

Università degli studi di Padova



Facoltà di Scienze Statistiche

*Corso di laurea triennale in Statistica e Tecnologie
Informatiche*

Tesi di laurea

Analisi descrittiva del particolato atmosferico: Veneto 2007-2009

Relatore: Ch.ma Prof.ssa Monica Chiogna

Laureando: Griggio Riccardo
Matr. 582872 - STI

Anno Accademico: 2008/2009

Indice

Introduzione	8
1 L'inquinamento atmosferico	11
1.1 Definizioni	11
1.2 Il particolato atmosferico (PM)	13
1.2.1 Le fonti antropiche	14
1.2.2 Effetti sulla salute	15
1.2.3 Effetti sull'ambiente	16
1.2.4 Metodo di misura.....	17
1.3 La legislazione	19
1.3.1 Decreto Ministeriale n°60 del 02/04/2002.....	19
1.3.2 Decreto Ministeriale n°261 del 01/10/2002.....	20
2 Piano di monitoraggio	24
2.1 La rete di monitoraggio della qualità dell'aria di ARPAV	24
2.2 Criteri di monitoraggio delle Campagne Qualità Aria.....	26
3 Analisi descrittive e grafici	31
3.1 I mezzi mobili	31
3.1.1 I dati.....	31
3.1.2 Prime analisi	32
3.1.3 Le serie temporali	39

3.2 Le stazioni fisse.....	43
3.2.1 I dati.....	43
3.2.2 Prime analisi.....	46
3.2.3 Le serie temporali.....	54
3.2.4 Serie temporale del triennio 2007-2009.....	58
4 I modelli di previsione.....	71
4.1 Analisi esplorativa.....	72
4.2 Stima del modello.....	74
4.3 Verifica della bontà del modello.....	77
5 Conclusioni.....	83
Bibliografia.....	87
Appendice A: istogrammi.....	89
Appendice B: diagrammi a scatola.....	95
Appendice C: serie temporali dei dati giornalieri.....	98
Appendice D: serie temporali delle medie mensili.....	107
Appendice E: serie destagionalizzate.....	115
Appendice F: diagrammi di dispersione.....	116

Elenco delle tabelle

1.1 Valori limite in vigore per il PM10.....	20
1.2 Soglie di valutazione del PM10.....	20
2.1 Stazioni della rete regionale di controllo della qualità dell'aria del Veneto (aggiornamento al 01/01/2009).....	25
2.2 Calendario seguito (di massima) per l'esecuzione delle campagne di monitoraggio della qualità dell'aria nel 2007.....	28
2.3 Calendario seguito (di massima) per l'esecuzione delle campagne di monitoraggio della qualità dell'aria nel 2008.....	28
2.4 Calendario seguito (di massima) per l'esecuzione delle campagne di monitoraggio della qualità dell'aria nel 2009.....	28
3.1 a Statistiche descrittive relative alla concentrazione giornaliera di PM10 del 2007.....	32
3.1 b Statistiche descrittive relative alla concentrazione giornaliera di PM10 del 2007.....	33
3.2 Statistiche descrittive relative alla concentrazione giornaliera di PM10 del 2008.....	33
3.3 Statistiche descrittive relative alla concentrazione giornaliera di PM10 del 2009.....	34
3.4 Stazioni fisse di riferimento per ogni cella, anno 2007.....	44
3.5 Stazioni fisse di riferimento per ogni cella, anno 2008.....	45
3.6 Stazioni fisse di riferimento per ogni cella, anno 2009.....	45
3.7 a Statistiche descrittive relative alla concentrazione giornaliera di PM10 delle stazioni fisse prese come riferimento nel 2007.....	46

3.7 b Statistiche descrittive relative alla concentrazione giornaliera di PM10 delle stazioni fisse prese come riferimento nel 2007.	46
3.8 a Statistiche descrittive relative alla concentrazione giornaliera di PM10 delle stazioni fisse prese come riferimento nel 2008.	47
3.8 b Statistiche descrittive relative alla concentrazione giornaliera di PM10 delle stazioni fisse prese come riferimento nel 2008.	47
3.9 a Statistiche descrittive relative alla concentrazione giornaliera di PM10 delle stazioni fisse prese come riferimento nel 2009.	48
3.9 b Statistiche descrittive relative alla concentrazione giornaliera di PM10 delle stazioni fisse prese come riferimento nel 2009.	48
4.1 Intervalli di confidenza di β dei modelli della cella 62.....	76
4.2 Dati eliminati dalla serie della cella 62 e dalle stazioni di Castelnovo Bariano e VR - Cason.	79
4.3 Stazioni di riferimento scelte e stima di β delle celle monitorate nel 2007.....	81
4.4 Stazioni di riferimento scelte e stima di β delle celle monitorate nel 2008.....	81
4.5 Stazioni di riferimento scelte e stima di β delle celle monitorate nel 2009.....	82
5.1 Stime delle medie annuali delle celle monitorate nel 2007.	83
5.2 Stime delle medie annuali delle celle monitorate nel 2008.	84
5.3 Stime delle medie annuali delle celle monitorate nel 2009.	84

Elenco delle figure

2.1 Zonizzazione amministrativa 2006.....	29
2.2 Piano di monitoraggio 2007-2008-2009.....	30
3.1 Istogrammi relativi alla concentrazione di PM10 nelle celle 36, 44, 48, 55, anno 2007.....	35
3.2 Istogrammi relativi alla concentrazione di PM10 nelle celle 32, 33, 37, 39, anno 2008.....	35
3.3 Istogrammi relativi alla concentrazione di PM10 nelle celle 24, 34, 45, 49, anno 2009.....	36
3.4 Diagrammi a scatola relativi alla concentrazione di PM10 nelle celle 36, 44, 48, 55, anno 2007.....	36
3.5 Diagrammi a scatola relativi alla concentrazione di PM10 nelle celle 32, 33, 37, 39, anno 2008.....	37
3.6 Diagrammi a scatola relativi alla concentrazione di PM10 nelle celle 24, 34, 45, 49, anno 2009.....	37
3.7 Serie temporale di dati giornalieri della cella 36, anno 2007.	39
3.8 Serie temporale di dati giornalieri della cella 65, anno 2008.	40
3.9 Serie temporale di dati giornalieri della cella 69, anno 2009.	40
3.10 Serie temporale delle medie mensili della cella 36, anno 2007.....	42
3.11 Serie temporale delle medie mensili della cella 65, anno 2008.....	42
3.12 Serie temporale delle medie mensili della cella 69, anno 2009.....	43
3.13 Istogrammi relativi alla concentrazione di PM10 delle stazioni fisse di TV - Via Lancieri, VI - Quartiere Italia, San Donà, VE - Parco Bissuola, anno 2007	50

3.14 Istogrammi relativi alla concentrazione di PM10 delle stazioni fisse di Schio, Bassano, Mansuè, Concordia Sagittaria, anno 2008.....	50
3.15 Istogrammi relativi alla concentrazione di PM10 delle stazioni fisse di Feltre, Bassano, VI - Quartiere Italia, San Donà, anno 2009.	51
3.16 Diagrammi a scatola relativi alla concentrazione di PM10 delle stazioni fisse di TV - Via Lancieri, VI - Quartiere Italia, San Donà, VE - Parco Bissuola, anno 2007.....	51
3.17 Diagrammi a scatola relativi alla concentrazione di PM10 delle stazioni fisse di Schio, Bassano, Mansuè, Concordia Sagittaria, anno 2008.....	52
3.18 Diagrammi a scatola relativi alla concentrazione di PM10 delle stazioni fisse di Feltre, Bassano, VI - Quartiere Italia, San Donà, anno 2009.....	52
3.19 Serie temporale dei dati giornalieri della stazione di TV – Via Lancieri, anno 2007.	54
3.20 Serie temporale dei dati giornalieri della stazione di Este, anno 2008.	55
3.21 Serie temporale dei dati giornalieri della stazione di Castelnovo Bariano, anno 2009.	55
3.22 Serie temporale delle medie mensili della stazione di TV – Via Lancieri, anno 2007.	57
3.23 Serie temporale delle medie mensili della stazione di Este, anno 2008.....	57
3.24 Serie temporale delle medie mensili della stazione di Castelnovo Bariano, anno 2009.	58
3.25 Serie temporale dei dati giornalieri della stazione di Adria, triennio 2007-2009.	59
3.26 Serie temporale dei dati giornalieri della stazione di Bosco Chiesanuova, triennio 2007-2009.....	60
3.27 Serie temporale dei dati giornalieri della stazione di Este, triennio 2007-2009.	60
3.28 Serie temporale delle medie mensili della stazione di Adria, triennio 2007-2009.	61

3.29 Serie temporale delle medie mensili della stazione di Bosco Chiesanuova, triennio 2007-2009.....	62
3.30 Serie temporale delle medie mensili della stazione di Este, triennio 2007-2009.	62
3.31 Componenti della serie delle medie mensili della stazione fissa di Adria.....	64
3.32 Serie destagionalizzata delle medie mensili della stazione di Adria, triennio 2007-2009.....	66
3.33 Serie destagionalizzata delle medie mensili della stazione di Bosco Chiesanuova, triennio 2007-2009.....	66
3.34 Serie destagionalizzata delle medie mensili della stazione di Este, triennio 2007-2009.....	67
3.35 Componente irregolare della stazione di Adria, triennio 2007-2009.	67
3.36 Correlogramma della componente irregolare della stazione di Adria, triennio 2007-2009.....	68
3.37 Componente irregolare della stazione di Bosco Chiesanuova, triennio 2007-2009.....	68
3.38 Correlogramma della componente irregolare della stazione di Bosco Chiesanuova, triennio 2007-2009.....	69
3.39 Componente irregolare della stazione di Este, triennio 2007-2009.	69
3.40 Correlogramma della componente irregolare della stazione di Este, triennio 2007-2009.....	70
4.1 Diagrammi di dispersione dei dati dei mezzi mobili della cella 62 con i dati delle relative centraline fisse di riferimento.....	73
4.2 Diagrammi di dispersione di residui e valori stimati e istogramma, diagramma a scatola e grafico quantile-quantile dei residui del modello con la centralina di Castelonovo Bariano.....	77
4.3 Diagrammi di dispersione di residui e valori stimati e istogramma, diagramma a scatola e grafico quantile-quantile dei residui del modello con la centralina di VR - Cason.....	78

Introduzione

L'oggetto di studio della tesi è frutto dello stage svolto nel periodo aprile 2010 – luglio 2010 presso l'Agenzia Regionale per la Protezione e Prevenzione Ambientale del Veneto (ARPAV). Le attività svolte dall'ARPAV sono in estrema sintesi:

- prevenzione e controllo ambientale;
- previsione, informazione ed elaborazione meteo-climatica e radarmeteorologica;
- organizzazione e gestione del sistema informativo regionale per il monitoraggio ambientale ed epidemiologico in relazione ai fattori ambientali;
- promozione di attività di educazione ambientale ed informazione ambientale;
- fornitura di supporto tecnico-scientifico per la valutazione di impatto ambientale e per la determinazione del danno ambientale;
- promozione di iniziative di ricerca di base ed applicata sulle forme di tutela ambientale.

Il lavoro è consistito nell'analisi dei dati di concentrazione del particolato atmosferico, più precisamente del PM10, nel Veneto nel triennio 2007-2009, ottenuti attraverso alcune campagne di monitoraggio a griglia della qualità dell'aria effettuata con i mezzi mobili (ogni cella della griglia è stata monitorata per un solo anno), con l'obiettivo finale di creare dei modelli per la stima delle medie degli anni non monitorati dalle celle.

Queste stime verranno usate da ARPAV per confrontare le informazioni ottenute attraverso le campagne con i laboratori mobili con le informazioni ricavate dalla rete di monitoraggio dell'aria formata da stazioni fisse. In questo modo si può verificare se il monitoraggio con mezzi mobili a griglia fornisce delle nozioni in più rispetto alle centraline fisse.

Di seguito sono riportati, in sintesi, gli argomenti trattati nei singoli capitoli.

Nel capitolo 1 viene introdotto il problema dell'inquinamento atmosferico e vengono presentate le caratteristiche del particolato. Viene inoltre illustrata la legislazione italiana corrente in termini di controllo dell'inquinamento, delle metodologie di misurazione dell'inquinamento e dell'uso dei mezzi mobili per il monitoraggio a griglia.

Nel capitolo 2 viene presentato il piano di monitoraggio di ARPAV, in cui si descrive la rete di monitoraggio dell'aria e i criteri usati per il monitoraggio delle campagne di qualità dell'aria con i mezzi mobili.

Nel capitolo 3 vengono presentati i dati oggetti di studio rilevati con i laboratori mobili e le stazioni fisse. Sono, inoltre, illustrati dei grafici e tabelle riassuntive che descrivono la concentrazione e gli andamenti temporali dei dati giornalieri e delle medie mensili, del particolato nei siti monitorati con i mezzi mobili e con le centraline fisse.

Nel capitolo 4 vengono illustrati i modelli utilizzati per la stima delle medie annuali delle celle della griglia. Sono presentate tutte le analisi necessarie per la scelta del modello più adatto e per la verifica della sua bontà.

Nel capitolo 5 vengono analizzati i risultati ottenuti tramite i modelli del capitolo precedente.

In appendice sono riportati tutti i grafici dei mezzi mobili e delle stazioni fisse non prese in considerazione nei capitoli della tesi.

Tutte le elaborazioni e i grafici presentati sono stati prodotti utilizzando il software statistico R, scaricabile gratuitamente dal sito www.r-project.org.

Capitolo 1

L'inquinamento atmosferico

1.1 Definizioni

L'aria è una miscela di gas costituito dal 78,09% di azoto, 20,94% di ossigeno, 0,93% di argon, 0,03% di anidride carbonica ed altri elementi in percentuali molto più contenute¹. Questa composizione chimica dell'aria è quella determinata su campioni prelevati in zone considerate sufficientemente lontane da qualunque fonte di inquinamento. Sebbene le concentrazioni dei gas che compongono mediamente l'atmosfera siano pressoché costanti, in realtà si tratta di un sistema dinamico in continua evoluzione.

L'inquinamento atmosferico può essere definito come un fenomeno di alterazione della normale composizione chimica dell'aria, dovuta alla presenza di sostanze in quantità e con caratteristiche tali da alterare le normali condizioni di salubrità dell'aria. Queste modificazioni possono costituire un pericolo per la salute dell'uomo, compromettere le attività ricreative e gli altri usi dell'ambiente, alterare le risorse biologiche e gli ecosistemi, nonché i beni materiali pubblici e privati.

Gli inquinanti vengono distinti principalmente in due gruppi: quelli di origine antropica, cioè quelli prodotti dall'uomo, e quelli di origine naturale.

¹ Fonti: ARPAV, Nonsoloaria, Istituto Veneto.

Gli inquinanti di origine naturale sono, per esempio, le polveri e i vari gas emessi dai vulcani e a causa degli incendi delle foreste, mentre quelli di origine antropica sono, per esempio, i processi di combustione in genere (motori a scoppio degli autoveicoli, centrali termoelettriche, riscaldamento), le lavorazioni meccaniche e le attività produttive in genere, i processi di evaporazione (es. le verniciature) ed i processi chimici.

L'impatto degli inquinanti sull'uomo dipende dalla zona di produzione degli inquinanti e dalla loro dispersione in atmosfera. Le grandi sorgenti puntuali di tipo industriale, spesso localizzate lontane dai grandi centri urbani, disperdono gli inquinanti nell'aria a grandi altezze, mentre le sorgenti quali il riscaldamento domestico e il traffico producono inquinanti che si liberano a livello del suolo in aree densamente abitate.

La possibilità che gli inquinanti reagiscano porta a distinguere tra inquinanti primari, emessi direttamente in atmosfera, ed inquinanti secondari che si originano nell'aria per trasformazione chimica. I principali inquinanti primari sono quelli emessi nel corso dei processi di combustione di qualunque natura, cioè il monossido di carbonio (CO), il biossido di carbonio (CO₂), gli ossidi di azoto, principalmente sottoforma di monossido di azoto (NO), il biossido di zolfo (SO₂) e gli idrocarburi incombusti. Invece i principali inquinanti secondari sono il biossido di azoto (NO₂) formato da NO primario e l'ozono (O₃) formato per via fotochimica. Esistono inoltre inquinanti, come il particolato fine, in cui, secondo molti studi, si equivalgono le componenti primarie e secondarie.

Dopo la loro emissione in atmosfera, gli inquinanti primari sono soggetti a processi di diffusione, trasporto e deposizione. Subiscono inoltre dei processi di trasformazione chimico-fisica che possono portare alla formazione degli inquinanti secondari, che spesso risultano più dannosi rispetto ai composti di origine.

1.2 Il particolato atmosferico (PM)

Il particolato atmosferico è considerato come l'insieme di tutte le particelle solide o liquide che restano in sospensione nell'aria². Rappresenta un insieme estremamente eterogeneo di sostanze la cui origine può essere primaria (derivante direttamente dalle emissioni) o secondaria (originato da una serie di reazioni fisiche e chimiche). La caratterizzazione del particolato atmosferico si basa, oltre che sulla misura della concentrazione e l'identificazione delle specie chimiche presenti, anche sulla valutazione delle dimensioni delle particelle.

Le particelle di dimensioni maggiori a 10 μm (diametro aerodinamico $> 10 \mu\text{m}$) hanno un tempo medio di vita nell'atmosfera che varia da pochi minuti ad alcune ore e la possibilità di essere aerotrasportate per una distanza massima di 1-10 Km. Le particelle di dimensioni inferiori hanno un tempo medio di vita da pochi giorni fino a diverse settimane e possono venire veicolate dalle correnti atmosferiche per distanze fino a centinaia di chilometri.

Le zone di più probabile accumulo sono i siti di traffico e le aree urbane, ma in generale l'inquinamento da PM è di tipo diffuso. Le fonti urbane di emissione delle polveri PM10 (polveri con diametro aerodinamico inferiore a 10 μm) sono principalmente due:

- i trasporti su gomma;
- gli impianti di riscaldamento civili.

Sono invece sempre meno presenti, all'interno delle aree urbane, fonti di inquinamento industriali. Gli inquinanti emessi da camini di altezza elevata possono tuttavia essere trasportati dagli agenti meteorologici anche su

² Fonte ARPAV.

grandi distanze. Parte dell'inquinamento "di fondo" riscontrato in una determinata città può dunque provenire da un'industria situata a diversi chilometri di distanza dal centro urbano.

Il periodo più critico per questo inquinante è quello invernale, quando sono più frequenti le condizioni di ristagno degli inquinanti atmosferici.

1.2.1 Le fonti antropiche

Il particolato deriva soprattutto da fonti antropiche che sono essenzialmente le attività industriali ed il traffico veicolare. Stime preliminari dell' Agenzia Nazionale per la Protezione dell'Ambiente (ANPA) a livello nazionale (con riferimento al 1994) indicano per i trasporti un contributo alle emissioni intorno al 30% rispetto al totale; gli impianti di riscaldamento contribuiscono per circa il 15%; le emissioni da fonte industriale (inclusa la produzione di energia elettrica) danno conto di quasi il 50% delle emissioni di PM10. Per quanto riguarda le emissioni di PM10 da traffico, sono soprattutto i veicoli diesel a contribuire alle emissioni allo scarico, e tali emissioni nei centri urbani risultano grosso modo equiripartite tra auto e veicoli commerciali leggeri, da una parte, e bus e veicoli commerciali pesanti, dall'altra. Un'altra fonte significativa di emissione di PM10 da attribuire al traffico è quella dovuta all'usura di freni, gomme, asfalto stradale.

Sempre nei centri urbani, una frazione variabile, che può raggiungere il 60-80% in massa del particolato fine presente in atmosfera è di origine secondaria, ovvero è il risultato di reazioni chimiche che, partendo da inquinanti gassosi sia primari (cioè emessi direttamente in atmosfera come

gli idrocarburi e altri composti organici, gli ossidi di azoto, gli ossidi di zolfo, il monossido di carbonio, l'ammoniaca) che secondari (frutto di trasformazioni chimiche come l'ozono e altri inquinanti fotochimici), generano un enorme numero di composti in fase solida o liquida come solfati, nitrati e particelle organiche.

1.2.2 Effetti sulla salute

La dimensione media delle particelle determina il grado di penetrazione nell'apparato respiratorio e la conseguente pericolosità per la salute umana. Il monitoraggio ambientale del particolato con diametro inferiore a 10 µm (PM10) può essere considerato un indice della concentrazione di particelle in grado di penetrare nei bronchi (frazione inalabile). La determinazione delle particelle con diametro inferiore a 2.5 µm, frazione respirabile (PM2.5), è inoltre un indice della concentrazione di una serie molto eterogenea di composti chimici primari o derivati in grado di raggiungere le parti più interne dei polmoni (alveoli polmonari). Tra i composti primari, cioè emessi come tali, vi sono le particelle carboniose derivate dalla combustione di legname e dai fumi dei motori diesel; nella seconda categoria, cioè tra i composti prodotti da reazioni secondarie, rientrano le particelle carboniose originate durante la sequenza fotochimica che porta alla formazione di ozono, di particelle di solfati e nitrati derivanti dall'ossidazione del biossido di zolfo (SO₂) e del biossido di azoto (NO₂) rilasciati in vari processi di combustione.

Ai fini degli effetti sulla salute è molto importante la determinazione delle dimensioni e della composizione chimica delle particelle. Le dimensioni determinano il grado di penetrazione all'interno del tratto

respiratorio mentre le caratteristiche chimiche determinano la capacità di reagire con altre sostanze inquinanti (Idrocarburi Policiclici Aromatici o IPA³, metalli pesanti⁴, SO₂). Le particelle che si depositano nel tratto superiore o extratoracico (cavità nasali, faringe e laringe) possono causare effetti irritativi locali quali secchezza e infiammazione; quelle che si depositano nel tratto tracheobronchiale (trachea, bronchi e bronchioli) possono causare costrizione e riduzione della capacità epurativa dell'apparato respiratorio, aggravamento delle malattie respiratorie croniche (asma, bronchite ed enfisema) ed eventualmente neoplasie. Le particelle con un diametro inferiore ai 5 µm possono depositarsi nei bronchioli e negli alveoli e causare infiammazione, fibrosi e neoplasie. Il particolato fine può anche indurre indirettamente effetti sistemici su specifici organi bersaglio a seguito del rilascio nei fluidi biologici degli inquinanti da esso veicolati. I gruppi più sensibili sono costituiti dagli asmatici e dai bronchitici.

1.2.3 Effetti sull'ambiente

Il particolato atmosferico può diffondere la luce del sole assorbendola e riemettendola in tutte le direzioni; il risultato è che una minore quantità di luce raggiunge la superficie della Terra. Questo fenomeno presenta effetti locali, come la diminuzione di visibilità, ed effetti globali, come una possibile influenza sul clima.

Il particolato provoca inoltre effetti dannosi sui materiali, come corrosione dei metalli, danni ai circuiti elettrici ed elettronici per azione

³Gli Idrocarburi Policiclici Aromatici sono costituiti da due o più anelli aromatici condensati e derivano dalla combustione incompleta di numerose sostanze organiche.

⁴Alla categoria dei metalli pesanti appartengono circa 70 elementi (con densità > 5 g/cm³), anche se quelli rilevanti da un punto di vista ambientale sono solo una ventina. Tra i più importanti ricordiamo: Ag, Cd, Cr, Co, Cu, Fe, Hg, Mn, Pb, Mo, Ni, Sn, Zn.

chimica e meccanica, insudiciamento di edifici e opere d'arte, ridotta durata dei tessuti.

Sulle piante la polvere, ad esempio quella dei cementifici, può determinare delle incrostazioni, che interferiscono con il processo di fotosintesi, in quanto intercettano la radiazione solare.

1.2.4 Metodo di misura

Il metodo di riferimento per la determinazione del materiale particolato PM_{10} si basa sulla raccolta della “frazione PM_{10} ” su apposito filtro e successiva determinazione della sua massa per via gravimetrica, in laboratorio, dopo che è avvenuto il condizionamento del filtro in condizioni controllate di temperatura ($20^{\circ} C \pm 1$) e di umidità ($50 \pm 5\%$). Oltre al metodo di riferimento, ci sono i metodi equivalenti per la misura del PM_{10} (ad esempio strumentazione automatica che sfrutta il principio dell'assorbimento della radiazione β da parte della polvere campionata). La determinazione del particolato fine in atmosfera viene eseguito mediante diversi tipi di strumenti, di seguito descritti:

- **Campionatori di PM_{10}**

Questi strumenti sono costituiti da una pompa che aspira l'aria ambiente attraverso una testa di prelievo, la cui geometria è stata normata a livello internazionale ed è in grado di selezionare le polveri con diametro aerodinamico inferiore ai $10 \mu m$ con una efficienza del 50%. La componente del particolato selezionata dalla testa viene quindi fatta passare attraverso una membrana filtrante di opportuna porosità e costituita da diversi materiali (quarzo, fibra di vetro, teflon, esteri di cellulosa, ecc.) dipendentemente dal tipo di

analisi richiesta sul filtro. La membrana viene poi pesata in laboratorio e per differenza con la tara (filtro bianco) si ottiene la massa del particolato. Il campionatore contiene anche un contatore volumetrico in grado di registrare il volume di aria aspirata, corretto in modo continuo mediante vari sensori di temperatura e pressione interni ed esterni, per ricondurlo alle condizioni ambientali. Dalla conoscenza quindi del volume di aria campionata e della massa del particolato si calcola la concentrazione di PM10 in $\mu\text{g}/\text{m}^3$;

■ **Analizzatori di PM10**

Questi strumenti, analogamente ai campionatori, registrano il volume di aria passato attraverso una membrana filtrante. Sono però anche in grado di determinare automaticamente la massa del particolato, sfruttando il principio dell'attenuazione dei raggi beta emessi da una piccola sorgente radioattiva. Questi analizzatori possono avere un sistema di campionamento basato su filtri singoli (come i campionatori) oppure avere un nastro che scorre ad intervalli di tempo selezionabili e regolari, sui cui "tratti" viene depositato il particolato. Unendo i dati di volume e quelli di massa, tali strumenti forniscono direttamente il valore di concentrazione di PM10.

1.3 La legislazione

1.3.1 Decreto Ministeriale n°60 del 02/04/2002

Il Decreto Ministeriale n°60 del 02/04/2002 stabilisce per biossido di zolfo, biossido di azoto, ossido di azoto, materiale particolato, piombo, benzene e monossido di carbonio i criteri per la valutazione della qualità dell'aria e fornisce le seguenti definizioni:

- **valore limite:** è la concentrazione atmosferica fissata in base alle conoscenze scientifiche al fine di evitare, prevenire o ridurre gli effetti dannosi sulla salute umana e sull'ambiente;
- **soglia di allarme:** è la concentrazione atmosferica oltre il quale vi è un rischio per la salute umana in caso di esposizione di breve durata e raggiunta la quale si deve immediatamente intervenire;
- **termine:** è il tempo entro il quale il valore limite deve essere raggiunto;
- **soglia di valutazione superiore:** è la concentrazione atmosferica al di sotto della quale le misurazioni possono essere combinate con le tecniche di modellizzazione;
- **soglia di valutazione inferiore:** è la concentrazione atmosferica al di sotto della quale è consentito ricorrere soltanto alle tecniche di modellizzazione o di stima oggettiva;
- **periodo di mediazione:** è il periodo durante il quale i dati raccolti sono utilizzati per calcolare il valore riportato.

Per quanto riguarda il PM10 i principali parametri di valutazione della qualità dell'aria sono riportati nella tabella 1.1 e nella tabella 1.2.

	Periodo di mediazione	Valore limite	Data alla quale il valore limite deve essere raggiunto
Valore limite di 24 ore per la protezione della salute umana	24 ore	50 µg/m ³ PM10 da non superare più di 35 volte per anno civile	1° gennaio 2005
Valore limite annuale per la protezione della salute umana	Anno civile	40 µg/m ³ PM10	1° gennaio 2005

Tabella 1.1 Valori limite in vigore per il PM10.

	Media su 24 ore	Media annuale
Soglia di valutazione superiore	70% del valore limite (35 µg/m ³ da non superare più di 35 volte per anno civile)	70% del valore limite (28 µg/m ³)
Soglia di valutazione inferiore	50% del valore limite (25 µg/m ³ da non superare più di 35 volte per anno civile)	50% del valore limite (20 µg/m ³)

Tabella 1.2 Soglie di valutazione del PM10.

1.3.2 Decreto Ministeriale n°261 del 01/10/2002

Il Decreto Ministeriale n°261 del 01/10/2002 stabilisce che ai fini della valutazione della qualità dell'aria devono essere utilizzate le seguenti tecniche:

- **Misurazioni in siti fissi**

Questa metodologia prevede la determinazione dei livelli di concentrazione degli inquinanti atmosferici mediante rilevamento in centraline fisse dislocate in punti fissi del territorio. Il monitoraggio di biossido di zolfo (SO₂), degli ossidi di azoto (NO e NO₂), dell'ozono (O₃), del monossido di carbonio (CO), del benzene (C₆H₆) e del materiale particolato inferiore a 10 µm (PM10) e a 2,5

μm (PM2.5) viene realizzato mediante l'impiego di strumentazione automatica contenuta nelle centraline. Il campionamento dell'aria avviene con frequenza oraria e ciascuno strumento determina la concentrazione dell'inquinante in base al caratteristico principio chimico-fisico di funzionamento. I dati prodotti da ciascuno strumento sono raccolti e archiviati da un computer (data-logger⁵) presente in ciascuna centralina; il data-logger trasmette i dati ai centri operativi provinciali dove viene eseguita l'operazione di verifica dei dati (validazione) e l'immissione degli stessi nella tabella della qualità dell'aria presente nel sito internet di ARPAV;

■ **Metodi di misura indicativi**

Sono metodologie per la stima dei livelli di concentrazione degli inquinanti atmosferici mediante campagne di misura con laboratori mobili. L'uso di laboratori mobili e di altri metodi di misura, quali ad esempio le tecniche di campionamento diffusivo, consente, a costi contenuti, la realizzazione di indagini con un'elevata risoluzione spaziale. I metodi di misura indicativi realizzano misure che sono generalmente meno accurate di quelle fatte nei siti fissi. Sono comunque utili ai fini della valutazione della qualità dell'aria, perché permettono di stimare i livelli di concentrazione degli inquinanti nelle aree non coperte dal rete fissa.

Questo decreto, inoltre, stabilisce le modalità d'uso dei laboratori mobili per il monitoraggio a griglia.

⁵ Un data-logger è un dispositivo elettronico, costituito in genere da un computer, in grado di registrare i dati delle concentrazioni degli inquinanti nel tempo e rappresenta un vero e proprio archivio dei dati misurati, oltre che un registratore dello stato della strumentazione. Ciascuna cabina per il monitoraggio della qualità dell'aria possiede un data-logger per la raccolta dei dati dei diversi inquinanti; tale sistema è collegato al centro operativo presso il quale personale tecnico addestrato effettua la validazione e l'elaborazione dei dati delle concentrazioni degli inquinanti.

Un laboratorio mobile può essere utilizzato anche per valutare la distribuzione spaziale di inquinanti su grandi aree. Il monitoraggio su una griglia è realizzato dividendo l'area d'interesse in una griglia a maglia quadrata e misurando l'inquinamento in ciascuna cella. Le misure sono realizzate per brevi periodi di tempo a ciascuna intersezione delle linee della griglia e ripetute durante il corso dell'anno. Le date e le ore delle misure sono scelte in modo casuale ma comunque tenendo in considerazione che devono essere equamente distribuite sui mesi, giorni della settimana ed ore del giorno; a questo proposito è opportuno fissare uno schema di misura per cui le intersezioni adiacenti sulla griglia non siano monitorate nello stesso giorno. I valori singoli misurati ai quattro angoli di ciascuna cella sono usati per calcolare il valore medio della concentrazione nella cella e per le isoplete⁶ sull'area. I percentili possono essere stimati dalla distribuzione di frequenza. Il metodo non è applicabile per la caratterizzazione di hot spot⁷.

Quando la metodologia è utilizzata per la valutazione preliminare devono essere compiute le seguenti azioni:

- costruzione della griglia sull'area d'indagine prendendo in esame la densità della griglia;
- preparazione di uno schema di misurazione, scegliendo in modo casuale nell'anno le date e le ore per le misurazioni, ma comunque tenendo in considerazione che debbono essere equamente distribuite sui mesi, giorni della settimana ed ore del giorno, inoltre, particolare attenzione deve essere posta nel non far coincidere nello stesso giorno le misurazioni sulle intersezioni adiacenti della griglia;
- realizzazione delle misurazioni all'intersezione di ciascuna cella della griglia;

⁶ Unione di tutti i punti con lo stesso grado di concentrazione dell'inquinante.

⁷ Punti di massimo inquinamento.

- calcolo delle medie annuali per ciascuna cella della griglia dai singoli valori misurati alle intersezioni di cella;
- costruzione di una mappa riportante le isoplete sull'area studiata;
- stima dei percentili comparando i dati con serie estese di dati ottenuti in siti simili con strumentazione automatica.

Capitolo 2

Piano di monitoraggio

Il seguente capitolo è tratto da “Piano di monitoraggio 2009 qualità dell’aria”, Osservatorio Regionale Aria, ARPAV.

2.1 La rete di monitoraggio della qualità dell’aria di ARPAV

La rete di monitoraggio della qualità dell’aria, operante all’interno del territorio della regione Veneto, è costituita da 57 stazioni; l’anagrafica è descritta in Tabella 2.1, nella quale sono riportati il codice nazionale di identificazione, la tipologia delle stazioni, i parametri misurati mediante strumentazione automatica e quelli determinati in laboratorio a seguito del campionamento. Negli ultimi anni la rete regionale di controllo della qualità dell’aria ha subito un processo di rinnovamento che ha portato alla progressiva dismissione delle centraline di monitoraggio non rappresentative, all’attivazione di nuove stazioni e all’adeguamento di quelle esistenti con implementazione dei parametri mediante la misura degli inquinanti richiesti dalla normativa. La base tecnico-scientifica di questo processo di rinnovamento è stato il “Progetto di ottimizzazione della Rete regionale di controllo della qualità dell’aria”, finanziato con fondi comunitari e con fondi regionali. Il progetto stabiliva che vi fosse un processo di ottimizzazione della rete finalizzato al contenimento delle

spese, alla copertura con monitoraggio di tutto il territorio regionale, alla valutazione dell'esposizione della popolazione, delle aree protette, delle colture e del patrimonio artistico. Ad oggi, sulle basi dei criteri dettati dal processo di ottimizzazione, la rete di monitoraggio è in costante sviluppo per ottenere dati sempre in linea con la normativa vigente e rappresentativi del territorio.

DAP	Stazione	Cod_stazione	Tipologia stazione	Tipo zona	Inquinanti monitorati in automatico	Inquinanti determinati in laboratorio
BL	BL - CMA	502505	B	U	SO ₂ , NO, NO ₂ , NOx, CO, O ₃ , PM ₁₀	PM ₁₀ , PM _{2.5} , B(a)P, C ₆ H ₆ , Pb, As, Ni, Cd, Hg
BL	Bl - Feltr	502506	B	U	SO ₂ , NO, NO ₂ , NOx, CO, O ₃ , PM ₁₀	PM ₁₀ , PM _{2.5} , B(a)P, C ₆ H ₆ , Pb, As, Ni, Cd, Hg
BL	Bl - Fieve d'Adige	502507	B	S	SO ₂ , NO, NO ₂ , NOx, CO, O ₃ , PM ₁₀	
BL	Bl - Passo Valles	502508	B	R	NO, NO ₂ , NOx, O ₃	PM ₁₀ , B(a)P, Pb, As, Ni, Cd, Hg
PD	PD - Este	502811	I	S	SO ₂ , NO, NO ₂ , NOx, CO, O ₃ , H ₂ S, PM ₁₀	
PD	PD - Monselice	502810	I	U	SO ₂ , NO, NO ₂ , NOx, CO, O ₃ , PM ₁₀ , PM _{2.5}	B(a)P, Pb, Cd, Ni, As, Hg, (Cr, Cu, Tl, V)
PD	PD - Parco Coll. Euganei	502812	B	R	SO ₂ , NO, NO ₂ , NOx, CO, O ₃ , PM ₁₀	
PD	PD - Mandria	502808	B	U	SO ₂ , NO, NO ₂ , NOx, CO, O ₃ , PM ₁₀	PM ₁₀ , B(a)P, Pb, Cd, Ni, As, Hg, C ₆ H ₆
PD	PD - Arcella	502809	T	U	SO ₂ , NO, NO ₂ , NOx, CO, O ₃ , PM ₁₀	B(a)P, Pb, Cd, Ni, As, Hg, C ₆ H ₆
RO	RO - Adria	502903	B	U	SO ₂ , NO, NO ₂ , NOx, CO, O ₃ , PM ₁₀	
RO	RO - Castelnuovo Bariano	502905	B	S	SO ₂ , NO, NO ₂ , NOx	PM ₁₀
RO	RO - Porto Tolle	502904	B	S	SO ₂ , NO, NO ₂ , NOx, PM ₁₀	
RO	RO - Borsea	502902	B	U	SO ₂ , NO, NO ₂ , NOx, CO, O ₃	PM ₁₀ , Pb, As, Ni, Cd, Hg
RO	RO - Centro	502901	T	U	SO ₂ , NO, NO ₂ , NOx, CO, O ₃ , PM ₁₀ , PTS, BTEX	
TV	TV - Castelfranco	502610	B	R	NO, NO ₂ , NOx, CO, O ₃	
TV	TV - Caviso del Tomba	502611	B	R	NO, NO ₂ , NOx, O ₃	
TV	TV - Conegliano	502604	B	U	SO ₂ , NO, NO ₂ , NOx, CO, O ₃	PM ₁₀ , C ₆ H ₆ pestic
TV	TV - Mansue	502609	B	R	NO, NO ₂ , NOx, CO, O ₃ , PM ₁₀	
TV	TV - Via Landen	502606	B	U	SO ₂ , NO, NO ₂ , NOx, CO, O ₃ , PM ₁₀	PM ₁₀ , C ₆ H ₆ pestic, B(a)P, Pb, As, Ni, Cd, Hg
TV	TV - Vittorio Veneto	502605	T	U	SO ₂ , NO, NO ₂ , NOx, CO	
VE	VE - Chioggia	502705	B	U	NO, NO ₂ , NOx, CO, O ₃ , PM ₁₀	
VE	VE - Concordia Sagittaria	502719	B	R	NO, NO ₂ , NOx, O ₃	PM ₁₀ , B(a)P
VE	VE - Marme	502709	B	U	SO ₂ , NO, NO ₂ , NOx, O ₃	
VE	VE - Mira	502722	B	U	NO, NO ₂ , NOx, CO, O ₃ , PM ₁₀	
VE	VE - S. Donà di Piave	502715	B	U	NO, NO ₂ , NOx, CO, O ₃ , PM ₁₀	
VE	VE - Spinea	502716	T	U	NO, NO ₂ , NOx, CO	
VE	VE - Via Beccaria	502721	B	U	NO, NO ₂ , NOx, CO	
VE	VE - Melconeta	502723	I	S	SO ₂ , NO, NO ₂ , NOx, CO	PM ₁₀
VE	VE - Parco Bissolati	502701	B	U	SO ₂ , NO, NO ₂ , NOx, CO, O ₃ , BTEX	PM ₁₀ , B(a)P, Pb, As, Ni, Cd, Hg
VE	VE - Sacca Fraila	502717	B	U	H ₂ S, SO ₂ , NO, NO ₂ , NOx, O ₃ , PM ₁₀	
VE	VE - Favaro Veneto	502724	B	U	SO ₂ , NO, NO ₂ , NOx, CO	
VE	VE - Via Circonvallazione	502710	T	U	NO, NO ₂ , NOx, CO, PM ₁₀ , BTEX	PM ₁₀ , B(a)P, Pb, As, Ni, Cd, Hg
VE	VE - Via F.lli Bandiera	502708	T	U	NO, NO ₂ , NOx, CO	
VE	VE - Via Tagliamento	502720	B	U	SO ₂ , NO, NO ₂ , NOx, CO	PM ₁₀
VI	VI - Asiago-Cima Ekir	502415	B	R	NO, NO ₂ , NOx, O ₃	
VI	VI - Bassano del Grappa	502401	B	U	NO, NO ₂ , NOx, O ₃ , PM ₁₀	
VI	VI - Chiampio	502416	I	U	NO, NO ₂ , NOx, H ₂ S, BTEX	
VI	VI - Montebello Nord	502402	I	S	NO, NO ₂ , NOx, H ₂ S	
VI	VI - Montebello Maggiore	502403	B	U	NO, NO ₂ , NOx, O ₃	
VI	VI - Schio	502404	B	U	SO ₂ , NO, NO ₂ , NOx, CO, O ₃	PM ₁₀
VI	VI - Thiene	502413	T	U	SO ₂ , NO, NO ₂ , NOx, CO	
VI	VI - Valdagno	502405	B	U	SO ₂ , NO, NO ₂ , NOx, CO, O ₃	
VI	VI - Borgo Scorfina	502407	T	U	NO, NO ₂ , NOx, CO	
VI	VI - Quartiere Itala	502409	B	U	NO, NO ₂ , NOx, O ₃	PM ₁₀ , PM _{2.5} , B(a)P, Pb, As, Ni, Cd, Hg, C ₆ H ₆ pestic
VI	VI - San Felice	502414	T	U	CO, NO, NO ₂ , NOx, PM ₁₀	B(a)P, C ₆ H ₆ , Pb, As, Ni, Cd, Hg
VI	VI - Fenovieri	502417	B	U	CO, NO, NO ₂ , NOx, O ₃	
VR	VR - Boscocchiesanuzza	502314	B	R	SO ₂ , NO, NO ₂ , NOx, CO, O ₃ , PM ₁₀	
VR	VR - Bovolone	502308	B	U	SO ₂ , NO, NO ₂ , NOx, CO, O ₃	C ₆ H ₆ pestic
VR	VR - Legnago	502313	B	U	NO, NO ₂ , NOx, O ₃	C ₆ H ₆ pestic
VR	VR - San Benifacio	502310	B	U	SO ₂ , NO, NO ₂ , NOx, CO, O ₃	C ₆ H ₆ pestic
VR	VR - San Martino Buon Albergo	502309	T	U	SO ₂ , NO, NO ₂ , NOx, CO	C ₆ H ₆ pestic
VR	VR - Villafranca	502311	T	U	NO, NO ₂ , NOx, CO	C ₆ H ₆ pestic
VR	VR - Cason	502305	B	R	SO ₂ , NO, NO ₂ , NOx, CO, O ₃ , PM ₁₀ , PM _{2.5}	C ₆ H ₆ pestic
VR	VR - Borgo Milano	502304	T	U	SO ₂ , NO, NO ₂ , NOx, CO, PM ₁₀	B(a)P, Pb, As, Ni, Cd, Hg, C ₆ H ₆
VR	VR - Piazza Bernardi	502312	B	U	NO, NO ₂ , NOx, CO	C ₆ H ₆ pestic
VR	VR - San Giacomo	502303	T	U	SO ₂ , NO, NO ₂ , NOx, CO	C ₆ H ₆ pestic
VR	VR - Zai	502306	T	U	NO, NO ₂ , NOx, CO, O ₃	

Tabella 2.1 Stazioni della rete regionale di controllo della qualità dell'aria del Veneto (aggiornamento al 01/01/2009). La tipologia della stazione è così codificata: B = Background, T = Traffico, I = Industriale. La tipologia della zona è codificata in: U = Urbana, S = Suburbana, R = Rurale.

