

**UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA**

**Facoltà di Scienze Statistiche**

**Corso di Laurea in Statistica e Gestione delle Imprese**

**TESI DI LAUREA**

**COSTRUZIONE DI MISURE DI ESPOSIZIONE  
ALL'INQUINAMENTO ATMOSFERICO URBANO:  
MILANO 1992-2003**

**Relatore Prof. Monica Chiogna**

**Correlatore Dott. Francesco Pauli**

**Laureanda Sara Bianco**

**Matricola 467097**

**Anno Accademico 2005-2006**

## INDICE

<b>INTRODUZIONE .....</b>	<b>3</b>
<b>1 L'INQUINAMENTO URBANO .....</b>	<b>5</b>
1.1 Gli inquinanti	5
1.1.1 Particolato atmosferico (PM10) e Polveri totali sospese (PTS)	5
1.1.2 Ozono (O <sub>3</sub> )	5
1.1.3 Biossido di zolfo (SO <sub>2</sub> )	6
1.1.4 Biossido di azoto (NO <sub>2</sub> )	6
1.1.5 Monossido di carbonio (CO)	7
1.1.6 Benzene (C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> )	7
1.2 Le caratteristiche climatiche	8
1.3 La legislazione	9
1.3.1 Valori limite e soglia di allarme per il biossido di zolfo	10
1.3.2 Valori limite per il biossido di azoto e per gli ossidi di azoto e soglia di allarme per il biossido di azoto	10
1.3.3 Valori limite per il materiale particolato (PM 10)	10
1.3.4 Valore limite per il benzene	11
1.3.5 Valore limite per il monossido di carbonio	11
1.3.6 Valore limite per l'ozono	11
<b>2 I DATI.....</b>	<b>13</b>
2.1 La centralina media	14
2.2 Una misura giornaliera	17
2.3 La definizione delle soglie	19
<b>3 I RISULTATI.....</b>	<b>21</b>
3.1 Analisi delle misure	21
<b>4 LIMITAZIONI DEL TRAFFICO.....</b>	<b>25</b>
<b>5 BIBLIOGRAFIA .....</b>	<b>28</b>
<b>6 APPENDICE A: Distribuzioni per mese .....</b>	<b>29</b>
<b>7 APPENDICE B: Analisi grafiche di Durata, Intensità, Media notturna .....</b>	<b>51</b>
<b>8 APPENDICE C: Matrici dei diagrammi di dispersione delle misure .....</b>	<b>61</b>
<b>9 APPENDICE D: Programmi R .....</b>	<b>72</b>

## INTRODUZIONE

Questo lavoro si propone di esporre la fase preparatoria e di analisi descrittiva di dati relativi ai livelli di inquinamento urbano da utilizzare all'interno di un più ampio studio sull'effetto di alcuni inquinanti sulla salute umana.

Tali studi sono sempre più importanti sia per fornire una descrizione completa e approfondita degli effetti dell'inquinamento sulla salute che per costruire indicatori di rischio per la popolazione.

Un'approfondita conoscenza degli inquinanti atmosferici unita alla disponibilità di dati che consentano di valutarne l'impatto sulla salute può infatti permettere di formulare politiche ambientali finalizzate alla riduzione dell'inquinamento atmosferico e di guidare interventi correttivi e preventivi per la salvaguardia della salute della popolazione.

In particolare, questo lavoro nasce dall'esigenza di trovare una opportuna misura di sintesi giornaliera per le rilevazioni orarie e bi-orarie di alcuni inquinanti, che tenga conto dei livelli di pericolosità (soglia di attenzione e soglia di allarme) e rifletta il tempo di esposizione all'agente inquinante.

Come sintesi giornaliera si sono utilizzate le misure introdotte da Chiogna e Bellini (2002) proposte al fine di esplorare se esistano misure e modelli di esposizione alternativi che meglio possano riflettere il reale meccanismo di esposizione all'agente tossicologico e cogliere l'eventuale associazione statistica tra esposizione ed effetti avversi sulla salute.

Tali misure prevedono il calcolo di tre indicatori, ovvero:

- *durata* di esposizione nelle ore diurne;
- *intensità* di esposizione nelle ore diurne;
- *media* nelle ore notturne.

La durata è una misura discreta e conta il numero di rilevazioni effettuate nelle ore diurne che superano una certa soglia. L'intensità indica di quanto viene superata

durante le ore diurne la soglia stabilita. Per le ore notturne, per le quali si è notata una certa costanza dei livelli degli inquinanti, viene calcolata una media aritmetica delle rilevazioni.

Oltre a tener conto delle soglie stabilite per legge sono state fatte delle analisi grafiche per evidenziare gli andamenti giornalieri dei diversi inquinanti e legare tali andamenti alle caratteristiche chimico-fisiche di ogni inquinante.

Le misure così ottenute verranno utilizzate nella costruzione di modelli statistici atti a valutare l'effetto dell'inquinamento sulla salute umana costruiti seguendo il protocollo MISA2. (Biggeri A., Bellini P., Terracini B., 2004)

Tutte le elaborazioni e i grafici presentati sono stati prodotti utilizzando il software statistico R implementando, quando necessario, programmi per la manipolazione di una così ampia mole di dati.

# 1 L'INQUINAMENTO URBANO

## 1.1 Gli inquinanti

Vengono qui brevemente descritti gli inquinanti considerati nelle analisi successive. La comprensione delle loro caratteristiche fisiche permette infatti una migliore interpretazione dei dati analizzati.

### 1.1.1 Particolato atmosferico (PM10) e Polveri totali sospese (PTS)

La presenza di particolato in atmosfera deriva da processi di combustione (particolato primario) o da reazioni chimiche di particolari composti gassosi (particolato secondario), ma anche da processi naturali, quali le eruzioni vulcaniche e l'erosione dei suoli da parte degli agenti atmosferici. Con il termine PTS (Polveri Totali Sospese) viene indicato il particolato totale, mentre con il termine PM10 si indica la frazione di particolato, detta anche polveri sottili, con diametro aerodinamico inferiore a 10  $\mu\text{m}$ . Quest'ultima costituisce la frazione più dannosa per l'uomo in quanto non viene trattenuta dalle vie aeree superiori e può pertanto penetrare fino agli alveoli polmonari.

Le particelle di origine naturale hanno un diametro superiore ai 10  $\mu\text{m}$ , mentre il PM10, che deriva essenzialmente dalle combustioni, può contenere metalli pesanti (ad esempio il piombo) e Idrocarburi Policiclici Aromatici (IPA), noti per la loro tossicità nei confronti dell'organismo umano.

### 1.1.2 Ozono ( $\text{O}_3$ )

L'ozono presente in prossimità del suolo (ozono troposferico) è un inquinante di tipo "secondario"; ciò significa che la sua presenza in atmosfera non è dovuta a una emissione diretta ma la sua formazione avviene per effetto dell'azione dei raggi solari sugli ossidi di azoto ( $\text{NO}_x$ ) e i Composti Organici Volatili (COV) presenti in atmosfera.

In condizioni di intenso irraggiamento, venti deboli e stagnazione meteorologica, tipicamente d'estate, aumenta la produzione di ozono e di altri gas che, assieme ad esso, costituiscono il cosiddetto "smog fotochimico".

Solitamente le concentrazioni di ozono risultano più elevate in zone rurali; nei grandi centri urbani, infatti, la presenza di fonti emissive di monossido di azoto (NO), quali ad esempio il traffico veicolare, è in grado di contrastare l'accumulo di ozono in atmosfera attraverso l'innescare di reazioni che coinvolgono questo inquinante, dando luogo alla formazione di biossido di azoto e ossigeno.

L'ozono, caratterizzato dall'assenza di colore e dall'odore pungente, è un potente ossidante che provoca nell'uomo irritazione ai tessuti delle vie respiratorie, in particolare degli alveoli polmonari, anche per esposizioni a breve termine.

### **1.1.3 Biossido di zolfo (SO<sub>2</sub>)**

Il biossido di zolfo, o anidride solforosa, è un gas dall'odore pungente, la cui presenza in atmosfera deriva dalla combustione di prodotti organici di origine fossile contenenti zolfo, quali carbone, petrolio e derivati.

Le principali sorgenti antropiche sono costituite dagli impianti per il riscaldamento e per la produzione di energia alimentati a gasolio, carbone e oli combustibili. Il traffico contribuisce alle emissioni complessive di biossido di zolfo solo in minima parte.

L'esposizione al biossido di zolfo, che peraltro è un inquinante caratterizzato da una soglia di percezione molto bassa, provoca nell'uomo irritazione e lesione al tratto superiore dell'apparato respiratorio e aumenta la predisposizione a episodi infettivi acuti e cronici quali tracheiti, bronchiti, ecc.

### **1.1.4 Biossido di azoto (NO<sub>2</sub>)**

È una sostanza gassosa soffocante prodotta dalla trasformazione di monossido di azoto (NO).

La presenza in atmosfera di NO (inquinante primario) e NO<sub>2</sub> (inquinante secondario) è dovuta essenzialmente ai processi di combustione; le principali sorgenti di ossidi di azoto (NO<sub>x</sub>) sono costituite dal settore dei trasporti, in particolare dai motori diesel, e dagli impianti termici quali centrali di potenza e impianti di riscaldamento.

È incolore e inodore e l'esposizione ad alte concentrazioni di ossidi di azoto ha un'azione lesiva nei confronti delle vie respiratorie profonde e degli alveoli polmonari (edema polmonare), mentre a basse concentrazioni provoca irritazione alle mucose.

### **1.1.5 Monossido di carbonio (CO)**

Il monossido di carbonio è un gas inodore e incolore, la cui presenza in atmosfera deriva dalla combustione incompleta di combustibili fossili. La sorgente principale di monossido di carbonio è costituita dal traffico veicolare, e in particolare dai veicoli a benzina non dotati di marmitta catalitica.

Le emissioni di CO dipendono dal rapporto aria-combustibile nella camera di combustione, dalle caratteristiche tecniche e dallo stato di usura del motore e dei sistemi di controllo delle emissioni, nonché dalle condizioni di marcia del veicolo.

L'esposizione a elevate concentrazioni di CO provoca effetti sul sistema nervoso, sull'apparato cardiaco e respiratorio. La sua dannosità è dovuta alla capacità del monossido di carbonio di sostituirsi all'ossigeno nell'emoglobina, riducendo la capacità del sangue di trasportare ossigeno.

### **1.1.6 Benzene (C<sub>6</sub>H<sub>6</sub>)**

Il benzene è un idrocarburo, appartenente al gruppo dei Composti Organici Volatili Non Metanici (COVNM), la cui presenza in atmosfera deriva da processi di combustione incompleta di combustibili fossili.

La fonte di emissione principale di questo inquinante è costituita dal traffico veicolare, in particolare dai veicoli non catalizzati, da alcuni processi industriali, dall'impiego di solventi e agenti sgrassanti.

Il benzene è cancerogeno per l'uomo se inalato o ingerito attraverso sostanze contaminate.

## 1.2 Le caratteristiche climatiche

I principali fenomeni meteorologici sono correlati con la capacità dell'atmosfera di disperdere gli inquinanti presenti nell'aria ambiente.

Il clima non aiuta la regione Lombardia nella lotta all'inquinamento atmosferico. La Lombardia presenta infatti caratteristiche uniche dal punto di vista meteo-climatico, trovandosi nella parte centrale del bacino padano, circondata da elevate catene montuose. Questi fattori influenzano in modo determinante le capacità dispersive dell'atmosfera, e quindi favoriscono l'accumulo degli inquinanti, soprattutto nel periodo invernale.

La velocità del vento di bassa intensità, la persistenza delle nebbie, le inversioni termiche generate localmente e aggravate da fenomeni di larga scala, le scarse precipitazioni sono i fenomeni che contribuiscono maggiormente a configurare una situazione tipica delle aree urbane in Lombardia, ARPA Lombardia (2005-2006).

Di seguito si presenta uno schema dei legami tra i principali fenomeni meteorologici in pianura padana e la capacità di dispersione degli inquinanti.

<b>Venti</b>	Le calme di vento, comprendenti velocità inferiori a 0,5 m/s, rappresentano il 50-60% delle osservazioni annuali, con punte del 70% durante la stagione invernale. I venti con velocità molto elevata, superiore a 12 m/s, si presentano mediamente 8-12 giorni all'anno; tuttavia, quando insorgono, possono essere anche molto violenti.
<b>Nebbia</b>	A Milano-Linate, alle ore 7 vi sono in media in un anno 92 giorni con visibilità inferiore a 1 km e 29 giorni di nebbia molto fitta (visibilità inferiore a 100 m).
<b>Inversioni termiche</b>	Alla normale formazione di inversione del gradiente termico nelle ore notturne invernali, si somma l'effetto dinamico delle correnti in quota (oltre il limite delle Alpi) che, comprimendo gli strati d'aria inferiori, aumentano l'intensità e la persistenza delle inversioni.
<b>Precipitazioni</b>	Nel periodo invernale hanno carattere <i>prefrontale</i> : precedono cioè il fronte (rallentato dalla catena alpina) e sono determinate dallo scorrimento di aria calda (generalmente da Sud-Ovest) sugli strati più bassi dell'atmosfera: sono pertanto deboli ed in un regime che aumenta la <i>stabilità atmosferica</i> .

Fonte: ARPA Lombardia



### 1.3 La legislazione

La legislazione stabilisce diversi tipi di soglia per ogni inquinante; a tali soglie sono legate sanzioni ai comuni che le superino nelle modalità stabilite.

Al fine della valutazione della qualità dell'aria, Il Decreto Ministeriale n.°60 del 02/04/2002 stabilisce per biossido di zolfo, biossido di azoto, ossidi di azoto, materiale particolato, benzene e monossido di carbonio, i seguenti criteri:

- i *valori limite*, vale a dire le concentrazioni atmosferiche fissate in base alle conoscenze scientifiche al fine di evitare, prevenire o ridurre gli effetti dannosi sulla salute umana e sull'ambiente;
- le *soglie di allarme*, ossia la concentrazione atmosferica oltre la quale vi è un rischio per la salute umana in caso di esposizione di breve durata e raggiunta la quale si deve immediatamente intervenire;
- il *marginale di tolleranza*, cioè la percentuale del valore limite nella cui misura tale valore può essere superato e le modalità secondo le quali tale margine deve essere ridotto nel tempo;
- il *termine* entro il quale il valore limite deve essere raggiunto;
- la *soglia di valutazione superiore*, vale a dire la concentrazione atmosferica al di sotto della quale le misurazioni possono essere combinate con le tecniche di modellizzazione;
- la *soglia di valutazione inferiore*, ossia una concentrazione atmosferica al di sotto della quale è consentito ricorrere soltanto alle tecniche di modellizzazione o di stima oggettiva;
- i *periodi di mediazione*, cioè il periodo di tempo durante il quale i dati raccolti sono utilizzati per calcolare il valore riportato.

Di seguito vengono riportati i principali parametri di valutazione della qualità dell'aria.

### 1.3.1 Valori limite e soglia di allarme per il biossido di zolfo

	Periodo di mediazione	Valore limite	Margine di tolleranza	Data di raggiungimento del valore limite
Valore limite orario per la protezione della salute umana	1 ora	350 µg/m <sup>3</sup> SO <sub>2</sub> da non superare più di 24 volte all'anno	150 µg/m <sup>3</sup> . Tale valore è ridotto ogni 12 mesi, per raggiungere il valore limite al 01/01/2005	01/01/2005
Valore limite di 24 ore per la protezione della salute umana	24 ore	125 µg/m <sup>3</sup> SO <sub>2</sub> da non superare più di 3 volte all'anno	nessuno	01/01/2005
Valore limite per la protezione degli ecosistemi	01.10 – 31.03	20 µg/m <sup>3</sup> SO <sub>2</sub>	nessuno	19/07/2001

La soglia di allarme è pari a 500 µg/m<sup>3</sup> misurati su tre ore consecutive in un sito rappresentativo della qualità dell'aria su un area di almeno 100 km<sup>2</sup>.

### 1.3.2 Valori limite per il biossido di azoto e per gli ossidi di azoto e soglia di allarme per il biossido di azoto

	Periodo di mediazione	Valore limite	Margine di tolleranza	Data di raggiungimento del valore limite
Valore limite orario per la protezione della salute umana	1 ora	200 µg/m <sup>3</sup> NO <sub>2</sub> da non superare più di 18 volte per anno civile	100 µg/m <sup>3</sup> . Tale valore è ridotto ogni 12 mesi, per raggiungere il valore limite al 01/01/2010	01/01/2010
Valore limite annuale per la protezione della salute umana	Anno civile	40 µg/m <sup>3</sup> NO <sub>2</sub>	20 µg/m <sup>3</sup> . Tale valore è ridotto ogni 12 mesi, per raggiungere il valore limite al 01/01/2010	01/01/2010
Valore limite per la protezione della vegetazione	Anno civile	30 µg/m <sup>3</sup> NO <sub>x</sub>	Nessuno	19/07/2001

La soglia di allarme è pari a 400 µg/m<sup>3</sup> misurati su tre ore consecutive in un sito rappresentativo della qualità dell'aria su un area di almeno 100 km<sup>2</sup>.

### 1.3.3 Valori limite per il materiale particolato (PM 10)

Il percorso per il raggiungimento del valore limite è distinto in due fasi:

Fase 1	Periodo di mediazione	Valore limite	Margine di tolleranza	Data di raggiungimento del valore limite
Valore limite di 24 ore per la protezione della salute umana	24 ore	50 µg/m <sup>3</sup> PM10 da non superare più di 35 volte per anno civile	25 µg/m <sup>3</sup> . Tale valore è ridotto ogni 12 mesi, per raggiungere il valore limite al 01/01/2005	01/01/2005
Valore limite annuale per la protezione della salute umana	Anno civile	40 µg/m <sup>3</sup> PM10	8 µg/m <sup>3</sup> . Tale valore è ridotto ogni 12 mesi, per raggiungere il valore limite al 01/01/2005	01/01/2005
<b>Fase 2 *</b>				
Valore limite di 24 ore per la protezione della salute umana	24 ore	50 µg/m <sup>3</sup> PM10 da non superare più di 7 volte per anno civile	Da stabilire in base ai dati in modo che sia equivalente alla fase 1	01/01/2010
Valore limite annuale per la protezione della salute umana	Anno civile	20 µg/m <sup>3</sup> PM10	10 µg/m <sup>3</sup> . Tale valore è ridotto ogni 12 mesi, per raggiungere il valore limite al 01/01/2010	01/01/2010

\* I valori limite della fase 2 sono da rivedere con successivo decreto sulla base della futura normativa comunitaria.

### 1.3.4 Valore limite per il benzene

	Periodo di mediazione	Valore limite	Margine di tolleranza	Data di raggiungimento del valore limite
Valore limite annuale per la protezione della salute umana	Anno civile	5 µg/m <sup>3</sup>	5 µg/m <sup>3</sup> . Tale valore verrà ridotto il 01/01/2006 e successivamente ogni 12 mesi per raggiungere il valore limite al 01/01/2010	01/01/2010

### 1.3.5 Valore limite per il monossido di carbonio

	Periodo di mediazione	Valore limite	Margine di tolleranza	Data di raggiungimento del valore limite
Valore limite per la protezione della salute umana	Media massima giornaliera su 8 ore	10 mg/m <sup>3</sup>	6 mg/m <sup>3</sup> . Tale valore è ridotto ogni 12 mesi per raggiungere il valore limite al 01/01/2010	01/01/2005

### 1.3.6 Valore limite per l'ozono

Per ciò che concerne l'ozono si fa riferimento al Decreto Legislativo n.°183 del 21/05/04 che, per tale inquinante, stabilisce:

- i *valori bersaglio*, vale a dire le concentrazioni fissate al fine di evitare a lungo termine effetti nocivi sulla salute umana e sull'ambiente nel suo complesso, da conseguirsi per quanto possibile entro un dato periodo di tempo;
- gli *obiettivi a lungo termine*, ossia la concentrazione di ozono nell'aria al di sotto della quale si ritengono improbabili effetti nocivi diretti sulla salute umana e sull'ambiente. Tale obiettivo è conseguito nel lungo periodo, al fine di fornire un'efficace protezione della salute umana e dell'ambiente;
- la *soglia di informazione* cioè la concentrazione atmosferica oltre la quale, essendovi un rischio per la salute umana in caso di esposizione di breve durata, devono essere comunicate in modo dettagliato le informazioni relative ai superamenti registrati, le previsioni per i giorni seguenti, le informazioni circa i gruppi della popolazione colpiti e sulle azioni da attuare per la riduzione dell'inquinamento, con la massima tempestività alla popolazione ed alle strutture sanitarie competenti.

