

UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI PADOVA

FACOLTA' DI SCIENZE STATISTICHE

**CORSO DI LAUREA IN STATISTICA E TECNOLOGIE
INFORMATICHE**

TESI DI LAUREA

Effetti dell'inquinamento atmosferico sulla mortalità della popolazione
residente a Padova nel periodo
2002-2005

RELATORE: PROF. SIMONATO LORENZO

LAUREANDO: ANDREA PEGORARO
N° MATRICOLA: 508154

ANNO ACCADEMICO 2005/2006

*“Quando los
angeles lloran”
a mia nonna,
che ora riposa
tra gli angeli*

PREFAZIONE

L'associazione tra inquinamento e stato di salute è ben documentata, specialmente per quanto riguarda la mortalità e molti elementi dicono che questa possa essere di natura causale. Anche in Italia, tramite gli studi MISA-1 e MISA-2 (Metanalisi Italiana degli Studi sugli effetti a breve termine dell'inquinamento Atmosferico), si è dimostrato come vi sia una stretta relazione tra inquinamento ed effetti dannosi rapportati alla salute.

L'obiettivo di questa tesi è quello di utilizzare le stesse metodologie su dei dati rilevati nella città di Padova negli anni 2002-2005.

L'analisi effettuata tra la mortalità e la concentrazione dell'inquinamento atmosferico è avvenuta attraverso un Modello Lineare Generalizzato (GLM) con spline di regressione parametrica. Gli aspetti della specificazione del modello hanno dovuto tener in conto anche di alcuni effetti di confondimento quali la stagionalità, le festività e alcuni fattori meteorologici.

L'ARPAV di Padova, che gestisce la rete cittadina di monitoraggio dell'inquinamento dell'aria, ha reso disponibili, per gli anni 2002-2005, le rilevazioni di alcuni inquinanti atmosferici e di alcune variabili meteorologiche (pressione, umidità e temperatura).

Attraverso un lavoro di selezione e di inserimento dei dati mancanti, si è arrivati ad ottenere le serie giornaliere cittadine di tutte le variabili meteorologiche e degli inquinanti comunemente imputati come responsabili dell'inquinamento atmosferico, come il biossido di Zolfo (SO_2), il biossido di azoto (NO_2), il monossido di carbonio (CO), l'ozono (O_3) e un specifico tipo di particolato sospeso (PM_{10}). Per un altro tipo di particolato ($\text{PM}_{2,5}$), sono stati forniti i valori per una sola centralina, e per nemmeno un anno intero; di conseguenza i dati a disposizione erano troppo esigui per essere inseriti nello studio.

I dati dei decessi forniti sono riferiti a soggetti residenti nel comune di Padova e deceduti nello stesso, tra il primo gennaio 2002 e il 31 dicembre 2005. Le serie storiche ricavate riportano il numero di decessi per classe di età, sesso e tipo di malattia. Mediante l'applicazione del modello GLM si riesce infine a stimare la variazione giornaliera dei decessi dovuti all'inquinamento.

Il lavoro di questa tesi viene articolato in 4 parti.

Nelle prima parte, dopo aver esposto la composizione dell'atmosfera e dell'inquinamento, vengono illustrate i quartieri della città di Padova, la popolazione e le centraline di rilevazione.

La seconda parte riporta le analisi descrittive dei dati ambientali e dei decessi, in modo da vedere se vi sono dei particolari andamenti, ciclicità o correlazioni varie.

Nella terza parte vengono illustrati i metodi statistici utilizzati nel corso delle analisi.

Nella quarta parte vengono discussi i risultati ottenuti.

Questa tesi è stata utilizzata attraverso vari software applicativi: SAS per la creazione dei dataset, R 1.8.1 per le analisi grafiche e per le stime dei modelli, Microsoft Word, Microsoft Excel e OpenOffice Writer per la elaborazione del testo.

I dati sono stati procurati presso i competenti centri dei quali si ringraziano responsabili e tecnici, in particolare:

- la dottoressa Bergoglio dell'Agenzia Regionale per la Protezione Ambientale – Dipartimento di Padova, per aver fornito i dati relativi agli inquinanti e agli agenti atmosferici;
- il dottor Renzulli e il dottor Cipolla, del Dipartimento di Prevenzione dell'ULS 16 di Padova, che hanno reso disponibili i dati relativi ai decessi;

Desidero inoltre ringraziare le dottoresse Roberta Tessari e Cristina Canova, del dipartimento di Igiene e Prevenzione dell'Università, le cui competenze e disponibilità hanno permesso la realizzazione di questa tesi.

INDICE

Prefazione	5
1. L'inquinamento atmosferico	11
<i>1.1 Struttura dell'atmosfera</i>	11
<i>1.2 La stratificazione dell'atmosfera</i>	12
1.2.1 La Troposfera	12
1.2.2 La Stratosfera	13
1.2.3 La Mesosfera	13
1.2.4 La Termosfera	14
1.2.5 La Esosfera	14
<i>1.3 L'inquinamento atmosferico</i>	15
<i>1.4 L'inquinamento atmosferico nei centri urbani</i>	17
<i>1.5 Inquinanti primari</i>	18
1.5.1 Monossido di carbonio	18
1.5.2 Ossidi di azoto	19
1.5.3 Ossidi di zolfo	19
1.5.4 Idrocarburi	20
1.5.5 Particolati	20
<i>1.6 Gli studi precedenti</i>	21
1.6.1 Il MISA-1	21
1.6.2 Il MISA-2	23
1.6.3 Confronti internazionali	24
2. I DATI AMBIENTALI	27
2.1 Indicatori di inquinamento atmosferico	27
2.2 Costruzione delle serie giornaliere: completezza dei dati	27
2.3 I dati meteorologici	29
2.4 Le centraline	29
2.5 La città di Padova	31
2.5.1 Il quartiere 5 Sud-Ovest e la Mandria	33
2.5.2 Il quartiere 2 Nord e l'Arcella	34
3. ANALISI GRAFICHE E STUDIO DELLA CORRELAZIONE	37
3.1 I dati	37
3.2 Analisi grafiche	39
3.2.1 Istogrammi di frequenza	39
3.2.2 Boxplot	41
3.2.3 Serie storiche giornaliere	44

3.2.4 <i>Boxplot stagionali</i>	46
3.2.5 <i>Serie storiche mensili</i>	48
3.3 <i>Studio della correlazione</i>	50
4. I DATI SANITARI	52
4.1 <i>I dati sanitari</i>	52
4.2 <i>I decessi</i>	52
4.3 <i>Principali analisi grafiche e statistiche descrittive</i>	53
4.3.1 <i>Istogrammi di frequenza</i>	55
4.3.2 <i>Boxplot</i>	58
4.3.3 <i>Serie storiche giornaliere</i>	59
5. METODI STATISTICI	61
5.1 <i>Analisi città-specifica</i>	61
5.2 <i>Il modello per l'analisi città specifica</i>	62
5.2.1 <i>Il confronto del confondimento temporale stagionale e di lungo periodo</i>	63
5.2.2 <i>Il controllo per le epidemie di influenza</i>	64
5.2.3 <i>Il controllo del confondimento legato alla temperatura</i>	64
5.2.4 <i>Il problema del confondimento legato all'umidità relativa</i>	65
5.2.5 <i>Il problema della diminuzione estiva della popolazione a rischio</i>	65
5.2.6 <i>Effetto dell'inquinante</i>	65
5.3 <i>Analisi di sensibilità</i>	67
5.3.1 <i>Analisi di sensibilità sulla stagionalità</i>	67
5.3.2 <i>Analisi di sensibilità sulla temperatura</i>	67
5.4 <i>Analisi specifiche e di sottogruppo</i>	67
6. CONCLUSIONI	70
6.1 <i>Risultati globali</i>	70
6.2 <i>Risultati specifici per genere, età e sesso</i>	70
6.3 <i>Analisi di sensibilità</i>	71
6.4 <i>Conclusioni</i>	74
7. BIBLIOGRAFIA	77
8. RINGRAZIAMENTI	80

CAPITOLO 1

INQUINAMENTO ATMOSFERICO

1.1 STRUTTURA DELL'ATMOSFERA

La composizione dell'atmosfera (dal greco sfera di vapore) nella porzione più bassa è ormai ben conosciuta. E' composta da:

- il 78,08% in volume di azoto
- il 20,95% in volume di ossigeno (ad altezze superiori ad una decina di Km l'atmosfera non contiene soltanto ossigeno biatomico, bensì anche quello triatomico, cioè l'ozono)
- lo 0,93% in volume di argon
- lo 0,03% in volume di anidride carbonica (essa contribuisce anche a trattenere il calore irradiato dalla terra nello spazio, per cui le sue variazioni influiscono sulla temperatura)
- circa lo 0,01% in volume di altri gas come idrogeno, neon, elio, ammoniaca, ecc.
- oltre a queste componenti l'atmosfera contiene anche vapore acqueo, che si trova per la maggior parte negli strati più bassi, e pulviscolo atmosferico, costituito da polveri provenienti dalla superficie terrestre e dallo spazio interplanetario.

L'atmosfera non presenta particolari variazioni di composizione fino all'altezza di un centinaio di Km, ma a quote più elevate la radiazione solare provoca un'intensa dissociazione di gas, con passaggio dallo stato molecolare allo stato atomico, e con una serie di reazioni chimiche che fanno variare la percentuale di componenti. Si deve ritenere che sopra i 100 Km si faccia sempre più abbondante l'ossigeno atomico fino all'altezza di 800 Km circa, mentre ancora più in alto dovrebbero diventare prevalenti i gas più leggeri, come l'idrogeno e l'elio.

COMPOSIZIONE CHIMICA DELL'ARIA		
componente	contenuto	
	percentuale in volume (%)	ppm
N₂ (azoto)	78,084 ± 0,004	
O₂ (ossigeno)	20,946 ± 0,002	
CO₂ (anidride carbonica)	0,003 ± 0,001	
Ar (argon)	0,934 ± 0,001	
Ne (Neon)		18,18 ± 0,004
He (Elio)		5,24 ± 0,004
Kr (Kripto)		1,14 ± 0,01
Xe (Xeno)		0,087 ± 0,001
H₂ (Idrogeno)		0,5
CH₄ (Metano)		2
N₂O (Diossido di Azoto)		0,5 ± 0,1

Tabella 1.1: composizione chimica dell'aria

1.2 LA STRATIFICAZIONE DELL'ATMOSFERA

L'atmosfera è costituita da zone concentriche, separate da zone di transizione dette pause. Le zone sono le seguenti:

1.2.1 La Troposfera

Questa è la fascia più densa dell'atmosfera a causa della forza di gravità, ed è infatti la zona dove è concentrata la maggior parte dei gas. E' la zona dell'atmosfera dove si verificano gli eventi meteorologici, come vento, nubi, precipitazioni, che costituiscono il tempo.

- La troposfera segue la forma del pianeta: è schiacciata ai poli, dove ha uno spessore di circa 6-8 Km, mentre all'equatore il suo spessore è di 16-17 Km.
- La temperatura di questa zona diminuisce di 6° ogni 100 m di altezza (gradiente termico verticale della troposfera); inoltre a causa del suo diverso spessore, al limite superiore di questa fascia si raggiungono temperature molto più basse all'equatore (-70°C) rispetto ai poli (-45°C).
- La composizione chimica risulta costante. Questo fatto viene spiegato perché la troposfera è caratterizzata dalla presenza di movimenti verticali e orizzontali delle masse d'aria, dovuti essenzialmente alla rotazione terrestre e agli squilibri termici.

Il limite superiore della troposfera è la tropopausa, una zona di transizione il cui spessore massimo è di 2 Km. In prossimità di questa zona cambia il gradiente termico.

1.2.2 La Stratosfera

- La stratosfera avvolge la terra fino ad una altezza di 50 Km
- La temperatura della stratosfera inizialmente è quasi costante, con valori prossimi a quelli della tropopausa, fino ad una quota di 20 Km; poi inizia ad aumentare di 1-3°C per 1000 metri. Questo aumento è dovuto alla presenza di uno strato di ozono che prende il nome di ozonosfera, una sorta di “scudo” che assorbe le radiazioni solari ultraviolette, specialmente quelle a lunghezza d’onda minore e quindi a più alta energia (2000-3000 angstrom). Di fatto i raggi ultravioletti scindono le normali molecole biatomiche di ossigeno, e parte dell’ossigeno monoatomico, invece di ricomporsi in ossigeno normale, va a formare molecole triatomiche di ozono. La temperatura raggiunge un valore massimo di +17°C.

In prossimità di questo valore di temperatura abbiamo una nuova zona di transizione: la stratopausa.

- I componenti gassosi rimangono tra loro ancora in proporzioni costanti, ma si presentano sempre più rarefatti
- Intorno ai 20-30 Km appaiono a volte nubi sottili dette madreperlacee, costituite forse da cristalli di ghiaccio

1.2.3 La Mesosfera

- La mesosfera avvolge la terra fino ad una altezza di 80 Km.
- La temperatura di questa zona riprende a diminuire con l’altezza e raggiunge un valore minimo di 70-90°C intorno agli 80 Km.
- Gli elementi gassosi sono ulteriormente rarefatti, e prevalgono quelli più leggeri
- Intorno agli 80 Km appaiono le nubi nottilucenti, anch’esse costituite probabilmente da cristalli di ghiaccio.

Questa zona è separata dalla successiva mediante la menopausa.

1.2.4 La Termosfera

- E' la zona compresa tra gli 80 e i 600 Km circa.
- La temperatura continua ad aumentare con l'altezza: a 110 Km è già risalita a 0°C, e in prossimità della termopausa arriva a valori intorno al migliaio di gradi (in realtà a questa temperatura non dobbiamo dare il reale significato; infatti questi valori rappresentano le temperature cinetiche, cioè quelle che sarebbero necessarie a livello della superficie terrestre perché le molecole possedessero la stessa energia cinetica).
- I gas presenti sono molto rarefatti: in realtà non si trovano allo stato molecolare, come accade invece per le zone inferiori, ma allo stato di ioni. La causa di questa ionizzazione va ricercata nelle radiazioni solari e cosmiche che continuamente urtano le molecole dei gas. Questo fenomeno riguarda la termosfera, ma si avverte già nella porzione della mesosfera.
- In questo strato si formano le aurore polari, fenomeni luminosi che si manifestano tra i 100 e i 1000 Km; generalmente hanno la forma ad arco e sono dovute alle interazioni tra le particelle cariche che provengono dal sole e i gas dell'atmosfera, che vengono così "eccitati" (l'eccitazione di atomi di ossigeno comporta l'emissione di luce rossa/gialla, mentre l'eccitazione di atomi di azoto comporta l'emissione di luce blu/violetta).

1.2.5 La Esosfera

- E' lo strato più esterno dell'atmosfera: si estende oltre i 600Km di altezza e manca di un vero e proprio limite superiore, in quanto sfuma fino a confondersi con l'atmosfera solare.
- La temperatura aumenta con l'altezza, forse fino a superare i 2000°C (temperatura cinetica).
- Le particelle che la costituiscono (atomi di elio, e più esternamente di idrogeno) percorrono traiettorie libere e possono quindi sfuggire al campo gravitazionale.

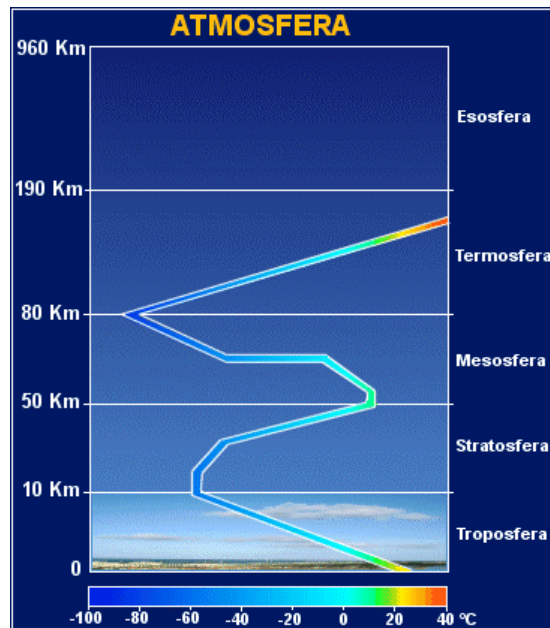


Immagine 1.1: la composizione e la temperatura dell'atmosfera

1.3 L'INQUINAMENTO ATMOSFERICO

E' considerato inquinamento atmosferico ogni modificazione della normale composizione o stato fisico dell'aria atmosferica, dovuta alla presenza nella stessa di una o più sostanze in quantità e con caratteristiche tali da:

- alterare le normali condizioni ambientali e di salubrità dell'aria;
- costituire pericolo ovvero pregiudizio diretto o indiretto per la salute dell'uomo;
- compromettere le attività ricreative e gli altri usi legittimi dell'ambiente;
- alterare le risorse biologiche e gli ecosistemi ed i beni materiali pubblici e privati.

Le sostanze emesse nell'atmosfera sono numerosissime (si calcola che siano diverse decine di migliaia) e ogni anno ne vengono sintetizzate di nuove dalle attività umane.

I principali inquinanti atmosferici sono:

- 1) monossido di carbonio (CO)
- 2) ossidi di azoto (No_x)
- 3) ossidi di zolfo (So_x)
- 4) idrocarburi (C_xH_y)
- 5) particelle sospese (PTS)
- 6) ozono (O₃)

Per tali sostanze, con l'eccezione degli idrocarburi, esistono norme che fissano i limiti di accettabilità e stabiliscono gli standard di "qualità dell'aria" per i valori di concentrazione sull'arco di un intero anno di riferimento. Tali limiti sono di carattere sanitario: al di sopra di essi vengono a mancare le condizioni di tutela della salute pubblica, con la conseguente possibilità di insorgenza di patologie di varia natura. Per il controllo di questi parametri, a partire dagli anni '70, sono state allestite delle reti di monitoraggio basate su centraline automatiche di rilevamento, fisse (principalmente) e mobili.

Per gli altri contaminanti, invece, non sono stati fissati veri e propri limiti di tollerabilità e pertanto non esistono, salvo poche eccezioni (alcuni idrocarburi) limitate alle principali città, centraline predisposte per il loro controllo.

Per quanto riguarda le fonti di emissione, quelle di tipo antropico sono riconducibili a cinque settori di attività principali:

- Trasporti
- Centrali termoelettriche
- Industria
- Domestico e terziario
- Agricoltura e pesca

Si può distinguere tra fonti di emissione diffuse (trasporti, domestico e terziario, agricoltura e pesca), con scarico ad altezza più o meno bassa, e fonti di emissioni concentrate (industrie e centrali termoelettriche) con scarico ad altezza elevata. Le fonti diffuse hanno un ruolo preponderante nelle emissioni di monossido di carbonio e degli idrocarburi, e prevalente in quelle degli ossidi di azoto e delle particelle sospese, mentre le industrie e le centrali termoelettriche sono le principali responsabili delle emissioni di anidride solforosa.

Una volta emesse nell'atmosfera, le sostanze tossiche vengono trasportate dalle correnti d'aria a quote diverse per tempi e distanze più o meno lunghi. Una parte rilevante viene depositata, tale quale, entro una distanza compresa tra poche decine di metri e alcuni chilometri. Il resto del carico cade a distanze maggiori, fino a 1000 Km o più, dopo aver subito diverse trasformazioni chimiche (principalmente processi di ossidazione e di fotolisi).

La ricaduta al suolo può avvenire in due modi:

- a) ricaduta secca: deposizioni di forme residue di specie gassose o, sotto forma di particelle, di alcuni sali;
- b) ricaduta umida: interessa gli acidi e la maggior parte dei sali e viene principalmente mediante le precipitazioni piovose e nevose.

Rispetto alla loro origine, gli inquinanti vengono distinti in primari e secondari. Sono definiti primari quelli che manifestano la loro azione nociva nella forma e nello stato in cui sono liberati nell'atmosfera. Le sostanze che, invece, derivano dalla reazione tra gli inquinanti primari, eventualmente con la partecipazione di componenti naturali dell'atmosfera, sotto l'influenza di catalizzatori chimici o fisici, sono inquinanti secondari.

1.4 L'INQUINAMENTO ATMOSFERICO NEI CENTRI URBANI

I maggiori responsabili dell'inquinamento atmosferico che colpisce le città sono senza dubbio il traffico veicolare e il riscaldamento domestico. Soprattutto gli autoveicoli, a causa dell'altezza delle loro emissioni, della prevalenza di strade strette e dell'alta densità di traffico, giocano un ruolo centrale nello stato di insalubrità dell'aria delle grandi città. Non sono pochi comunque i centri urbani in cui sono rilevanti o predominanti le emissioni legate alle attività industriali o di produzione di energia.

