nonché la sommità delle montagne. Sono

sconsigliate le zone costiere caratterizzate da evidenti cicli di vento diurni a carattere locale. La scelta deve ricadere prevalentemente su terreni ondulati o, qualora questi siano di difficile reperibilità, le valli caratterizzate da deboli fenomeni di inversione termica al suolo.

Considerando le seguenti definizioni (D.Lgs. 155/2010):

Agglomerato: Gravitante sui comuni con più di 50.000 abitanti o con comparti produttivi significativi, individua un'area del territorio in cui la maggioranza dei cittadini è sottoposta a valori critici di inquinamento. All'interno della regione sono stati individuati 13 agglomerati, uno o più per provincia⁴.

ZonaA: Area esterna all'agglomerato coincidente sostanzialmente con la restante parte del territorio regionale di pianura in cui vi è la presenza di inquinanti significativa ma una minore densità di popolazione rispetto agli agglomerati. In alcuni casi per ragioni amministrative all'interno della zona A sono stati riportati anche i comuni dell'agglomerato. All'interno della regione sono state individuate 9 zone A, una per ciascuna provincia.

ZonaB: Zona di tutela o sensibile in cui si deve preservare la qualità dell'aria affinché non siano perturbati gli ecosistemi naturali presenti e generalmente individuata dai parchi naturali e dai territori di collina/montagna. All'interno della regione sono state individuate 9 zone B, una per ciascuna provincia.

Quindi secondo le indicazioni regionali la collocazione delle stazioni di rilevamento nelle diverse zone seguirà il seguente schema:

- Negli **agglomerati** saranno collocate stazioni di traffico urbano, stazioni di fondo urbano e/o residenziali;

⁴ Questa informazione e le seguenti sono tratte dal Piano di risanamento della regione Emilia Romagna 2010, cap7, rete di monitoraggio

- Nelle **zone di tipo A** saranno collocate stazioni di fondo suburbano e/o di fondo rurale;

- Nelle **zone di tipo B** saranno collocate stazioni di fondo rurale remoto.

Nella tabella 4.1 si riportano le categorie attribuite alle 5 centraline dell'area di Bologna.

Tabella 4.1. Tipologia di centraline nell'area di Bologna (<http://www.arpa.emr.it>)

CENTRALINA	TIPOLOGIA
Porta San Felice	STAZIONE URBANA DA TRAFFICO (TU)
Giardini Margherità	STAZIONE DI FONDO URBANO (BU)
San Lazzaro	STAZIONE DI FONDO URBANO RESIDENZIALE (BU-Res)
S.Marino di Bentivoglio	STAZIONE DI FONDO SUBURBANO (SU)
S.Pietro in Capofiume	STAZIONE DI FONDO REMOTO (BRe)

4.3 ZONIZZAZIONE DEL COMUNE DI BOLOGNA

Al fine di studiare gli effetti sulla salute umana causati dall'esposizione della popolazione all'inquinante NO₂, è stata presa in considerazione la rete di monitoraggio approvata e adottata a partire dal 2010, in cui sono utilizzate, come è stato descritto nel paragrafo precedente, cinque centraline rappresentative di cinque zone diverse della città.

Per tener conto della variabilità dell'esposizione della popolazione a diversi livelli di concentrazione di inquinante, nella presente tesi si è voluto proporre un approccio innovativo rispetto al valor medio di concentrazione tipicamente utilizzato in questo tipo di analisi.

Gli studi proposti dalla Provincia di Bologna in unione al servizio sanitario della Regione Emilia Romagna, "Rapporto sulla valutazione sanitaria della

qualità dell'aria a Bologna per l'anno 2006" (Provincia di Bologna, 2006) o "Valutazione della qualità dell'aria 2004" (Provincia di Bologna, 2004) sempre riguardante Bologna, ipotizzano infatti che l'intera popolazione analizzata sia esposta in modo omogeneo ad un livello di concentrazione medio degli inquinanti esaminati. Anche altri studi sulla valutazione sanitaria della contaminazione atmosferica effettuati in altre città italiane (studio MISA2, impatto sanitario di PM₁₀ e ozono in 13 città italiane), considerano un approccio semplificato che media le distribuzioni di concentrazioni su tutta l'area su cui vengono calcolati gli effetti sulla popolazione.

Il nuovo approccio di valutazione di incidenza sanitaria descritto in questo capitolo, tiene invece in considerazione la distribuzione della popolazione nella città, cercando quindi di distinguere l'esposizione ai diversi livelli di concentrazione relativi alle diverse aree della città. Questo approccio però non riesce a sopperire anche alla necessità di individuare la distribuzione della popolazione scaturita dalla mobilità della stessa, considerazione che invece giustificava in parte l'ipotesi di una esposizione ad una concentrazione omogenea su tutta l'area. Utilizzando l'approccio per zone, sono state individuate nel comune di Bologna zone di vulnerabilità, la cui classificazione è stata effettuata considerando due fattori principali: la densità di popolazione e la loro localizzazione. Sono quindi considerate in maniera diversa a parità di densità di popolazione due zone che si trovano lontano o a ridosso di vie di comunicazione soggette ad un traffico più o meno scorrevole.

Per l'individuazione delle zone caratterizzate da uguale densità di popolazione è stata presa come base una mappa con la suddivisione in aree di densità di popolazione relativa al censimento del 2001.

In figura 4.2 sono rappresentate 4 zone, caratterizzate da fasce diverse di densità di popolazione espresse in abitante/km². I puntini blu rappresentano

le centraline di monitoraggio della qualità dell'aria che ricadono nell'area del comune di Bologna.

BOLOGNA

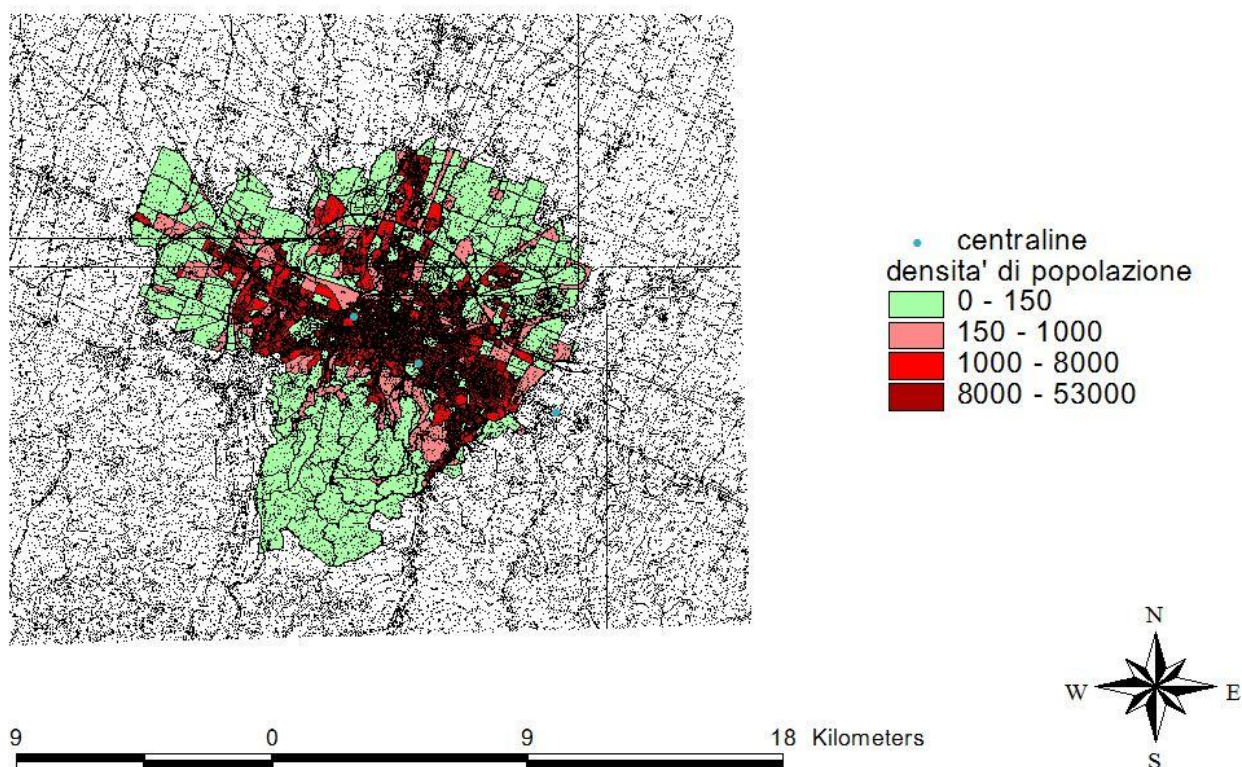


Figura 4.2. Zonizzazione dell'area di Bologna in base alla densità di popolazione

E' stata quindi effettuata una prima suddivisione basandosi sulla distribuzione della popolazione, e successivamente, da questa, è stata individuata la situazione relativa al traffico per poter identificare i punti nevralgici della città. La sovrapposizione delle informazioni di densità di popolazione e di traffico (Figura 4.3) ha consentito una zonizzazione dell'area di studio nelle 5 diverse tipologie di zone di impatto.

Nell'immagine seguente sono indicate le arterie più importanti della città attraverso l'evidenziazione delle strade stesse, sono inoltre distinte le vie maggiormente trafficate con il colore rosso e giallo, in verde sono rappresentate le vie con traffico scorrevole ma pur sempre rilevante.

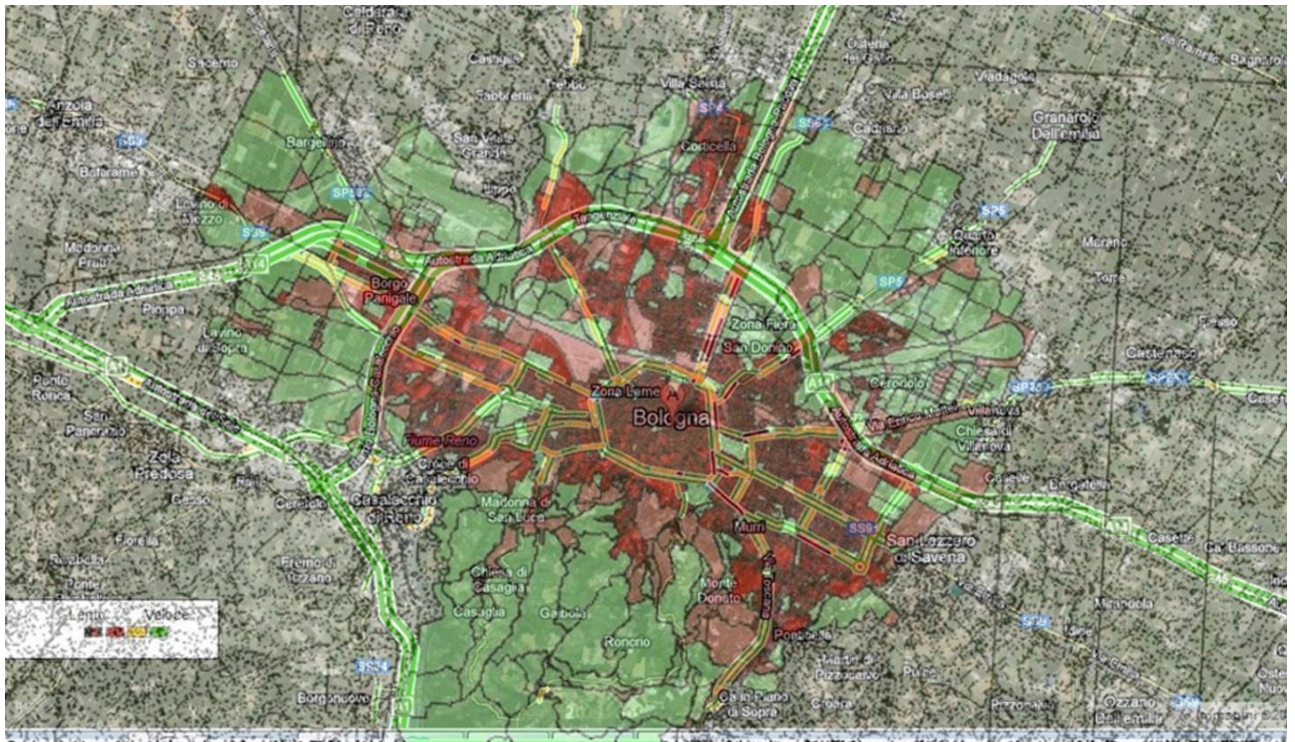


Figura 4.3. Sovrapposizione dei dati sulla densità di popolazione e delle informazioni sul traffico nell'area di Bologna

In definitiva sono state quindi individuate 5 zone d'impatto diverse:

1) FONDO REMOTO/ RURALE (BRr): zona caratterizzata da una densità minore di 150 abitanti/km². Vengono definite zone rurali secondo la metodologia OECD (*“Urban rural typology of NUTS3 regions”*) le aree in cui vi è una densità di popolazione inferiore ai 150 abitanti/km².

Partendo da questa definizione generale di zona rurale, nel caso del Comune di Bologna rientrano in questa categoria le aree a cui è attribuita la suddetta

densità di popolazione, localizzate però lontano dal traffico urbano. Vengono così identificate come zone rurali le aree collinari della città.

2) FONDO SUBURBANO (SU): zona caratterizzata da una densità tra i 150 e 1000 abitanti/km². L'intervallo che identifica questo gruppo è stato ottenuto dalla media geometrica tra i valori che identificano il fondo rurale e il fondo urbano – residenziale. La centralina che definisce il fondo suburbano si trova in località San Marino, frazione con una densità di popolazione prossima ai 3000 abitanti, la centralina però è posta nella parte esterna al paese prossima alla campagna, è così giustificato il fatto che possa rappresentare zone con densità tra i 150 e i 1000 abitanti/km². Per gli anni precedenti al 2009 non è stato possibile fare riferimento alla centralina di San Marino, è stata quindi utilizzata una centralina che potesse avere le stesse caratteristiche, sia come densità di popolazione che come andamento delle concentrazioni; caratteristiche riscontrate nell'area di Granarolo e quindi nella rispettiva centralina. Questa tipologia di zona è stata assegnata alle aree con la relativa densità di popolazione, che non si trovano però a ridosso delle arterie principali della città e alle aree con densità di popolazione minore di 150 abitanti/km² che si trovano in prossimità dell'area urbana.

3) FONDO URBANO (BU): zona caratterizzata da una densità tra i 1000 e 8000 abitanti/km². Oltre alle aree con tale densità di popolazione, secondo la definizione della zona relativa al monitoraggio della centralina considerata (Giardini Margherita), vengono prese in considerazione anche le zone del centro urbano in cui vi sono scuole, ospedali e parchi.

4) FONDO URBANO RESIDENZIALE (BU-Res): zona caratterizzata da una densità maggiore di 8000 abitanti/km². In accordo con la definizione propria delle zone Urbano-residenziali, secondo Arpa.

5) ZONA TRAFFICO (TU)

Quest'ultima zona esula dalla classificazione secondo la densità di popolazione, ma tiene conto del fattore di localizzazione: le aree appartenenti alla zona traffico sono identificate considerando la loro esposizione sulle arterie importanti del traffico urbano.

La figura 4.4 rappresenta la zonizzazione dell'area di Bologna risultante dalle considerazioni sopra esposte. Si nota come le aree più esterne alla città siano appartenenti alla prima e alla seconda categoria, e come le zone più interne appartengano alla quarta e quinta categoria. Inoltre le zone a più alta densità si trovano a ridosso delle zone di traffico, che sono quindi individuate lungo le arterie più importanti della città.

Legenda : le numerazioni si riferiscono a : 1.zona rurale (colore verde); 2. Zona suburbana (colore giallo); 3.zona urbana (colore rosa); 4.zona urbana-residenziale (colore rosso); 5.zona di traffico (colore blu).

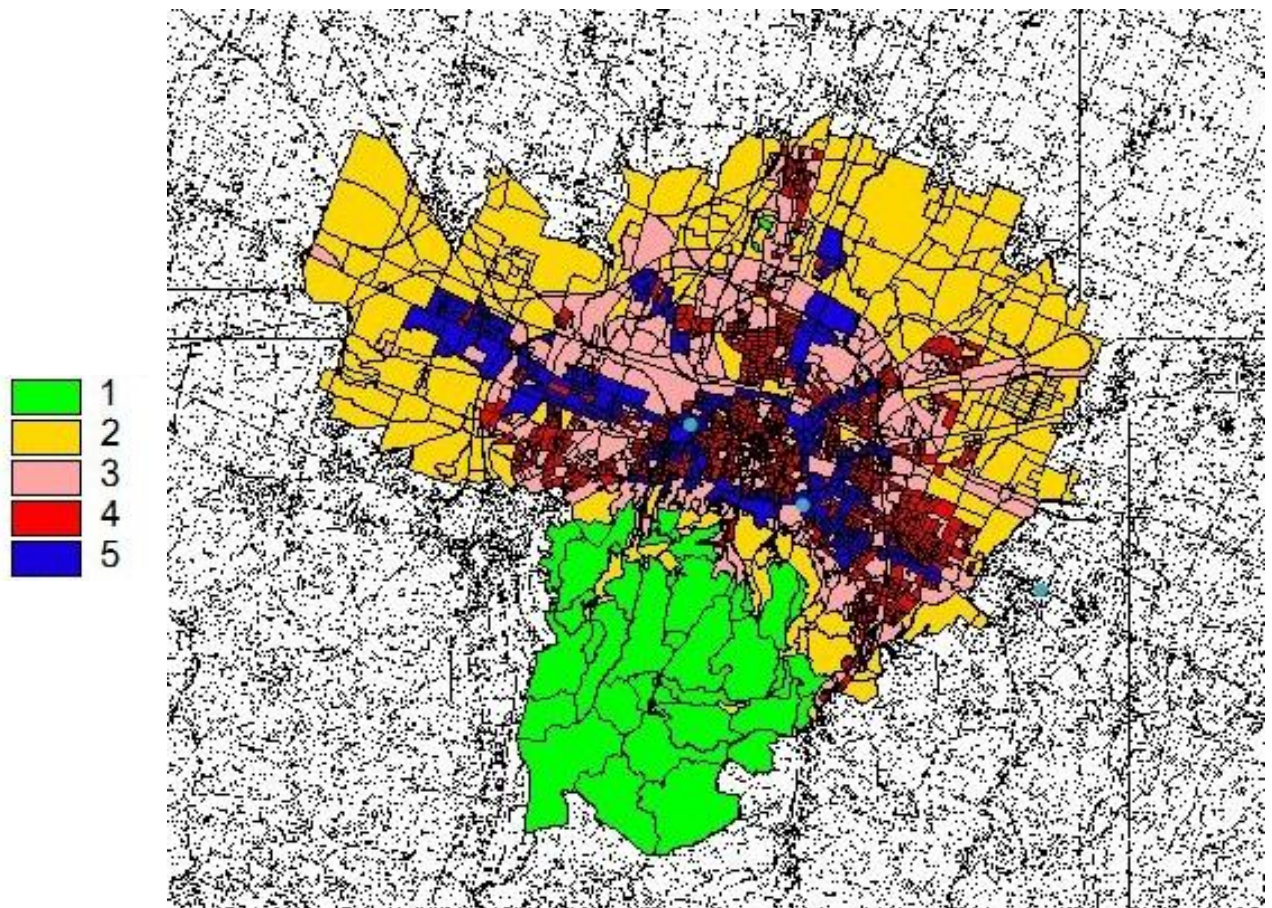


Figura 4.4. Zonizzazione dell'area di Bologna

4.4 RACCOLTA DEI DATI DI CONCENTRAZIONE DI NO₂

Una volta completata la suddivisione in zone dell'area di Bologna, si è esaminata la disponibilità dei dati di concentrazione dei contaminanti.