Valori bersaglio	Parametro	Valore bersaglio per il 2010
Valore bersaglio per la protezione della salute umana	Media su otto massima giornaliera	120 µg/m <sup>3</sup> da non superare per più di 25 giorni per anno civile, come media su 3 anni
Valore bersaglio per la protezione della vegetazione	AOT40, calcolato sulla base dei valori di un'ora da maggio a luglio	18000 µg/m <sup>3</sup> h come media su 5 anni
Obiettivi a lungo termine	Parametro	Valore bersaglio per il 2010
Obiettivo a lungo termine per la protezione della salute umana	Media su otto massima giornaliera nell'arco di un anno civile	120 µg/m <sup>3</sup>
Obiettivo a lungo termine per la protezione della vegetazione	AOT40, calcolato sulla base dei valori di un'ora da maggio a luglio	6000 µg/m <sup>3</sup> h
	Parametro	Soglia
Soglia di informazione	Media 1 ora	180 µg/m <sup>3</sup>
Soglia di allarme	Media 1 ora	240 µg/m <sup>3</sup>

Fonte: ARPA Lombardia

## 2 I DATI

Si hanno a disposizione i dati relativi alle rilevazioni degli inquinanti delle otto stazioni del Dipartimento ARPA Lombardia situate nel Comune di Milano per il periodo 1/1/1992 - 31/12/2003.



Fonte: ARPA Lombardia

La rete delle stazioni di rilevazione ha iniziato l'attività di monitoraggio già dagli anni '60 del secolo scorso, arrivando alla rilevazione degli inquinanti fotochimici, come l'ozono, negli anni '90 e ponendo particolare attenzione alla rilevazione dei cosiddetti 'nuovi inquinanti': dal 1998 è stato introdotto il monitoraggio automatico della frazione *inalabile* del particolato (PM10), dal 1999 il monitoraggio del benzene (C<sub>6</sub>H<sub>6</sub>) e dalla fine del 2000 anche della frazione *respirabile* del particolato (PM2.5).

Le fonti di emissione di sostanze inquinanti della zona in esame sono principalmente di tipo domestico e da traffico autoveicolare. In alcuni tratti stradali delle zone maggiormente abitate, per la presenza di edifici, si crea un 'effetto canyon delle vie' che contribuisce ad aumentare la concentrazione degli inquinanti emessi dal traffico autoveicolare.

Tuttavia nel corso degli anni la tipologia dell'inquinamento è cambiata. In seguito alla radicale trasformazione degli impianti di riscaldamento domestici e alle innovazioni motoristiche e di abbattimento delle emissioni, si è registrata una riduzione nelle concentrazioni in aria di alcuni dei principali inquinanti tradizionali, quali il biossido di

zolfo, il monossido di carbonio e il benzene, come si può notare nelle analisi grafiche del paragrafo successivo. Tale riduzione ha contribuito a spostare l'attenzione verso altri tipi di composti e in particolare le polveri sottili.

Gli inquinanti considerati nel presente lavoro sono i seguenti:

- polveri totali sospese (PTS);
- particolato atmosferico con un diametro inferiore a 10  $\mu\text{m}$  (PM10), le cosiddette polveri sottili;
- ozono ( $\text{O}_3$ );
- biossido di zolfo ( $\text{SO}_2$ );
- biossido di azoto ( $\text{NO}_2$ );
- monossido di carbonio (CO);
- benzene ( $\text{C}_6\text{H}_6$ ).

In definitiva si ha a disposizione una buona base di dati per una realtà urbana grande e per un considerevole intervallo di tempo, tutti fattori positivi per le successive analisi.

## 2.1 La centralina media

Un primo passo verso il calcolo di misure di sintesi giornaliere consta nel sintetizzare, per ogni inquinante, le rilevazioni effettuate dalle diverse centraline.

Per ogni centralina si hanno a disposizione le rilevazioni orarie degli inquinanti, tranne che per il particolato atmosferico (PM10) e per le polveri totali sospese (PTS), per i quali le rilevazioni sono bi-orarie.

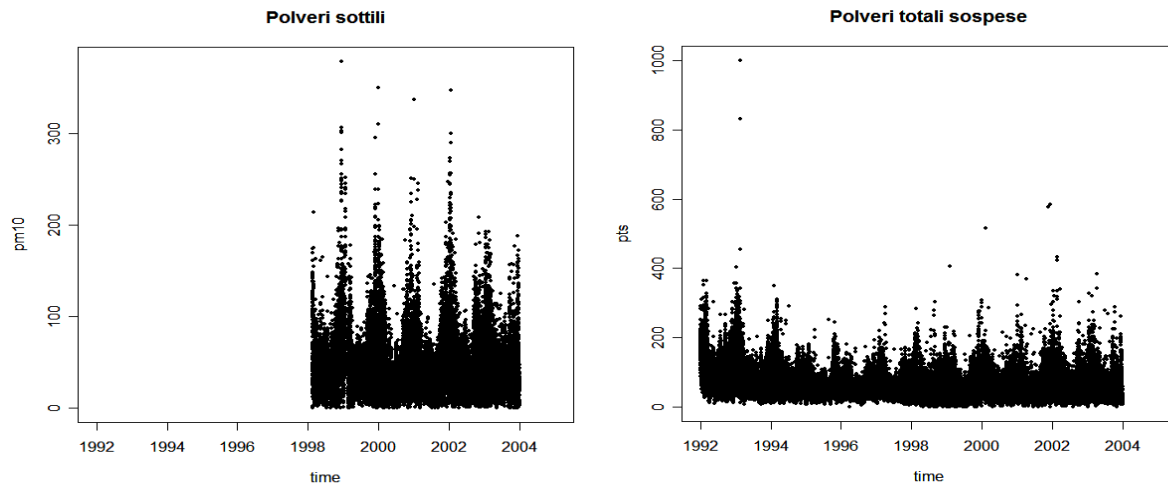
Il calcolo di quella che chiameremo 'centralina media' consiste nel sintetizzare mediante media aritmetica, per ogni inquinante, i dati relativi alle diverse centraline nelle quali l'inquinante è stato rilevato, condizionatamente al fatto che ci sia una quantità di rilevazioni giornaliere significativa.

In particolare, per ogni inquinante, una data centralina entra nel calcolo del dato medio orario se sono presenti almeno il 75% dei dati. Quindi il dato medio orario è la media aritmetica dei dati significativi per quell'ora.

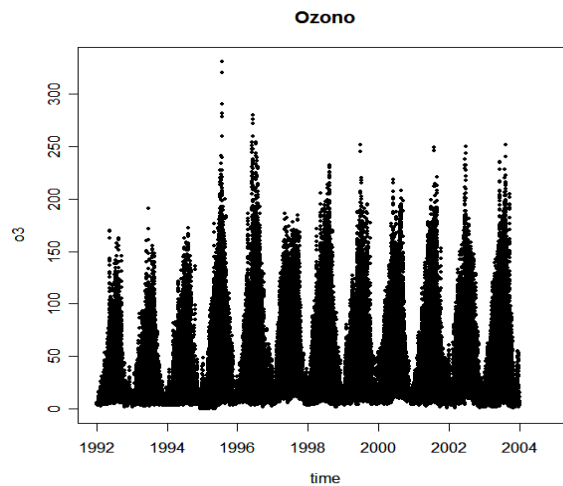
Anche per gli inquinanti rilevati da una sola centralina (PM10, SO<sub>2</sub> e C<sub>6</sub>H<sub>6</sub>) si è controllata la presenza di almeno il 75% delle osservazioni, orarie o bi-orarie, per ogni giorno.

Di seguito riportiamo le serie storiche dei dati orari relativi alla 'centralina media' per ogni inquinante. Tutti gli inquinanti presentano una forte stagionalità perché la loro formazione e la loro stagnazione dipendono fortemente da condizioni quali l'irraggiamento solare e la ventilazione.

Per le polveri sottili (PM10) e per le polveri totali sospese (PTS) si nota una maggiore concentrazione nei mesi invernali, dovuta alla minore ventilazione durante questi mesi.

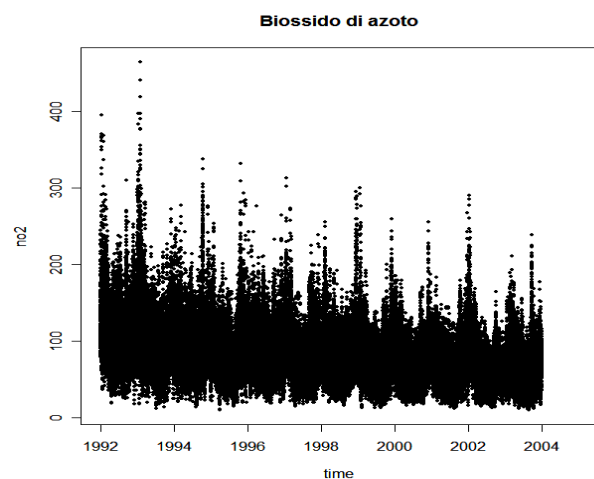
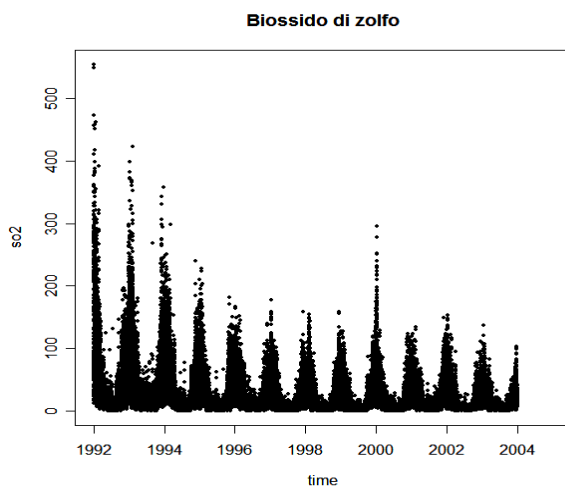


Al contrario delle polveri, si nota come l'ozono presenti una maggiore concentrazione nei mesi estivi; infatti la sua formazione è legata all'azione dei raggi solari.



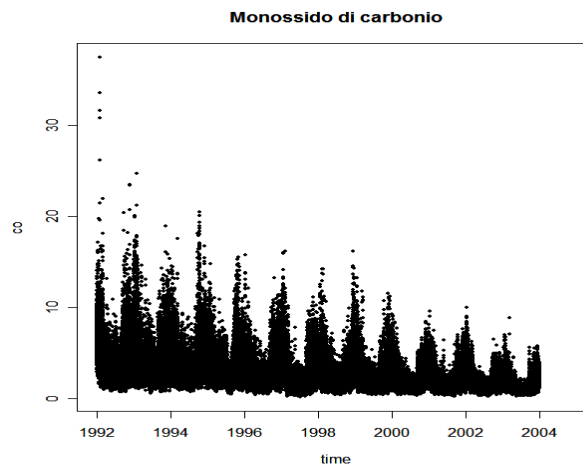
Il biossido di zolfo e il biossido di azoto presentano maggiori concentrazioni durante l'inverno, non tanto per la presenza di particolari condizioni atmosferiche, che comunque ne favoriscono la stagnazione, ma perché la fonte antropica principale sono gli impianti per il riscaldamento e il traffico.

Si nota inoltre un andamento decrescente della concentrazione dal 1998 al 2003, dovuta al miglioramento tecnologico degli impianti e dei motori (autoveicoli catalizzati, impianti termici più efficienti, teleriscaldamento) e alla messa in vigore di nuove norme a riguardo.

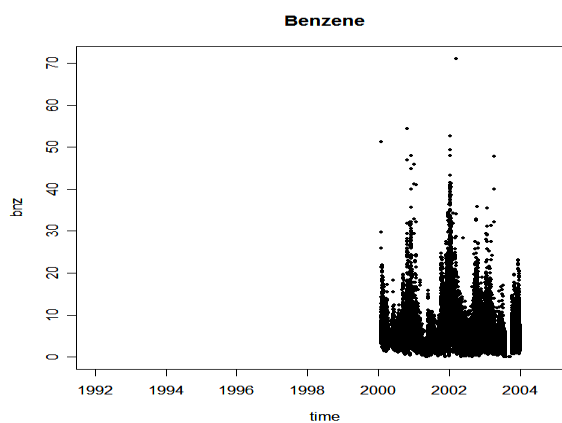




Le maggiori concentrazioni di monossido di carbonio si hanno nei mesi invernali, essendo questo inquinante legato alla presenza di traffico e a scarsa ventilazione. Si nota anche per questo inquinante un andamento decrescente negli anni.



Il benzene non presenta particolari andamenti anche se si notano comunque dei picchi nei mesi invernali.



## 2.2 Una misura giornaliera

Come già anticipato, il problema in esame è la ricerca di una misura di sintesi giornaliera che non sia una semplice media aritmetica e che tenga conto dell'andamento dell'inquinante nel corso delle ore della giornata per meglio riflettere l'esposizione agli inquinanti atmosferici.

Si è pensato di calcolare per ogni giorno tre misure:

- *durata* di esposizione nelle ore diurne;
- *intensità* di esposizione nelle ore diurne;
- *media* nelle ore notturne.

La durata è una misura discreta e conta il numero di rilevazioni effettuate nelle ore diurne che superano una certa soglia. L'intensità indica di quanto viene superata durante le ore diurne la soglia stabilita. Per le ore notturne viene calcolata una media aritmetica delle rilevazioni.

Per il calcolo di queste misure è necessario stabilire quale intervallo definisce le 'ore diurne' e quale livello si debba considerare come soglia.

Sono stati analizzati gli andamenti giornalieri dei diversi inquinanti raggruppando i dati orari di tutti gli anni con l'idea di stabilire quale intervallo delle 'ore diurne' comprende le ore di maggiore inquinamento.

L'appendice A contiene i grafici a scatola a livello di ora e mese dell'anno di tutti gli inquinanti considerati.

Gli andamenti giornalieri e gli andamenti mensili sono legati alla temperatura e questo è dovuto alle caratteristiche chimico-fisiche degli inquinanti.

Si può notare che tutti gli inquinanti, eccetto l'ozono per il quale si dovranno fare considerazioni a parte, hanno un andamento giornaliero strettamente legato alle ore di punta del traffico e quindi hanno due picchi giornalieri uno intorno alle ore 9 e un altro intorno alle ore 19.

Inoltre si nota che l'aumento della concentrazione nelle ore mattutine è abbastanza repentino mentre la dispersione degli inquinanti nelle ore serali è più lenta. Questo ha comportato la scelta di un intervallo maggiore di 12 ore a differenza di quanto adottato da Chiogna e Bellini (2002) per la città di Verona. Pertanto verranno considerate 'ore diurne' quelle dalle ore 8 alle ore 21 comprese.

Caso di particolare interesse è l'ozono ( $O_3$ ), per il quale si vede che valori alti sono strettamente legati a una temperatura elevata e forte irraggiamento solare ed è invece ininfluenza la presenza di traffico autoveicolare che anzi ne contrasta

l'accumulo. Quindi i massimi si raggiungono nei mesi estivi e, a livello giornaliero, si raggiungono nelle ore più calde della giornata. Per questo motivo l'analisi per l'ozono è stata ristretta all'intervallo di mesi che vanno da maggio a settembre compresi.

### 2.3 La definizione delle soglie

Per ogni inquinante la legge stabilisce due soglie: il *valore limite*, vale a dire la concentrazione fissata in base alle conoscenze scientifiche al fine di evitare, prevenire o ridurre gli effetti dannosi sulla salute umana e sull'ambiente e la *soglia di allarme*, ossia la concentrazione atmosferica oltre la quale vi è un rischio per la salute umana in caso di esposizione di breve durata e raggiunta la quale si deve immediatamente intervenire.

La seguente tabella riporta tali soglie per gli inquinanti considerati.

<i>Inquinante</i>	<i>Valore limite</i>	<i>Soglia di allarme</i>
PM10	50 µg/m <sup>3</sup>	
SO <sub>2</sub>	125 µg/m <sup>3</sup>	500 µg/m <sup>3</sup>
NO <sub>2</sub>	200 µg/m <sup>3</sup>	400 µg/m <sup>3</sup>
CO	10 mg/m <sup>3</sup>	
O <sub>3</sub>	120 µg/m <sup>3</sup>	240 µg/m <sup>3</sup>
C <sub>6</sub> H <sub>6</sub>	5 µg/m <sup>3</sup>	

Fonte: ARPA Lombardia

Si noti che nei grafici dell'appendice A si è scelto di evidenziare, dove possibile, il valore limite stabilito dalla legge.

Per valutare la sensatezza dei limiti di legge per la costruzione delle misure di nostro interesse, si sono calcolati, con i dati relativi alla 'centralina media', alcuni indicatori di sintesi delle rilevazioni orarie, raccolti nella tabella che segue.

<i>Indicatori</i>	<i>PM10</i>	<i>PTS</i>	<i>O<sub>3</sub></i>	<i>O<sub>3</sub></i> <i>(mag-set)</i>	<i>SO<sub>2</sub></i>	<i>NO<sub>2</sub></i>	<i>CO</i>	<i>C<sub>6</sub>H<sub>6</sub></i>
Minimo	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	9.133	0.120	0.000
1° Quartile	23.90	37.60	7.60	22.05	4.40	56.900	1.350	2.800
Mediana	37.70	55.70	16.17	50.43	10.90	75.529	2.180	4.500
<b>Media</b>	<b>45.53</b>	<b>65.39</b>	<b>34.77</b>	<b>58.96</b>	<b>21.63</b>	<b>80.812</b>	<b>2.711</b>	<b>5.656</b>
<b>3° Quartile</b>	<b>58.10</b>	<b>81.80</b>	<b>52.00</b>	<b>85.90</b>	<b>26.50</b>	<b>98.171</b>	<b>3.480</b>	<b>7.000</b>
Massimo	378.50	1000.00	330.80	330.80	554.10	465.167	37.467	71.100
Valori mancanti	81078	54403	592	348	9359	492	479	78670

Come già anticipato, visto il forte legame tra alta concentrazione di ozono e presenza di un forte irraggiamento solare, è stato preso in considerazione, per l'analisi di questo inquinante, l'intervallo dei mesi da maggio a settembre compresi e ricalcolati gli indicatori di sintesi per questo periodo.

Analizzando la distribuzione delle rilevazioni e comparandola con i limiti di legge, si è deciso di utilizzare per il calcolo delle tre misure di sintesi giornaliera tre soglie, ovvero la media dei valori rilevati, il terzo quartile e il valore limite stabilito dalla legge.

### 3 I RISULTATI

#### 3.1 Analisi delle misure

Una prima indicazione sulla gravità della situazione può essere ottenuta contando il numero di giorni in cui non vi è stato superamento della soglia. In tali giorni sia la durata che l'intensità risultano essere pari a zero. L'esito dell'analisi è riportato nella tabella seguente.

Soglia	Valore limite di legge		Media delle osservazioni		Terzo quartile	
	Durata/Intensità	%	Durata/Intensità	%	Durata/Intensità	%
PTS	-	-	1498	34.18	2251	51.37
PM10	3143	71.72	3001	68.48	3362	76.72
O <sub>3</sub>	3581	81.72	2798	63.85	3065	69.94
SO <sub>2</sub>	4186	<b>94.39</b>	2195	<b>50.09</b>	2433	55.52
NO <sub>2</sub>	4202	<b>95.89</b>	967	<b>22.07</b>	1906	43.50
CO	4177	<b>95.32</b>	1380	<b>31.49</b>	2033	46.39
C <sub>6</sub> H <sub>6</sub>	3532	80.60	3610	82.38	3768	85.98

Evidentemente aumentando la soglia diminuisce la percentuale di superamenti delle soglie. In particolare, si nota la grande differenza di percentuale tra i superamenti del limite di legge e i superamenti della media delle osservazioni per gli inquinanti invernali (SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, CO). Questa discrepanza si nota anche osservando le medie della durata e dell'intensità dei superamenti per questi inquinanti riportate nella tabella seguente.

Soglia	Valore limite di legge		Media delle osservazioni		Terzo quartile	
	Durata media (ore)	Intensità media	Durata media (ore)	Intensità media	Durata media (ore)	Intensità media
PTS (µg/m <sup>3</sup> )	-	-	1.29	12.82	0.84	9.40
PM10 (µg/m <sup>3</sup> )	1.09	11.48	2.65	32.81	1.69	23.43
O <sub>3</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	1.05	6.49	3.38	23.78	2.26	14.18
SO <sub>2</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	<b>0.30</b>	<b>3.85</b>	<b>4.72</b>	<b>24.82</b>	3.98	22.52
NO <sub>2</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	<b>0.15</b>	<b>1.68</b>	<b>6.49</b>	<b>33.63</b>	3.84	21.93
CO (mg/m <sup>3</sup> )	<b>0.11</b>	<b>0.13</b>	<b>5.61</b>	<b>1.96</b>	3.66	1.49
C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	1.55	1.18	1.30	1.06	0.85	0.85

In media i superamenti degli inquinanti invernali sono inferiori all'ora se calcolati rispetto al limite di legge mentre passano a 5-6 ore se si considera come soglia la media delle osservazioni. Si nota, in particolare per il biossido di azoto, un incremento dell'intensità del superamento del 386% passando dal limite di legge alla media delle osservazioni.