In condizioni normali, gli inquinanti si disperdono molto lentamente permanendo per molto tempo nell'area di emissione. Inoltre, soprattutto nel periodo invernale, si verificano spesso fenomeni di inversione termica che, favorendo la stratificazione dell'aria fredda al suolo, ostacolano ulteriormente la diluizione dei gas tossici.

L'inquinamento atmosferico nei centri urbani è caratterizzato da fluttuazioni sia stagionali che giornaliere. L' SO_2 , ad esempio, legato principalmente al riscaldamento degli edifici, presenta un picco nel periodo invernale, mentre l'ozono, connesso allo smog fotochimico, raggiunge le sue massime concentrazioni nella stagione estiva e nelle ore centrali della giornata. NO_x e CO non presentano una spiccata stagionalità, ma hanno una notevole variazione giornaliera, essendo tipicamente dipendenti dal traffico veicolare.

E' da rilevare che negli ultimi decenni la composizione dell'atmosfera nelle aree urbane è andata sensibilmente mutando in relazione ai suoi tradizionali inquinanti. Sono progressivamente diminuite le concentrazioni di SO_2 grazie ai cambiamenti intervenuti nel tipo e nella qualità dei combustibili utilizzati e all'introduzione di normative più restrittive sugli standard di emissione. In particolare, nel riscaldamento civile, il carbone e le nafta, che ancora negli anni '60 costituivano oltre l'80% dei combustibili, sono stati quasi completamente sostituiti da oli combustibili a basso tenore di zolfo e, negli ultimi anni, da metano. D'altra parte sono in aumento gli ossidi di azoto, che vengono generati da tutti i tipi di combustione, indipendentemente dal combustibile utilizzato e in funzione della temperatura di combustione. Paradossalmente, una delle cause di questo fenomeno va ricercata, oltre che nell'aumento del traffico veicolare, proprio nella progressiva metanizzazione degli impianti di

riscaldamento domestico. Il metano, infatti, se per molti aspetti è certamente il più “pulito” dei combustibili, è anche quello che produce la massima quantità di ossidi di azoto, essendo caratterizzato da un'elevata temperatura di combustione. L'incremento degli ossidi di azoto è a sua volta responsabile dell'aumento delle concentrazioni in atmosfera dell'ozono che ormai in molte città, specie nel periodo estivo, superano frequentemente le soglie di tolleranza. Molto variabili sono, invece, le concentrazioni del PTS, specie del PM10, legate alle condizioni meteorologiche.

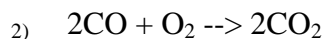
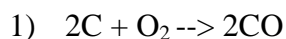
1.5 INQUINANTI PRIMARI

1.5.1 Monossido di carbonio

Il monossido di carbonio viene prodotto nel corso di numerosi processi geofisici e biologici come attività vulcaniche, emissioni di gas, scariche elettriche nel corso di temporali, germinazione di semi e sviluppo di piante. Si ritiene tuttavia che la parte di CO dovuta a questi processi sia relativamente piccola soprattutto nelle zone urbane. L'apporto di CO nell'atmosfera come risultato delle attività umane, invece, è tutt'altro che trascurabile ed è connessa a vari processi di combustione. Una delle principali sorgenti sono i motori a scoppio, ma il CO può essere liberato anche da alcune industrie, come le centrali termoelettriche e le acciaierie.

Processi di formazione:

a) Combustione incompleta (carenza di ossigeno) di carbonio e di componenti contenenti carbonio che può essere schematizzata come segue:



La 1 è 10 volte più rapida della 2.

b) Reazione ad elevata temperatura tra CO₂ e materiali contenenti carbonio (altoforno) con dissociazione ad elevata temperatura di CO₂ in CO e O.

Gli effetti indotti dal CO sulla vegetazione sono trascurabili, mentre gli effetti sull'uomo e su gran parte degli altri animali appaiono particolarmente gravi. Questa molecola è infatti assorbita a livello polmonare dove si combina irreversibilmente con l'emoglobina del sangue per la quale presenta una affinità 240 volte superiore a quella dell'ossigeno; un suo incremento è quindi molto dannoso in quanto inibisce la capacità di trasporto dell'ossigeno ai tessuti con conseguente danneggiamento degli stessi.

1.5.2 Ossidi di azoto

I principali NO_x presenti nell'atmosfera sono il monossido di azoto (NO) e il biossido di azoto (NO_2). La maggior parte degli NO_x introdotta nell'atmosfera è sotto forma di NO. Si stima che la quantità prodotta dalle attività umane sia circa 1/10 di quella naturale. Il problema dell'inquinamento da NO_x generato dalle attività umane è prevalentemente legato alla distribuzione: le sorgenti naturali distribuiscono uniformemente NO_x nell'atmosfera, mentre le sorgenti alimentate dall'uomo provocano alte concentrazioni in aree ristrette. Ad esempio, la concentrazione di NO_x sulle città è 10-100 volte maggiore che al di fuori di esse. In natura gli NO_x vengono emessi principalmente dall'attività batterica. L'uomo produce NO_x in diversi processi di combustione delle industrie, del riscaldamento domestico e, soprattutto, degli autoveicoli, la cui entità varia secondo le caratteristiche dei propulsori e delle modalità di utilizzo.

Gli effetti tossici riguardano soprattutto l'apparato respiratorio; si possono infatti riscontrare, in caso di concentrazioni anomale in atmosfera, alterazioni delle funzioni respiratorie, bronchiti, tracheiti, forme di allergia e irritazione. Gli NO_x contribuiscono inoltre alla formazione delle piogge acide e dello smog fotochimico e, favorendo l'accumulo di nitrati al suolo, possono provocare alterazioni degli equilibri ambientali nelle acque naturali.

1.5.3 Ossidi di zolfo

I principali SO_x presenti nell'atmosfera sono anidride solforosa (SO_2) e anidride solforica (SO_3). Nell'atmosfera è presente poca SO, in quanto esse tende a combinarsi con il vapore acqueo con conseguente produzione di acido solforico (H_2SO_4). La natura produce circa i 2/5 della quantità complessiva di ossidi di zolfo, principalmente tramite processi biochimici ed attività vulcaniche, ma la distribuzione appare abbastanza uniforme, mentre le sorgenti legate all'azione dell'uomo risultano concentrate in aree urbane relativamente ristrette, principalmente riconducibili agli impianti di combustione fissi, ove si impiegano carbone ed oli combustibili. In misura più limitata contribuiscono gli impianti di gasolio anche per le limitazioni imposte dalla legge alla concentrazione di zolfo in tale combustibile. Il traffico contribuisce solo in piccola parte.

Gli SO_x sono coinvolti con gli NO_x nella formazione delle piogge acide. Sono inoltre gas con un alto grado di tossicità per gli organismi viventi e responsabili di casi di tumori nell'uomo. L'uomo libera grandi quantità di SO_x principalmente da diversi processi di combustione industriale.

1.5.4 Idrocarburi

Si tratta di composti che contengono solo gli elementi idrogeno (H) e carbonio (C). Quelli connessi all'inquinamento sono una sessantina ed hanno un numero di atomi di carbonio minore o uguale a 12 e la caratteristica di trovarsi allo stato gassoso alla temperatura ambiente. La quantità maggiore di idrocarburi viene prodotta dalla decomposizione di materia organica sulla superficie terrestre (fermentazione batterica), ma le alte concentrazioni riscontrabili nelle aree urbane sono dovute prevalentemente al traffico veicolare.

Per quanto riguarda i danni diretti, un'azione nociva sulla salute dell'uomo e di altri animali è stata evidenziata per diversi idrocarburi aromatici. Lo xilene, ad esempio, può avere effetti neurotossici, mentre il benzene, anche a basse concentrazioni, è considerato cancerogeno dalle maggiori Agenzie internazionali; esposizioni persistenti possono provocare anemie, effetti patologici nel sangue, aberrazioni cromosomiche e diversi tipi di tumore.

Una parte considerevole degli effetti nocivi dell'inquinamento da idrocarburi non è provocata direttamente dagli idrocarburi stessi, ma dai prodotti delle reazioni fotochimiche in cui sono coinvolti.

Tali prodotti, definiti nel loro complesso “ossidanti fotochimici”, comprendono composti come l'ozono (O_3) e i perossiacetilnitrati (PAN) e sono il risultato dell'interferenza degli idrocarburi nel ciclo fotolitico dell'NO. Tale ciclo viene modificato in presenza di idrocarburi, a causa della loro capacità di reagire con gli atomi di ossigeno (O) per formare un composto intermedio molto reattivo detto radicale idrocarburo libero (RO_2).

I radicali liberi reagiscono rapidamente con NO per produrre NO_2 . Ne segue che, una volta trattato l'NO dal ciclo, il normale processo di rimozione di O non si svolge più e la concentrazione di tale sostanza negli strati più bassi dell'atmosfera aumenta.

I radicali liberi, inoltre, possono reagire anche con NO_2 e O per dare perossiacetilnitrati (PAN), e con O_2 e altri idrocarburi per formare ulteriori composti organici indesiderati. La miscela di prodotti risultante è chiamata “smog fotochimico”; esso, oltre ad avere effetti nocivi sulla vegetazione e sulla salute dell'uomo, è implicato nei processi di acidificazione e nell'incremento dell'effetto serra.

1.5.5 Particolati

Si tratta di goccioline liquide e di particelle solide volatili con dimensioni comprese tra $0,0002 \mu$ e 500μ . Tali particelle rimangono allo stato di sospensione per periodi varianti da pochi secondi a molti mesi. La durata della sospensione dipende dalla velocità di sedimentazione, che a sua volta dipende dalle dimensioni, dalla densità delle particelle e dalla turbolenza dell'aria.

I particolati, oltre ad essere prodotti da processi naturali come le eruzioni vulcaniche o l'azione del vento sul terreno, possono avere origine da lavorazioni industriali (cantieri edili, fonderie, cementifici), da lavorazioni agricole (aratura, semina), dall'usura dell'asfalto, dei pneumatici, dei freni (amianto) e delle frizioni nonché dagli scarichi degli autoveicoli.

Le particelle sospese possono causare irritazioni e allergie alle mucose dell'uomo e di altri organismi animali, ma possono anche fungere da nuclei di condensazione per inquinanti atmosferici gassosi che vengono così concentrati nel particolato. Le particelle più grosse ($> 10 \mu\text{m}$) sono di norma le meno pericolose in quanto si fermano nel naso e nella gola.

Tra i residui della combustione, molto pericolose per la salute risultano le ceneri costituite da ossidi di metalli pesanti, quali cadmio, rame, piombo e vanadio. Molti metalli pesanti, infatti, oltre a poter penetrare direttamente negli organismi tramite la respirazione, possono essere assunti anche attraverso l'alimentazione, per la nota capacità di accumularsi nei tessuti di piante e animali.

La presenza di particolati nell'aria può inoltre essere responsabile di fenomeni come la riduzione della visibilità e l'accelerazione della formazione di nubi, pioggia, neve (agendo come nuclei di condensazione).

1.6 GLI STUDI PRECEDENTI

L'associazione tra inquinamento atmosferico e stato di salute è ben documentata (in particolare per quanto riguarda la mortalità) e molti elementi indicano che sia di natura causale. L'impatto sulla salute è sicuramente rilevante, ma diverse difficoltà metodologiche rendono poco precise le stime del numero di casi di malattie o di morti attribuibili all'inquinamento atmosferico. Nel caso degli effetti acuti, è complessa la discriminazione tra eventi morbosi causati *ab initio* da episodi di inquinamento ed eventi di cui gli episodi di inquinamento hanno "soltanto" anticipato il manifestarsi (*harvesting effect*). In un paese come l'Italia, comunque, le morti attribuibili a episodi di inquinamento sono stimabili nell'ordine di molte centinaia o più probabilmente di qualche migliaio ogni anno.

1.6.1 Il MISA-1

Il MISA-1 è uno studio effettuato alcuni anni fa e pubblicato in un supplemento di *Epidemiologia & Prevenzione*. Per la prima volta in Italia, MISA-1 ha prodotto stime esaustive e standardizzate degli effetti a breve termine dell'inquinamento atmosferico sulla salute relative agli anni Novanta, riguardante i residenti in 8 città (Torino, Milano, Verona, Ravenna, Bologna, Firenze, Roma e Palermo). Esso si è avvalso della disponibilità di due serie temporali di dati giornalieri sui livelli di

inquinamento atmosferico e sulla frequenza di esiti di interesse sanitario nei giorni immediatamente successivi. Questi ultimi sono stati analizzati in relazione ai primi. Gli esiti considerati sono derivati da due fonti di statistiche sanitarie correnti: la mortalità per causa e i ricoveri ospedalieri. MISA-1 ha considerato tre stime di mortalità (l'insieme delle cause naturali, le malattie dell'apparato cardiovascolare e le malattie dell'apparato respiratorio) e due stime di frequenza dei ricoveri (malattie cardiovascolari e malattie respiratorie). Gli inquinanti la cui concentrazione è stata posta in relazione agli eventi sanitari sono stati SO₂, NO₂, CO, PM10 e ozono (quest'ultimo limitatamente ai mesi estivi).

In MISA-1, la produzione dei dati ambientali e sanitari, la verifica della loro qualità e lo sviluppo e messa in opera di sofisticati metodi statistici di metanalisi si sono potuti realizzare grazie ad un impegno multicentrico e multidisciplinare, al quale hanno partecipato ricercatori e operatori universitari, del CNR, del servizio sanitario nazionale e delle agenzie ambientali regionali. L'originalità del progetto è consistita nella produzione, in ciascuna città partecipante allo studio, di dati raccolti e analizzati in modo standardizzato e quindi paragonabile, adatti a essere immessi in una metanalisi complessiva. Particolarmente impegnativa è stata la procedura di standardizzazione delle stime della concentrazione e distribuzione dei singoli inquinanti (e quindi delle esposizioni dei residenti in ciascuna città). Queste stime sono suscettibili di distorsioni, a causa dell'incerta rappresentatività, del numero limitato di stazioni di rilevazione e delle imprecisioni dello strumento di misura. In MISA-1, le determinazioni ambientali giornaliere sono state usate retrospettivamente e il loro protocollo (periodicità, controllo di qualità) non è risultato omogeneo in tutte le città incluse nello studio. Attenzione è stata rivolta alle misurazioni della componente particolata inferiore a 10 micron di diametro (PM10) per la quale l'associazione con gli effetti negativi per la salute è relativamente condivisa e corredata di elementi di sufficiente plausibilità biologica dei meccanismi d'azione. Tra le città incluse nello studio MISA-1, le stime relative al PM10 si sono basate su dati ottenuti con metodi diversi e di diversa rappresentatività: l'unica città per la quale erano disponibili misure effettuate con il metodo gravimetrico a pesata manuale era Torino, che per il periodo in studio disponeva però della sola misura del particolato totale sospeso (PTS). Solo per due città (Firenze e Palermo) erano disponibili misure di PM10. Per ottenere una stima del PM10 sono stati applicati ai dati disponibili di polveri totali sospese alcuni fattori di conversione impiegata per il rilevamento.

Nonostante le carenze appena presentate, le associazioni tra inquinamento ambientale ed eventi negativi sulla salute dei residenti nelle 8 aree urbane stimate nell'ambito dello studio MISA-1 sono risultate largamente in accordo con quanto osservato in altri studi internazionali, europei e nordamericani e riportate ripetutamente in sede internazionale.

1.6.2 Il MISA-2

Lo studio denominato MISA-2 è l'estensione dello studio precedentemente descritto.

La metanalisi italiana degli studi sugli effetti a breve termine dell'inquinamento atmosferico per il periodo 1996-2002 (MISA-2) è uno studio pianificato su 15 città italiane, scelte tra i principali centri urbani del paese, per un totale di nove milioni e centomila abitanti al censimento 2001.

E' stata considerata la mortalità per tutte le cause naturali (362.254 decessi), per cause respiratorie (22.317) e per cause cardiovascolari (146.830) raccolta tramite i Registri di mortalità regionali o delle Aziende sanitarie, e sono stati analizzati i ricoveri ospedalieri non programmati per cause respiratorie (278.028 ricoveri), cardiache (455.540) e cerebrovascolari (60.960) selezionati tramite una procedura uniforme a partire dagli archivi regionali o delle aziende ospedaliere (le percentuali di esclusioni oscillano sul totale dei ricoveri dal 45% al 82%). Per ogni città si hanno in media serie giornaliere di 4,3 anni, con un minimo di tre anni consecutivi.

Le serie delle concentrazioni giornaliere degli inquinanti (SO₂, NO₂, CO, PM₁₀, O₃) provengono dalle reti di monitoraggio della qualità dell'aria urbana delle Agenzie regionali per la protezione ambientale, delle Province o dei Comuni interessati. La selezione dei monitor è stata condotta da un gruppo di lavoro comprendente i responsabili delle reti secondo criteri di rappresentatività dell'esposizione della popolazione generale a ogni specifico inquinante, privilegiando stazioni di monitoraggio non al bordo di strade a traffico elevato, garantendo un numero di centraline per ogni città e inquinante intorno a 3-4 e considerando la continuità delle misurazioni nel periodo considerato (almeno il 75% di dati orari validi). Nella costruzione della serie giornaliera si è mediato sulle centraline selezionate e si sono imputati i valori mancanti assumendo la proporzionalità tra centraline dei valori di concentrazione.

Si è osservato un aumento della mortalità giornaliera per tutte le cause naturali collegato ad incrementi della concentrazione degli inquinanti atmosferici studiati. Tale rilievo riguarda anche la mortalità per cause cardiovascolari e la ricoverabilità per malattie cardiache e respiratorie. Non vi sono differenze per genere. Vi è una debole evidenza che vi siano effetti maggiori nelle classi di età estreme (tra 0-24 mesi e sopra gli 85 anni). Vi è una forte evidenza che, per ciascuno degli inquinanti, le variazioni di percentuali di mortalità e ricoveri ospedalieri siano più elevate nella stagione calda. Le associazioni tra concentrazioni ambientali di inquinanti ed effetti sanitari in studio si manifestano con un ritardo variabile a seconda dell'inquinante e dell'esito considerato. Per la mortalità, l'aumento di rischio si manifesta entro pochi giorni dal picco di inquinamento (2 giorni per il PM₁₀, fino a 4 giorni per NO₂ e CO). L'anticipazione del decesso è contenuta e si verifica entro 2 settimane. L'effetto cumulativo a 15 giorni mostra rischi maggiori per le cause respiratorie.

Nella metaregressione, le variazioni percentuali della mortalità e dei ricoveri ospedalieri in funzione degli incrementi di concentrazione di PM10 sono più elevate nelle città con una mortalità per tutte le cause più alta e un rapporto PM10/NO₂ più basso. Consistente è la differenza tra città dell'effetto del PM10 legata alla temperatura, presente negli indicatori di mortalità e ricovero ospedaliero e anche nei modelli bi-pollutant. Questa modificazione di effetto, con effetti maggiori quanto maggiore è la temperatura media della città, tende ad essere più presente nei mesi invernali.

L'impatto complessivo sulla mortalità per tutte le cause naturali è compreso tra l'1,4% ed il 4,1% per gli inquinanti gassosi (NO₂ e CO). Molto più imprecisa è la valutazione per il PM10, date le differenze delle stime di effetto tra le città in studio (0,1%-3,3%). I limiti fissati dalle direttive europee per il 2010, se applicati, avrebbero contribuito ad evitare 900 decessi (1,4%) per il PM10 e 1400 decessi per l'NO₂ (1,7%) nell'insieme delle città considerate, usando le stime città-specifiche a posteriori.

1.6.3 Confronti internazionali

La metanalisi italiana MISA si aggiunge ad altri studi europei e nordamericani programmati in modo tale da includere nelle analisi finali tutte le città individuate a priori, eliminando così eventuali *publication bias*. Fino al 1996 i principali studi a cui si faceva riferimento erano il *Six cities study*, lo studio sulla coorte dell'American Cancer Society (Pope CA, 1995) e APHEA (APHEA project, 1996). Successivamente, molti nuovi progetti sono stati finanziati da agenzie nazionali e internazionali, tra cui NMMAPS (Health effect Institute, 2003) negli USA e APHEA-2 (Health effect Institute, 2003) in Europa, e hanno grandemente contribuito a quantificare gli effetti acuti degli inquinanti ambientali, a valutare la forma della relazione dose-risposta, a studiare i fattori che regolano la variabilità nelle stime di rischio, ad affrontare le problematiche relative al cosiddetto *harvesting*. Nell'ambito delle iniziative multicentriche, devono inoltre essere menzionati gli studi di metanalisi nazionali condotti in Canada (Burnett R.T., 1998), Cina (Aunan K., 2004), Corea (Lee J.T., 2000), Francia (Zeghnoun A. 2001), Germania (Wichmann H. E., 2000), Giappone (Omori Y., 2000), Olanda (Hoek G., 2000) e Spagna (Ballester Diez F., 1999) e gli studi condotti sulle grandi città in Messico (Ballester F., 2003) e Brasile (Saez M., 2002).