Grazie al "Progetto di ottimizzazione della Rete regionale di controllo della qualità dell'aria", è stata incrementata e migliorata la misurazione del PM10, rendendo possibile una mappatura più consistente di tutto il territorio regionale. Inoltre si sta già provvedendo a pianificare l'allocazione di nuovi monitor per il PM2.5 per poter essere operativi al momento del recepimento della normativa europea (Direttiva 2008/50/CE) da parte della legislazione italiana.

2.2 Criteri di monitoraggio delle Campagne Qualità Aria

Per il monitoraggio delle Campagne Qualità Aria sono stati utilizzati i mezzi mobili, a parte alcuni casi in cui si è usufruito anche delle stazioni fisse facenti parte della rete di monitoraggio della qualità dell'aria di ARPAV.

Le campagne considerate sono quelle programmate al fine della valutazione della qualità dell'aria come richiesto dal Piano Regionale di Tutela e Risanamento dell'Atmosfera e previste al fine della verifica della zonizzazione del territorio approvata con Delibera n°3195 del 17/10/2006 (vedi figura 2.1).

Il piano di monitoraggio, per la verifica della zonizzazione regionale, suggerisce di seguire i seguenti criteri:

- il monitoraggio deve essere eseguito in siti di background;
- gli inquinanti da monitorare sono: il monossido di carbonio (CO), gli ossidi di azoto (NO_x), l'anidride solforosa (SO₂), l'ozono (O₃), il benzene (C₆H₆), il PM₁₀, il benzo(a)pirene (BaP), gli elementi in tracce (As, Cd, Ni, Pb);

- il numero di campioni deve essere riferito a entrambe le campagne (estiva e invernale). Per il rispetto del numero adeguato di campioni, le campagne devono avere una durata di almeno 5 settimane ciascuna, per un totale di almeno 10 settimane per sito. Nelle tabelle 4, 5 e 6 sono riportati i programmi temporali di campionamento da svolgersi contemporaneamente nei sette dipartimenti ARPAV provinciali;
- preferire il monitoraggio nei siti con differente tipologia di area (A1 Agglomerato, A1 Provincia, A2 Provincia, C Provincia), prediligendo i Comuni che sono a confine tra un'area e l'altra e, tra di essi, quelli per cui si dispongono di minori informazioni sulla qualità dell'aria;
- fornire informazioni adeguate sul sito scelto per il campionamento. Successivamente il sito dovrà essere brevemente caratterizzato segnalando la presenza di eventuali possibili fonti di emissione, la vicinanza e la tipologia di strade, di particolari insediamenti industriali o abitativi, di aree verdi, avendo come riferimento i criteri di caratterizzazione della zona riportati in EUROAIRNET⁸.

⁸ Larssen S., Sluyter R., Helmis C., Criteria for EUROAIRNET - The EEA Air Quality Monitoring and Information Network, EEA, 1999.

Siti	Semestre invernale	Semestre estivo
N. 1	2 gennaio – 6 febbraio	2 maggio – 6 giugno
N. 2	7 febbraio – 14 marzo	7 giugno – 12 luglio
N. 3	20 ottobre – 24 novembre	13 luglio – 17 agosto
N. 4	25 novembre – 30 dicembre	18 agosto – 22 settembre

Tabella 2.2 Calendario seguito (di massima) per l'esecuzione delle campagne di monitoraggio della qualità dell'aria nel 2007.

Siti	Semestre invernale	Semestre estivo
N. 1	2 gennaio – 6 febbraio	30 aprile – 5 giugno
N. 2	7 febbraio – 14 marzo	6 giugno – 11 luglio
N. 3	20 ottobre – 24 novembre	14 luglio – 18 agosto
N. 4	25 novembre – 30 dicembre	19 agosto – 22 settembre

Tabella 2.3 Calendario seguito (di massima) per l'esecuzione delle campagne di monitoraggio della qualità dell'aria nel 2008.

Siti	Semestre invernale	Semestre estivo
N. 1	12 gennaio – 16 febbraio	4 maggio – 8 giugno
N. 2	16 febbraio – 23 marzo	8 giugno – 13 luglio
N. 3	19 ottobre – 23 novembre	13 luglio – 17 agosto
N. 4	23 novembre – 31 dicembre	17 agosto – 21 settembre

Tabella 2.4 Calendario seguito (di massima) per l'esecuzione delle campagne di monitoraggio della qualità dell'aria nel 2009.

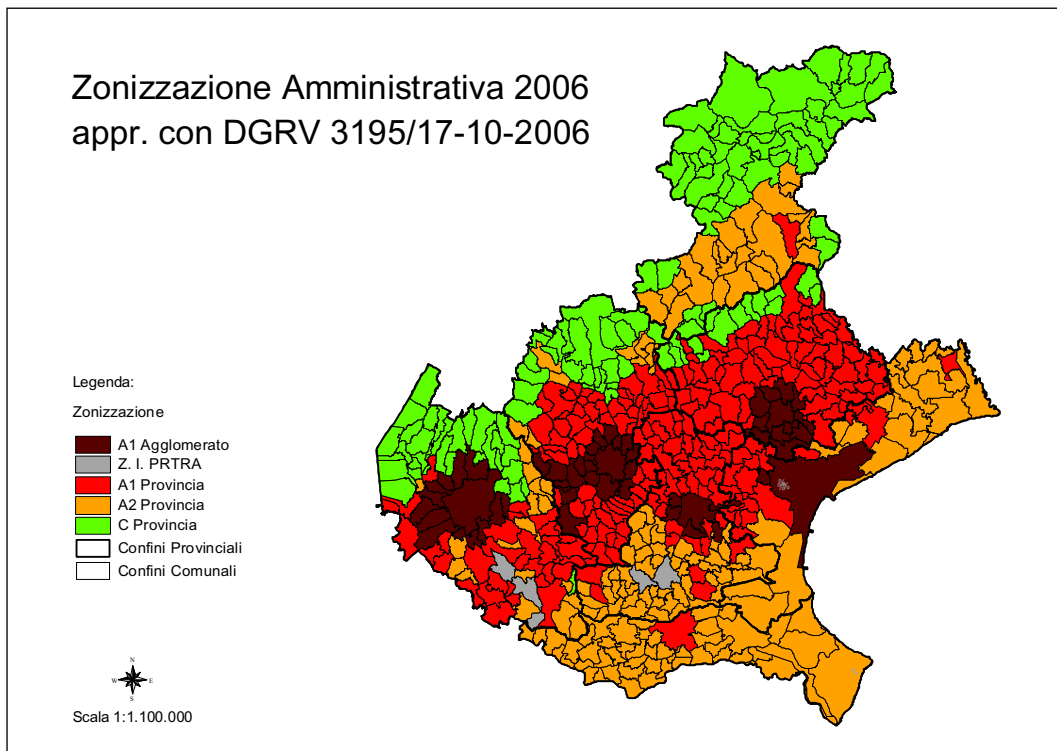


Figura 2.1 Zonizzazione amministrativa 2006.

Il monitoraggio è stato realizzato ai quattro vertici delle celle di una griglia a maglie quadre di 18 km di lato (figura 2.2) e comprende 80 celle interne alla Regione Veneto, di cui 32 sono state monitorate nel triennio che va dal 2007 al 2009.

Per ogni cella è stato verificato se in prossimità dei vertici (punti di intersezione delle linee della griglia) fossero presenti delle stazioni fisse di background, o se fossero posizionate ad una distanza tale da rendere rappresentativa la concentrazione media di qualità dell'aria per un intorno spaziale circoscritto.

Considerando quanto definito dal DM 261/2002⁹ e valutando la posizione delle stazioni fisse di background, nel 2007 è stato possibile pianificare il monitoraggio di 13 celle, di cui 5 con vertici ricadenti in

⁹ “...I valori singoli misurati ai quattro angoli di ciascuna cella sono usati per calcolare il valore medio della concentrazione nella cella...”

province diverse, nel 2008 di 10 celle, di cui 5 con vertici ricadenti in province diverse, nel 2009 di 11 celle, di cui 7 con vertici ricadenti in province diverse (vedi figura 2.2).

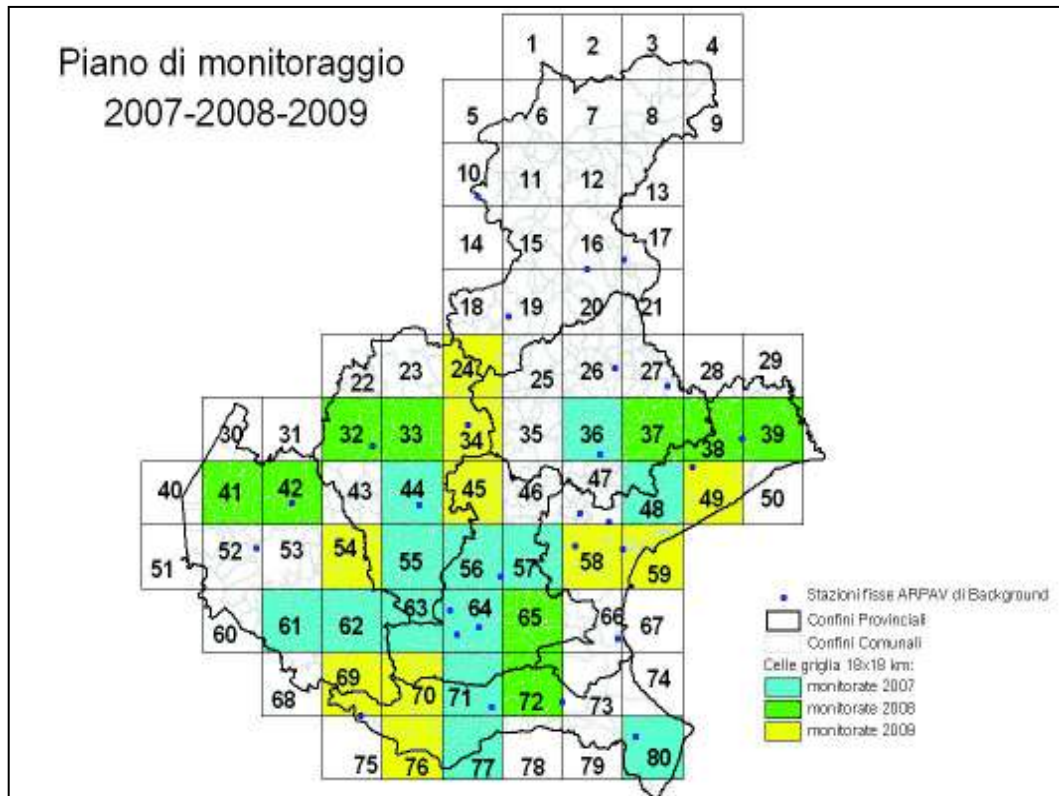


Figura 2.2 Piano di monitoraggio 2007-2008-2009.

Capitolo 3

Analisi descrittive e grafici

3.1 I mezzi mobili

3.1.1 I dati

I dati analizzati in seguito riguardano la concentrazione di PM10 giornaliera, rilevata dai mezzi mobili posizionati ai 4 vertici delle celle della griglia, descritta nel capitolo 2, nel triennio 2007-2009.

Per ogni anno si è scelto di analizzare zone diverse; di conseguenza, i dati relativi ad ogni cella riguardano un singolo anno (2007, 2008 o 2009).

Vi sono celle in cui, avendo deciso di usare una stazione fissa per il monitoraggio in uno dei vertici e non essendocene una nelle estreme vicinanze, si è deciso di considerare le due stazioni fisse più vicine, ottenendo così due casi, identificati con A e B. Inoltre, vi sono celle con vertici fuori dai territori regionali o in mare; in questi casi si sono considerati solo gli altri 3 vertici e uno di questi veniva usato anche per il monitoraggio del periodo stabilito per il vertice mancante. Le celle con tre soli vertici sono, nel 2007, la numero 77 e 80 e, nel 2009, la numero 59 e 76.

Per ogni cella vi sono anche molti dati mancanti dovuti al fatto che non si è potuta rilevare la concentrazione in tutti i giorni dell'anno e al fatto

che le date delle campagne di monitoraggio non sono state, per diversi motivi, sempre rispettate (per esempio, per il malfunzionamento della centralina).

3.1.2 Prime analisi

Di seguito sono riportate le principali statistiche descrittive per ogni cella.

Celle	36	44	48	55	56	57	61 A
N ^(*)	246	161	274	161	211	269	209
Media	41,95	39,37	40,52	41,36	49,87	49,44	42,11
Minimo	6	4	4	4	4	4	4
1° quartile	25	24	21	27	27	25	28
Mediana	35	31	33	33	35	38	37
3° quartile	49	45	54,75	49	73	71	49
Massimo	128	140	143	156	158	158	120

(*) N indica il numero di giorni in cui si sono rilevate le concentrazioni di PM10.

Tabella 3.1 a Statistiche descrittive relative alla concentrazione giornaliera di PM10 del 2007.

Celle	61 B	62	63	64	71	77	80
N ^(*)	205	201	216	239	275	263	274
Media	40,75	40,22	43,49	48,93	43,79	39,43	34,67
Minimo	5	6	6	6	7	4	4
1° quartile	23	25	25	26	23	22	18
Mediana	35	35	34	34	33	33	26
3° quartile	50	48	57	65	60,50	52,50	44
Massimo	120	117	156	156	148	124	129

(*) N indica il numero di giorni in cui si sono rilevate le concentrazioni di PM10.

Tabella 3.1 b Statistiche descrittive relative alla concentrazione giornaliera di PM10 del 2007.

Celle	32	33	37	38 A	38 B	39	41	42	65	72
N ^(*)	287	240	195	243	239	282	139	184	285	286
Media	31,47	34,37	37,46	32,75	33,41	29,10	33,22	34,15	35,83	32,55
Minimo	4	4	6	4	4	4	4	4	6	4
1° quartile	14	17,75	22	18	20	16,25	14,50	12	21	18
Mediana	23	26	31	29	29	25	24	22,50	29	25
3° quartile	37	39,25	45,50	40	40	35	36,50	39,25	44	40
Massimo	189	189	158	159	159	159	183	195	180	180

(*) N indica il numero di giorni in cui si sono rilevate le concentrazioni di PM10.

Tabella 3.2 Statistiche descrittive relative alla concentrazione giornaliera di PM10 del 2008.

Celle	24	34	45	49	54	58 A	58 B	59	69	70	76
N ^(*)	203	229	207	240	158	310	302	202	225	225	235
Media	25,31	31,46	37,75	29,73	35,11	39,25	41,43	34,07	38,48	38,55	36,57
Minimo	4	4	7	4	4	4	4	4	6	7	7
1° quartile	13	16	22	18	20	22,25	23	21	22	22	20
Mediana	19	27	31	26	28	32	34,50	30	33	32	29
3° quartile	31	40	42	35	42	46	49	42	49	51	47
Massimo	143	143	186	129	137	139	139	120	114	140	140

(*) N indica il numero di giorni in cui si sono rilevate le concentrazioni di PM10.

Tabella 3.3 Statistiche descrittive relative alla concentrazione giornaliera di PM10 del 2009.

Si può notare subito che la quantità di giorni monitorati varia molto a seconda della cella considerata. Nei casi migliori si hanno almeno 220-230 osservazioni, invece nei casi peggiori non si raggiungono le 180-200 osservazioni. A causa di questo motivo, le medie delle celle sono difficilmente confrontabili tra di loro.

Osservando i massimi delle celle si vede che nel 2007 il picco più alto di concentrazione è raggiunto dalle celle 56 e 57, che sono adiacenti, con il valore di 158 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, nel 2008 dalla cella 42 con 195 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ e infine nel 2009 il valore più alto è raggiunto dalla cella 45 con 186 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Una ulteriore cosa che si può notare dalle tabelle è che le mediane sono sempre più piccole delle medie. Questo fa già pensare che le distribuzioni delle celle siano asimmetriche.

Le prime analisi grafiche qui riportate sono gli istogrammi e i diagrammi a scatola relativi alla concentrazione giornaliera di PM10 nelle diverse celle. Qui sono prese in esame solo alcune celle. Per i grafici di tutte le celle si vedano le appendici A e B.

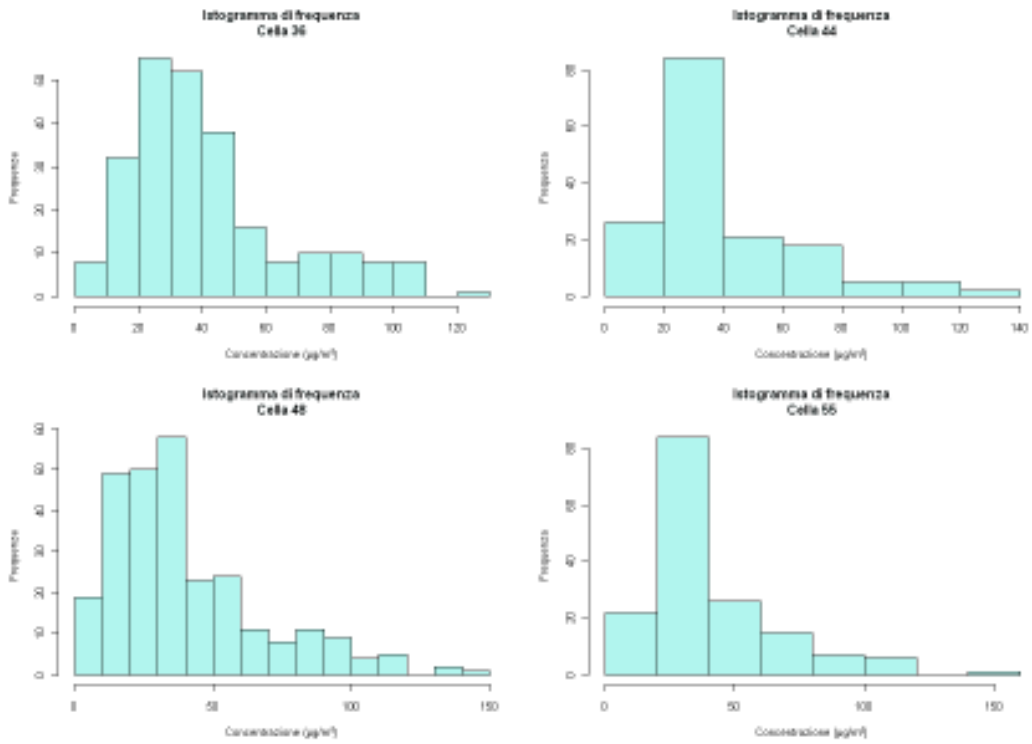


Figura 3.1 Istogrammi relativi alla concentrazione di PM10 nelle celle 36, 44, 48, 55, anno 2007.

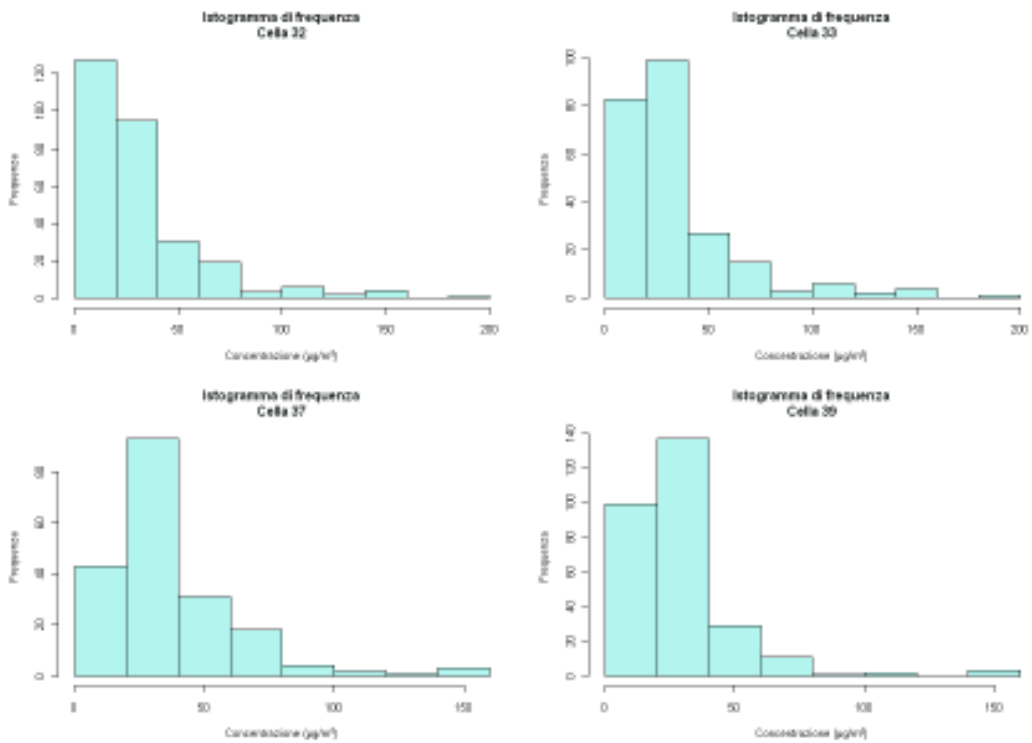


Figura 3.2 Istogrammi relativi alla concentrazione di PM10 nelle celle 32, 33, 37, 39, anno 2008.

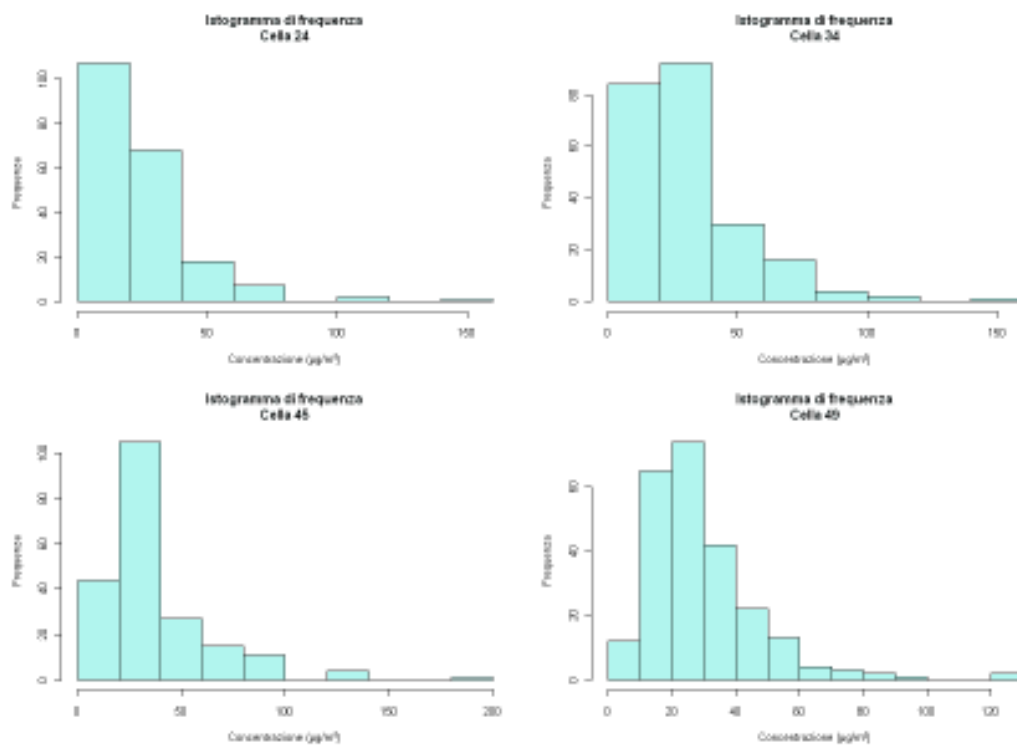


Figura 3.3 Istogrammi relativi alla concentrazione di PM10 nelle celle 24, 34, 45, 49, anno 2009.

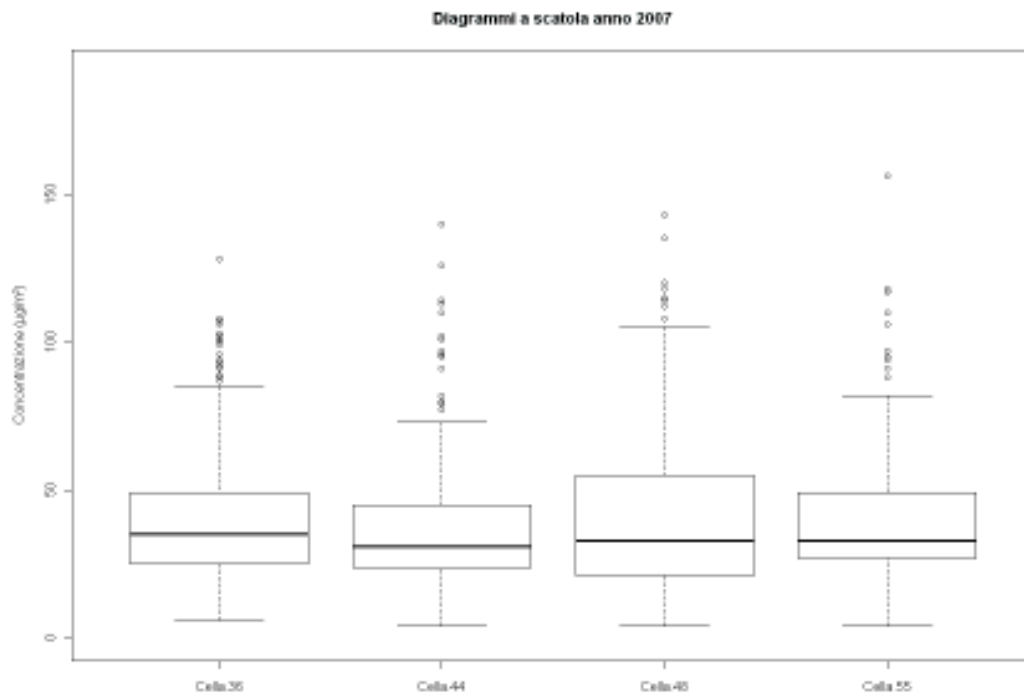


Figura 3.4 Diagrammi a scatola relativi alla concentrazione di PM10 nelle celle 36, 44, 48, 55, anno 2007.

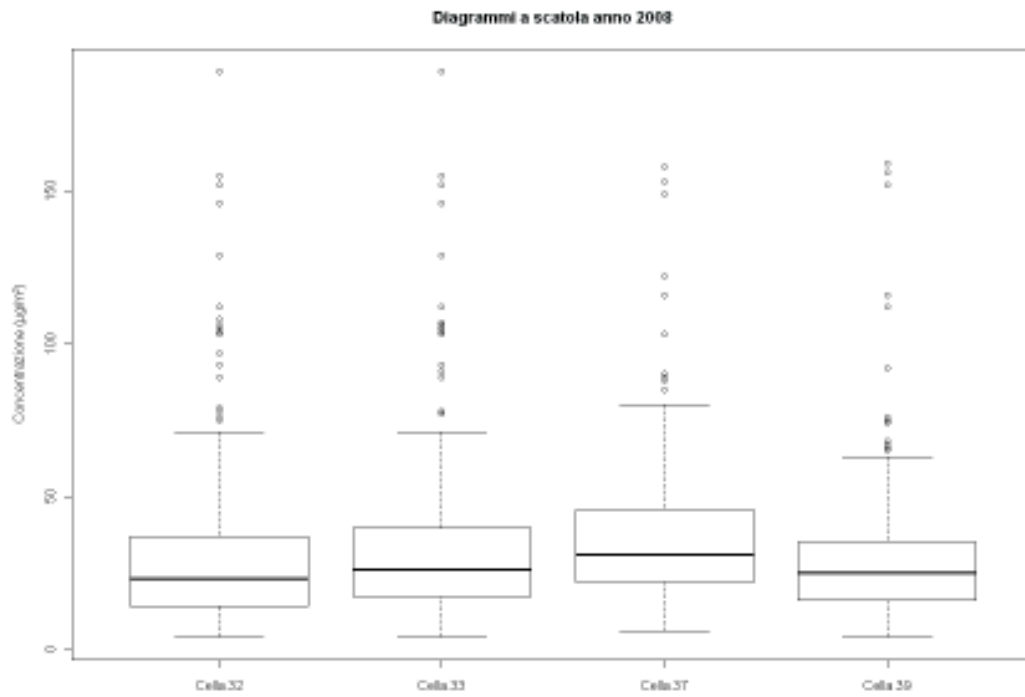


Figura 3.5 Diagrammi a scatola relativi alla concentrazione di PM10 nelle celle 32, 33, 37, 39, anno 2008.

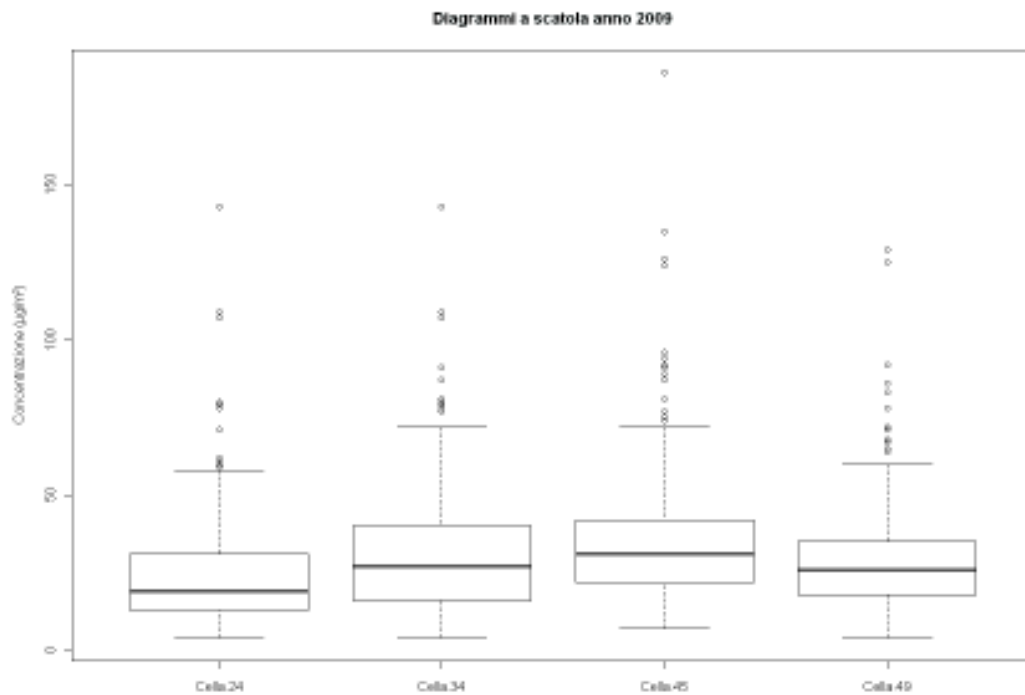


Figura 3.6 Diagrammi a scatola relativi alla concentrazione di PM10 nelle celle 24, 34, 45, 49, anno 2009.

Dagli istogrammi si può osservare che tutte le celle hanno una distribuzione asimmetrica; in particolare verso sinistra. Questo indica che la distribuzione è maggiormente concentrata sui valori bassi d'inquinamento rispetto a quelli alti.

Anche dai diagrammi a scatola si nota che la distribuzione è asimmetrica, in seguito alla lunghezza maggiore del baffo superiore rispetto a quello inferiore e alla presenza di diversi valori anomali. I valori anomali sono quei valori che si trovano oltre i baffi del diagramma a scatola¹⁰.

Inoltre, dai diagrammi a scatola, si può osservare la variabilità dei dati delle diverse celle. La variabilità è determinata dall'ampiezza della scatola, visto che essa indica la misura dello scarto interquartile. Per quanto riguarda gli esempi considerati, si può notare che nel 2007 le celle 44 e 55 hanno una variabilità molto simile, la cella 36 mostra una variabilità leggermente più grande e la cella 44 mostra una variabilità decisamente maggiore rispetto alle altre. Nel 2008 le celle sembrano presentare più o meno tutte la stessa variabilità, tranne quella della cella 39 che sembra essere leggermente inferiore. Infine nel 2009 la cella 34 presenta la variabilità più grande, mentre la 24 e la 49 quelle più piccole, che sono simili tra loro. Invece la cella 45 ha una variabilità leggermente più grande rispetto alle due celle precedenti. Confrontando nel tempo la variabilità si nota che non differisce di molto nei tre anni. Nel 2007, escludendo il caso della cella 48 che ha la variabilità più grande tra tutti i casi considerati, e nel 2008 la variabilità è molto simile, mentre nel 2009 è di poco inferiore rispetto agli altri anni.

Da queste analisi si può concludere che l'andamento del PM10 è simile in quasi tutto il territorio esaminato, infatti, in tutte le celle la

¹⁰ La lunghezza del baffo inferiore è calcolata come 1° quartile + $(1,5 \cdot \text{scarto interquartile})$, mentre il baffo superiore è calcolato come 3° quartile + $(1,5 \cdot \text{scarto interquartile})$.

distribuzione dei dati risulta asimmetrica verso sinistra e la variabilità di questi è all'incirca uguale, anche se, osservando i diagrammi a scatola presenti in appendice B, nel 2007 la variabilità dei dati dei mezzi mobili in molti casi è maggiore rispetto agli altri anni.

3.1.3 Le serie temporali

In questo paragrafo vengono prese in esame le serie temporali dei dati giornalieri e le serie temporali delle medie mensili di alcune celle (per tutte le celle si vedano le appendici C e D). Come detto nel paragrafo 3.1.1, il monitoraggio con mezzi mobili è stato effettuato per un solo anno, di conseguenza le serie riguarderanno tale periodo di tempo.

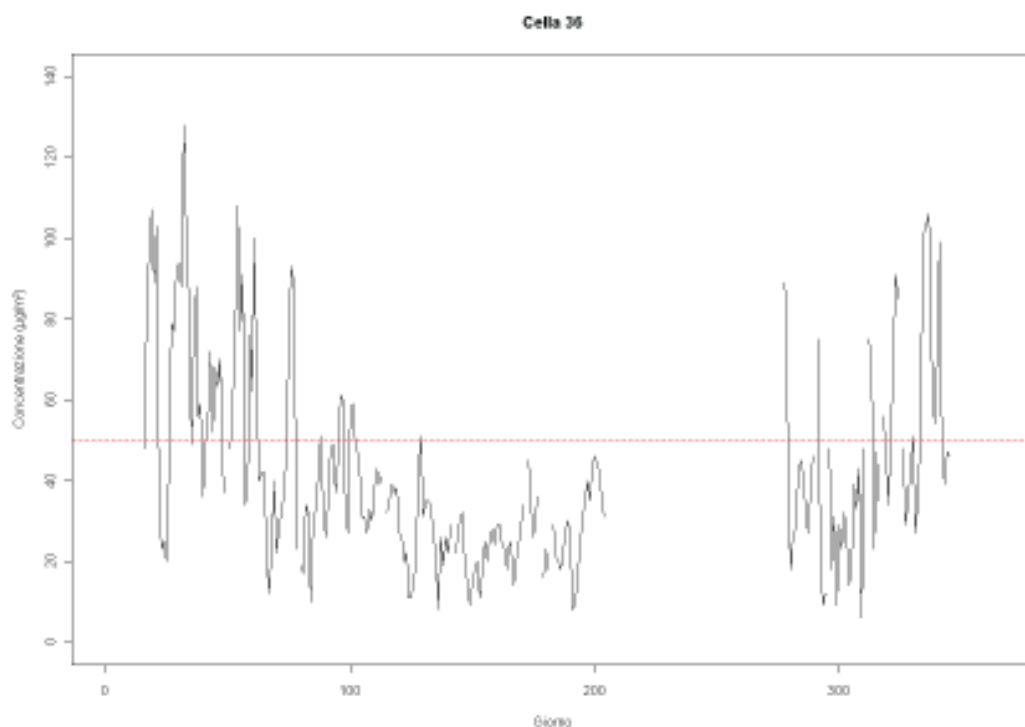


Figura 3.7 Serie temporale di dati giornalieri della cella 36, anno 2007. La linea continua indica i valori giornalieri, la linea tratteggiata indica il valore limite giornaliero.

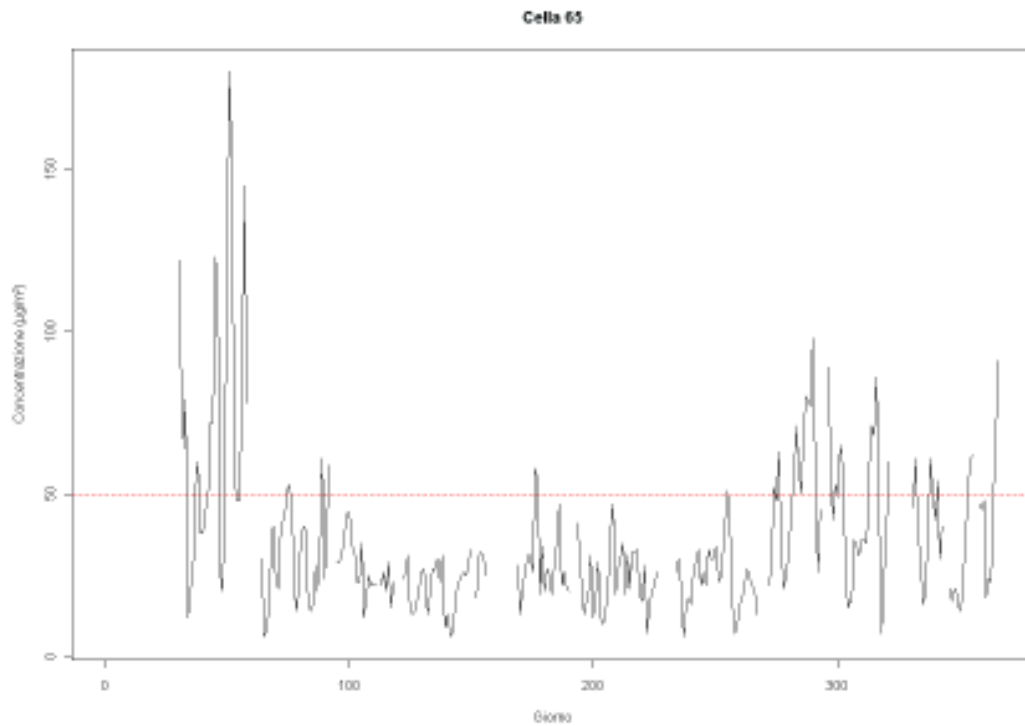


Figura 3.8 Serie temporale di dati giornalieri della cella 65, anno 2008. La linea continua indica i valori giornalieri, la linea tratteggiata indica il valore limite giornaliero.