La ricerca dei dati è stata condotta in più steps. In principio è stata effettuata un'analisi più generale sui dati di concentrazione medie mensili ed annuali, per la scelta degli inquinanti da analizzare basata sulla disponibilità dei dati.

Una volta che la scelta dell'inquinante su cui poter portare avanti l'analisi è ricaduta su NO₂, è stata effettuata una analisi di dettaglio dei dati, ricercando i dati dei valori di concentrazione giornalieri. Nello specifico sono stati presi in considerazione i valori medi orari massimi, in quanto più facilmente disponibili attraverso i reports giornalieri messi a disposizione da ARPA sull'omonimo sito regionale.

4.4.1. ANALISI DEI DATI DI CONCENTRAZIONE MEDIA MENSILE

Per il reperimento dei dati di concentrazione degli inquinanti si è fatto riferimento al database di Arpa. E' stata effettuata in primo luogo un'analisi generale sull'andamento delle concentrazioni degli inquinanti nell'arco del periodo studiato (2006-2010), per poter valutare la disponibilità dei dati, e la continuità delle centraline utilizzate.

Questa prima analisi ha preso in considerazione le concentrazioni medie mensili, prese direttamente dai reports mensili, messi a disposizione da Arpa sul sito ufficiale, dalle quali sono state successivamente estrapolate le medie annuali.

Dei 6 *criteria pollutants*, l'analisi si è focalizzata su due inquinanti principali in quanto il Piombo si trova ormai in concentrazioni irrilevanti in quanto non è più un componente utilizzato nei carburanti, l' SO_2 si trova in concentrazioni minime e il CO e l' O_3 sono misurati in un numero esiguo di centraline e variano continuamente negli anni presi in considerazione.

L'attenzione è stata quindi focalizzata su PM_{10} e NO_2 dei quali sono stati estrapolati gli andamenti annuali delle concentrazioni medie in $\mu\text{g}/\text{m}^3$, in riferimento alle centraline prese in considerazione per la suddivisione della città in diverse zone (Figure 4.5 e 4.6).

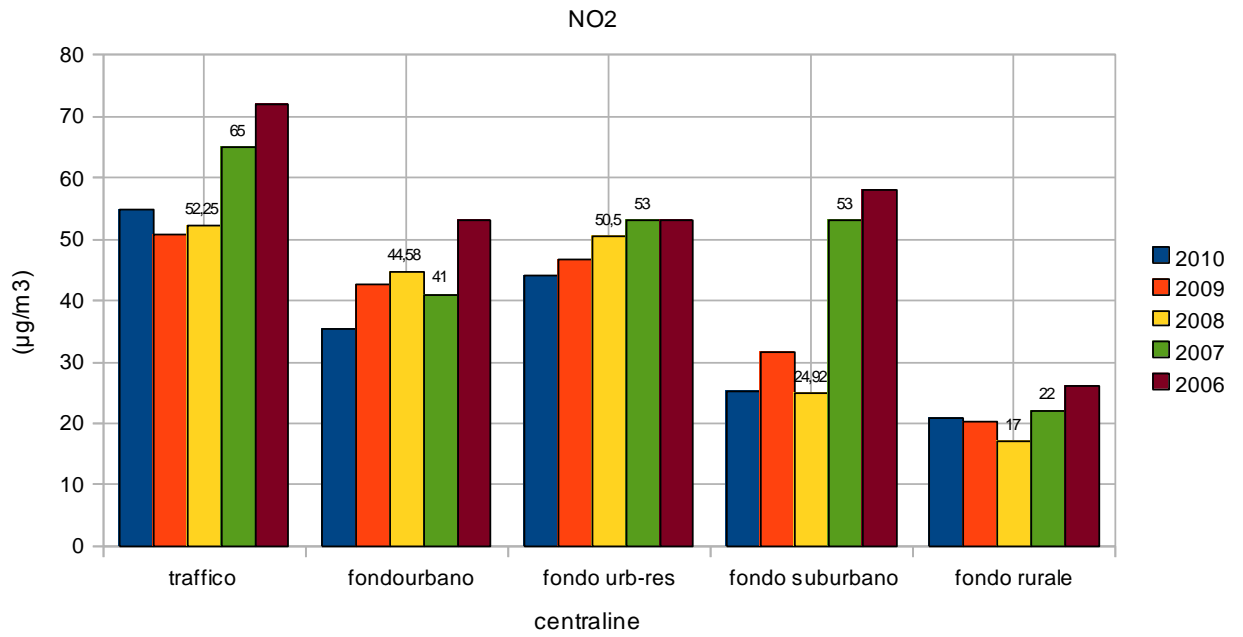


Figura 4.5. Andamento delle concentrazioni di NO₂ negli anni, misurate nelle 5 centraline di Bologna

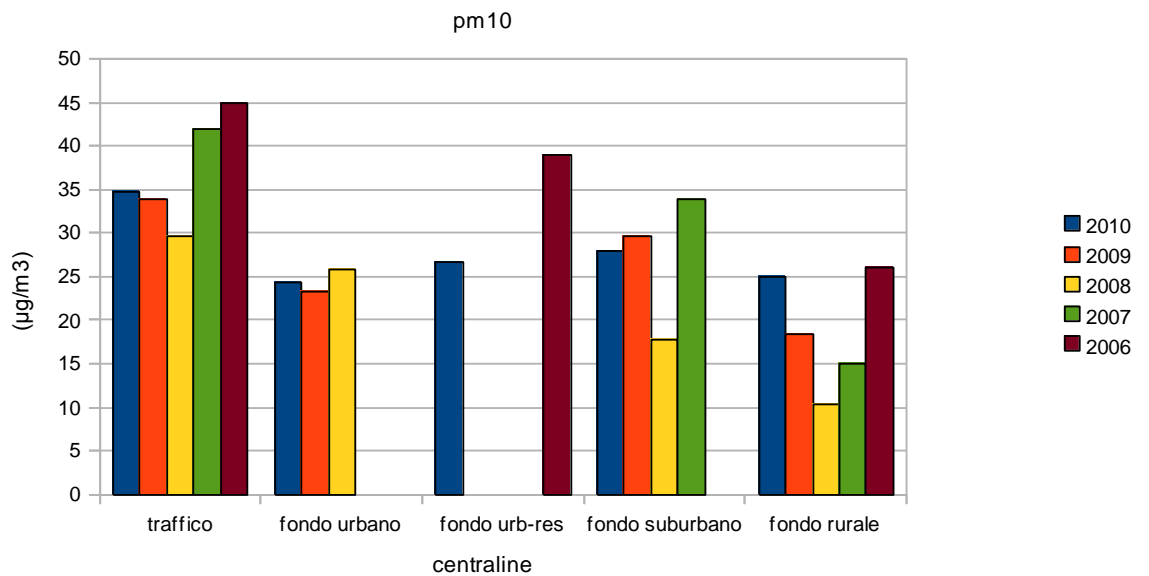


Figura 4.6. Andamento delle concentrazioni di PM₁₀ negli anni, misurate nelle 5 centraline di Bologna

Questa prima raccolta di dati ha evidenziato che per il periodo 2006-2010, il database di ARPA relativamente al PM₁₀, presenta una manifesta incompletezza dei dati per le centraline caratteristiche del fondo urbano e del fondo urbano-residenziale.

E' stata invece positiva la verifica dei dati per l'NO₂, in quanto sono risultati presenti i valori delle misurazioni per ogni centralina e per ogni anno, ad eccezione dei dati sulla centralina di San Marino relativa alla zona di tipo A, in quanto negli anni precedenti al 2009 per quella tipologia di zona venivano utilizzati i valori recepiti dalla centralina di Granarolo. Per avere una visione dell'andamento della concentrazione media negli anni relativa alla zona suburbana sono stati inseriti nel grafico in Figura 4.5, i valori relativi alla centralina di Granarolo rimpiazzando i rilevamenti mancanti della centralina di San Marino.

Tabella 4.2. Concentrazioni medie annue di NO₂

annuali NO2 medie					
	2006	2007	2008	2009	2010
Valore limite annuale per la protezione della salute umana	40 µg/m ³ (da raggiungere al 2010)				
	48 µg/m ³	46 µg/m ³	44 µg/m ³	42 µg/m ³	40 µg/m ³
TRAFFICO (Porta San Felice)	72	65*	52	51	55*
FONDO URBANO-RES (S.Lazzaro)	53*	53	51	47	44
FONDO URBANO (G. Margherita)	53	41*	45	43*	35*
FONDO SUBURBANO (S.Marino)	-	-	25*	32	25
FONDO RURALE (S.P. Capofiume)	26*	22*	17*	20	21

Valori medi ottenuti da una percentuale di dati validi inferiore al 90%, obiettivo per la qualità dei dati come indicato dalla normativa vigente.

- I valori medi non sono disponibili in quanto la stazione non è attiva.

Nella Tabella 4.2 si riporta l'andamento delle concentrazioni medie annue dal 2006 al 2010 per l'inquinante NO₂, con indicazione del valore medio per anno e del valore limite annuale per la protezione della salute umana indicato nel DLgs 155/2010.

La media annua risulta maggiore del valore limite, 40 µg/m³ per l'anno 2010, nelle 2 postazioni urbane di Porta San Felice e San Lazzaro nell'agglomerato di Bologna. Lo scostamento maggiore dal valore di 40 µg/m³ è stato registrato nella stazione da traffico di Porta San Felice.

Il confronto con i valori medi dell'anno precedente evidenzia una sostanziale stabilità delle concentrazioni medie rilevate nell'area urbana di Bologna, mentre a Porta San Felice è stato registrato un aumento pari al 8%. Si confermano non critiche la stazione suburbana di San Marino, con un lieve decremento della media, e San Pietro Capofiume mantiene un valore stabile.

Dal confronto delle medie annue del periodo 2006-2010 si evidenzia nell'agglomerato di Bologna una generale diminuzione delle concentrazioni fino al 2008, a cui fa seguito una generale stabilità dei valori mentre nella stazione di PortaSan Felice il decremento registrato fino al 2009 è seguito per il 2010 da un aumento della media annua. Per la stazione di Giardini Margherita si conferma il trend di diminuzione su tutto il periodo, anche se le medie di alcuni anni sono indicative in quanto calcolate su una percentuale di dati validi inferiore al 90%.

Per quanto riguarda la stazione di fondo rurale di San Pietro Capofiume la tendenza nel tempo è simile a quanto riscontrato a Porta San Felice, con una piena confrontabilità delle concentrazioni medie nell'ultimo biennio.

4.4.2. ANALISI DEI DATI DI CONCENTRAZIONE GIORNALIERI

La raccolta dei dati giornalieri è stata effettuata tramite i reports giornalieri dai quali è stato possibile ricavare i valori delle medie orarie massime in ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) di NO_2 delle centraline di interesse. Sono stati così ottenuti i valori delle medie orarie massime delle cinque centraline considerate per ogni anno del periodo studiato.

I dati collezionati sono stati analizzati in modo tale da ottenere i dati in input necessari da inserire nel software AirQ, relativi ad ogni anno del periodo studiato e ad ogni centralina, ottenendo così venticinque serie di dati, di cui :

- le concentrazioni giornaliere sono state suddivise in intervalli di concentrazione di $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (<10; 10-19; 20-29; 30-39; 40-49; 50-59; 60-69; 70-79; 80-89; 90-99; 100-109; 110-119; 120-129; 130-139; 140-149; 150-159; 160-169; 170-179; 180-189; 190-199; 200-249) ;
- sono stati individuati il numero dei giorni estivi ed invernali in cui si sono ottenuti dati validi;
- sono stati calcolati i massimi estivi, invernali ed annuali;
- è stato calcolato il 98-esimo percentile per ogni serie.

I dati ottenuti possono essere così riassunti:

1) Rilevamenti relativi alla centralina di San Pietro Capofiume (fondo rurale)

Tabella 4.3 Numero di giorni con concentrazione oraria massima che ricade in determinati intervalli, per gli anni 2006-2010 – San Pietro Capofiume

	San Pietro in Capofiume										
	<10	10;19	20;29	30;39	40;49	50;59	60;69	70;79	80;89	90;99	100;109
2010	27	66	87	49	38	24	13	13	8	5	2
2009	31	56	78	47	45	31	28	11	11	3	2
2008	40	37	43	48	31	45	23	9	2	4	1
2007	1	29	51	66	44	36	31	17	14	12	7
2006	0	15	72	59	46	40	26	20	11	11	6

	110;119	120;129	130;139	140;149	150;159	160;169	170;179	180;189	190;199	200;209	210;219	
	4	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	2010
	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2009
	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2008
	6	2	2	0	1	1	1	0	1	0	0	2007
	0	0	2	1	3	3	0	0	0	0	1	2006

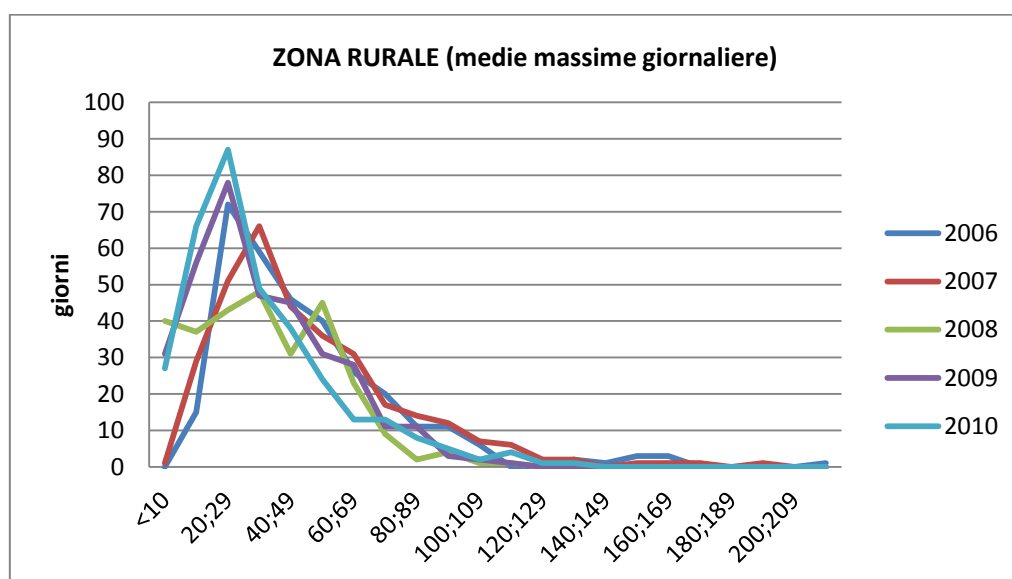


Figura 4.7 Andamento dei giorni con concentrazione oraria massima che ricade in determinati intervalli, per gli anni 2006-2010 – San Pietro Capofiume

Tabella 4.4 Dati riepilogativi di concentrazione di NO₂ inseriti in AirQ – San Pietro Capofiume

	2010	2009	2008	2007	2006
max invernale	131	112	112	199	213
max estivo	54	100	61	108	98
gg estate	167	172	118	163	164
gg inverno	171	172	166	158	149
n.giorni di rilevamento	338	344	284	321	313
98percentile	105,68	86,32	88,8	105,62	129,28

I valori ottenuti risultano essere per tutto il periodo studiato al di sotto dei limiti di legge ($200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ da non superare più di 18 volte per anno civile), solo per il 2006 vi è un episodio con superamento del limite relativo al 2010, ma se si considera che per il 2006 il limite era di $240 \mu\text{g}/\text{m}^3$, allora non si sono mai presentati casi di superamento del limite relativi agli anni in corso. E' riscontrabile lo stesso andamento analizzato per le medie annuali.

Infatti dal grafico è possibile vedere che i picchi relativi al maggior numero di giorni in cui la centralina rileva un certo intervallo di concentrazioni, si trova partendo dall'anno 2006 sempre più a sinistra, sintomo del fatto che la centralina rileva concentrazioni che si stazionano su valori sempre minori. Si nota questa diminuzione di concentrazione negli anni anche dalla coda di destra del grafico che risulta sempre più appiattita spostandosi dalla curva marrone alla blu. Infatti per l'anno 2010 si denota quindi una diminuzione di giorni in cui vi sono concentrazioni maggiori ai $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$, e la scomparsa di episodi con concentrazioni maggiori ai $130 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

E' possibile però notare delle anomalie nelle curve sopra rappresentate, per gli anni 2008, 2007 e 2006, ma soprattutto per il 2008, ciò è causato dal fatto che i giorni di rilevamento per quegli anni sono leggermente inferiori al 90%, invece per il 2008 abbiamo un numero di giorni rilevati minori al 78%. Si sarebbe potuto avere un'analisi migliore se si fossero avuti rilevamenti relativi a tutti i giorni dell'anno.