Per indagare l'andamento delle distribuzioni univariate delle misure, vengono presentati nell'appendice B gli istogrammi e le stime non parametriche delle densità univariate della durata, dell'intensità e della media notturna per le tre soglie considerate.

Dall'osservazione di tali grafici si nota principalmente che le distribuzioni dell'intensità e della media notturna sono asimmetriche.

Inoltre si nota, per tutti gli inquinanti escluso l'ozono, la differenza di forma tra la distribuzione della durata rispetto il limite di legge, da una parte, e rispetto la media e il terzo quartile, dall'altra. Mentre le distribuzioni relative al limite di legge sono campanulari con un massimo spostato verso lo zero, quelle della durata rispetto alla media e al terzo quartile sono appiattite (uniformi) con due massimi, uno verso lo 0 e uno verso il valore massimo della durata. Quando il limite di legge si avvicina alla media delle osservazioni, come per il benzene, le distribuzioni hanno la forma appiattita con due massimi.

Questo indica che quando si hanno superamenti delle soglie questo avviene per molte ore, sicuramente dovuto a un fenomeno di saturazione dell'aria. Inoltre la differente forma suggerisce che, in alcuni casi, i limiti di legge sono così elevati da non cogliere il vero andamento dei dati.

Per l'intensità e la media notturna, invece, la forma delle distribuzioni non cambia al cambiare della soglia.

A livello bivariato si nota un forte legame tra l'intensità e la media notturna come evidenziato dalla matrice di correlazione che segue.

Valore limite				Media delle osservazioni				3° Quartile delle osservazioni							
-				pts_d	pts_i	pts_m	pts_d	pts_i	pts_m	pts_d	pts_i	pts_m			
				pts_d	1.0000000	0.6757391	0.7187912	pts_d	1.0000000	0.7120471	0.7619999	pts_i	-	1.0000000	0.6799954
				pts_i	-	1.0000000	0.7120174	pts_i	-	1.0000000	0.6799954	pts_m	-	-	1.0000000
				pts_m	-	-	1.0000000	pts_m	-	-	1.0000000				
pm10_d	pm10_i	pm10_m	pm10_m	pm10_d	pm10_i	pm10_m	pm10_m	pm10_d	pm10_i	pm10_m	pm10_m				
pm10_d	1.0000000	0.7965631	0.7397660	pm10_d	1.0000000	0.7824609	0.7231504	pm10_d	1.0000000	<b>0.8037512</b>	0.7507051				
pm10_i	-	1.0000000	0.7809294	pm10_i	-	1.0000000	0.7878126	pm10_i	-	1.0000000	0.7657906				
pm10_m	-	-	1.0000000	pm10_m	-	-	1.0000000	pm10_m	-	-	1.0000000				
o3_d	o3_i	o3_m	o3_m	o3_d	o3_i	o3_m	o3_m	o3_d	o3_i	o3_m	o3_m				
o3_d	1.0000000	<b>0.8973507</b>	0.4292438	o3_d	1.0000000	<b>0.9058443</b>	0.5874925	o3_d	1.0000000	<b>0.9027925</b>	0.5468742				
o3_i	-	1.0000000	0.3186479	o3_i	-	1.0000000	0.4358145	o3_i	-	1.0000000	0.4031756				
o3_m	-	-	1.0000000	o3_m	-	-	1.0000000	o3_m	-	-	1.0000000				
so2_d	so2_i	so2_m	so2_m	so2_d	so2_i	so2_m	so2_m	so2_d	so2_i	so2_m	so2_m				
so2_d	1.0000000	<b>0.8543014</b>	0.6819262	so2_d	1.0000000	0.6951534	0.7501107	so2_d	1.0000000	0.7181526	0.7724669				
so2_i	-	1.0000000	0.6301877	so2_i	-	1.0000000	<b>0.8796771</b>	so2_i	-	1.0000000	<b>0.8718689</b>				
so2_m	-	-	1.0000000	so2_m	-	-	1.0000000	so2_m	-	-	1.0000000				
no2_d	no2_i	no2_m	no2_m	no2_d	no2_i	no2_m	no2_m	no2_d	no2_i	no2_m	no2_m				
no2_d	1.0000000	<b>0.9004881</b>	0.4716418	no2_d	1.0000000	0.7332561	0.6901408	no2_d	1.0000000	<b>0.8038061</b>	0.7420411				
no2_i	-	1.0000000	0.4562671	no2_i	-	1.0000000	<b>0.8275242</b>	no2_i	-	1.0000000	0.7964484				
no2_m	-	-	1.0000000	no2_m	-	-	1.0000000	no2_m	-	-	1.0000000				
co_d	co_i	co_m	co_m	co_d	co_i	co_m	co_m	co_d	co_i	co_m	co_m				
co_d	1.0000000	0.7453081	0.4973416	co_d	1.0000000	0.7499291	0.7335142	co_d	1.0000000	0.7748006	0.7443417				
co_i	-	1.0000000	0.4342470	co_i	-	1.0000000	<b>0.8188930</b>	co_i	-	1.0000000	0.7950601				
co_m	-	-	1.0000000	co_m	-	-	1.0000000	co_m	-	-	1.0000000				
bnz_d	bnz_i	bnz_m	bnz_m	bnz_d	bnz_i	bnz_m	bnz_m	bnz_d	bnz_i	bnz_m	bnz_m				
bnz_d	1.0000000	0.7575975	0.6420093	bnz_d	1.0000000	0.7605653	0.6738648	bnz_d	1.0000000	0.7705859	0.7162595				
bnz_i	-	1.0000000	0.7907327	bnz_i	-	1.0000000	0.7856225	bnz_i	-	1.0000000	0.7716008				
bnz_m	-	-	1.0000000	bnz_m	-	-	1.0000000	bnz_m	-	-	1.0000000				

Tale correlazione è indice del fatto che se durante le ore diurne sono stati superati di molto i limiti anche la media delle ore notturne risulta elevata. Infatti tanto maggiore è la concentrazione di inquinante e più tempo è necessario per disperderlo.

Queste considerazioni sembrano non valere per l'ozono per il quale si nota un legame blando tra intensità e media notturna. Questo a sostegno del fatto che la presenza di ozono è legata all'irraggiamento solare.

Anche tra durata e intensità si nota una forte correlazione per quasi tutti gli inquinanti: quando il superamento dura molte ore anche l'intensità di tale superamento aumenta.

La media notturna e la durata non sembrano presentare una correlazione particolarmente elevata.

Nell'appendice C vengono riportate le matrici dei diagrammi di dispersione tra le misure per ogni inquinante per un'analisi grafica delle interazioni tra le misure.

In generale, questa prima analisi bivariata delle tre misure suggerisce che maggiore è la presenza di un dato inquinante durante le ore diurne e maggiore sarà la media nelle ore notturne. La saturazione dell'aria nelle ore diurne è influenzata dalla durata e dall'intensità del superamento delle soglie, misure che sono fortemente legate tra loro.



## 4 LIMITAZIONI DEL TRAFFICO

Per esplorare a livello descrittivo l'efficacia degli interventi di chiusura al traffico, si è pensato di comparare i livelli orari di alcuni inquinanti registrati nei giorni di chiusura e giorni contigui con i livelli orari registrati nei giorni analoghi degli anni precedenti e successivi.

Sono stati considerati gli inquinanti maggiormente legati al traffico veicolare e quindi il biossido di azoto e il monossido di carbonio. Il confronto viene fatto utilizzando i dati di due centraline che si trovano nella zona di chiusura al traffico (via Senato, via Verziere) e non il dato della 'centralina media'.

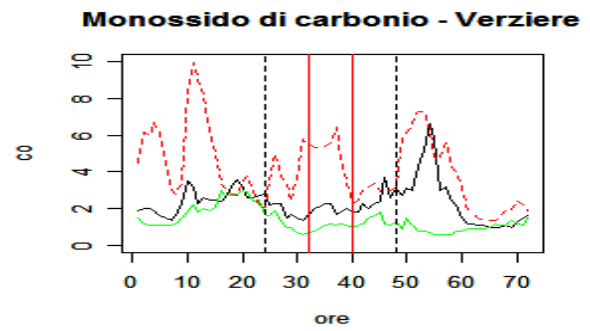
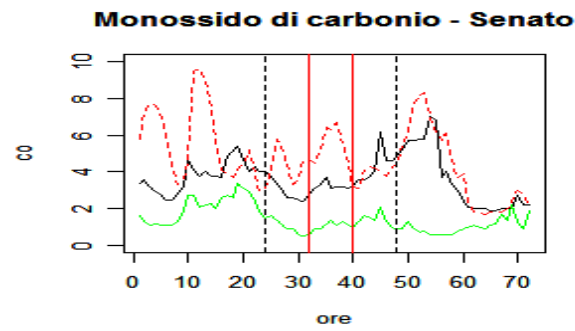
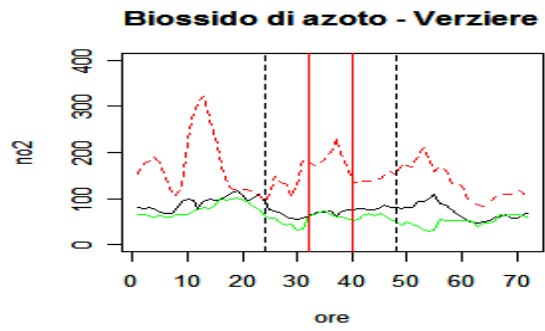
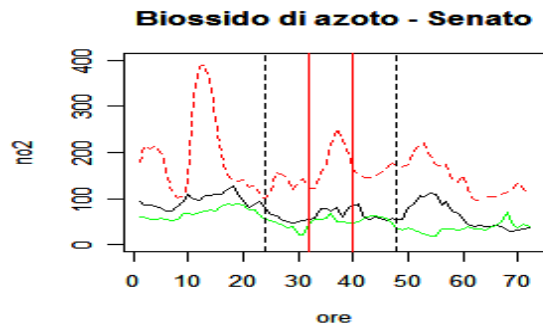
Per il periodo considerato si analizzano le seguenti date di chiusura totale al traffico dalle ore 8 alle ore 20.

Anno	Date	Fonte
2001	Sabato 13/01	Gualdi R., Cazzuli O., Lanzani G., Settore Aria - ARPA Lombardia (2002)
2003	Domenica 23/02 - 30/11	Milano -Corpo Polizia Locale, Settore Traffico e Viabilità Segreteria tecnica

I giorni di chiusura sono sabato o domenica per cui si ritiene non abbia senso comparare tale giorno con lo stesso giorno degli anni precedenti; per questo motivo si propone la comparazione di 72 ore corrispondenti agli stessi giorni della settimana (venerdì-sabato-domenica o sabato-domenica-lunedì).

Le rilevazioni nella data di chiusura del 2001 sono state comparate con le corrispondenti rilevazioni del 2000 e del 2002, mentre le date di chiusura del 2003 sono state comparate con i due anni precedenti, 2002 e 2001.

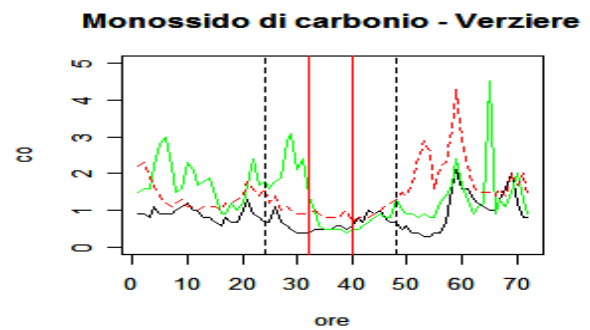
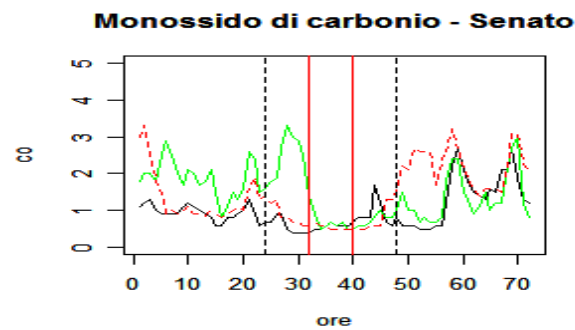
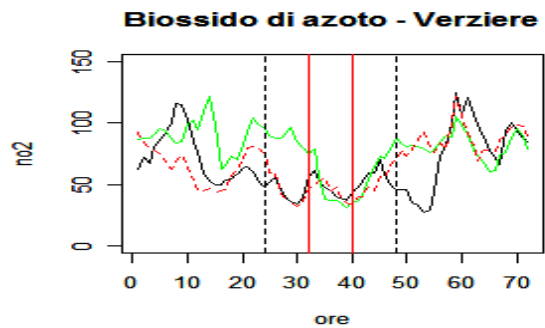
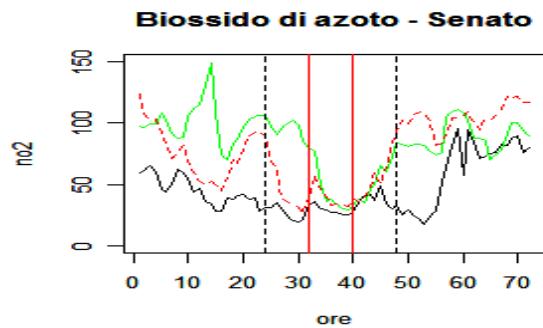
Nei grafici seguenti si evidenzia con le linee continue verticali l'intervallo delle 12 ore di chiusura al traffico. Le linee verticali tratteggiate delimitano i tre giorni in esame.



— 14-15-16/01/2000

— 12-13-14/01/2001

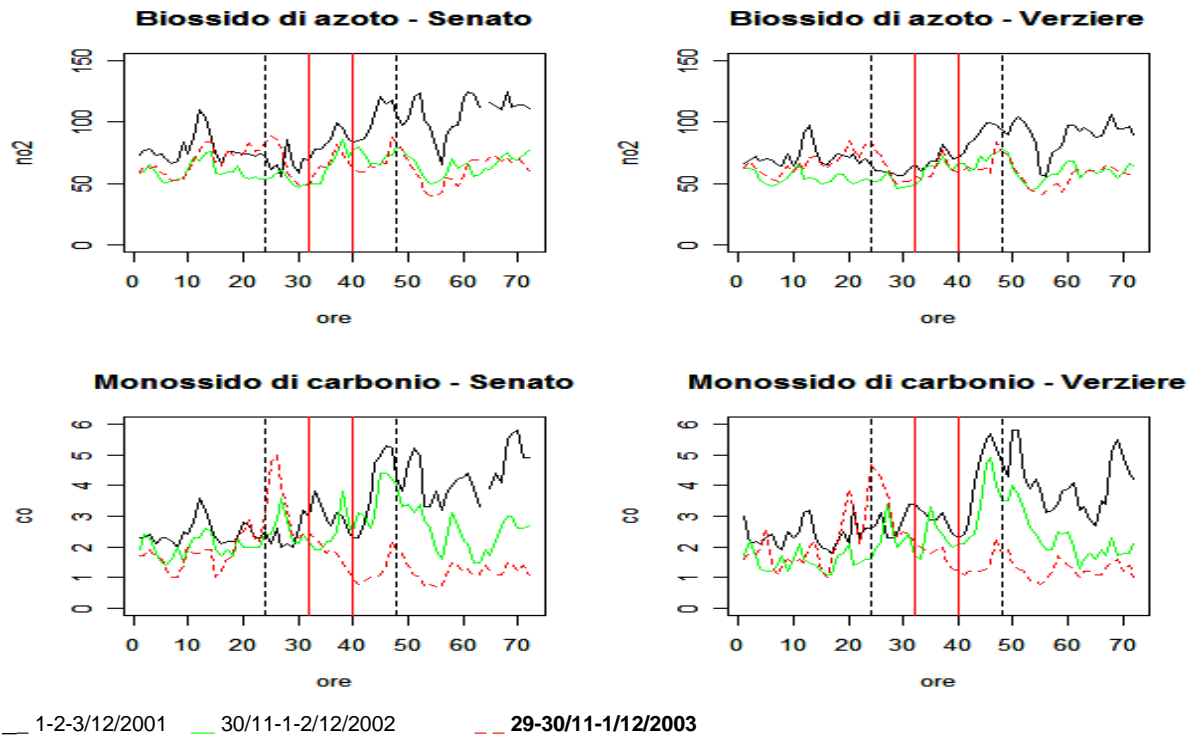
- - 11-12-13/01/2002



— 24-25-26/02/2001

— 23-24-25/02/2002

- - 22-23-24/02/2003



La chiusura del 13/01/2001 sembra aver sortito l'effetto voluto ma è da tener presente che in quei giorni nel 2001 c'erano pioggia e una velocità del vento maggiore che negli altri anni confrontati. La riduzione della concentrazione degli inquinanti nell'aria potrebbe essere dovuta più alla presenza di pioggia che alla chiusura al traffico.

Per il giorno di chiusura del 23/02/2003 si può notare come l'andamento segua, nelle ore di chiusura, l'andamento del 2002. Con le informazioni a nostra disposizione, si può notare che nel 2002 c'erano un forte vento e una temperatura più elevata, quindi si potrebbe ipotizzare che la chiusura al traffico ha avuto un effetto benefico sulla purezza dell'aria comparabile a quella di un forte vento.

In generale non si notano forti riduzioni durante le ore di chiusura totale al traffico né effetti benefici successivi, come una ripresa più lenta dell'accumulo degli inquinanti. Questo è particolarmente evidente nei grafici relativi alla chiusura del 23/02 e 30/11/2003.

È comunque difficile fare confronti in quanto l'accumulo e la dispersione degli inquinanti nell'aria sono legati a una serie di fattori, soprattutto meteorologici, di cui non abbiamo piena conoscenza.

## 5 BIBLIOGRAFIA

ARPA Lombardia (2004) Rapporto sullo stato dell'ambiente in Lombardia: Rapporto 2003. Cap. 11 – Inquinanti atmosferici: il monitoraggio e i controlli.

ARPA Lombardia (2005-2006) Rapporto sullo stato dell'ambiente in Lombardia: Rapporto 2005. Parte 2 - Ambiente Urbano, Parte 4 – La mobilità.

Bellini P., Biggeri A., Terracini B. (2004). Metanalisi italiana degli studi sugli effetti a breve termine dell'inquinamento atmosferico 1996-2002 MISA2, *Supplemento alla rivista Epidemiologia&Prevenzione n.4-5 luglio-ottobre 2004*.

Chiogna M., Cortinovis L., Bellini P. (2002). Metodi statistici in epidemiologia ambientale: uno studio di associazione tra inquinamento urbano e ospedalizzazione. *Progetto di ricerca Murst 1998 "Metodi statistici per l'analisi dell'ambiente e delle interazioni ambiente-salute"*

Gualdi R., Cazzuli O., Lanzani G., Settore Aria - ARPA Lombardia (2002). Influenza dei provvedimenti assunti in emergenza sui dati di qualità dell'aria nelle città: Milano. *ArpaER Rivista. N.1 gennaio-febbraio 2002*.

Katsouyanni K, Touloumi G, Samoli E, Gryparis A, Le Tertre A, Monopolis Y, Rossi G, Zmirou D, Ballester F, Boumghar A, Anderson HR, Wojtyniak B, Paldy A, Braunstein R, Pekkanen J, Schindler C, Schwartz J (2001), Confounding and effect modification in the short-term effects of ambient particles on total mortality: results from 29 European cities within the APHEA2 project, *Epidemiology. 12 (5): 521-31*.