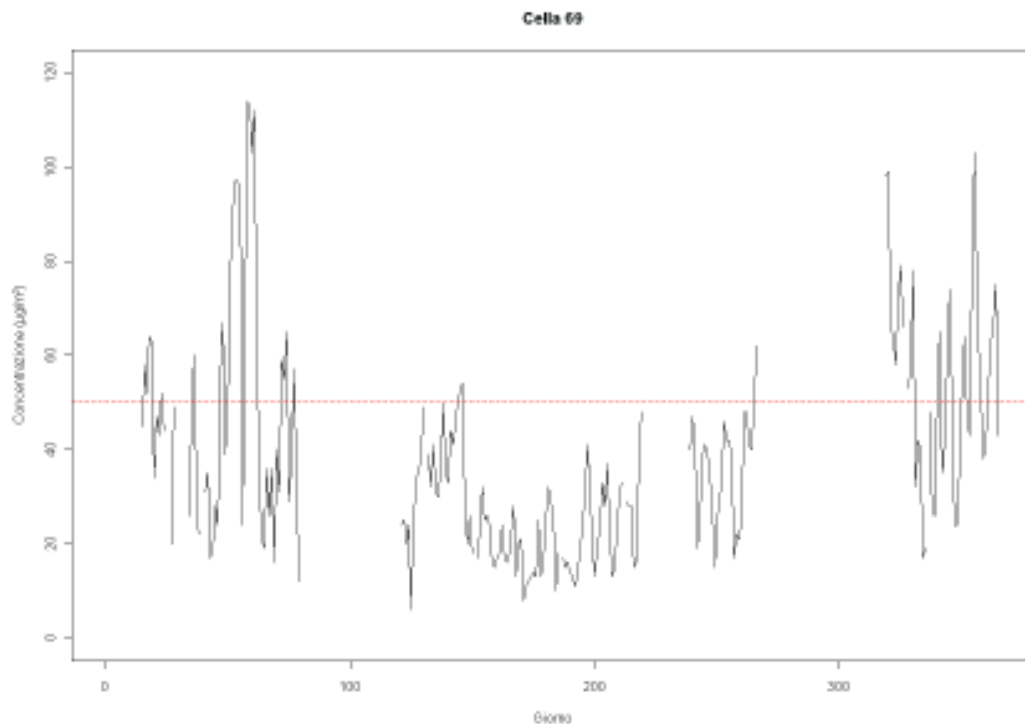


Figura 3.9 Serie temporale di dati giornalieri della cella 69, anno 2009. La linea continua indica i valori giornalieri, la linea tratteggiata indica il valore limite giornaliero.

La prima cosa che si nota dai grafici è che le serie hanno diversi dati mancanti (come già detto nel paragrafo 3.1.1); in alcuni casi vi sono buchi di diversi mesi.

Nonostante il periodo preso in esame sia di solo un anno, si può notare una componente stagionale; infatti la concentrazione dell'inquinante tende ad essere più elevata nei mesi invernali, raggiungendo valori molto alti oltre i $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$, e più bassa nei mesi estivi. Si può notare meglio questo aspetto nelle figure 3.10, 3.11 e 3.12 dove sono rappresentate le serie temporali delle medie mensili delle celle prese in esame.

La linea tratteggiata, presente nei grafici delle serie di dati giornalieri, indica il limite giornaliero di $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ che, secondo la normativa, non dovrebbe essere superato per più di 35 volte l'anno e, come si può notare, è superato diverse volte. Infatti la cella 36 supera il limite di $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ per 61 giorni durante l'anno, la cella 65 per 55 giorni e la cella 69 per 54 giorni. Questi risultati non sono per niente rassicuranti, basti pensare che, nei casi delle celle 65 e 69, il limite stabilito per legge è superato di molto nonostante manchino i dati di buona parte di gennaio nella cella 65 e di tutto ottobre e parte di novembre nella cella 69; quindi i giorni che superano la soglia potrebbero essere di più.

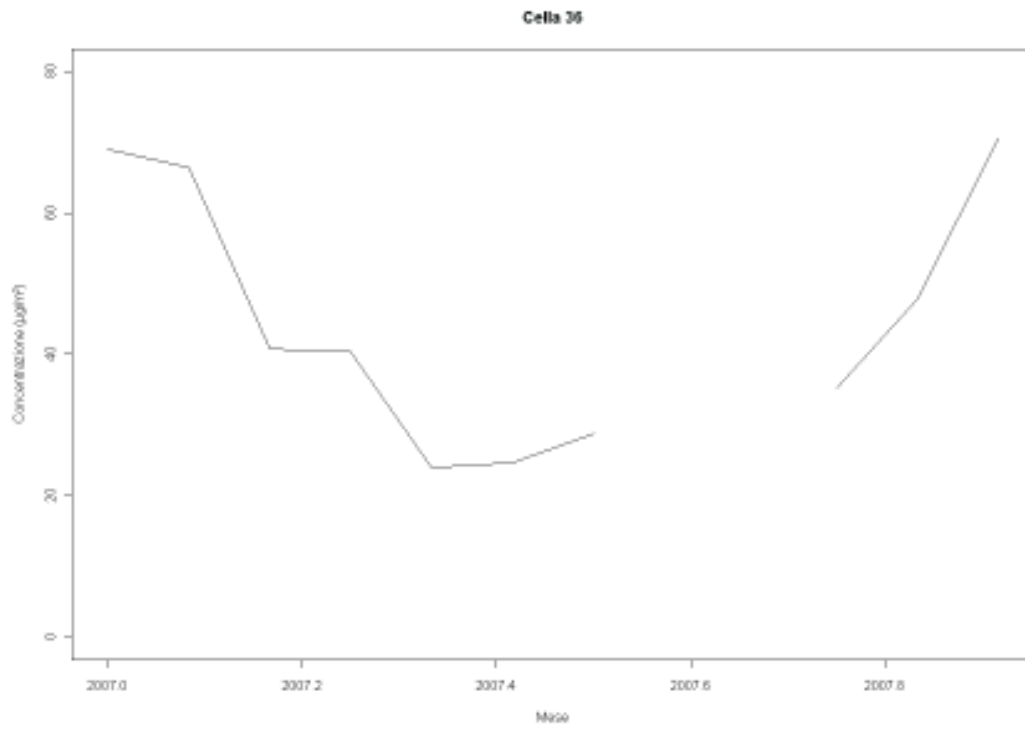


Figura 3.10 Serie temporale delle medie mensili della cella 36, anno 2007.

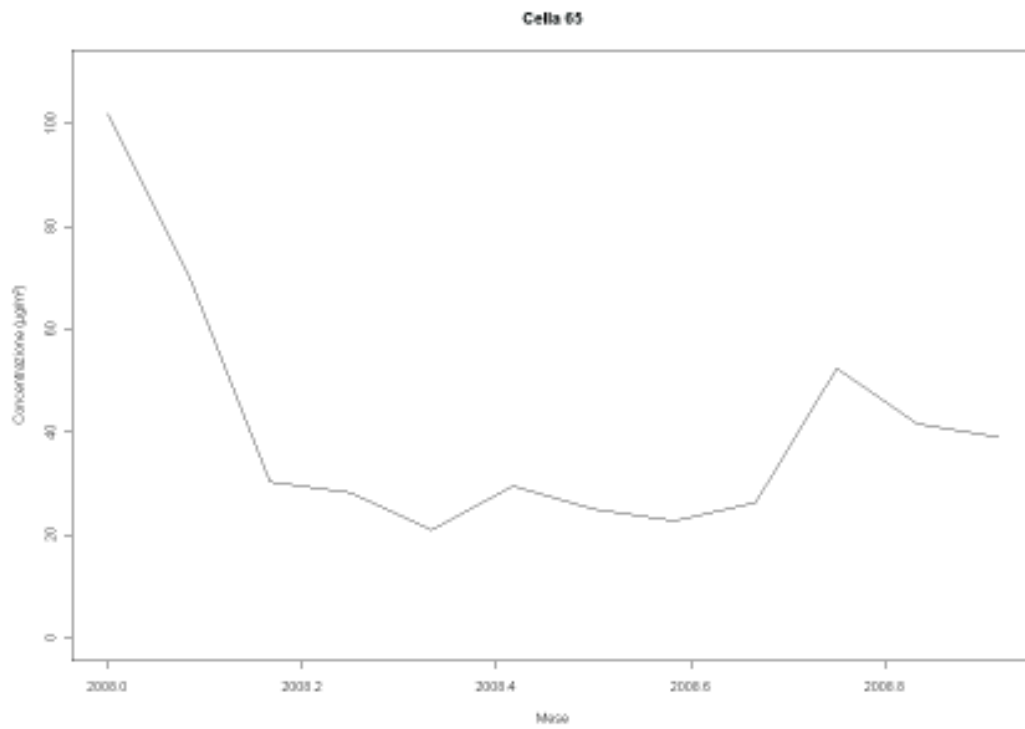


Figura 3.11 Serie temporale delle medie mensili della cella 65, anno 2008.

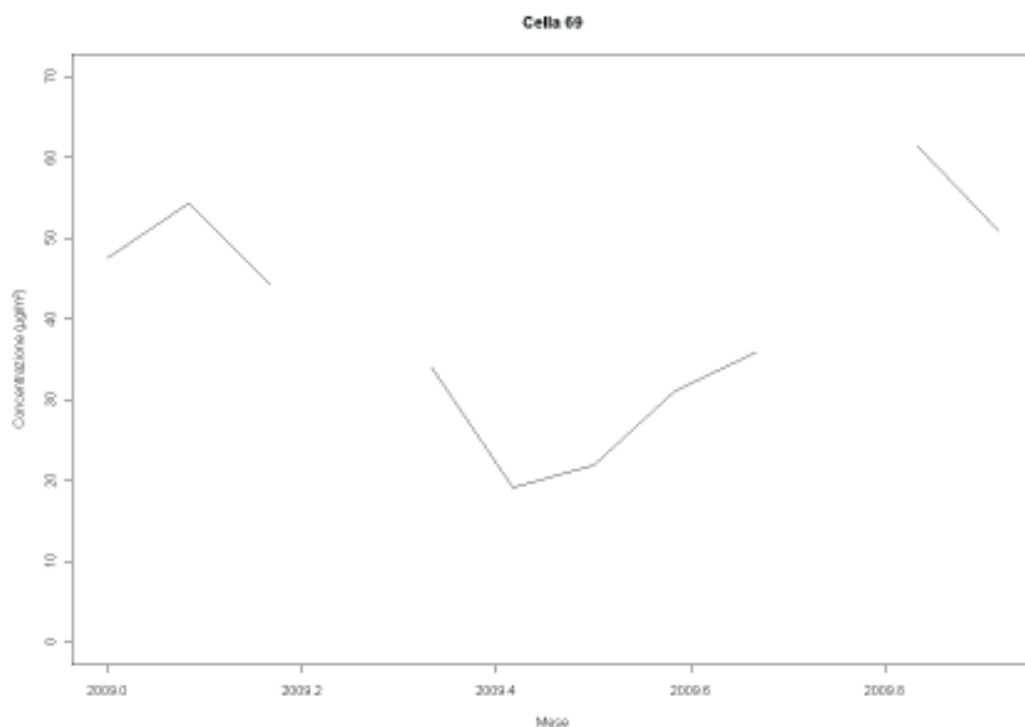


Figura 3.12 Serie temporale delle medie mensili della cella 69, anno 2009.

3.2 Le stazioni fisse

3.2.1 I dati

I dati analizzati in questo paragrafo riguardano la concentrazione di PM10 giornaliera rilevata dalle stazioni fisse dislocate nel Veneto.

Anche in questo caso vi sono valori giornalieri mancati, ma in misura inferiore rispetto ai dati ottenuti con i mezzi mobili. Per legge (DM 60/02), il monitoraggio tramite stazioni fisse deve coprire almeno il 90% dei giorni dell'anno, cioè almeno 329 su 365 possibili. Non tutte le stazioni, però, rispettano tale vincolo o per il malfunzionamento degli strumenti o perché la centralina non è entrata in "servizio" all'inizio dell'anno ma nei mesi

successivi, oppure è stata disattivata non a fine anno ma nei mesi precedenti.

I dati delle stazioni fisse serviranno per essere confrontati con quelli ottenuti dalle centraline mobili nelle celle. Quindi nelle successive analisi sono state prese in considerazione le centraline fisse che saranno usate per il confronto e i dati relativi agli anni in cui è stato fatto il monitoraggio delle celle a cui fanno riferimento le stazioni fisse. Successivamente, nel paragrafo 3.2.4, verranno analizzati tutti e tre gli anni delle stazioni fisse. Nelle tabelle 3.4, 3.5 e 3.6 sono riportate per ogni cella le stazioni fisse di riferimento.

Cella	Stazioni fisse di riferimento
Cella 36	TV - Via Lancieri
Cella 44	VI - Quartiere Italia
Cella 48	San Donà, VE - Parco Bissuola
Cella 55	VI - Quartiere Italia
Cella 56	PD - Mandria
Cella 57	PD - Mandria
Cella 61	Castelnuovo Bariano, VR - Cason
Cella 62	Castelnuovo Bariano, VR - Cason
Cella 63	Este
Cella 64	Este
Cella 71	RO - Borsea
Cella 77	RO - Borsea, Adria
Cella 80	Badia Polesine

Tabella 3.4 Stazioni fisse di riferimento per ogni cella, anno 2007.

Cella	Stazioni fisse di riferimento
Cella 32	Schio
Cella 33	Bassano, Schio
Cella 37	Mansuè, TV - Via Lancieri
Cella 38	Mansuè, San Donà, Concordia Sagittaria
Cella 39	Concordia Sagittaria
Cella 41	Bosco Chiesanuova
Cella 42	Bosco Chiesanuova
Cella 65	Este, Chioggia
Cella 72	Adria, RO - Borsea

Tabella 3.5 Stazioni fisse di riferimento per ogni cella, anno 2008.

Cella	Stazioni fisse di riferimento
Cella 24	Feltre, Bassano
Cella 34	Bassano
Cella 45	Bassano, VI - Quartiere Italia
Cella 49	San Donà
Cella 54	Bosco Chiesanuova, VI - Quartiere Italia, VR - Cason
Cella 58	VE - Sacca Fisola, VE - Parco Bissuola
Cella 59	VE - Sacca Fisola, VE - Parco Bissuola
Cella 69	Castelnovo Bariano
Cella 70	Castelnovo Bariano, RO - Borsea
Cella 76	Castelnovo Bariano, RO - Borsea

Tabella 3.6 Stazioni fisse di riferimento per ogni cella, anno 2009.

3.2.2 Prime analisi

Di seguito sono riportate le principali statistiche descrittive riguardanti le stazioni fisse.

Stazioni	TV - Via Lancieri	VI - Quartiere Italia	San Donà	VE - Parco Bissuola	PD - Mandria	Castelnovo Bariano
N ^(*)	297	353	344	357	338	353
Media	42,60	45,44	36,52	46,99	47,41	39,50
Minimo	4	6	4	4	6	6
1° quartile	24	24	19	25	27	22
Mediana	34	36	29	38	38	33
3° quartile	55	60	45	61	61	51
Massimo	160	168	208	310	137	129

(*) N indica il numero di giorni in cui si sono rilevate le concentrazioni di PM10

Tabella 3.7 a Statistiche descrittive relative alla concentrazione giornaliera di PM10 delle stazioni fisse prese come riferimento nel 2007.

Stazioni	VR - Cason	Este	RO - Borsea	Adria	Badia Polesine
N ^(*)	357	353	360	365	235
Media	46,88	45,28	41,66	30,77	34,10
Minimo	4	6	4	4	4
1° quartile	29	24	22	14	21
Mediana	41	36	34	24	30
3° quartile	59	56	54	40	40
Massimo	147	154	139	118	121

(*) N indica il numero di giorni in cui si sono rilevate le concentrazioni di PM10

Tabella 3.7 b Statistiche descrittive relative alla concentrazione giornaliera di PM10 delle stazioni fisse prese come riferimento nel 2007.

Stazioni	Schio	Bassano	TV - Via Lancieri	Mansuè	San Donà	Concordia Sagittaria
N ^(*)	350	352	307	363	345	357
Media	32,07	28,59	38,23	25,61	33,43	30,28
Minimo	4	4	4	4	5	4
1° quartile	16	13	20	12	19	17
Mediana	24	21	30	19	26	27
3° quartile	37	33	45	31	41	39
Massimo	200	209	182	159	154	118

(*) N indica il numero di giorni in cui si sono rilevate le concentrazioni di PM10

Tabella 3.8 a Statistiche descrittive relative alla concentrazione giornaliera di PM10 delle stazioni fisse prese come riferimento nel 2008.

Stazioni	Bosco Chiesanuova	Este	Chioggia	Adria	RO - Borsea
N ^(*)	364	347	356	349	309
Media	19,66	38,74	30,62	29,90	31,03
Minimo	4	6	4	4	4
1° quartile	8	21	16	15	19
Mediana	14	28	24	24	25
3° quartile	22	48	36,25	37	38
Massimo	153	181	145	135	119

(*) N indica il numero di giorni in cui si sono rilevate le concentrazioni di PM10

Tabella 3.8 b Statistiche descrittive relative alla concentrazione giornaliera di PM10 delle stazioni fisse prese come riferimento nel 2008.

Stazioni	Feltre	Bassano	VR - Cason	VI - Quartiere Italia	Bosco Chiesanuova
N ^(*)	341	355	359	355	312
Media	27,72	26,54	37,58	38,29	20,12
Minimo	5	4	4	4	4
1° quartile	15	13	22	20	8
Mediana	24	21	35	30	17
3° quartile	35	33,50	47,50	48,50	26
Massimo	122	176	150	196	148

(*) N indica il numero di giorni in cui si sono rilevate le concentrazioni di PM10

Tabella 3.9 a Statistiche descrittive relative alla concentrazione giornaliera di PM10 delle stazioni fisse prese come riferimento nel 2009.

Stazioni	VE - Sacca Fisola	San Donà	Castelnovo Bariano	RO - Borsea	VE - Parco Bissuola
N ^(*)	364	359	335	340	343
Media	35,13	40,50	37,11	39,51	37,31
Minimo	5	5	5	9	4
1° quartile	22	17	19	22	22
Mediana	31	26	31	32	32
3° quartile	41	40,50	51,50	51,25	46,50
Massimo	123	127	135	152	141

(*) N indica il numero di giorni in cui si sono rilevate le concentrazioni di PM10

Tabella 3.9 b Statistiche descrittive relative alla concentrazione giornaliera di PM10 delle stazioni fisse prese come riferimento nel 2009.

Rispetto ai dati ottenuti con le centraline mobili la quantità di dati mancanti è decisamente inferiore; infatti tutte le stazioni hanno più di 300 rilevamenti di concentrazione giornaliera di particolato atmosferico, esclusa la centralina di Badia Polesine che ha solo 235 dati perché è entrata in funzione in aprile e non ad inizio anno.

In questo caso, vista la numerosità dei dati, si possono confrontare le medie delle stazioni dello stesso anno. Nel 2007 quasi tutte le medie annuali delle stazioni superano il valore limite annuale di $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$; solo le stazioni di San Donà, Castelnovo Bariano, Adria e Badia Polesine hanno una media inferiore a questo valore, anche se nel caso di Badia Polesine la quantità di dati è decisamente minore rispetto alle altre centraline e quindi la sua media è difficilmente paragonabile alle altre. Nel 2008 la situazione è completamente diversa, infatti nessuna centralina supera il valore limite e, in alcuni casi, la media è addirittura sotto i $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Situazione analoga nel 2009 dove solo la centralina di San Donà supera la soglia limite, anche se solo di pochissimo ($40,50 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

Per quanto riguarda i picchi di massimo, nel 2007 il picco più alto è stato registrato dalla stazione di Parco Bissuola con $310 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Questo valore, decisamente alto rispetto ai massimi delle altre celle, è dovuto al fatto che è stato rilevato il 6 gennaio, quindi, per festeggiare l'epifania, erano stati accesi dei falò, aumentando notevolmente la quantità di particolato presente nell'aria. Nel 2008 il picco più alto è stato riscontrato dalla centralina di Bassano con $209 \mu\text{g}/\text{m}^3$ e nel 2009 da quella di VI – Quartiere Italia con $196 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Come già osservato sui dati precedenti, le mediane sono sempre più piccole delle medie, quindi ci si aspetta che le distribuzioni delle stazioni fisse siano asimmetriche.

Nelle figure seguenti sono riportati gli istogrammi e i diagrammi a scatola relativi alla concentrazione giornaliera di PM10 rilevata dalle centraline fisse (si vedano le appendici A e B per tutti i grafici). Come stazioni sono state prese ad esempio quelle relative alle celle del paragrafo 3.1.2.

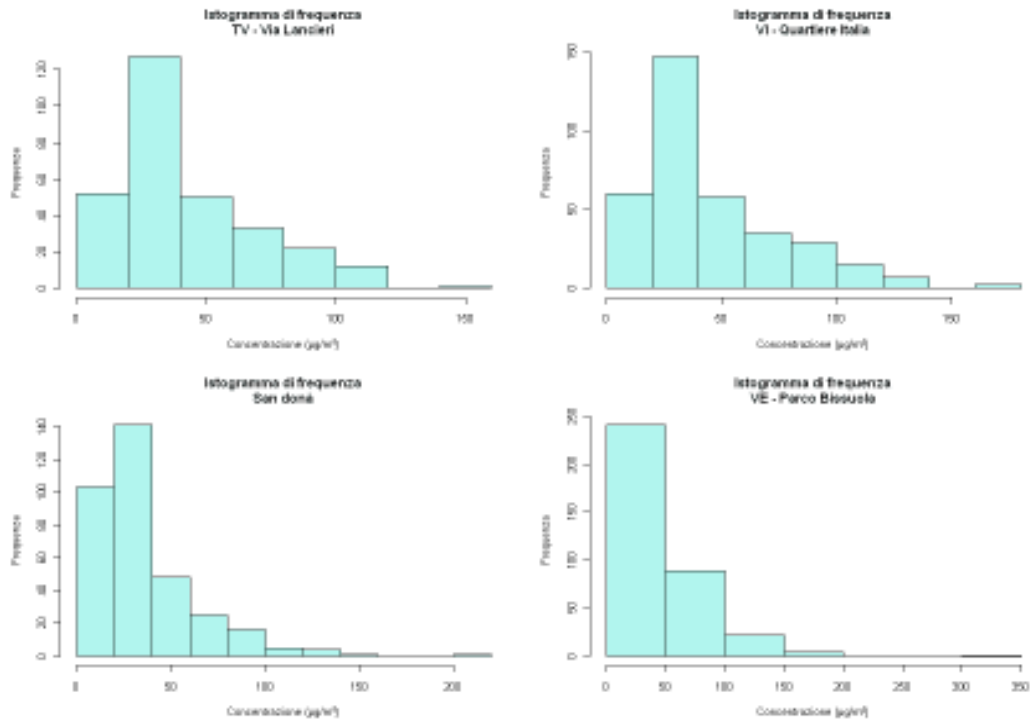


Figura 3.13 Istogrammi relativi alla concentrazione di PM10 delle stazioni fisse di TV - Via Lancieri, VI - Quartiere Italia, San Donà, VE - Parco Bissuola, anno 2007.

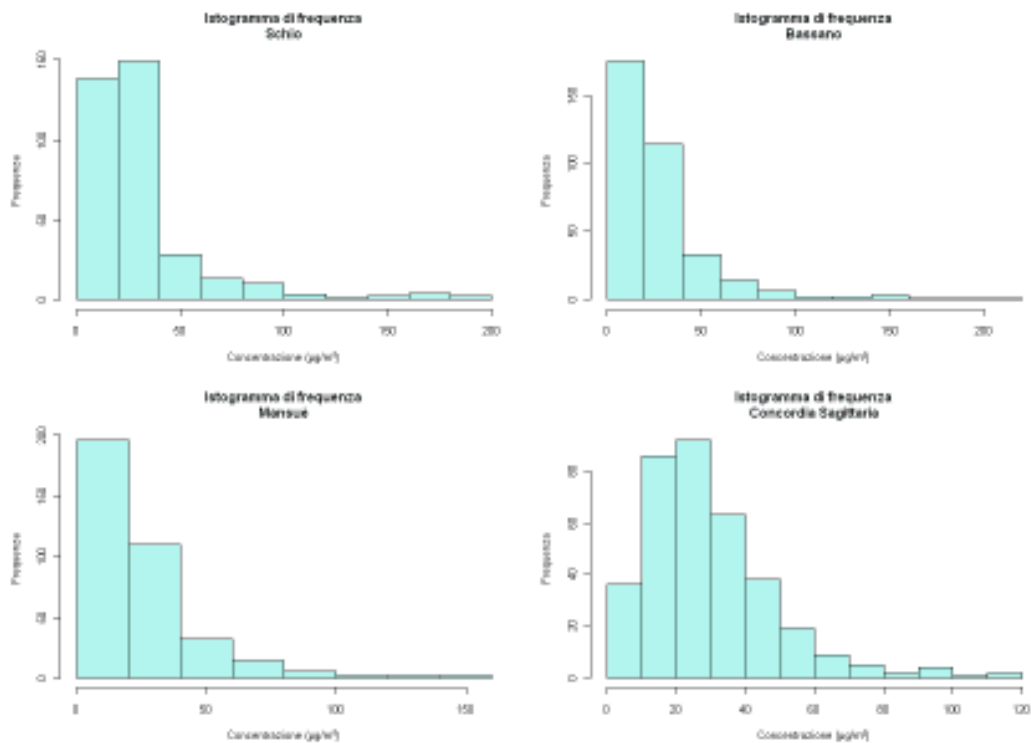


Figura 3.14 Istogrammi relativi alla concentrazione di PM10 delle stazioni fisse di Schio, Bassano, Mansuè, Concordia Sagittaria, anno 2008.

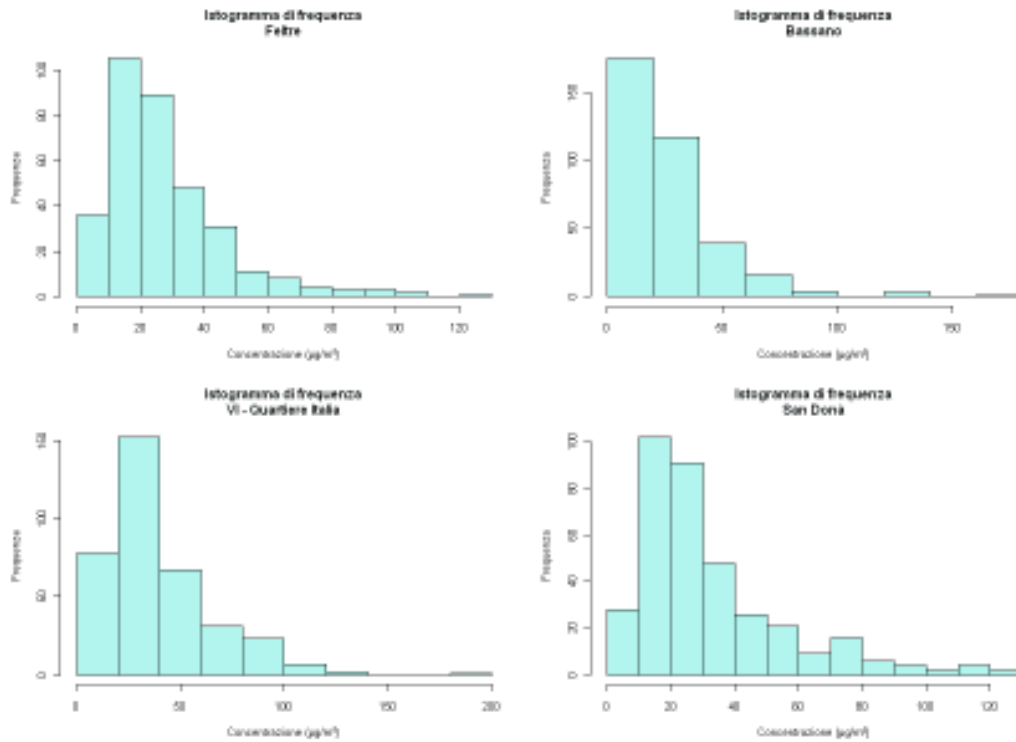


Figura 3.15 Istogrammi relativi alla concentrazione di PM10 delle stazioni fisse di Feltre, Bassano, VI - Quartiere Italia, San Donà, anno 2009.

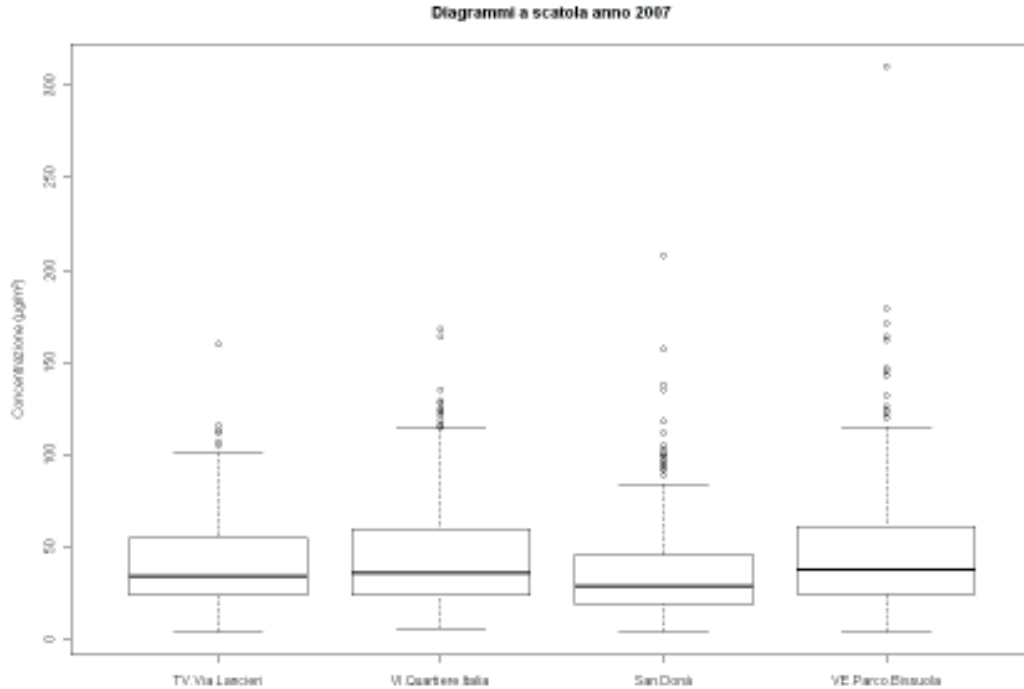


Figura 3.16 Diagrammi a scatola relativi alla concentrazione di PM10 delle stazioni fisse di TV - Via Lancieri, VI - Quartiere Italia, San Donà, VE - Parco Bissuola, anno 2007.

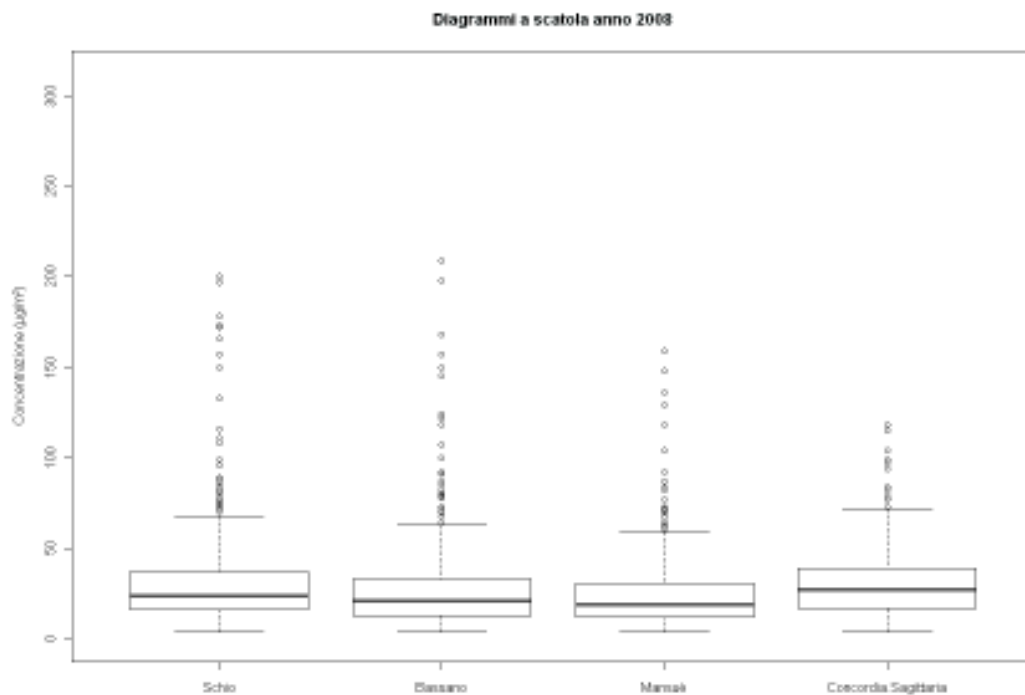


Figura 3.17 Diagrammi a scatola relativi alla concentrazione di PM10 delle stazioni fisse di Schio, Bassano, Mansù, Concordia Sagittaria, anno 2008.

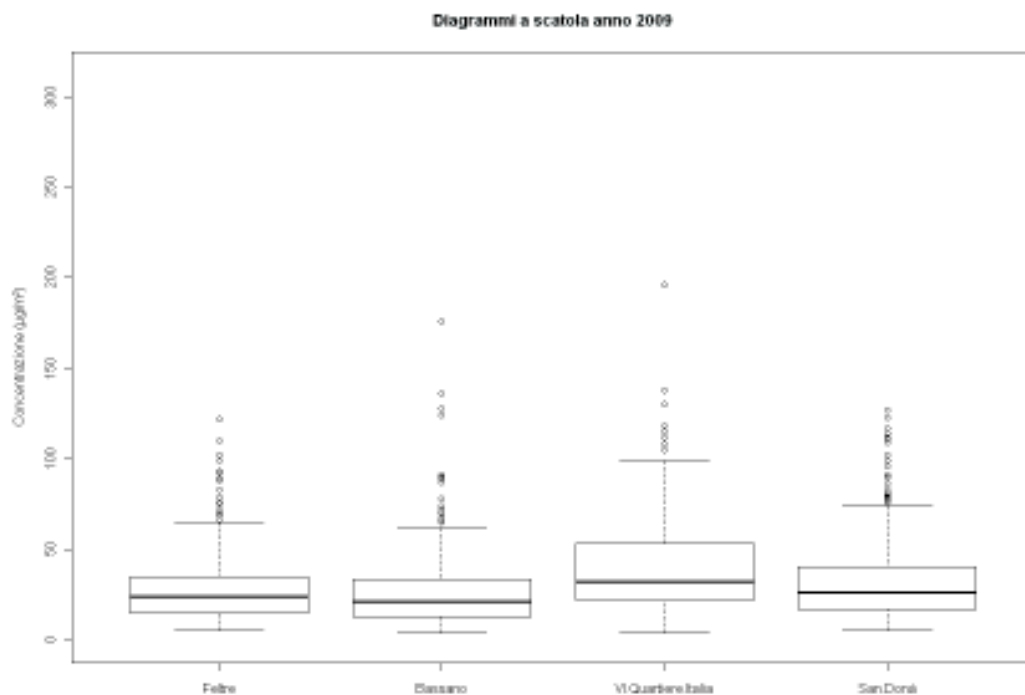


Figura 3.18 Diagrammi a scatola relativi alla concentrazione di PM10 delle stazioni fisse di Feltre, Bassano, VI - Quartiere Italia, San Donà, anno 2009.

Come era logico aspettarsi, gli istogrammi sono asimmetrici verso sinistra come si era già osservato per le celle nel paragrafo 3.1.2.

Lo stesso si può dire per i diagrammi a scatola, infatti vi sono diversi valori anomali oltre il baffo superiore, confermando l'asimmetria vista negli istogrammi.

Per quanto riguarda la variabilità, nel 2007 Parco Bissuola e VI - Quartiere Italia hanno una variabilità praticamente identica, mentre per le centraline di San Donà e TV – Via Lancieri la variabilità è minore. Nel 2008 le variabilità delle centraline sono pressoché tutte uguali; solo la centralina di Concordia Sagittaria sembra presentare una variabilità leggermente superiore. Infine nel 2009 la stazione di VI – Quartiere Italia presenta la variabilità più grande, mentre quelle di San Donà, Bassano e Feltre sono decisamente minori, con le ultime due pressoché identiche. Confrontando la variabilità delle celle nei vari anni si nota che nel 2007 presentano una variabilità decisamente maggiore rispetto agli altri anni. Invece nel 2008 e nel 2009, escludendo il caso della centralina di VI - Quartiere Italia che ha la variabilità più grande rispetto alle altre centraline prese ad esempio nel 2008 e 2009, la variabilità è pressoché uguale.

Queste analisi confermano quanto detto alla fine del paragrafo 3.1.2 per le celle, cioè che l'andamento del PM10 è simile in quasi tutto il territorio considerato.

3.2.3 Le serie temporali

In questo paragrafo sono prese in esame le serie temporali dei dati giornalieri e delle medie mensili delle stazioni fisse di TV – Via Lancieri (2007) , Este (2008) e Castelnovo Bariano (2009) (si vedano le appendici C e D per tutte le stazioni) che sono le centraline relative alle celle analizzate nel paragrafo 3.1.3.

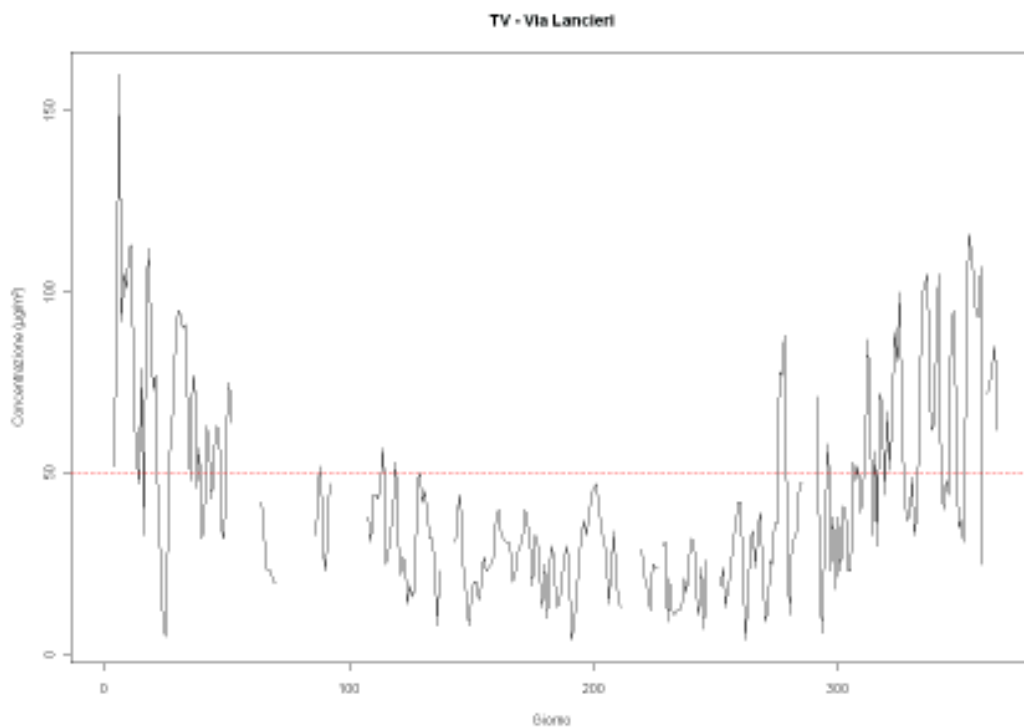


Figura 3.19 Serie temporale dei dati giornalieri della stazione di TV – Via Lancieri, anno 2007. La linea continua indica i valori giornalieri, la linea tratteggiata indica il valore limite giornaliero.

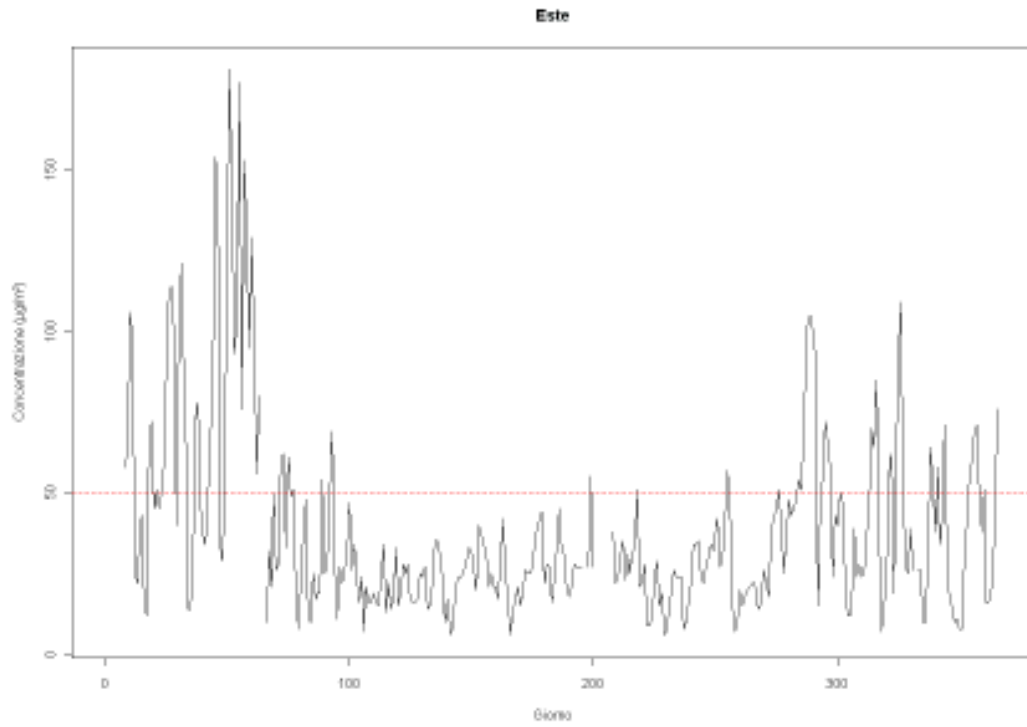


Figura 3.20 Serie temporale dei dati giornalieri della stazione di Este, anno 2008. La linea continua indica i valori giornalieri, la linea tratteggiata indica il valore limite giornaliero.