Per l'analisi degli effetti sull'uomo dovuti all'esposizione ad NO_2 sono stati presi comunque i valori reali registrati anche se non vi è omogeneità nel numero di giorni di rilevamento.

2) Rilevamenti relativi alla centralina di San Marino (fondo suburbano)

Tabella 4.5 Numero di giorni con concentrazione oraria massima che ricade in determinati intervalli, per gli anni 2006-2010 – San Marino

San Marino											
	<10	10;19	20;29	30;39	40;49	50;59	60;69	70;79	80;89	90;99	100;109
2010	4	9	15	50	84	81	43	35	15	7	5
2009	4	10	11	32	55	69	54	48	33	11	5
2008	6	16	29	52	70	62	54	28	13	8	8
2007	0	3	12	27	36	48	61	50	42	25	14
2006	0	5	16	24	38	48	61	61	35	23	14

	110;119	120;129	130;139	140;149	150;159	160;169	170;179	180;189	190;199	200;209	210;219	220;229	
	5	2	1	2	2	0	1	0	0	0	0	0	2010
	10	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2009
	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2008
	6	4	3	0	1	1	0	0	0	0	0	0	2007
	12	3	1	1	2	2	0	0	0	0	0	0	2006

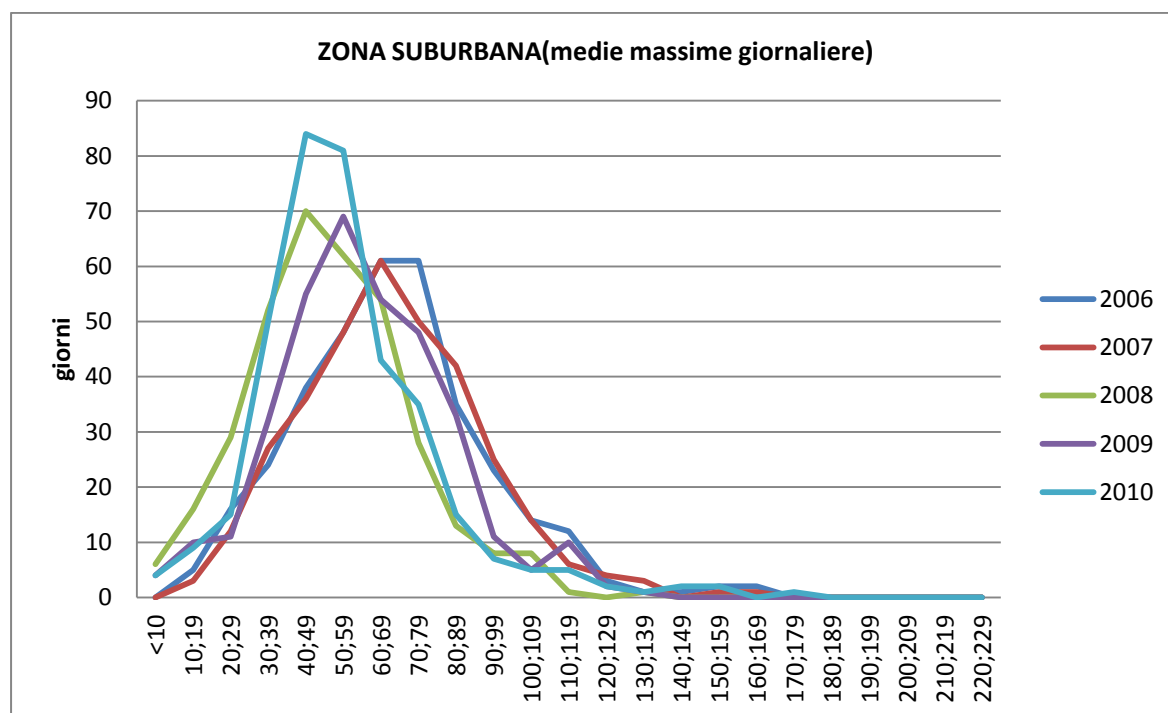


Figura 4.8 Andamento dei giorni con concentrazione oraria massima che ricade in determinati intervalli, per gli anni 2006-2010 – San Marino

Tabella 4.6 Dati riepilogativi di concentrazione di NO₂ inseriti in AirQ – San Marino

	2010	2009	2008	2007	2006
max invernale	173	147	134	165	166
max estivo	111	113	106	132	127
gg estate	181	165	171	161	177
gg inverno	180	180	177	172	169
n.giorni di rilevamento	361	345	348	333	346
98percentile	124,4	116,14	101	124,32	120,72

I valori ottenuti risultano essere per tutto il periodo studiato al di sotto dei limiti di legge ($200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ da non superare più di 18 volte per anno civile). E' riscontrabile lo stesso andamento analizzato per le medie annuali.

Infatti dal grafico è possibile vedere che i picchi relativi al maggior numero di giorni in cui la centralina rileva un certo intervallo di concentrazioni, si trova partendo dall'anno 2006 sempre più a sinistra, sintomo del fatto che la centralina rileva concentrazioni che si stazionano su valori sempre minori. Si nota questa diminuzione di concentrazione negli anni anche dalla coda di destra del grafico che risulta sempre più appiattita spostandosi dalla curva marrone alla blu. Infatti per l'anno 2010 si denota quindi una diminuzione di giorni in cui vi sono concentrazioni maggiori ai $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Sempre prendendo in considerazione il 2010 è evidente come la curva si restringa e si innalzi rispetto alle altre, sintomo della diminuzione degli intervalli di concentrazione rilevati dalla centralina, che si attestano in maniera quasi stabile nei valori tra i 30 e i $60 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Per questa centralina si dispongono per tutto il periodo di tempo considerato dall'analisi di un numero di rilevamenti superiore al 90%, non vi sono quindi anomalie evidenti come nel caso precedente.

E' inoltre importante considerare il fatto che per l'analisi dell'area suburbana sono state prese in considerazione i dati relativi a due centraline diverse, San Marino per gli anni 2009-2010 e Granarolo per gli anni 2006-2007-2008; compatibili per tipologia di concentrazioni rilevate e area considerata.

E' stato quindi deciso di rappresentarli come un'unica centralina in quanto, lo scopo dell'analisi è quello di verificare la variazione della concentrazione di NO_2 negli anni non tanto in funzione di una specifica centralina quanto di un'area, e in questo caso di quella suburbana.

3) Rilevamenti relativi alla centralina di San Lazzaro (fondo urbano-residenziale)

Tabella 4.7 Numero di giorni con concentrazione oraria massima che ricade in determinati intervalli, per gli anni 2006-2010 – San Lazzaro

san lazzaro													
	<10	10;19	20;29	30;39	40;49	50;59	60;69	70;79	80;89	90;99	100;109		
2010	0	0	2	18	44	54	51	56	41	26	17		
2009	1	10	21	30	35	36	38	56	39	36	25		
2008	0	1	6	8	16	21	48	42	48	46	49		
2007	0	0	3	14	14	17	35	27	52	53	43		
2006	0	0	2	6	19	22	38	43	61	45	21		
	110;119	120;129	130;139	140;149	150;159	160;169	170;179	180;189	190;199	200;209	210;219	220;229	
	14	6	6	4	0	0	2	0	0	0	0	0	2010
	21	4	2	3	0	0	0	0	0	0	0	0	2009
	22	17	9	7	4	4	1	1	0	0	0	0	2008
	31	19	10	7	2	2	0	0	0	0	0	0	2007
	24	12	2	2	1	0	0	0	0	0	0	0	2006

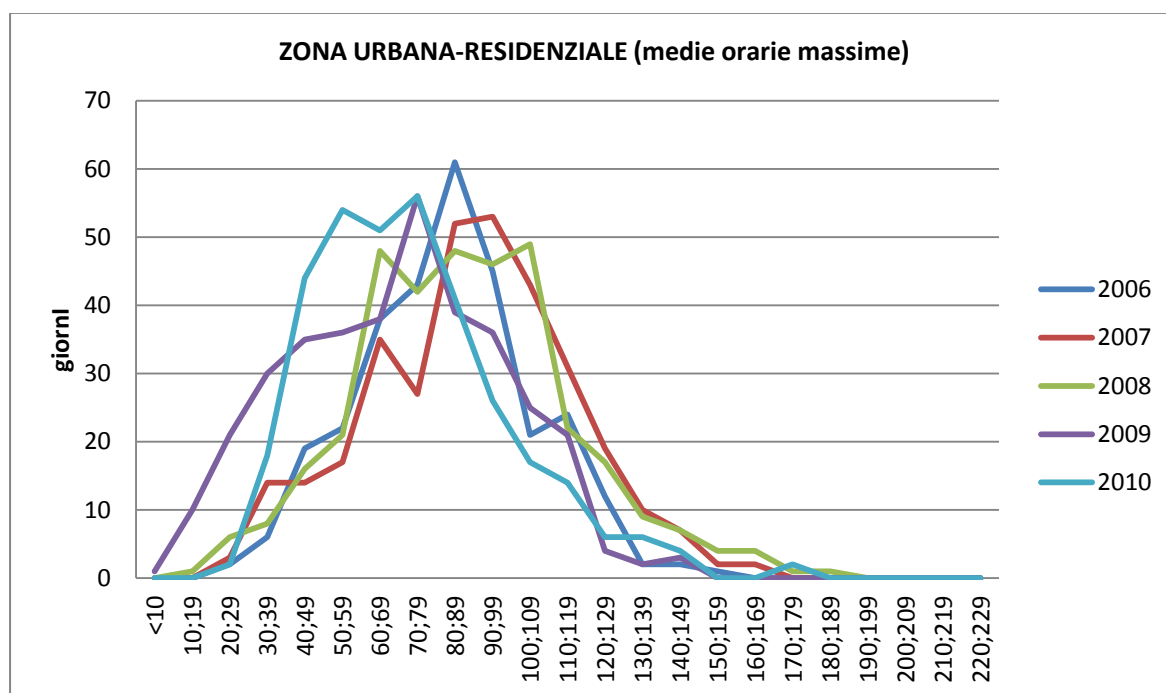


Figura 4.9 Andamento dei giorni con concentrazione oraria massima che ricade in determinati intervalli, per gli anni 2006-2010 – San Lazzaro

Tabella 4.8 Dati riepilogativi di concentrazione di NO₂ inseriti in AirQ – San Lazzaro

	2010	2009	2008	2007	2006
max invernale	173	144	187	169	159
max estivo	133	110	175	150	148
gg estate	175	179	147	160	141
gg inverno	167	178	176	170	157
n.giorni di rilevamento	342	357	348	330	298
98percentile	137,72	125	150,18	148,92	127,12

I valori ottenuti risultano essere per tutto il periodo studiato al di sotto dei limiti di legge ($200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ da non superare più di 18 volte per anno civile).

Al contrario delle due aree analizzate precedentemente questa situazione non rispecchia l'analisi delle medie annuali in cui invece abbiamo il superamento dei limiti di legge per tutti gli anni, questo comporta a sottolineare che un'analisi effettuata solo sui valori delle medie orarie massime giornaliere sarebbe incompleta.

Per questi rilevamenti, si nota con una minore evidenza il diminuire negli anni delle concentrazioni, cosa riscontrabile dai valori medi annuali. Invece se prendiamo in considerazione le medie orarie massime ed in particolare la curva blu, è visibile lo spostamento di questa verso sinistra, rispetto alle curve relative agli anni precedenti. Infatti per l'anno 2010 si denota quindi una diminuzione di giorni in cui vi sono concentrazioni maggiori ai $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Per questa centralina si dispongono per quasi tutto il periodo di tempo considerato dall'analisi di un numero di rilevamenti superiore al 90%, tranne che per l'anno 2006 in cui si ha la disponibilità solo dell'80% dei giorni di rilevamento

4) Rilevamenti relativi alla centralina di Porta San Felice (zona traffico)

Tabella 4.9 Numero di giorni con concentrazione oraria massima che ricade in determinati intervalli, per gli anni 2006-2010 – San Felice

	porta san felice											
	<10	10;19	20;29	30;39	40;49	50;59	60;69	70;79	80;89	90;99	100;109	
2010	0	0	3	8	10	23	42	37	38	38	35	
2009	0	0	3	6	17	37	45	64	64	55	29	
2008	0	0	3	4	15	19	50	72	66	46	36	
2007	0	0	3	8	13	21	33	63	38	41	30	
2006	0	0	0	0	3	8	21	29	42	39	38	

	110;119	120;129	130;139	140;149	150;159	160;169	170;179	180;189	190;199	200;209	210;219	220;229	
19	6	8	1	2	2	1	0	0	0	0	0	0	2010
17	7	8	3	1	0	2	0	0	0	0	0	0	2009
21	9	8	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2008
39	11	8	4	4	0	0	0	0	0	0	0	0	2007
47	36	30	19	8	8	2	2	2	0	0	0	0	2006

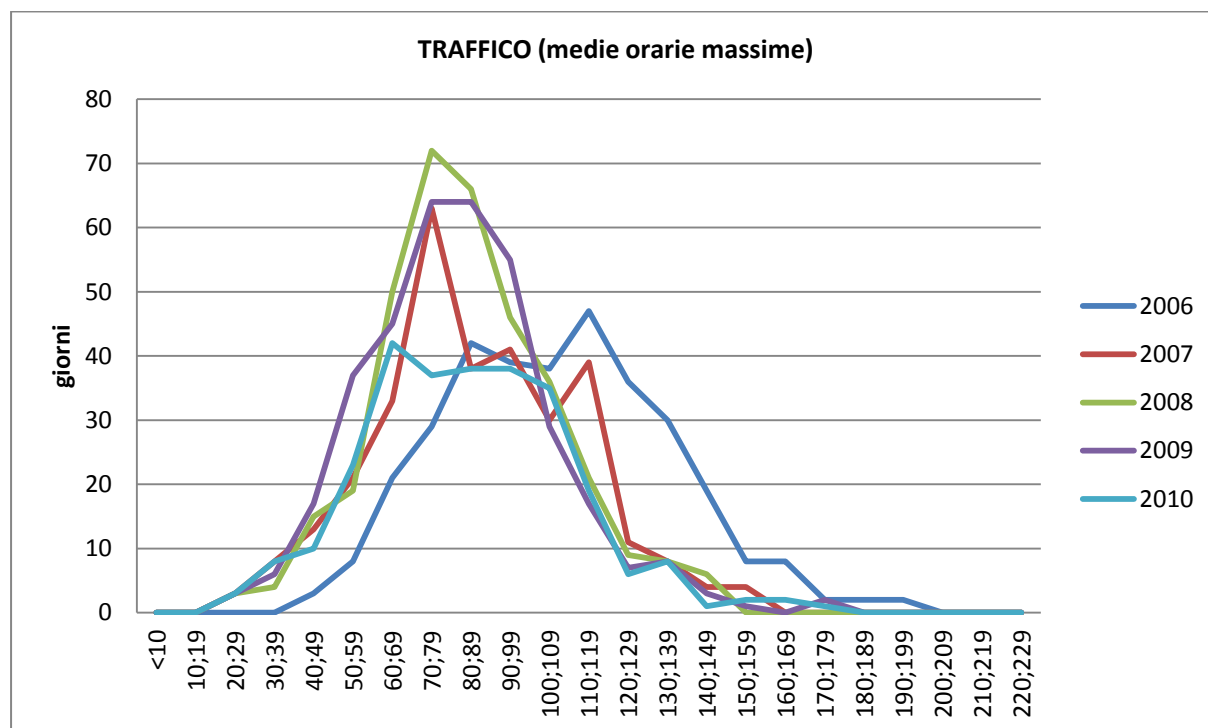


Figura 4.10 Andamento dei giorni con concentrazione oraria massima che ricade in determinati intervalli, per gli anni 2006-2010 – San Felice

Tabella 4.10 Dati riepilogativi di concentrazione di NO₂ inseriti in AirQ – San Felice

	2010	2009	2008	2007	2006
max invernale	171	176	147	165	190
max estivo	130	150	141	164	186
gg estate	118	178	177	166	166
gg inverno	156	180	178	150	177
n.giorni di rilevamento	274	358	355	316	343
98percentile	147,6	135,88	138,92	149,5	167,16

Come per l'area urbana residenziale anche l'area traffico, ha valori di concentrazioni medie orarie massime che si attestano per tutto l'arco dei cinque anni studiati inferiori ai limiti di legge ($200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ da non superare più di 18 volte per anno civile).

Anche in questo caso abbiamo quindi un contrasto con l'analisi delle medie annuali secondo la quale si verificano invece per tutto il periodo valori superiori ai limiti di legge, e non è visibile l'aumento delle concentrazioni per l'anno 2010.

Anche in questo caso bisogna considerare il fatto che per l'anno 2010 non si hanno giorni di rilevamento superiori al 75%, di questi la maggior parte fanno parte del periodo invernale in cui i valori delle concentrazioni sono statisticamente maggiori rispetto ai periodi estivi. Probabilmente questo trend di aumento non si sarebbe verificato se fossero stati disponibili più del 90% dei dati.