Inoltre:

[www.arpalombardia.it](http://www.arpalombardia.it) Agenzia Regionale per la Protezione dell'Ambiente Lombardia

[www.comune.milano.it](http://www.comune.milano.it)

[www.eea.europa.eu](http://www.eea.europa.eu) European Environment Agency

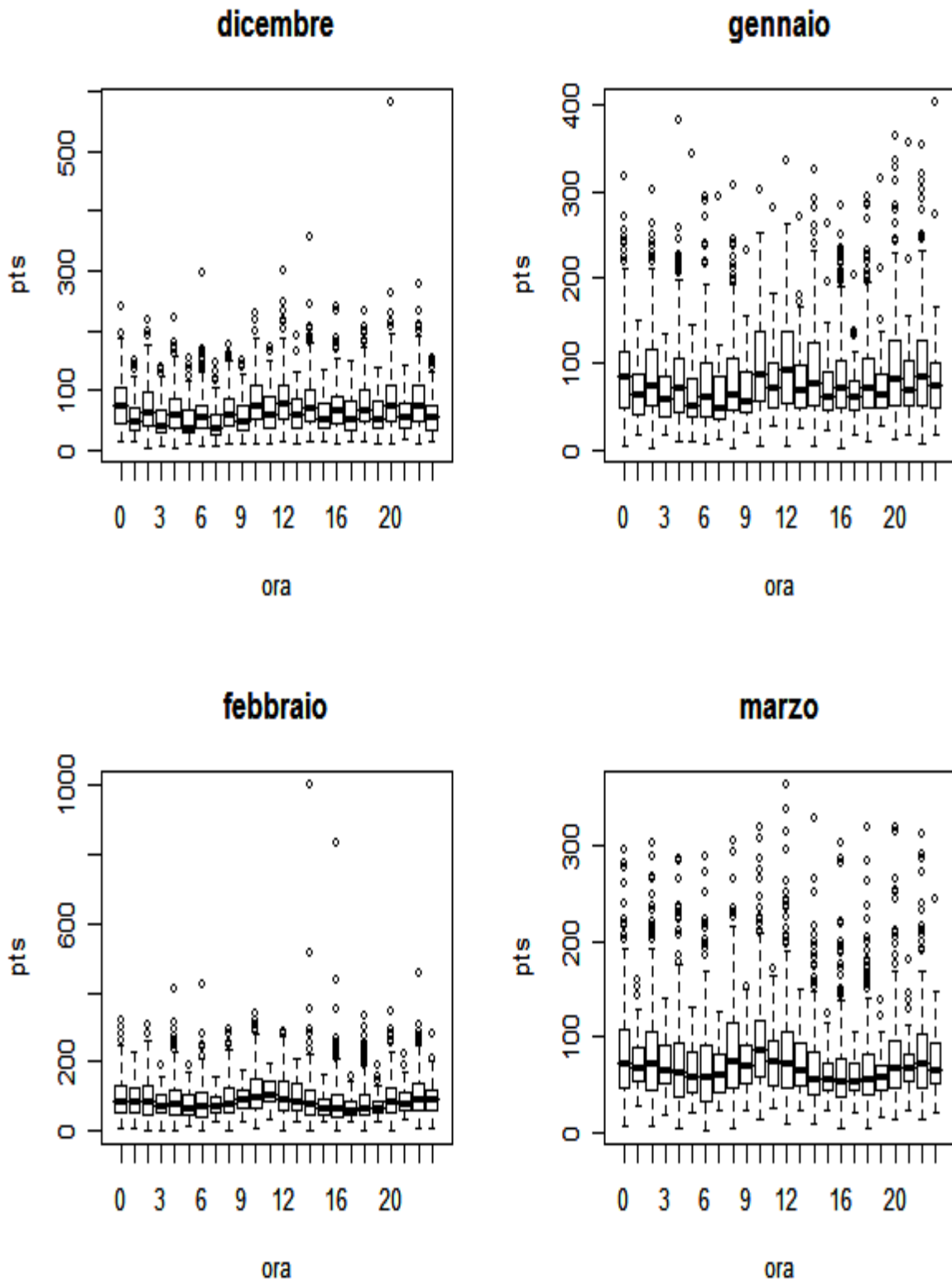
[www.provincia.milano.it](http://www.provincia.milano.it)

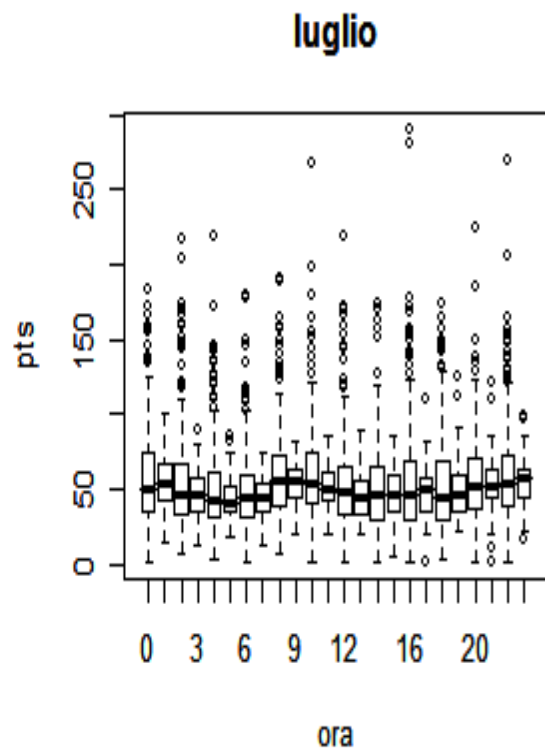
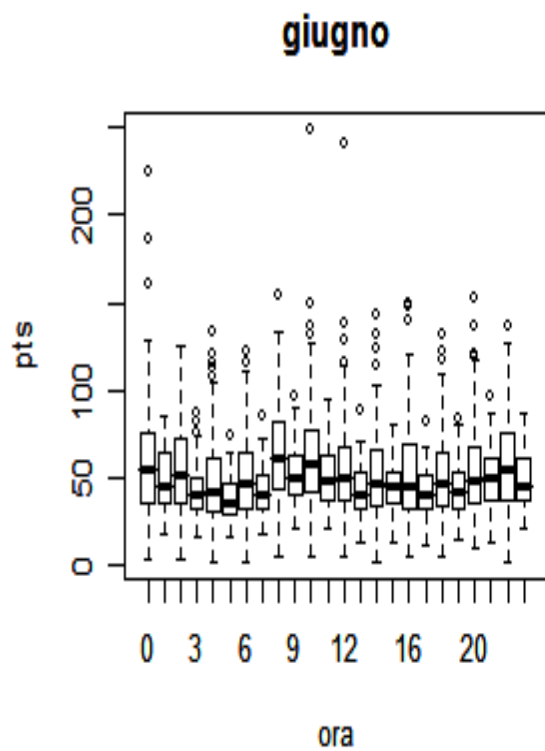
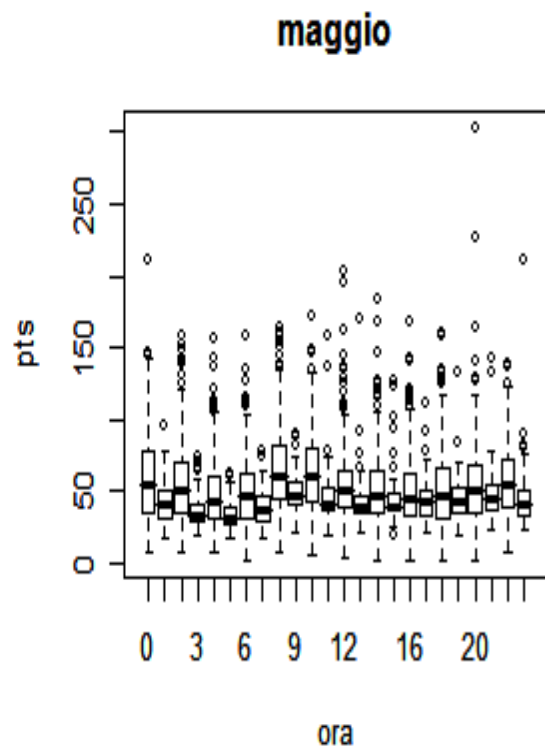
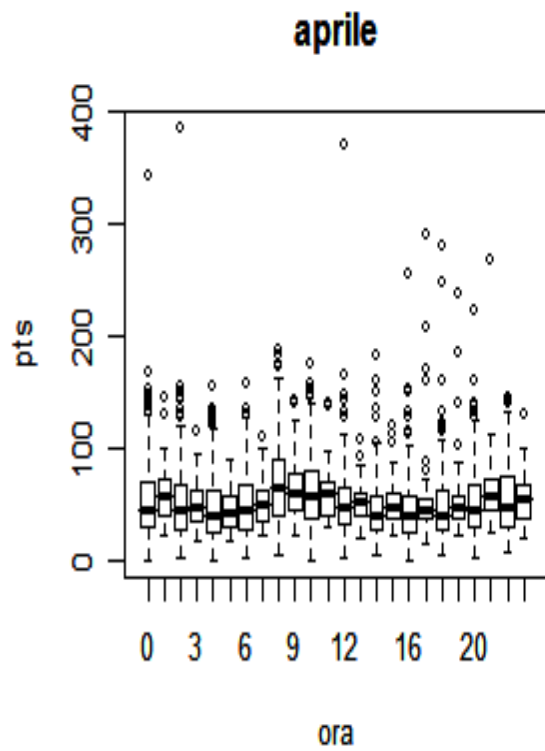
[www.retecivica.milano.it](http://www.retecivica.milano.it)

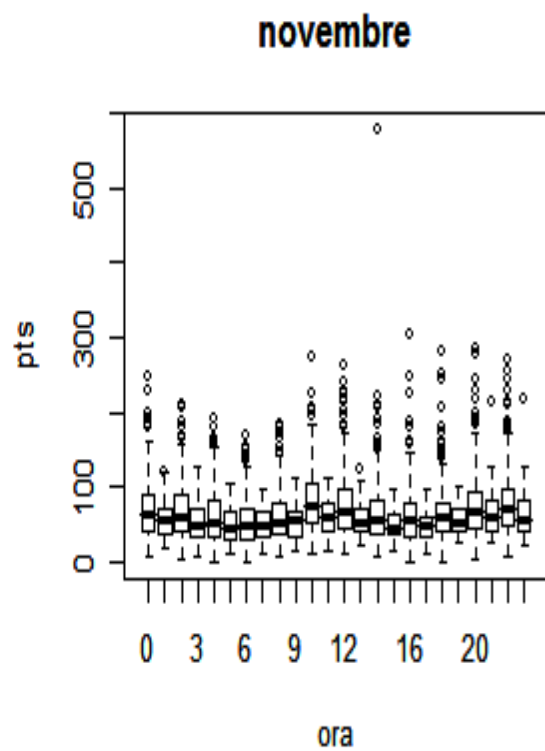
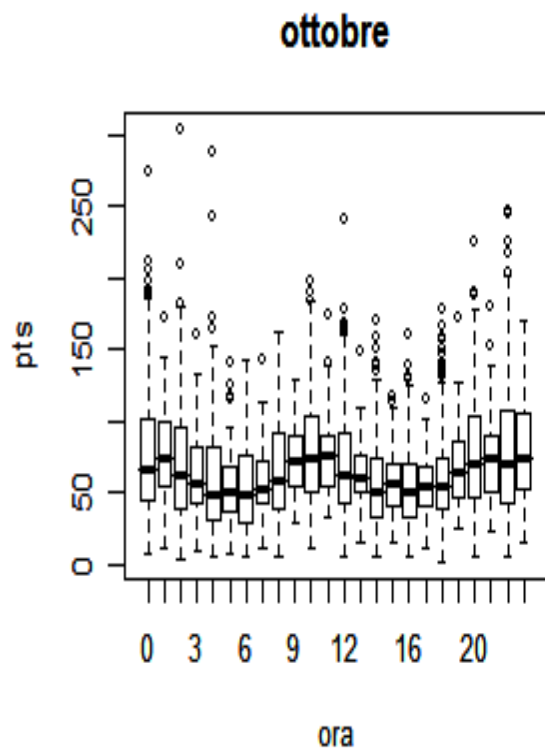
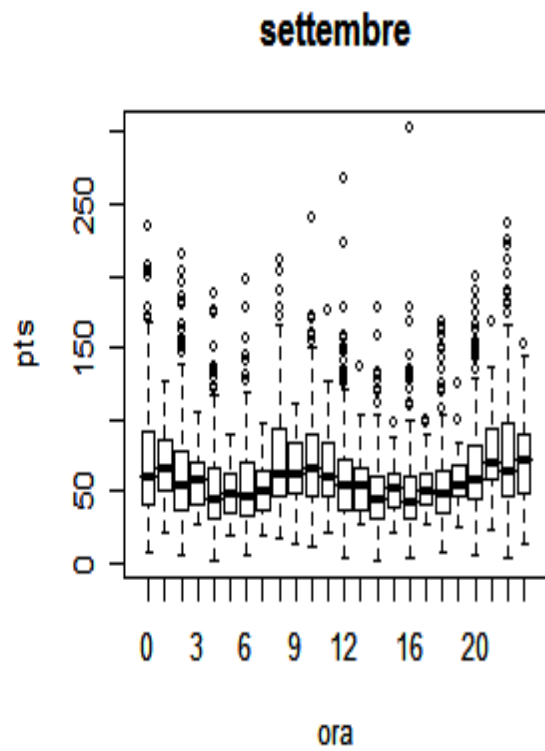
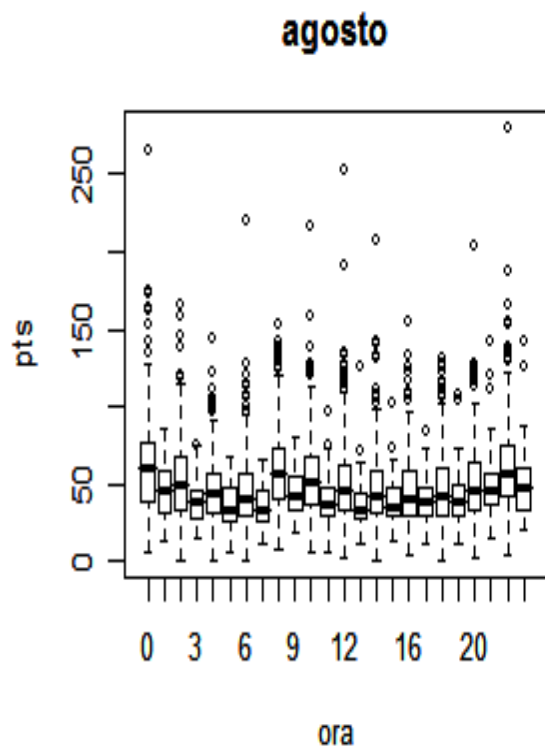
## **6 APPENDICE A: Distribuzioni per mese**

La riga orizzontale, dove presente, indica il valore limite stabilito dalla legge.

### Andamento giornaliero delle polveri totali sospese PTS (1992-2003)

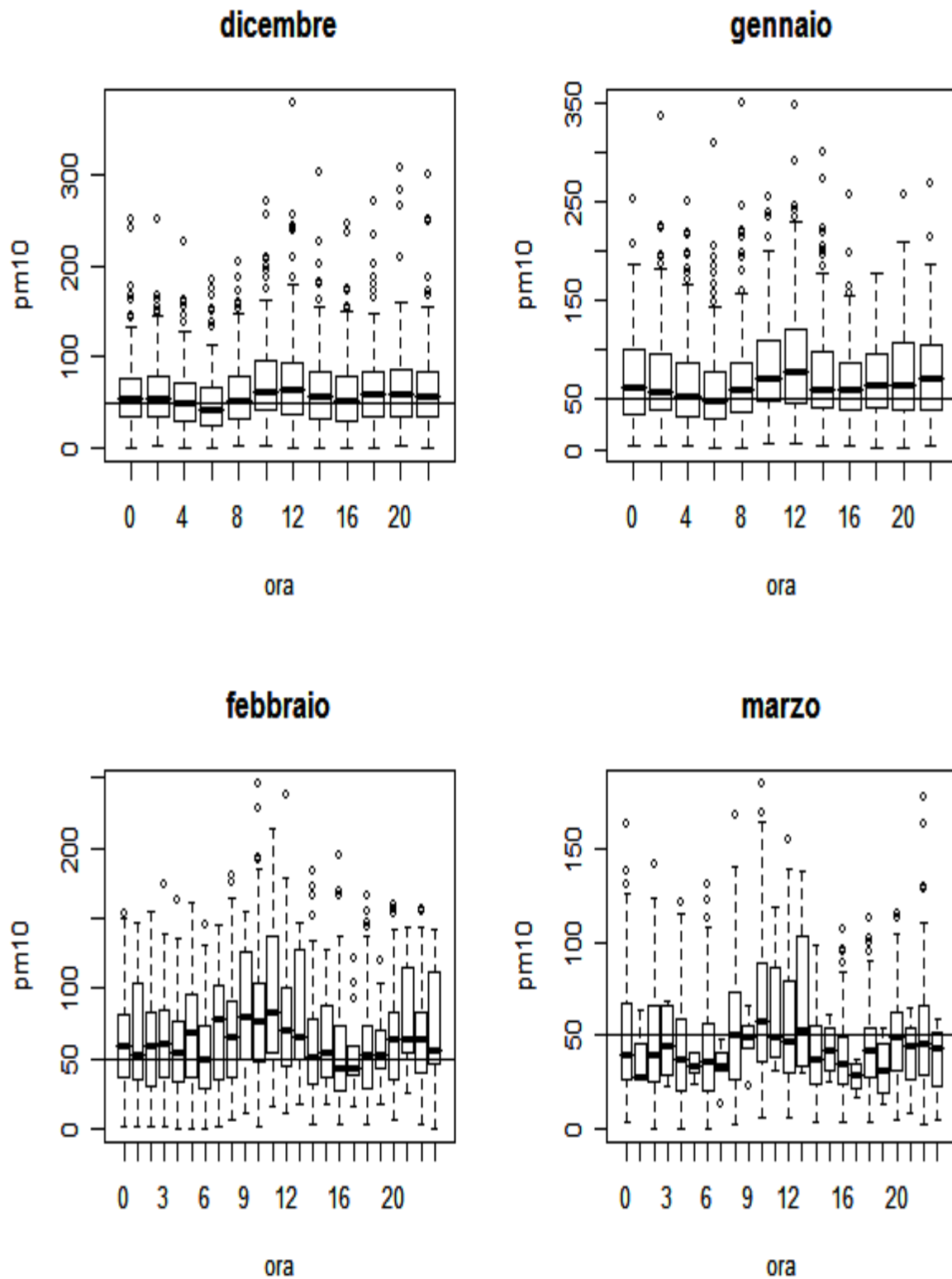


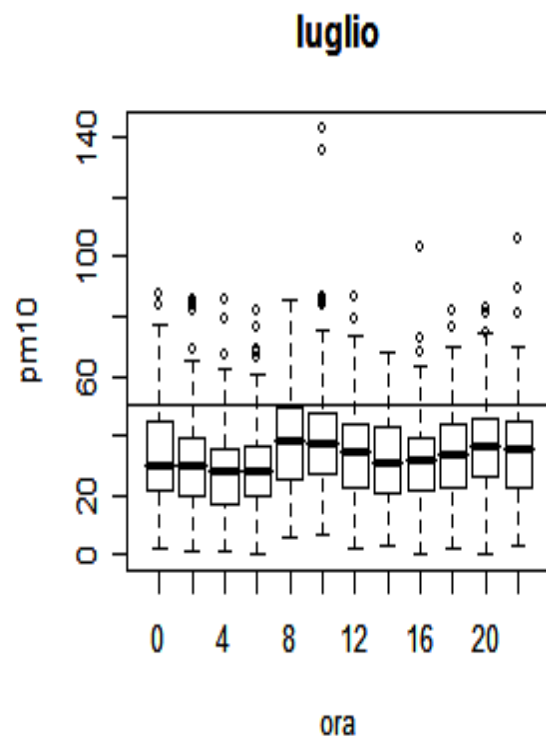
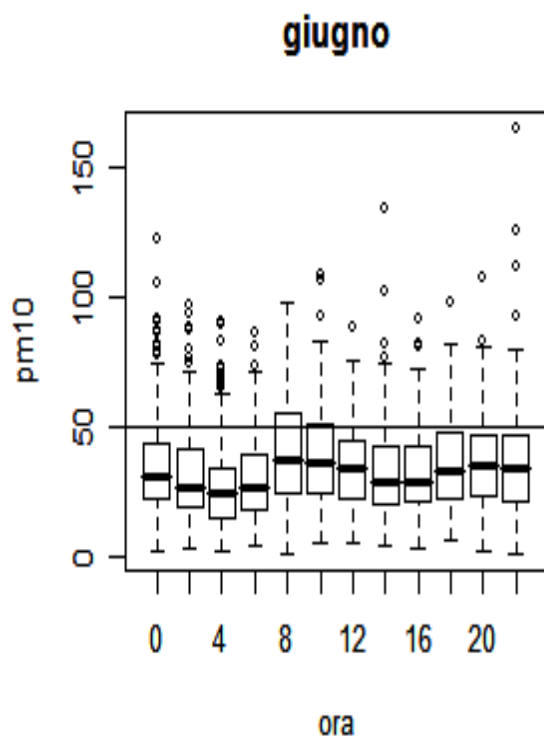
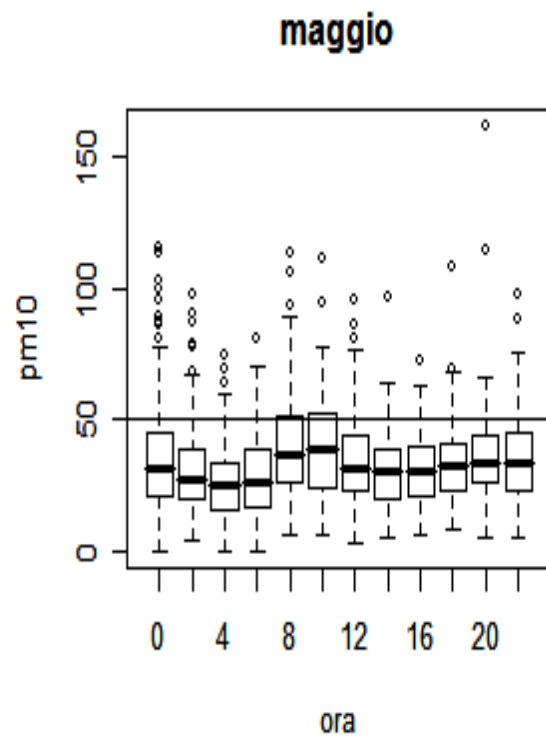
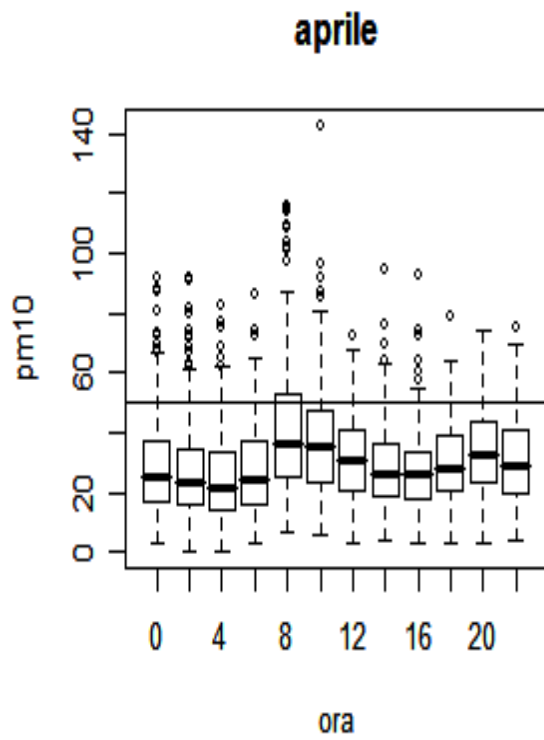