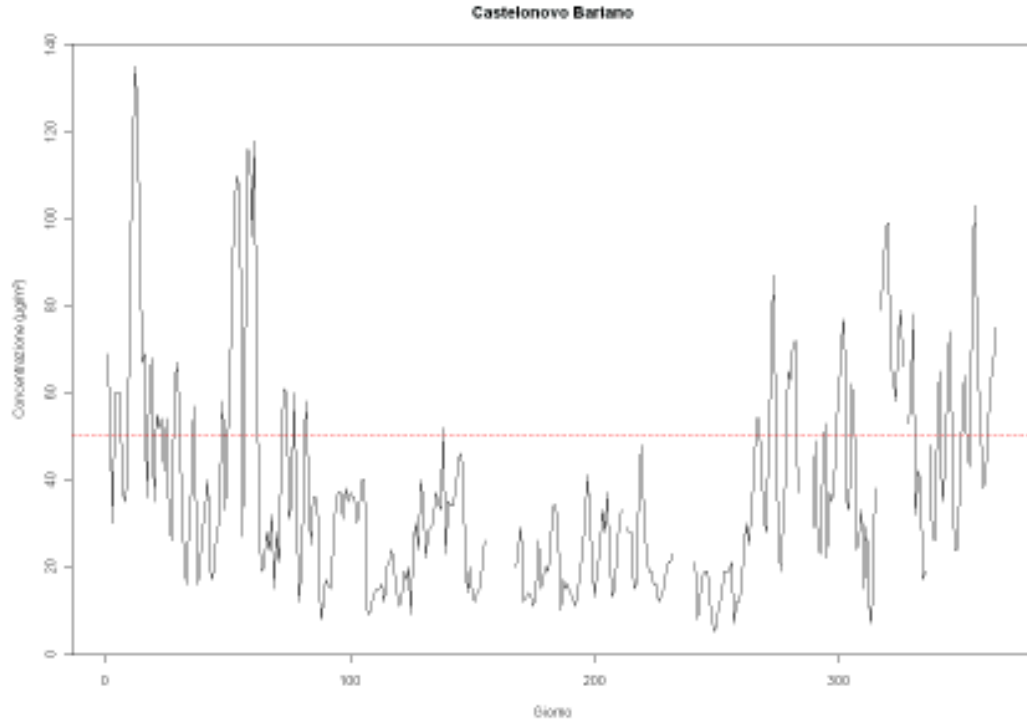


Figura 3.21 Serie temporale dei dati giornalieri della stazione di Castelnuovo Bariano, anno 2009. La linea continua indica i valori giornalieri, la linea tratteggiata indica il valore limite giornaliero.

Le serie sono più complete rispetto a quelle ottenute sui dati dei laboratori mobili, infatti i buchi sono di meno e solo in alcuni casi i dati mancanti coprono più di un mese.

L'andamento delle serie è simile a quello visto per i mezzi mobili. I mesi con i livelli di concentrazione più alti sono sempre quelli invernali, mentre nei mesi estivi sono più bassi. Questo denota una sorta di stagionalità che si vede meglio nelle serie temporali delle medie mensili presenti in figura 3.22, 3.23 e 3.24.

Anche in questo caso, il livello limite giornaliero è superato più di 35 volte. Come è logico aspettarci, il numero di superamenti della soglia sarà superiore rispetto a quello delle celle in quanto, per le stazioni fisse, si hanno a disposizione più giorni di monitoraggio. Difatti la stazione di via Lancieri supera il limite giornaliero per 83 giorni durante l'anno, la stazione di Este per 83 giorni e la stazione di Castelnovo Bariano per 85 giorni. La situazione su queste centraline è molto critica ed è molto distante dal rispettare il limite stabilito per legge.

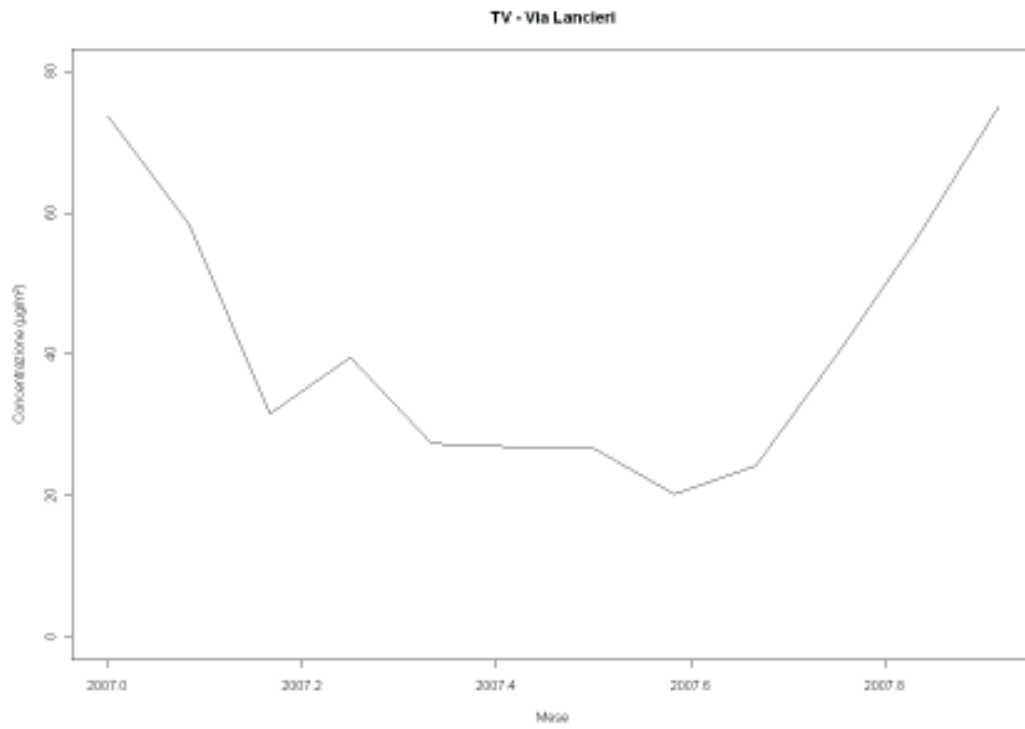


Figura 3.22 Serie temporale delle medie mensili della stazione di TV – Via Lancieri, anno 2007.

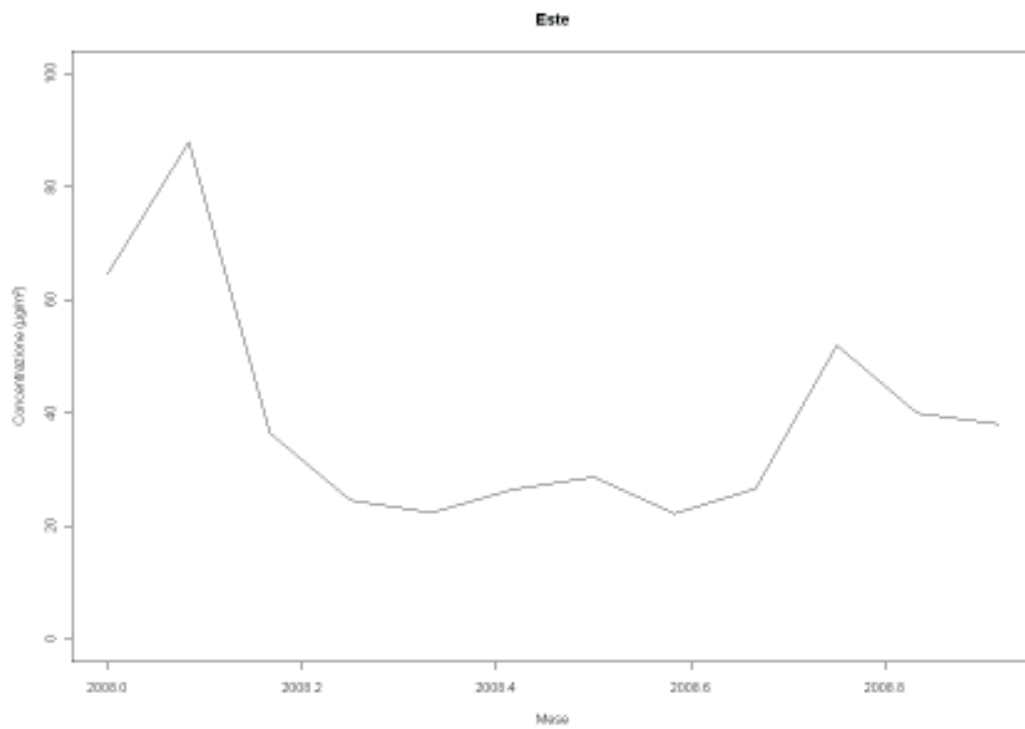


Figura 3.23 Serie temporale delle medie mensili della stazione di Este, anno 2008.

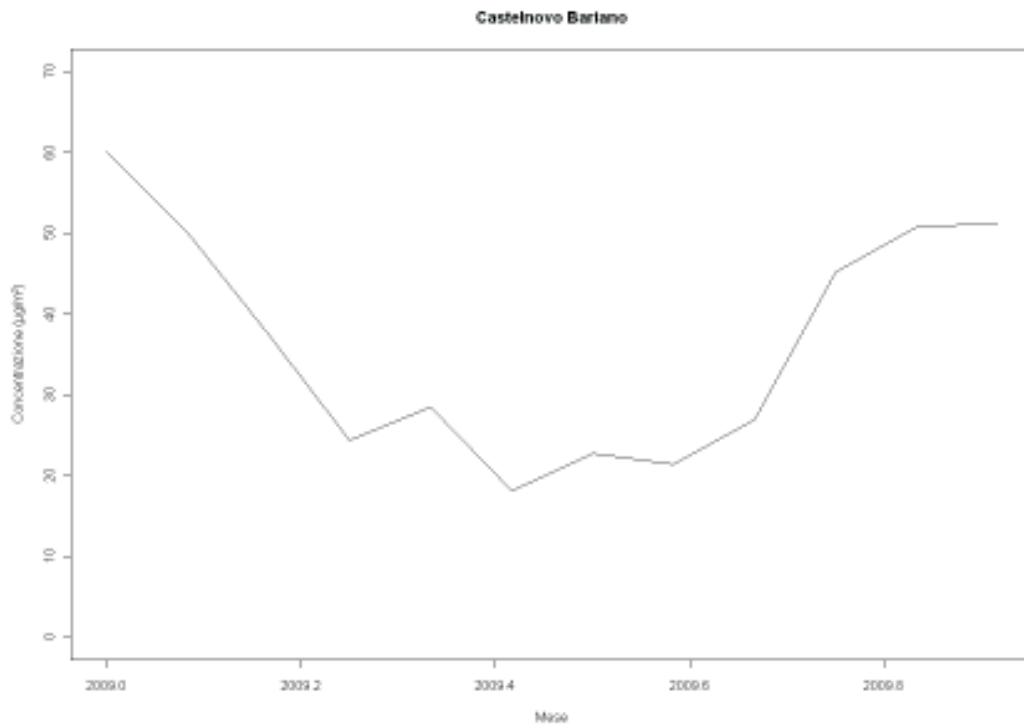


Figura 3.24 Serie temporale delle medie mensili della stazione di Castelnovo Bariano, anno 2009.

3.2.4 Serie temporale del triennio 2007-2009

Nelle figure 3.25, 3.26 e 3.27 sono rappresentate le serie temporali giornaliere del triennio 2007-2009 delle stazioni fisse di Adria, Bosco Chiesanuova ed Este, che sono state prese come esempio in questo paragrafo (si veda l'appendice C per i grafici delle altre centraline).

La centralina di Adria presenta dei valori di concentrazione particolarmente elevati, il valore limite giornaliero è superato numerose volte e anche nei periodi estivi presenta dei picchi che superano tale livello.

Migliore è la situazione della centralina di Bosco Chiesanuova dove le concentrazioni sono decisamente più basse. Il valore limite giornaliero è superato solo nei mesi invernali e il numero di superamenti è decisamente minore rispetto alla centralina di Adria.

Il caso di sicuro peggiore riguarda Este, dove si registrano i valori giornalieri di particolato più elevati tra i tre casi considerati. Nei mesi invernali la soglia di $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ è molto spesso superata e vi sono picchi di poco inferiori ai $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Sembra comunque esserci una tendenza alla diminuzione dell'inquinamento nei tre anni e quindi ad un miglioramento della qualità dell'aria nella zona in cui è situata la centralina.

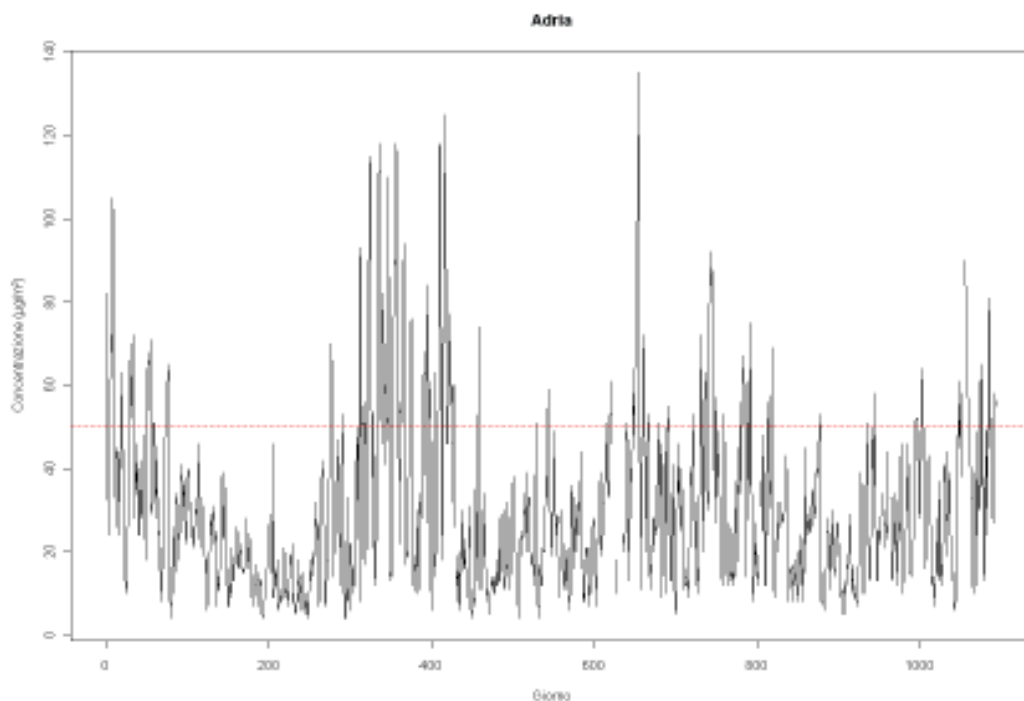


Figura 3.25 Serie temporale dei dati giornalieri della stazione di Adria, triennio 2007-2009. La linea continua indica i valori giornalieri, la linea tratteggiata indica il valore limite giornaliero.

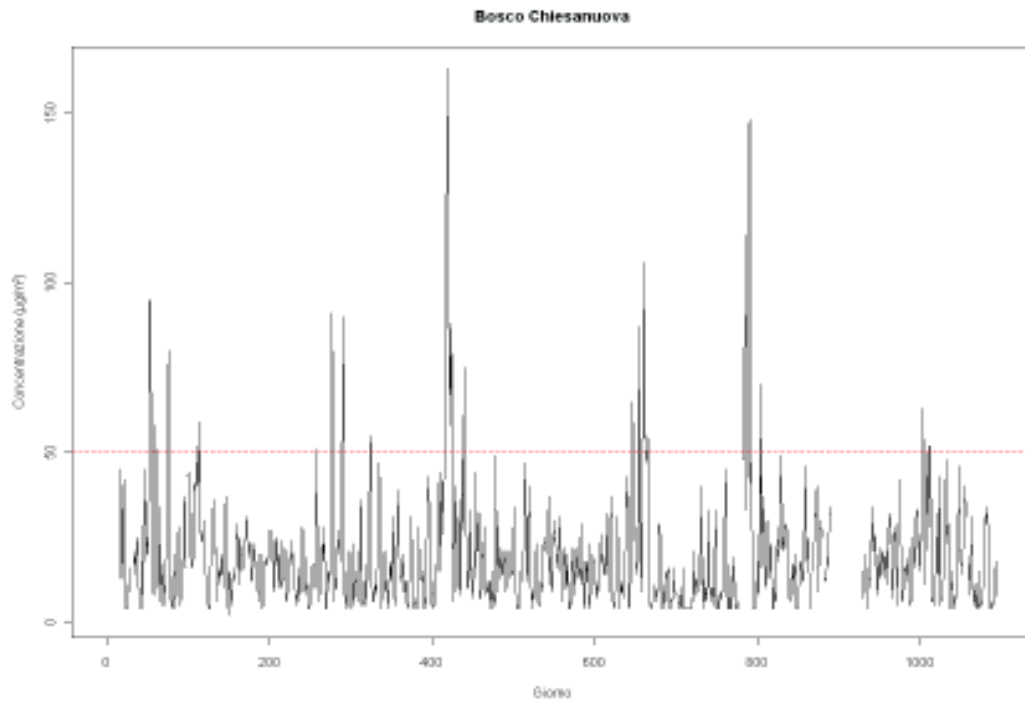


Figura 3.26 Serie temporale dei dati giornalieri della stazione di Bosco Chiesanuova, triennio 2007-2009. La linea continua indica i valori giornalieri, la linea tratteggiata indica il valore limite giornaliero.

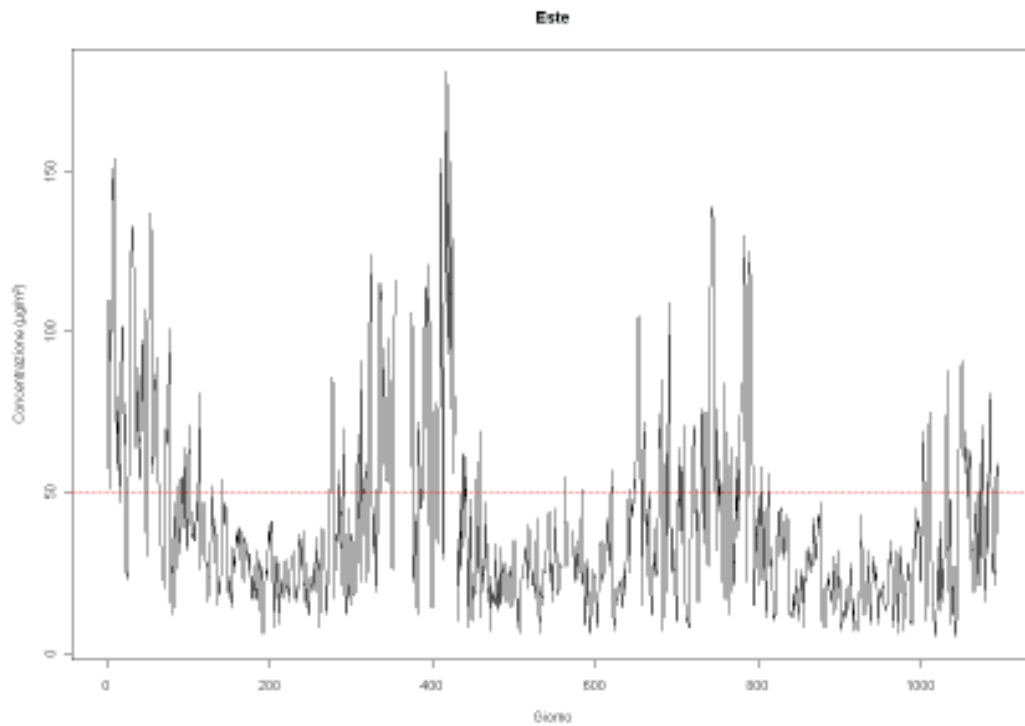


Figura 3.27 Serie temporale dei dati giornalieri della stazione di Este, triennio 2007-2009. La linea continua indica i valori giornalieri, la linea tratteggiata indica il valore limite giornaliero.

Nelle figure 3.28, 3.29 e 3.30 sono rappresentate le serie temporali delle medie mensili delle tre stazioni fisse nei tre anni considerati (si veda l'appendice D per i grafici delle altre centraline).

L'andamento delle serie è quello tipico per questo inquinante e mettono in luce la tipica stagionalità dell'inquinante PM10 . Solo la centralina di Bosco Chiesanuova sembra presentare un andamento un po' particolare. Infatti in gennaio la concentrazione è piuttosto bassa, si ha un picco a febbraio per poi decrescere nei mesi successivi; il livello di concentrazione ritorna ad essere alto nel mesi di ottobre e infine scende decisamente negli ultimi mesi dell'anno.

Nella figura 3.30, riguardante la centralina di Este, si nota meglio la tendenza alla diminuzione delle'inquinamento nei tre anni, che era già stata osservata nella figura 28.

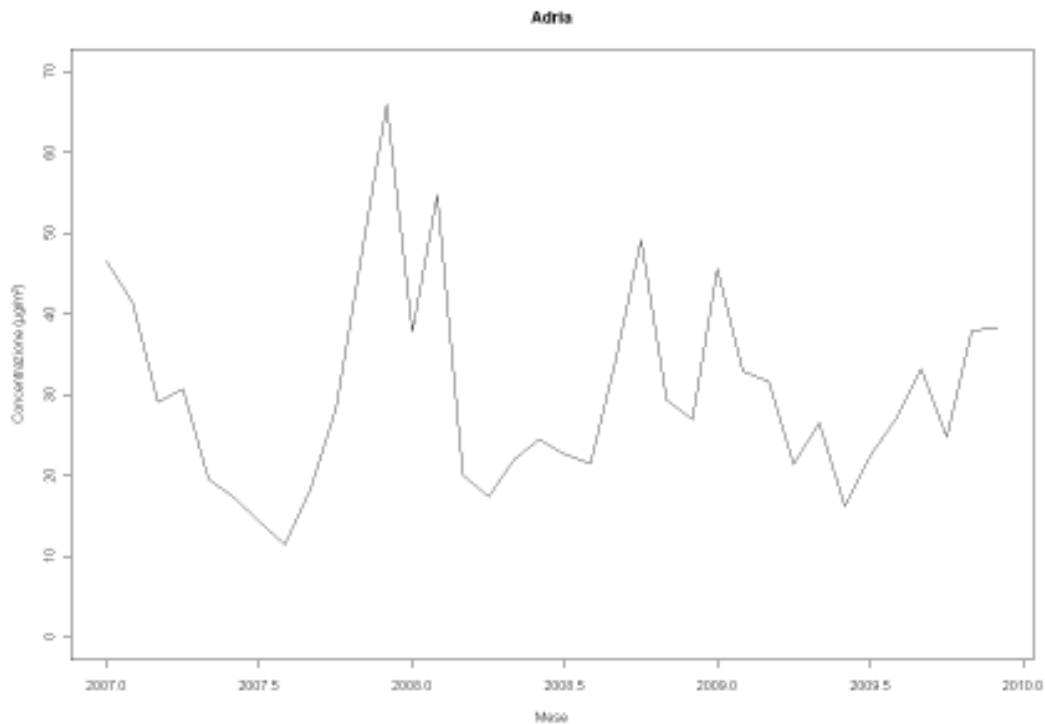


Figura 3.28 Serie temporale delle medie mensili della stazione di Adria, triennio 2007-2009.

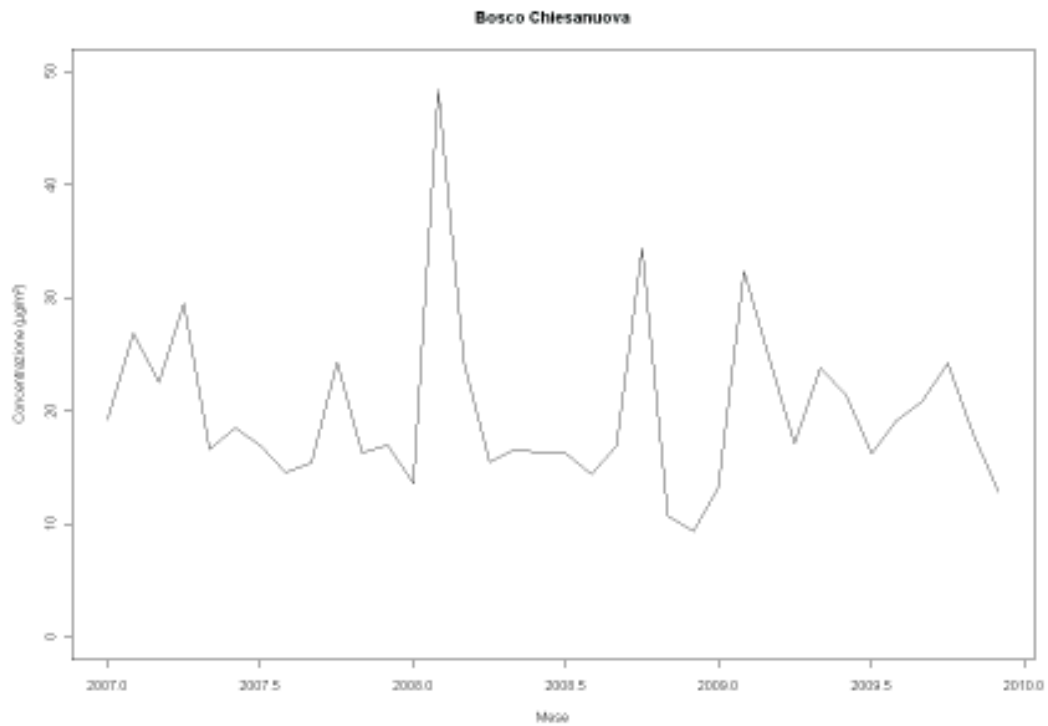


Figura 3.29 Serie temporale delle medie mensili della stazione di Bosco Chiesanuova, triennio 2007-2009.

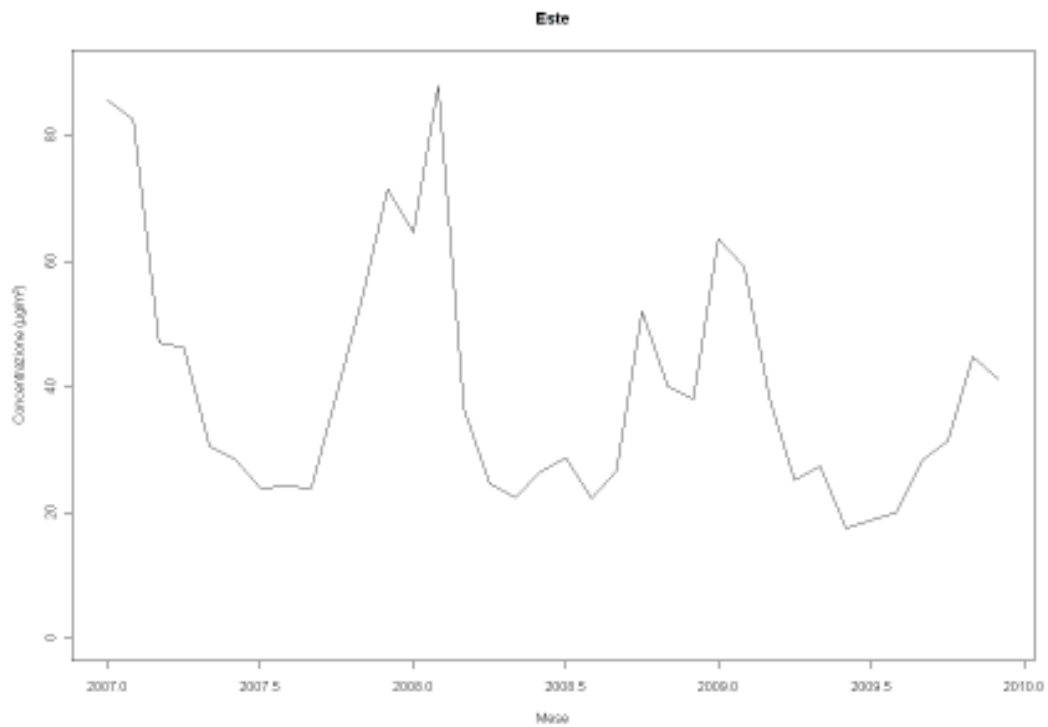


Figura 3.30 Serie temporale delle medie mensili della stazione di Este, triennio 2007-2009.

Una serie temporale può essere pensata come la composizione di varie componenti, in particolare di tre: il trend, la stagionalità e la componente irregolare.

Il trend è una componente che varia lentamente nel tempo e che essenzialmente determina il livello della serie, la stagionalità è una o più componenti periodiche, cioè componenti che si ritrovano uguali o quasi a distanza fissa nel tempo, infine la componente irregolare è una componente erratica che determina nella serie delle oscillazioni tipicamente di breve periodo.

Qui di seguito verrà analizzata la scomposizione delle serie temporali delle medie mensili nelle sue componenti, con lo scopo di poter osservare il livello della serie nei tre anni e la serie destagionalizzata delle centraline considerate. Come modello di composizione si è considerato quello additivo $y_t = T_t + S_t + I_t$, $t = 1, \dots, T$ con T il numero di istanti di tempo, dove y_t indica la serie temporale, T_t la componente di trend, S_t la componente stagionale e I_t la componente irregolare. Nella figura 3.31 si può osservare, per esempio, la scomposizione nelle tre componenti della serie della stazione fissa di Adria. Il primo grafico indica la serie originale di Adria, il secondo la stima del trend, nel nostro caso lineare e leggermente decrescente, il terzo rappresenta la componente stagionale, che in questo caso è molto forte e costante nel tempo, infine l'ultimo raffigura la componente irregolare, le cui oscillazioni sono alte nella serie temporale considerata.

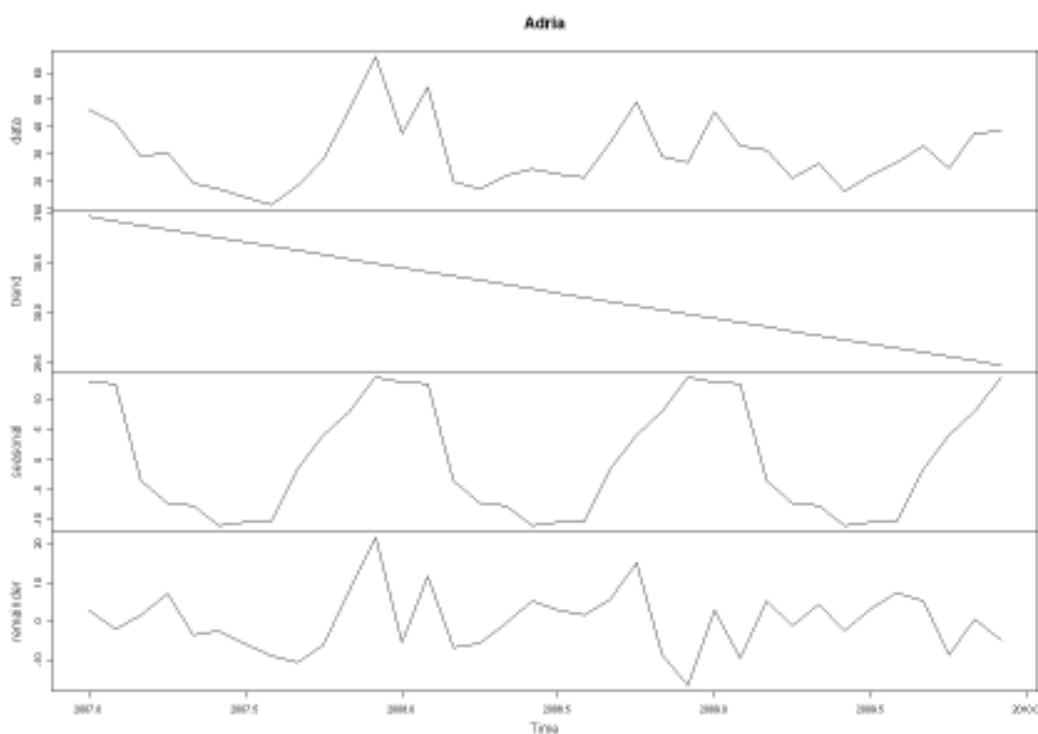


Figura 3.31 Componenti della serie delle medie mensili della stazione fissa di Adria.

La serie destagionalizzata è molto utile perché ci permette di confrontare periodi di tempo vicini e di poter osservare fenomeni che potrebbero essere coperti dalla componente stagionale. Per esempio, osservando le medie di PM_{10} nel mese di ottobre e novembre si potrebbe notare che quella di novembre è più alta rispetto a quella di ottobre, ma questo non vuol dire che l'inquinamento è aumentato perché questo fenomeno potrebbe essere dovuto al fatto che in novembre c'è un maggior utilizzo delle automobili o del riscaldamento rispetto ad ottobre dovuto alle temperature più fredde, quindi sarebbe dovuto alla stagionalità.

Nelle figure 3.32, 3.33 e 3.34 sono riportate alcune serie destagionalizzate con la stima del trend (si veda l'appendice E per le altre serie destagionalizzate). Nella figura 3.32, dove è rappresentata la centralina di Adria, ci si accorge che il trend è decrescente, ma di

pochissimo tanto da poterlo considerare stabile, perciò l'andamento dell'inquinamento è rimasto pressoché invariato nei tre anni.

Anche per la centralina di Bosco Chiesanuova (figura 3.33) la situazione è pressoché la stessa, il trend è crescente ma non significativamente, di conseguenza può essere considerato costante nel periodo considerato.

La situazione è decisamente diversa per la stazione di Este dove il trend è decisamente decrescente. Infatti si nota subito, dalla figura 3.34, che l'andamento della serie destagionalizzata decresce con il passare del tempo, denotando un miglioramento della qualità dell'aria nei tre anni.

Le oscillazioni che si vedono nei grafici delle serie destagionalizzate sono dovute pressoché alla componente irregolare che si può osservare meglio nelle figure 3.35, 3.37 e 3.39. In tutti e tre i casi le componenti variano intorno allo zero, denotando che la componente irregolare è stazionaria e, guardando i relativi grafici di autocorrelazione (figure 3.36, 3.38 e 3.40), si vede che non vi è autocorrelazione essendo i coefficienti di autocorrelazione all'interno dell'intervallo delimitato delle due linee tratteggiate (a parte qualche coefficiente che supera di poco l'intervallo, il quale può essere dovuto al caso). Le linee tratteggiate delimitano l'intervallo che va da $-z_{0,975}/\sqrt{n}$ a $z_{0,975}/\sqrt{n}$, dove $z_{0,975}$ è il 97,5-esimo percentile di una normale standard e corrisponde a 1,96 e n è il numero di osservazioni di cui si vuole calcolare il coefficiente di autocorrelazione. Questo segnala che la componente irregolare non mostra segni di una residua componente stagionale.

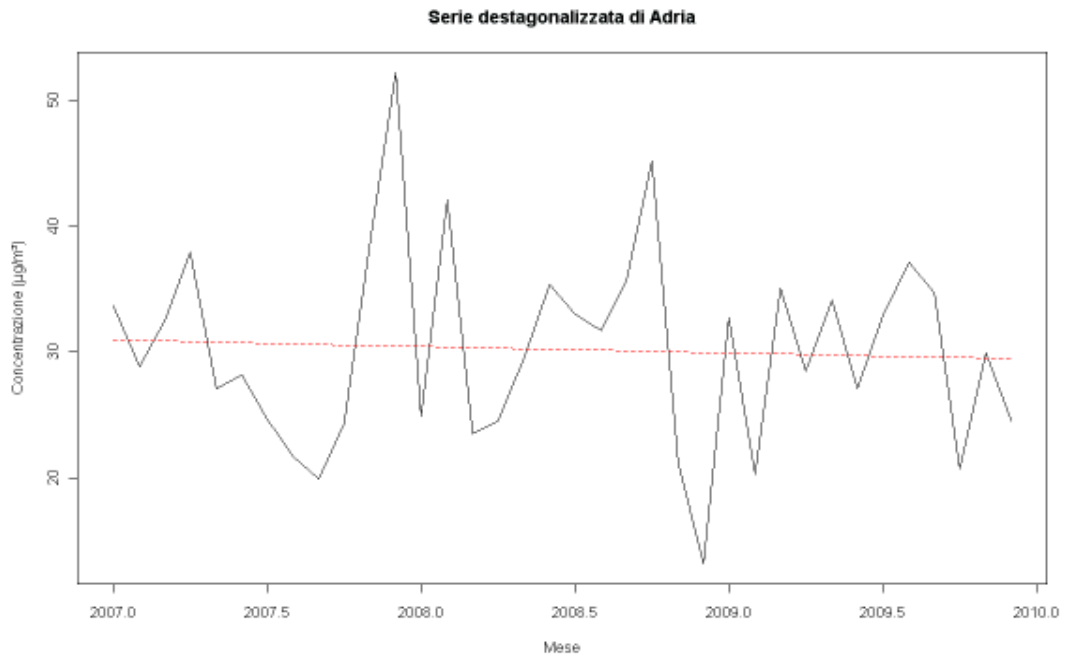


Figura 3.32 Serie destagionalizzata delle medie mensili della stazione di Adria, triennio 2007-2009. La linea continua indica la serie destagionalizzata, la linea tratteggiata indica la stima del trend.

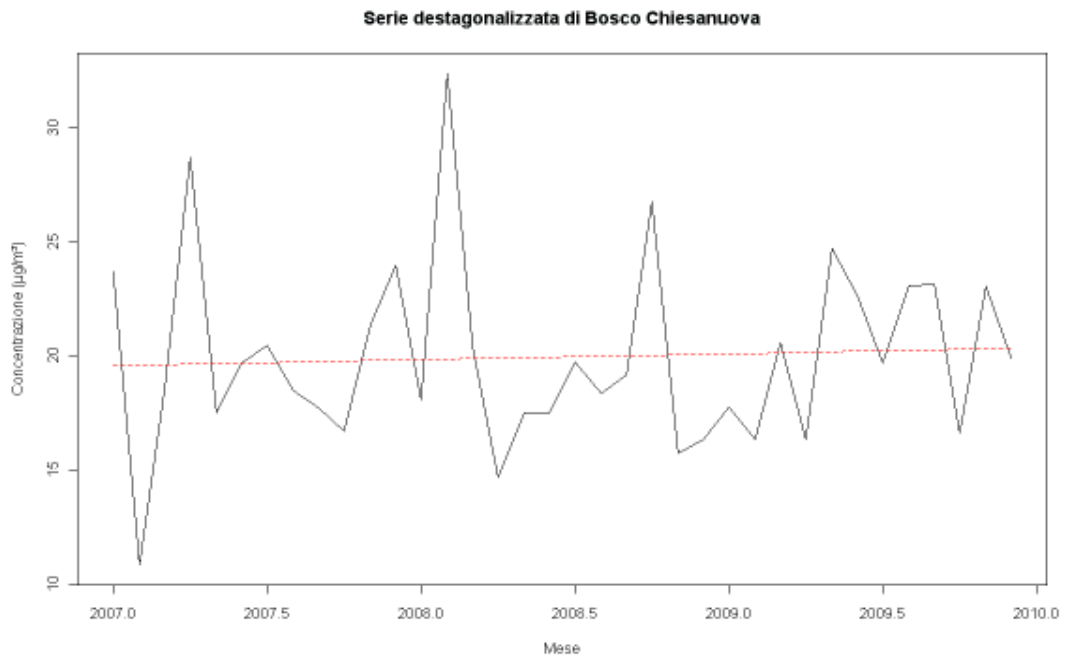


Figura 3.33 Serie destagionalizzata delle medie mensili della stazione di Bosco Chiesanuova, triennio 2007-2009. La linea continua indica la serie destagionalizzata, la linea tratteggiata indica la stima del trend.

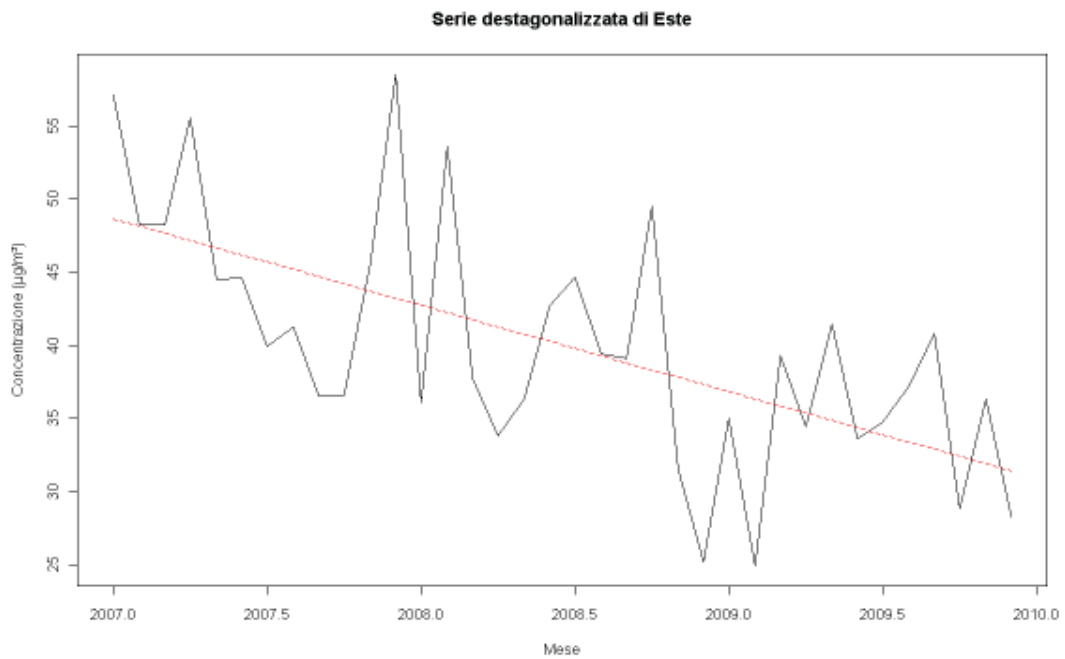


Figura 3.34 Serie destagionalizzata delle medie mensili della stazione di Este, triennio 2007-2009. La linea continua indica la serie destagionalizzata, la linea tratteggiata indica la stima del trend.