Tuttavia se non viene considerato l'anno 2010, per il restante periodo d'analisi sono disponibili più del 90% dei dati e per questi è invece visibile la variazione delle concentrazioni in diminuzione negli anni, soprattutto per i valori superiori ai $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$, tranne per 2 casi nel 2009 con concentrazioni sui $170-179 \mu\text{g}/\text{m}^3$, che diventano 5 casi nel 2010 spalmati sugli intervalli ($150-159$; $160-169$; $170-179 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

5) Rilevamenti relativi alla centralina dei Giardini Margherita (fondo urbano)

Tabella 4.11 Numero di giorni con concentrazione oraria massima che ricade in determinati intervalli, per gli anni 2006-2010 – Giardini Margherita

Giardini Margherita													
	<10	10;19	20;29	30;39	40;49	50;59	60;69	70;79	80;89	90;99	100;109		
2010	0	3	20	44	53	53	25	25	20	17	2		
2009	6	17	34	39	40	40	55	48	27	21	6		
2008	5	14	13	25	26	34	44	46	48	24	20		
2007	0	10	21	36	32	20	34	41	27	33	13		
2006	0	1	3	6	20	39	54	57	49	39	16		
	110;119	120;129	130;139	140;149	150;159	160;169	170;179	180;189	190;199	200;209	210;219	220;229	
	4	3	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2010
	1	3	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	2009
	11	8	1	2	2	0	0	0	0	0	0	0	2008
	8	4	5	2	0	0	0	0	0	0	0	0	2007
	13	7	6	1	2	1	1	1	1	0	0	1	2006

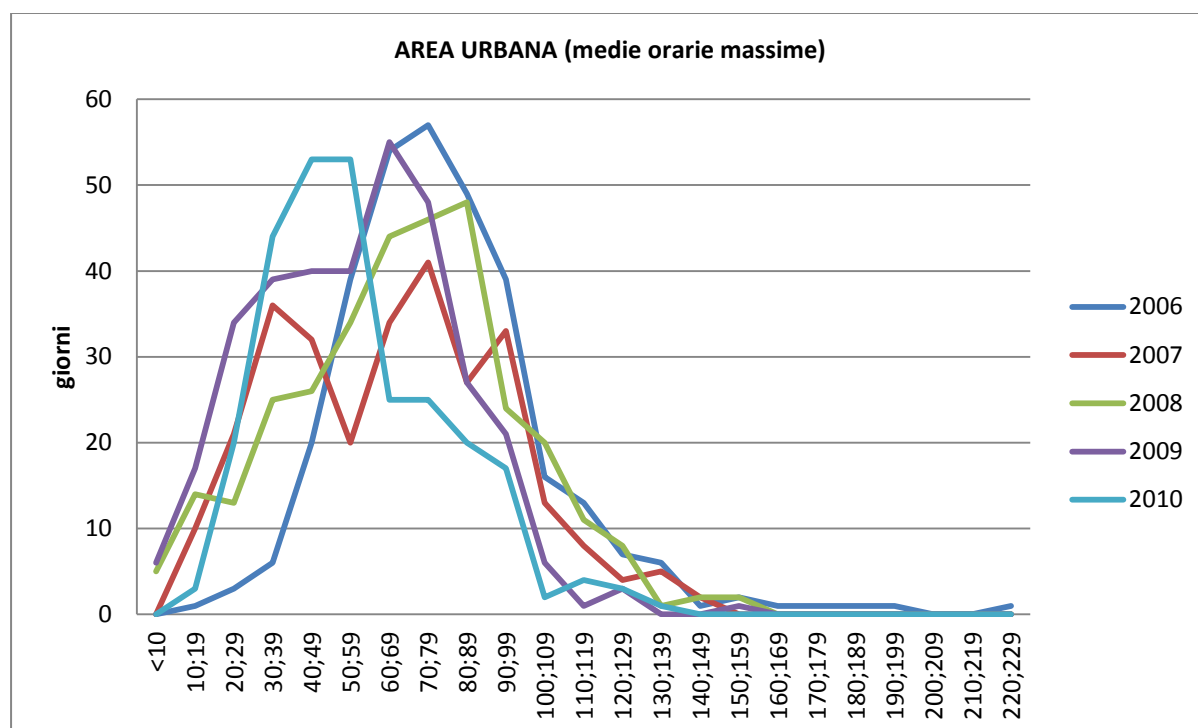


Figura 4.11 Andamento dei giorni con concentrazione oraria massima che ricade in determinati intervalli, per gli anni 2006-2010 – Giardini Margherita

Tabella 4.12 Dati riepilogativi di concentrazione di NO₂ inseriti in AirQ – Giardini Margherita

	2010	2009	2008	2007	2006
max invernale	141	164	157	149	221
max estivo	95	112	140	137	162
gg estate	114	158	147	129	165
gg inverno	163	180	176	157	153
n.giorni di rilevamento	277	338	323	286	318
98percentile	125,48	114,28	124,54	121,78	146,94

L'area di fondo urbano non presenta nessun superamento del limite di legge per tutto il periodo studiato ($200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ da non superare più di 18 volte per anno civile), l'unico episodio in cui si ha il superamento dei $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$, è relativo all'anno 2006 ma in quell'anno il limite era di $240 \mu\text{g}/\text{m}^3$ quindi neanche in questo caso si è avuto un superamento del limite di legge.

Al di fuori del 2009 abbiamo rilevamenti incompleti per tutti gli anni con una percentuale dei dati disponibili inferiore al 90%.

Dalle stime delle medie annuali si ha un trend in diminuzione con un leggero aumento per il 2008, è comunque visibile anche nelle medie orarie massime la diminuzione delle concentrazioni per l'anno 2010. Per cui si annullano gli episodi con concentrazioni maggiori ai $130 \mu\text{g}/\text{m}^3$ e diminuiscono sensibilmente per valori maggiori ai $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Abbiamo inoltre un maggiore numero di rilevamenti invernali per gli anni 2007-08-09-10, tranne che per il 2006 in cui si sono avuti maggiori rilevamenti nel periodo estivo.

4.5 RACCOLTA DEI DATI DEMOGRAFICI E PATOLOGIE

Ai fini dello studio degli impatti sulla salute umana attraverso il software AirQ, è necessario conoscere il numero delle persone comprese nel campione su cui si vuole effettuare l'analisi, cioè il numero delle persone esposte e la *baseline incidence*, su cui calcolare gli effetti, cioè l'incidenza di fondo. La *baseline incidence* è il tasso grezzo del numero di persone decedute o dimesse dall'ospedale per le patologie per cui studi epidemiologici dimostrano l'incidenza degli effetti dall'esposizione di NO_2 ,

(citati al capitolo 3), e per cui sono stati stimati in letteratura dei rischi relativi RR.

Di seguito viene riportata una tabella riassuntiva degli RR di default, del programma AirQ relativi all'NO₂, in questo lavoro di tesi verranno presi in considerazione questi RR a causa della mancanza di RR relativi a concentrazioni medie orarie negli studi epidemiologici italiani, come MISA2 in cui viene fornito l'RR relativo alla concentrazione media su 24 ore. In tabella sono elencati gli RR causati da un aumento di concentrazione 10 µg/m³ di NO₂.

Tabella 4.13 Valori di default di RR presenti nel software AirQ

RR default				
mortalità totale(K Katsouyanni,1997)	mortalità d.c.(RT Burret,1997)	ricoveri app resp (15-64 anni)(J Sunyer 1997)	ricoveri app resp (>64) (4)	malattie croniche b.a.(C Spix,1997)
1,003 (1,0018-1,0034)	1,002 (1-1,002)	1,0008-(1-1,0022)	1,001 (1-1,0066)	1,0026 (1,0006-1,0044)

Per quanto riguarda il numero delle persone esposte, per applicare l'approccio a zone, è stata suddivisa la popolazione bolognese (372000 abitanti), sulla base delle zone di vulnerabilità individuate nel Comune di Bologna. La tabella che segue riporta il numero di persone residenti in ciascuna delle zone, calcolato utilizzando le funzioni dei sistemi Gis sui dati di densità di popolazione. Si ricorda che il numero di abitanti è relativo al censimento 2001 e viene preso costante per tutti i cinque anni di analisi.

Tabella 4.14 Popolazione residente in ciascuna delle zone di Bologna

zona	popolazione	arrotondamenti
1_rurale	1445	2000
2_suburbana	8630	9000
3_urbana	47092	47000
4_urbanares	225111	225000
5_traffico	88939	89000
tot	371217	372000

Per quanto riguarda il tasso grezzo dell'effetto sanitario nella popolazione in esame, questo è stato calcolato sulla base di dati recepiti tramite il database Istat (Classificazione provvisoria secondo i raggruppamenti ISTAT - ICD IX) attraverso il quale è stato possibile ottenere i dati relativi al numero di morti totali non per morti cruenta per gli anni 2006-2010 relativi ai residenti nel comune di Bologna.

Tabella 4.15 Tassi di mortalità totale nel comune di Bologna

total mortality	maschi	femmine	tot
2006	2238	2617	4855
2007	2165	2602	4767
2008	2160	2656	4816
2009	2138	2627	4765
2010	2151	2510	4661

Sempre utilizzando il database Istat sono stati estrapolati i dati relativi al numero di morti per malattie cardiovascolari per il periodo 2006-2008. Per quanto riguarda gli anni 2009-2010 al momento non sono ancora disponibili dati Istat, in quanto l'aggiornamento di gennaio 2012 riporta la statistica rinnovata al 2008. Le stime dei valori relativi al 2009-2010 per la completezza dei dati, sono state effettuate utilizzando semplici tecniche di regressione lineare dei dati 2006-2008 prolungandoli fino al 2010.

Tabella 4.16 Tassi di mortalità per malattie cardiovascolari nel comune di Bologna

cardiovascular mortality	tot
2006	1761
2007	1749
2008	1733
2009	1722
2010	1708

Infine sono stati recuperati i dati relativi alle ospedalizzazioni, ovvero i ricoveri per patologie dell'apparato respiratorio. A tale scopo sono stati analizzati i dati relativi al sistema DRG (Diagnosis Related Groups) che è un sistema di classificazione isorisorse dei pazienti dimessi (USL Bologna, 2012).

Tabella 4.17 Tassi di patologie dell'apparato respiratorio nel comune di Bologna

	Età 15-64	Età >64
2006	994	4001
2007	1054	4091
2008	1062	4413
2009	1023	4442
2010	1003	4142

Ancora relativamente alle ospedalizzazioni, i ricoveri per malattie croniche (bronchite e asma): tramite il database Istat sono stati ricavati da percentuali sulla popolazione totale.

Tabella 4.18 Tassi di malattie croniche (bronchite e asma) nel comune di Bologna

	malattie croniche bronchite e asma %	n casi
2006	6,1	22644,24
2007	7	25985,19
2008	7	25985,19
2009	6,9	25613,97
2010	6,6	24500,32

I dati raccolti sono stati convertiti in tassi grezzi per 100000 persone, per essere direttamente utilizzati nel programma AirQ. Sono stati quindi presi in considerazione il numero di abitanti totali derivanti dal censimento 2001, che corrispondono a 371217 persone e per ricavare il tasso grezzo è stata utilizzata la formula:

$$\text{tasso grezzo} = (\text{n_casi}/\text{tot abitanti}) * 100000$$

attraverso la quale sono stati ottenuti i risultati riportati in tabella.

Tabella 4.19 Tassi grezzi di mortalità e patologie * 100000 abitanti

ANNI	tot mortalità	mort dist card	ricoveri app resp		malatt croniche b.a.
			15-64	>64	
2006	1308	474	268	1078	6100
2007	1284	471	284	1102	7000
2008	1297	467	286	1189	7000
2009	1284	464	276	1197	6900
2010	1256	460	270	1116	6600

4.6 APPLICAZIONE CON AIRQ

In questo paragrafo si descrive come è stato realizzato lo studio degli effetti sulla salute umana della popolazione bolognese esposta alla contaminazione di NO_x nell'aria ambiente, attraverso l'applicazione del programma AirQ, redatto e consigliato dalla W.H.O.

L'utilizzo del programma richiede l'elaborazione dei dati relativi alle concentrazioni dell'inquinante NO_x, alla popolazione e ai tassi grezzi della mortalità e delle patologie legate all'esposizione di ossidi di azoto, così come descritto nei paragrafi precedenti.

La relazione tra le concentrazioni degli ossidi di azoto e gli effetti sulla salute umana nella popolazione esposta è determinata dai valori di Rischio Relativo RR, così come determinati dagli studi epidemiologici pubblicati in letteratura. Nello specifico si sono utilizzati i valori di RR presenti nel database incluso nel programma AirQ, che risultano i più comunemente utilizzati in questo tipo di analisi: quindi nelle valutazioni sulla qualità dell'aria, come il "Rapporto sulla valutazione sanitaria della qualità dell'aria a Bologna per l'anno 2006" (Provincia di Bologna, 2006). È importante comunque notare che spesso si riscontrano differenze anche sostanziali tra RR presenti in letteratura, a seconda del luogo, degli anni e del contesto in cui gli studi epidemiologici sono stati effettuati.

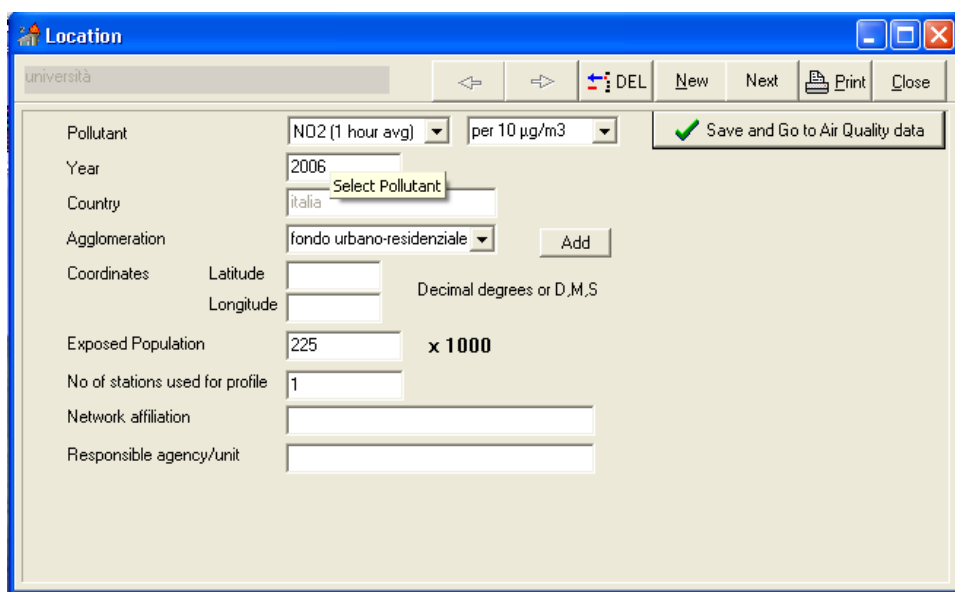
Lo studio comprende 125 calcoli così composti: vengono fatti per le cinque zone considerate (rurale, suburbana, urbana, urbana-residenziale, traffico), per ciascuno dei cinque anni del periodo di tempo studiato (2006-2010), considerando che per ogni abbinazione zona-anno vengono calcolati gli effetti per le quattro patologie: mortalità generale, mortalità per disturbi cardiovascolari, ospedalizzazioni per patologie croniche (asma e bronchite), e ricoveri per problemi riguardanti l'apparato respiratorio, per le quali sono

necessarie due corse del programma per le due fasce di età (15-64; > 64).

Di seguito è proposta una delle 125 iterazioni di calcolo, quale esempio dell'utilizzo del programma e del conseguimento dei risultati finali.

Verrà presa in considerazione l'analisi del numero di decessi attribuibili all'esposizione di NO₂ per la zona urbana-residenziale (centralina di San Lazzaro), relativa all'anno 2006.

Dalla finestra principale si procede cliccando su *Location* (come da figura):



Pollutant	NO2 (1 hour avg)	per 10 µg/m3	Save and Go to Air Quality data
Year	2006		
Country	italia		
Agglomeration	fondo urbano-residenziale	Add	
Coordinates	Latitude	Longitude	Decimal degrees or D,M,S
Exposed Population	225	x 1000	
No of stations used for profile	1		
Network affiliation			
Responsible agency/unit			

Figura 4.12 Finestra del programma AirQ : *Location*, in cui si inseriscono i dati riguardanti la zona sotto esame e che non potranno più essere cambiati durante la corsa del programma.

Nella finestra “Location” sono inseriti i seguenti dati: la tipologia di inquinante e la media su cui sono basati i dati utilizzati (in questo studio sono medie orarie massime di NO₂); gli intervalli con cui sono stati suddivisi i valori di concentrazione, e su cui verrà individuata la percentuale di popolazione esposta (pc); la popolazione totale esposta relativa alla zona considerata; il numero di centraline di monitoraggio utilizzate.

Il passo successivo (*Next*) consiste nell'introduzione del numero dei giorni in cui si verificano concentrazioni massime orarie comprese negli specifici intervalli di concentrazione (vedi figura seguente), e le informazioni relative

alla centralina di riferimento, così come esposte nel paragrafo 4.4.2.)