La quantificazione degli effetti si è rilevata tuttavia più complessa del previsto a causa delle difficoltà nel controllo del confondimento stagionale relativo alle variabili meteorologiche in questo tipo di studi. Dopo i problemi di tipo computazionale emersi nel corso del 2002, nel maggio 2003 è stata pubblicata la rianalisi di una serie selezionata di studi (ventuno) a cura dell'Health Effects Institute insieme alla rianalisi dello studio americano NMMAPS.

Lo studio MISA ha pubblicato la rianalisi di MISA-1 nel numero di Dicembre 2002 di *Epidemiologia e Prevenzione*. In sintesi, lo schema sottostante riassume il confronto tra i risultati di MISA 1996-2002 e i risultati a essi comparabili, basati su modelli lineari generalizzati e spline naturali, della metanalisi europea e statunitense riguardanti l'effetto del PM10 (variazione percentuale per incrementi di $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ della concentrazione dell'inquinante) sulla mortalità generale:

	MISA (Italia) 11 città	APHEA-2 (Europa) 21 città	NMMAPS (Stai Uniti) 100 città
Vp PM10	0.31	0.41	0.19
PM10 mediano	46.2	40.0	27.1
Temp. mediana	15.5	13-15	14.5
Lag	0-1	0-1	1
Periodo	1996-2002	1990-1997	1987-2000

Tabella 1.2: confronto tra i vari studi comparabili sull'inquinamento

Gli effetti del PM10 osservati nelle città italiane della presente metanalisi sono tendenzialmente superiori a quelli delle città dello studio statunitense NMMAPS. Non si dimentichi tuttavia che vi sono notevoli variazioni tra regioni americane ed effetti stagionali molto marcati. Non riteniamo pertanto che vi siano sostanziali differenze nelle stime di effetto.

CAPITOLO 2

I DATI AMBIENTALI

2.1 INDICATORI DI INQUINAMENTO ATMOSFERICO

Le recenti direttive UE sulla qualità dell'aria identificano SO₂, NO₂, PM10, CO e ozono (oltre a benzene e piombo) come indicatori di uso preferenziale per le valutazioni di impatto sulla salute. La serie finale di dati ambientali è stata calcolata in due passi successivi. Nel primo, a partire dai dati orari (per SO₂, NO₂, CO e O₃), sono stati ricavati, per ciascuna stazione di rilevamento, gli indicatori giornalieri prescelti. Per il PM10 si ottiene direttamente un valore unico giornaliero che esprime la concentrazione media nell'arco delle 24 ore. Nel secondo passo, per ciascun indicatore, è stato stimato il valore giornaliero cittadino come media aritmetica dei valori delle centraline disponibili nel primo passo.

	Direttive UE	Indicatori usati
SO ₂	1h, 24h	24h
NO, NO ₂	1h, 1 anno	24h
PM10	24h, 1 anno	24h
CO	8h	8h
Ozono	1h, 8h	8h

Tabella 2.1: Direttive UE sulla rilevazione degli inquinanti e indicatori usati nella nostra indagine

2.2 COSTRUZIONE DELLE SERIE GIORNALIERE: COMPLETEZZA DEI DATI

Nella costruzione delle serie giornaliere per ogni città sono stati utilizzati i seguenti criteri:

- sono state escluse le stazioni con più del 25% dei dati mancanti sull'intero periodo di studio;
 - per ogni stazione, il dato giornaliero è stato considerato mancante quando mancava più del 25% dei dati orari (per NO₂ e SO₂) oppure (per CO e PM10) più del 25% delle medie mobili calcolate sulle 8 ore, specificando che per ogni intervallo di 8 ore era necessario almeno il 75% dei dati orari.
- Per ogni centralina selezionata, i dati giornalieri eventualmente mancanti sono stati imputati seguendo una semplice procedura che utilizza i valori rilevati nello stesso giorno dalle altre stazioni di monitoraggio selezionate nella stessa città. Questa procedura è basata sulla seguente equazione

$$y_{i,c}^{mis} = \bar{y}_c + \hat{b}(y_{i,c}^- - \bar{y}_c^-)$$

dove y indica i valori di concentrazione (*mis* per i valori mancanti), c indica la centralina di cui vogliamo imputare il dato giornaliero mancante, i indica il giorno e c indica centraline diverse da quelle con dato mancante \bar{y}_c e \bar{y}_c^- indicano le medie annuali per le centraline c e le altre, rispettivamente.

Tale equazione deriva a sua volta dalla specificazione della retta di calibrazione per le misurazioni ottenute dalla centralina c rispetto alle concentrazioni rilevate dalle altre centraline

$$y_{i,c} = a + by_{i,c}^- + \varepsilon_{i,c}$$

Tenendo conto che

$$\hat{a} = \bar{y}_c - \hat{b}\bar{y}_c^-$$

e stimando b dalle medie annuali (cioè assumendo che l'intercetta della retta di calibrazione sia zero), abbiamo

$$\hat{b} = \frac{\bar{y}_c}{\bar{y}_c^-}$$

e di conseguenza il valore mancante per la centralina c può essere stimato dalla seguente espressione

$$y_{i,c}^{mis} = \frac{\bar{y}_c}{\bar{y}_c^-} y_{i,c}^-$$

Nel caso vi fossero ulteriori dati mancanti, questi sono stati inseriti facendo la media tra il settimo giorno precedente e il settimo giorno successivo alla rilevazione mancante.

Se anche dopo questa analisi vi sono ancora rilevazioni non presenti, allora il dato è stato posto definitivamente mancante.

2.3 I DATI METEREOLGICI

La raccolta e la qualità dei dati meteorologici (temperatura e umidità relativa) non ha posto problemi particolari nell'ambito dello studio. La confrontabilità e l'attendibilità di questi dati, per i quali si dispone di lunghe serie storiche e di procedure internazionali di misura e di raccolta valide e standardizzate, è buona. Le medie nel periodo in studio non si presentano a commenti particolari: è ben nota la correlazione tra latitudine e temperatura e la maggiore piovosità del Nord-Est rispetto al Nord-Ovest e di questi rispetto al Centro e al Sud. Ai fini della metanalisi, l'importanza di questi parametri è legata agli andamenti a medio termine (stagionali) delle serie giornaliere alla loro associazione con il numero di eventi sanitari che si registrano in specifici sottogruppi di popolazione.

2.4 LE CENTRALINE

In uno studio precedente simile a questo erano state utilizzate quattro centraline per il rilevamento dei dati, dislocate in alcuni rioni di Padova: Arcella, Mandria, Ospedale e Zona industriale.

In questo studio sono state disponibili 2 centraline: Mandria e Arcella

Vengono ora riportate in una tabella le variabili rilevate nel corso degli anni dalle seguenti centraline

	2002	2003	2004	2005
SO ₂	Rilevato	Rilevato	Rilevato	Rilevato
NO ₂	Rilevato	Rilevato	Rilevato	Rilevato
CO	Rilevato	Rilevato	Rilevato	Rilevato
PM ₁₀	Rilevato	Rilevato	Rilevato	Rilevato
O ₃	Rilevato	Rilevato	Rilevato	Rilevato
Temperatura	Rilevato	Rilevato	Rilevato	Rilevato
Pressione	Rilevato	Rilevato	Rilevato	Rilevato
Umidità	Rilevato	Rilevato	Rilevato	Rilevato

Tabella 2.2: Variabili rilevate dalla centralina situata in zona Mandria dal 2002 al 2005

	2002	2003	2004	2005
SO2	NON Rilevato	NON Rilevato	Rilevato	Rilevato
NO2	Rilevato	Rilevato	Rilevato	Rilevato
CO	Rilevato	Rilevato	Rilevato	Rilevato
PM10	Rilevato	Rilevato	Rilevato	Rilevato
O3	Rilevato	Rilevato	Rilevato	Rilevato
Temperatura	NON Rilevato	Rilevato	Rilevato	Rilevato
Pressione	NON Rilevato	NON Rilevato	NON Rilevato	NON Rilevato
Umidità	NON Rilevato	Rilevato	Rilevato	Rilevato

Tabella 2.3: Variabili rilevate dalla centralina situata in zona Arcella dal 2002 al 2005

Vediamo che per la centralina situata in zona Mandria sono presenti tutte le variabili e per tutti gli anni, mentre per la centralina situata in zona Arcella abbiamo sempre più rilevazione di diverse variabili nel corso dell'anno, ma nemmeno nel corso del 2005 riusciamo ad averle tutte.

2.5 LA CITTA' DI PADOVA

La città di Padova viene suddivisa in 6 quartieri:

- Quartiere 1 centro – colore azzurro
- Quartiere 2 Nord (Arcella - San Carlo - Pontevigodarzere) – colore rosso
- Quartiere 3 Est (Brenta-Venezia, Forcellini-Camin) – colore giallo
- Quartiere 4 Sud-Est (S. Croce – S. Osvaldo, Bassanello – Voltabarozzo) - colore viola
- Quartiere 5 Sud-Ovest (Armistizio – Savonarola) – colore blu
- Quartiere 6 Ovest (bretella – Valsugana) – colore verde



Tabella 2.4: La città di Padova e i relativi quartieri

Nella tabella seguente viene riportata la popolazione dal 2000 al 2003 suddivisa per quartiere

Circoscrizioni	2000	2001	2002	2003	2004
1 Centro	27340	27289	27405	27339	27232
2 Nord	38365	37998	37943	38044	38044
3 Est	38697	38521	38698	38915	39139
4 Sud-Est	47125	47097	47171	47204	47202
5 Sud-Ovest	28670	28586	28556	28761	28641
6 Ovest	29393	29580	29805	30237	30535
Senza fissa dimora	56	54	43	36	28
Totale	209641	209125	209621	210536	210821

Tabella 2.5: La popolazione di Padova e dei relativi quartieri

Da questa tabella si conclude che dal 2001 la popolazione residente a Padova continua ad aumentare ogni anno. Il quartiere più abitato è stato e rimane tuttora il quartiere Sud-Est, mentre quello meno

abitato è il centro. Il quartiere invece che ha avuto il maggior numero di nuovi residenti dal 2000 è quello Ovest. Da notare anche come coloro che non hanno fissa dimora sono diminuiti del 50% in 5 anni.

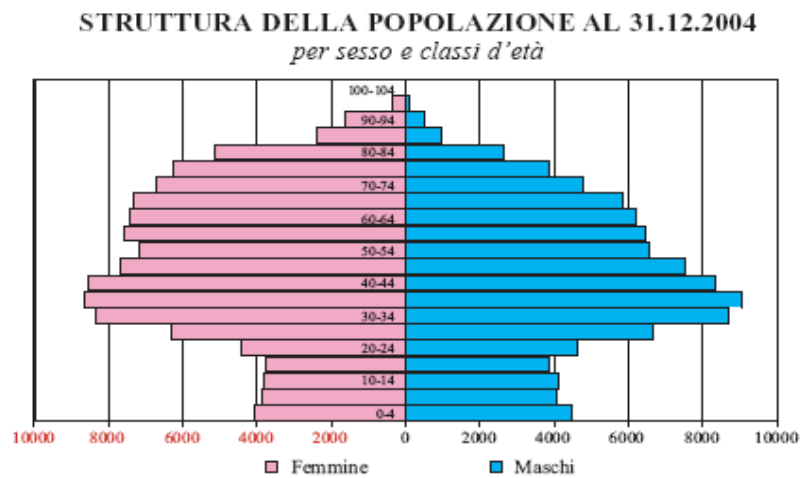


Tabella 2.6: Struttura della popolazione di Padova divisa per sesso e classi di età nel 2004

Dalla tabella 2.6 invece si può concludere che a Padova vi siano più femmine che maschi, ma che questi hanno una età media più giovane. Notiamo infatti che se dai 15 ai 69 anni il grafico è grossomodo simile, abbiamo una maggiore popolazione maschile tra i 0 e i 14 anni, e una maggiore popolazione femminile tra i 70 e oltre.

POPOLAZIONE					
INDICATORI DI STRUTTURA DELLA POPOLAZIONE					
	2000	2001	2002	2003	2004
Indice di vecchiaia	198,87	199,45	198,14	199,39	199,11
Indice di dipendenza	48,53	49,59	50,66	51,59	52,89
Età media	44,42	44,65	44,82	44,92	45,01
Età media maschi	42,02	42,25	42,43	42,55	42,61
Età media femmine	46,57	46,79	46,95	47,04	47,13
Tasso di natalità	7,65	8,22	7,84	8,73	8,99
Tasso di mortalità	11,37	11,13	10,90	11,39	10,84
Numerosità media famiglie	2,25	2,23*	2,20	2,18	2,16

**al 20/10/2001*

Tabella 2.7: Indicatori della struttura della popolazione dal 2000 al 2004

Vediamo infatti anche dalla tabella 2.7 come l'età media dei maschi rimanga nel corso degli anni di 4,5 anni più giovane rispetto a quella femminile. Da questo tabella si mostra anche come il tasso di natalità, in incremento dal 2000, rimanga sempre minore al tasso di mortalità, il che indica che a Padova abbiamo più popolazione che muore rispetto a quella che nasce.

Nel paragrafo successivo si analizzeranno due quartieri, quelli dove sono posizionate le nostre centraline per la rilevazione delle variabili.

2.5.1 Il quartiere 5 Sud-Ovest e la Mandria

Il territorio del quartiere 5 Sud-Ovest Savonarola Armistizio confina a Nord-Ovest con il quartiere 6, a Nord con il quartiere 2, a Est con i quartieri 1 e 4 e con il comune di Albignasego, a Sud-Ovest con il comune di Abano Terme e a Ovest con il comune di Selvazzano Dentro. Dal punto di vista urbanistico, il quartiere si configura come l'aggregazione di cinque unità urbane: Porta Trento Nord, Porta Trento Sud, San Giuseppe, Sacra Famiglia e Mandria.

La Mandria è la zona sud del territorio, caratterizzata da una scarsa densità demografica. Qui si trova una vasta zona agricola attraversata dal fiume Bacchiglione.

Al 31.12.2004 la popolazione residente nel quartiere risulta di 28641 persone (13214 maschi e 15427 femmine, pari al 13,58% dell'intera popolazione del comune di Padova. Al 31.12.2003 la popolazione era di 28761 persone con un aumento di 205 unità rispetto al 2002. Si tratta del primo saldo positivo dopo oltre 10 anni di calo.

Mettendo in relazione le nascite e i decessi dell'anno 2004 con la popolazione del quartiere notiamo che ci sono stati 7,79 nati ogni 1000 abitanti, mentre si sono registrati 15,19 morti ogni 1000 abitanti.

Considerando l'ammontare della popolazione nel 2004 per alcune fasce di età, il 24,54% dell'intera popolazione del quartiere è rappresentato dai 7029 residenti con 65 anni e oltre. Nel 2004 il rapporto tra popolazione di 65 anni e oltre e i giovani di età inferiore ai 15 è pari a 205,29 anziani per 100 giovani. La presenza di anziani è pertanto doppia rispetto a quella dei giovani.

Territorio km ²	14,05
% aree verdi sul territorio	15,13
Lunghezza complessiva strade Km	105
Lunghezza complessiva piste ciclabili Km	7,5

Tabella 2.8: Informazioni sul quartiere 5 Sud-Ovest

POPOLAZIONE RESIDENTE NEL QUARTIERE	2004	2003	2002
Popolazione al 1 Gennaio	28761	28556	28586
Popolazione al 31 Dicembre	28641	28761	28556
Maschi	13214	13291	13266
Femmine	15427	15470	15290

Tabella 2.9: Popolazione del quartiere 5 Sud-Ovest dal 2002 al 2004

2.5.2 Il quartiere 2 Nord e l'Arcella

Il territori del quartiere 2 Nord si estende su una superficie di 6,71Km² ed è delimitato a Nord dal fiume Brenta, ad eccezione di due piccole appendici, a Sud dalla linea ferroviaria Venezia-Milano, a Est da via del plebiscito, via del Bigolo e via S.Manca e a Ovest dalla linea ferroviaria Padova-Castelfranco.

E' contraddistinto da quattro unità urbane: Arcella, San Bellino, San Carlo e Pontevigodarzere.

Il quartiere ha un'alta densità di popolazione, superiore agli altri quartieri, e conta numerose abitazioni. I dati rilevano un generale decremento della popolazione che è passata da 44300 abitanti nel 1989 a 38044 nel 2004, con una densità di 5670 abitanti per km².

La popolazione è in prevalenza femminile (204497 femmine su 17995 maschi). I residenti di età superiore ai 65 anni rappresentano il 22,40% della popolazione. Nel quartiere si è rilevato che su 100 giovani di età inferiore ai 15 anni vivono 196,37 anziani di età superiore ai 65 anni (dati riferiti al 2003).

Territorio km ²	6,71
% aree verdi sul territorio	7,23
Lunghezza complessiva strade Km	115
Lunghezza complessiva piste ciclabili Km	11,25

Tabella 2.10: Informazioni generali sul quartiere 5 Sud-Ovest

POPOLAZIONE RESIDENTE NEL QUARTIERE	2004	2003	2002
Popolazione al 1 Gennaio	38044	37943	37998
Popolazione al 31 Dicembre	38044	38044	37943
Maschi	17995	17998	17946
Femmine	20049	20046	19997

Tabella 2.10: Popolazione del quartiere 2 Nord dal 2002 al 2004

CAPITOLO 3

ANALISI GRAFICHE E STUDIO DELLA CORRELAZIONE

3.1 I DATI

Vengono ora riportate le principali statistiche descrittive e analisi grafiche relative agli inquinanti e agli agenti atmosferici presi in considerazione.

Le informazioni relative alle variabili oggetto di studio sono state raccolte nell'arco di tempo compreso tra l' 1 gennaio 2002 e il 31 dicembre 2005.

In particolare, per la compilazione del dataset di partenza, sono state seguite le indicazioni formulate sulla base dello studio MISA-2. Esse prevedevano la preparazione di dataset contenenti in ogni colonna l'indicazione della variabile presa in considerazione, rilevata giornalmente.

Il dataset contenente i dati ambientali, relativi allo studio affrontato in questa sede, è costituito da una matrice di 1462 righe per 25 colonne.

Le variabili oggetto di studio sono:

- I diversi tipi di inquinanti, ai quali verrà dato in questo capitolo una particolare importanza. Essi sono:
 - SO₂ – anidride solforosa
 - NO₂ – biossido di azoto
 - CO – monossido di carbonio
 - PM10 – polveri sospese con diametro maggiore o uguale ai 10 µm
 - O₃ – ozono
- I vari fattori confondenti sono invece:
 - giorno della settimana
 - festività
 - temperatura
 - umidità
 - pressione

L'inquinante O₃ viene dicotomizzato a seconda che venga rilevato durante tutto il corso dell'anno (O₃) oppure nell'arco di tempo che va dal 1 maggio al 30 settembre (O₃ estivo).

Vengono qui riportate le caratteristiche principali degli inquinanti oggetti di studio:

	CO (mg/m ³)	NO ₂ (µg/m ³)	SO ₂ (µg/m ³)	PM10 (µg/m ³)	O ₃ (µg/m ³)	O ₃ estivo (µg/m ³)
Media	1.764	54.05	3.8	57.94	88.29	119.6
Minimo	0.500	16.00	0.000	3.00	14.00	34.0
1°quartile	1.00	42.00	2.000	34.00	56.00	97.0
Mediana	1.400	52.00	3.000	49.00	85.00	116.0
3°quartile	2.300	64.00	5.000	74.00	114.00	140.0
Massimo	7.300	138.00	22.000	213.00	240.00	240.0

Tabella 3.1: caratteristiche principali degli inquinanti

Ora invece vengono elencate le caratteristiche dei principali agenti confondenti:

	HUM (mBa)	Temperatura (°C)	Pressione (MBa)
Media	75.83	13.29	1015
Minimo	35.00	-4.00	969
1°quartile	65.00	6.00	1012
Mediana	76.00	13.00	1015
3°quartile	88.00	21.00	1019
Massimo	99.00	33.00	1032

Tabella 3.2: caratteristiche principali degli agenti atmosferici

3.2 ANALISI GRAFICHE

Passiamo adesso ad analizzare graficamente le variabili elencate precedentemente. In base a questi grafici dovremmo riuscire a capire quali sono le componenti maggiormente presenti nell'aria e che , quindi, potrebbero influenzare il numero di decessi breve termine.