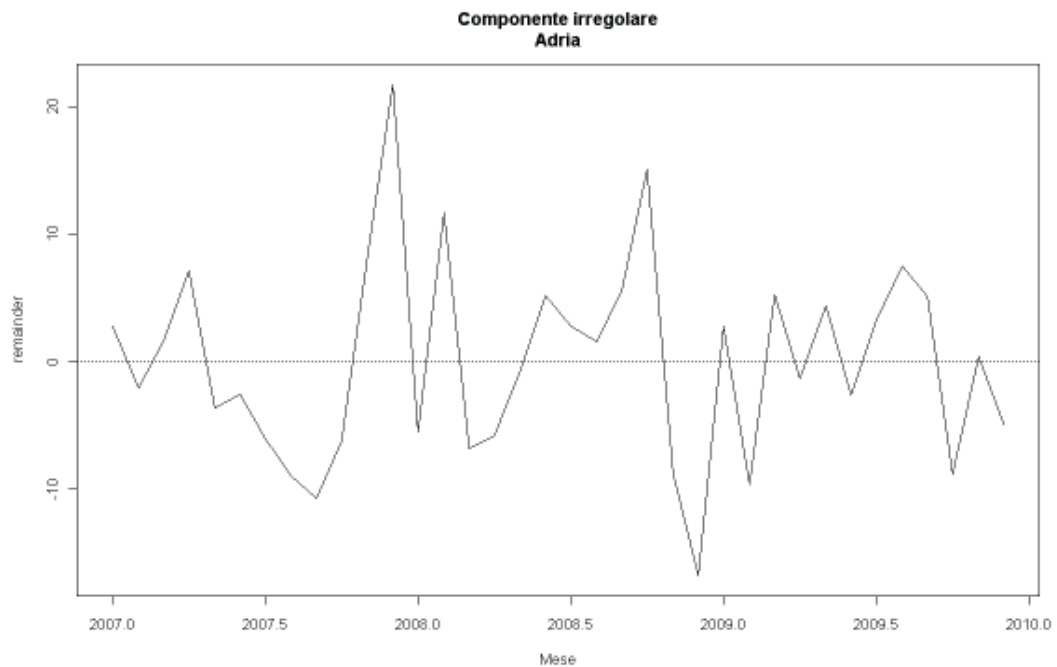


Figura 3.35 Componente irregolare della stazione di Adria, triennio 2007-2009.

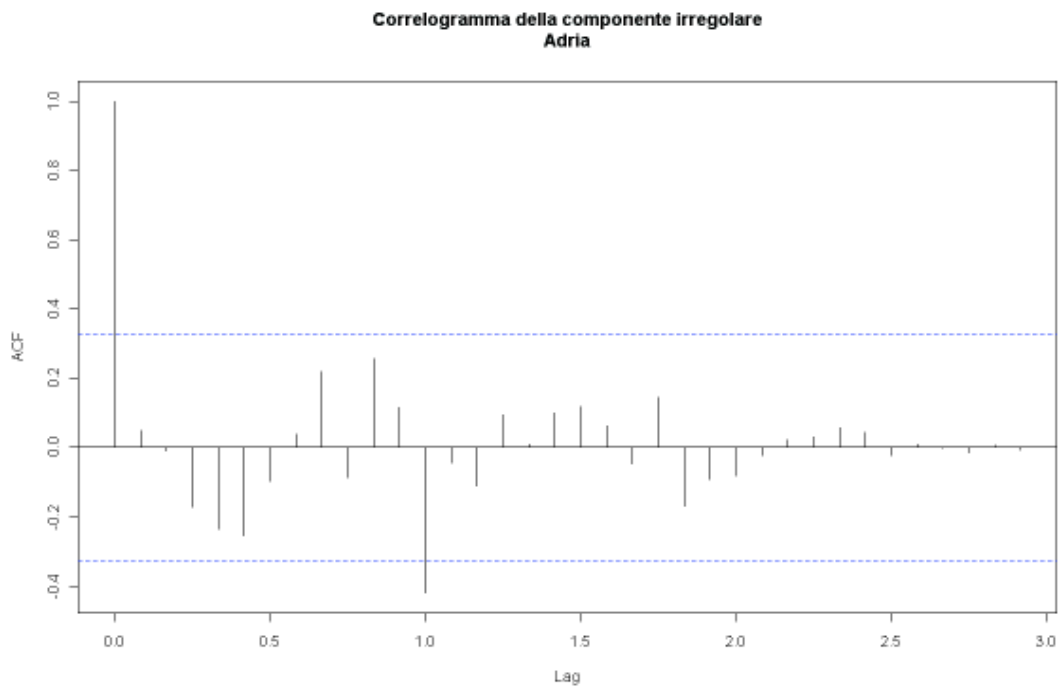


Figura 3.36 Correlogramma della componente irregolare della stazione di Adria, triennio 2007-2009.

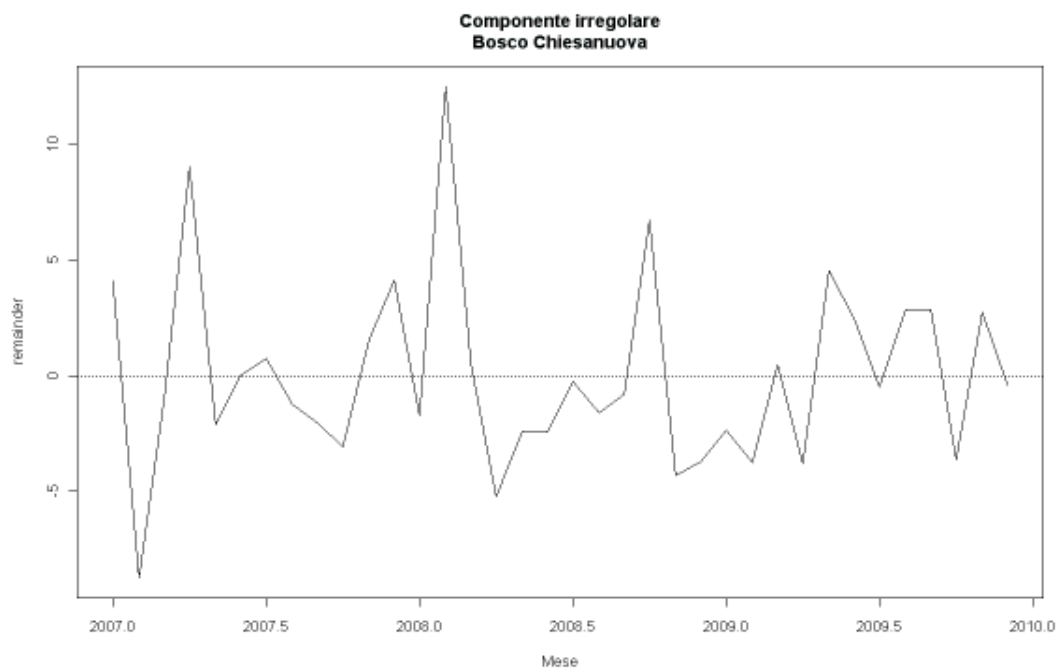


Figura 3.37 Componente irregolare della stazione di Bosco Chiesanuova, triennio 2007-2009.

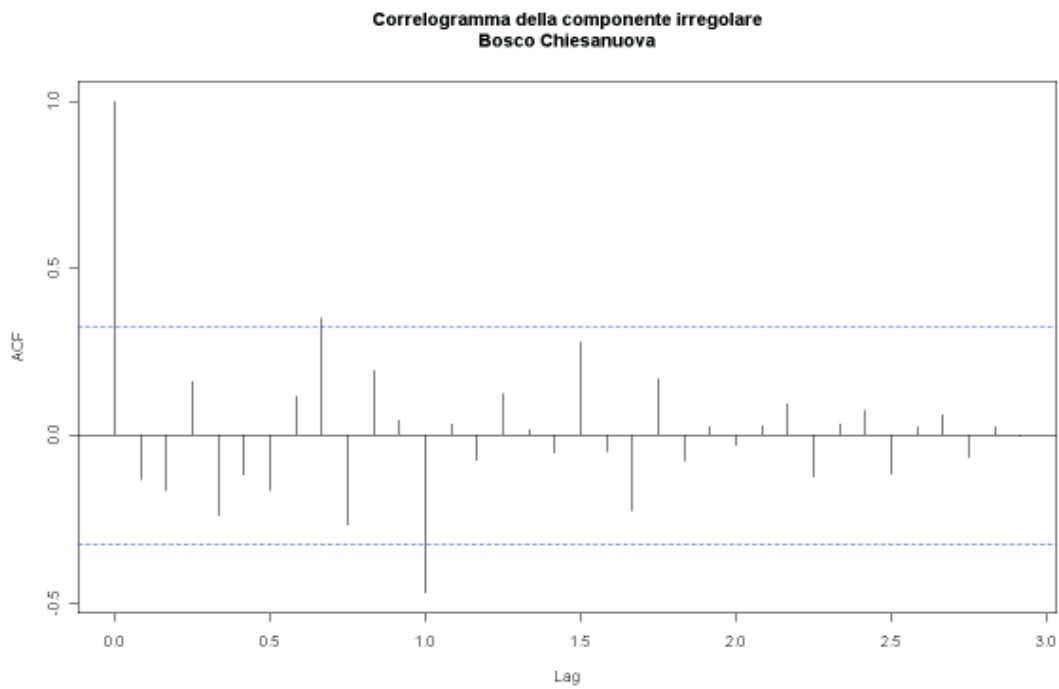


Figura 3.38 Correlogramma della componente irregolare della stazione di Bosco Chiesanuova, triennio 2007-2009.

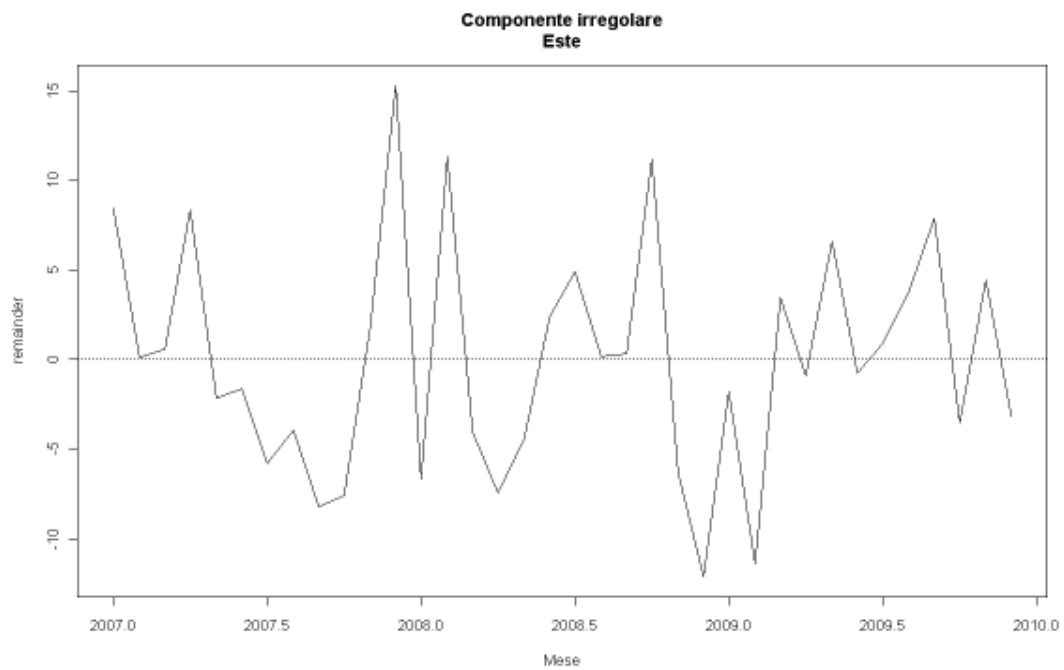


Figura 3.39 Componente irregolare della stazione di Este, triennio 2007-2009.

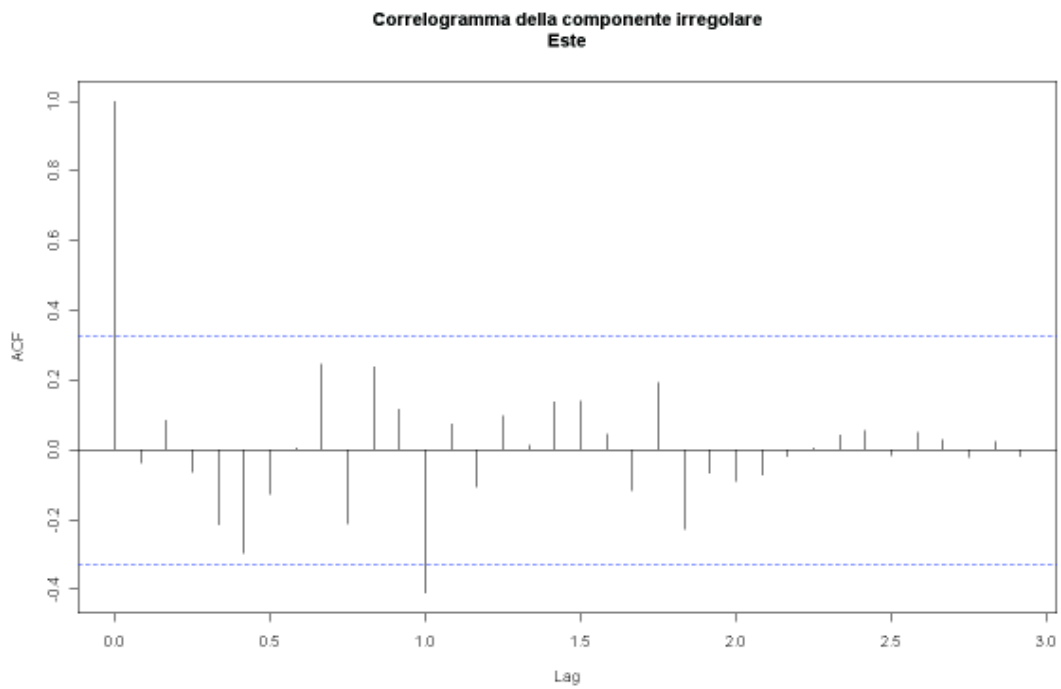


Figura 3.40 Correlogramma della componente irregolare della stazione di Este, triennio 2007-2009.

Capitolo 4

I modelli di previsione

In questo capitolo verranno trattati i modelli che sono stati stimati e usati per prevedere le medie annuali degli anni non monitorati dalle celle.

Per creare i modelli, i dati delle centraline mobili sono stati confrontati con i dati delle proprie stazioni fisse di riferimento¹¹ (per le centraline fisse sono stati presi in considerazione i dati dell'anno di monitoraggio delle centraline mobili) e, nel caso vi fossero più stazioni fisse con cui costruire il modello, è stata scelta quella che genera i modelli migliori.

Nei casi identificati con A e B (si veda il paragrafo 3.1.1) il numero di modelli raddoppiava perché, sia per A che per B, bisognava costruire un modello con ogni centralina fissa di riferimento. Visto che per rappresentare il livello di concentrazione di PM10 della zona delimitata dalla cella era necessario scegliere uno dei due casi (la stessa zona non può avere due diversi livelli di concentrazione), si sono confrontati, quindi, tutti i modelli ottenuti e si è scelto il caso che presentava il modello che stimava meglio i dati.

Come è stato riportato nel piano di monitoraggio nel capitolo 2, in alcuni vertici delle celle, anziché impiegare i mezzi mobili per il rilevamento dei dati di concentrazione dell'inquinante, sono stati usati i dati rilevati dalle centraline fisse che si trovavano nelle vicinanze. In questi casi sono stati presi i dati della centralina fissa rilevati nel periodo stabilito per il monitoraggio di quel vertice (si vedano le tabelle 2.2, 2.3 e 2.4) e sono stati

¹¹ Si vedano le tabelle 3.4, 3.5 e 3.6.

considerati come se fossero stati raccolti dai mezzi mobili. Questi dati sono stati eliminati dalla serie di dati dei laboratori mobili della cella nei casi in cui la stazione fissa, da cui sono stati presi, fosse la stessa usata come centralina fissa di riferimento della cella stessa. In questo modo si è potuto osservare meglio la relazione esistente tra i dati della centralina fissa e quelli dei mezzi mobili e stimare correttamente i modelli. Nei paragrafi successivi, a titolo di esempio, verrà presa in considerazione la cella 62 e le relative centraline di Castelnovo Bariano e RO - Cason.

4.1 Analisi esplorativa

Per poter scegliere che tipo di modello fare, per prima cosa bisogna vedere, per ogni cella, che relazione esiste tra i dati dei mezzi mobili e i dati della propria stazione fissa di riferimento.

Nelle figure seguenti sono rappresentati i diagrammi di dispersione tra i dati dei mezzi mobili e quelli delle centraline di riferimento prese ad esempio; per tutti i diagrammi di dispersione si veda l'appendice F.

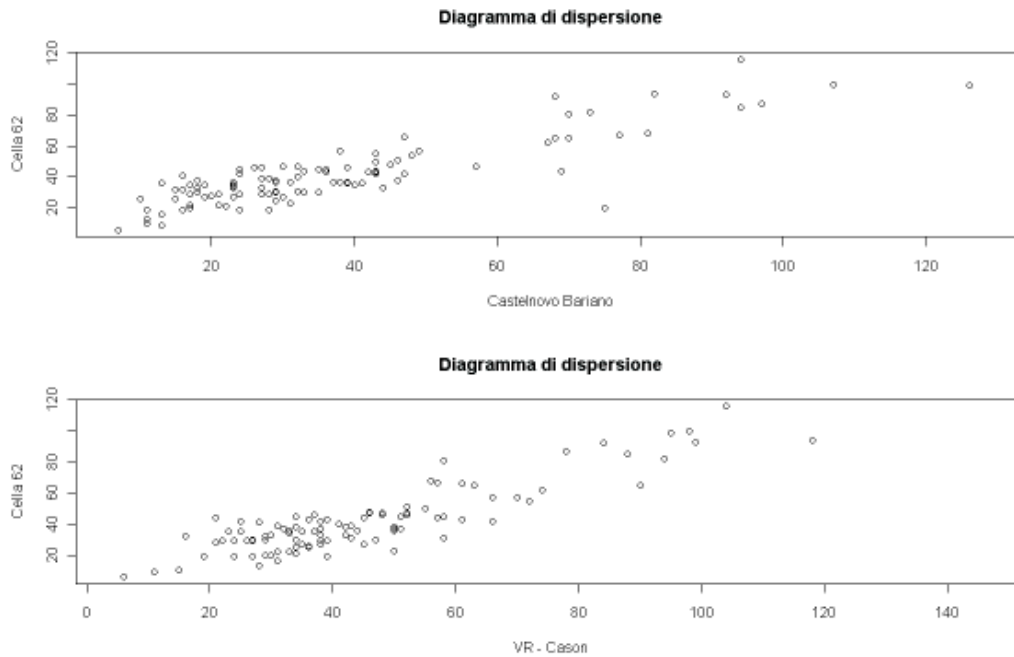


Figura 4.1 Diagrammi di dispersione dei dati dei mezzi mobili della cella 62 con i dati delle relative centraline fisse di riferimento.

I diagrammi di dispersione mostrano che tra i dati delle centraline mobili e quelli delle stazioni fisse esiste una relazione di tipo lineare, nonostante vi sia una dispersione non indifferente soprattutto a valori alti di concentrazione. Inoltre sembra esserci una dispersione minore tra i dati dei laboratori mobili e quelli della centralina fissa di VR – Cason. Infatti, nel diagramma relativo a Castelnovo Bariano la dispersione è leggermente maggiore a valori alti rispetto al diagramma relativo a VR – Cason. Questo è confermato anche dalla correlazione che è di 0,870 tra la cella 62 e la centralina di Castelnovo Bariano e di 0,879 tra la cella e la centralina di RO - Cason.

4.2 Stima del modello

Il modello classico per studiare la relazione di tipo lineare è il modello di regressione lineare semplice.

Il modello di regressione lineare è:

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 x_i + \varepsilon_i,$$

dove i varia tra le osservazioni, $i = 1, \dots, n$ con n numero di osservazioni, Y_i è la variabile dipendente (nel nostro caso i dati dei mezzi mobili), x_i è la variabile indipendente o regressore (nel nostro caso i dati della stazione fissa), β_0 è l'intercetta della retta di regressione della popolazione, β_1 è il coefficiente angolare della retta di regressione della popolazione e ε_i è la componente erratica del modello con distribuzione $N(0, \sigma^2)$. Nel nostro caso, l'intercetta è stata tolta dal modello perché, vista la natura dei dati, ha poco senso che nel caso in cui la stazione fissa non rilevi la presenza di particolato atmosferico il modello, invece, stimi un certo livello di concentrazione da parte delle centraline mobili. Quindi il modello utilizzato si riduce a:

$$Y_i = \beta x_i + \varepsilon_i.$$

Per la stima del modello è stata utilizzata la funzione `lm()` disponibile con il software R, la quale restituisce un oggetto, cioè una lista di elementi di diverso tipo, di classe `lm`. La stima dei modelli di regressione relativi alla cella 62, condotta con il programma R, utilizzando prima la centralina fissa di Castelnovo Bariano, poi quella di VR - Cason come variabili esplicative fornisce i risultati riportati qui di seguito:

Coefficients:

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)
Castelnovo	1.01647	0.02753	36.92	<2e-16 ***

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Coefficients:

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)
Cason	0.91171	0.02015	45.24	<2e-16 ***

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

La stima di β per il modello con la stazione di Castelnovo Bariano è 1,01647, mentre quella del modello con la stazione di Cason è 0,91171.

Nella tabella 4.1 vengono riportati gli intervalli di confidenza della stima di β dei due modelli, il quale viene determinato dalla seguente formula:

$$\hat{\beta} \pm t_{n-1;1-\alpha/2} \cdot \sqrt{\widehat{V}(\hat{\beta})},$$

dove $\hat{\beta}$ è la stima del coefficiente β , $t_{n-1;1-\alpha/2}$ è il quantile di una t di Student di probabilità $1 - \alpha/2$ (α è il livello di significatività) e $n - 1$ gradi di libertà (n è il numero di osservazioni) e $\sqrt{\widehat{V}(\hat{\beta})}$ è la radice della stima non distorta della varianza dello stimatore, detta anche errore standard.

Modello	Limite inferiore	Stima puntuale	Limite superiore
Castelnuovo Bariano	0,96186	1,01647	1,07108
Cason	0,87174	0,91171	0,95168

Gli intervalli di confidenza hanno livello esatto del 95%.

Tabella 4.1 Intervalli di confidenza di β dei modelli della cella 62.

Nel modello con variabile esplicativa la stazione di VR - Cason, l'intervallo di confidenza di β non contiene l'uno, ma è sempre inferiore. Questo potrebbe indicare che i dati dei mezzi mobili sottostimano i valori della centralina fissa. Per poter verificare se il coefficiente si può considerare uguale ad uno o inferiore si ricorre alla verifica di ipotesi, dove l'ipotesi nulla H_0 è $\beta = 1$ e l'ipotesi alternativa H_1 è $\beta < 1$. Sotto l'ipotesi di H_0 la statistica test T corrisponde a:

$$\frac{\hat{\beta} - 1}{\sqrt{\hat{V}(\hat{\beta})}} \sim t_{n-1},$$

e il valore osservato della statistica test è

$$t_{\text{oss}} = \frac{\hat{\beta} - 1}{\sqrt{\hat{V}(\hat{\beta})}}.$$

Perché l'ipotesi nulla venga accettata bisogna che t_{oss} sia maggiore di $t_{n-1,\alpha}$, dove $t_{n-1,\alpha}$ è il quantile di una t di Student di probabilità α e $n - 1$ gradi di libertà. Nel caso osservato si ha:

$$t_{\text{oss}} = \frac{0,91171 - 1}{0,02015} = -4,38164,$$

$$t_{101,0,05} = -1,66008.$$

Essendo t_{oss} minore di $t_{101,0,05}$ si rifiuta l'ipotesi nulla in favore di quella alternativa, di conseguenza il coefficiente è minore di uno e i dati dei mezzi mobili sottostimano i dati della centralina fissa.

4.3 Verifica della bontà del modello

Per verificare la bontà di adattamento di un modello di regressione lineare si ricorre all'analisi dei residui, la quale consiste nel verificare l'omoschedasticità, l'indipendenza e la normalità dei residui.

Nelle figure 4.2 e 4.3 sono riportati i diagrammi di dispersione dei residui rispetto ai valori stimati e l'istogramma, il diagramma a scatola e il grafico quantile-quantile dei residui dei due modelli considerati. I residui del modello non sono omoschedastici, di conseguenza, per le analisi, si sono usati i residui standardizzati che hanno distribuzione approssimata normale standard.

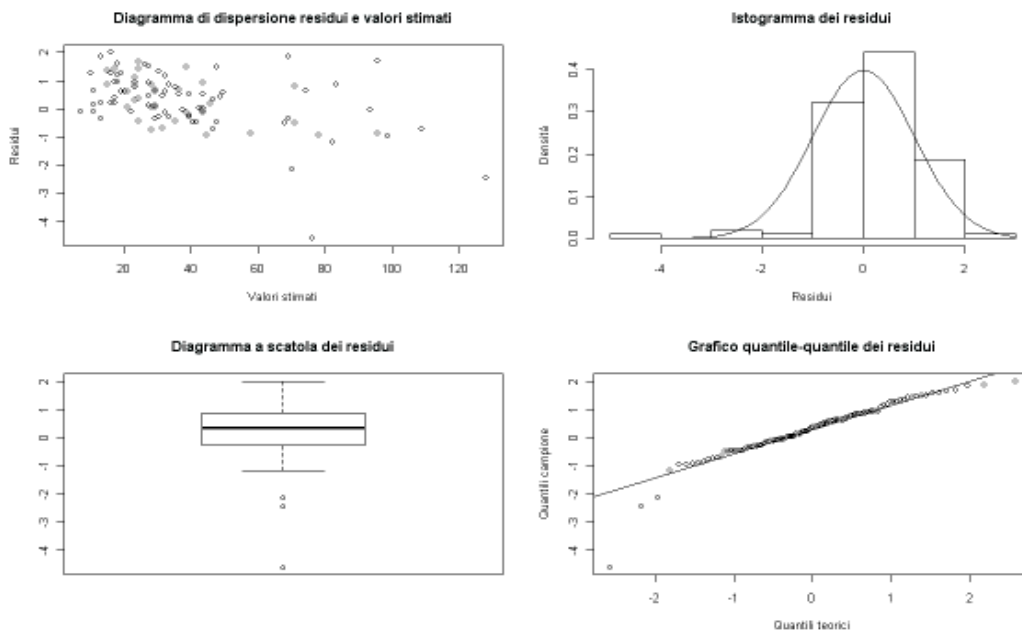


Figura 4.2 Diagrammi di dispersione di residui e valori stimati e istogramma, diagramma a scatola e grafico quantile-quantile dei residui del modello con la centralina di Castelonovo Bariano.

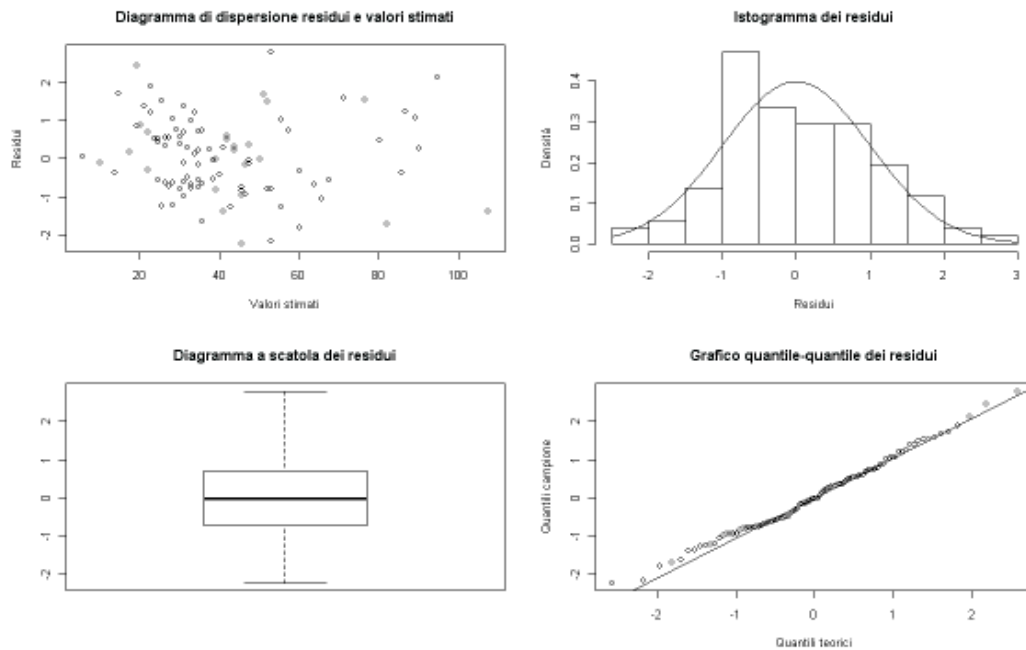


Figura 4.3 Diagrammi di dispersione di residui e valori stimati e istogramma, diagramma a scatola e grafico quantile-quantile dei residui del modello con la centralina di VR - Cason.

Nel caso del modello con la centralina di Castelnuovo Bariano, il diagramma di dispersione non presenta segni di una relazione tra i residui e valori stimati, però presenta una maggiore variabilità rispetto a quanto ci si dovrebbe aspettare. L'istogramma è leggermente asimmetrico, infatti presenta una piccola coda verso sinistra, aspetto che si nota anche dal digramma a scatola dove sono presenti tre valori anomali sotto il baffo inferiore. A parte questo la simmetria dei residui è buona. Infine nel grafico quantile-quantile i residui seguono il comportamento atteso, nonostante siano evidenziati sulla coda sinistra lievi deviazioni dei residui osservati. In ogni caso, complessivamente, la normalità appare soddisfacente.

Anche per il modello con la centralina di VR - Cason il diagramma di dispersione dei residui non mostra segni di una qualsiasi relazione con i valori stimati, però, a differenza del modello precedente, la variabilità appare molto buona visto che i residui sono distribuiti più o meno tutti uniformemente nello stesso intervallo. Dall'istogramma si può notare che i

residui hanno una distribuzione simmetrica, confermato anche dal diagramma a scatola, il quale non presenta valori anomali e baffi sono più o meno della stessa lunghezza. Nel grafico quantile-quantile, infine, i residui seguono il comportamento atteso, senza presentare deviazioni. Si può concludere che l'ipotesi di normalità risulta verificata e quindi il modello si adatta bene ai dati.

Confrontando l'analisi dei residui dei due modelli, risulta che il modello con la stazione di VR - Cason interpola meglio i dati, quindi è da preferirsi per la stima della media negli anni non monitorati della cella 62. A conferma di ciò, di seguito è riportata un'ulteriore analisi sui residui per verificare quale dei due modelli stima meglio i dati. In questa analisi vengono eliminati dieci dati a caso dalla serie della cella e i rispettivi dati delle serie delle due stazioni fisse. Poi si stimano i modelli e con le stime ottenute si calcolano le stime dei dati eliminati. Infine si calcolano le somme al quadrato dei residui dei valori stimati ottenuti con i due modelli e per vedere quale modello produce i residui minori. Nella tabella sono riportati i dati eliminati.

Data	Cella 62	Castelnovo Bariano	VR - Cason
15/03/2007	62	67	74
03/04/2007	47	57	52
08/06/2007	33	44	38
27/06/2007	22	21	33
15/07/2007	26	15	36
30/07/2007	39	27	31
11/08/2007	19	11	27
20/11/2007	99	126	95
30/11/2007	81	70	58
13/12/2007	92	68	84

Tabella 4.2 Dati eliminati dalla serie della cella 62 e dalle stazioni di Castelnovo Bariano e VR - Cason.

Sempre con il comando `lm()` di R sono stati stimati nuovamente i modelli, ottenendo per il modello di Castelnovo $\hat{\beta} = 1,03095$ e per quello di

VR - Cason $\hat{\beta} = 0,89687$. Successivamente sono stati stimati i dati eliminati della cella 62 utilizzando nuovi modelli. Attraverso la seguente formula sono stati calcolati i residui:

$$\text{res}_i = y_i - \hat{y}_i,$$

dove res_i è il residuo della i -esima osservazione, y_i è la i -esima osservazione eliminata dalla cella e \hat{y}_i è la stima della i -esima osservazione eliminata dalla cella. Infine si è calcolata la somma al quadrato dei residui dei due modelli ottenendo che per il modello di Castelnuovo il risultato è di 2147,93, mentre per quello di VR - Cason è 1578,13. Essendo la somma dei residui al quadrato del modello di VR - Cason minore rispetto a quella di Castelnuovo è una conferma in più della migliore adattabilità ai dati del modello di VR - Cason.

Nelle seguenti tabelle sono riportati per ogni cella la stazione fissa con cui si è stimato il modello e la stima del coefficiente β ottenuto; nel caso che la cella avesse più stazioni di riferimento, si è scelto il modello che interpola meglio i dati.

Cella	Stazione di riferimento scelta	Coefficiente β
Cella 36	TV - Via Lancieri	0,98638
Cella 44	VI - Quartiere Italia	0,87781
Cella 48	VE - Parco Bissuola	0,81224
Cella 55	VI - Quartiere Italia	0,93118
Cella 56	PD - Mandria	1,09573
Cella 57	PD - Mandria	1,07654
Cella 61 ^(*)	Cason	0,96380
Cella 62	Cason	0,91171
Cella 63	Este	0,93158
Cella 64	Este	1,01929
Cella 71	RO - Borsea	1,06790
Cella 77	RO - Borsea	0,89563
Cella 80	Badia Polesine	0,82729

(*) è stato scelto il caso A

Tabella 4.3 Stazioni di riferimento scelte e stima di β delle celle monitorate nel 2007.

Cella	Stazione di riferimento scelta	Coefficiente β
Cella 32	Schio	0,88193
Cella 33	Bassano	0,95649
Cella 37	Mansuè	1,33811
Cella 38 ^(*)	San Donà	1,04090
Cella 39	Concordia Sagittaria	0,97286
Cella 41	Bosco Chiesanuova	1,24968
Cella 42	Bosco Chiesanuova	1,45776
Cella 65	Chioggia	1,14212
Cella 72	RO - Borsea	0,94113

(*) è stato scelto il caso B

Tabella 4.4 Stazioni di riferimento scelte e stima di β delle celle monitorate nel 2008.

Cella	Stazione di riferimento scelta	Coefficiente β
Cella 24	Bassano	0,87849
Cella 34	Bassano	1,01647
Cella 45	Bassano	1,29803
Cella 49	San Donà	0,84525
Cella 54	VI - Quartiere Italia	0,92375
Cella 58 ^(*)	VE - Parco Bissuola	1,09420
Cella 59	VE - Sacca Fisola	0,92121
Cella 69	Castelnovo Bariano	1,03105
Cella 70	RO - Borsea	0,966366
Cella 76	RO - Borsea	0,938103

(*) è stato scelto il caso B

Tabella 4.5 Stazioni di riferimento scelte e stima di β delle celle monitorate nel 2009.

Capitolo 5

Conclusioni

Grazie ai modelli del capitolo precedente si è potuto stimare le medie degli anni non monitorati dalle celle. Le stime di tutte queste, insieme agli intervalli di confidenza, sono presenti nelle tabelle 5.1, 5.2 e 5.3.

Cella	Media 2007	Media 2008			Media 2009		
		Stima	Limite inferiore	Limite superiore	Stima	Limite inferiore	Limite superiore
Cella 36	41,95	37,71	36,71	38,71	34,77	33,85	35,69
Cella 44	39,37	36,10	35,13	37,06	35,02	34,08	35,95
Cella 48	40,52	31,13	29,64	32,62	30,30	28,85	31,75
Cella 55	41,36	38,29	37,17	39,41	37,14	36,06	38,22
Cella 56	49,87	45,59	44,23	46,95	46,47	45,09	47,85
Cella 57	49,44	44,79	43,38	46,21	45,66	44,21	47,10
Cella 61	42,11	38,17	36,67	39,66	36,22	34,80	37,64
Cella 62	40,22	36,10	34,52	37,69	34,26	32,76	35,76
Cella 63	43,49	36,09	34,63	37,55	31,95	30,66	33,25
Cella 64	48,92	39,49	38,42	40,55	34,96	34,02	35,94
Cella 71	43,79	33,14	32,12	34,16	42,19	40,90	43,49
Cella 77	39,43	27,79	27,27	28,31	35,39	34,72	36,05
Cella 80	34,67	27,30	26,24	28,36	31,44	30,22	32,65

Gli intervalli di confidenza hanno il livello di significatività del 95%.

Tabella 5.1 Stime delle medie annuali delle celle monitorate nel 2007.

Cella	Media 2008	Media 2007			Media 2009		
		Stima	Limite inferiore	Limite superiore	Stima	Limite inferiore	Limite superiore
Cella 32	31,47	28,59	27,44	29,75	24,55	23,56	25,54
Cella 33	34,37	31,99	30,84	33,15	25,39	24,47	26,30
Cella 37	37,46	42,85	41,67	44,03	36,54	35,54	37,55
Cella 38	33,41	38,01	36,90	39,13	34,07	33,07	35,07
Cella 39	29,10	34,08	32,61	35,55	34,14	32,66	35,61
Cella 41	33,22	24,61	23,07	26,14	25,16	23,59	26,73
Cella 42	34,15	28,70	27,29	30,12	29,34	27,90	30,79
Cella 65	35,83	44,63	43,09	46,18	39,06	37,71	40,42
Cella 72	32,55	39,21	38,15	40,27	37,18	36,18	38,19

Gli intervalli di confidenza hanno il livello di significatività del 95%.

Tabella 5.2 Stime delle medie annuali delle celle monitorate nel 2008.

Cella	Media 2009	Media 2007			Media 2008		
		Stima	Limite inferiore	Limite superiore	Stima	Limite inferiore	Limite superiore
Cella 24	25,31	29,39	28,56	30,21	25,12	24,41	25,82
Cella 34	31,46	34,00	32,27	35,73	29,06	27,58	30,54
Cella 45	37,75	43,42	41,37	45,47	37,11	35,36	38,86
Cella 49	29,73	30,87	38,64	33,09	28,26	26,22	30,29
Cella 54	35,11	41,98	39,18	44,77	37,98	35,45	40,52
Cella 58	41,43	51,42	49,92	52,92	41,94	40,72	43,16
Cella 59	34,07	39,99	37,57	42,41	32,85	30,86	34,84
Cella 69	38,48	40,73	39,12	43,34	30,93	27,71	32,15
Cella 70	38,55	40,26	39,50	41,02	29,99	29,42	30,55
Cella 76	36,57	39,08	38,48	39,69	29,11	28,66	29,56

Gli intervalli di confidenza hanno il livello di significatività del 95%.

Tabella 5.3 Stime delle medie annuali delle celle monitorate nel 2009.

Nella tabella 5.1 si può notare che le stime indicano che la media annuale delle celle diminuisce con il passare degli anni, tranne per la 56, 57, 71, 77 e 80. In questi ultimi casi le medie diminuiscono nel 2008 per poi risalire nel 2009.

Nel 2007 quasi tutte le celle superano il valore limite annuale stabilito dalla legge, ad esclusione della 44, 77 e 80, con le prime due che sono molto vicine ai 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Nei periodi successivi, invece, le stime indicano che la maggior parte delle celle non superano il limite, tranne le 56, 57 e 71, le prime due nel 2008 e l'ultima nel 2009. Da sottolineare sono anche le celle 55 e 61 che nonostante non superino il valore limite ci vanno molto vicino nel 2008, infatti l'estremo superiore dell'intervallo di confidenza è a ridosso dei 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Nella tabella 5.2 le celle hanno un andamento diverso rispetto alla tabella precedente. Nelle celle 32, 33, 41 e 42 le stime indicano che la media annuale nel 2008 aumenta rispetto al 2007, mentre nel 2009 diminuisce. Invece nelle celle 38, 39, 65 e 72 la media diminuisce nel 2008 rispetto al 2007 e poi aumenta nel 2009. Solo la cella 37 mostra che le medie diminuiscono con il passare degli anni.