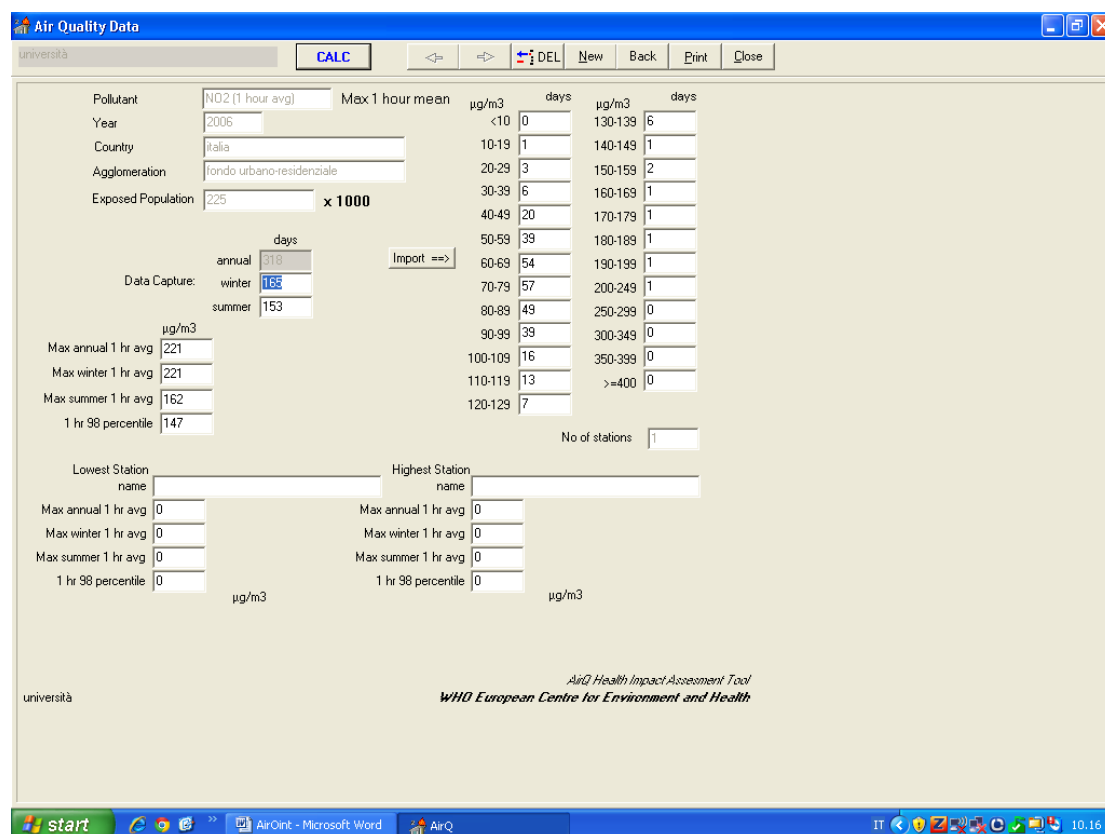


Figura 4.13 Finestra del programma AirQ: air quality data, in cui vencono inseriti i dati relativi alla distribuzione delle concentrazioni nell'anno.

Il tasto “calc” consente di procedere nell’analisi.

Come è stato spiegato nella metodologia descritta al Capitolo 3, il programma si basa sul concetto di “rischio proporzionale attribuibile” (AP), il quale si basa sulla distribuzione della popolazione totale nelle varie fasce di concentrazione individuate dai rilevamenti. Tale popolazione sarà quindi suddivisa in percentuali esposte a determinati livelli di concentrazione, la cui percentuale cumulata sarà relativa alla popolazione totale della zona di interesse e quindi pari al 100%.

E’ stato inoltre detto che AP varia al variare del rischio relativo (RR) che in questo studio, come era stato precedentemente affermato sarà preso pari ai valori di default del programma. Un altro parametro importante da dover scegliere è il valore soglia, valore al di sotto del quale si presuppone che non vi siano effetti dovuti dall’esposizione all’inquinante considerato. Il valore

soglia suggerito dalla W.H.O. è di $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$, quindi ai valori inferiori ad esso sarà applicato un RR pari ad 1; per i valori pari a $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ verrà attribuito metà del valore di RR, al quale verrà poi aggiunto l'RR di default per ogni intervallo di $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ successivo.

The screenshot shows the 'Parameters' window of the AirQ software. It includes a menu bar with 'Tables', 'Chart', 'Save', 'Print', and 'Close'. Below the menu, there are input fields for 'NO2 (1 hour avg)', 'Health End Point' (Total Mortality), 'Baseline incidence' (1308 per 100 000 per year), 'Relative risk' (1.003), 'Lower' (1.0018), 'Upper' (1.0034), and 'Scientific certainty of relative risk' (MEDIUM). A 'Calculate impact of concentrations >' field is set to 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. A table at the bottom provides impact estimates:

	Estimated AP percentage	Estimated number of excess cases
rr central	2,0423	60,1
rr lower	1,2355	36,4
rr upper	2,3083	67,9

Figura 4.14: Finestra del programma AirQ: parameters in cui vengono inseriti i dati relativi alla patologia scelta

Una volta selezionata la patologia di interesse e la relativa baseline incidence, il programma fornisce l'AP e l'NE relativo a $pc=100\%$, ovvero il rischio proporzionale attribuibile e il numero di casi in eccesso relativi al totale della popolazione. Quindi in questo caso il risultato ottenuto è di 60 persone decedute a causa dell'esposizione a biossido d'azoto su un totale di 4885 casi avvenuti nel 2006 nel Comune di Bologna.

Il programma fornisce tramite tabella e grafici anche i valori delle grandezze non cumulate per ogni frazione di popolazione relativa all'intervallo di concentrazione considerato. Di seguito viene quindi riportata la tabella dei valori relativi a questo caso.

µg/m3	% Person*Days	Cum %	Relative Risk	# CASES	Cum #	% CASES	Cum %	Cum # per 100 000
rr=1,0030								
<10	0,00	0,00	1,00000	0,0	0,0	0,00	0,00	0,0
10-19	0,31	0,31	1,00150	0,0	0,0	0,02	0,02	0,0
20-29	0,94	1,26	1,00450	0,1	0,1	0,20	0,23	0,1
30-39	1,89	3,14	1,00750	0,4	0,5	0,68	0,90	0,2
40-49	6,29	9,43	1,01050	1,9	2,4	3,17	4,07	1,1
50-59	12,26	21,70	1,01350	4,8	7,2	7,94	12,01	3,2
60-69	16,98	38,68	1,01650	8,1	15,3	13,44	25,45	6,8
70-79	17,92	56,60	1,01950	10,1	25,4	16,76	42,22	11,3
80-89	15,41	72,01	1,02250	10,0	35,4	16,63	58,85	15,7
90-99	12,26	84,28	1,02550	9,0	44,4	15,00	73,85	19,7
100-109	5,03	89,31	1,02850	4,1	48,5	6,88	80,72	21,6
110-119	4,09	93,40	1,03150	3,7	52,2	6,18	86,90	23,2
120-129	2,20	95,60	1,03450	2,2	54,4	3,64	90,54	24,2
130-139	1,89	97,48	1,03750	2,0	56,5	3,39	93,94	25,1
140-149	0,31	97,80	1,04050	0,4	56,8	0,61	94,55	25,3
150-159	0,63	98,43	1,04350	0,8	57,6	1,31	95,86	25,6
160-169	0,31	98,74	1,04650	0,4	58,0	0,70	96,56	25,8
170-179	0,31	99,06	1,04950	0,4	58,5	0,75	97,31	26,0
180-189	0,31	99,37	1,05250	0,5	59,0	0,79	98,10	26,2
190-199	0,31	99,69	1,05550	0,5	59,5	0,84	98,94	26,4
200-249	0,31	100,00	1,07050	0,6	60,1	1,06	100,00	26,7
250-299	0,00	100,00	1,08550	0,0	60,1	0,00	100,00	26,7
300-349	0,00	100,00	1,10050	0,0	60,1	0,00	100,00	26,7
350-399	0,00	100,00	1,11550	0,0	60,1	0,00	100,00	26,7
>=400	0,00	100,00	1,13050	0,0	60,1	0,00	100,00	26,7

Figura 4.15: Finestra del programma AirQ: impact estimates

La tabella contiene: nella prima colonna pc (% person days), distribuita in percentuali nelle fasce di concentrazione; nella seconda (cum %) vi è la percentuale cumulata di pc; nella terza (Relative Risk) il rischio relativo iterato per tutte le fasce di concentrazione presenti; nella quarta(# cases) vi è NE relativo ai singoli intervalli e nella colonna a fianco (cum #) il suo cumulato. Nelle ultime tre colonne viene riportato il valore di IE nelle forme di percentuale (% cases), valore cumulato (cum %) e valore cumulato sulla baseline (cum # per 100000).

Può essere interessante vedere dal grafico la percentuale dei casi su ogni intervallo, non viene riportato invece il grafico dell'andamento di NE perché verrà studiato successivamente.

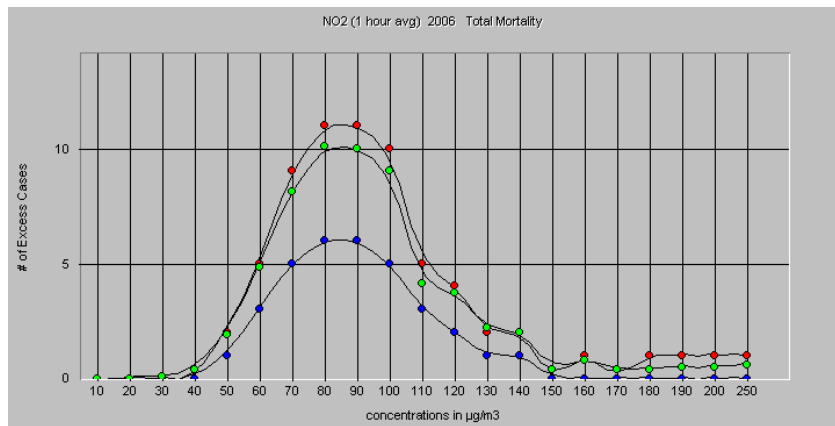


Figura 4.16: Numero dei casi in eccesso distribuiti negli intervalli di concentrazione rilevati

4.6.1 Analisi dei risultati

Vengono ora proposti i risultati ottenuti dal programma AirQ, sottoforma di NE, quindi sottoforma del numero di casi in eccesso dovuti all'esposizione a biossido di azoto. Sono stati raggruppati nei diversi anni studiati e suddivisi per patologia e zona di riferimento.

Al piede di ogni tabella viene indicata la sommatoria degli NE relativi ad ogni zona, essa costituirà quindi il numero dei casi in eccesso dovuti all'esposizione ad NO₂, relativi a tutta l'area di Bologna, per l'anno considerato. Nel capitolo successivo verrà studiato questo risultato ponendolo in relazione ad uno studio effettuato senza zonizzazione, considerando il numero totale di abitanti del comune di Bologna sottoposti ad un'esposizione omogenea.

Le tabelle sono suddivise in colonne in cui vengono raggruppati i risultati per le diverse patologie : per tutte le cause di morte; morti relative a patologie cardiache; ospedalizzazioni per cause riguardanti l'apparato respiratorio, suddivise per due fasce di età (come suggerito dal programma) e infine ospedalizzazioni dovute a patologie croniche come bronchiti e asma. Sono inoltre suddivisi per valore medio, minimo e massimo di RR, (proposti al paragrafo precedente). Se si procede in successione alle righe i valori sono ordinati per le diverse zone.

Si ricorda che i risultati ottenuti sono dipendenti dall'andamento del tasso grezzo negli anni, e questo è visibile nella variazione dei risultati per le diverse patologie in uno stesso anno e per una stessa zona, sono dipendenti inoltre dal numero di persone esposte e dall'andamento delle concentrazioni per ogni zona e per ogni anno considerato.

Per facilità nell'interpretazione dei risultati, le zone sono state ordinate secondo la concentrazione media crescente, quindi ci si dovrebbe aspettare che l'NE relativo alla zona traffico sia più alto rispetto alla zona urbana, invece non è così, perché come è stato precedentemente osservato, il risultato dipende anche dalla popolazione esposta considerata nella zona stessa, e nella zona urbana-residenziale sono stati individuate 225000 persone, invece nella zona traffico solo 89000, per questo motivo otteniamo un'inversione nei risultati.

Tabelle riassuntive degli NE risultanti dal programma AirQ:

Tabella 4.20. Risultati zonizzazione relativi all'anno 2006

2006																
AREE	mortalità tot			mort card			15-64 pat resp			>64 pat resp			copd			
	medio	min	max	medio	min	max	medio	min	max	medio	min	max	medio	min	max	
rurale	0,3	0,2	0,4	0,1	0	0,1	0	0	0	0,1	0	0,6	1,3	0,3	3,1	
suburbana	2	1,2	2,3	0,5	0	0,5	0,1	0	0,3	0,6	0	3,6	8,2	1,9	13,7	
urbana	12,5	7,6	14,1	3	0	3	0,7	0	1,9	3,5	0	22,1	50,7	11,9	84,8	
Urbana-res	60,1	36,4	67,9	14,6	0	14,6	3,3	0	9,1	16,7	0	106,4	243,6	57	407,2	
traffico	32,9	20	37,2	8	0	8	1,8	0	5	9,2	0	57,8	133,6	31,4	222,4	
tot	107,8	65,4	121,9	26,2	0	26,2	5,9	0	16,3	30,1	0	190,5	437,4	102,5	731,2	

Tabella 4.21. Risultati zonizzazione relativi all'anno 2007

2007																
AREE	mortalità tot			mort card			15-64 pat resp			>64 pat resp			copd			
	medio	min	max	medio	min	max	medio	min	max	medio	min	max	medio	min	max	
rurale	0,3	0,2	0,3	0,1	0	0,1	0	0	0,1	0,1	0	0,6	1,5	0,3	2,4	
suburbana	2	1,2	2,2	0,5	0	0,5	0,1	0	0,3	0,6	0	3,6	9,3	2,2	15,6	
urbana	10	6	11,3	2,5	0	2,5	0,6	0	1,6	2,9	0	18,5	47,4	11,1	79,4	
Urbana-res	67	40,6	75,7	16,5	0	16,5	4	0	10,9	19,5	0	123,2	317,8	74,5	530,3	
traffico	29	17,5	32,7	7,1	0	7,1	1,7	0	4,7	8,4	0	53,1	137,3	32,2	228,8	
tot	108,3	65,5	122,2	26,7	0	26,7	6,4	0	17,6	31,5	0	199	513,3	120,3	856,5	

Tabella 4.22. Risultati zonizzazione relativi all'anno 2008

2008															
AREE	mortalità tot			mort card			15-64 pat resp			>64 pat resp			copd		
	medio	min	max	medio	min	max	medio	min	max	medio	min	max	medio	min	max
rurale	0,2	0,1	0,2	0,1	0	0,1	0	0	0	0,1	0	0,4	0,9	0,2	1,6
suburbana	1,4	0,9	1,6	0,3	0	0,3	0,1	0	0,2	0,4	0	2,9	6,4	1,5	10,7
urbana	10,6	6,4	12	2,6	0	2,6	0,6	0	1,7	3,3	0	20,9	46,8	10,9	78,4
Urbana-res	66,5	40,3	75,2	16,1	0	16,1	4	0	10,8	20,6	0	130,6	294,2	68,9	491,2
traffico	25,1	15,2	28,3	6,1	0	6,1	1,5	0	4,2	7,8	0	49,3	110,9	26	185,3
tot	103,8	62,9	117,3	25,2	0	25,2	6,2	0	16,9	32,2	0	204,1	459,2	107,5	767,2

Tabella 4.23. Risultati zonizzazione relativi all'anno 2009

2009															
AREE	mortalità tot			mort card			15-64 pat resp			>64 pat resp			copd		
	medio	min	max	medio	min	max	medio	min	max	medio	min	max	medio	min	max
rurale	0,2	0,1	0,2	0	0	0	0	0	0	0,1	0	0,4	1	0,2	1,6
suburbana	1,7	1	2	0,4	0	0,4	0,1	0	0,3	0,5	0	3,5	8	1,9	13,5
urbana	10,1	6,1	11,5	2,5	0	2,5	0,6	0	1,6	3,2	0	20,4	47,3	11	79,2
Urbana-res	51	30,8	57,6	12,4	0	12,4	3	0	8,1	16	0	102,4	237,9	55,6	398,4
traffico	24,2	14,6	27,3	5,9	0	5,9	1,4	0	3,8	7,6	0	48,4	112,9	26,4	188,7
tot	87,2	52,6	98,6	21,2	0	21,2	5,1	0	13,8	27,4	0	175,1	407,1	95,1	681,4

Tabella 4.24. Risultati zonizzazione relativi all'anno 2010

2010															
AREE	mortalità tot			mort card			15-64 pat resp			>64 pat resp			copd		
	medio	min	max	medio	min	max	medio	min	max	medio	min	max	medio	min	max
rurale	0,2	0,1	0,2	0	0	0	0	0	0	0,1	0	0,4	0,9	0,2	1,5
suburbana	1,5	0,9	1,7	0,4	0	0,4	0,1	0	0,2	0,5	0	2,9	7	1,6	11,7
urbana	8,5	5,1	9,6	2,1	0	2,1	0,5	0	1,3	2,5	0	16,3	38,7	9	64,9
Urbana-res	52,6	31,8	59,5	12,9	0	12,9	3,1	0	8,3	15,8	0	100,7	240,3	56,2	402,2
traffico	24,5	14,8	27,7	6	0	6	1,4	0	3,9	7,4	0	46,7	112	26,2	187
tot	87,3	52,7	98,7	21,4	0	21,4	5,1	0	13,7	26,3	0	167	398,9	93,2	667,3

I risultati ottenuti evidenziano una diminuzione dei casi in eccesso relativi a tutte le patologie passando dal 2006 al 2010, questo è dovuto all'importante diminuzione delle concentrazioni di NO₂ rilevata nello stesso periodo, a questo bisogna sommare la diminuzione della baseline incidence. Considerando l'andamento dei risultati delle patologie, la diminuzione della baseline risulta essere però di minore incidenza rispetto alla variazione della concentrazione in quanto per alcune patologie vi è un aumento della stessa, e nonostante tutto è stata ottenuta una diminuzione dei casi in eccesso. Non possono però passare inosservati i valori altalenanti che si ottengono negli anni intermedi al periodo studiato. I quali sia per le anomalie che erano

state riscontrate nei dati rilevati, che per le variazioni delle baseline non seguono una diminuzione lineare nel tempo anche se sono per la maggior parte valori inferiori agli NE del 2006 e superiori agli NE del 2010.

Per avere una visione più completa viene presa in considerazione l'andamento di una patologia (mortalità per tutte le cause), lungo tutto il periodo studiato, per vedere l'incidenza della variazione della baseline e delle concentrazioni sugli NE risultanti relativi ad ogni zona.

Per quanto riguarda i decessi relativi alla mortalità per tutte le cause, si riporta l'andamento della baseline incidence alla tabella 4.19, in cui si ha la diminuzione del tassogrezzo per tutti gli anni tranne che per il 2008 in cui si ha un valore maggiore rispetto al 2007 ma inferiore al 2006; l'anno 2007 e 2009 hanno lo stesso valore.