3.2.1 Istogrammi di frequenza

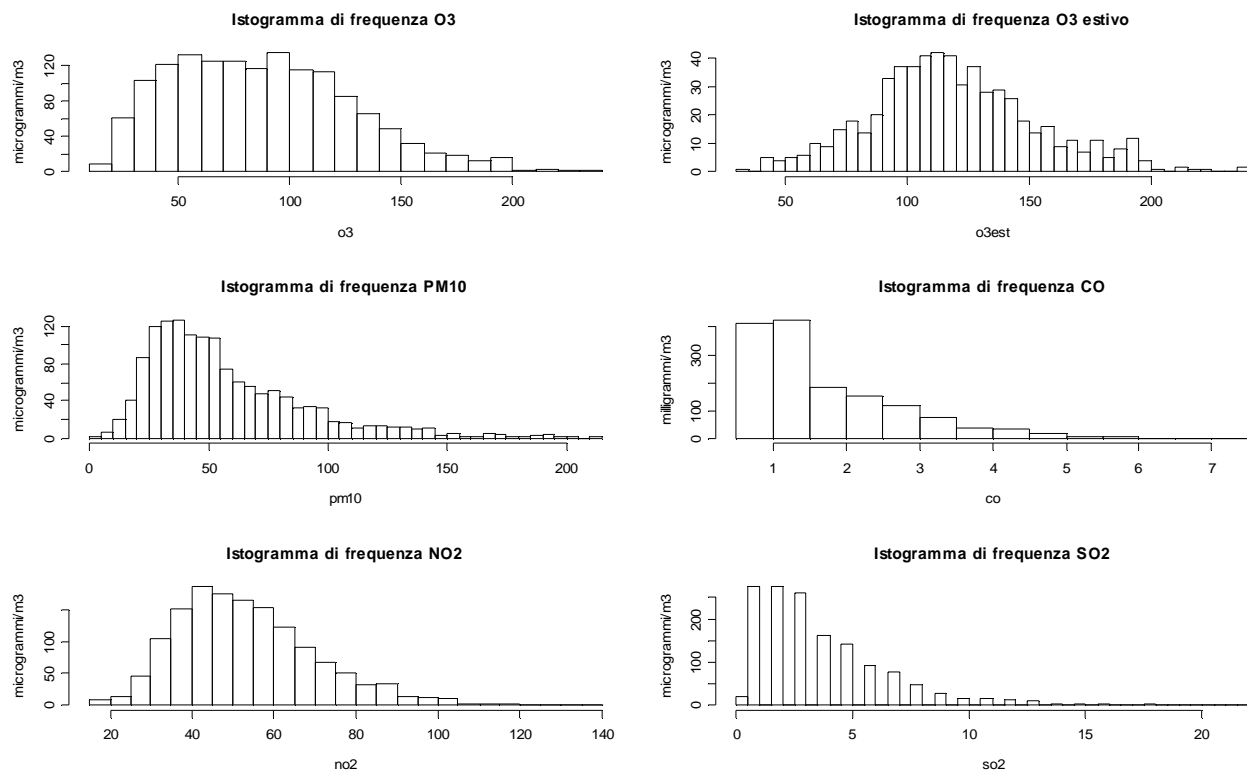


Grafico 3.3: istogrammi di frequenza degli agenti inquinanti

Dai grafici si può notare come la maggior parte degli inquinanti abbia una frequenza maggiore per i valori bassi, mentre solo l'O₃ estivo segue una distribuzione pressoché simmetrica.

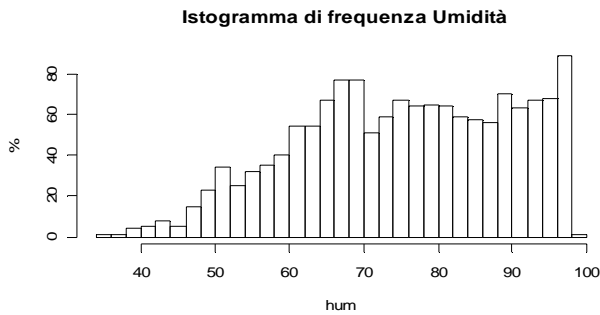
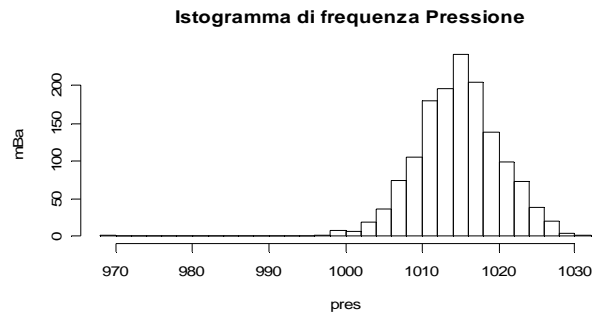
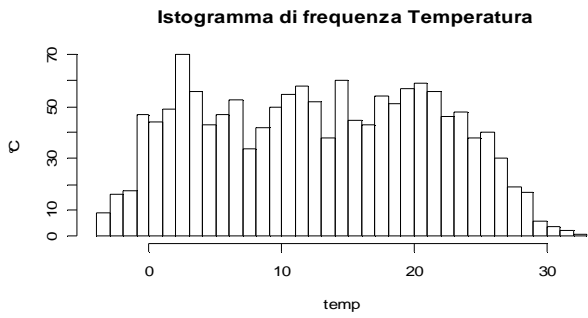


Grafico 3.4: istogrammi di frequenza degli agenti atmosferici

Dagli istogrammi degli agenti atmosferici si vede invece come queste variabili si comportino in modo differente: la temperatura tende ad avere una frequenza più o meno simile, tranne che per le code; la pressione potrebbe assimilarsi ad una normale, sia pure con la presenza di un valore anomalo, molto più basso degli altri; l'umidità invece tende sempre più a crescere, fino ad arrivare al massimo che si trova proprio a 100.

3.2.2 Boxplot

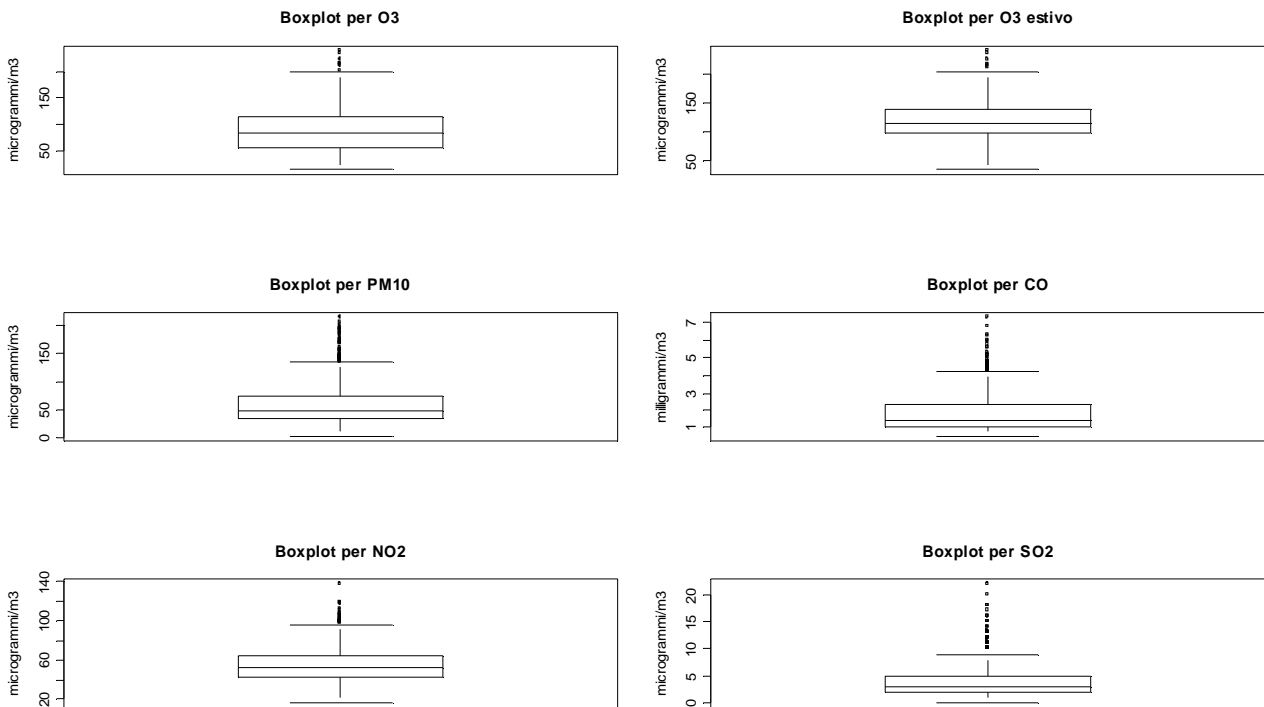


Grafico 3.5: boxplot degli agenti inquinanti

I boxplot mostrano una simmetria per tutti gli inquinanti, e una notevole presenza di valori anomali nella parte alta dei grafici, il che concorda sicuramente con le conclusioni tratte dallo studio degli istogrammi di frequenza: i valori sono per la maggior parte bassi (come avevamo detto precedentemente) e quelli alti vengono quindi considerati anomali.

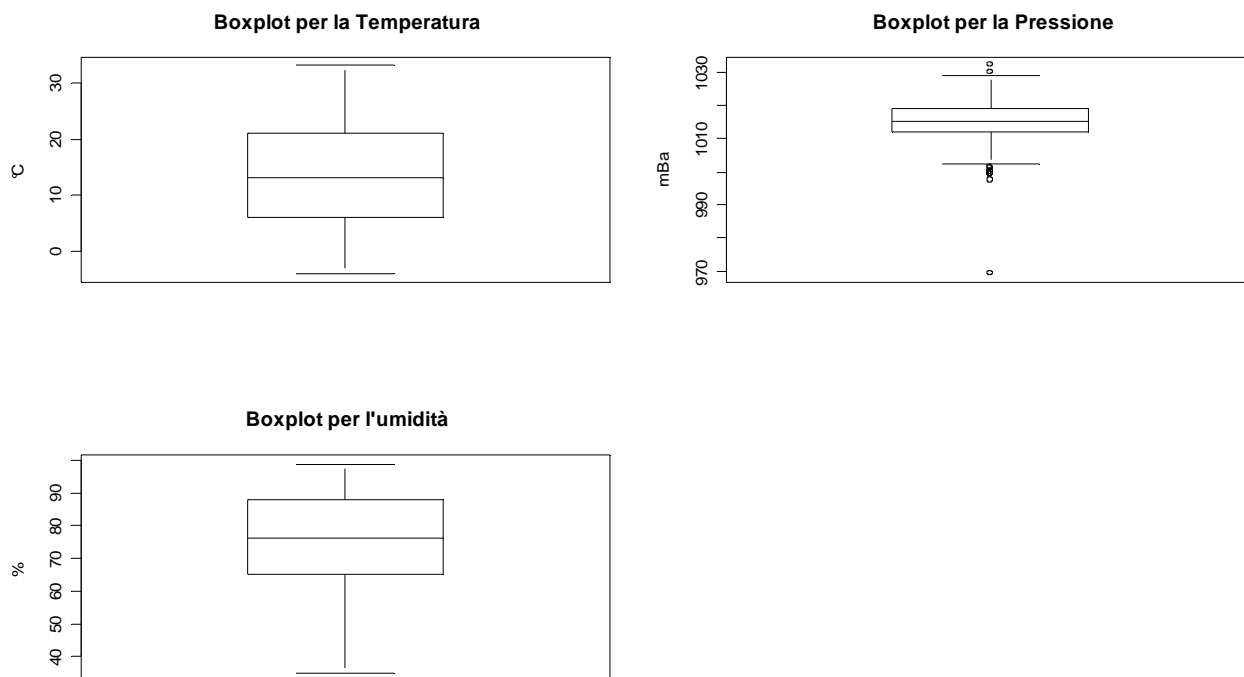


Grafico 3.6: boxplot degli agenti atmosferici

Per gli agenti inquinanti si può vedere che la temperatura ha un andamento assolutamente simmetrico; la pressione ha anch'essa un andamento simmetrico, però vi sono dei dati anomali, cosa che non si verifica per la temperatura. Per l'umidità la situazione si presenta in modo diverso, poiché, pur non avendo alcuna anomalia, i dati sono spostati verso percentuali alte.

Confronto tra i boxplot

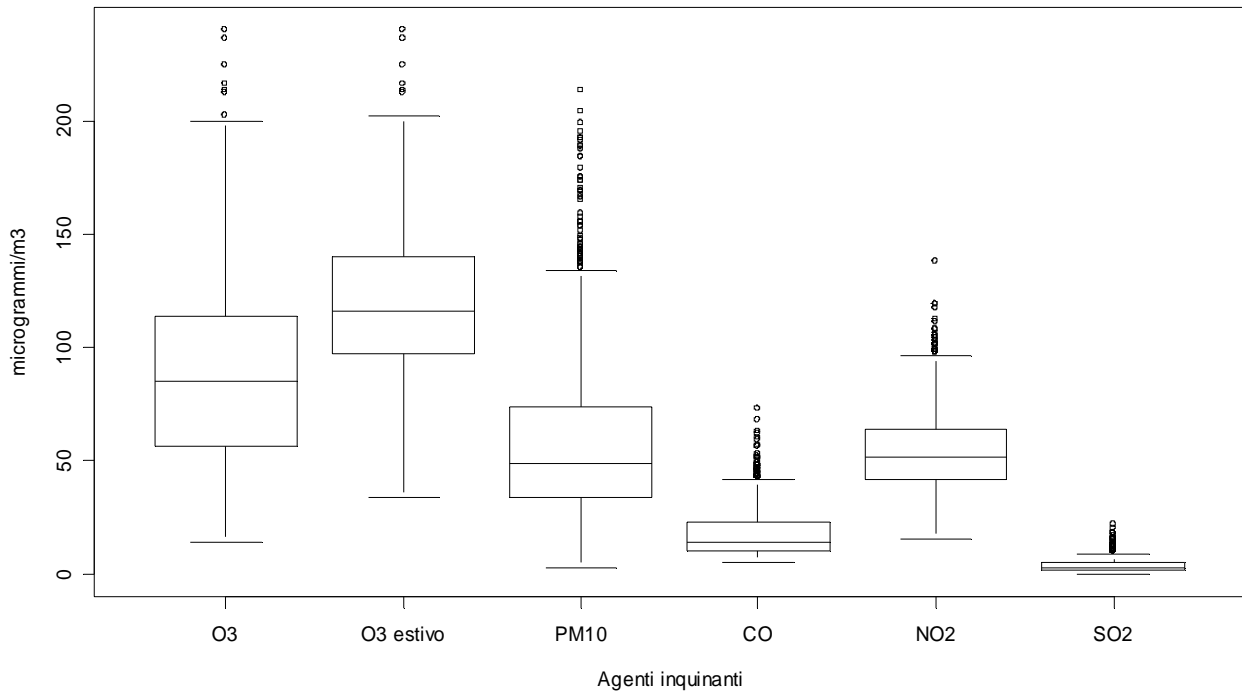


Grafico 3.7: confronto tra i boxplot degli agenti inquinanti

Dal confronto tra i boxplot si può notare come l' SO_2 abbia i valori più bassi e meno dispersi, mentre l'inquinante che ha rilevazioni più alte è l' O_3 estivo. Se il maggior disperso è l' O_3 annuale, l'elemento che rivela un maggior numero di valori anomali è il PM10.

3.2.3 Serie storiche giornaliere

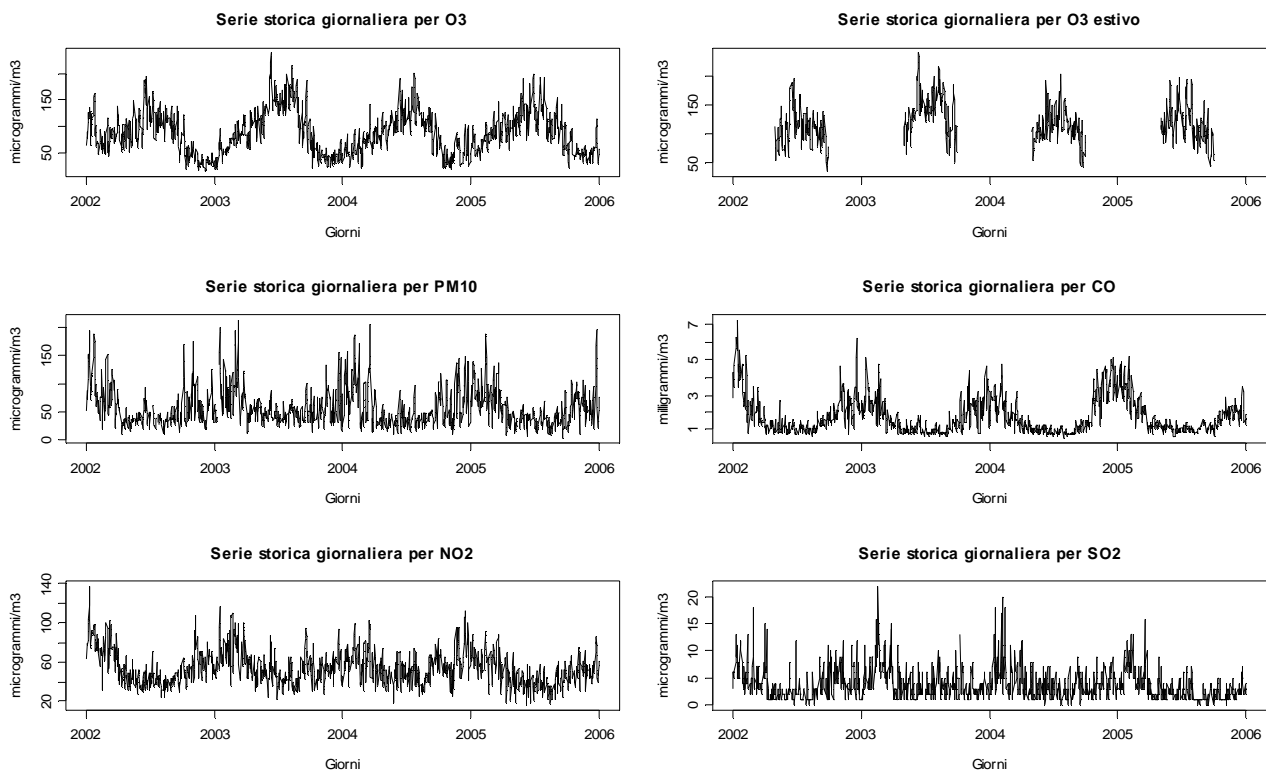


Grafico 3.8: serie storiche giornaliere degli agenti inquinanti

Dalle varie serie storiche possiamo notare come tutti gli inquinanti presentino una stagionalità: in particolare, solo l'O₃ mostra i valori massimi proprio nel periodo estivo, mentre le altre variabili mostrano i picchi in inverno.

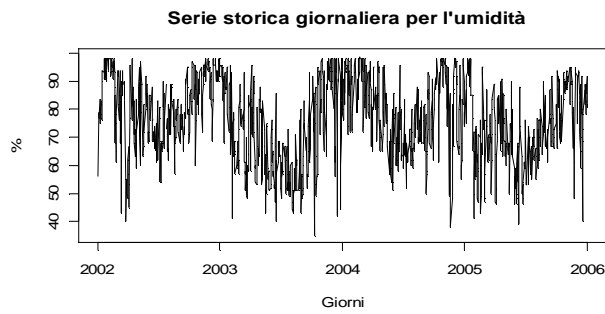


Grafico 3.9: serie storiche giornaliere degli agenti atmosferici

Per quanto riguarda i vari inquinanti vediamo che la temperatura, così come l'umidità, presenta una stagionalità; però, mentre la prima mostra i suoi picchi in estate, la seconda li rileva in inverno. La pressione invece non sembra subire alcun andamento sistematico.