Nel 2007 solo le celle 37 e 65 superano il valore limite annuale, ciò non avviene per nessuna cella nel 2008 e nel 2009. Da evidenziare sono, anche, la cella 38 e 72, che nel 2007 raggiungono una media vicina ai 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, con il limite superiore dell'intervallo di confidenza prossimo al valore limite o che lo supera come nel caso della cella 72, e la 65, che nel 2009 presenta l'estremo superiore dell'intervallo che supera di poco il valore stabilito per legge.

Infine, nella tabella 5.3 si osserva che in quasi tutte le celle la media annuale diminuisce dal 2007 al 2008 per poi aumentare nel 2009. Nelle

celle 24 e 45, invece, la media diminuisce nel 2008 e poi rimane stabile nel 2009. Nella cella 54 la media diminuisce nei tre anni.

Le stime indicano che le celle 45, 54, 69 e 70 superano il valore limite annuale nel 2007, mentre la cella 58 in tutti e tre gli anni. Da notare sono anche le celle 54, 59 e 76, la prima nel 2008 e le ultime due nel 2007, che hanno la media molto vicina al valore stabilito dalla legge, infatti il limite superiore dell'intervallo di confidenza supera addirittura i $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ nei primi due casi.

Nelle considerazioni appena fatte bisogna tenere conto che le serie hanno diversi valori mancanti, di conseguenza le medie relative a quegli anni potrebbero non rappresentare l'effettivo grado di inquinamento di quella zona.

I dati ottenuti dai modelli serviranno all'ARPAV per confrontare le informazioni acquisite attraverso il monitoraggio con i laboratori mobili con le informazioni ottenute attraverso le stazioni fisse. Inoltre questi modelli verranno usati anche negli anni futuri per le successive campagne di monitoraggio con i mezzi mobili del Veneto.

Bibliografia

Regione del Veneto, ARPAV, “Ambiente e territorio 2010”, 2010.

Regione del Veneto, ARPAV, “Rapporto sugli indicatori ambientali del Veneto, Edizione 2008”, 2008.

Chiogna M., Salvan A., Sartori N., “Materiale didattico per laboratori di Modelli Statistici I”, 2006.

Masarotto G., “Diario delle lezioni in laboratorio informatico di “analisi delle serie temporali”, 2005.

Masarotto G., “Analisi delle Serie Temporali. Lucidi delle lezioni a.a. 2004/05”, 2005.

Gilli G., Schilirò T., Bertello A., “Inquinamento atmosferico e salute, Un documento di approfondimento sui temi della qualità dell’aria e delle implicazioni sulla salute”, Torino, 2002.

Meloni C., “Inquinamento atmosferico e salute”, Igiene e sanità pubblica, Edizioni Nebo, Roma, 2003.

Forastiere F., “Gli effetti dell’inquinamento atmosferico sulla salute”, Dipartimento di Epidemiologia ASL Roma E, Roma, 2002.

Ministro dell'Ambiente e della Tutela del Territorio, “Decreto Ministeriale n°60 del 02/04/2002”, Gazzetta Ufficiale Supplemento Ordinario n°87, 13/04/2002.

Ministro dell'Ambiente e della Tutela del Territorio, “Decreto Ministeriale n°261 del 01/10/2002”, Gazzetta Ufficiale n°272, 20/11/2002.

ARPAV: www.arpa.veneto.it

Nonsoloaria: www.nonsoloaria.it

Istituto Veneto: www.istitutoveneto.it

www.arpa.emr.it

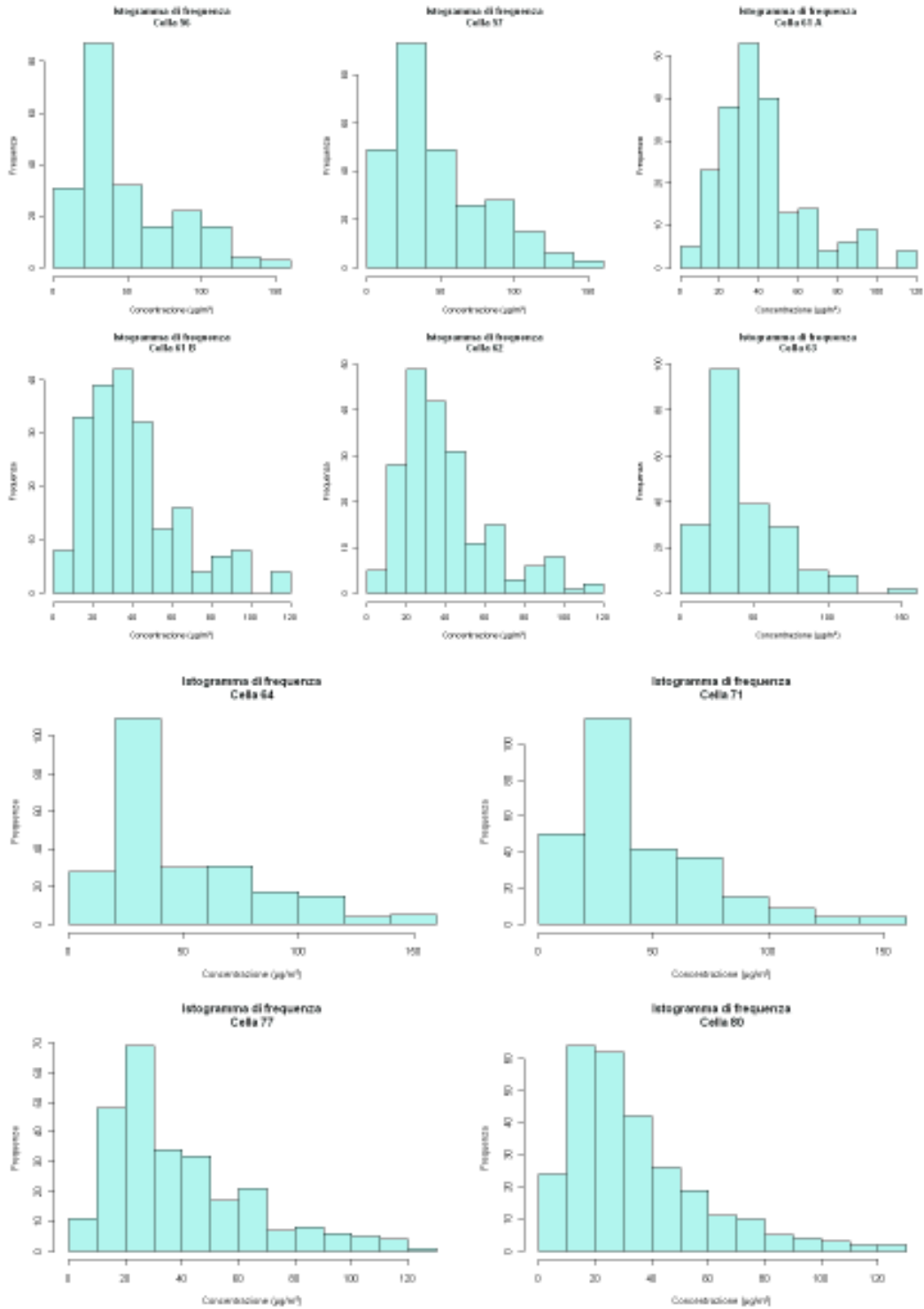
www.provincia.torino.it

www.igiene.org

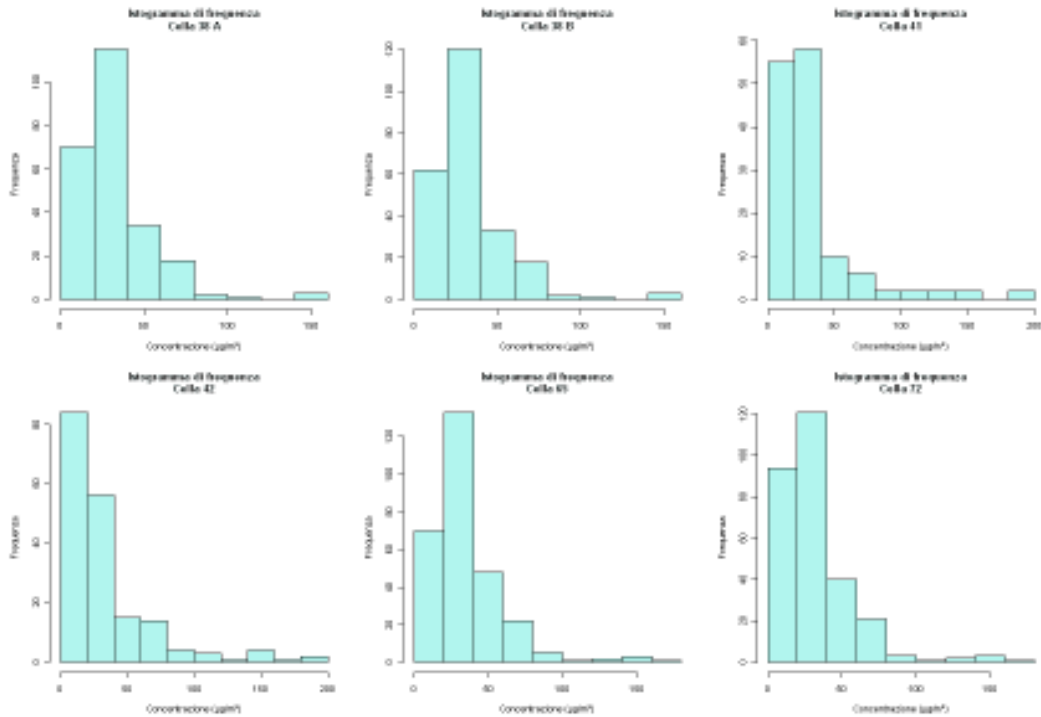
www.legambientepadova.it

Appendice A: istogrammi

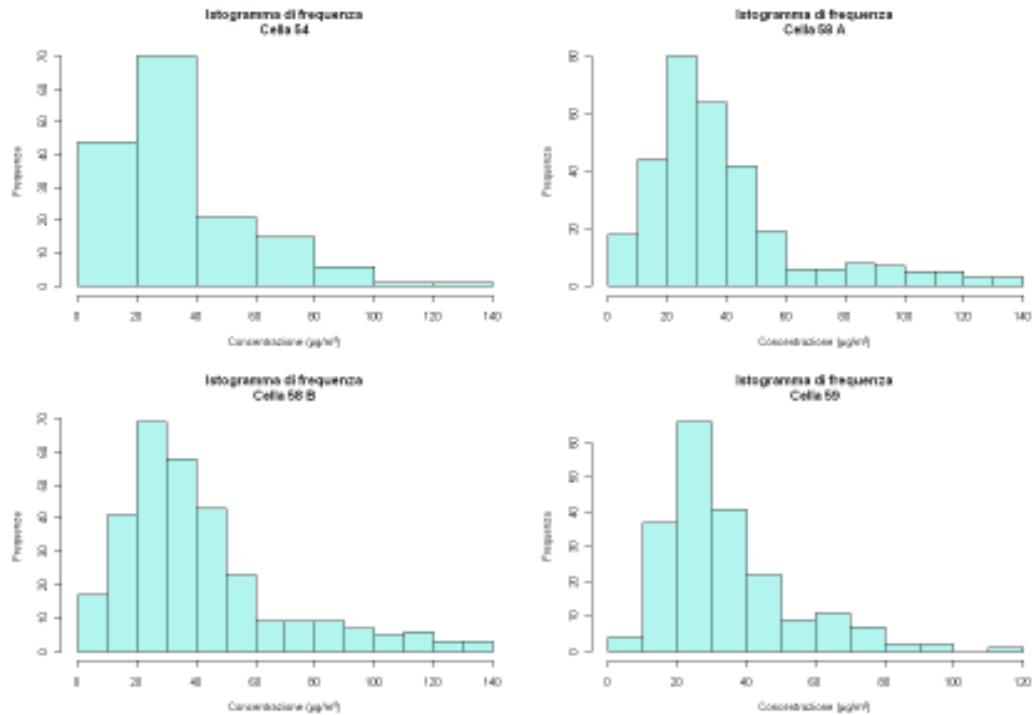
Istogrammi relativi alla concentrazione di PM10 nelle celle, anno 2007.

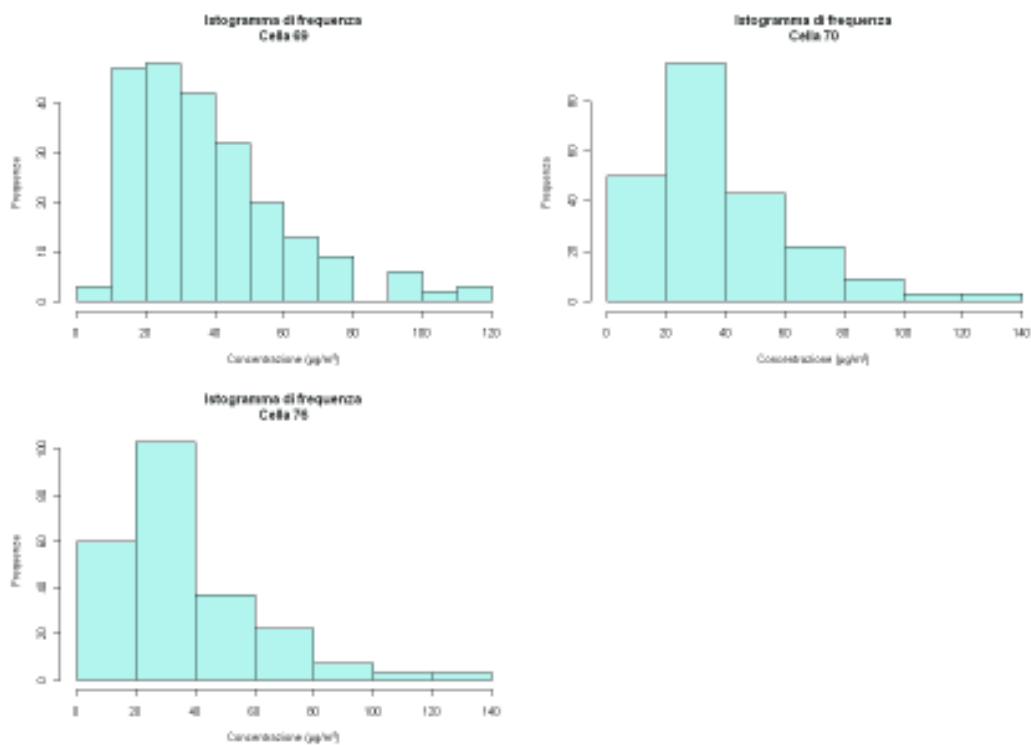


Istogrammi relativi alla concentrazione di PM10 nelle celle, anno 2008.

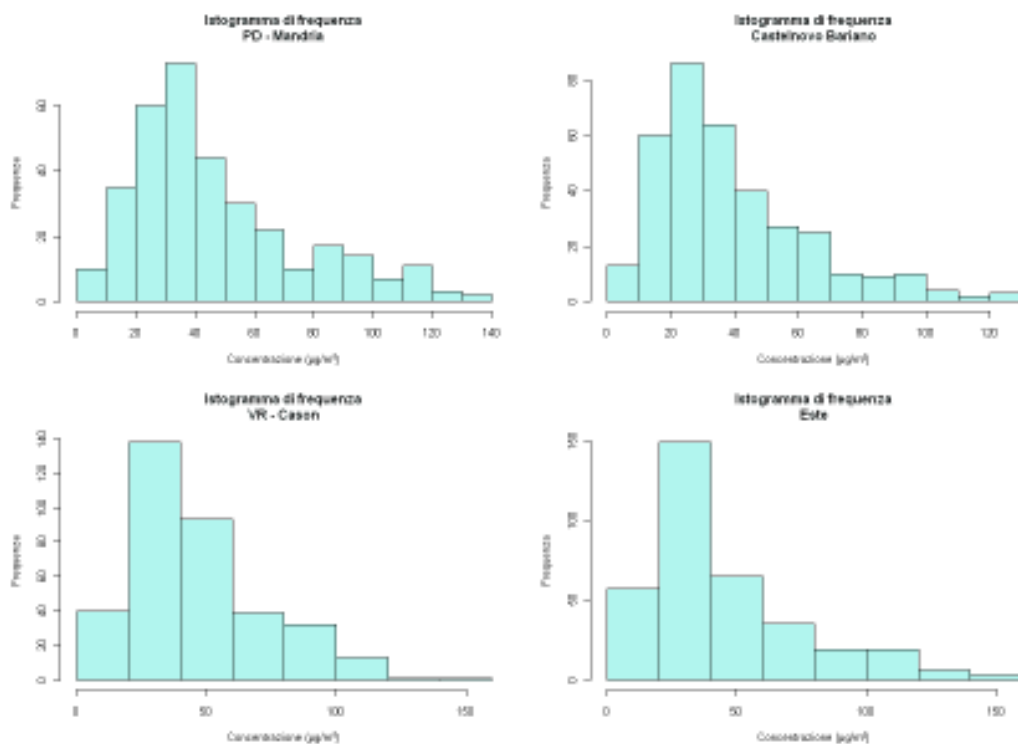


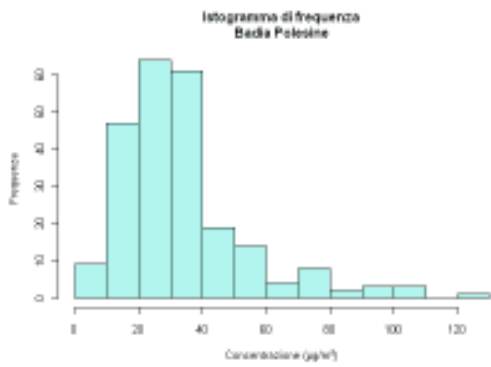
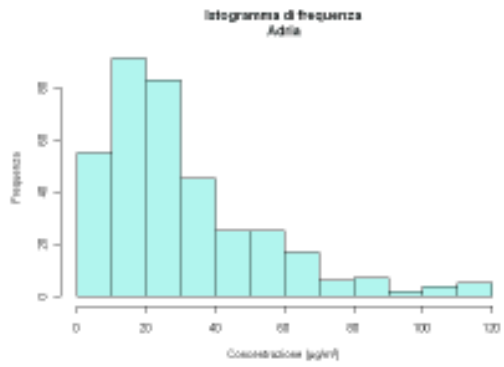
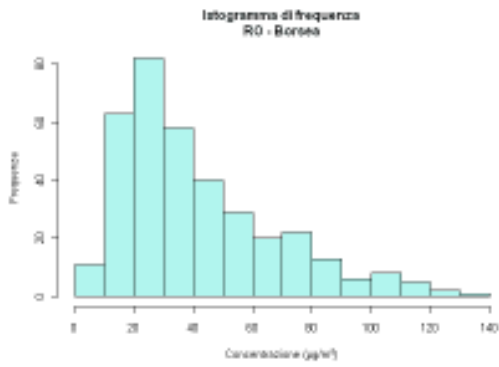
Istogrammi relativi alla concentrazione di PM10 nelle celle, anno 2009.



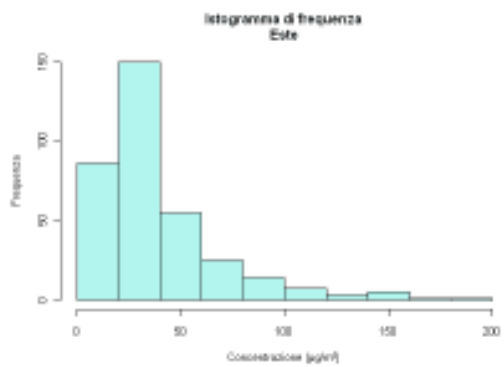
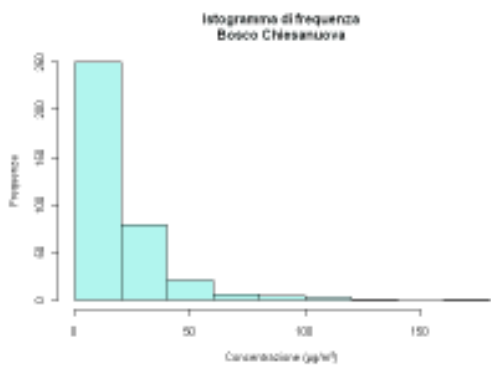
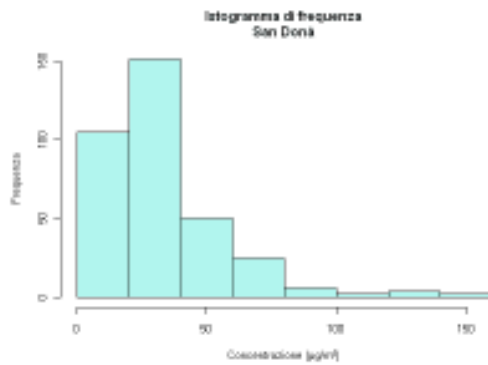
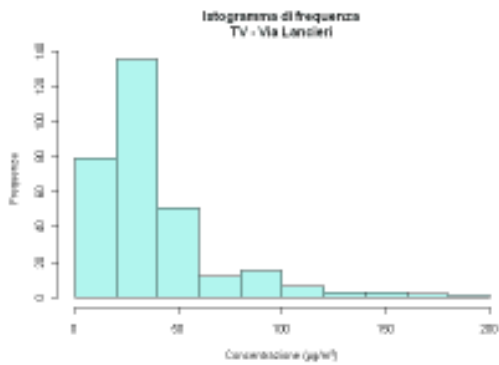


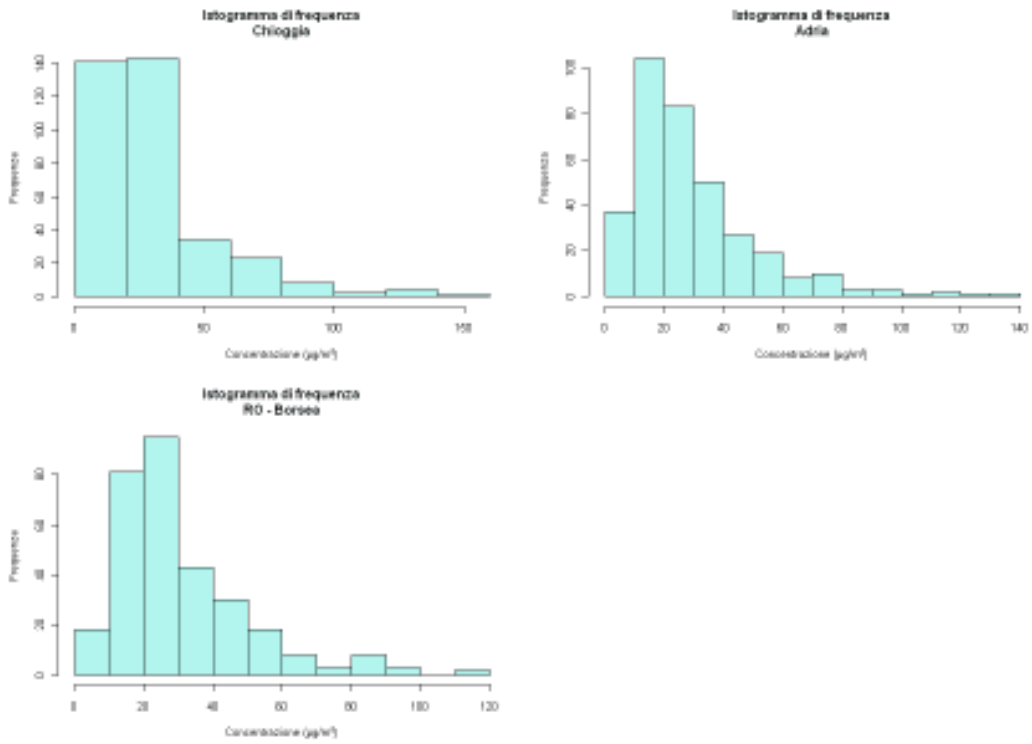
Istogrammi relativi alla concentrazione di PM10 delle stazioni fisse, anno 2007.



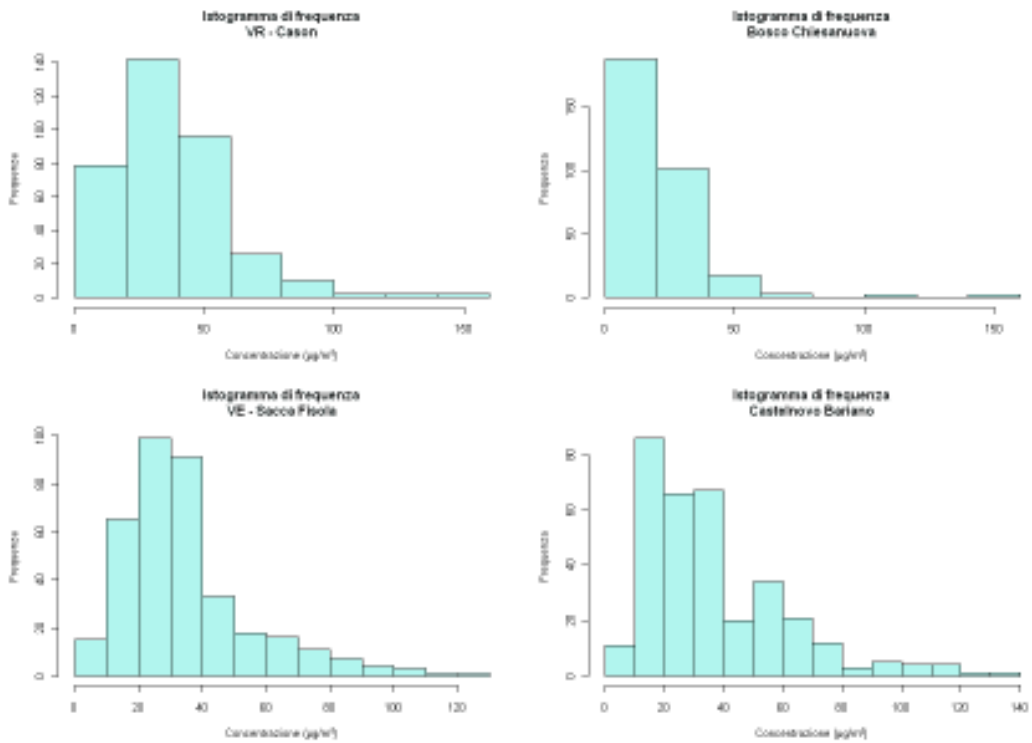


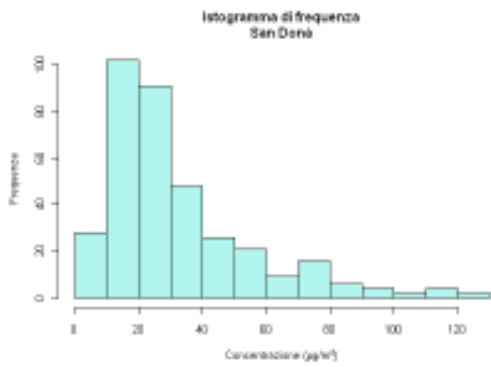
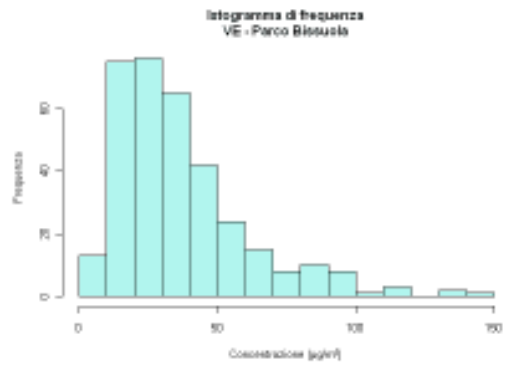
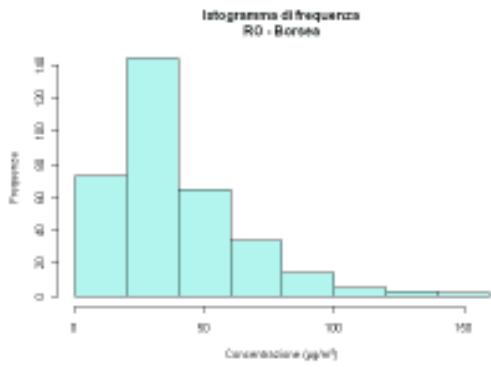
Istogrammi relativi alla concentrazione di PM10 delle stazioni fisse, anno 2008.





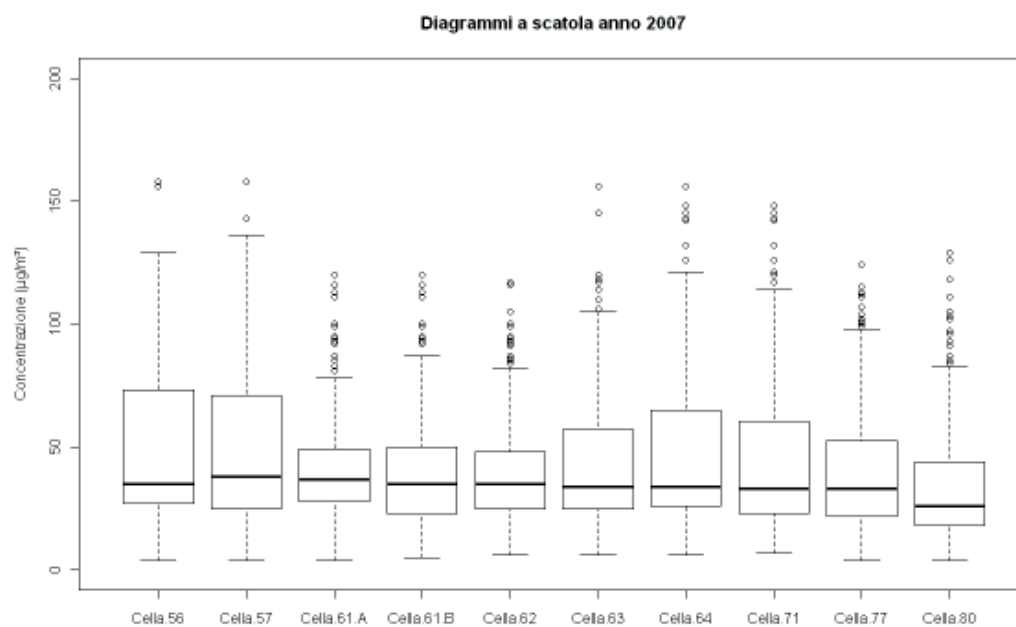
Istogrammi relativi alla concentrazione di PM10 delle stazioni fisse, anno 2009.



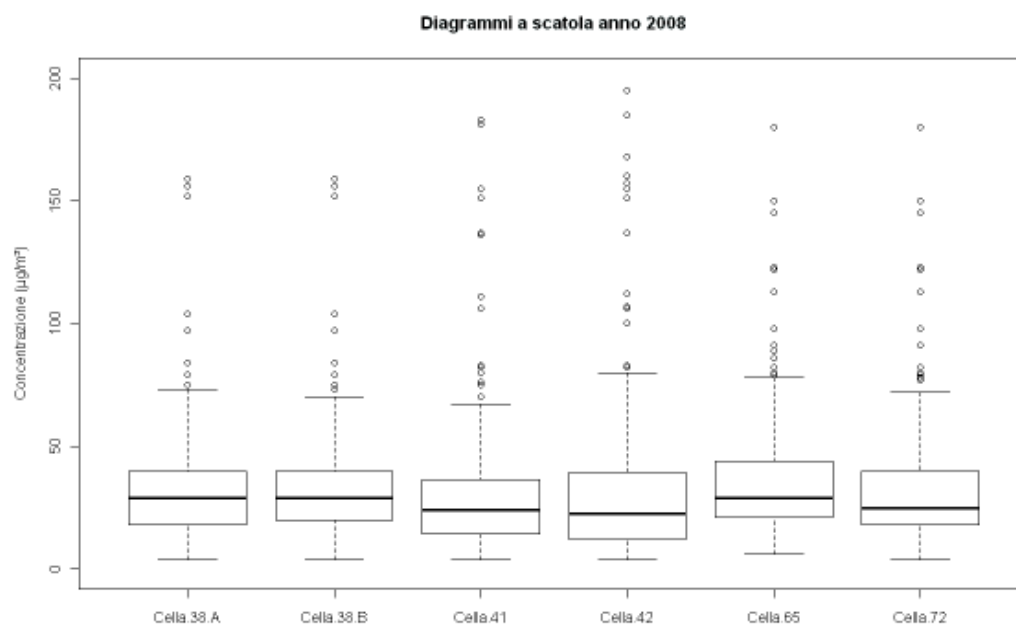


Appendice B: diagrammi a scatola

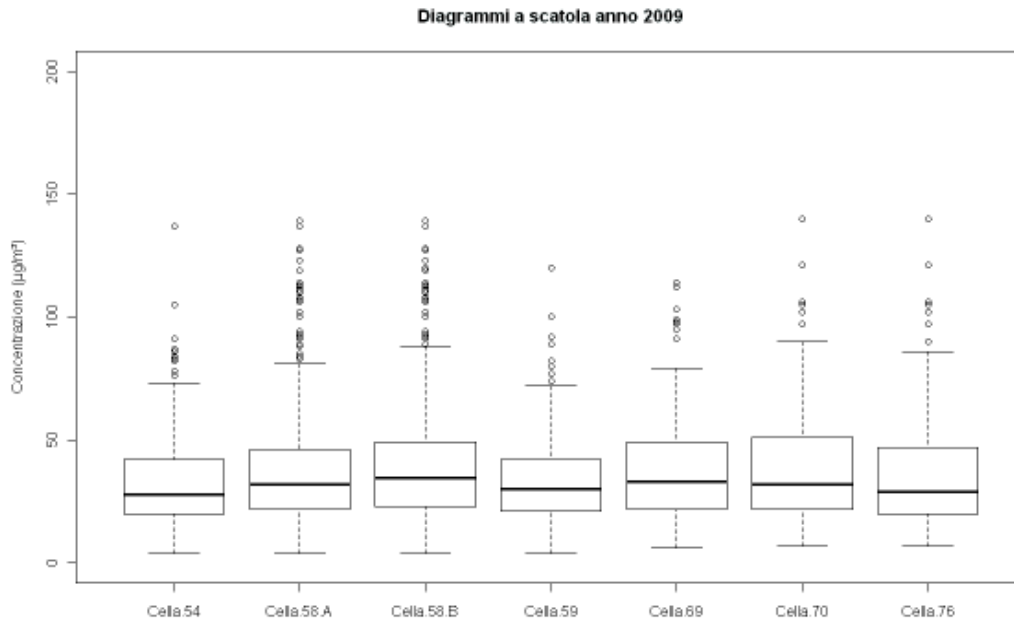
Diagrammi a scatola relativi alla concentrazione di PM10 nelle celle, anno 2007.



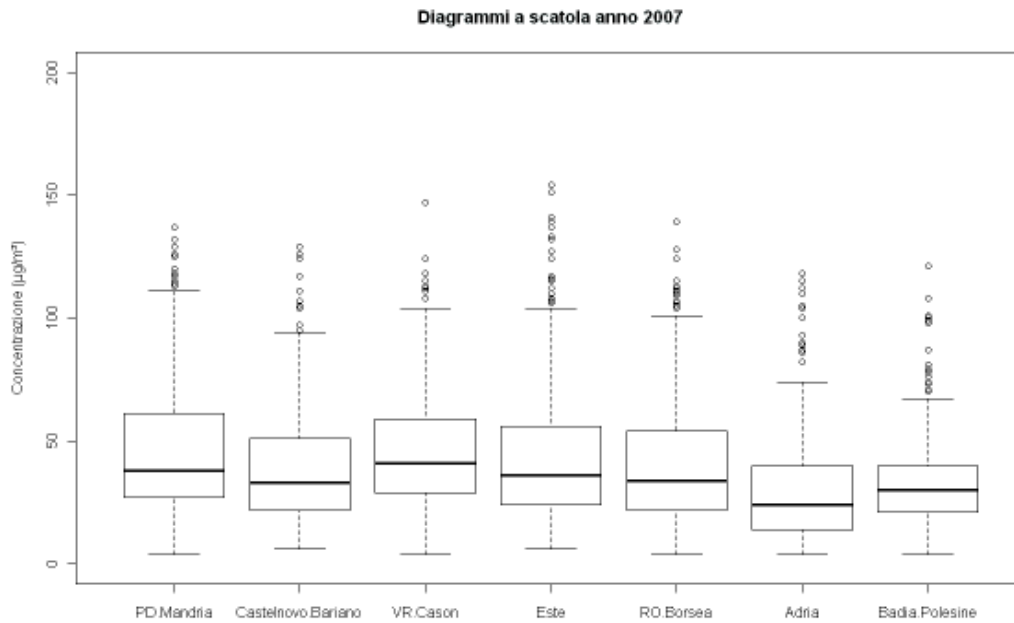
Diagrammi a scatola relativi alla concentrazione di PM10 nelle celle, anno 2008.



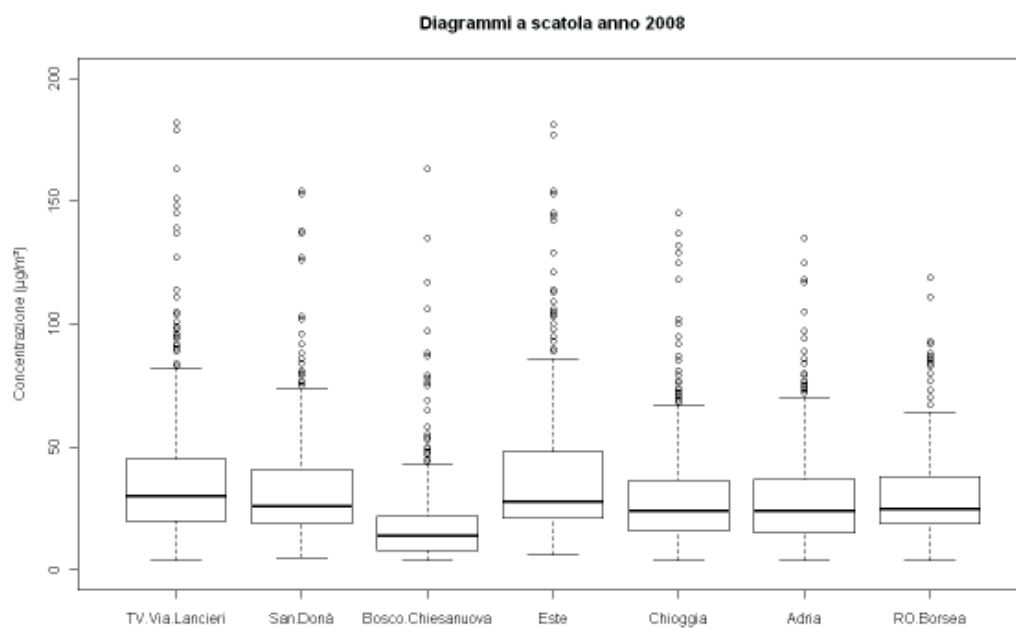
Diagrammi a scatola relativi alla concentrazione di PM10 nelle celle, anno 2009.



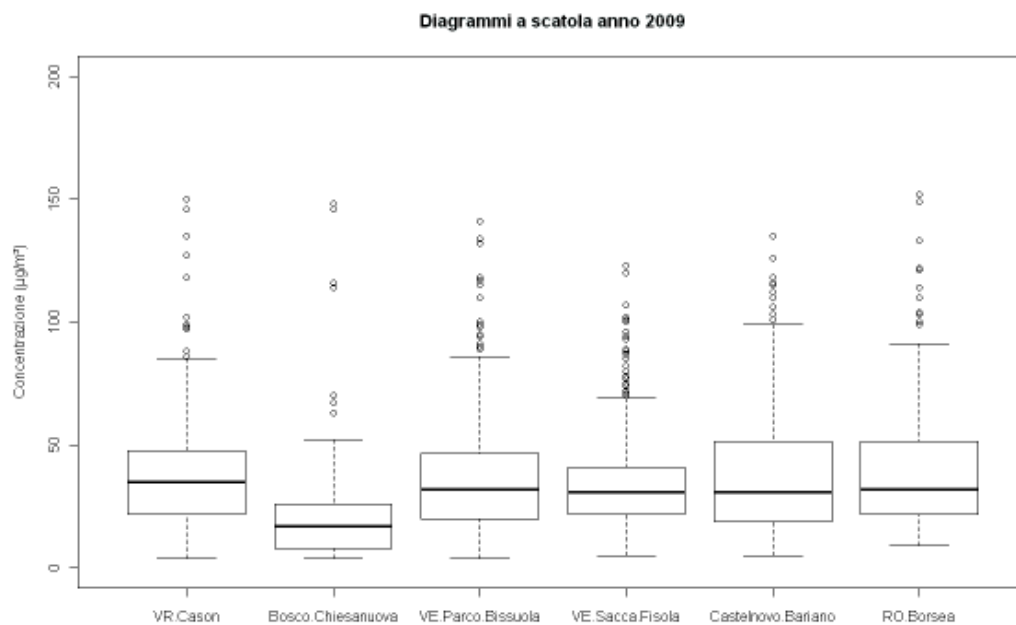
Diagrammi a scatola relativi alla concentrazione delle stazioni fisse, anno 2007.



Diagrammi a scatola relativi alla concentrazione delle stazioni fisse, anno 2008.