4.6.2 Andamento degli NE di mortalità generale nel periodo (2006-2010), suddivisi per le diverse zone

Sono di seguito proposti per un'analisi dei risultati più accurata i grafici relativi al valore di NE cumulato sugli intervalli di concentrazione rilevati, e il grafico (giorni, intervalli di concentrazione), derivante dalla elaborazione dei dati effettuata precedentemente. In questo modo sarà più semplice capire alcuni andamenti di NE che potrebbero non essere evidenti al primo approccio.

1. zona urbana-residenziale

Partendo dalla consapevolezza che l'analisi delle medie annuali evidenzia una diminuzione della concentrazione nel periodo studiato, può essere inaspettato il fatto che il primo grafico riporti valori di NE maggiori per l'anno 2007 e 2008. Ciò può essere spiegato dal fatto che gli stessi anni presentano una permanenza maggiore nei giorni a concentrazioni maggiori

di $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$, rispetto agli altri anni, come infatti riporta il grafico (giorni, concentrazione) in cui le curve relative al 2007 e 2008 sono più spostate verso destra. Questi anche se non sono in grande quantità hanno un maggior peso nel calcolo dell'NE in quanto il rischio relativo applicato ad essi risulta maggiore rispetto a quello relativo agli intervalli di concentrazione più bassi.

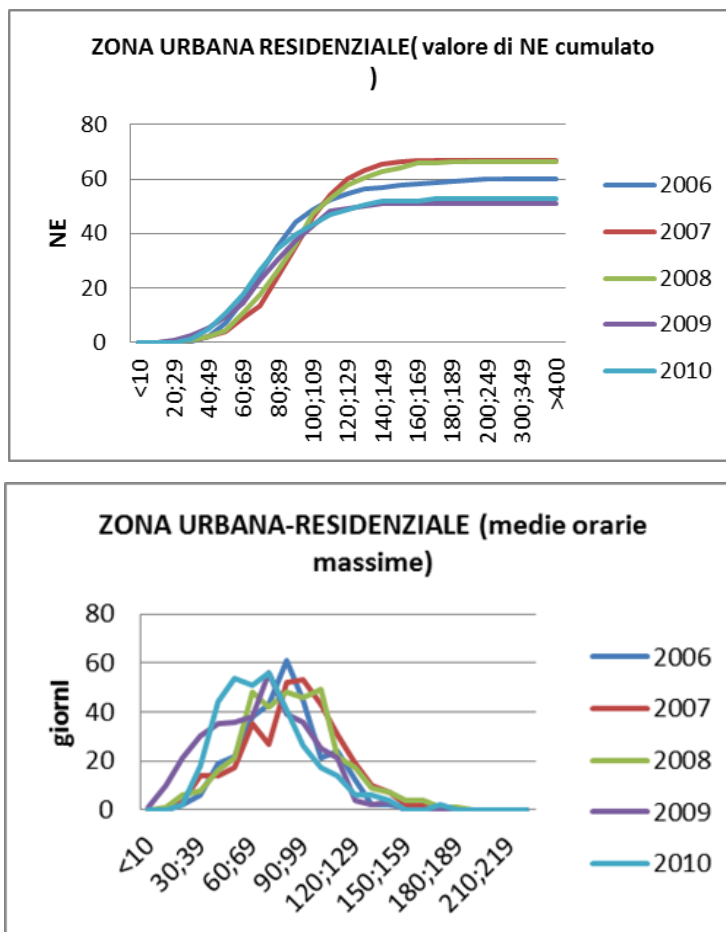


Figure 17-18. Grafici :17(NE/ Δ C), 18(giorni/ Δ C)

2. zona traffico

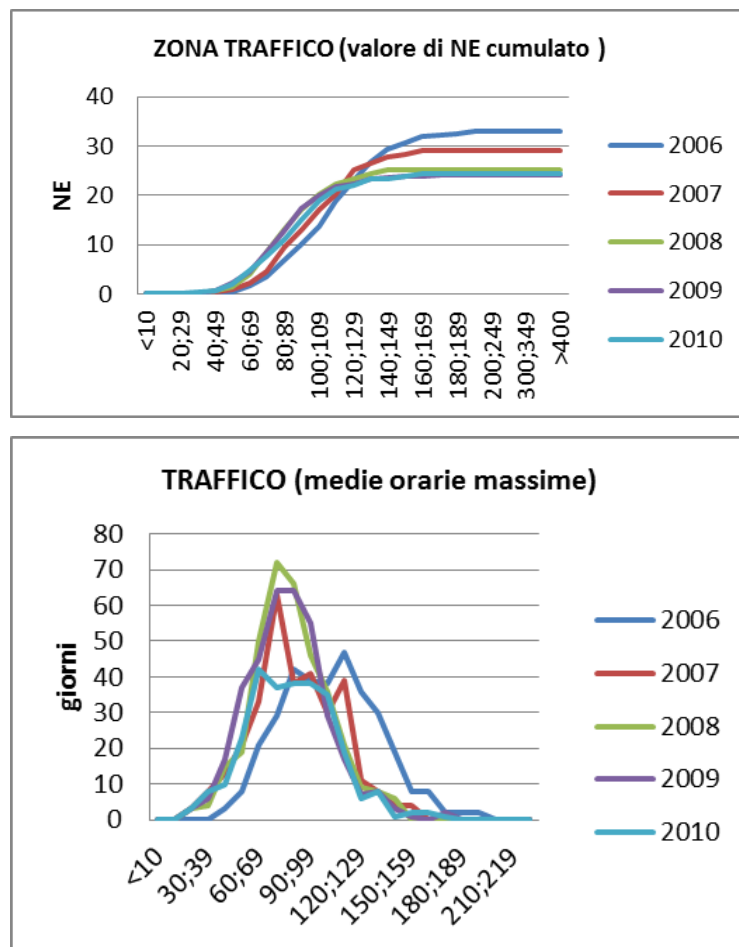


Figura 19-20. Grafici :19(NE/ Δ C), 20(giorni/ Δ C)

In questo caso possono essere sempre valide le considerazioni fatte precedentemente. Si nota però un chiaro spostamento verso sinistra delle curve e quindi una diminuzione dei valori superiori ai $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ per gli anni successivi al 2008, con un leggero aumento per il 2010, situazione che si rispecchia anche al grafico di figura 19.

3. zona urbana

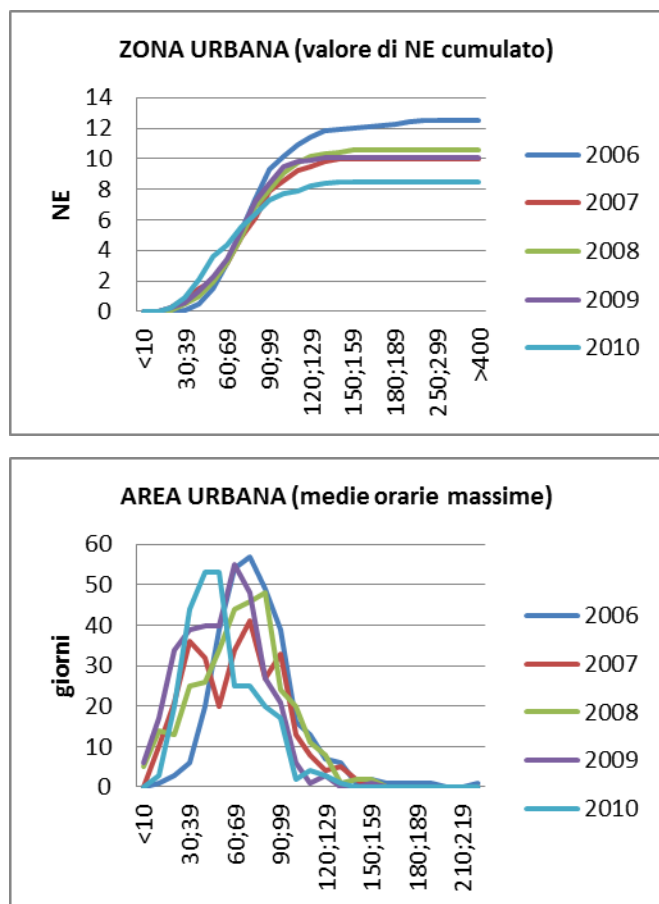
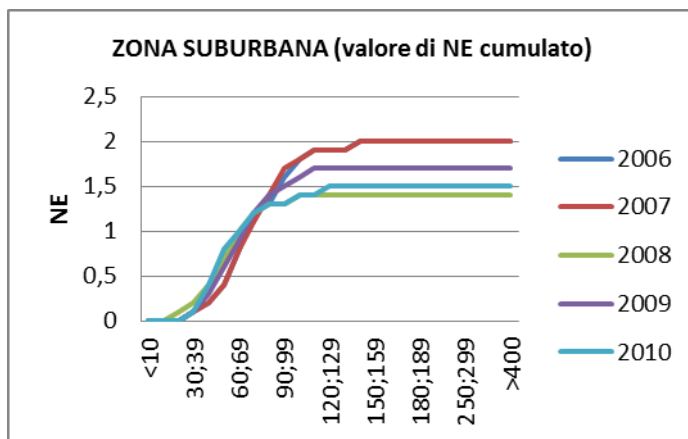


Figura 21-22 Grafici :21(NE/ Δ C), 22(giorni/ Δ C)

L'andamento degli NE dell'area urbana segue il trend di diminuzione delle concentrazioni negli anni ad eccezione dell'anno 2007 per cui si hanno valori inferiori agli anni 2008 e 2009, situazione visibile anche dalle distribuzioni giornaliere delle concentrazioni.

4. zona suburbana



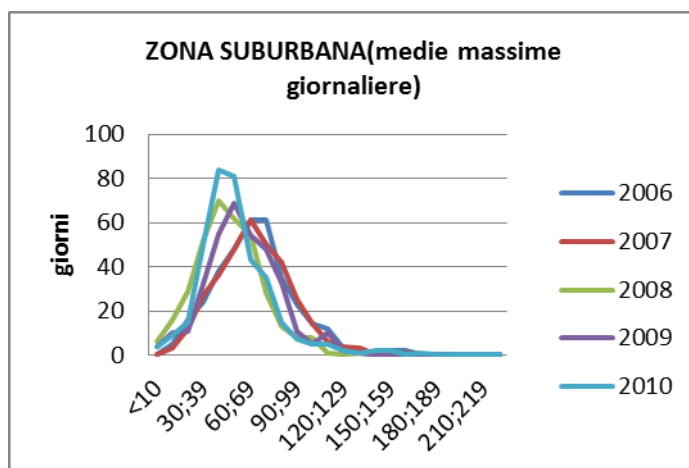


Figura 23-24 Grafici :23(NE/ Δ C), 24(giorni/ Δ C)

In questo caso si ha una diminuzione progressiva degli NE negli anni, con un unico caso anomalo, il 2008 che presenta un'elevata diminuzione rispetto agli anni precedenti e sempre valori inferiori agli anni successivi. Questo è dovuto ai valori di concentrazione più bassi rispetto a tutto il periodo.

5. zona rurale

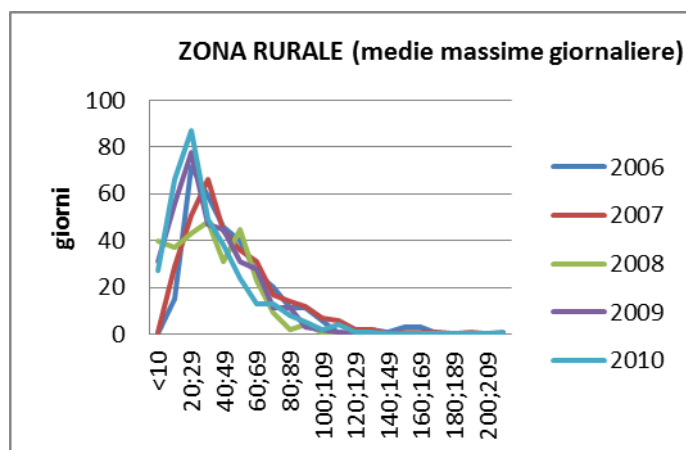
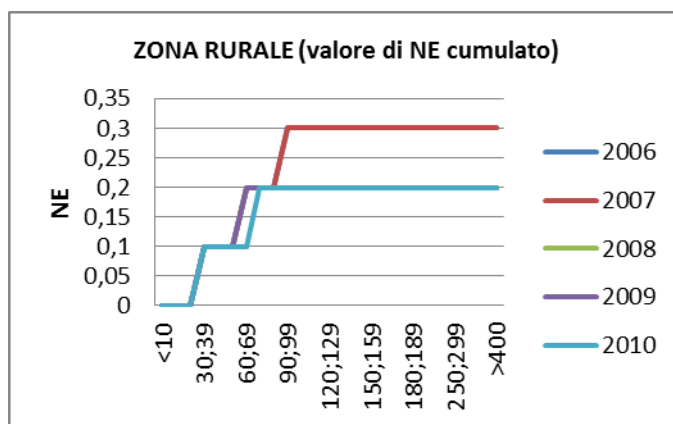


Figura 25-26. Grafici :25(NE/ Δ C), 26(giorni/ Δ C)

Anche la zona rurale ha subito negli anni una diminuzione graduale delle concentrazioni, fatto non molto visibile dai valori di NE, a causa dei bassi valori di concentrazione con cui sono caratterizzati la maggior parte dei giorni, e dell'esiguo numero di abitanti considerato nell'area in esame.

4.6.3 Andamento degli NE di mortalità generale nel periodo (2006-2010), derivanti dalla sommatoria dei risultati relativi ad ogni zona.

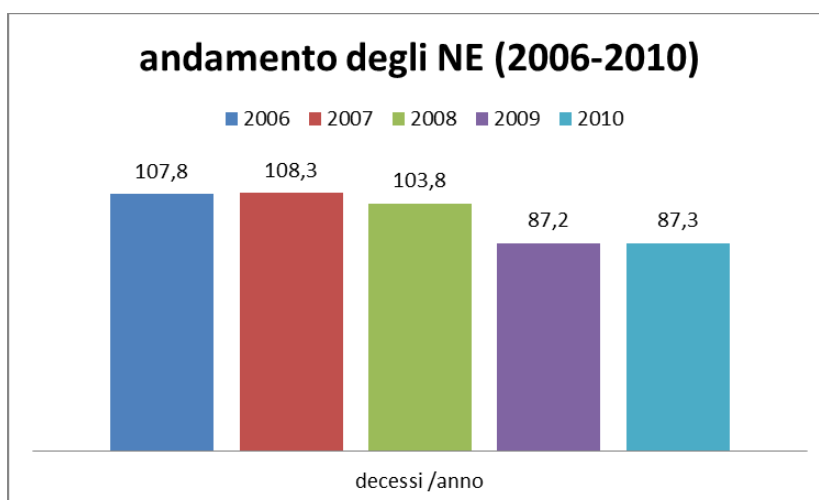


Figura 27. Andamento della sommatoria degli NE relativi alle zone studiate nel periodo (2006-2010)

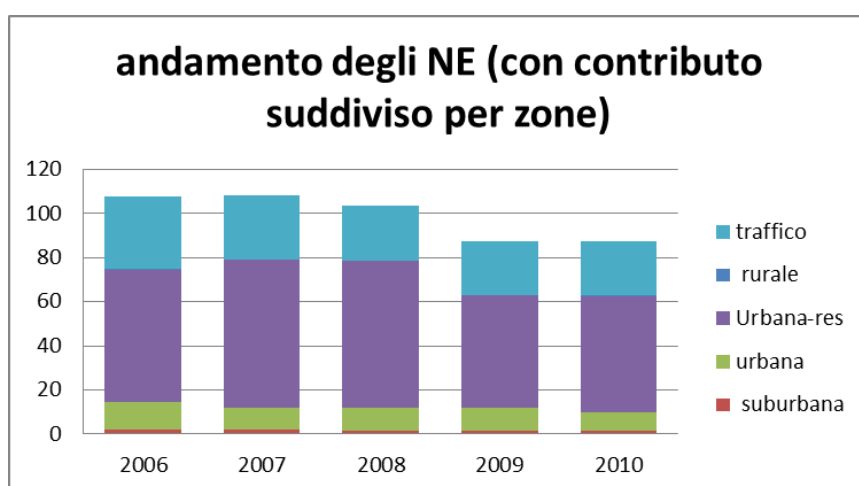


Figura 28. Andamento della sommatoria degli NE in cui è visibile il contributo di ogni zona.

Dal grafico come è stato osservato al paragrafo 4.6.1, si nota una chiara diminuzione dei casi di decessi in eccesso tra il 2006 e il 2010. Si tratta di

una diminuzione non continua in tutto il periodo, ciò è dovuto per quanto riguarda l'incremento dei casi del 2007 ad un incremento dei giorni in cui si è presentata una concentrazione superiore ai $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ rispetto al 2006. Si tratta di una considerazione relativa all'area urbana residenziale (come è visibile dai grafici specifici nel paragrafo precedente), zona con un numero di abitanti maggiore e quindi con maggior peso sulla sommatoria finale degli NE relativi a tutta la popolazione studiata. È sempre da imputare alla zona urbana-residenziale l'aumento del valore di NE tra il 2010 e il 2009, a causa della permanenza di valori maggiori ai $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ per più giorni rispetto all'anno precedente.