3.2.4 Boxplot stagionali

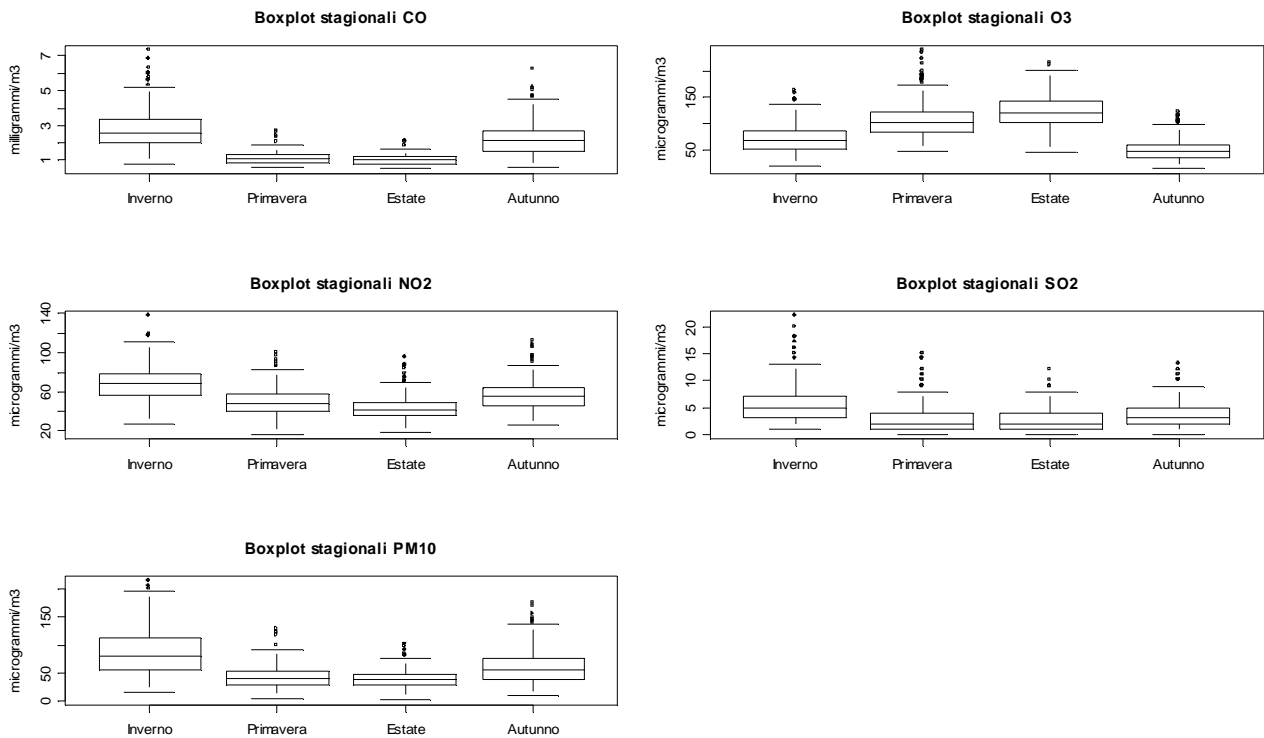


Grafico 3.10: boxplot degli agenti inquinanti divisi per stagione

Questi grafici, oltre alle informazioni rilevate precedentemente, cioè che in estate la quantità di O₃ è maggiore che durante il resto dell'anno e che invece per tutti gli altri inquinanti è l'inverno ad avere i picchi maggiori, ci fanno notare come la presenza di punti anomali sia anche qui limitata alle zone alte dei grafici e che, a maggiori quantità di inquinanti, corrisponda una maggiore dispersione.

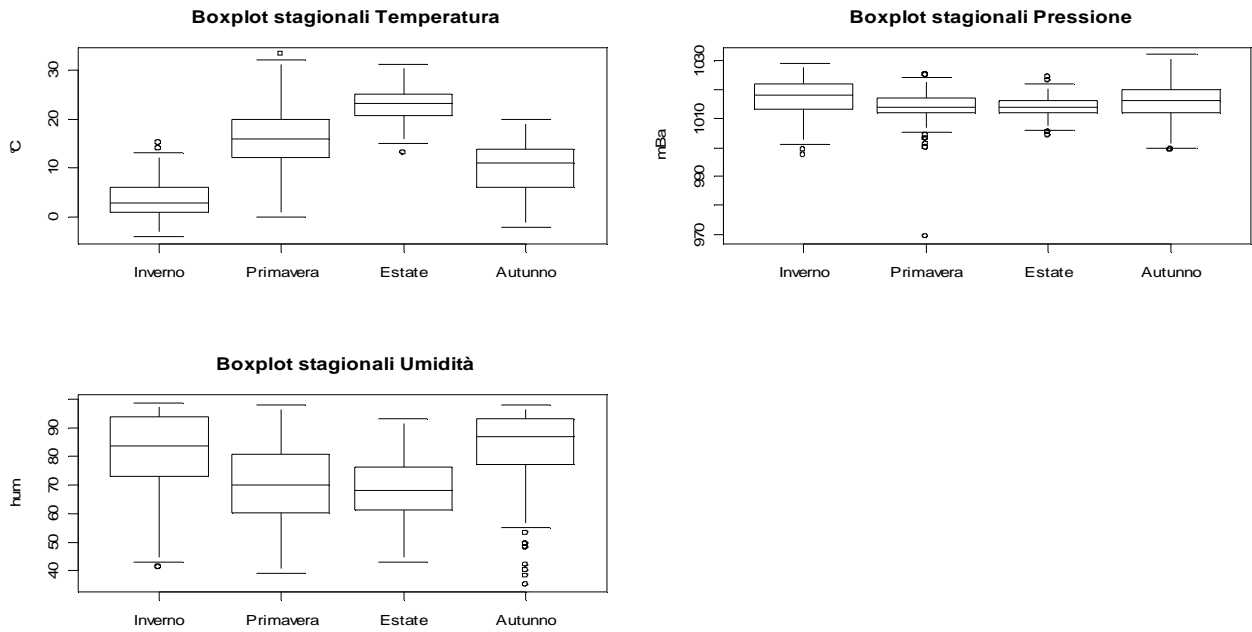


Grafico 3.11: boxplot degli agenti atmosferici divisi per stagione

Per quanto riguarda gli agenti di disturbo, anche qui notiamo quanto è stato detto precedentemente, cioè che la temperatura è maggiore in estate, mentre la pressione aumenta col diminuire della temperatura. Per la pressione notiamo che è leggermente maggiore in inverno, ma che in questa stagione ha una varianza molto più elevata che nel periodo estivo.

3.2.5 Serie storiche mensili

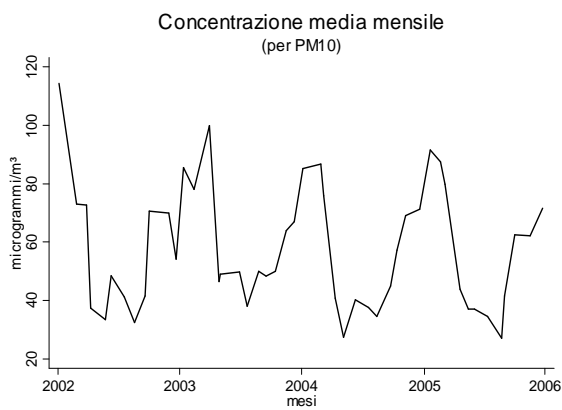
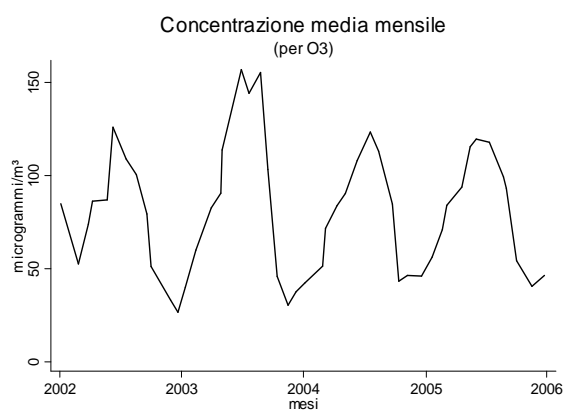
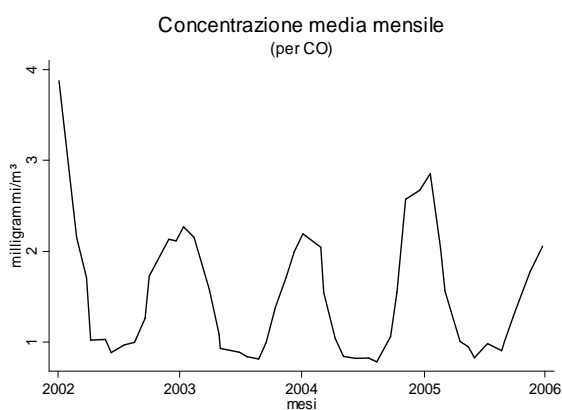
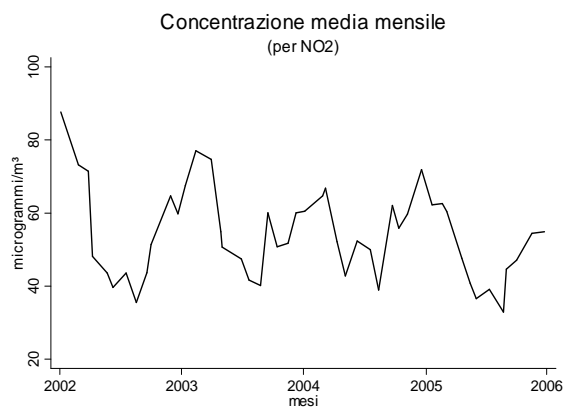
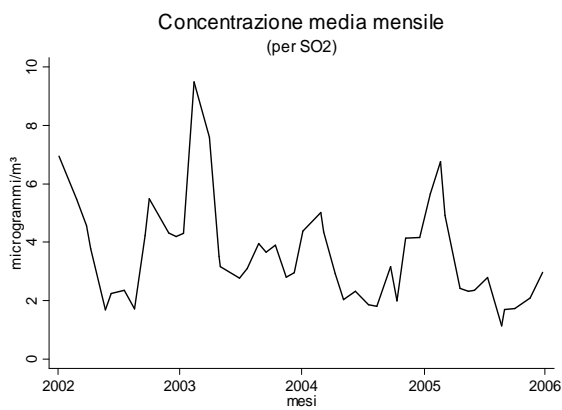


Grafico 3.12: serie storica mensile degli agenti inquinanti

Le serie storiche mensili servono in questo caso solamente a mettere in risalto la stagionalità dei vari inquinanti.

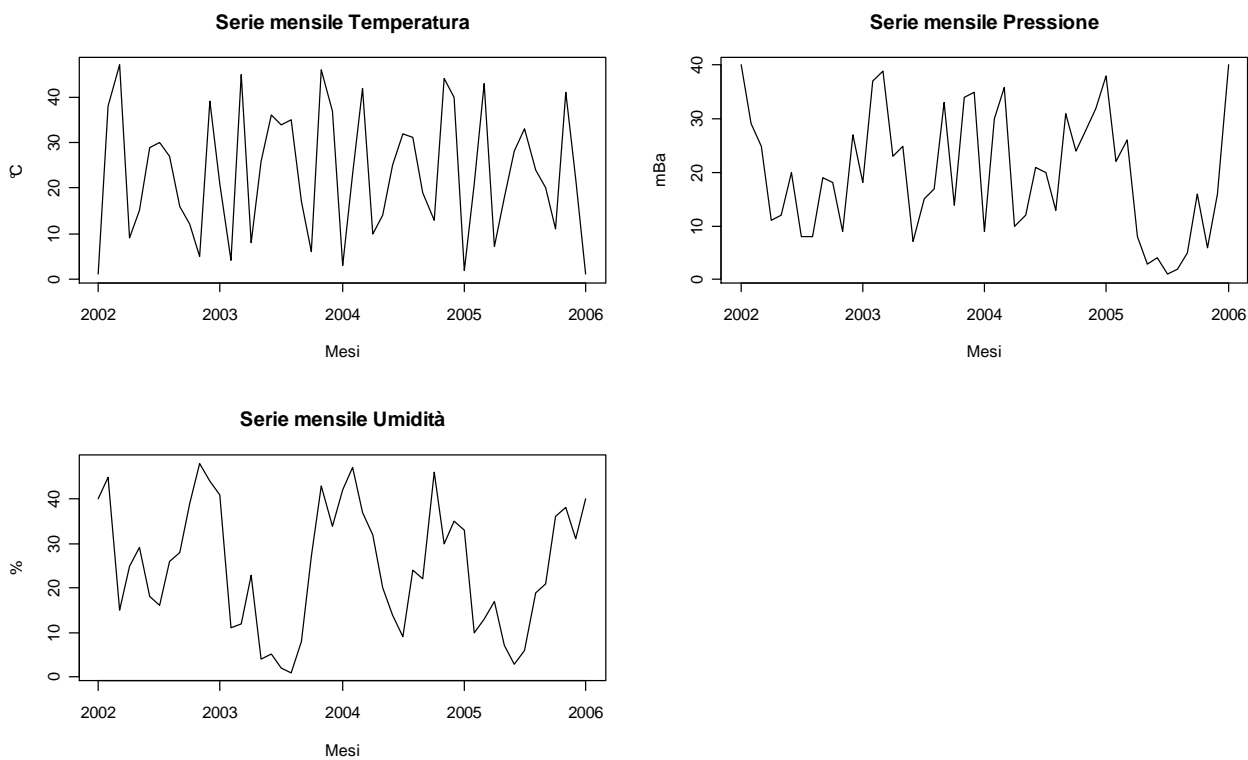


Grafico 3.13: serie storica mensile degli agenti atmosferici

Quanto detto per le serie storiche degli inquinanti vale anche per quelle degli effetti di disturbo, solo che per il grafico della pressione appare più evidente come in media questa sia più alta in inverno che in estate.

3.3 STUDIO DELLA CORRELAZIONE

Per studiare se abbiamo realmente un rapporto tra due variabili dobbiamo vedere la correlazione che esiste tra di esse.

	CO	O3	NO2	SO2	PM10	TEMP	PRES	HUM
CO	1							
O3	-0.391	1						
NO2	0.6458	-0.182	1					
SO2	0.3454	-0.059	0.5257	1				
PM10	0.65	-0.043	0.7483	0.4857	1			
TEMP	-0.678	0.6967	-0.524	-0.351	-0.441	1		
PRES	0.3432	-0.012	0.4424	0.3598	0.4079	-0.235	1	
HUM	0.3672	-0.579	0.1476	-0.084	0.2371	-0.442	-0.072	1

Tabella 3.14: correlazione tra i vari agenti inquinanti e atmosferici

Nella tabella vengono evidenziate solo le relazioni più rappresentative, cioè quelle che hanno un valore di correlazione maggiore di 0,5. Notiamo come il CO abbia una correlazione positiva con l'NO₂, ma negativa con la temperatura. Tutto questo vuole dire che all'aumentare del CO, l'NO₂ aumenta anch'esso, mentre la temperatura diminuisce. L'O₃ ha invece una correlazione positiva con la temperatura, negativa con l'umidità. Questo concorda con ciò che abbiamo constatato prima: l'O₃ è maggiore in estate, quando la temperatura è più alta e quando l'umidità è minore. Tutti gli altri coefficienti sono da considerarsi statisticamente non significativi poiché minori di 0,5.

CAPITOLO 4

I DATI SANITARI

4.1 I DATI SANITARI

Il presente capitolo descrive i dati sanitari utilizzati in questa metanalisi pianificata. Una condizione importante nell'ambito di una metanalisi è l'omogeneità dei dati su cui si basa ciascuno studio indipendente.

Per il periodo in studio, cioè gli anni dal 2002 al 2005, si è anzitutto verificata la disponibilità presso le Aziende sanitarie dei dati di mortalità. Il numero giornaliero di decessi, codificato su un supporto magnetico, è stato fornito dai Registri di causa di morte delle Aziende sanitarie locali. I decessi, codificati in base alla nona revisione della classificazione internazionale delle malattie e cause di morte (ICD-9), sono stati forniti disaggregati per il totale delle cause non accidentali (“cause naturali” ICD-8 1-799), per tutte le patologie cardiovascolari (ICD-9 390-459) e per quelle respiratorie (ICD-9 460-519), specificatamente per le classi di età 0-64, 65-74, 75+; e in aggiunta per un nuovo gruppo di età, sulla base delle indicazioni apparse in letteratura, cioè 85+ anni di età.

4.2 I DECESSI

I dati selezionati si riferiscono ai soggetti residenti nel comune di Padova, ivi deceduti, classificati in base al giorno del decesso, ad alcune caratteristiche demografiche quali sesso, età e causa di morte.

Il numero di record è diminuito da 16189 a 8365 unità (48%).

Nella tabella 4.1 sono i dati già selezionati in base al comune di residenza e al comune di decesso suddivisi per anno

a_dec	Frequenza	Frequenza Percentuale	Percentuale cumulata	Percentuale cumulata
2002	2131	25.48	2131	25.48
2003	2273	27.17	4404	52.65
2004	2123	25.38	6527	78.03
2005	1838	21.97	8365	100.00

Tabella 4.1: deceduti residenti a Padova e ivi morti dal 2002 al 2005

Nel 2005 abbiamo si rilevano pochi decessi poiché i dati che abbiamo arrivano solamente a metà novembre.

sesto	Frequenza	Frequenza Percentuale	Percentuale cumulata	Percentuale cumulata
1	3749	44.82	3749	44.82
2	4616	55.18	8365	100.00

Tabella 4.2: deceduti residenti a Padova e ivi morti divisi per sesso

Per quanto riguarda la variabile sesso si nota una maggiore frequenza di decessi femminili, questo è in linea col fatto che nella popolazione di Padova vi è un maggior numero di maschi che di femmine.

La successiva tabella rappresenta il numero di decessi dei residenti a Padova e li deceduti distintamente per cause naturali, cardiovascolari o respiratorie.

	Cause Naturali ICD 1-799	Cause Cardiovascolari ICD 390-459	Cause Respiratorie ICD 460-519
Maschi	3606	1285	328
Femmine	4480	1849	412
TOTALE	8086	3134	740

Tabella 4.3: deceduti residenti a Padova e ivi morti divisi per causa di morte

Possiamo vedere che le cause naturali hanno un numero di record molto superiore rispetto agli altri tipi di cause (ricordiamo però che le cause cardiovascolari e le respiratorie sono un particolare tipo di causa naturale). Le cause respiratorie sono in misura molto esigua rispetto al totale di decessi.

4,3 PRINCIPALI ANALISI DESCRITTIVE E GRAFICHE

Anche per quanto riguarda i decessi sono stati svolte alcune analisi descrittive e grafiche, specificatamente per le classi di età 0-64, 65-74 e 74+; inoltre sono state introdotte altre due classi sulla base di indicazioni emerse dalla letteratura: la classe 0-1 e la classe 85+.

Nelle tabelle successive si riportano le principali statistiche descrittive distinte per causa di morte, prima di tutti i deceduti, e poi di tutti i deceduti divisi per sesso.

TOTALE

TOTALE	MORTALITA' PER CAUSE														
	Naturali					Cardiovascolari					Respiratorie				
Classi di età	0-1	2-64	65-74	75-84	85+	0-1	2-64	65-74	75-84	85+	0-1	2-64	65-74	75-84	85+
Media	0.01714	0.6036	0.88869	0.7529	2.295	0.001429	0.1257	0.2307	0.7529	1.128	0.0007143	0.0	0.04357	0.1786	0.2857
Minimo	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1°quartile	0	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
Mediana	0	0	1	2	2	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
3°quartile	0	1	1	3	3	0	0	0	1	2	0	0	0	0	0
Massimo	1	4	5	10	10	1	3	3	5	6	0	1	1	4	3

Tabella 4.4: deceduti residenti a Padova e ivi morti divisi per causa di morte e classe di età

FEMMINE

TOTALE	MORTALITA' PER CAUSE														
	Naturali					Cardiovascolari					Respiratorie				
Classi di età	0-1	2-64	65-74	75-84	85+	0-1	2-64	65-74	75-84	85+	0-1	2-64	65-74	75-84	85+
Media	0.008571	0.2357	0.3393	0.9879	1.629	0	0.03714	0.7929	0.3929	0.8114	0	0.007143	0.015	0.08143	0.1907
Minimo	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1°quartile	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Mediana	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
3°quartile	0	0	1	2	2	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0
Massimo	1	3	3	6	9	0	2	3	4	5	0	1	1	2	3

Tabella 4.5: deceduti femmine residenti a Padova e ivi morti divisi per causa di morte e classe di età

MASCHI

TOTALE	MORTALITA' PER CAUSE														
	Naturali					Cardiovascolari					Respiratorie				
Classi di età	0-1	2-64	65-74	75-84	85+	0-1	2-64	65-74	75-84	85+	0-1	2-64	65-74	75-84	85+
Media	0.008571	0.3679	0.5493	0.9836	1.629	0.001429	0.08857	0.1514	0.36	0.3164	0.0007143	0.01286	0.02857	0.09714	0.095
Minimo	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1°quartile	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Mediana	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3°quartile	0	0	1	2	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0
Massimo	1	4	4	6	5	1	2	3	4	5	1	1	1	2	2

Tabella 4.6: deceduti maschi residenti a Padova e ivi morti divisi per causa di morte e classe di età

3.4.1 Istogrammi di frequenza

Sono ora illustrati i diagrammi di frequenza: il primo rappresenta sempre i decessi totali suddivisi per causa di morte.