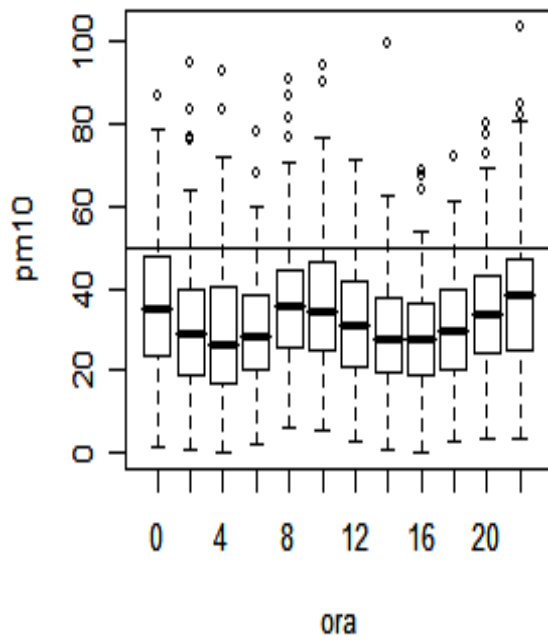


### Andamento giornaliero delle polveri sottili PM10 (1998-2003)

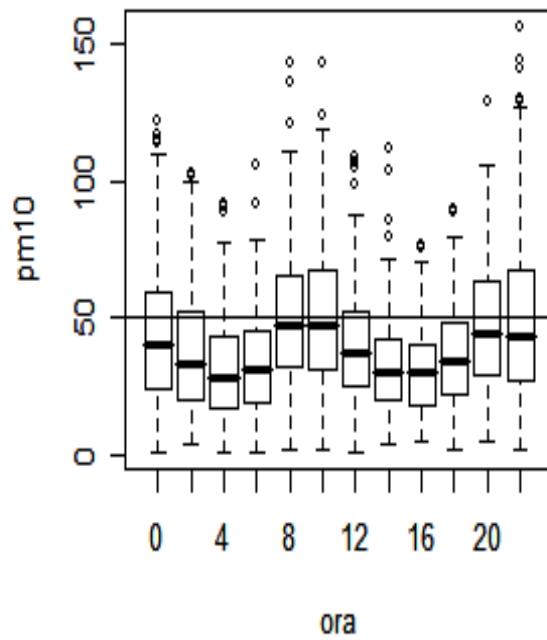




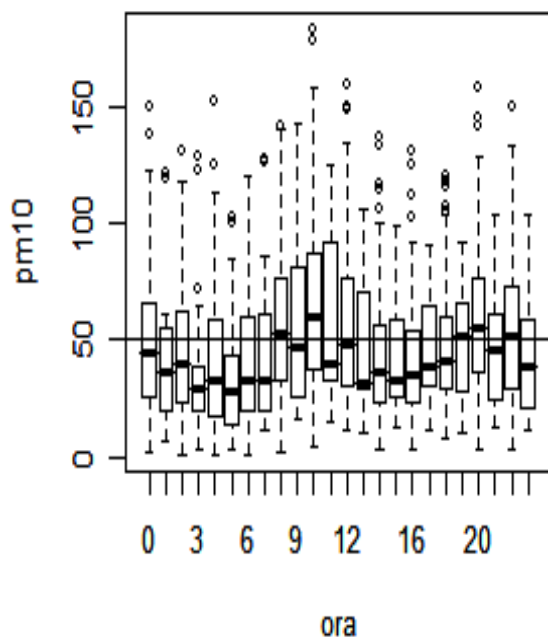
**agosto**



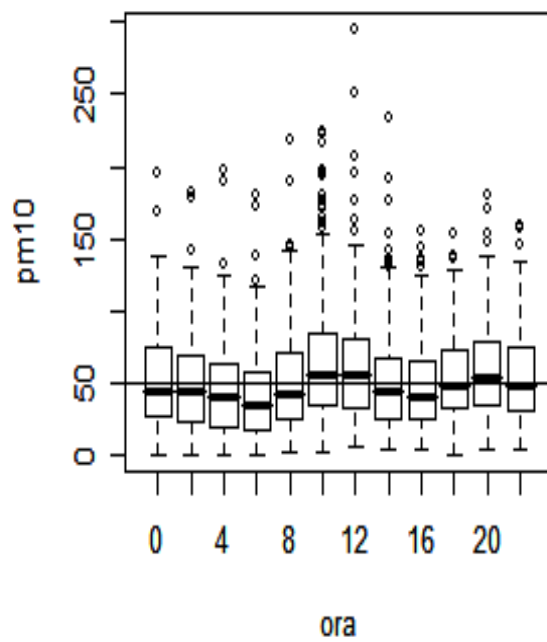
**settembre**



**ottobre**

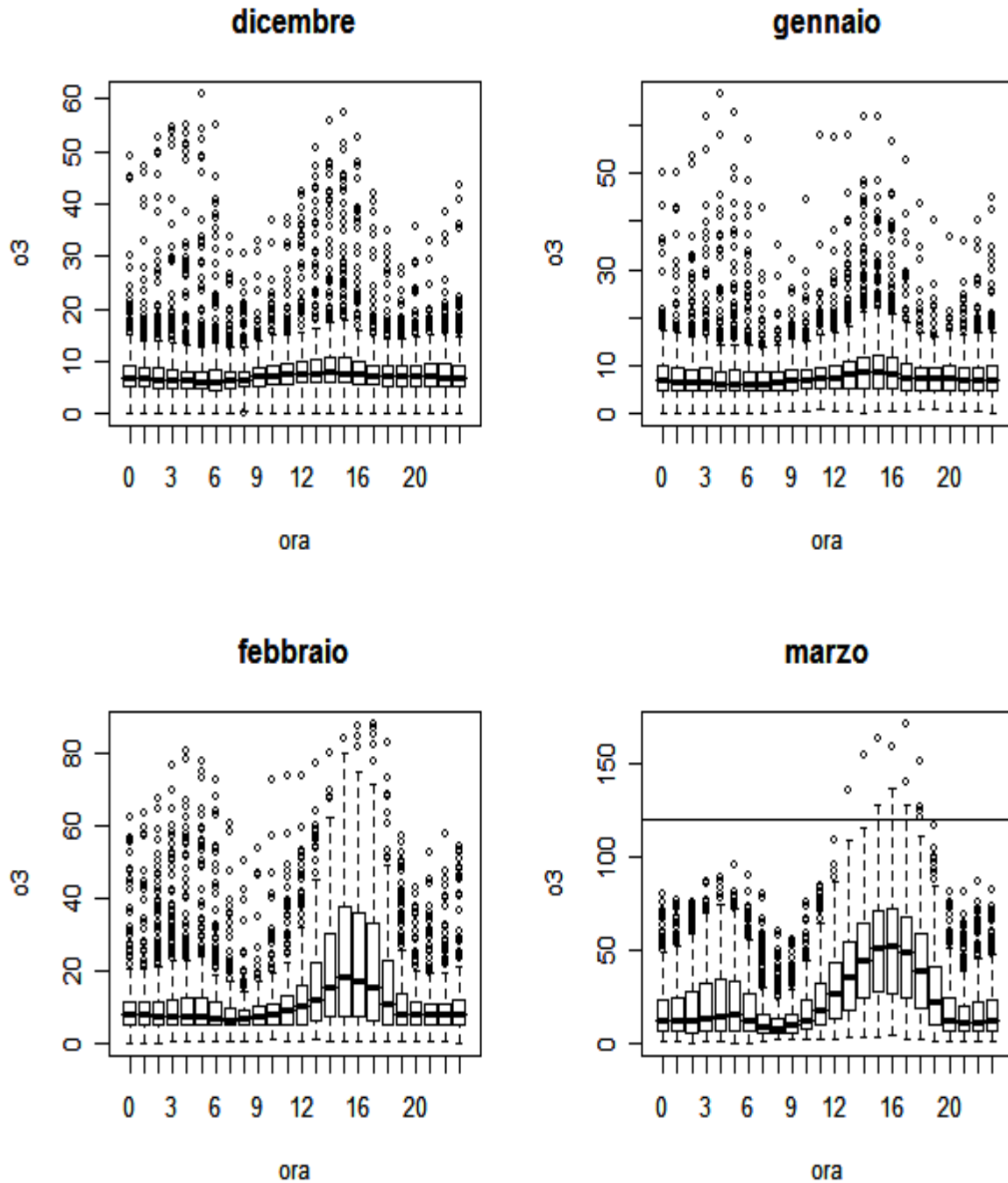


**novembre**

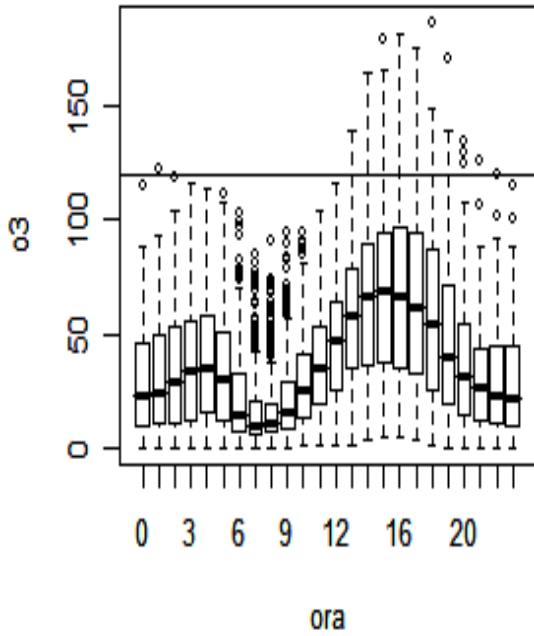


### Andamento giornaliero dell'ozono O<sub>3</sub> (1992-2003)

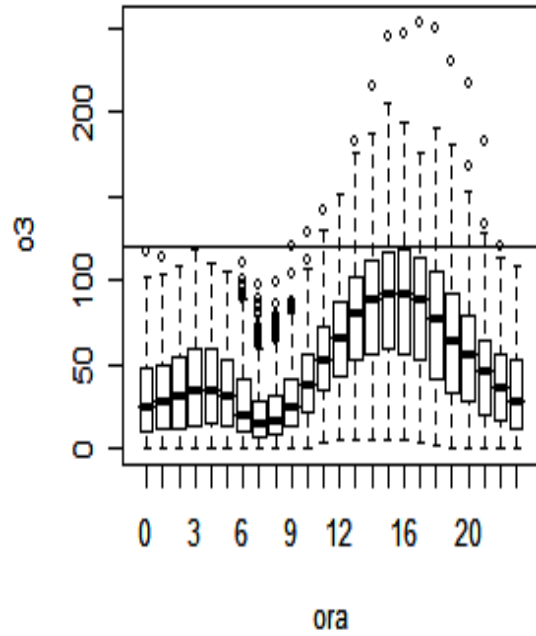
Si nota l'andamento fortemente stagionale, legato all'irraggiamento solare: i picchi giornalieri sono nelle ore più calde del giorno piuttosto che alle ore di punta del traffico. I massimi si raggiungono nei mesi estivi. L'andamento è totalmente diverso rispetto agli altri inquinanti.