CAPITOLO 5

VALUTAZIONE DEI RISCHI SANITARI DA ESPOSIZIONE AD NO₂ NELL'AREA URBANA DI BOLOGNA SENZA APPLICAZIONE DELLA ZONIZZAZIONE

5.1 AREA CONSIDERATA

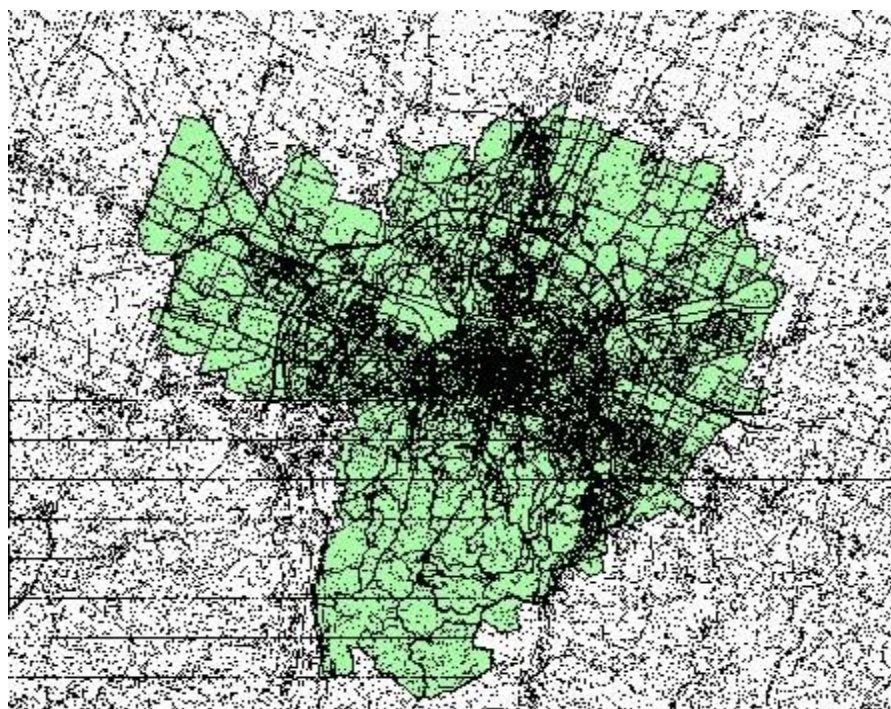


Figura 5.1. Area del Comune di Bologna

In quest'ultima analisi il Comune di Bologna sarà considerato nella sua totalità, come un'entità omogenea. Il Comune è caratterizzato da una popolazione totale di 372000 abitanti e da una superficie di 140,43 km².

L'esposizione della popolazione al biossido di azoto verrà considerata in maniera omogenea su tutta l'area, con concentrazioni ricavate dalla media delle concentrazioni medie orarie massime giornaliere. Queste ultime sono

ricavate dalle centraline descritte nell'analisi esposta nel capitolo 4. Si tratta quindi di un'elaborazione molto simile a quelle fatte dagli enti provinciali di USL, "Rapporto sulla valutazione sanitaria della qualità dell'aria a Bologna per l'anno 2006" (Provincia di Bologna, 2006) o "Valutazione della qualità dell'aria 2004" (Provincia di Bologna, 2004). L'applicazione verrà effettuata sul periodo 2006-2010, in modo tale da potere ottenere risultati confrontabili con l'analisi fatta nel capitolo precedente e poterne così trarre delle conclusioni.

5.2 ANALISI DEI DATI

I dati utilizzati in questa elaborazione sono derivati dalla collezione dei valori delle medie orarie massime di cui si è parlato nel paragrafo 4.4.2. Sono stati mediati i valori delle concentrazioni delle medie orarie massime giornaliere delle centraline prese in esame. A causa dei lunghi periodi di non funzionamento di alcune centraline, è stato deciso un criterio di scelta dei dati al fine di rendere più omogenea e significativa possibile l'estrapolazione delle medie.

Criterio di scelta dei dati :

le medie vengono estrapolate solo dai valori rilevati dalle centraline relative alla zona traffico, urbana-residenziale, urbana e suburbana. Questo perchè la zona rurale, come si vede nell'immagine 4.4, è confinata nella parte collinare della città, in cui vi sono unicamente aree con densità di popolazione tra gli 0 e i 145 abitanti/km² (per un totale di 2000 abitanti su 372000 dell'intera popolazione bolognese). Si tratta di un'area insignificante dal punto di vista della popolazione esposta ma allo stesso tempo è caratterizzata da concentrazioni molto basse se confrontate con quelle rilevate dalle altre centraline, quindi se inclusa nelle medie estrapolate dall'insieme delle

centraline avrebbe un elevato peso determinando l'abbassamento dei valori medi di concentrazione. Un altro importante vincolo viene stabilito dal fatto che devono essere disponibili i dati relativi ad almeno tre delle quattro centraline prese in esame, in caso contrario la media viene considerata non idonea. Infine tra le tre centraline considerate deve esserci sicuramente quella relativa alla zona traffico (Porta San Felice), in quanto presentando i valori più elevati del Comune evidenzia una criticità che non può essere esclusa dalle medie considerate.

Attraverso queste considerazioni sono state calcolate le medie per ogni giorno nel periodo degli anni 2006-2010, dopo di che come era stato fatto per l'analisi precedente i valori ottenuti sono stati catalogati negli intervalli di concentrazione necessari per l'applicazione con AirQ.

Nella tabella sottostante è riportato il numero dei giorni in cui è stato calcolato il valor medio delle concentrazioni medie massime orarie giornaliere relativo agli intervalli di concentrazione espressi in $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Tabella 5.1 Suddivisione dei giorni di rilevamento nei rispettivi intervalli di concentrazione.

comune di Bologna		<10	10;19	20;29	30;39	40;49	50;59	60;69	70;79	80;89
2010		0	0	2	10	24	56	59	41	31
2009		0	0	6	17	37	56	59	73	50
2008		0	1	6	13	27	38	79	57	60
2007		0	0	1	8	24	23	42	52	53
2006		0	0	0	1	14	23	32	57	54

90;99	100;109	110;119	120;129	130;139	140;149	150;159	160;169	170;179	180;189	190;199
18	4	2	6	2	4	0	0	0	0	0
27	18	6	2	2	0	0	0	0	0	0
26	24	12	3	1	1	0	0	0	0	0
43	40	12	6	3	1	0	0	0	0	0
55	51	22	10	8	1	0	0	0	2	0

Il grafico sottostante rappresenta l'andamento dei valori indicati nella tabella 5.1, mettendo a confronto l'andamento delle concentrazioni negli anni considerati. Dal grafico risulta più chiara la diminuzione della concentrazione di NO_2 negli anni, le curve si spostano infatti sempre più a

sinistra dal 2006 al 2010.

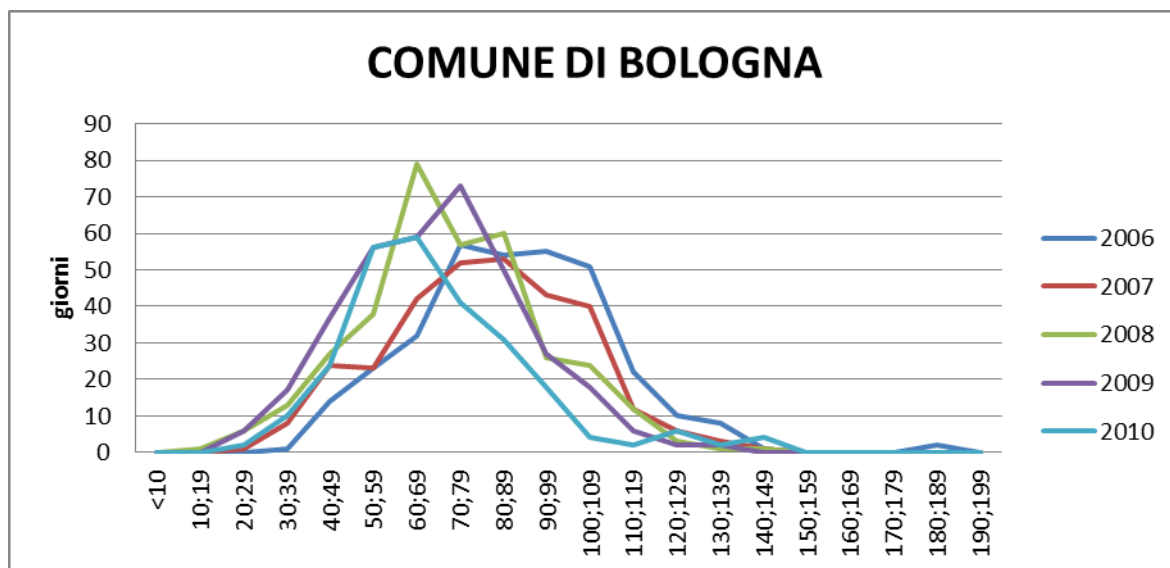


Figura 5.2. Grafico : (giorni/ ΔC)

Anche in questo caso (come era stato osservato nell'analisi dei dati giornalieri delle singole centraline del capitolo 4.) non si hanno a disposizione i rilevamenti per ogni giorno dell'anno. E' da sottolineare il fatto che per il 2010 solo il 70% dei rilevamenti è risultato accettabile per l'analisi. Nella tabella 5.2. sono riassunti il numero dei giorni di rilevamento disponibili e i valori massimi delle medie delle concentrazioni medie orarie massime differenziati per stagione estiva ed invernale espressi in $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Tabella 5.2. Riepilogo dati 2006-2010

	2006	2007	2008	2009	2010
giorni	330	308	348	353	259
g. estivi	166	159	172	173	113
g.invernali	164	149	176	180	146
max estivo	182	121	114	101	109
max invernale	182	145	141	138	148

5.3 APPLICAZIONE CON AIRQ

Dall'applicazione con il programma AirQ verranno estrapolati unicamente 25 risultati, i quali saranno direttamente i valori di NE riguardanti tutta la popolazione bolognese.

Come dati in ingresso saranno inseriti il numero dei giorni in cui si verificano gli intervalli di concentrazione esposti al paragrafo precedente, partendo dal valore soglia di $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Per i valori riguardanti le diverse patologie vengono inseriti i dati esposti ed elaborati al paragrafo 4.5, vengono quindi prese in considerazione come in precedenza: la mortalità generale, mortalità dovuta a disturbi cardiovascolari, le ospedalizzazioni per disturbi dell'apparato respiratorio e per malattie croniche come bronchite e asma.

Il rischio relativo considerato (RR) è quello di default proposto dalla W.H.O. (Tabella 4.19) come per l'analisi precedente.

Nella tabella sottostante (tabella 5.3.) sono visibili i risultati ottenuti dall'applicazione per ciascun anno del periodo considerato e per ogni patologia esaminata.

Tabella 5.3 Risultati area totale omogenea, anni 2006-2010

anni	mortalità totale			mortalità cardiovascolare		
	medio	min	max	medio	min	max
2010	82,3	49,7	93	20,2	0	20,2
2009	84,5	51	95,5	20,5	0	20,5
2008	89,7	54,2	101,4	21,7	0	21,7
2007	98,7	59,7	111,6	24,3	0	24,3
2006	110,4	66,8	124,7	26,9	0	26,9

15-64 pat resp			>64 pat resp			copd			
medio	min	max	medio	min	max	medio	min	max	max
4,8	0	13	24,7	0	157,5	375,6	87,7	628,9	
4,9	0	13,4	26,6	0	169,7	394,4	92,1	660,4	
5,3	0	14,6	27,8	0	177	396,7	92,7	663,9	
5,9	0	16,1	28,6	0	181,9	467,8	109,5	781,9	
6,1	0	16,7	30,8	0	194,8	484,1	113,4	808,4	

Grafici relativi ai risultati di AirQ

Come per l'analisi fatta nell'approccio con la zonizzazione della città, vengono proposti gli andamenti riguardanti l'NE relativi ai decessi per tutte le cause (mortalità generale).

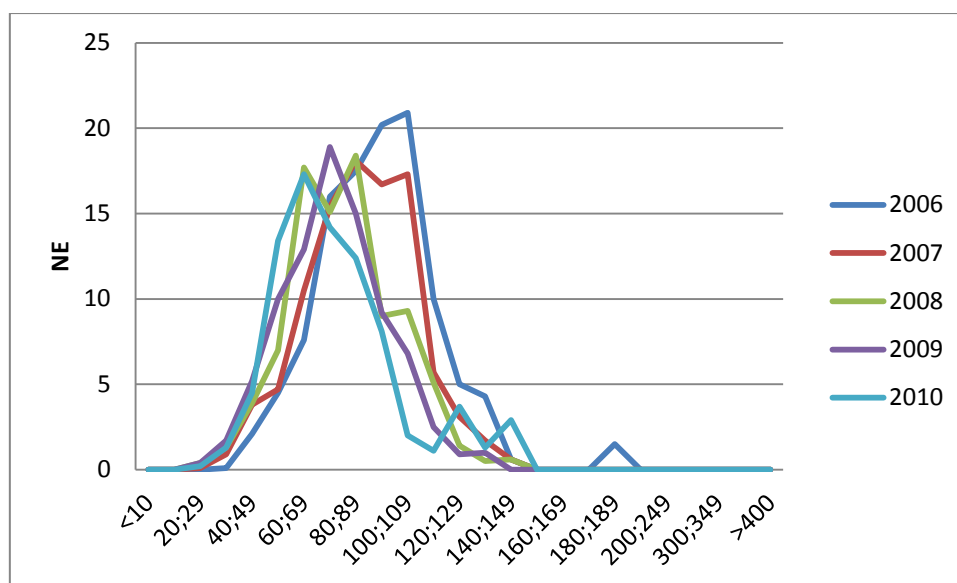


Figura 5.3 Rappresentazione del valore di NE relativo ad ogni intervallo di concentrazione in funzione della popolazione esposta e delle concentrazioni dell'anno in esame

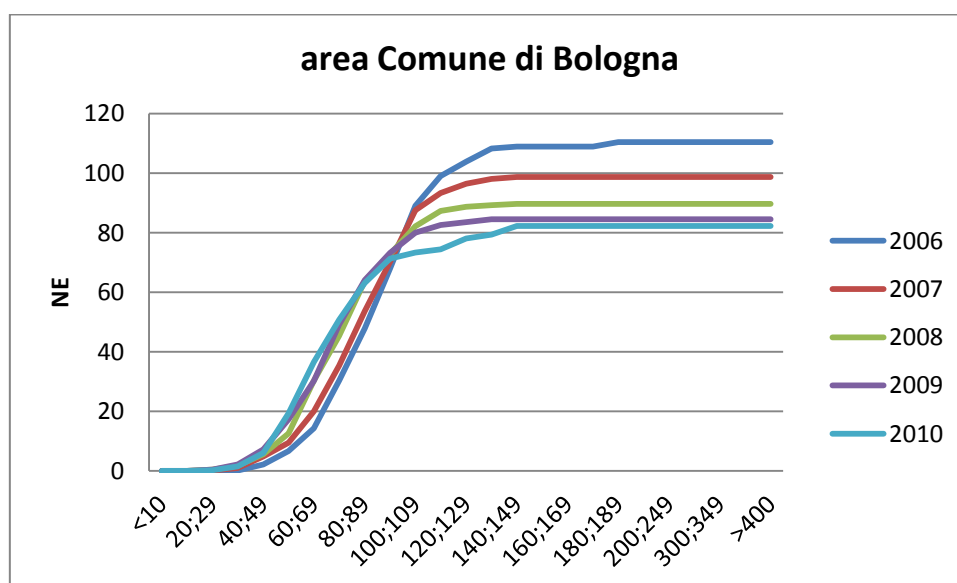


Figura 5.4. Rappresentazione del valore di NE cumulato, all'aumentare degli intervalli di concentrazione in funzione della popolazione esposta e delle concentrazioni dell'anno in esame

Da quest'ultimo grafico è possibile notare una notevole diminuzione dei casi di mortalità in eccesso dall'anno 2006 all'anno 2010, che corrisponde addirittura a più di 20 casi. Fatto che non era così ben visibile per tutte le diverse zone studiate dall'analisi del capitolo precedente. La diminuzione dei casi la si rileva nel passaggio di ogni anno a quello successivo, nonostante l'aumento della *baseline incidence* per il 2008 e l'uguaglianza di quelle relative all'anno 2007 e 2009. Si nota che la diminuzione iniziale di 12 casi tra il 2006 e il 2007 cala nel tempo passando dai 9 casi tra il 2007-2008, fino ai 2 casi tra il 2009 e il 2010. E' da tener presente a questo proposito che i rilevamenti fatti per il 2010 sono unicamente di 259 giorni contro i 353 del 2009, sono inoltre per la maggior parte giorni invernali, quindi è possibile ipotizzare una sovrastima dei casi in eccesso per l'anno 2010 a cui è dovuta la minore diminuzione del ΔNE del 2009-2010.

Le stesse considerazioni possono essere fatte per le altre patologie, per cui si ha sempre una diminuzione progressiva negli anni: si passa dai 26.9 casi del 2006 ai 20.2 del 2010 per quanto riguarda i decessi dovuti a patologie cardiovascolari, così come per i ricoveri per patologie dell'apparato respiratorio si va dai 6.1 ai 4.8 per età comprese tra i 15e i 64 anni, e dai 30.8 casi ai 24.7 per età maggiore di 65. Infine anche il copd che risulta essere la patologia più diffusa nel comune emiliano, diminuisce passando dai 484 ai 375.6 casi in eccesso.

CAPITOLO 6

CONFRONTO TRA LE METODOLOGIE UTILIZZATE E CONCLUSIONI

6.1 CONFRONTO DEI RISULTATI OTTENUTI

In questo paragrafo vengono rappresentati i valori di NE ottenuti dalle due analisi e confrontati, ci si serve di tabelle riepilogative in cui partendo da sinistra verso destra vengono elencati : gli anni del periodo analizzato; gli NE relativi all'analisi che prende in considerazione una distribuzione omogenea delle concentrazioni in tutta l'area del Comune di Bologna; gli NE totali relativi all'analisi che si serve della zonizzazione e nell'ultima colonna sono riportati il numero dei casi avvenuti nel Comune di Bologna.

La lettura della tabella deve avvenire in questo modo: con riferimento alla prima riga si hanno per lo studio su tutta la popolazione bolognese esposta ad una concentrazione di NO₂ omogenea, 82 casi di decessi in eccesso dovuti all'esposizione stessa su un totale di 4661 decessi totali relativi ai residenti del Comune di Bologna nell'anno 2010, nel caso che ci si avvalga della zonizzazione ne risultano invece 87.