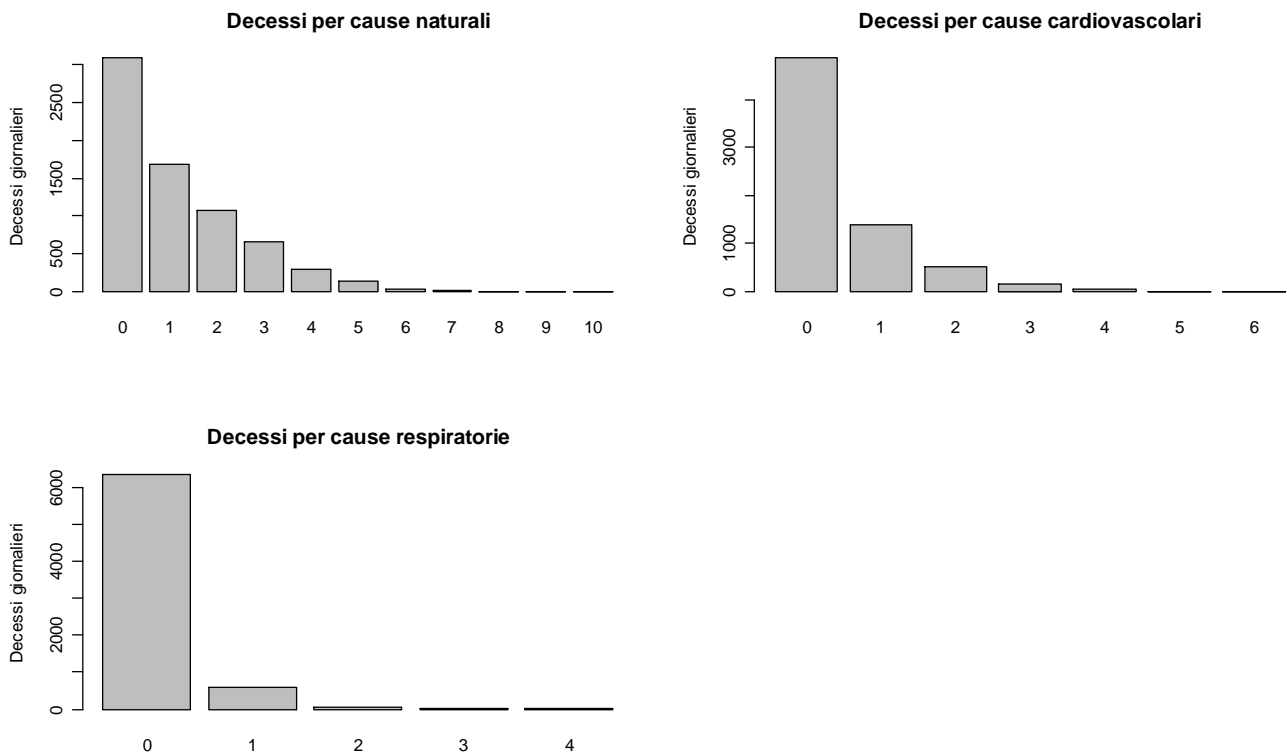


Grafico 4.7: istogrammi dei deceduti residenti a Padova e ivi morti divisi per causa di morte

Notiamo come in tutti i casi le code siano spostate notevolmente verso sinistra, anche se il valore massimo per cause naturali è molto maggiore rispetto alle altre due cause. Si nota anche come i deceduti per cause respiratorie siano in numero minore rispetto agli altri due tipi di cause.

Possiamo vedere gli stessi grafici divisi anche per sesso.

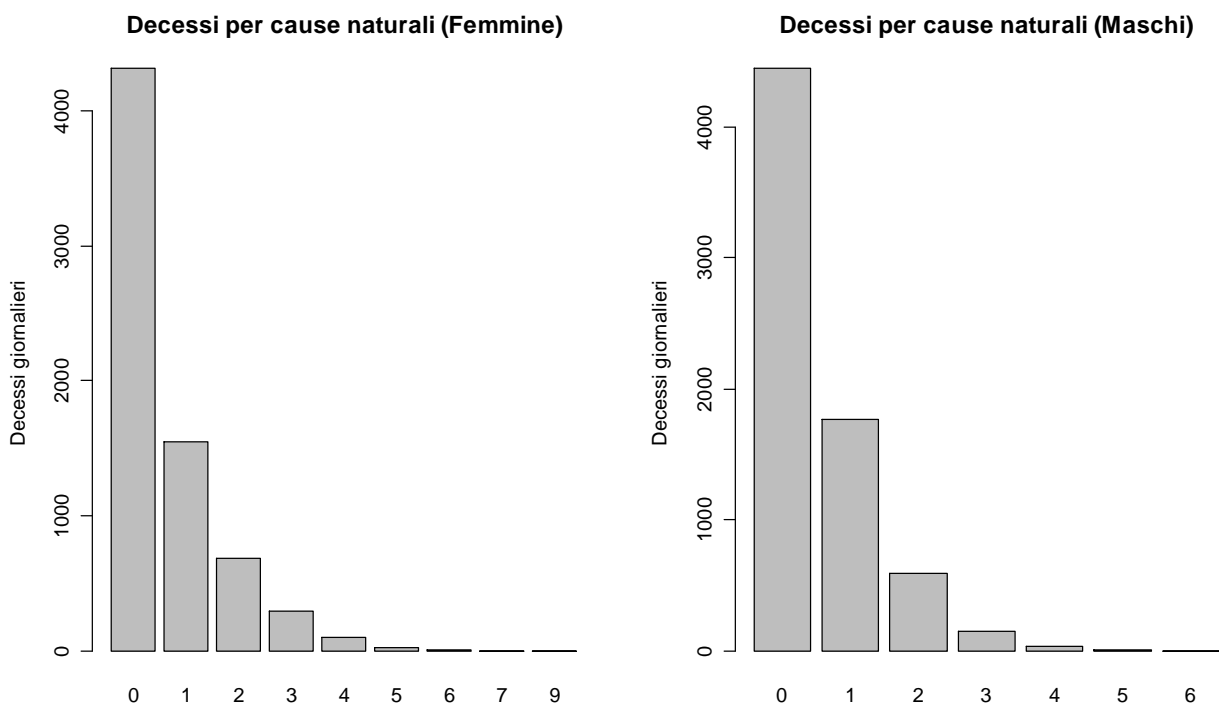


Grafico 4.8: istogrammi dei deceduti per cause naturali residenti a Padova e ivi morti divisi per sesso

Per quanto riguarda le cause naturali anche qui notiamo una tendenza del grafico a bilanciarsi verso sinistra. Si nota invece come il numero di decessi in una stessa giornata abbia un valore superiore nelle femmine rispetto che nei maschi. Questo probabilmente è dovuto al fatto che abbiamo più deceduti donne che uomini.

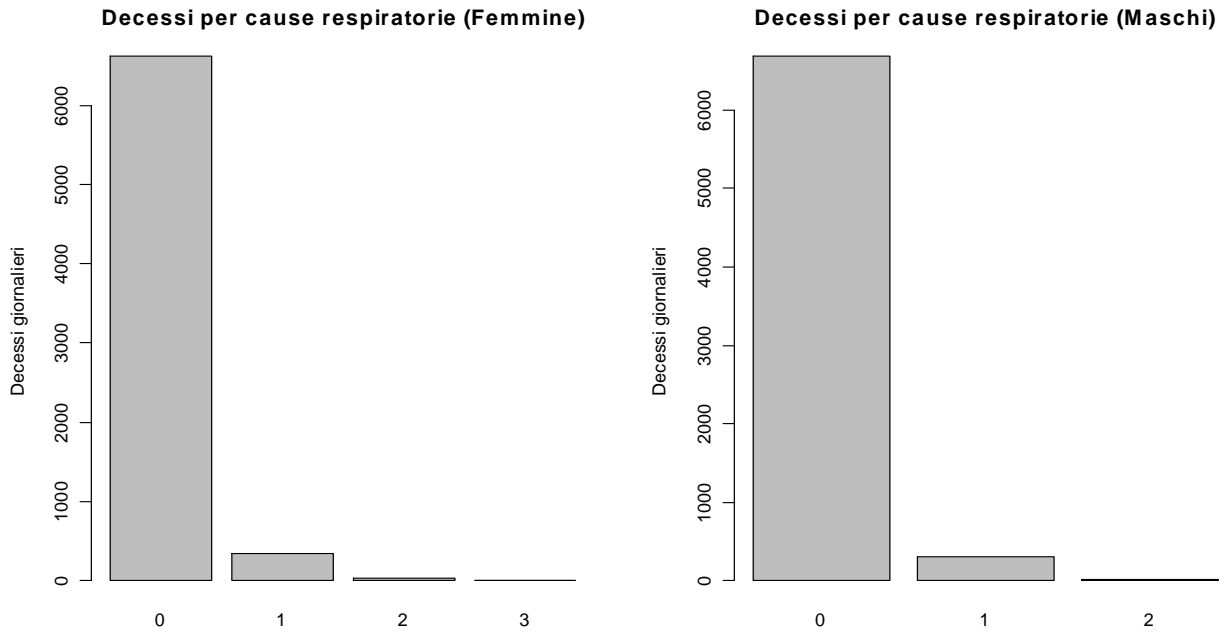


Grafico 4.9: istogrammi dei deceduti per cause respiratorie dei residenti a Padova e ivi morti divisi per sesso

Per le cause respiratorie notiamo un andamento molto simile per i due grafici, quindi non vi sembra essere una dipendenza tra i decessi per cause respiratorie e il sesso.

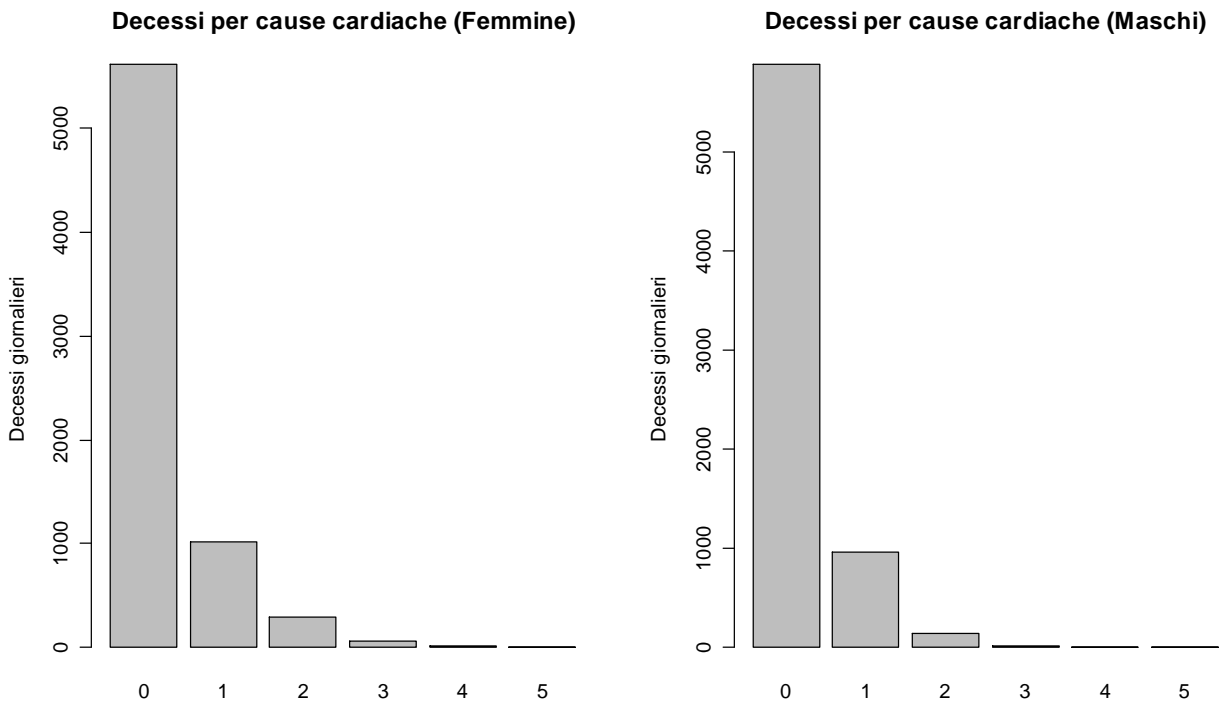


Grafico 4.10: istogrammi dei deceduti per cause cardiache dei residenti a Padova e ivi morti divisi per sesso

Nemmeno gli istogrammi delle cause cardiache mostrano una grande differenza per quanto riguarda il sesso. Da una analisi preliminare sembra allora che il sesso non incida sulla causa del decesso, tranne forse che per le cause naturali.

3.4.2 Boxplot

Successivamente riportiamo i boxplot totali.

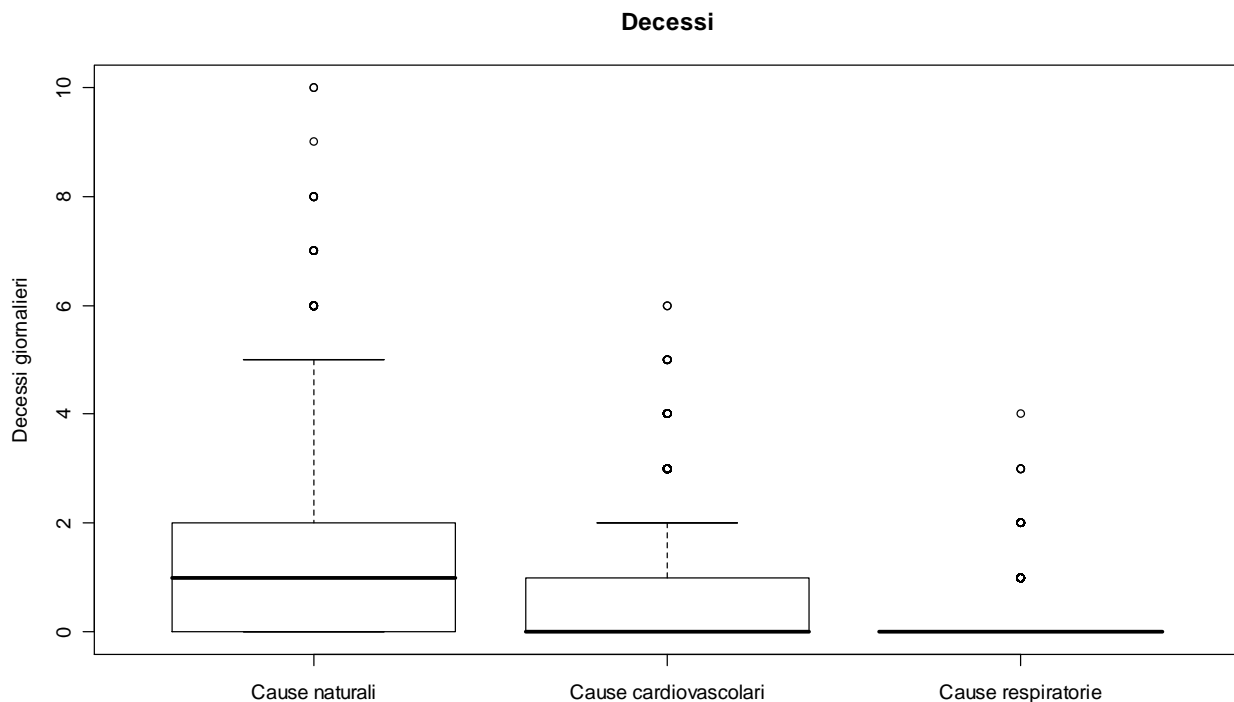


Grafico 4.11: boxplot dei deceduti a Padova e ivi morti divisi per causa di morte

Da questi grafici si riesce solamente a riaffermare quanto detto dagli istogrammi di frequenza, cioè che abbiamo delle rilevazioni molto basse, talmente basse che per le cause respiratorie addirittura un morto al giorno è già un valore anomalo.

Per valori così bassi non riteniamo nemmeno opportuno riportare gli stessi grafici suddivisi per sesso.

3.4.3 Serie storiche giornaliere

Vengono riportate ora le serie storiche giornaliere suddivise per causa, alla ricerca della presenza di una ciclicità o meno.

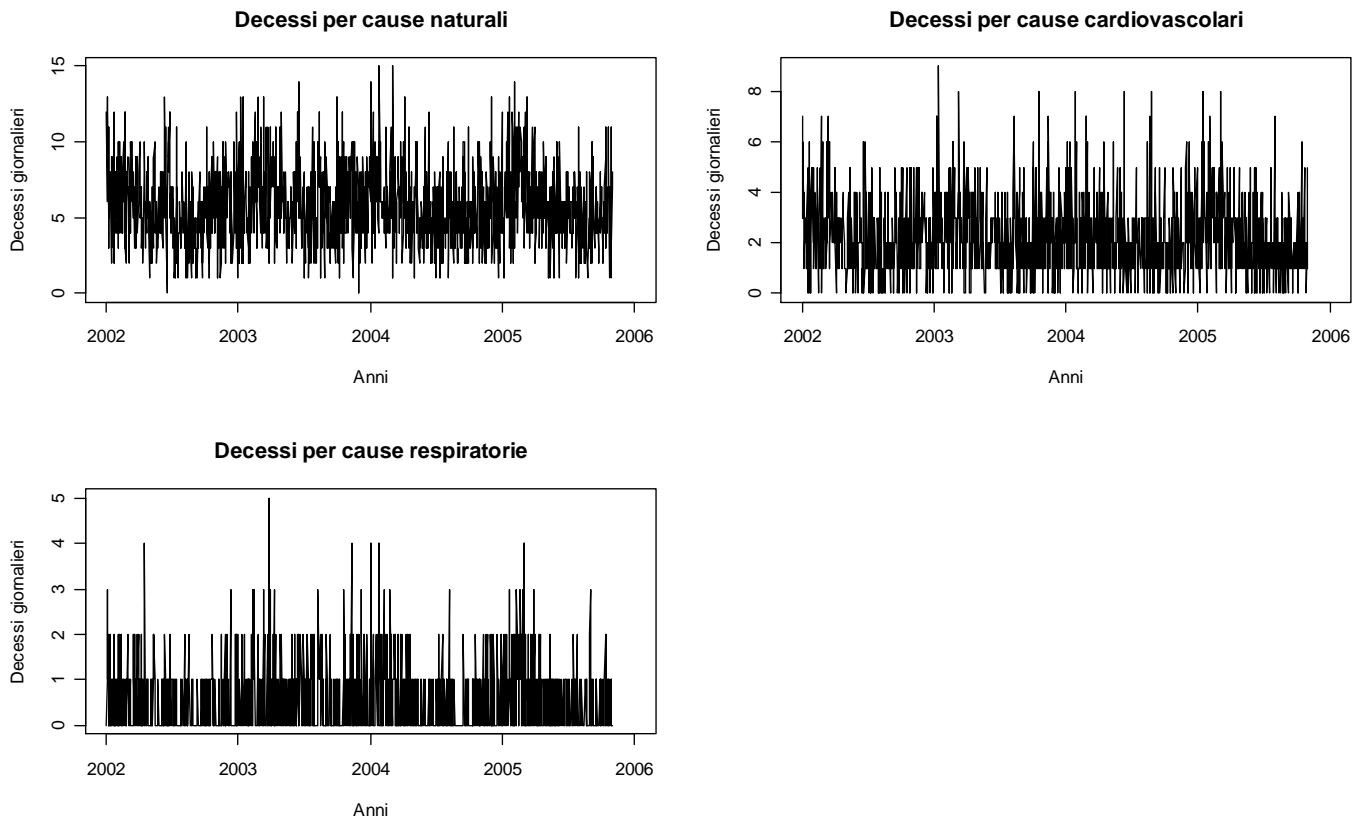


Grafico 4.12: serie storiche giornaliere dei deceduti a Padova e ivi morti divisi per causa di morte

Per quanto riguarda le cause naturali, sembra esservi un picco di morti nei mesi iniziali dell'anno, mentre per gli altri tipi di cause è difficile mostrare una certa stagionalità.

CAPITOLO 5

METODI STATISTICI

In questo capitolo verrà descritto dettagliatamente il protocollo seguito nella metanalisi italiana MISA-2, utilizzato in questa tesi per stimare l'effetto dell'inquinamento sulla mortalità.

5.1 ANALISI CITTA' SPECIFICA

L'analisi statistica città-specifica è stata condotta secondo un modello comune, al fine di garantire omogeneità di trattamento statistico dei dati di ciascun centro partecipante e minimizzare il rischio di risultati derivanti da modelli troppo ben adattati al singolo insieme di dati ma scarsamente generalizzabili.

L'analisi delle serie giornaliere di mortalità e dei ricoveri ospedalieri rispetto alla concentrazione degli inquinanti è stata di solito condotta specificando un modello additivo generalizzato (GAM) per i tassi di occorrenza città specifici. Il modello è parametrico per quanto riguarda l'effetto dell'inquinante e delle altre variabili esplicative, mentre utilizza funzioni non parametriche (smoothing spline o lowes) per modellare la stagionalità e il trend temporale e, talvolta, le variabili meteorologiche. Per questo motivo si parla di modelli semi-parametrici. Questo approccio presenta tuttavia alcune difficoltà computazionali che hanno recentemente sollevato preoccupazioni riguardo l'accuratezza delle stime ottenute e incoraggiato l'utilizzazione di strategie di modellazione alternative. In particolare, due importanti critiche sono state mosse all'utilizzo di software commerciali, come S plus, SAS o STATA, che propongono funzioni per la stima dei GAM basate sull'algoritmo de backfitting.