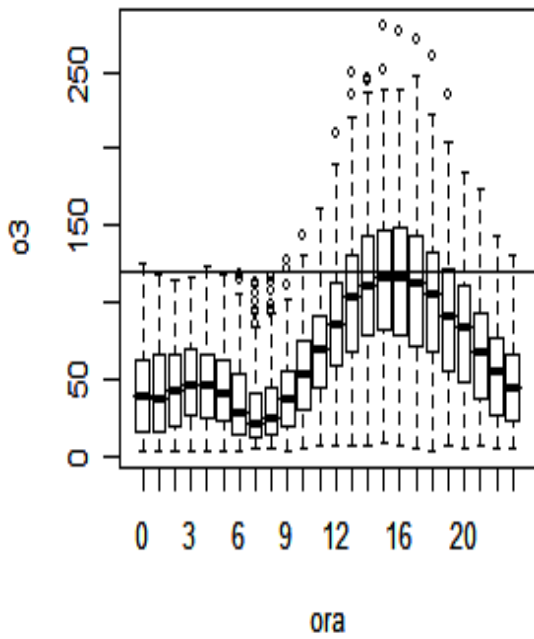
**aprile**



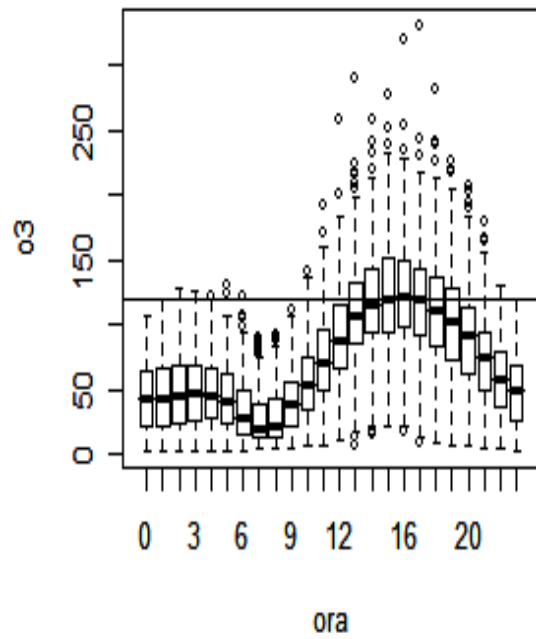
**maggio**



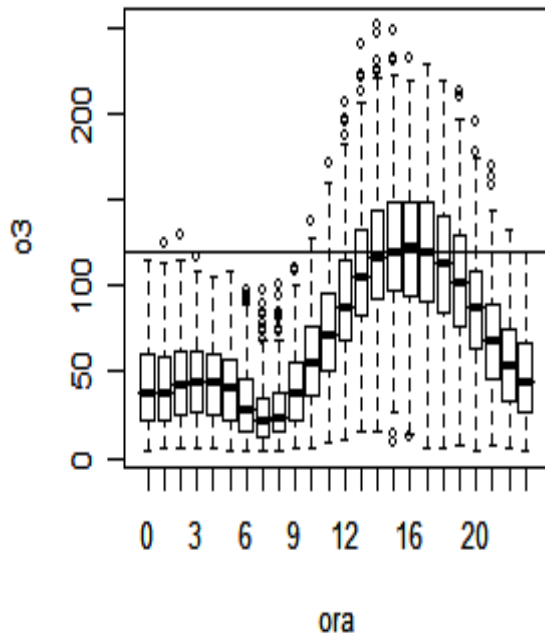
**giugno**



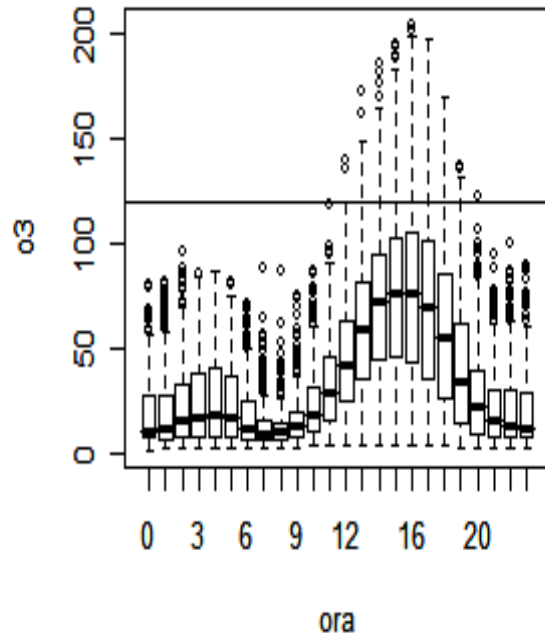
**luglio**



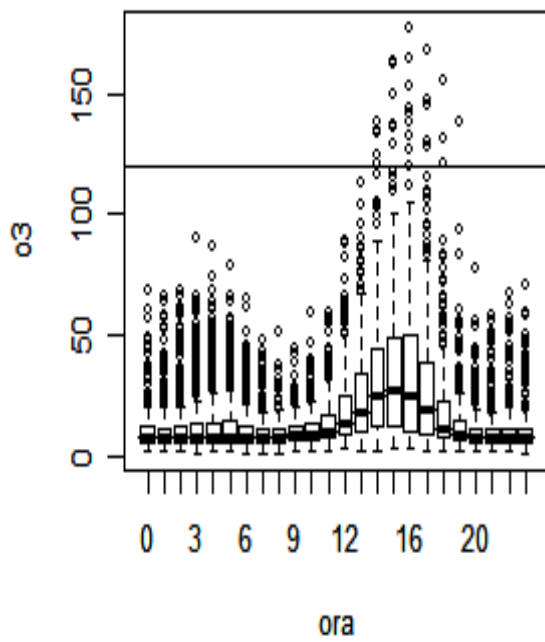
**agosto**



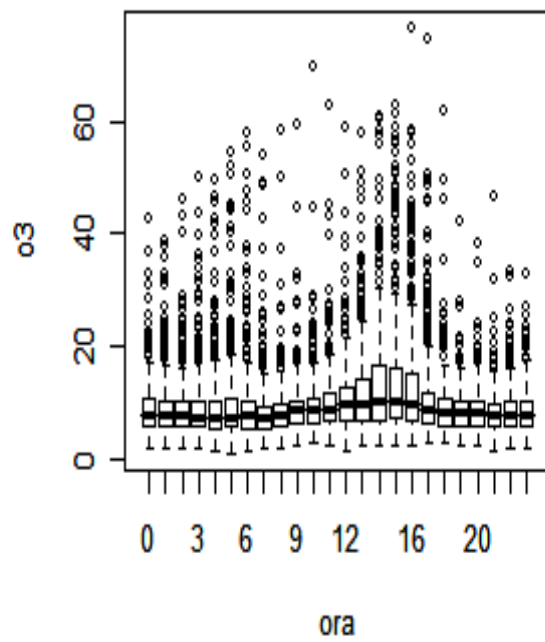
**settembre**



**ottobre**

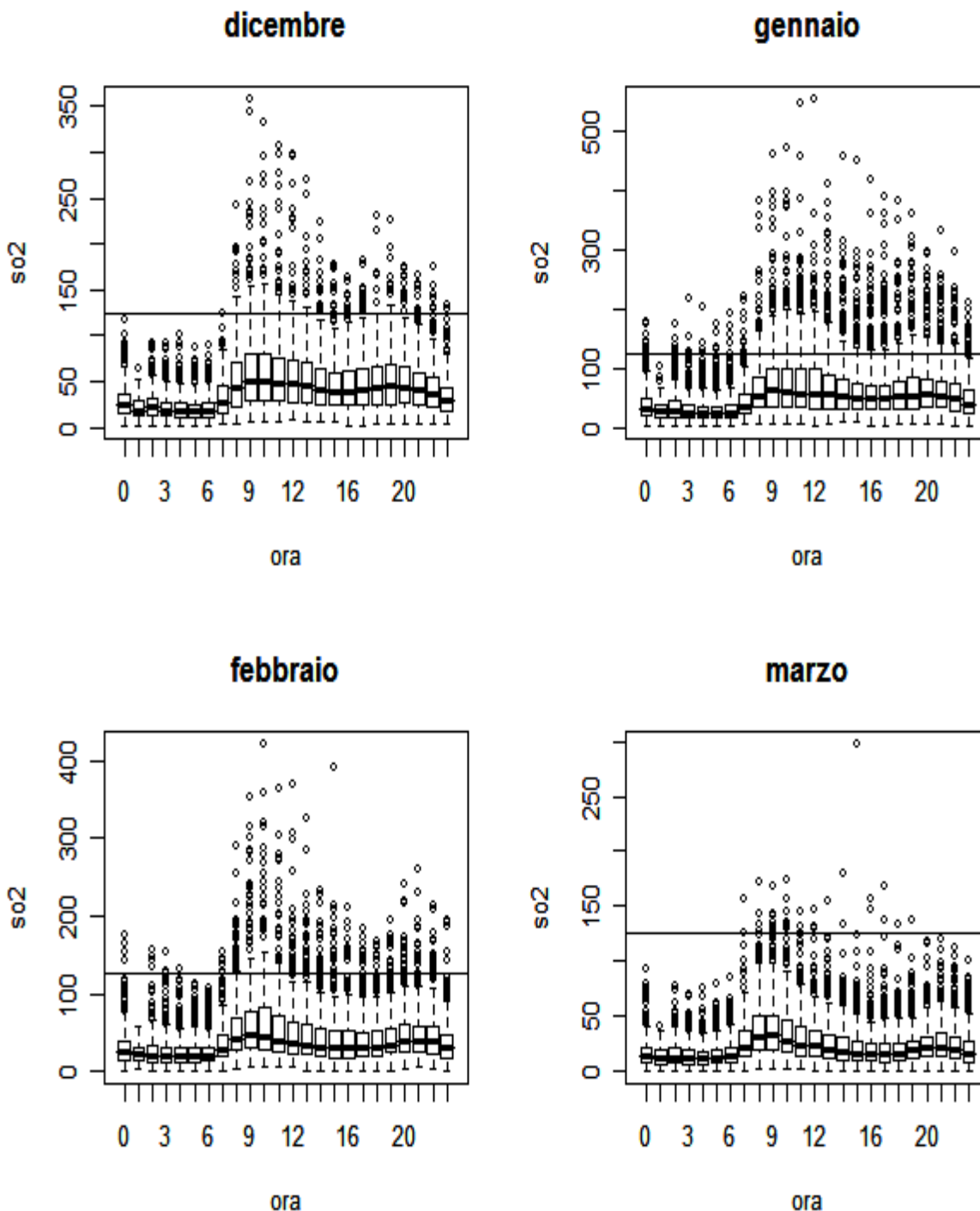


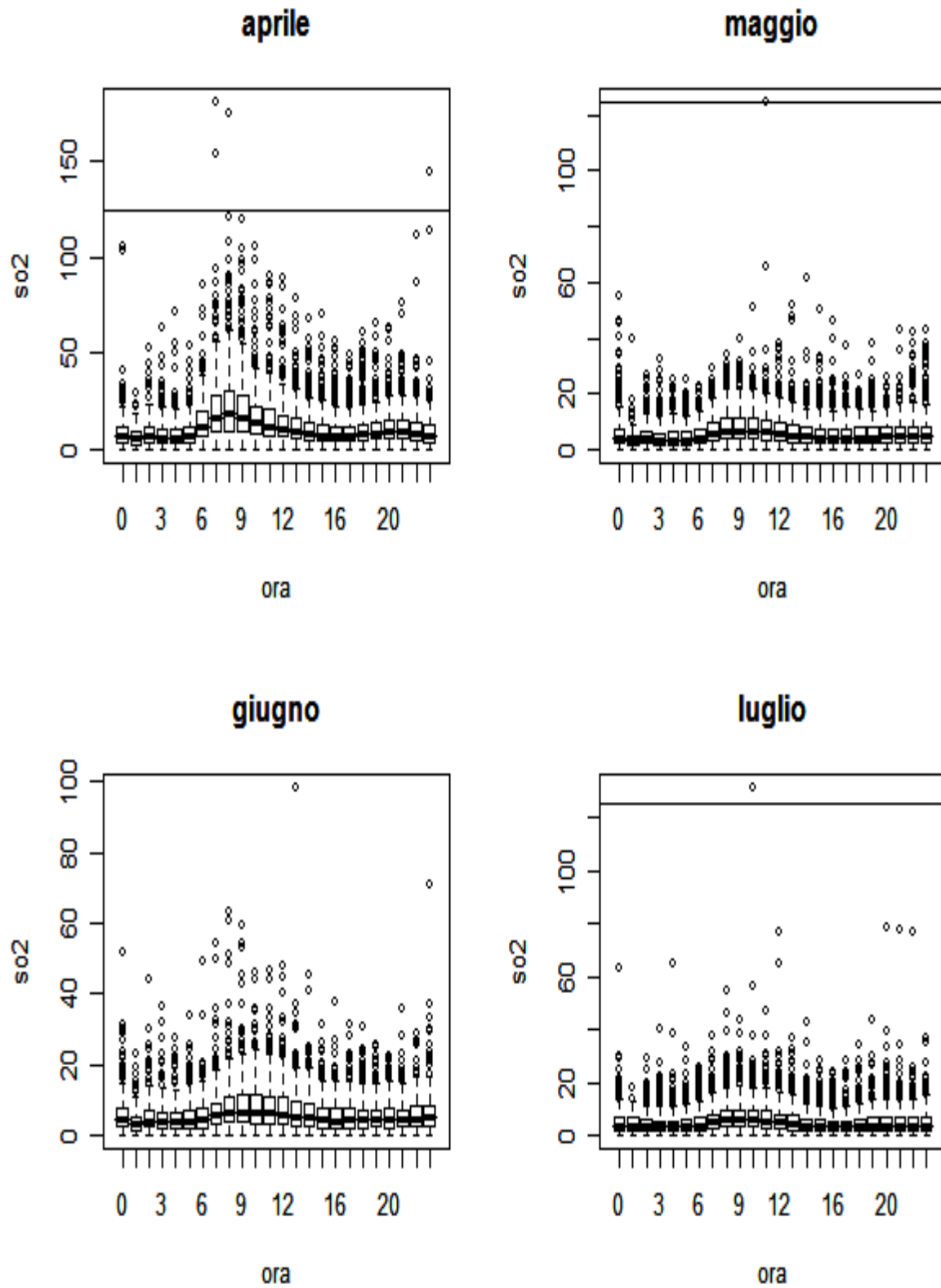
**novembre**



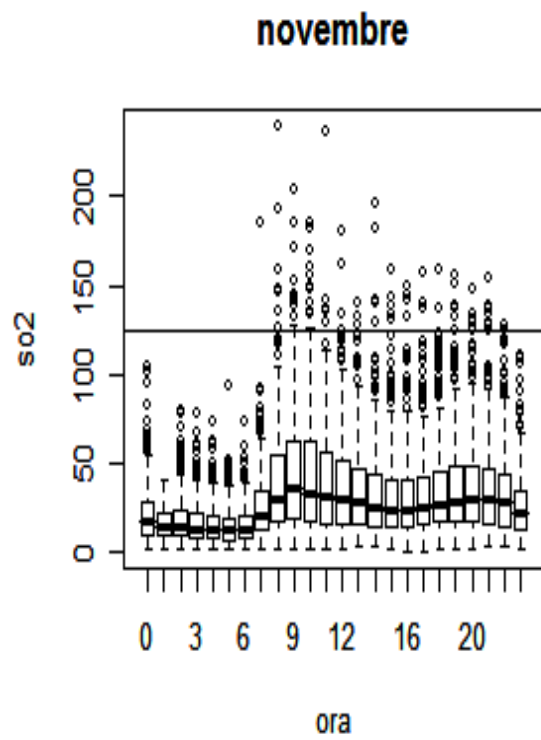
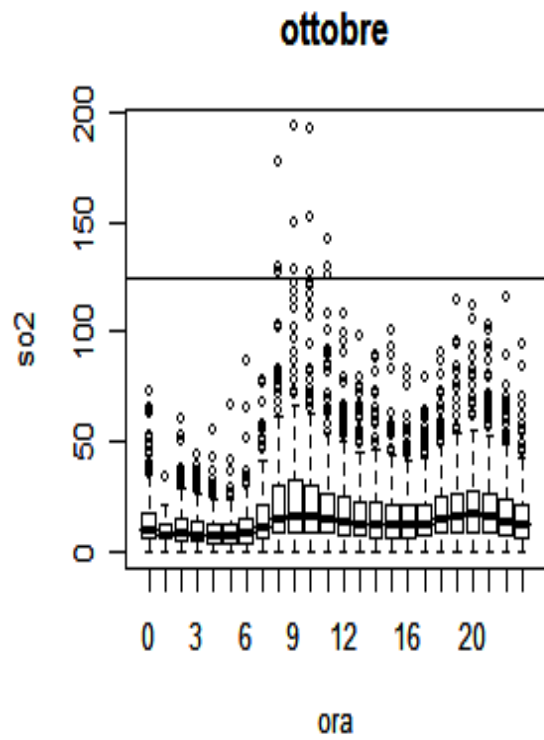
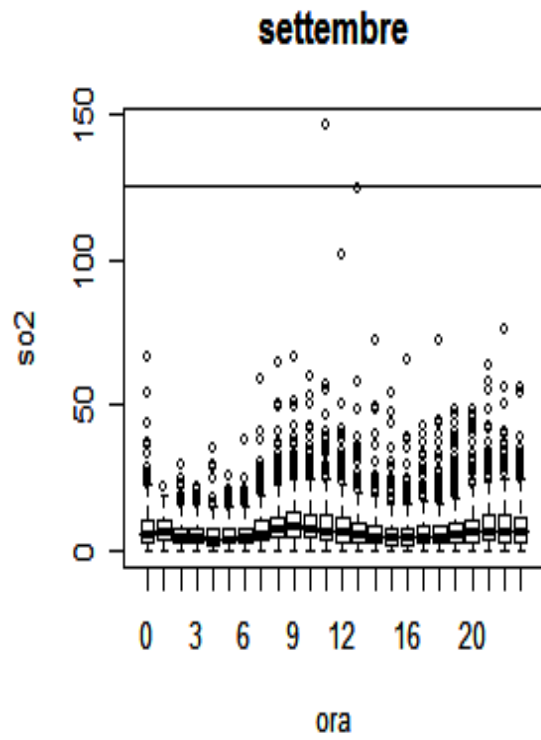
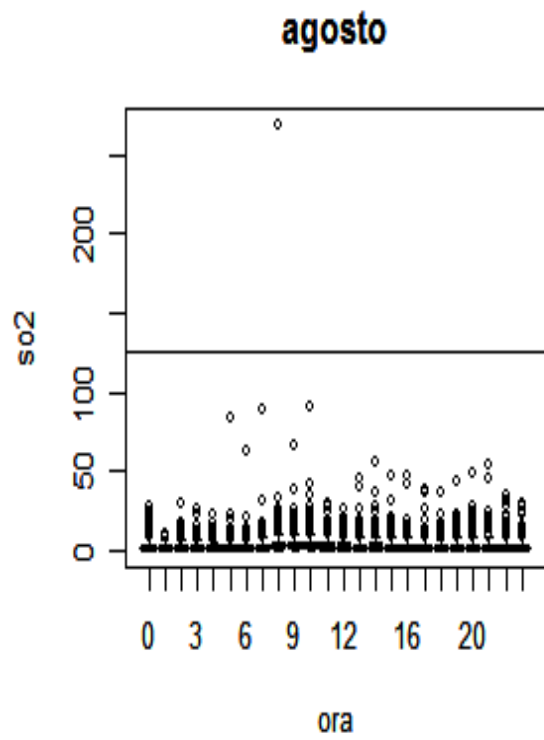
### Andamento giornaliero del biossido di zolfo SO<sub>2</sub> (1992-2003)

L'andamento di questo inquinante è legato alle ore di punta del traffico mattutino e mantiene un livello pressoché costante fino alle ore serali. I massimi si hanno per i mesi invernali perché è prodotto soprattutto da impianti di riscaldamento e traffico veicolare.



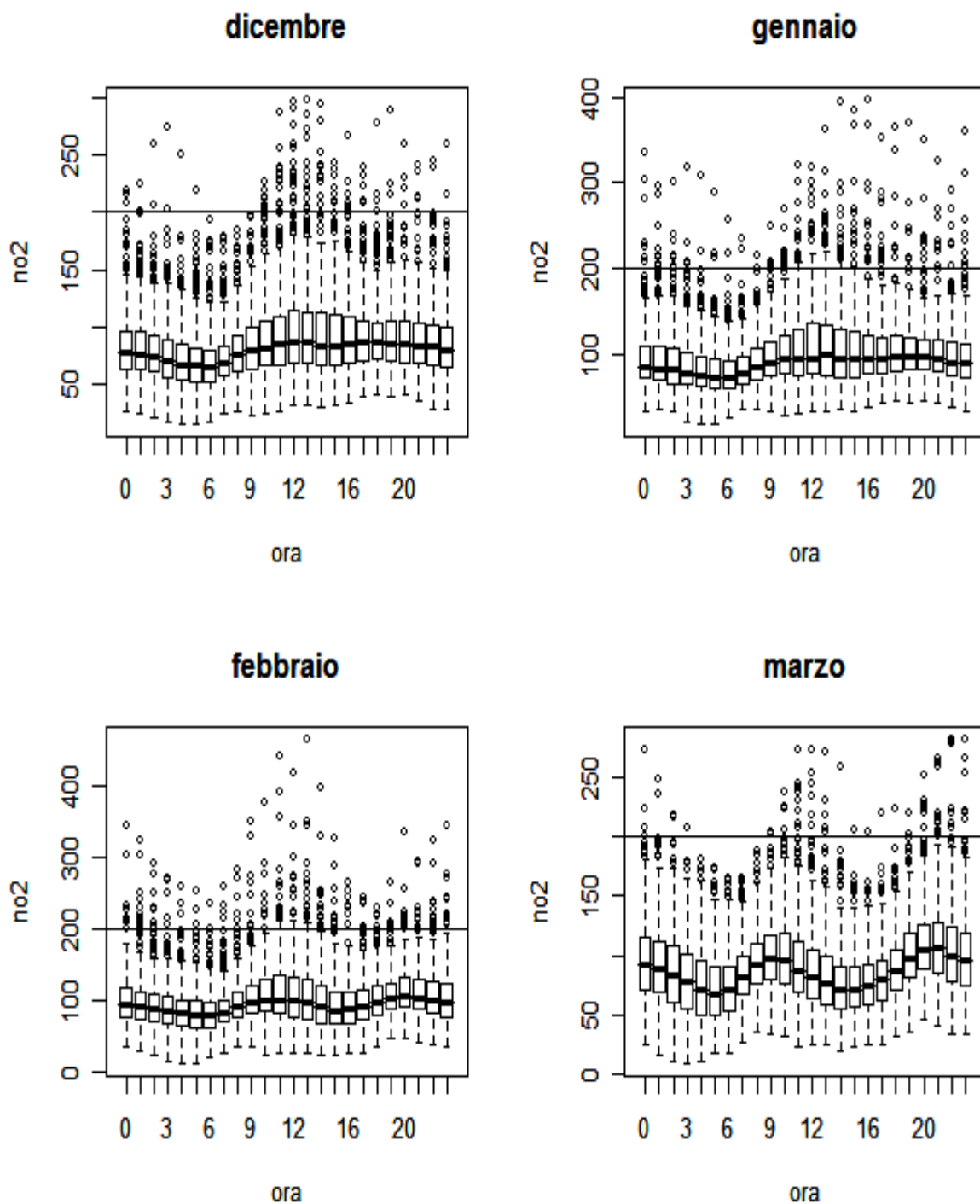


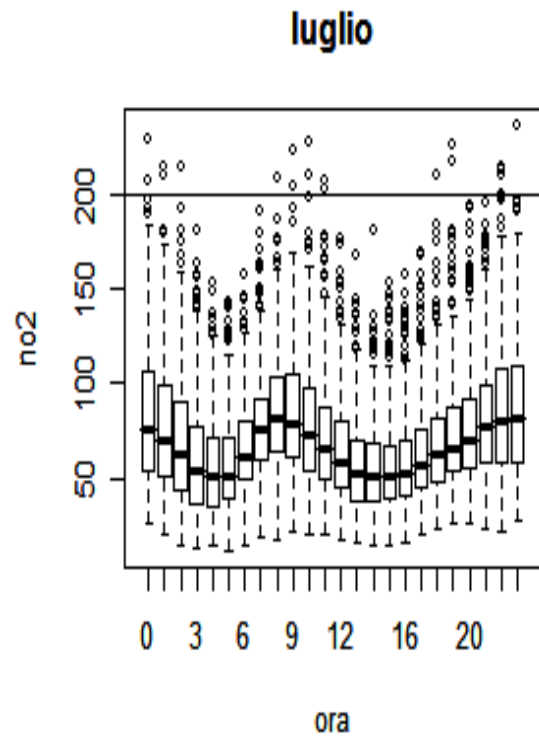
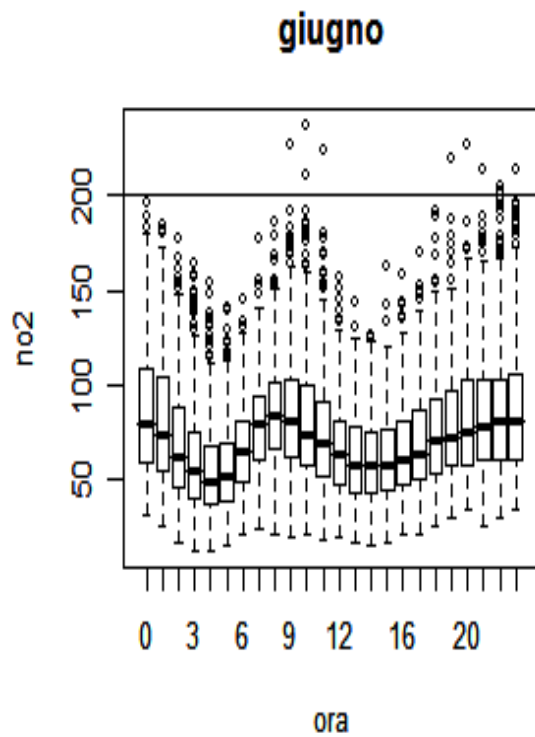
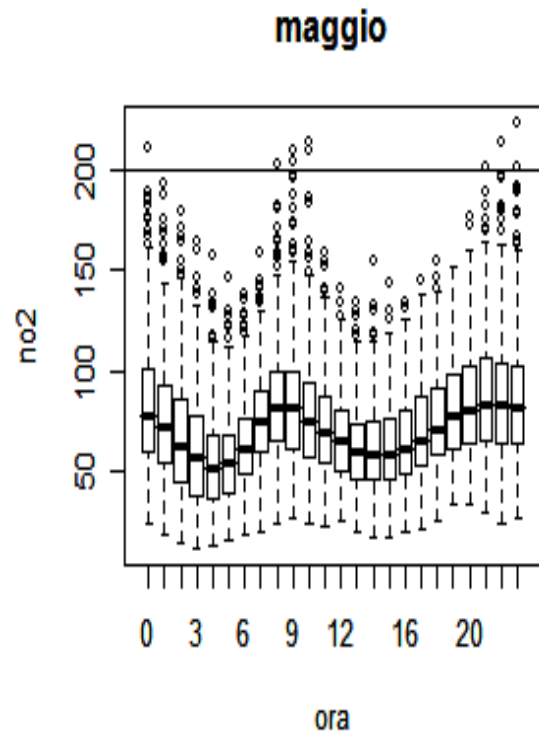
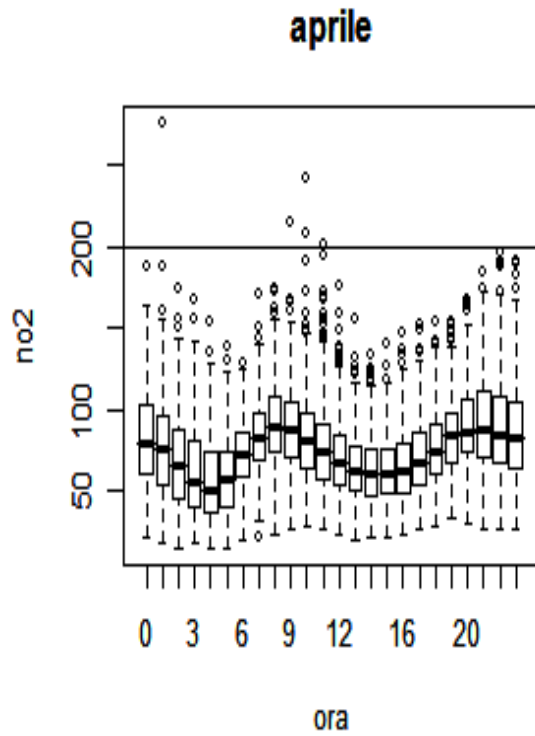