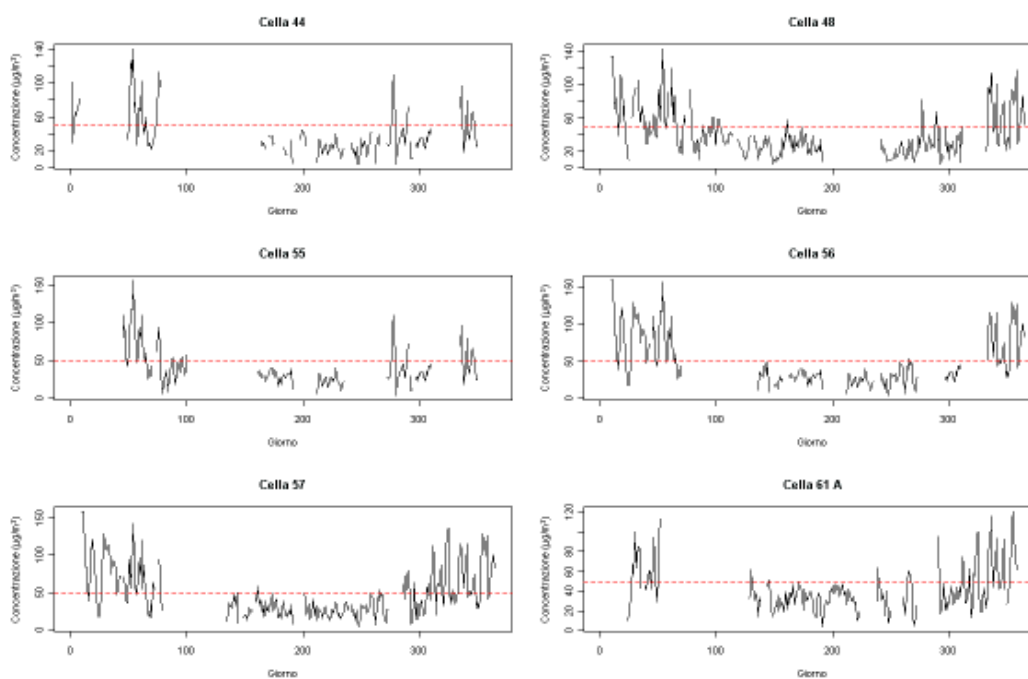
Diagrammi a scatola relativi alla concentrazione delle stazioni fisse, anno 2009.

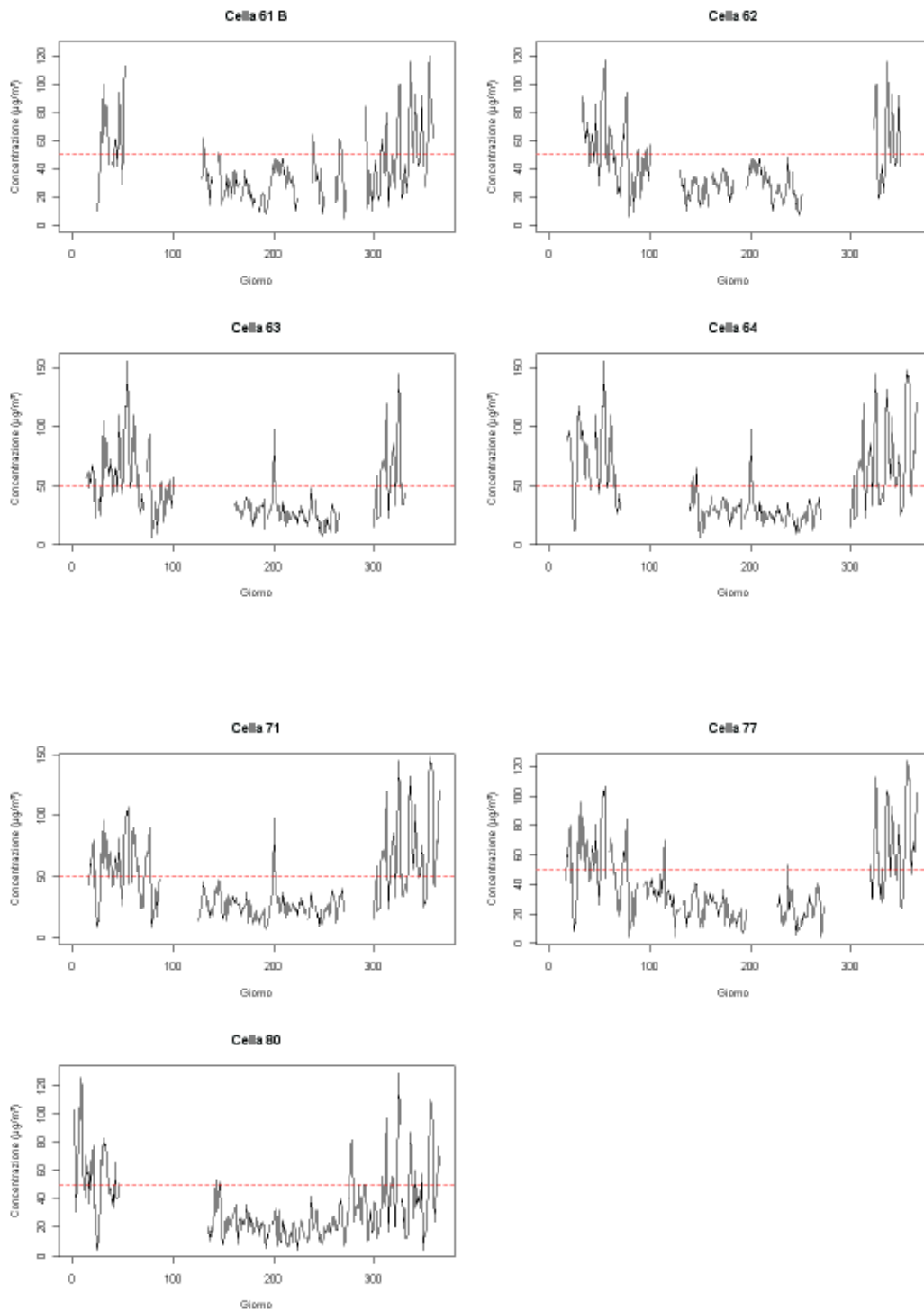


Appendice C: serie temporali dei dati giornalieri

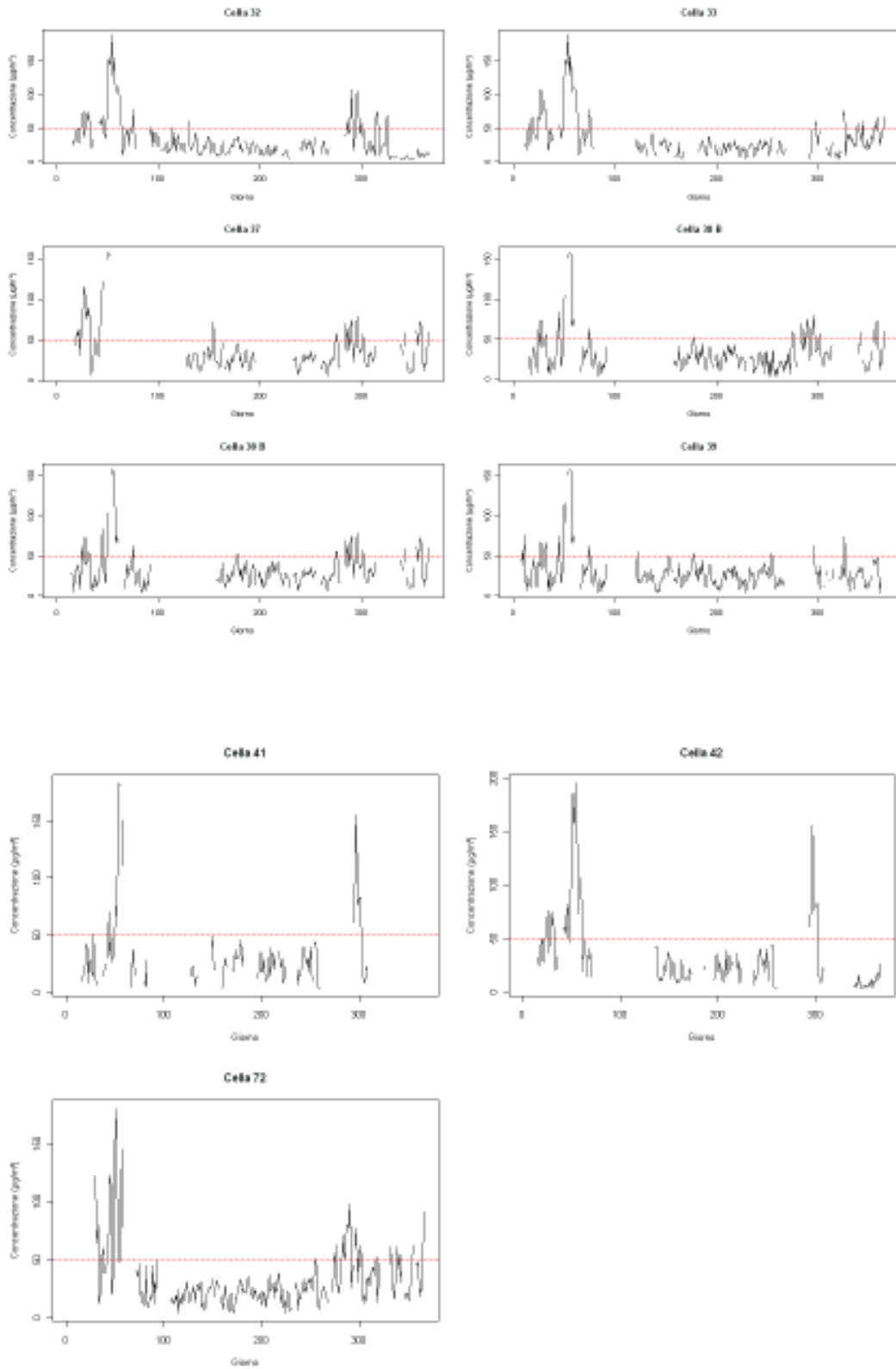
Legenda: — serie dei dati giornalieri, - - - valore limite giornaliero.

Serie temporali dei dati giornalieri delle celle, anno 2007.

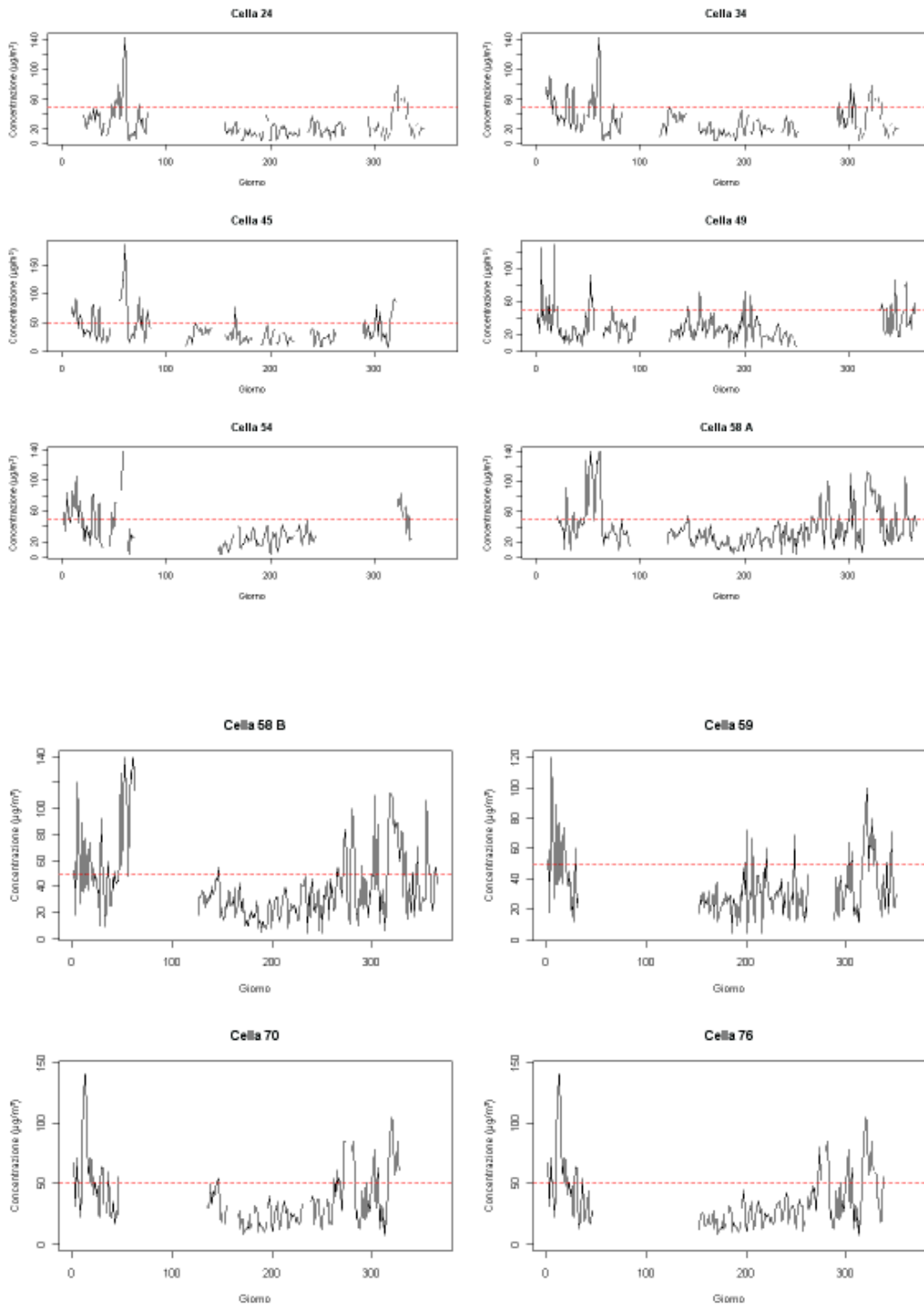




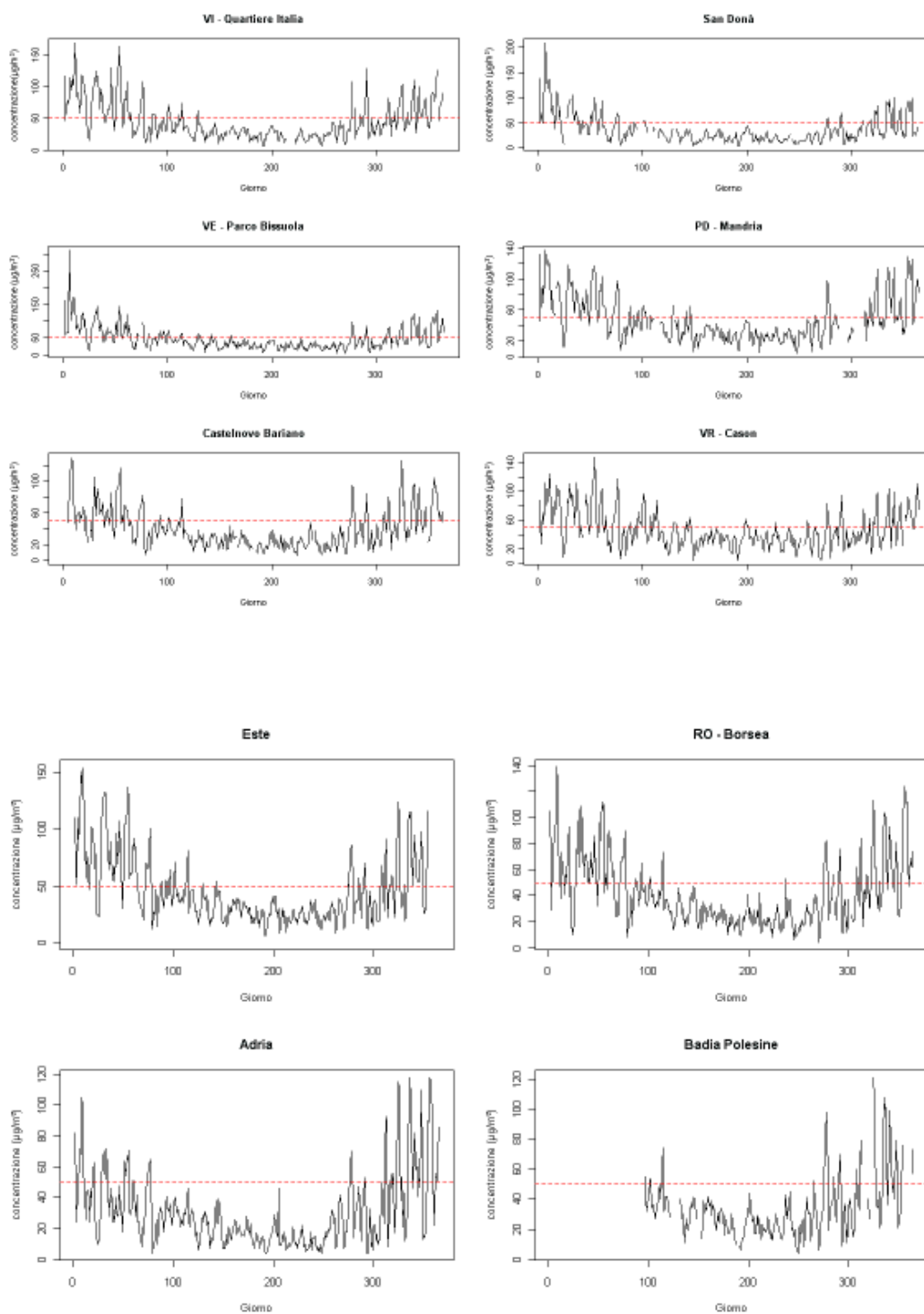
Serie temporali dei dati giornalieri delle celle, anno 2008.



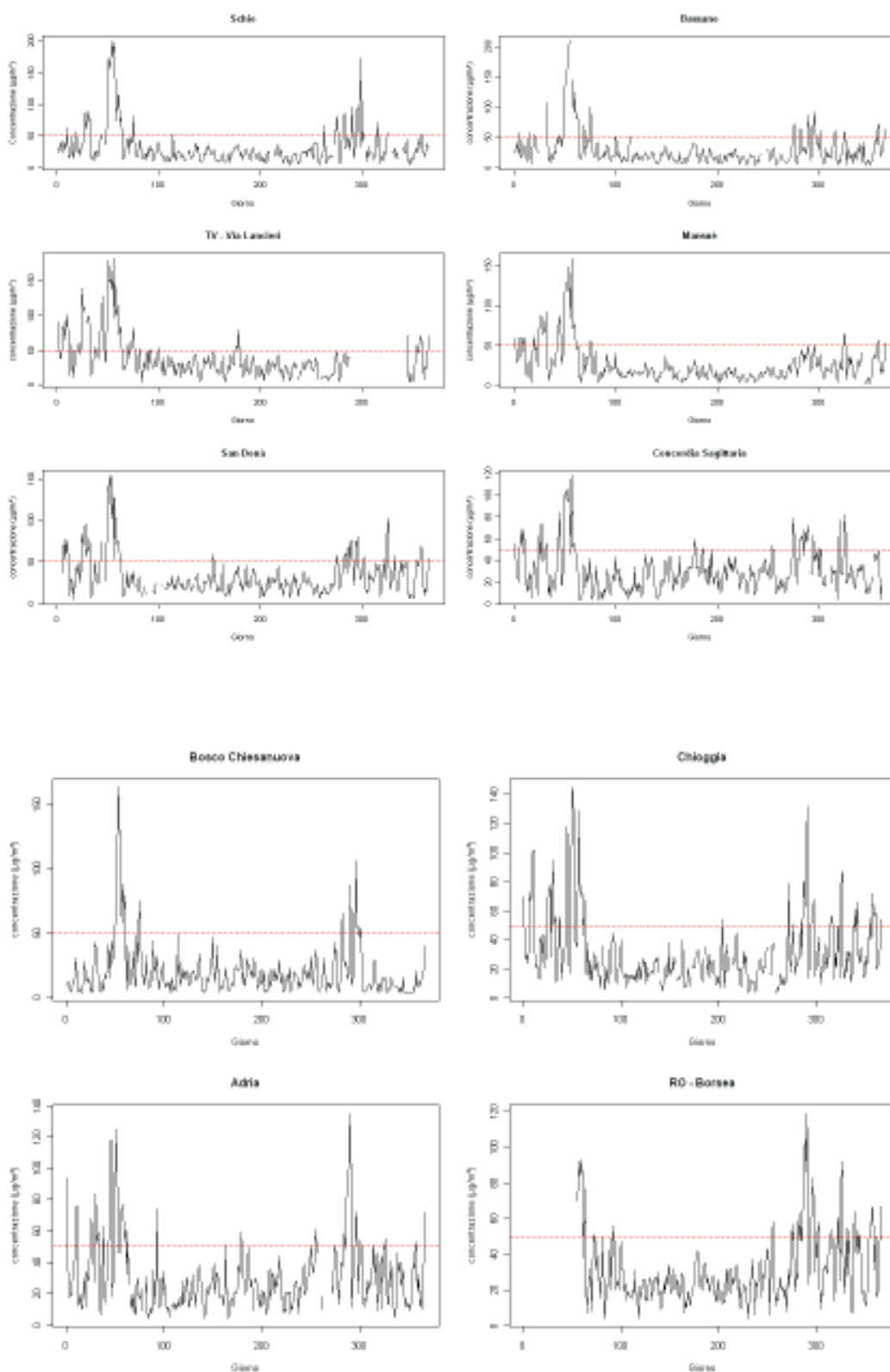
Serie temporali dei dati giornalieri delle celle, anno 2009.



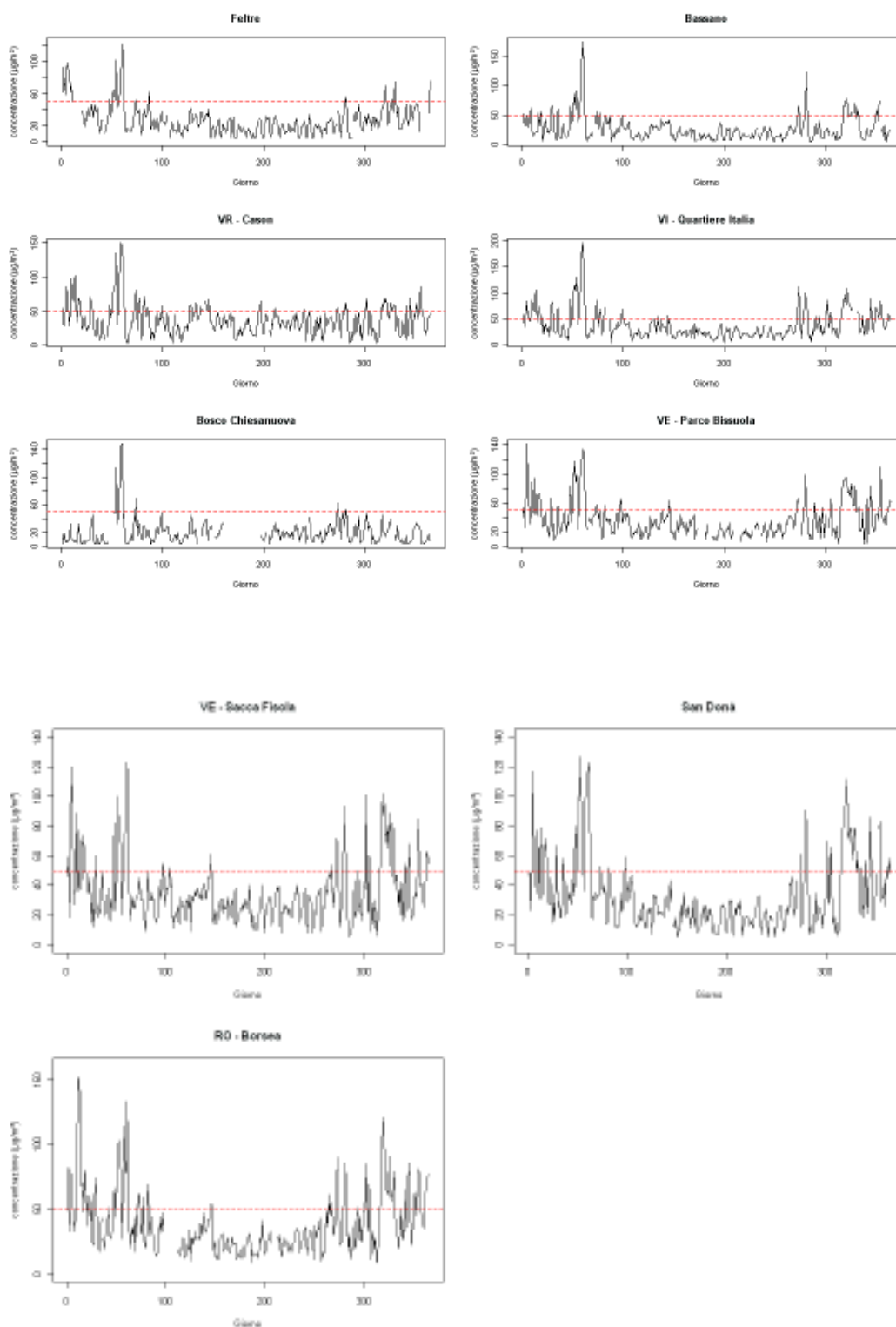
Serie temporali dei dati giornalieri delle stazioni fisse, anno 2007.



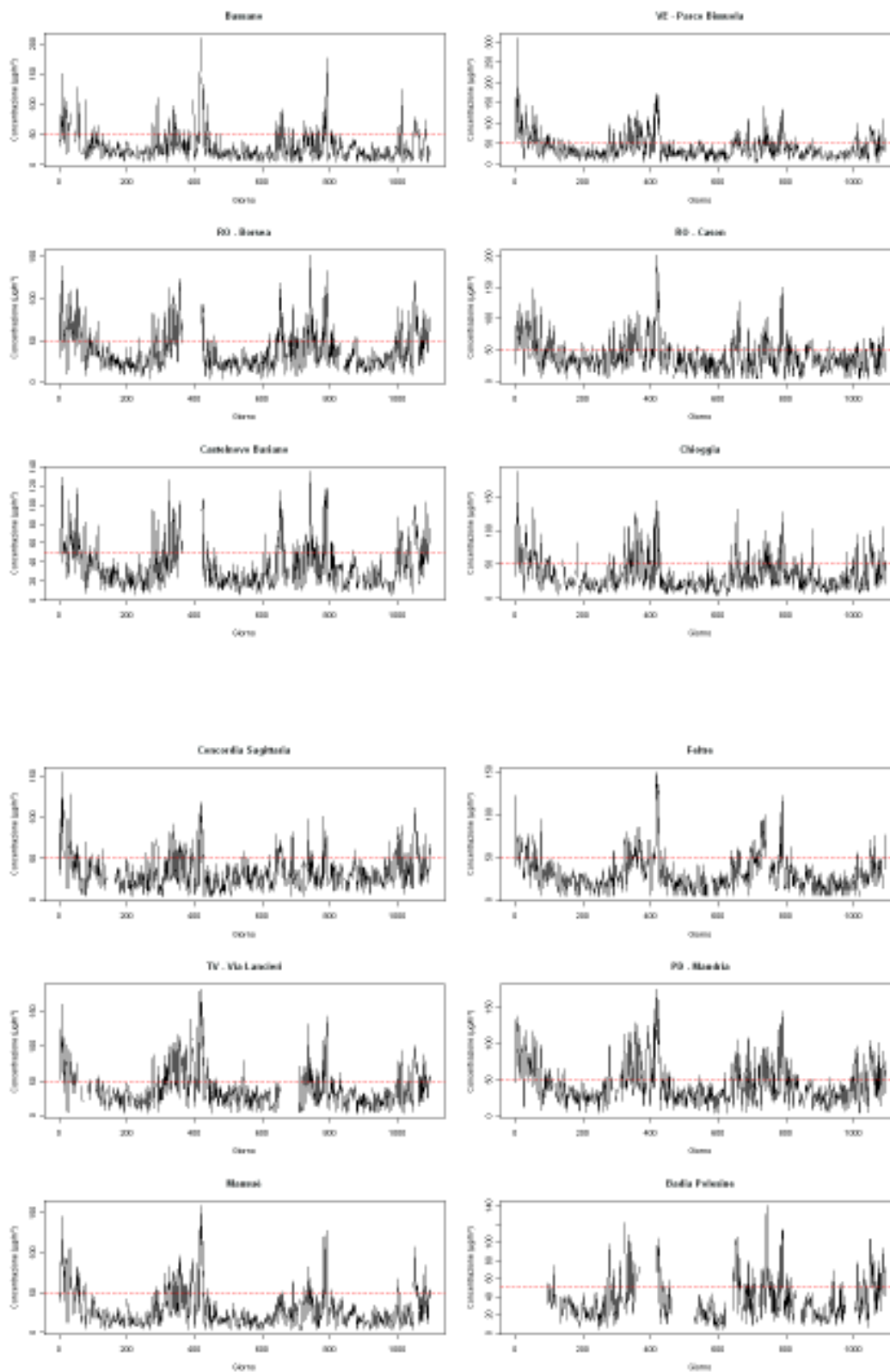
Serie temporali dei dati giornalieri delle stazioni fisse, anno 2008.

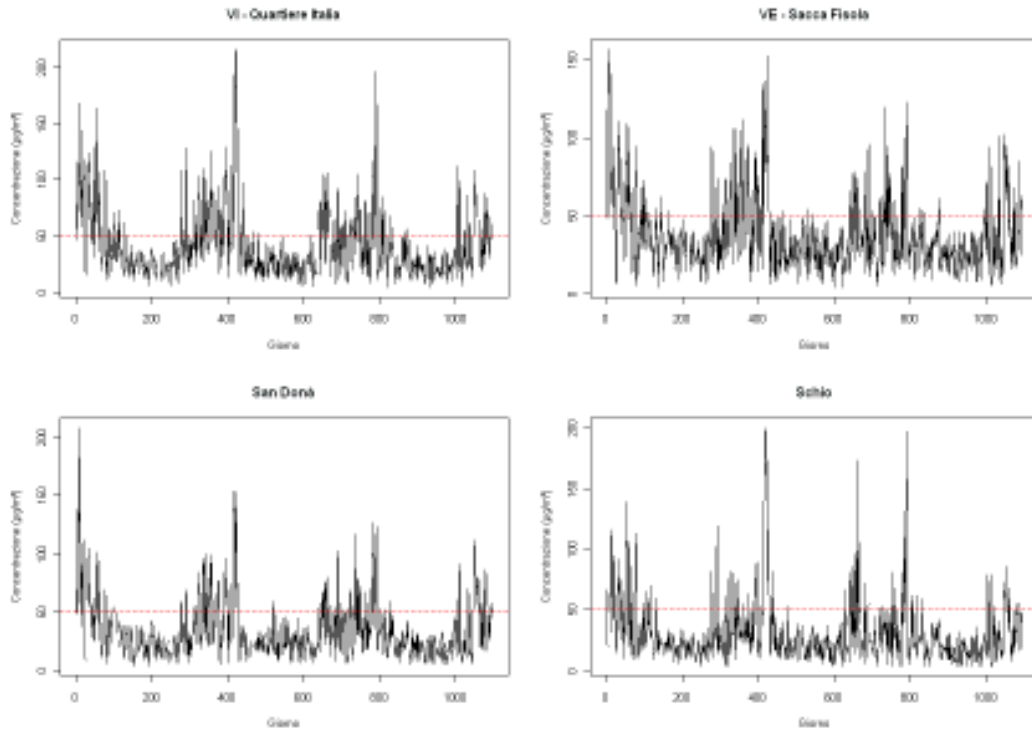


Serie temporali dei dati giornalieri delle stazioni fisse, anno 2009.



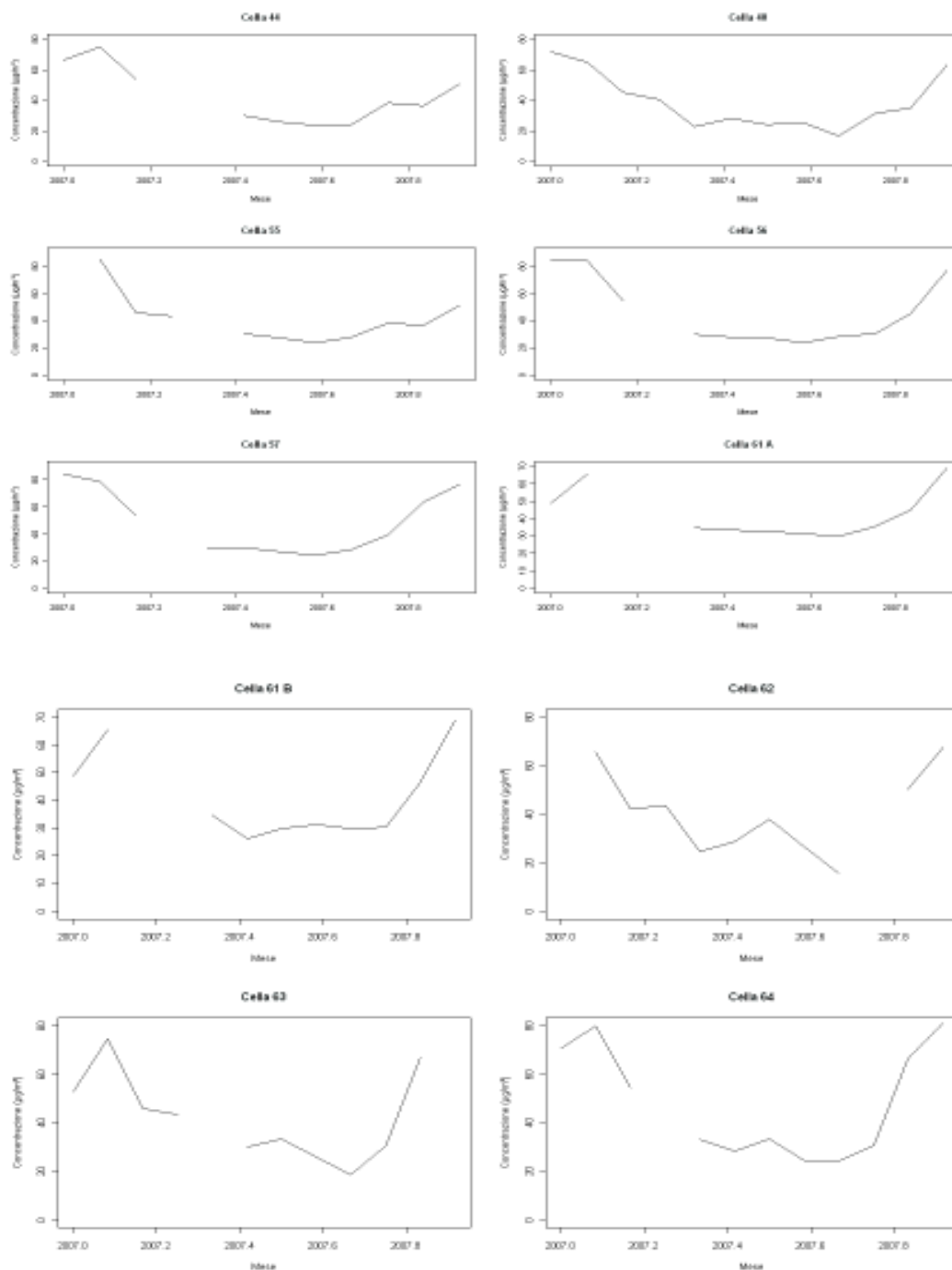
Serie temporali dei dati giornalieri delle stazioni fisse, triennio 2007-2009.

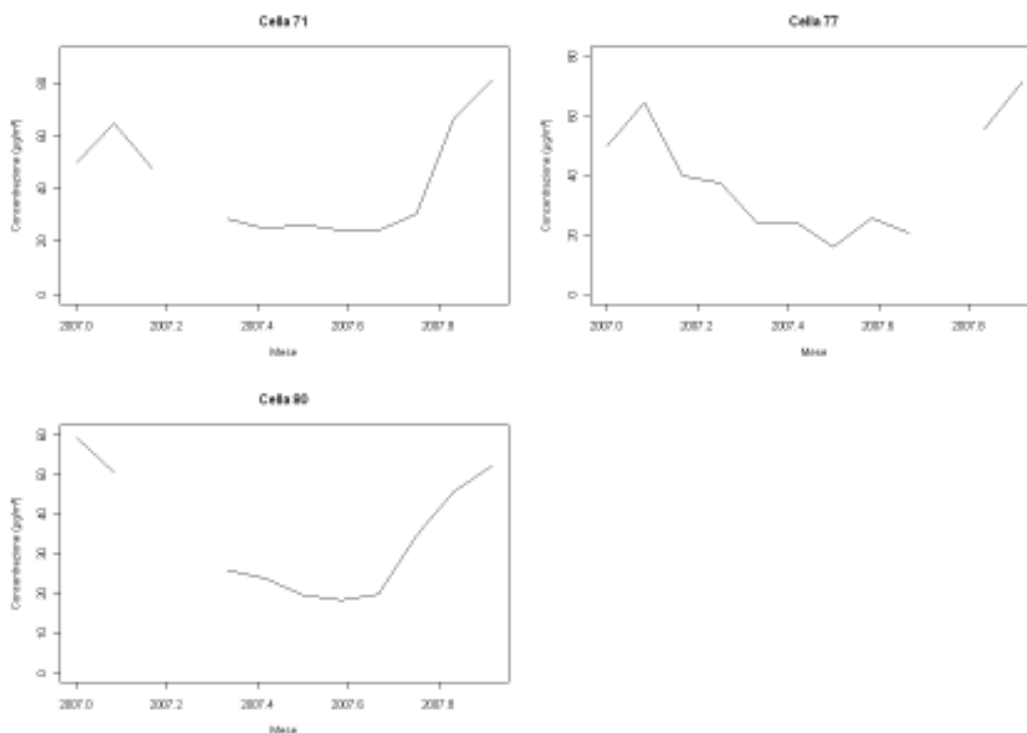




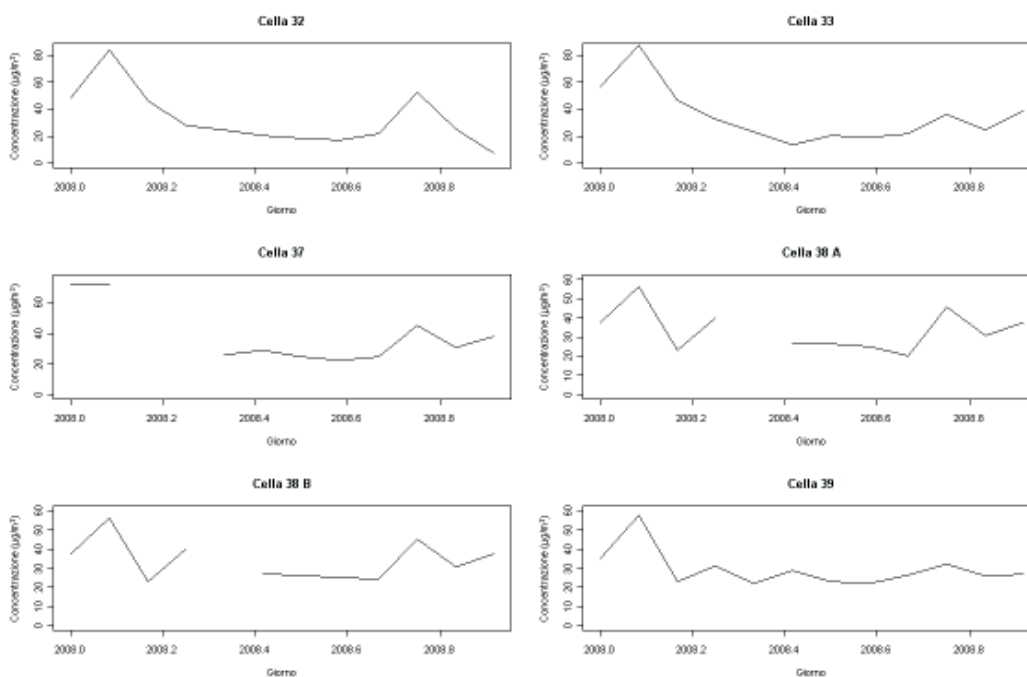
Appendice D: serie temporali delle medie mensili

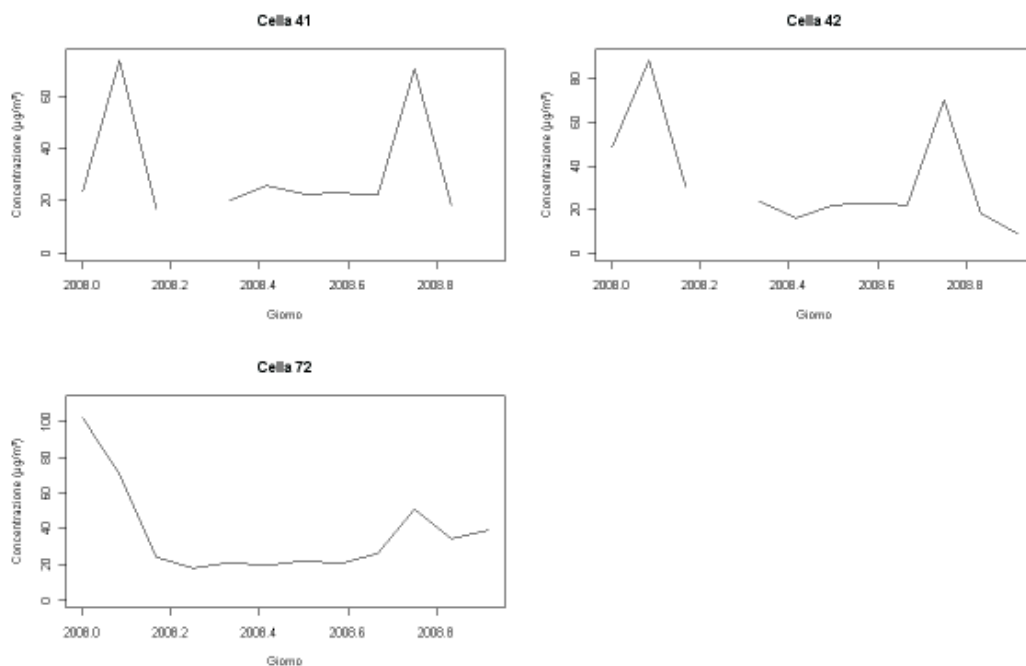
Serie temporali delle medie mensili delle celle, anno 2007.