La prima critica riguarda i criteri di convergenza default definite in suddette funzioni. Tali criteri (che assumono valori compresi tra (10,3 e 10,8), sono troppo blandi quando, come nelle analisi degli effetti a breve termine degli inquinanti atmosferici, gli effetti oggetto di interesse sono molto piccoli. La principale conseguenza di questo problema è una prematura interruzione dell'algoritmo di stima e una conseguente possibile distorsione dell'effetto dell'inquinante. La distorsione può essere particolarmente importante quando si verificano condizioni di elevata concurrità (una sorta di collinearità nell'ambito di modelli non lineari), che di per sé riducono la velocità di convergenza dell'algoritmo di backfitting.

Il secondo e più rilevante problema riguarda la stima degli errori standard dell'effetto dell'inquinante e degli altri termini parametrici inseriti nel modello. Per motivi computazionali infatti la procedura di stima della matrice di varianza e covarianza è basata su una approssimazione che tiene conto solo della composizione lineare delle funzioni non parametriche. Di conseguenza, la precisione degli effetti risulta sovrastimata.

Una alternativa all'utilizzo di modelli semiparametrici, è quello di utilizzare Modelli Lineari Generalizzati (GLM) con spline di regressioni parametriche. L'approccio parametrico è esente da problemi di convergenza e di sottostima degli errori standard. Questa è la soluzione adottata nella ri-analisi del primo studio MISA, nel presente studio MISA-2 e nella suddetta tesi.

5.2 IL MODELLO PER L'ANALISI CITTA' SPECIFICA

Come nel precedente studio MISA, si è optato per una analisi stratificata per età (classi di età: 0-64, 65-74, 75+). Assunto un modello di probabilità di Poisson per la frequenza giornaliera di eventi di malattia o di morte, è stato specificato un Modello Lineare Generalizzato descritto dall'equazione:

$$\log(E(Y_{kt})) = \alpha_k + f_k(t) + \sum_i \beta_i z_{kit} + \delta x_i \quad [1]$$

dove per il giorno $t, t=1, \dots, T$, e per la classe di età $k, k=1, \dots, K$, Y_{ki} rappresenta la frequenza giornaliera di eventi e $E(\)$ rappresenta il suo valore atteso, α_k è un'intercetta età-specifica, x_i è la concentrazione dell'inquinante di interesse, δ il coefficiente di regressione ad esso relativo (interpretabile come logaritmo di un rapporto tra tassi), z_{kit} è l'i-esimo confondente nel modello, β_i il corrispettivo coefficiente. Le funzioni $f_k(t)$ rappresentano spline di regressione parametriche specifiche per età sul tempo di calendario t . Per semplicità, nella formulazione [1] del modello non si fa riferimento a eventuali termini di interazione tra l'età e gli altri confondenti inclusi nel modello.

Gli aspetti relativi alla specificazione del modello che meritano maggiore attenzione riguardano le modalità di controllo del confondimento, in particolare quello legato alla stagionalità e ai fattori meteorologici, e la modellazione dell'effetto dell'inquinante.

5.2.1 Il confronto del confondimento temporale stagionale e di lungo periodo

Per depurare la misura dell'associazione tra inquinamento dell'aria ed esiti sulla salute dal confondimento legato all'andamento temporale stagionale e di lungo periodo, sono state utilizzate spline cubiche età-specifiche sull'indicatore del giorno. Una spline cubica è una funzione parametrica del tipo:

$$f(t) = \gamma_0 + \gamma_1 t + \gamma_2 t^2 + \gamma_3 t^3 + \sum_{h=1}^H \gamma_{h+3} (t - k_h)^3$$

dove

$(\gamma_0, \gamma_1, \dots, \gamma_{H+3})$ sono parametri da stimare,

$k: k_1, k_2, \dots, k_h$ è un vettore di H nodi fissati,

$(t - k_h)^3 = I(t > k_h) X(t - k_h)^3$ e

$I(T > k_h)$ è una funzione indicatrice che assume valore 1 se la condizione è soddisfatta, 0 altrimenti.

La spline cubica parametrica equivale a una serie di polinomi di terzo grado definiti su regioni di campo di definizione della covariata delimitate in base a una sequenza di valori fissati (nodi). Questi polinomi "locali" sono vincolati a congiungersi in corrispondenza dei nodi così che la funzione risultante soddisfi certe condizioni di regolarità.

La flessibilità della spline dipende dal numero e dalla posizione dei nodi (o analogamente dal numero dei parametri o gradi di libertà utilizzati per la sua definizione).

L'analisi esplorativa che aveva preceduto la formulazione del protocollo nel precedente studio MISA, relativamente alla mortalità totale o per cause, non aveva evidenziato particolari andamenti stagionali nelle classi di età più giovani, mentre un evidente e coerente andamento stagionale bi-trimestrale era apparso nella classe di età sopra i 74 anni. Nel presente studio, come nel MISA-1, il confondimento temporale nelle prime due classi di età è stato modellato attraverso indicatori di stagione e un trend lineare di lungo periodo. Per la classe di età più anziana è stata invece utilizzata una spline di regressione con un numero di gradi di libertà pari a 5 per anno.

In generale, non solo il numero, ma anche la posizione dei nodi può influenzare in modo sostanziale la forma della spline e di conseguenza i risultati dell'analisi. Nel nostro caso però, dato che il tempo è una variabile rilevata con cadenza regolare e si utilizza un numero piuttosto elevato di gradi di libertà, l'inferenza non è verosimilmente sensibile alla posizione dei limiti degli intervalli su cui sono definiti i polinomi. I nodi sono stati scelti in modo da essere tra loro equispaziati.

La robustezza e l'adeguatezza di queste scelte è stata comunque valutata con un'attenta analisi di sensibilità.

5.2.2 Il controllo per le epidemie di influenza

Il controllo del confondimento dovuto alle epidemie di influenza è stato effettuato inserendo nel modello una variabile indicatrice dei picchi di epidemia in interazione con la classe di età.

La procedura prevede di individuare, per ogni stagione, la settimana corrispondente al picco di segnalazioni e le settimane in cui i tassi di incidenza non scendono al di sotto del 20% del picco. Le soglie che permettono di definire, a partire dalle serie fornite dall'ISS, una variabile indicatrice 0/1 settimanale, sono state fornite dall'ente..... Conseguentemente il modello di regressione il coefficiente per la variabile epidemia influenzale è specifico per anno.

5.2.3 Il controllo del confondimento legato alla temperatura

Il modello città-specifico ha tenuto conto dell'effetto non lineare e ritardato dalla temperatura.

E' stata definita una variabile calcolata come media della temperatura nei tre giorni precedenti e sono stati inseriti nel modello due termini lineari, uno per valori della variabile superiori a 21° e uno per valori inferiori a 21°, vincolati ad assumere lo stesso valore a 21°.

Infine è stato considerato l'effetto lineare della variabile costruita come scarto tra la temperatura media dei 3 giorni precedenti e la temperatura corrente, denominata variabile scarto.

Tutti i termini relativi alla temperatura sono entrati nel modello in interazione con le classi di età.

Dato che la rimozione del confondimento legato alla temperatura costituisce un punto particolarmente delicato e discusso in letteratura, un'analisi di sensibilità è stata effettuata utilizzando approcci di modellazione più flessibili basati su spline di regressione.

5.2.4 Il controllo del confondimento legato all'umidità relativa

L'effetto dell'umidità relativa è stato modellato attraverso un termine lineare e un termine quadratico. Non è stata inserita nel modello l'interazione tra umidità e classe di età.

5.2.5 Il problema della diminuzione estiva della popolazione a rischio

Il modello [1] assume che la popolazione a rischio non subisca variazioni nel tempo. Tuttavia si può ritenere che la presenza di spline di regressione sul tempo di calendario aggiusti almeno parzialmente per eventuali variazioni di lungo periodo o stagionali nel numero di soggetti a rischio, come quella dovuta all'esodo estivo. In questo caso è stata quindi inserita nel modello anche una variabile indicatrice del periodo di svuotamento delle città (15 Luglio – 15 Agosto).

5.2.6 Effetto dell'inquinante

L'analisi delle associazioni è stata condotta specificando modelli in cui entrasse un solo inquinante alla volta modellato attraverso un termine lineare. Si è tenuto conto dell'effetto ritardato utilizzando come variabile di concentrazione il livello medio dell'inquinante misurato su più giorni (lag0-1). Questa scelta equivale a specificare un particolare modello a lag distribuiti in cui i coefficienti che descrivono l'effetto ritardato dell'inquinante sono vincolati ad assumere lo stesso valore.

Dato che le concentrazioni di SO₂ sono ormai mediamente molto basse e al limite della rilevabilità, gli effetti dell'SO₂ sono stati misurati solo per concentrazioni superiori, inserendo opportune variabili indicatrici nel modello di regressione.

L'analisi dell'ozono è stata ristretta solo ai mesi estivi (da Maggio a Settembre inclusi).

Modelli bi-pollutant

Per quanto riguarda il solo effetto delle polveri sottili, sono stati adottati modelli che includevano due inquinanti simultaneamente (PM10 + NO₂ e PM10+O₃).

Modelli a ritardi distribuiti

Al fine di studiare l'andamento temporale dell'associazione tra concentrazione di inquinante ed esiti sanitari, sono stati specificati modelli a ritardi distribuiti. Facendo riferimento al modello [1], il modello a ritardi distribuiti non vincolato assume che

$$\log(E(Y_{kt})) = \alpha_k + f_k(t) + \sum_i \beta_i z_{it} + \lambda_0 x_t + \lambda_1 x_{t-1} + \dots + \lambda_L x_{t-L}$$

dove L è il massimo ritardo considerato e $\lambda_0, \lambda_1, \dots, \lambda_L$ sono i coefficienti che descrivono l'effetto dell'inquinante da lag 0 a lag L.

Poiché vi è una sostanziale correlazione tra le concentrazioni rilevate in giorni vicini, le stime dei singoli coefficienti ottenute dal modello non vincolato possono risultare instabili a causa della collinearità e di conseguenza fornire stime poco affidabili all'andamento temporale dell'associazione in studio. Un guadagno in efficienza può essere ottenuto introducendo una qualche restrizione sui coefficienti λ_1 . L'approccio più comune consiste nel vincolare l'andamento temporale dell'associazione tra concentrazioni di inquinante ed esiti sanitari a seguire un andamento polinomiale:

$$\lambda_l = \sum_{h=0}^H \eta_h l^h$$

dove $l=0, \dots, q$, H è il grado del polinomio, $\eta_0, \eta_1, \dots, \eta_H$ sono i coefficienti da stimare e q il massimo lag utilizzato. Il modello a ritardi distribuiti polinomiale è facilmente adattabile utilizzando la parametrizzazione di Almon.

Nel presente studio abbiamo scelto di esplorare la relazione tra inquinante e mortalità fino a lag15, scegliendo un contrasto polinomiale di terzo grado. Oltre che all'andamento temporale dell'associazione, il nostro interesse è andato anche a stime cumulative di effetto che esprimono una valutazione dell'effetto dell'inquinante al netto di eventuali fenomeni di harvesting. Tali stime sono ottenute come sommatoria dei coefficienti relativi a ciascun lag.

5.3 ANALISI DI SENSIBILITA'

5.3.1 Analisi di sensibilità sulla stagionalità

L'analisi di sensibilità ha riguardato la scelta dei gradi di libertà per le spline stagionali. Sono stati stimati modelli con spline di regressione rispettivamente con 3 e 8 gradi di libertà per anno.

Sono stati specificati anche modelli semiparametrici sostituendo le spline di regressione con spline di regressione penalizzate, a parità di gradi di libertà. Per la stima di questi modelli è stata utilizzata la funzione `gam` implementata da Wood per il software statistico R. Questa funzione non sembra affetta da problemi di convergenza e di stima degli errori standard descritti precedentemente, pur avendo lo svantaggio di essere piuttosto pesante dal punto di vista computazionale. Senza addentrarsi in dettagli tecnici, vogliamo qui ricordare che la definizione di spline di regressione penalizzata non richiede la specificazione di un vettore di nodi. L'analisi di sensibilità da noi eseguita è volta a valutare la robustezza dei risultati rispetto alla specifica collocazione dei nodi scelta per la spline di regressione.

5.3.2 Analisi di sensibilità sulla temperatura

E' stata effettuata una analisi di sensibilità sostituendo i termini lineari per la temperatura con spline di regressione età-specifiche con 8 gradi di libertà (con nodi posizionati in corrispondenza dei quantili di temperatura). Questo tipo di controllo flessibile del confondimento per la temperatura è stato frequentemente proposto in letteratura anche se può provocare instabilità nelle stime data la potenziale concurrità con altri termini non parametrici (per esempio la spline sulla stagionalità).

5.4 ANALISI SPECIFICHE E DI SOTTOGRUPPO

Per ciascun esito e per ciascun inquinante sono state condotte le seguenti analisi specifiche:

- per genere (specificando due modelli separati, con aggiustamento per età);
- per età (inserendo nel modello un termine di interazione tra classe di età e concentrazione di inquinante);
- per gli ultra-85enni
- per stagione (calda: 1 Maggio – 30 Settembre; e fredda: 1 Ottobre – 30 Aprile)

L'eterogeneità delle misura di effetto tra estate (Maggio – Settembre) e inverno (Ottobre – Aprile) è stata investigata per tutti gli inquinanti tranne che per l'ozono per il quale oggetto di interesse è stato il solo coefficiente estivo.

CAPITOLO 6

CONCLUSIONI

In questo capitolo sono rappresentati i principali risultati ottenuti dallo studio dell'effetto a breve termine dell'inquinamento atmosferico per il periodo 2002-2005 a Padova.

6.1 RISULTATI GLOBALI

In accordo con quello svolto nello studio MISA-2, l'associazione dei dati giornalieri di mortalità con la concentrazione atmosferica degli inquinanti, è stata misurata riferendosi alla concentrazione media dello stesso giorno e del giorno precedente (lag 0-1). Questa scelta riflette le conoscenze disponibili in letteratura e le analisi della distribuzione degli effetti ritardati.

I risultati sono espressi in termini di incremento percentuale nel numero giornaliero di decessi, associato ad un incremento di 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ nella concentrazione di SO_2 , NO_2 , PM_{10} e O_3 e di $1\text{mg}/\text{m}^3$ nella concentrazione di CO .

Per ottenere, quindi, la variazione percentuale del numero giornaliero dei decessi associati a tale aumento, occorre effettuare la seguente conversione:

$$[e(\beta*10)-1]*100 \quad (6.1)$$

Per il monossido di carbonio si studia invece la variazione dei decessi associata ad un incremento di 1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ e pertanto si ricorre alla trasformazione:

$$[e(\beta *1)-1]*100 \quad (6.2)$$

Tale effetto rappresenta l'eccesso di rischio atteso per un soggetto, estratto casualmente dalla popolazione, residente nel comune di Padova. Ogni variazione percentuale è corredata dal rispettivo intervallo di confidenza al 95% calcolato nel modo seguente:

$$[\exp((\beta \pm z_{\alpha/2} e.s.(\beta)) * 10) - 1] * 100 \quad (6.3)$$

Per il monossido di carbonio , invece, la variazione sarà di 1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

La tabella riporta le variazioni percentuali globali e gli intervalli di confidenza relativi all'effetto di ciascun inquinante sulla mortalità.

DECESSI	CAUSE NATURALI				CAUSE CARDIACHE				CAUSE RESPIRATORIE			
	Beta	Var %	low	up	Beta	Var %	low	up	Beta	Var %	low	up
SO ₂	0.002	1.67%	-1.650	22.076	-0.013	-11.75%	-34.418	18.750	0.018	19.22%	-31.584	107.771
SO ₂ Inverno	0.003	2.76%	-1.559	23.565	-0.011	-10.33%	-33.504	20.909	0.018	19.46%	-31.763	109.128
SO ₂ Estate	0.011	12.01%	-1.837	51.017	0.003	2.75%	-36.516	66.300	0.004	3.75%	-63.023	191.126
NO₂	-0.001	-0.80%	-2.834	1.286	-0.001	-1.22%	-4.488	2.167	-0.011	-10.69%	-16.729	-4.218
CO	-0.008	-0.77%	-4.807	3.447	-0.040	-3.88%	-10.289	2.989	-0.258	-22.70%	-33.290	-10.444
PM10	0.000	0.04%	-0.867	0.961	0.000	-0.05%	-1.503	1.419	-0.003	-3.29%	-6.143	-0.358
O ₃ estivo	0.000	0.50%	-1.218	2.247	0.002	1.56%	-1.276	4.480	0.001	0.61%	-5.321	6.908

Tabella 6.1: stime globali e intervalli di confidenza relativi all'effetto dell'inquinante sulla mortalità

I risultati di questa tabella sono molto incerti.

Per quanto riguarda la mortalità naturale, non abbiamo nessuna variabile statisticamente rilevante. Si nota come l'SO₂ (sia invernale che estivo), il PM10 e l'O₃ estivo abbia comunque un trend positivo, mentre l'NO₂ e il CO mostrano una tendenza negativa.

Anche per quanto riguarda la mortalità cardiovascolare non abbiamo nessuna variabile statisticamente rilevabile, però l'unico inquinante che mostra un trend negativo è l'SO₂ estivo.

Nella mortalità respiratoria abbiamo invece una novità. Abbiamo tre variabili statisticamente significative, però sembrano agire come fattori protettivi. Queste variabili sono l'NO₂, il CO e il PM10. Tutte le rimanenti variabili mostrano una variazione percentuale positiva, però non statisticamente rilevante.

6.2 RISULTATI SPECIFICI PER GENERE, ETA' E STAGIONE

Di seguito sono riportati i risultati delle analisi disaggregate per sesso, età e stagione.

DECESSI	CAUSE NATURALI				CAUSE CARDIACHE				CAUSE RESPIRATORIE				sesso
	Beta	Var %	low	up	Beta	Var %	low	up	Beta	Var %	low	up	
SO ₂	0.0029	2.90%	-21.048	34.106	-0.0068	-6.58%	-39.939	45.314	-0.0033	-3.22%	-61.007	140.227	maschi
SO ₂	-0.0002	-0.21%	-22.502	28.506	-0.0168	-15.49%	-43.433	26.257	0.0325	38.42%	-31.777	180.862	femmine
No ₂	-0.0015	-1.50%	-4.470	1.565	-0.0020	-1.97%	-6.900	3.225	-0.0093	-8.90%	-17.876	1.066	maschi
NO₂	-0.0002	-0.24%	-3.022	2.613	-0.0007	-0.71%	-5.029	3.815	-0.0126	-11.82%	-19.530	-3.384	femmine
CO	-0.0259	-2.55%	-8.249	3.496	-0.0425	-4.16%	-13.549	6.251	-0.2959	-25.61%	-40.245	-7.393	maschi
CO	0.0093	0.94%	-4.709	6.917	-0.0357	-3.51%	-12.103	5.925	-0.2334	-20.81%	-34.403	-4.416	femmine
PM10	-0.0001	-0.07%	-1.413	1.288	-0.0002	-0.21%	-2.410	2.049	-0.0047	-4.57%	-8.812	-0.132	maschi
PM10	0.0001	0.14%	-1.093	1.387	0.0001	0.05%	-1.865	2.006	-0.0029	-2.83%	-6.510	1.000	femmine
O ₃ ESTIVO	0.0006	0.63%	-1.944	3.268	0.0031	3.16%	-1.355	7.888	0.0001	0.05%	-8.395	9.274	maschi
O ₃ ESTIVO	0.0004	0.36%	-1.927	2.707	0.0003	0.31%	-3.299	4.044	0.0008	0.82%	-7.339	9.696	femmine

Tabella 6.2: stime globali, specifiche per sesso, relative all'effetto dell'inquinante sulla mortalità

Nell'analisi per sesso notiamo come non vi sia un andamento trend particolare legato a questa variabile. Non vi sono risultati statisticamente significativi, anche se si nota come l'NO₂ sembra

fungere da fattore protettivo sia per i maschi che per le femmine, cosa che non avviene invece per l'O3 estivo. Tutte le altre variabili non hanno un andamento simile.