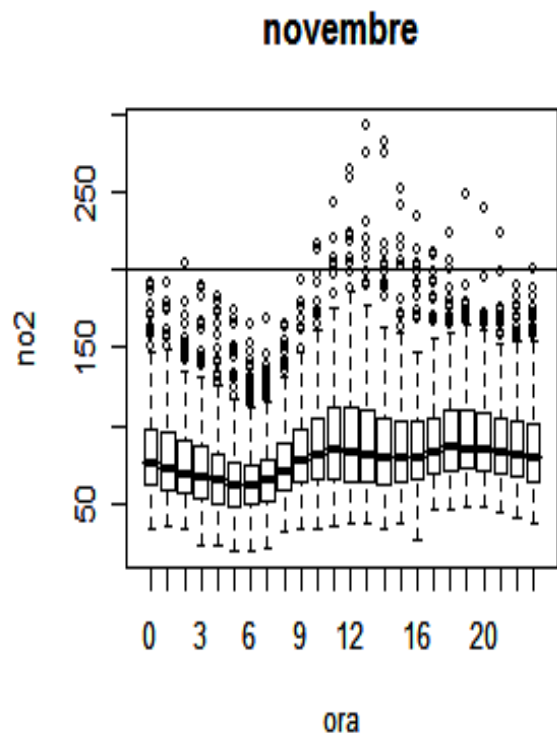
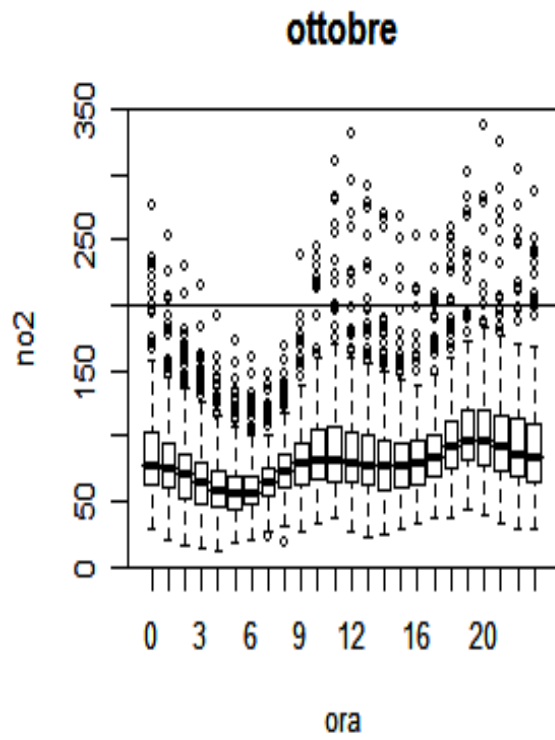
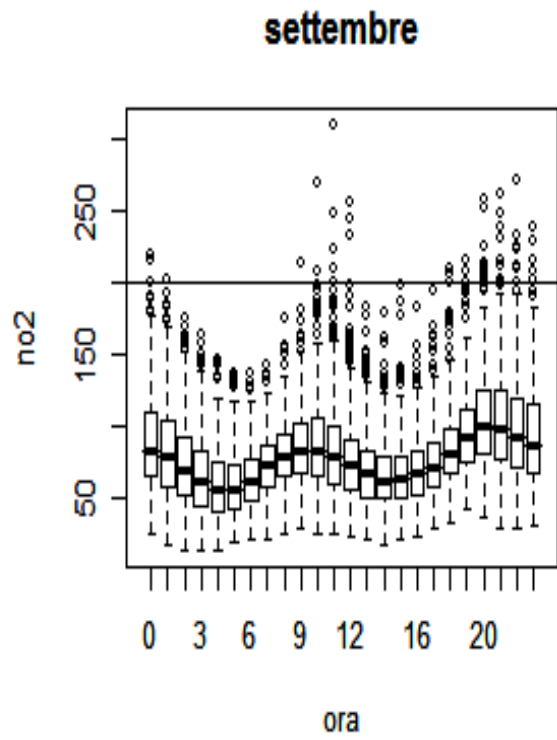
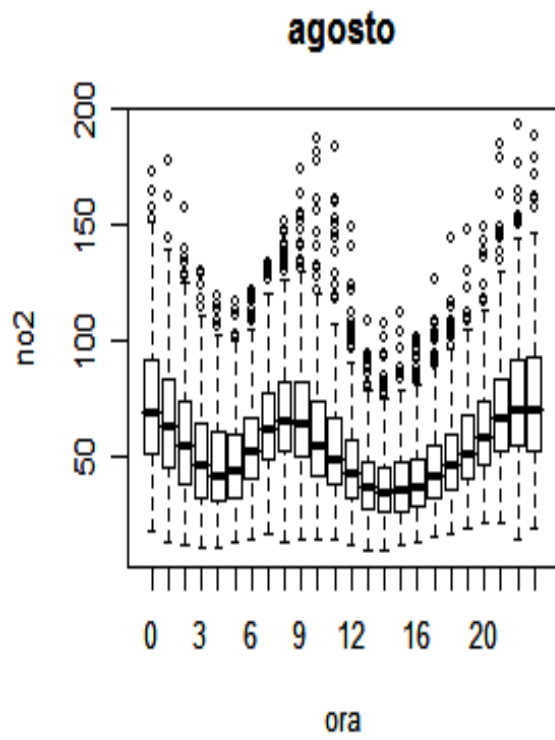


### Andamento giornaliero del biossido di azoto NO<sub>2</sub> (1992-2003)

Questo inquinante presenta essenzialmente lo stesso andamento giornaliero per tutti i mesi dell'anno con due picchi nelle ore di punta del traffico e si nota un leggero incremento di livello nei mesi invernali.

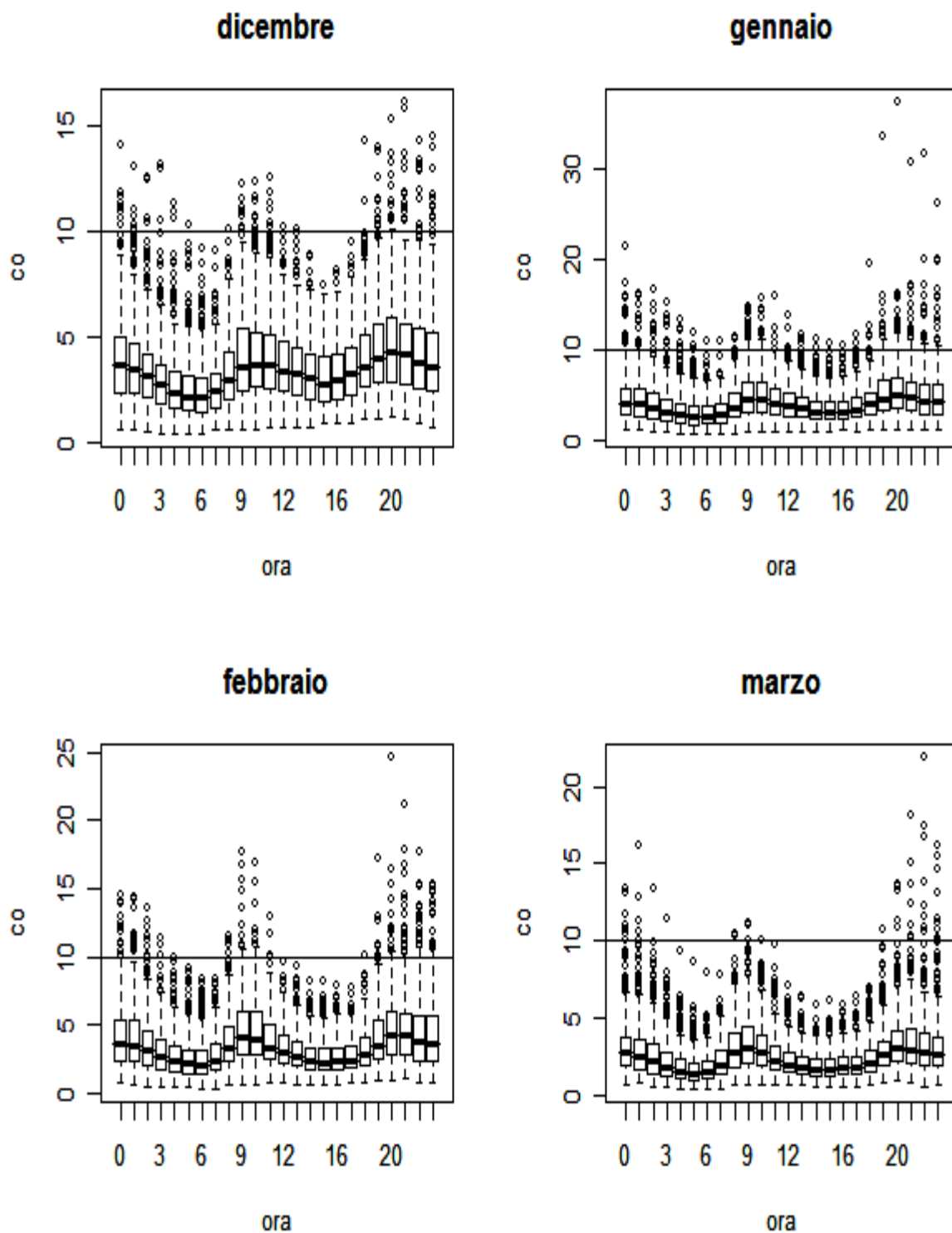




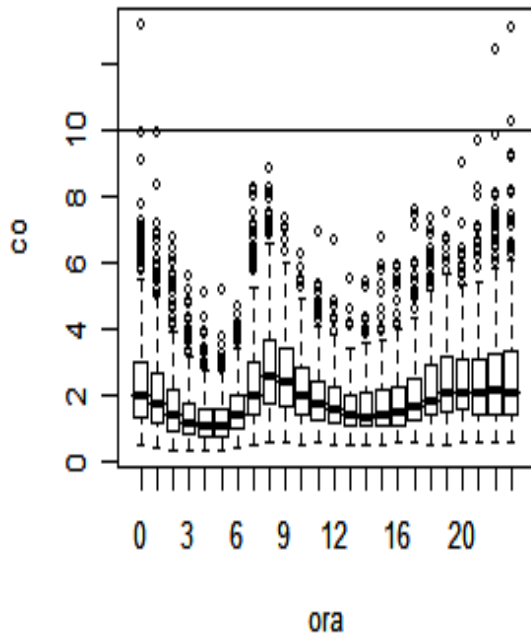


### Andamento giornaliero del monossido di carbonio CO (1992-2003)

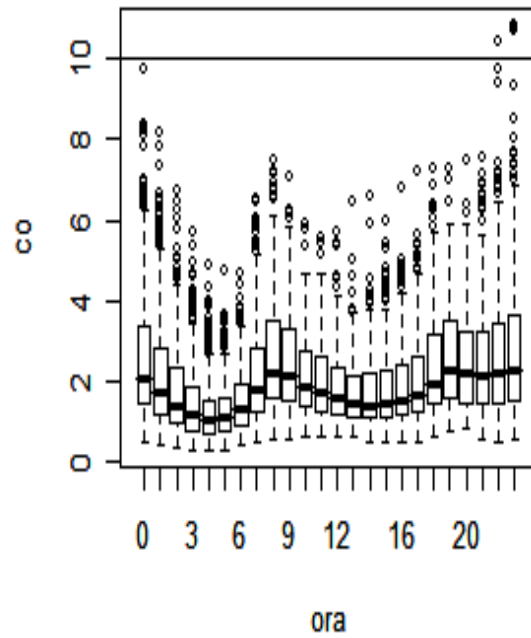
Andamenti giornalieri con picchi legati alle ore di punta del traffico mattutino e serale, mantiene un livello alto anche nelle ore notturne.