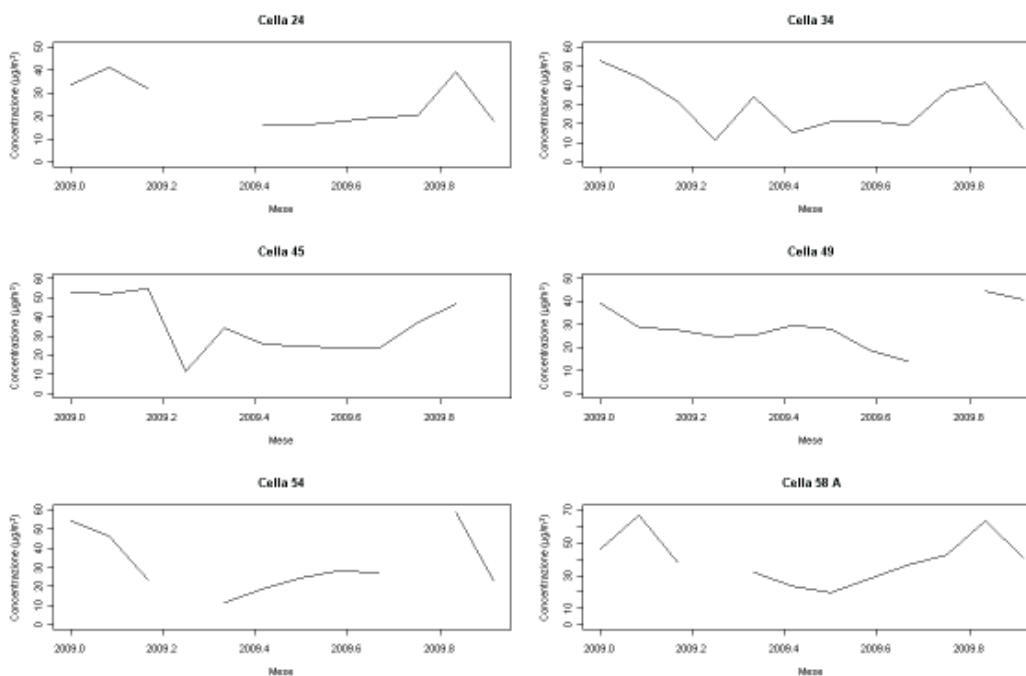


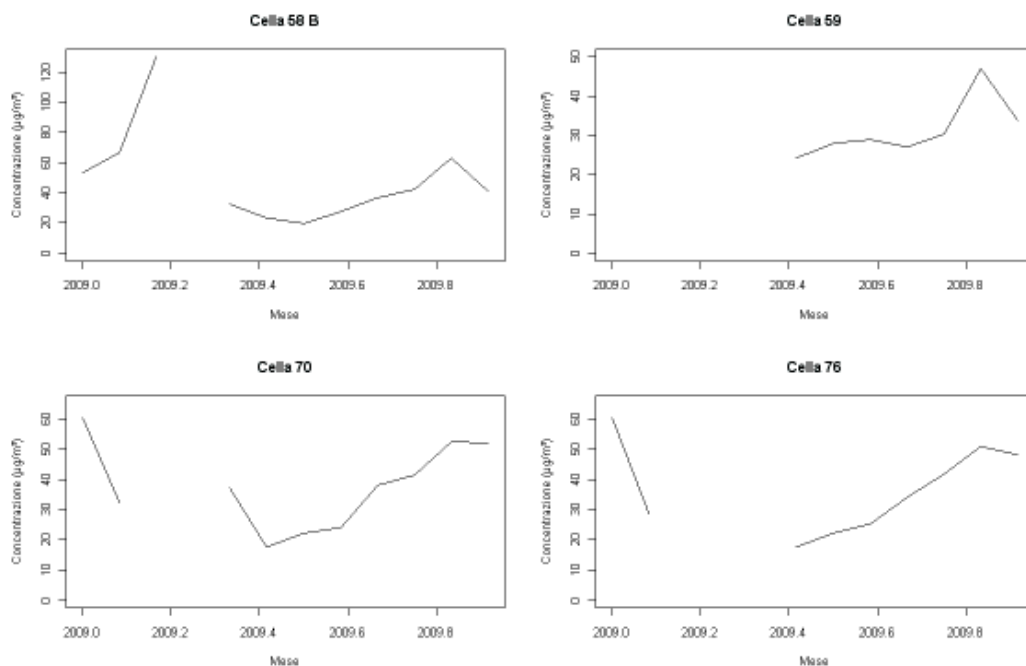
Serie temporali delle medie mensili delle celle, anno 2008.



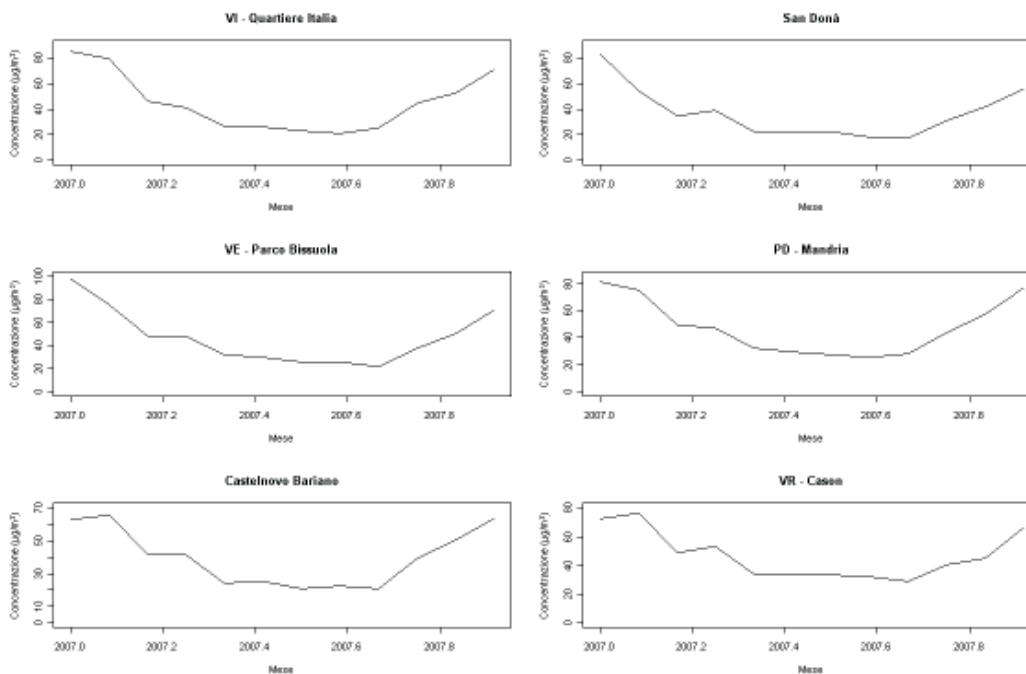


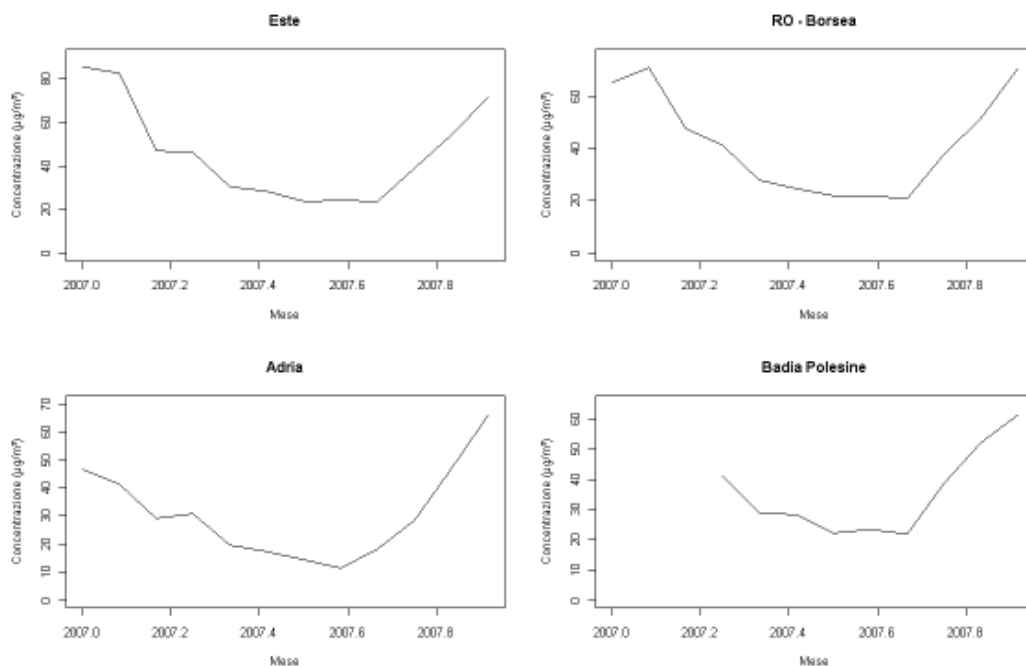
Serie temporali delle medie mensili delle celle, anno 2009.



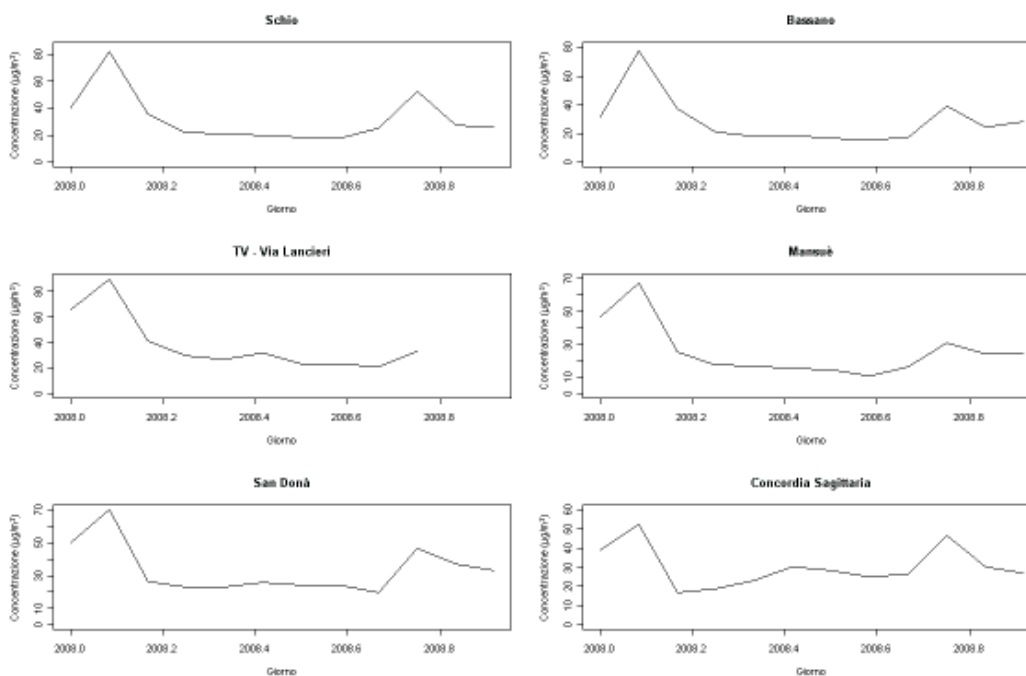


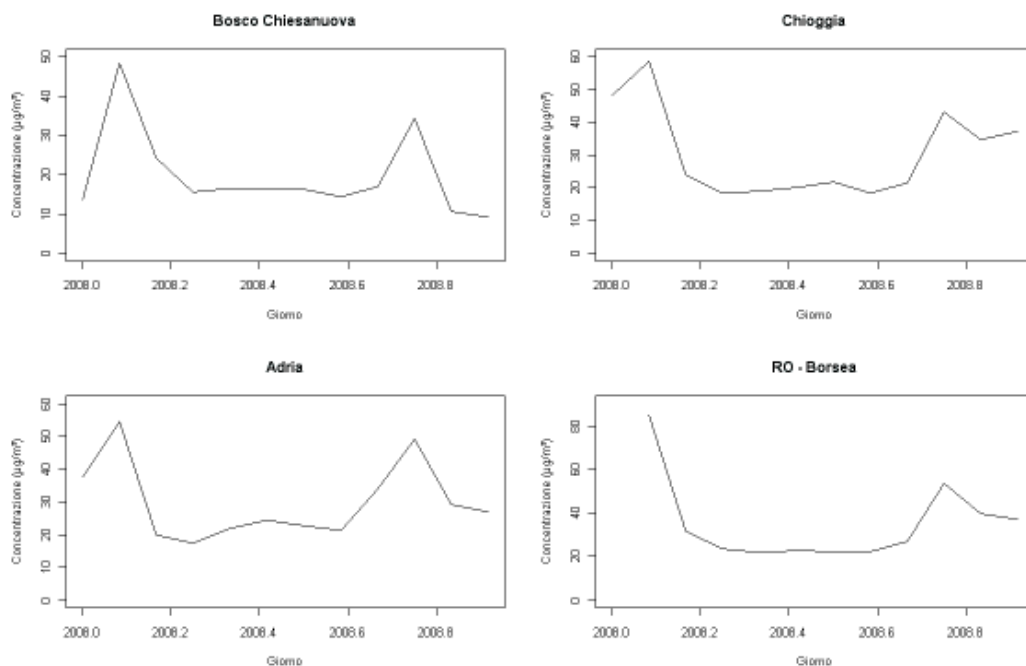
Serie temporali delle medie mensili delle stazioni fisse, anno 2007.



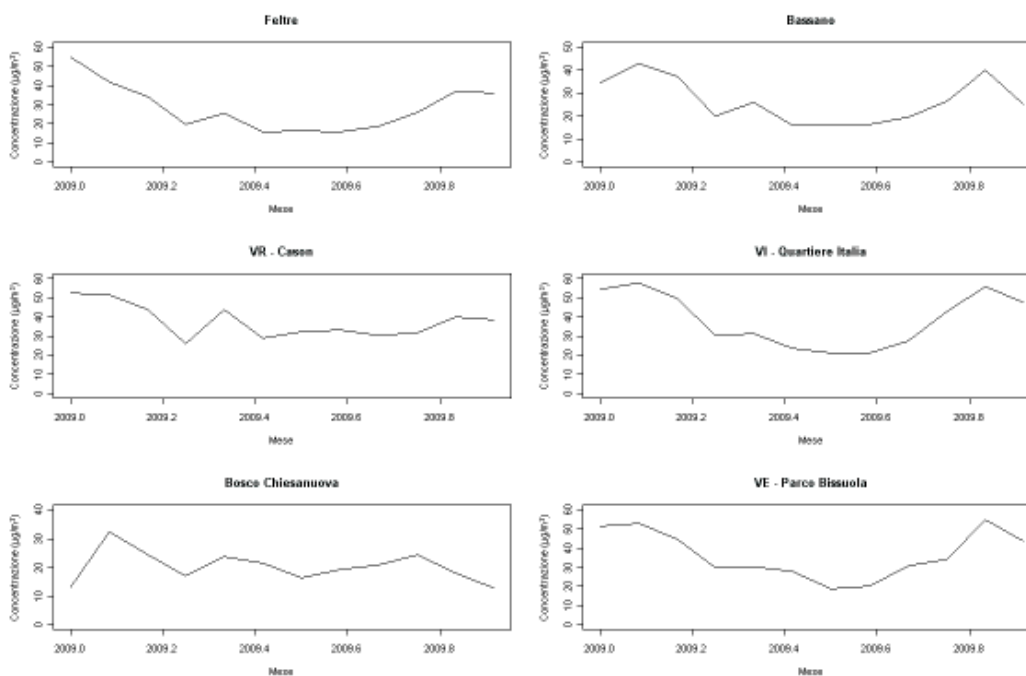


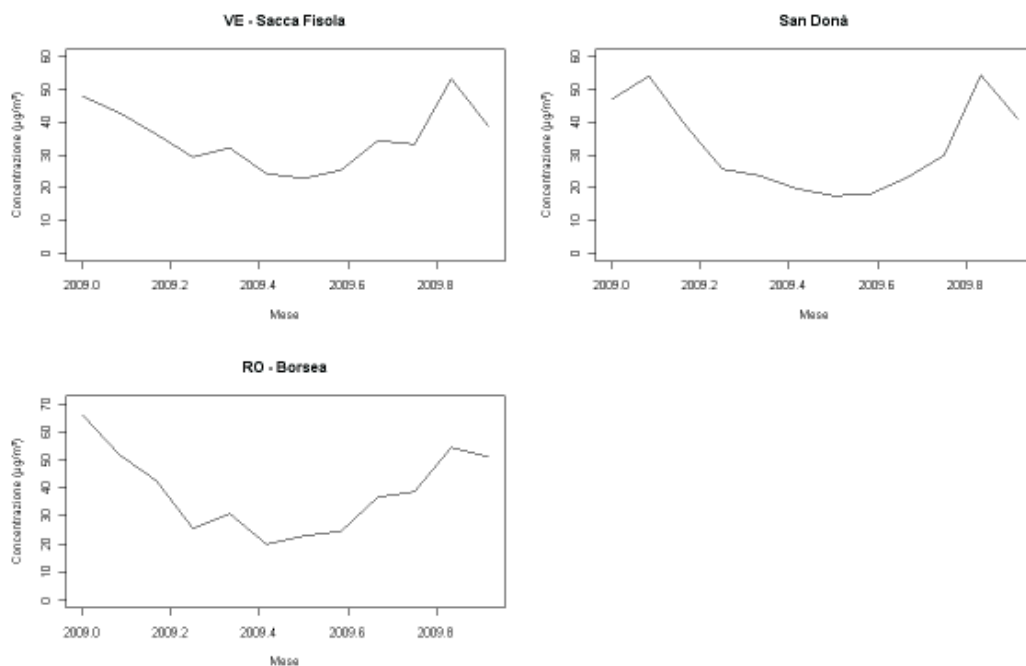
Serie temporali delle medie mensili delle stazioni fisse, anno 2008.



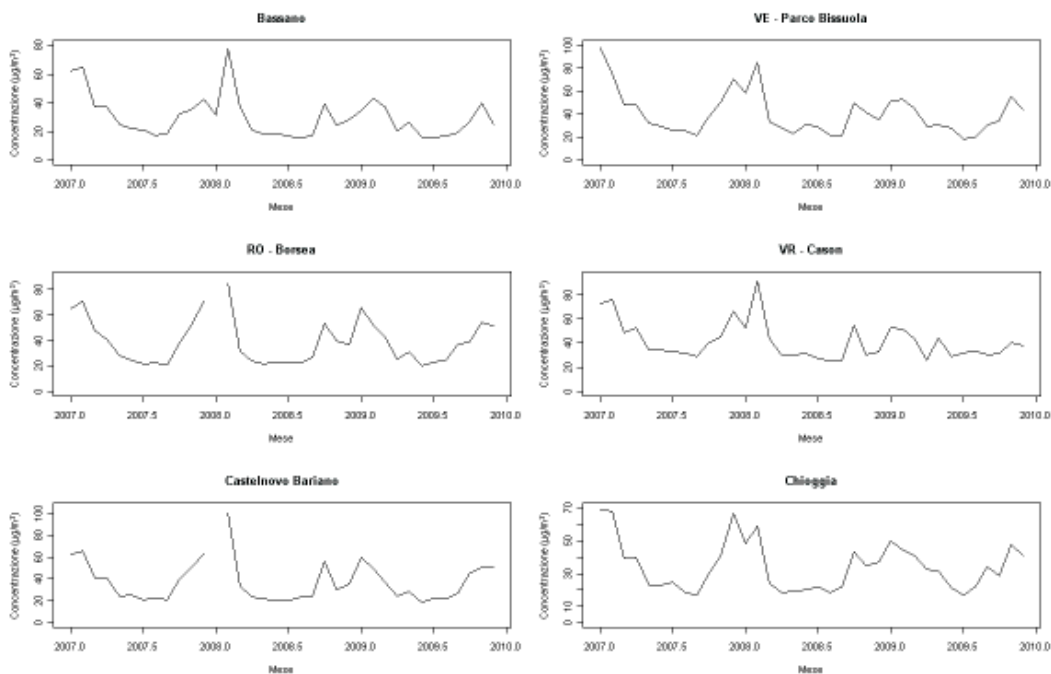


Serie temporali delle medie mensili delle stazioni fisse, anno 2009.

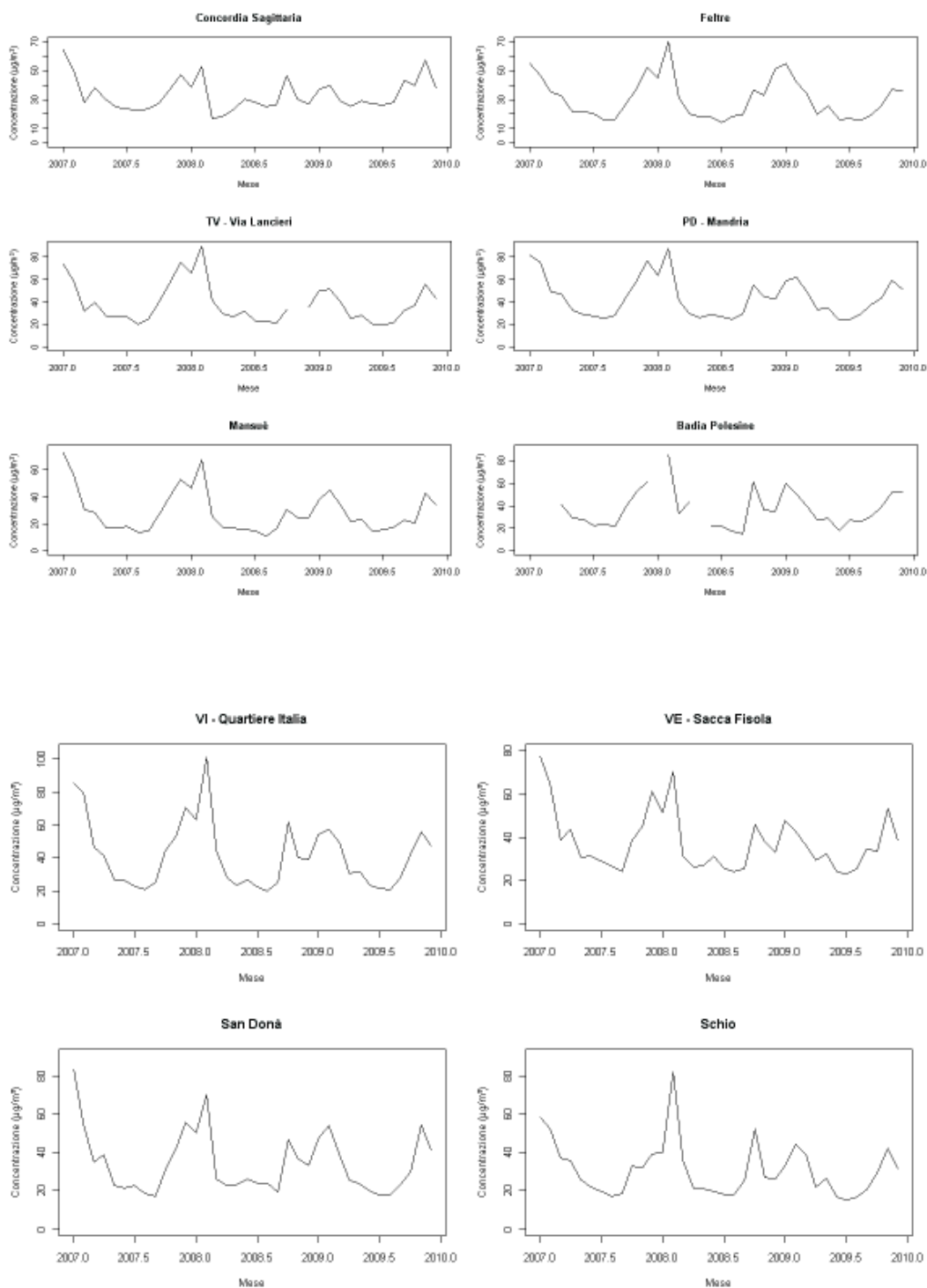




Serie temporali delle medie mensili delle stazioni fisse, triennio 2007-2009.



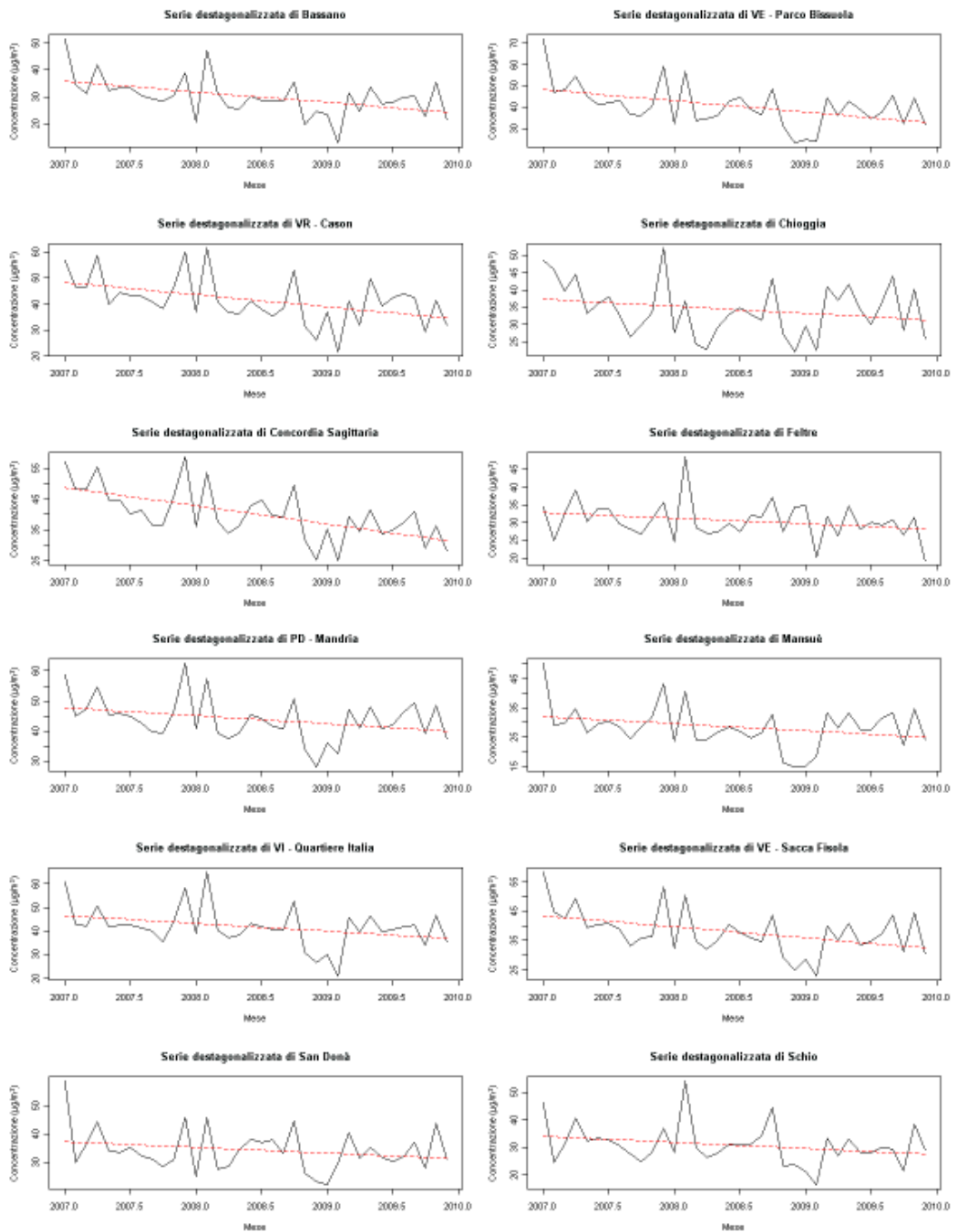
Appendice D: serie temporali delle medie mensili



Appendice E: serie destagionalizzate

Serie destagionalizzate delle medie mensili delle stazioni fisse, triennio 2007-2009.

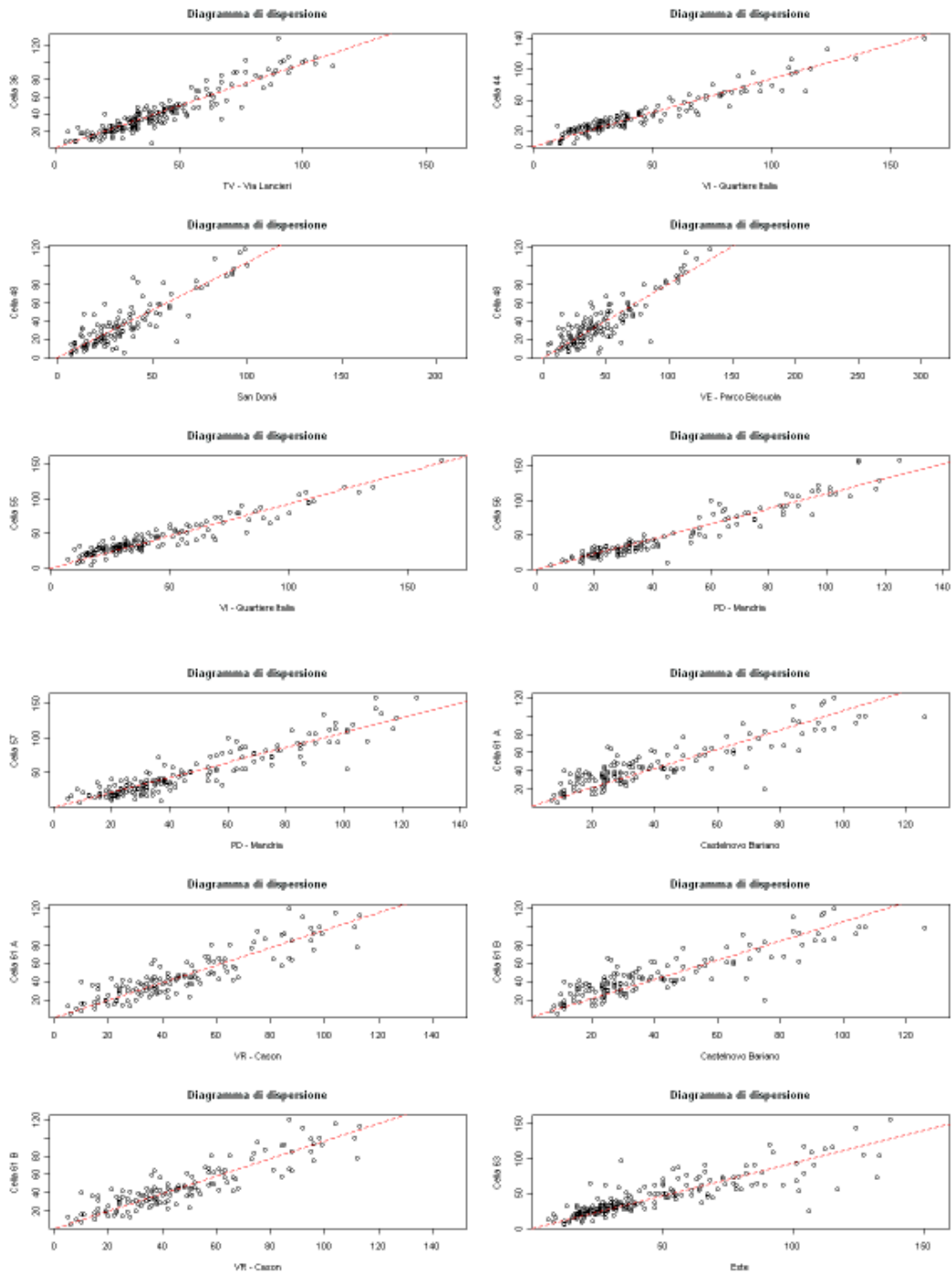
Legenda: — serie destagionalizzata, - - - stima del trend.

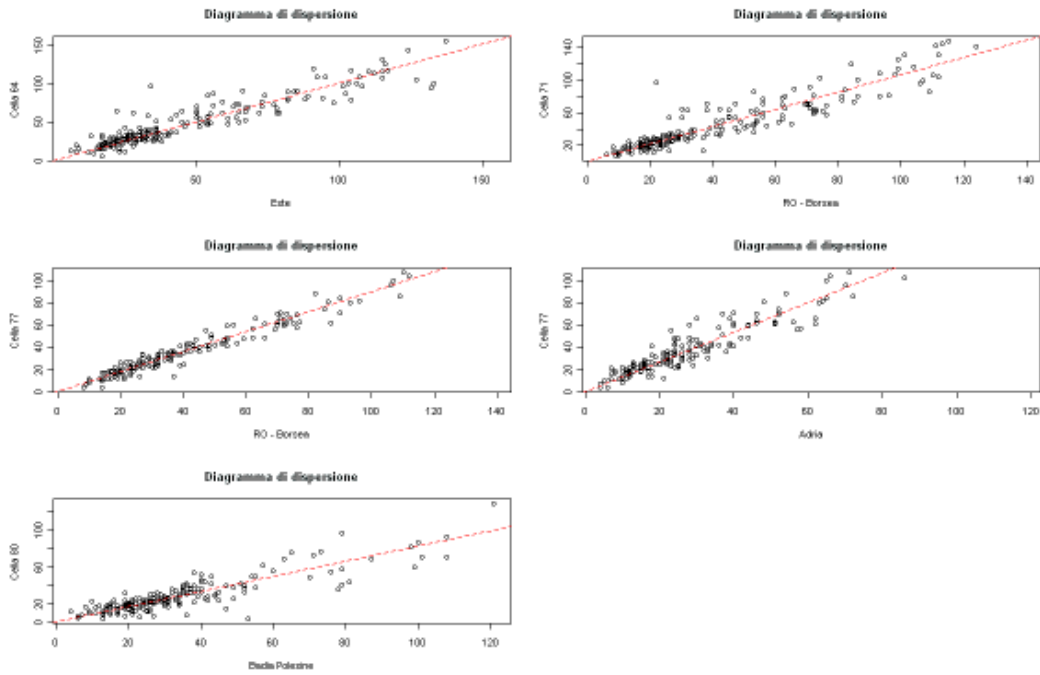


Appendice F: diagrammi di dispersione

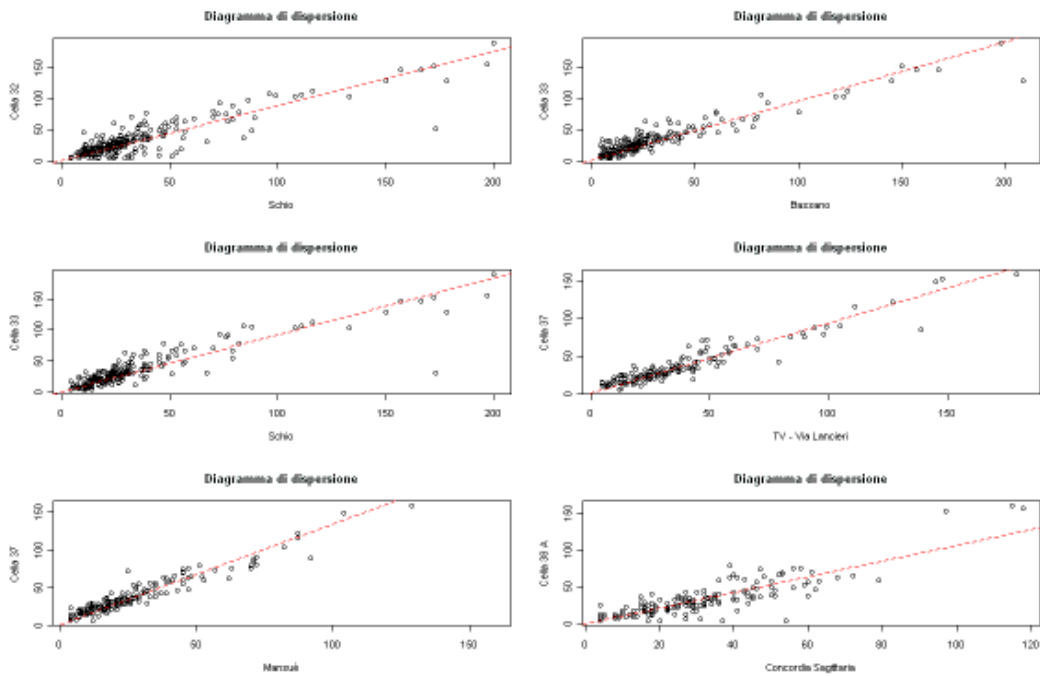
Legenda: - - - retta di regressione stimata.

Diagrammi di dispersione tra le celle e le stzioni fisse di riferimento, anno 2007.

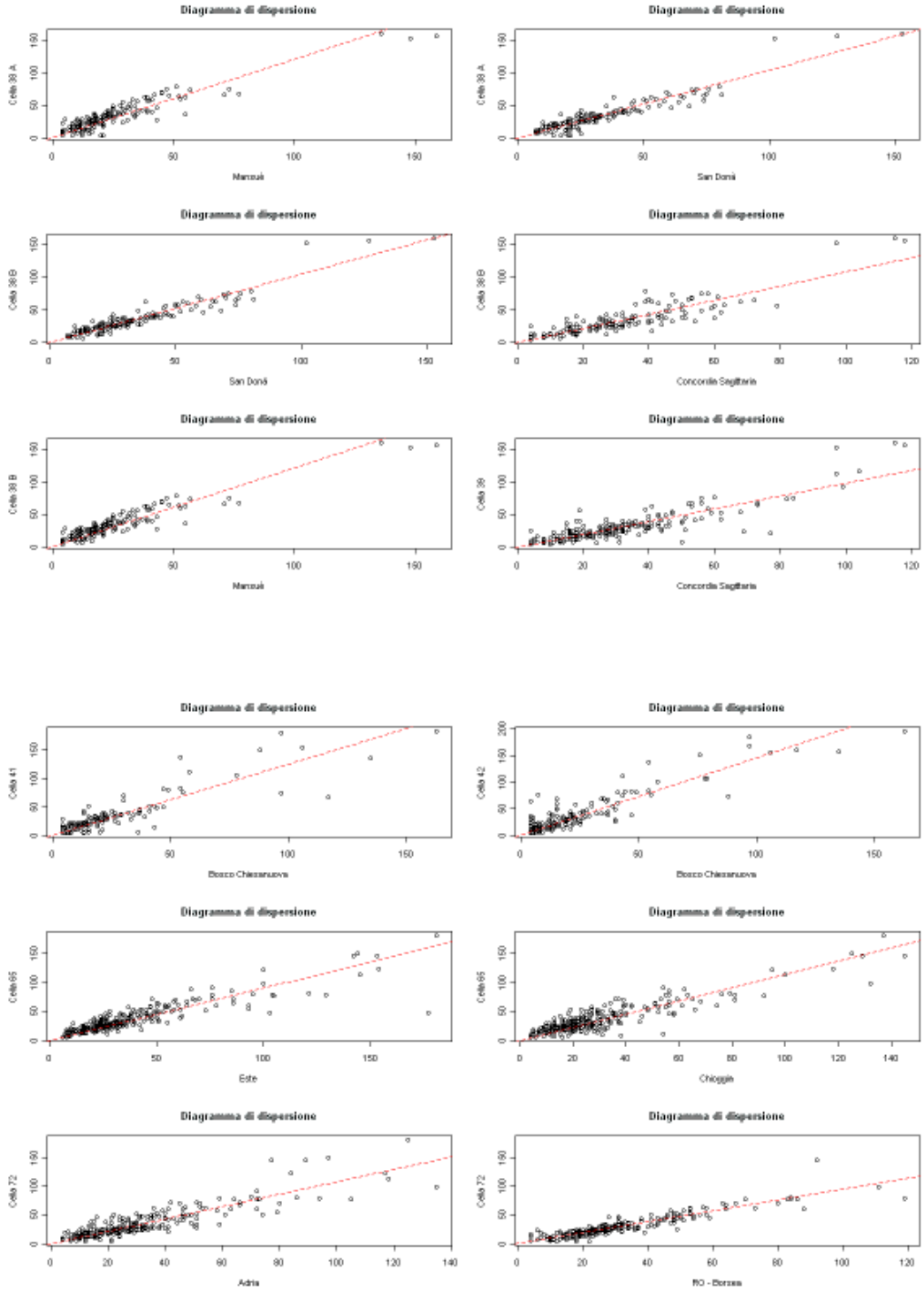




Diagrammi di dispersione tra le celle e le stzioni fisse di riferimento, anno 2008.



Appendice F: diagrammi di dispersione



Diagrammi di dispersione tra le celle e le stazioni fisse di riferimento, anno 2009.