DECESSI		CAUSE NATURALI				CAUSE CARDIACHE				CAUSE RESPIRATORIE			
		Beta	Var %	low	up	Beta	Var %	low	up	Beta	Var %	low	up
S O 2	<65	-0.012	-11.22%	-33.048	17.732	-0.060	-44.91%	-69.045	-1.962	-0.001	-0.87%	-69.568	222.939
	65-74	-0.002	-1.61%	-23.347	26.280	0.005	4.76%	-32.617	62.860	0.007	6.91%	-59.887	184.964
	>74	0.004	4.31%	-13.557	25.862	-0.012	-10.90%	-34.120	20.501	0.020	22.04%	-30.572	114.531
	>84	0.0013	1.32%	-24.469	35.910	-0.0118	-11.11%	-41.729	35.597	0.0343	40.96%	-33.956	200.876
N O 2	<65	0.000	0.49%	-4.814	6.090	-0.008	-7.34%	-17.923	4.613	-0.004	-3.77%	-27.372	27.503
	65-74	0.000	0.30%	-4.170	4.988	-0.001	-0.51%	-9.002	8.783	-0.008	-7.78%	-25.438	14.059
	>74	-0.001	-1.31%	-3.684	1.124	-0.001	-0.80%	-4.392	2.928	-0.012	-11.40%	-17.797	-4.504
	>84	-0.0012	-1.21%	-4.520	2.210	0.0009	0.86%	-3.896	5.853	-0.0125	-11.75%	-19.896	-2.772
C O	<65	0.030	3.08%	-6.959	14.194	-0.046	-4.48%	-23.458	19.191	-0.579	-43.93%	-68.994	1.380
	>74	-0.019	-1.84%	-10.045	7.113	-0.114	-10.79%	-25.163	6.352	-0.001	-0.13%	-32.281	47.300
	75-84	-0.014	-1.37%	-6.488	4.038	-0.023	-2.26%	-9.782	5.898	-0.271	-23.76%	-35.347	-10.110
	>84	0.0146	1.48%	-5.681	9.175	0.0079	0.79%	-9.120	11.791	-0.3398	-28.81%	-42.568	-11.751
P M	<65	0.000	-0.37%	-2.944	2.273	-0.001	-1.24%	-6.584	4.402	-0.003	-3.08%	-14.749	10.192
	65-74	0.001	0.54%	-1.660	2.788	0.000	0.48%	-3.782	4.936	-0.005	-5.13%	-14.639	5.446
	>74	0.000	0.00%	-1.062	1.065	0.000	-0.03%	-1.614	1.580	-0.003	-3.14%	-6.180	-0.001
	>84	0.0005	0.52%	-0.938	2.002	0.0002	0.23%	-1.841	2.339	-0.0037	-3.60%	-7.468	0.434
O 3	<65	-0.001	-0.61%	-3.902	2.799	0.002	1.78%	-5.142	9.216	0.012	12.84%	-5.411	34.623
	65-74	0.001	1.30%	-1.841	4.536	-0.001	-0.80%	-6.653	5.428	0.007	7.56%	-6.197	23.346
	>74	0.001	0.53%	-1.367	2.467	0.002	1.98%	-1.026	5.070	-0.001	-0.72%	-6.829	5.797
	>84	0.0004	0.40%	-2.329	3.204	0.0026	2.61%	-1.391	6.765	0.0007	0.70%	-7.172	9.244

Tabella 6.3: stime globali, specifiche per età, relative all'effetto dell'inquinante sulla mortalità

Per quanto riguarda l'età confrontata con la mortalità naturale, non vi sono variabili statisticamente rilevanti e comunque non abbiamo una categoria maggior a rischio delle altre tranne che per le persone con una età maggiore di 85 anni (tranne per l'NO2).

La mortalità cardiovascolare mostra solo una variazione percentuale positiva, tra gli 0 e i 64 anni, e per quanto riguarda l'SO2. Quasi tutto il resto mostra una variazione percentuale negativa, eccezione fatta per gli over-85, i quali mostrano una variazione percentuale positiva tranne che per l'SO2 e l'O3 estivo.

Per la mortalità respiratoria vediamo come per gli abitanti con età maggiore di 75 anni, l'NO2, il CO e il PM10 sembrano agire come fattori protettivi.

DECESSI		CAUSE NATURALI				CAUSE CARDIACHE				CAUSE RESPIRATORIE			
		Beta	Var %	low	up	Beta	Var %	low	up	Beta	Var %	low	up
S	Estate	0.011	12.01%	2.259	22.691	0.003	2.75%	-36.516	66.300	0.004	3.75%	-63.023	191.126
	Inverno	0.003	2.76%	-14.538	23.565	-0.011	-10.33%	-33.504	20.909	0.018	19.46%	-31.763	109.128
N	Estate	0.001	0.63%	-3.105	4.503	0.001	1.25%	-4.890	7.788	-0.009	-8.42%	-20.466	5.440
	Inverno	-0.001	-1.19%	-3.486	1.151	-0.002	-1.85%	-5.496	1.933	-0.012	-10.99%	-17.585	-3.874
C	Estate	0.149	16.09%	-0.320	35.214	0.089	9.28%	-15.281	40.962	0.267	30.54%	-23.978	124.169
	Inverno	-0.015	-1.47%	-5.595	2.838	-0.044	-4.33%	-10.872	2.698	-0.284	-24.72%	-35.328	-12.380
P	Estate	0.003	2.97%	0.061	5.955	0.004	3.99%	-0.778	8.994	-0.005	-5.04%	-14.698	5.700
	Inverno	0.000	-0.21%	-1.152	0.731	0.000	-0.36%	-1.855	1.148	-0.003	-3.17%	-6.077	-0.170

Tabella 6.4: stime globali, specifiche per stagione, relative all'effetto dell'inquinante sulla mortalità

Per quanto riguarda il rapporto stagione-malattia abbiamo dei risultati molto importanti.

Per la mortalità naturale notiamo come vi siano 2 valori statisticamente rilevanti: quello dell'SO₂ e quello del PM10. Se andiamo a vedere a che stagione si riferiscono, notiamo che entrambi appartengono alla stagione estiva. L'estate sembra quindi essere un fattore causale della mortalità naturale.

La mortalità cardiovascolare non mostra variazioni percentuali significative, anche se notiamo che in estate queste sia tutte positive, mentre in inverno siano tutte negative. Sembra quindi confermare quanto detto prima, cioè che l'inverno funga da fattore protettivo, mentre l'estate da fattore causale.

Anche per la mortalità respiratoria vi sono variabili statisticamente significative, ma non mostrano come precedentemente il fatto che l'estate sia un fattore causale per questo tipo di malattia; anzi, mettono in risalto come invece l'inverno sia un fattore protettivo per questo tipo di ammalati.

6.3 ANALISI DI SENSIBILITA'

Le analisi di sensibilità vengono condotte mettendo a confronto tra di loro vari modelli. In generale, più simili sono le stime ottenute dai vari modelli, più credibile è l'inferenza che se ne può trarre.

L'analisi di sensibilità per questa analisi mostra come:

- con la diminuzione dei gradi di libertà per la spline sulla stagionalità le stime tendono a divenire più precise;
- La variazione percentuale tende ad essere maggiore con una spline con 3 gradi di libertà, mentre è pressoché identica tra il modello gam e quello con 8 gradi di libertà.

DECESSI	CAUSE NATURALI				CAUSE CARDIACHE				CAUSE RESPIRATORIE			
	Beta	Var %	low	up	Beta	Var %	low	up	Beta	Var %	low	up

S O 2	Glm	0.002	1.67%	-1.650	22.076	-0.013	-11.75%	-34.418	18.750	0.018	19.22%	-31.584	107.771
	Gam	0.002	2.21%	-14.808	22.638	-0.012	-11.00%	-33.739	19.530	0.023	25.67%	-27.641	118.283
	3 df	0.002	2.45%	-14.469	22.722	-0.012	-11.45%	-33.862	18.560	0.026	29.55%	-24.697	122.895
	8 df	0.002	1.66%	-15.459	22.243	-0.012	-11.48%	-34.372	19.400	0.019	21.32%	-31.141	113.743
	flxT	0.002	2.19%	-15.124	23.045	-0.013	-12.56%	-35.321	18.216	0.024	27.14%	-28.349	125.623
N O 2	Glm	-0.001	-0.80%	-2.834	1.286	-0.001	-1.22%	-4.488	2.167	-0.011	-10.69%	-16.729	-4.218
	Gam	-0.001	-0.54%	-2.581	1.549	-0.001	-0.80%	-4.084	2.601	-0.010	-9.74%	-15.836	-3.215
	3 df	0.000	-0.47%	-2.508	1.603	-0.001	-0.66%	-3.933	2.721	-0.010	-9.94%	-15.977	-3.461
	8 df	-0.001	-0.68%	-2.767	1.461	-0.001	-0.79%	-4.160	2.704	-0.011	-10.27%	-16.520	-3.547
	flxT	-0.001	-1.31%	-3.402	0.832	-0.002	-1.59%	-4.949	1.894	-0.010	-9.89%	-16.109	-3.219
C O	Glm	-0.008	-0.77%	-4.807	3.447	-0.040	-3.88%	-10.289	2.989	-0.258	-22.70%	-33.290	-10.444
	Gam	-0.007	-0.74%	-4.691	3.366	-0.035	-3.40%	-9.659	3.290	-0.237	-21.11%	-31.585	-9.046
	3 df	-0.013	-1.26%	-5.079	2.718	-0.039	-3.84%	-9.863	2.593	-0.243	-21.57%	-31.741	-9.880
	8 df	-0.007	-0.65%	-4.740	3.614	-0.041	-4.01%	-10.489	2.937	-0.246	-21.82%	-32.572	-9.361
	flxT	-0.018	-1.79%	-5.963	2.563	-0.049	-4.77%	-11.325	2.260	-0.239	-21.24%	-32.217	-8.497
P M 10	Glm	0.000	0.04%	-0.867	0.961	0.000	-0.05%	-1.503	1.419	-0.003	-3.29%	-6.143	-0.358
	Gam	0.000	0.18%	-0.725	1.095	0.000	0.17%	-1.278	1.633	-0.003	-3.02%	-5.861	-0.085
	3 df	0.000	0.24%	-0.659	1.153	0.000	0.29%	-1.146	1.754	-0.003	-3.00%	-5.834	-0.084
	8 df	0.000	-0.10%	-1.022	0.825	0.000	-0.30%	-1.764	1.188	-0.004	-3.48%	-6.381	-0.498
	flxT	0.000	-0.12%	-1.062	0.824	0.000	-0.22%	-1.713	1.299	-0.003	-2.73%	-5.660	0.298
O 3	Glm	0.000	0.50%	-1.218	2.247	0.002	1.56%	-1.276	4.480	0.001	0.61%	-5.321	6.908
	Gam	0.000	0.34%	-1.353	2.066	0.001	1.45%	-1.345	4.330	0.001	0.61%	-5.267	6.848
	3 df	0.001	0.87%	0.265	1.485	0.001	1.49%	-1.248	4.300	0.001	0.61%	-5.183	6.752
	8 df	0.000	0.18%	-1.553	1.948	0.001	1.04%	-1.833	4.004	0.000	-0.22%	-6.220	6.170
	flxT	0.001	0.82%	-0.972	2.650	0.002	1.96%	-0.995	5.011	0.001	1.35%	-4.892	7.995

Tabella 6.5: stime globali, specifiche per modello, relative all'effetto dell'inquinante sulla mortalità

6.4 CONCLUSIONI

Il nostro studio tende a confermare il legame tra inquinamento atmosferico e mortalità a breve termine.

L'applicazione dell'analisi adottata nello studio MISA-2 alla realtà di Padova evidenzia una significativa associazione solo per l'SO₂ e il PM10 nel periodo estivo.

L'SO₂, in questa stagione, risulta responsabile di un aumento della mortalità naturale addirittura del 12,01%. Una notevole rilevanza dell'elemento in questione è confermata all'inverso anche nelle rilevazioni sull'andamento dei decessi per cause respiratorie: qui la stagione invernale rivela una funzione protettiva per il 10,99% del campione.

Un ulteriore incremento degli episodi di mortalità naturale pari al 2,97% è dovuto, nel periodo estivo, alla presenza di PM10. Un evento in questo caso negativo nei dati che si riferiscono alla stagione invernale: qui la funzione protettiva sale fino al 24,72%.

E' stato possibile confrontare i nostri risultati con i dati emersi precedentemente da una tesi di laurea condotta all'interno del Dipartimento di Igiene e Prevenzione dell'Università di Padova, sostanzialmente parallela allo studio esposto nei paragrafi precedenti, ma riferita agli anni 1999-2001, periodo di tempo sostanzialmente diverso rispetto a quello di questa tesi (2002-2004). L'elemento più significativo nel condizionare la mortalità a breve termine in quella ricerca era risultato l'NO₂.

La discrepanza merita una riflessione: esaminando i dati si è constatato come le serie storiche giornaliere degli inquinanti risultino diverse. Si può quindi ipotizzare che le interferenze fra elementi atmosferici differenti abbiano collocato in primo piano nel triennio precedente l'NO₂, mentre nel quadriennio considerato in questa tesi si è rivelato più incisivo l'SO₂.

Infatti, molto probabilmente, la causa dei decessi non è il singolo fattore, ma l'interazione tra di essi: tuttavia la scienza statistica manca ancora di un modello abbastanza complesso per rilevare questi intrecci. Per di più mancano anche i dati di Igiene Ambientale.

La stessa osservazione non ci permette di escludere che gli altri inquinanti abbiano influenza sui decessi a breve termine per cause naturali, cardiovascolari o respiratorie, tanto più che, nel genere di analisi condotte in questo ambito, non si può mai isolare un singolo elemento.

L'analisi statistica condotta nella presente tesi ci porta quindi a concludere che, mentre per altri fattori epidemiologici la stagione maggiormente a rischio è l'inverno, nel nostro studio un fattore di rischio per la salute umana è rappresentato dalla stagione estiva

BIBLIOGRAFIA

[1] Biggeri A., Bellini P., Terracini B. (2001), *Metanalisi italiana degli studi sugli*

effetti a breve termine dell'inquinamento atmosferico, Ep e prev; 25 (2) suppl 1-72.

[2] Biggeri A., Bellini P., Terracini B. (2004), *Metanalisi italiana degli studi sugli effetti a breve termine dell'inquinamento atmosferico 1996-2002*, Ep e prev; anno 28(4-5) supplemento

[3] Biggeri A., Baccini M., Accetta G., Bellini A., Grechi D. il Gruppo MISA (2003), *Valutazione di qualità, delle misure di concentrazione degli inquinanti atmosferici nello studio sull'effetto a breve termine dell'inquinamento sulla salute*, Ep e prev, 27(6).

[4] Daneluzzo B. (2002), *Studio degli effetti a breve termine dell'inquinamento atmosferico sulla salute: il caso di Padova* Tesi di laurea, facoltà di Scienze Statistiche.

[5] Seinfeld J. (1986), *Atmospheric Chemistry and Physics of Air Pollution*, John Wiley e Sons.

[6] Agostinelli C., Sartorelli S. (2002), *Introduzione al linguaggio di SAS System*.

[7] Capiluppi C. (2002), *Analisi Dati con SAS System*.

[8] Pope CA, Thun MJ, Nombroodiri MM, Dockery DW, Evans JS, Speizer FE, Heath CW Jr. (1995), *Particulate air pollution as predictor of mortality in a prospective study of US adults*. *Am J Resp Crit Care Med*.

[9] APHEA Project (1996), *Short term effects of air pollution on health: a European approach using epidemiologic time series data: the APHEA protocol*. *J Epidemiol Community Health. Special Report, Health Effects institute, Cambridge*.

[10] Burnett R.T., Cakmak S., Brook J.R. (1998), *The effect of the urban ambient air pollution mix on daily mortality rates in 11 Canadian cities*. *Can J Public Health*.

[11] Aunan K., Pan X-C (2004). *Exposure-response functions for health effects of ambient air pollution applicable for China – a meta-analysis*. *Science of the total Environment*.

[12] Lee J.T., Kim H., Hong Y.C., Kwon H.J., Schwartz J., Christiani D.C (2000). *Air pollution and daily mortality in seven major cities of Korea, 1991-1997*. *Environ Res*.

[13] Zeghnoun A., Eilstein D., Saviuc P., Filleul L., Le Goaster C., Cassadou S., Boumghar A., Pascal L., Medina S., Prouvost H., Le Tertre A., Declercq C., Quenel P. (2001), *Monitoring of short-term effects of urban air pollution on mortality. Results of a pilot study in 9 French cities*. *Rev Epidemiol Sante Publique*

[14] Wichmann H.E., Spix C., Tuch T., Wolke G., Peters A., Heinrich J., Kreyling W.G., Heyder J. (2000). *Daily mortality and Fine and Ultrafine Particles in Erfurt, Germany. Part I: Role of Particle Number and Particulate Mass*. *Research Report 98. Health Effects Institute*.

[15] Omori T., Fujimoto G., Yoshimura I., Nitta H., Ono M. (2003). *Effects of particulate matter on daily mortality in 13 Japanese cities*. *J. Epidemiol*.

[16] Hoek G., Brunekreef G., Verhoeff A., van Wijnen J., Fischer P. (2000). *Daily mortality and air pollution in the Netherlands*. *J. Air & Waste Manage Assoc*.

[17] Ballester F., Iniguez C., Saez M., Perez-Hoyos S., Daponte Codina A., Bellido Blasco J.B., Canada Martinez A., Abad Diez J.M., Perez Boillos M.J., Alonso Fustel M.E., Taracido Trunk M., Aguinaga Ontoso I., Guillen Perez I.J., Ordonez Iriarte J.M., Saurina Canals C., Tenias Burillo J.M. (1999) *The EMECAM project: a discussion of the results in the participating cities. Estudio Multicentrico Espanol sobre la Relacion entre la Contaminacion Atmosferica y la Mortalidad. Rev Esp Salud Publica.*

[18] Ballester F., Iniguez C., Saez M., Perez-Hoyos S., Daponte Codina A., Ordonez Iriarte J.M., Barcelo M.A., Taracido M., Arribas F., Aragones N., Tobias A., Cirera L., Canada A. (2003). *Grupo EMECAM-AMECAS. Short-term relationship between air pollution and mortality in 13 Spanish cities. Med Clin (Barc).*

[19] Ballester f., Barcelo M.A., Perez-Hoyos S., Saurina Canals C., Tenias Burillo J.M., Daponte Codina A., Alonso Fustel M.E., Taracido M., Taracido Trunk M. Tenias J.M (2002) *The EMECAM project: a multicentre study on air pollution and mortality in Spain: combined results for particulates and for sulfur dioxif. Occup EnvironMed.*

[20] www.nonsoloaria.com

[21] www.padovanet.it

[22] <http://www2.unipr.it>

[23] <http://ishtar.df.unibo.it>

RINGRAZIAMENTI

Ebbene sì, che lo avrebbe mai detto... tre anni fa sembrava così lontano questo momento, ed ora siamo veramente a pochi passi, a pochi giorni dal primo obiettivo dei miei studi: la laurea triennale. E qual'è il modo migliore per ringraziare tutte le persone che mi sono state vicine durante tutti questi anni se non citandole in questa mia tesi.

E allora....

Grazie a mamma e papà, a Elena e a Stefania. Non posso che metterli tutti insieme questi nomi. I primi, i miei genitori, mi hanno sempre lasciato fare quasi tutto quello che volevo, anche se loro non erano sempre d'accordo. La terza, mia sorella, per tutti i momenti canterini e di svago che mi ha concesso durante tutti questi anni, un po' meno per tutti gli occhi neri che mi ha procurato. L'ultima, il mio amore, perchè è stata forse l'unica a starmi vicino anche fisicamente, il che andava molto oltre della semplice parola di incoraggiamento.

E poi Daniele, mio amico da svariati anni... con lui ho condiviso tutte le cose più pazze della mia vita... amico sempre fedele e sempre disposto a darti una mano nei momenti difficili.

Il gruppo scout, che mi accingo a salutare prossimamente dopo 14 anni di attività stupende e fantastiche, sperando di aver realmente lasciato un mondo migliore rispetto a come l'ho trovato.

Alla “compa”, o al “Gruppo ANFAS”, come piace chiamarlo a me, perchè i sabati sera con loro finiscono sempre in maniera inaspettata.

A Bue, che anche se conosciuta da poco, mi ha aiutato a distrarmi nei momenti in cui mi trovavo in panne.

A Lucilla, senza la quale avremmo dovuto trovare un interprete vacchESCO-italiano

Al calcio, il mio svago e il mio sport preferito, e a tutti i momenti della mia infanzia dove ho perso tempo per correre dietro a un pallone.

Alla mia squadra di hatrick, senza la quale il sabato mezzogiorno diventerebbe un momento qualsiasi.

E come finire questa tesi se non al mio modo, scrivendo una frase che mi appartiene di diritto. E allora:

“Un muggito di cuore da parte di vaccadalatte”.

Blink