Tabella 6.1 Confronto dei risultati dell'area totale omogenea e della zonizzazione per gli anni 2006-2010 con il numero dei casi totali del Comune di Bologna relativi alla mortalità per tutte le cause.

patologie anni	decessi per varie patologie		n.casi
	area tot	somma aree	
2010	82,3	87,3	4661
2009	84,5	87,2	4765
2008	89,7	103,8	4816
2007	98,7	108,3	4767
2006	110,4	107,8	4855

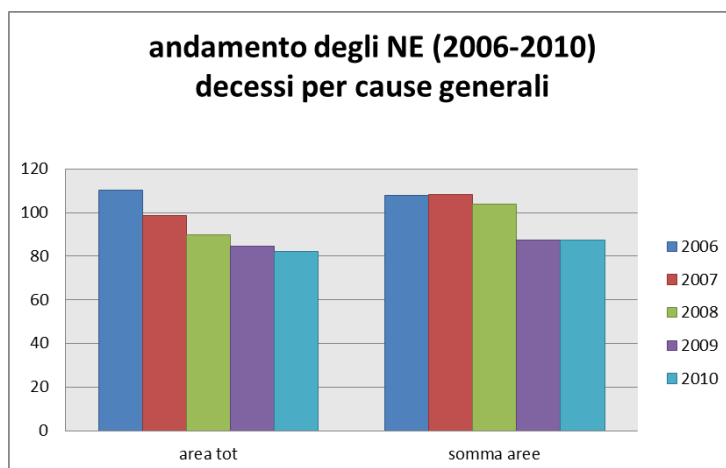


Figura 6.1. Confronto degli NE delle due metodologie studiate.

Tabella 6.2 Confronto dei risultati dell'area totale omogenea e della zonizzazione per gli anni 2006-2010 con il numero dei casi totali del Comune di Bologna relativi alla mortalità per patologie cardiovascolari .

patologie	decessi pat cardiovascolari		n casi
anni	area tot	somma aree	
2010	20,2	21,4	1707
2009	20,5	21,2	1722
2008	21,7	25,2	1733
2007	24,3	26,7	1749
2006	26,9	26,2	1761

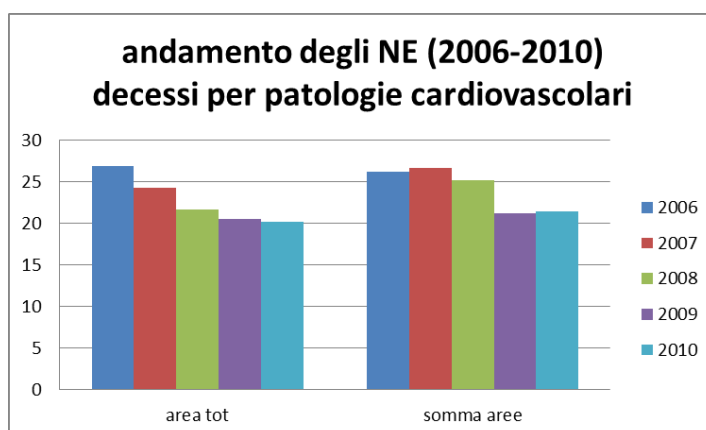


Figura 6.2. Confronto degli NE delle due metodologie studiate

Da queste prime due tabelle, in cui viene preso in considerazione il numero dei decessi per patologie cardiovascolari e per patologie derivanti da diverse cause, è possibile notare innanzitutto che i risultati ottenuti da entrambe le analisi sono in linea con il trend di diminuzione degli NE tra il 2006 e il 2010. E' però necessario effettuare un'analisi più completa dei risultati per poter confrontare in maniera approfondita i due diversi metodi.

Si evidenzia innanzitutto il fatto che in generale tra il 2007 e il 2010 i valori relativi alla sommatoria delle aree dell'analisi tramite la zonizzazione siano sempre maggiori dei primi; ciò è da imputare al fatto che attraverso la mediazione dei valori vengono diminuiti i valori di concentrazione estremi più alti a cui il software associa un valore di RR sempre maggiore con l'aumentare dell'intervallo di concentrazione.

Risulta interessante anche il fatto che solo per l'anno 2006 si ha un andamento inverso, con NE maggiore per l'area omogenea rispetto all'area suddivisa in zone. Questo è dovuto probabilmente al fatto che per la zonizzazione viene dato più peso alla zona relativa all'area urbana-residenziale attraverso il numero di abitanti attribuitogli (zona per cui si è rilevato un aumento per il periodo 2006-2007, dei giorni in cui la concentrazione risulta maggiore di $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Si nota quindi come negli anni i valori di concentrazione rilevati dalla centralina di San Lazzaro siano, diminuiti, ma mantenendosi con medie che differiscono al massimo di $9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ riscontrato tra il 2006 e il 2010, e si mantengono costanti nel periodo 2006-2007. Sono invece elevate le diminuzioni tra il 2006-2007 relative alla zona urbana e traffico, rispettivamente di $12 \mu\text{g}/\text{m}^3$ e $7 \mu\text{g}/\text{m}^3$, che nella zonizzazione avendo un esiguo numero di abitanti rispetto alla zona urbana-residenziale sono di minor rilevanza, ma per il calcolo della media tutti i dati rilevati dalle centraline sono di ugual peso.

Tabella 6.3 Confronto dei risultati dell'area totale omogenea e della zonizzazione per gli anni 2006-2010 con il numero dei casi totali del Comune di Bologna relativi ai ricoveri per patologie dell'apparato respiratorio per una popolazione di età tra i 15 e i 64 anni.

patologie	15-64 apparato respiratorio		n casi
	area tot	somma aree	
2010	4,8	5,1	1003
2009	4,9	5,1	1023
2008	5,3	6,2	1062
2007	5,9	6,4	1054
2006	6,1	5,9	994

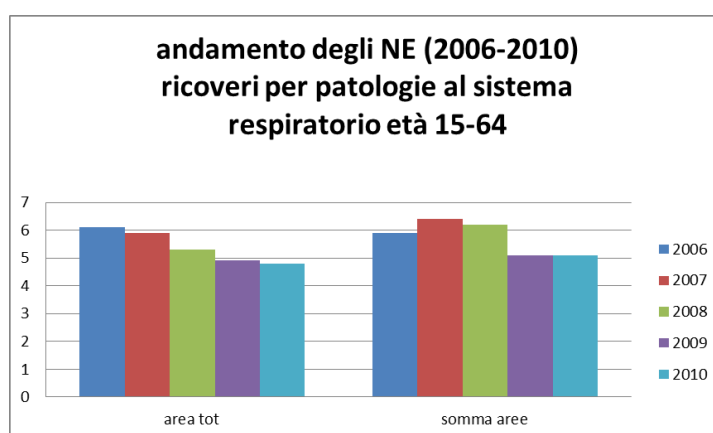


Figura 6.3. Confronto degli NE delle due metodologie studiate

Tabella 6.4 Tabella 6.3 Confronto dei risultati dell'area totale omogenea e della zonizzazione per gli anni 2006-2010 con il numero dei casi totali del Comune di Bologna relativi ai ricoveri per patologie dell'apparato respiratorio per una popolazione di età superiore ai 64 anni

patologie	>64 apparato respiratorio		n casi
	area tot	somma aree	
2010	24,7	26,3	4142
2009	26,6	27,4	4442
2008	27,8	32,2	4413
2007	28,6	31,5	4091
2006	30,8	30,1	4001

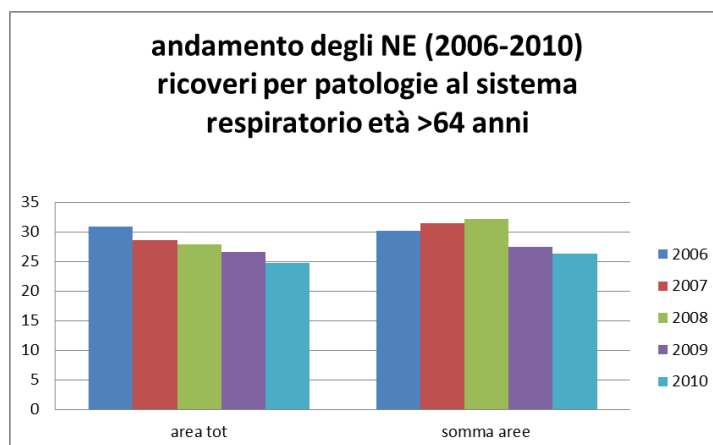


Figura 6.4. Confronto degli NE delle due metodologie studiate

Tabella 6.5 Confronto dei risultati dell'area totale omogenea e della zonizzazione per gli anni 2006-2010 con il numero dei casi totali del Comune di Bologna relativi ai ricoveri per patologie croniche come asma e bronchite.

patologie anni	copd		n casi
	area tot	somma aree	
2010	375,6	398,9	24500
2009	394,4	407,1	25614
2008	396,7	459,2	24500
2007	467,8	513,3	25985
2006	484,1	437,4	22644

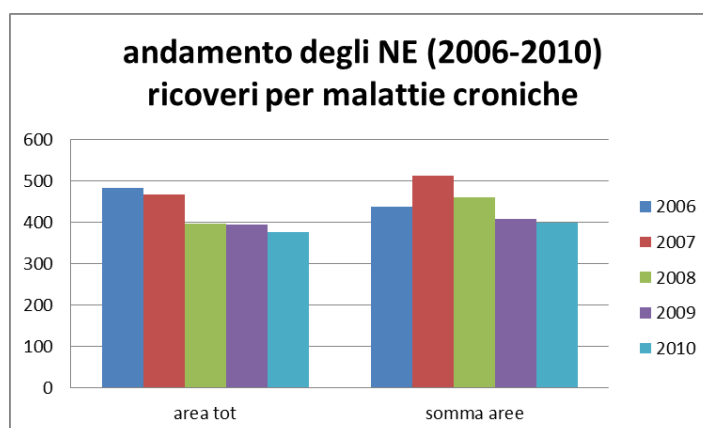


Figura 6.5. Confronto degli NE delle due metodologie studiate

Le stesse considerazioni fatte precedentemente possono essere valide per i risultati relativi alle ospedalizzazioni.

6.2 CONCLUSIONI

Nel presente lavoro di tesi si è analizzato un caso di studio per testare l'applicazione di due metodologie per il calcolo degli effetti sulla salute di una popolazione esposta all'inquinamento dell'atmosfera. La nuova metodologia proposta implica la suddivisione dell'area di studio in zone a concentrazione omogenea del contaminante, mentre la metodologia tradizionale considera una distribuzione omogenea su tutto il territorio in esame.

Il confronto dei risultati ottenuti nei due approcci ha consentito di evidenziare come il metodo della zonizzazione sia caratterizzato da un maggior dettaglio e da una maggiore fedeltà alla situazione reale. La suddivisione della distribuzione della popolazione bolognese in aree più o meno critiche ha permesso di considerare una maggiore o minore esposizione della popolazione al biossido di azoto. Considerando le zone separatamente, vengono mantenuti inalterati i valori più alti di concentrazione per cui si ha un maggior peso sulla determinazione del numero di casi in eccesso (NE).

Nel secondo approccio, invece, i valori estremi delle distribuzioni di concentrazione vengono diminuiti attraverso la mediazione dei valori. Quindi il primo metodo risulta essere più conservativo, e migliore dal punto di vista di questa tipologia di analisi, mantenendosi maggiormente fedele all'esposizione della popolazione a determinate concentrazioni.

In definitiva si può dire che l'analisi dell'impatto sulla salute umana dovuta all'esposizione degli inquinanti in atmosfera può servirsi con successo della metodologia della zonizzazione. Tale applicazione potrebbe presentare risultati migliori se fossero disponibili rilevamenti più completi, ad esempio relativi ad ogni giorno dell'anno per ogni centralina, e se fossero presenti più centraline per una zonizzazione di maggior dettaglio. A tale scopo in

alternativa sarebbe utile ricavare una distribuzione di concentrazione affidabile dall'applicazione di modelli di dispersione per aree urbane.

Bibliografia

Annibale Biggeri, Pierantonio Bellini e Benedetto Terracini “Metanalisi italiana degli studi sugli effetti a breve termine dell’inquinamento atmosferico” *Rivista Anno 25 Epidemiologia & Prevenzione* è indicizzata su *Medline* supplemento (2) 2001.

ARPA (“report giornalieri, mensili della qualità dell’aria Provincia di Bologna” <http://www.arpa.emr.i>)

ARPA (“rete di monitoraggio qualità dell’aria” [rn_08_aria_piano_risanamento_cap7_2010](#))

ASL Milano “Stima dell’impatto dell’inquinamento atmosferico su mortalità e morbosità nella città di Milano anno 2008”.

C Spix Short – Term Effects of Air Pollution on Hospital Admission of Respiratory Disease in Europe: A Quantitative Summary of APHEA Study Results: 1997 *Arch Environ Health* 53,54 - 64

Corrado Scarnato, Emanuela Pipitone “rapporto sulla valutazione sanitaria della qualità dell’aria a Bologna, 2006” Settore Ambiente della Provincia di Bologna.

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. *Gazzetta Ufficiale della Repubblica Italiana*.

DIRETTIVA 2008/50/CE DEL PARLAMENTO EUROPEO E DEL CONSIGLIO del 21 maggio 2008 relativa alla qualità dell’aria ambiente e per un’aria più pulita in Europa. Parlamento Europeo e il Consiglio dell’Unione Europea.

E.P.A. (green book “ criteria pollutants ”)

E.P.A. “Human Health Effects of Criteria Pollutants”. Appendice D. The Benefits and Costs of the Clean Air Act, 1990 to 2010

E.P.A. “The Benefits and Costs of the Clean Air Act 1990 to 2010 November 1999 EPA-410-R-99-001

EEA “ Air quality in Europe — 2011 report ”

Elena Fattore, Viviana Paiano, Alessandro Borgini, Andrea Tittarelli, Martina Bertoldi, Paolo Crosignani, Roberto Fanelli. Human health risk in relation to air quality in two municipalities in an industrialized area of Northern Italy. *Environmental Research* 111 (2011) 1321–1327

F. bruno¹, G. cavrini¹, R. miglio¹, M. deserti², S. tibaldi², D. agostini³, E. verdini. “effetto a breve termine dell’inquinamento sulla salute: Bologna 1996-1998”. 1

Dipartimento di Scienze Statistiche, Università di Bologna, 2 S.M.R. Arpa Regione Emilia-Romagna, 3 AUSL Città di Bologna ,4 Agenzia Sanitaria Regionale

http://www.appa.provincia.tn.it/aria/documentazione_divulgativa_aria/Inquinanti_principali/pagina23.html

http://www.atmosphere.mpg.de/enid/3__Ozono_e_ossidi_di_azoto/_inquinamento_da_ozono_6s5.html

<http://www.comune.bologna.it/ambiente/servizi/6:3455/6499/> + liberiamo l'aria

<http://www.epicentro.iss.it/temi/ambiente/citta.as>

<http://www.provincia.bologna.it/ambiente/Engine/RAServePG.php/P/258411030505/T/Qualita-dellaria>

IEC “Direct Cost Estimates for the Clean Air Act Second Section 812 Prospective Analysis” Final Report | February 2011 .

ISTAT (Classificazione provvisoria secondo i raggruppamenti ISTAT - ICD IX codificata dal Dipartimento di Prevenzione - Registro di mortalità - Azienda USL di Bologna - Ufficio di Statistica del Comune di Bologna. La data di riferimento è quella di registrazione presso l'Anagrafe comunale)

J Sunyer Urban air pollution and emergency admissions for asthma in four European cities: the APHEA project Thorax 1997; 52:760-765

K Katsouyanni Short term effect of ambient sulfur dioxide and particulate matter on mortality in 12 European cities; results from time-series data from the APHEA. BMJ, 314: 1658-63(1997)

Marco Martuzzi, Francesco Mitis, Ivano Iavarone, Maria Serinelli “impatto sanitario di pm10 e ozono in 13 città italiane”. **APAT** - Agenzia per la protezione dell’ambiente e per i servizi tecnici.

Mauro Mariotti – Direttore U.O. Rischio Ambientale, Paolo Pandolfi e Corrado Scarnato – Osservatorio Epidemiologico – del Dipartimento di Sanità Pubblica dell’Azienda USL di Bologna (Direttore Dr. Fausto Francia). “Valutazione sanitaria della qualità dell’aria 2004” Settore Ambiente della Provincia di Bologna.

MISA (Meta-analysis of the Italian Studies of Short-term effects of Air Pollution) 1990-1999

P. Morra, G. Spadoni, “ The use of air criteria pollutants in analysing long-term exposure health risks”. Chemical engineering transactions, Volume 13, 2008.

P.Morra “ Criteria pollutants”. Capitolo 4 (Tesi di dottorato di ricerca in ingegneria chimica dell’ambiente e della sicurezza “Analisi del rischio per la salute umana attraverso una procedura integrata in ambiente gis”)

Pope CA, 3rd, Burnett RT, Thun MJ, et al. Lung cancer, cardiopulmonary mortality, and long-term exposure to fine particulate air pollution. JAMA 2002; 287: 1132-41.

RT Burret, RE Doles Association between Ambient Carbon Monoxide Levels and hospitalization for congestive Heart Failure in the Elderly in 10 Canadian cities. Epidemiology, 1997

USL, Banca dati schede di dimissione ospedaliera - Elaborazioni Azienda UsI Città di Bologna - Settore Sistema Informativo.

W.H.O “ Health Aspects of Air Pollution with Particulate Matter, Ozone and Nitrogen Dioxide ” (Report on a WHO Working Group Bonn, Germany 13–15 January 2003)

W.H.O “ Monitoring ambient air quality for health impact assesment” (WHO Regional Publications, European Series, No. 85)

W.H.O “Air quality guidelines for Europe” second edition, WHO Regional Publications, European Series, No. 91

W.H.O “Quantification of the Health Effects of Exposure to Air Pollution ” (Report of a W.H.O Working Group Bilthoven, Netherlands 20-22 November 2000)