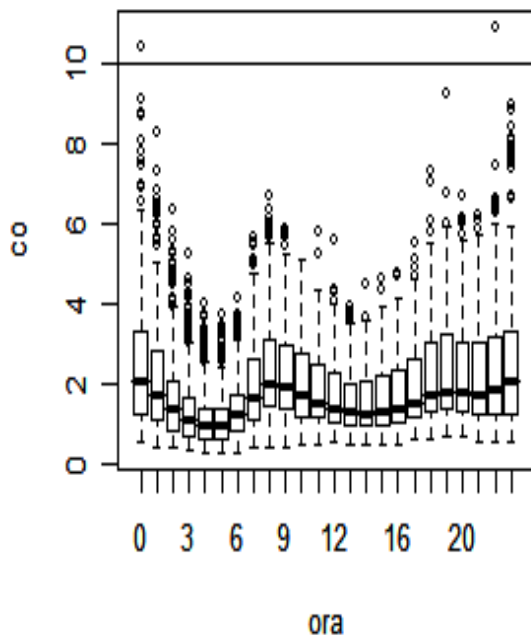
**aprile**



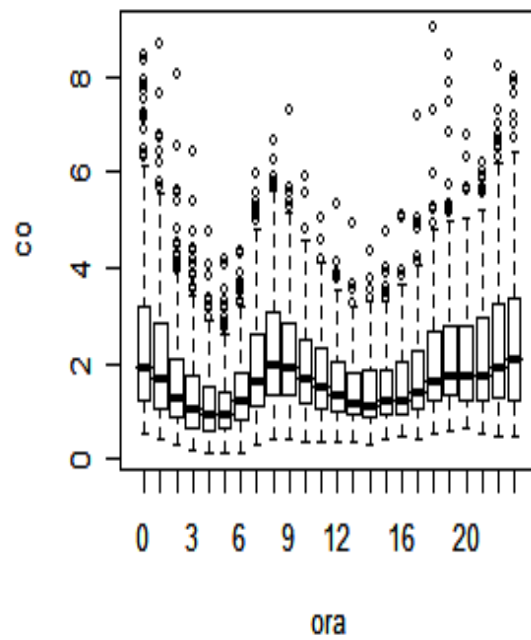
**maggio**



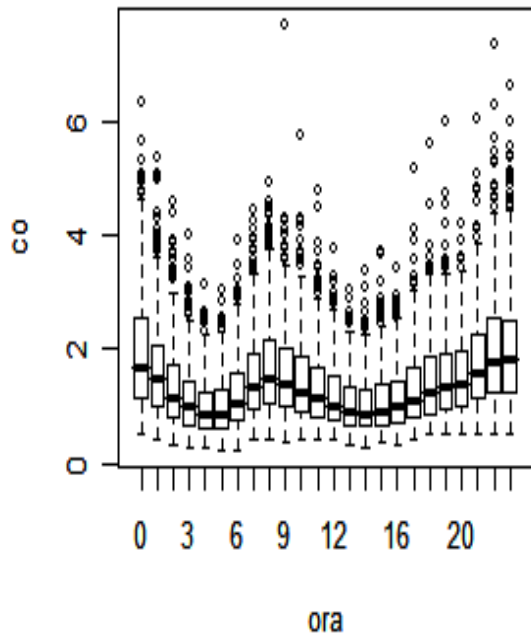
**giugno**



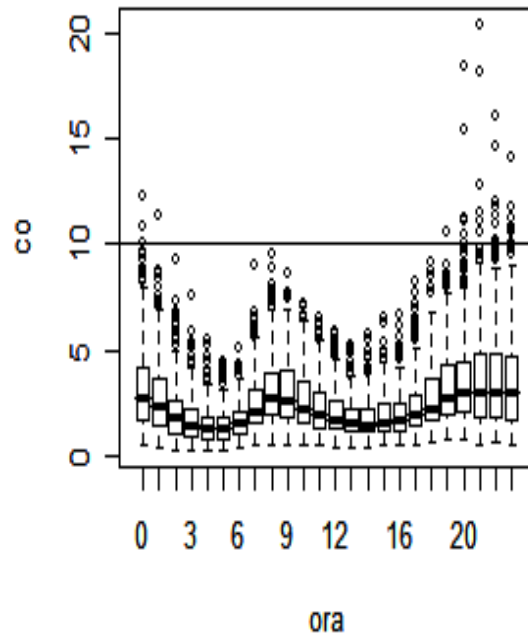
**luglio**



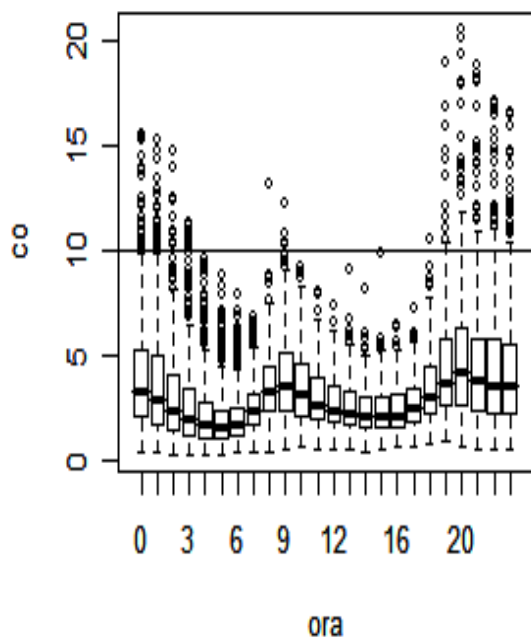
**agosto**



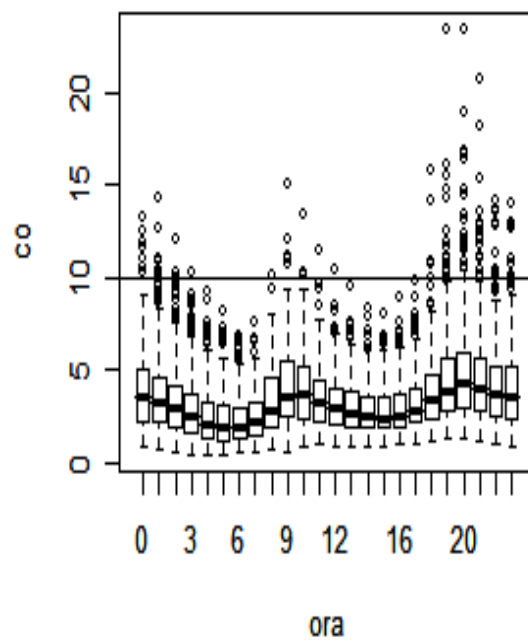
**settembre**



**ottobre**

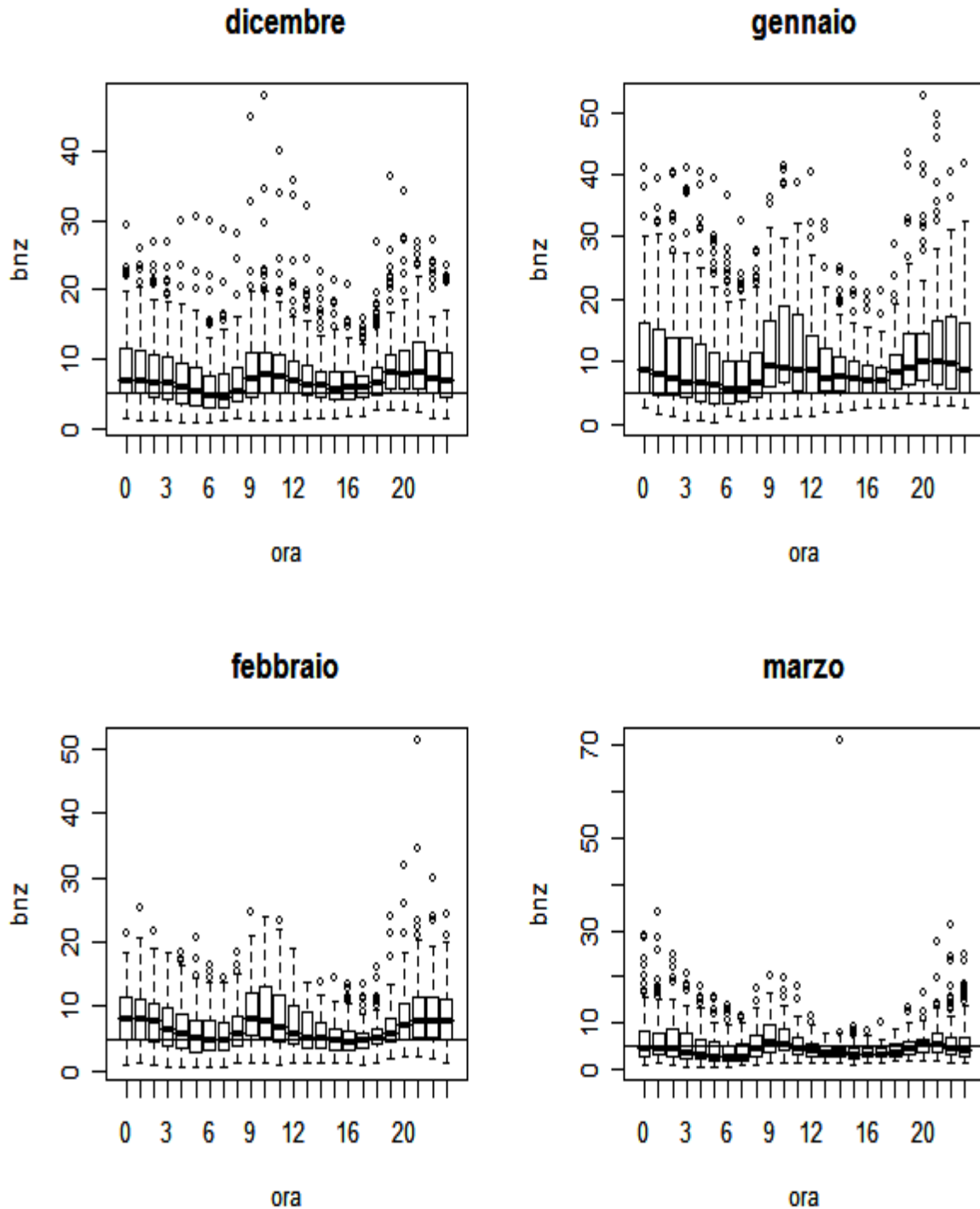


**novembre**



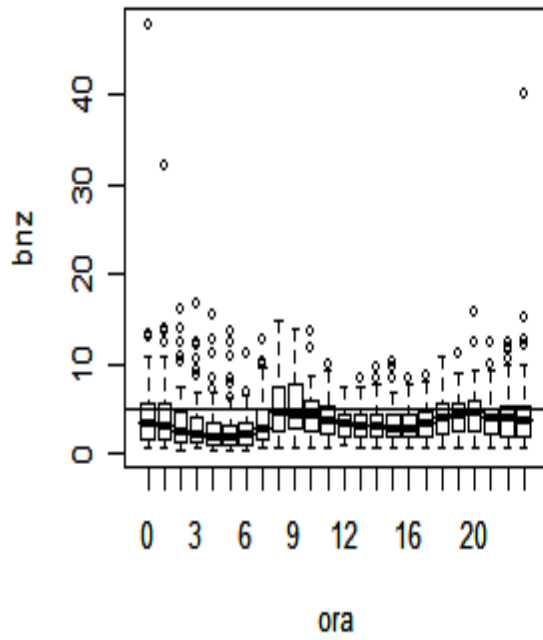
### Andamento giornaliero del benzene C<sub>6</sub>H<sub>6</sub> (2000-2003)

Si nota come l'andamento del benzene sia legato alle ore di punta del traffico mattutino e mantiene un livello pressoché costante fino alle ore serali. I massimi si hanno per i mesi invernali in quanto è legato a temperature fredde, presenza di traffico e stagnazione dell'aria.

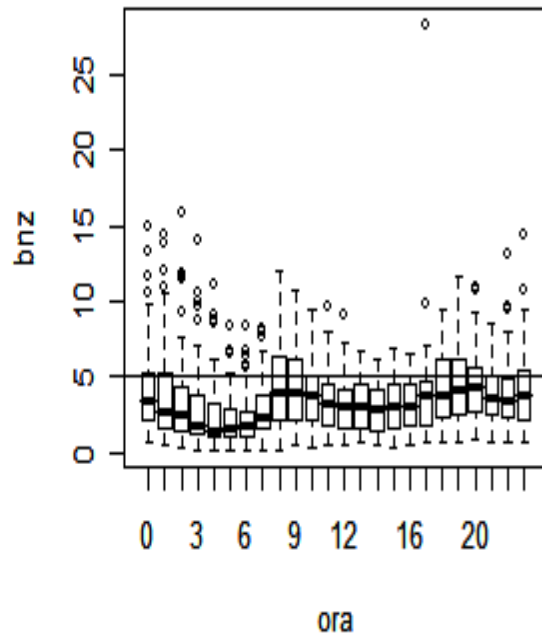




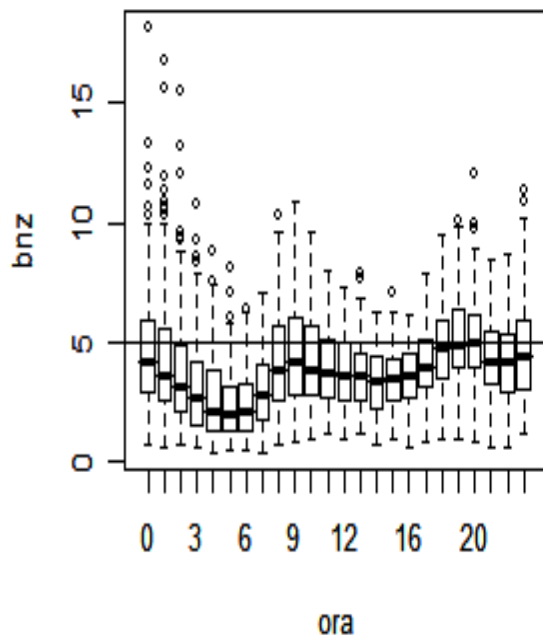
**aprile**



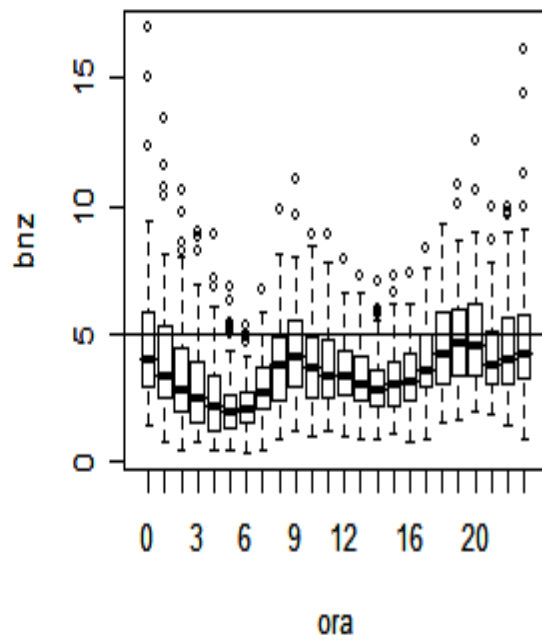
**maggio**



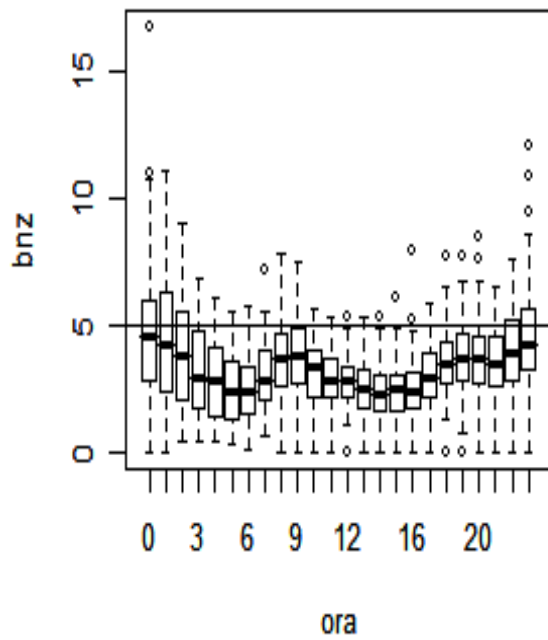
**giugno**



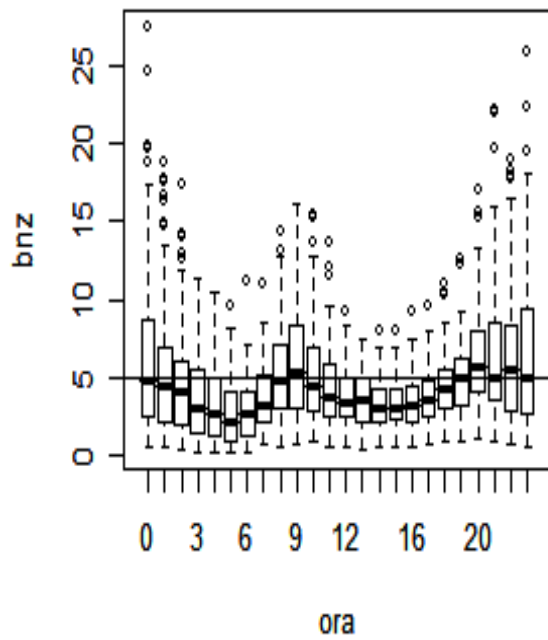
**luglio**



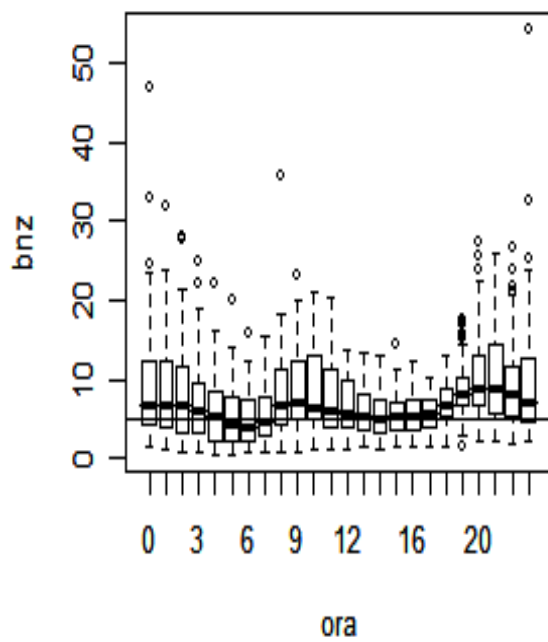
**agosto**



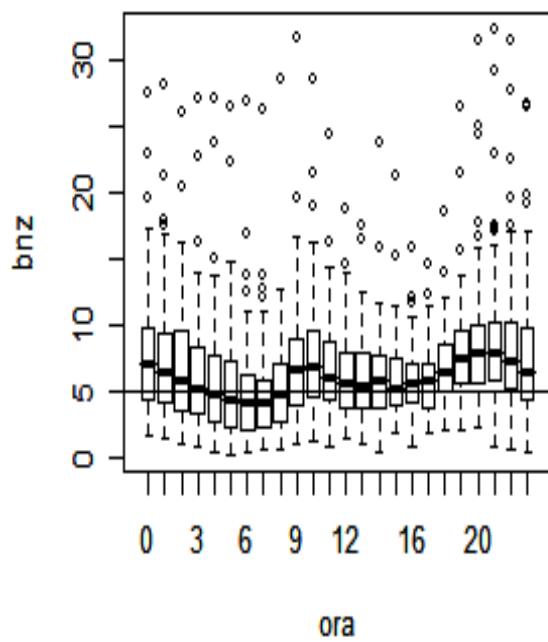
**settembre**



**ottobre**



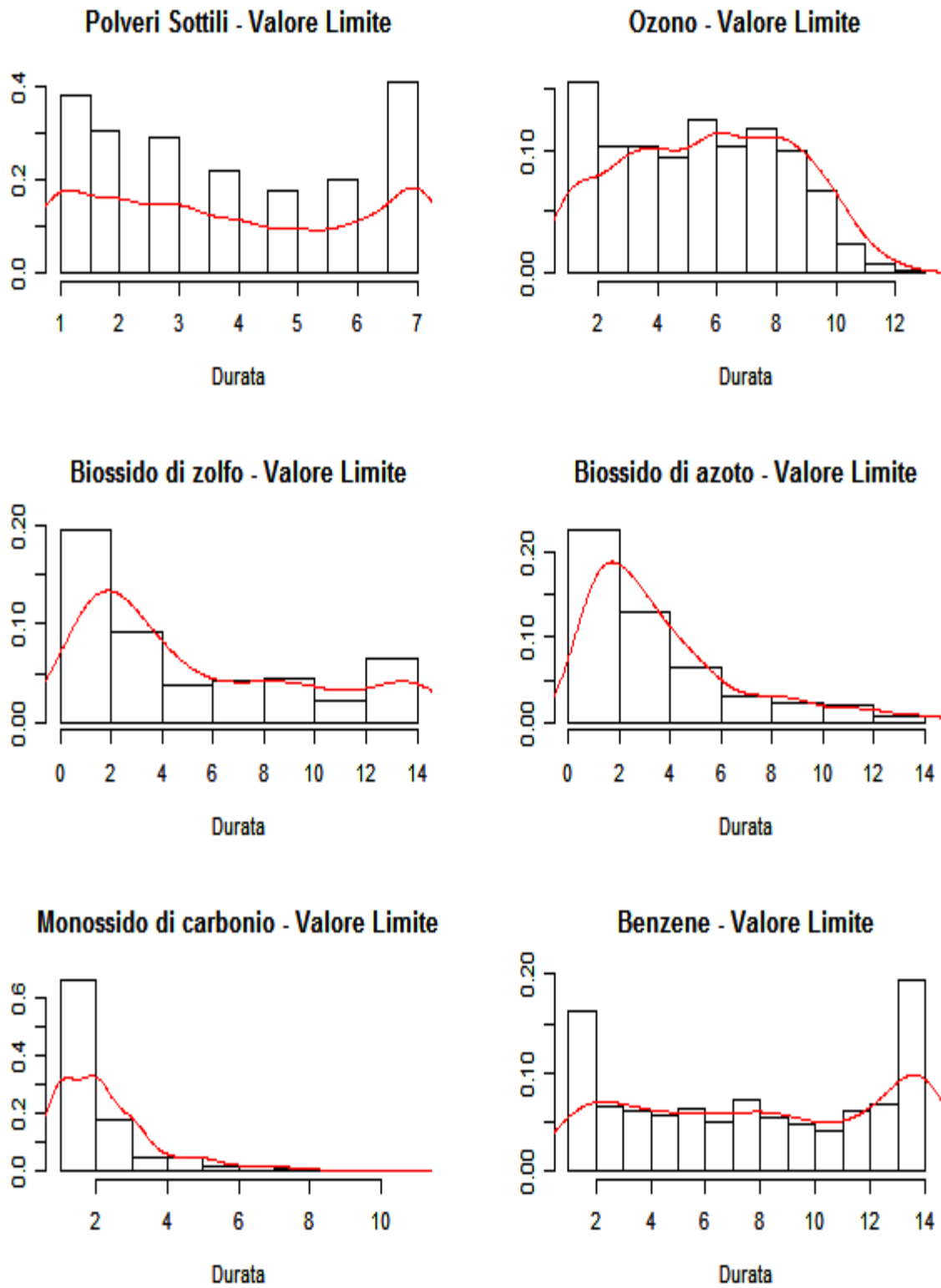
**novembre**



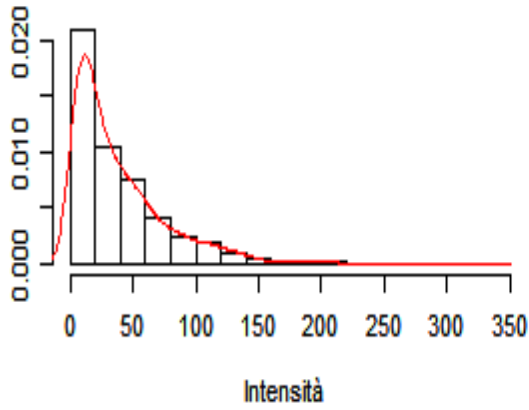
## **7 APPENDICE B: Analisi grafiche di Durata, Intensità, Media notturna**

Si presentano qui le stime non parametriche delle densità univariate della durata, dell'intensità e della media notturna per le tre soglie considerate.

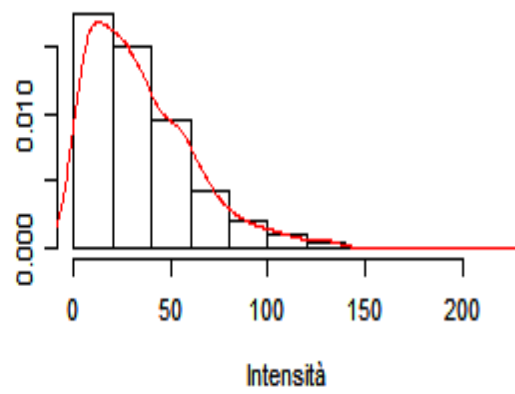
### Valori rispetto al limite di legge



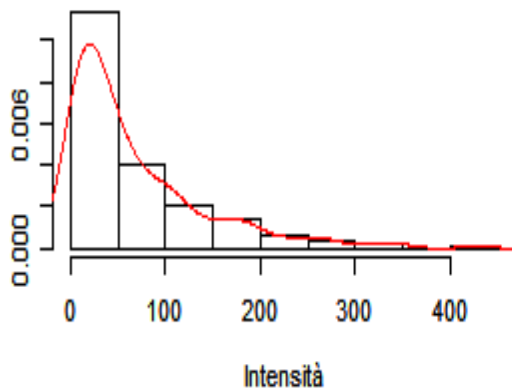
**Polveri Sottili - Valore Limite**



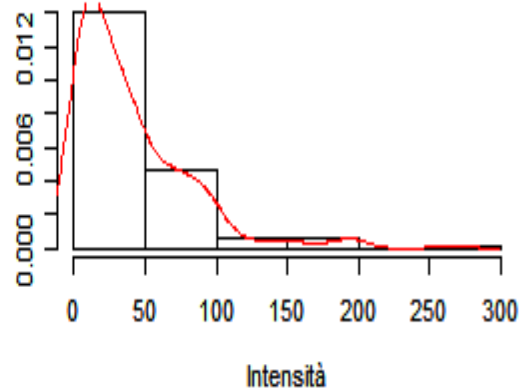
**Ozono - Valore Limite**



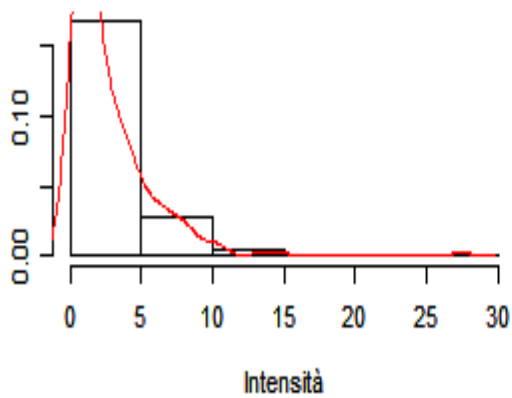
**Biossido di zolfo - Valore Limite**



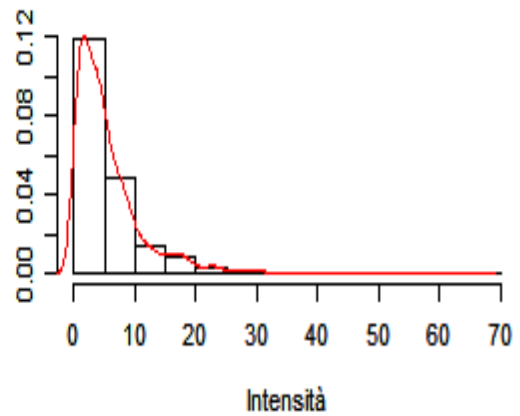
**Biossido di azoto - Valore Limite**

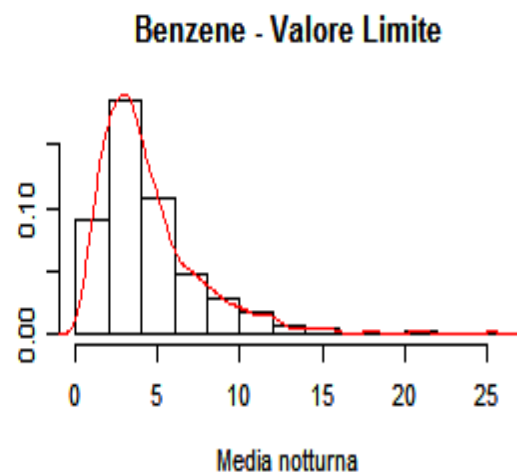
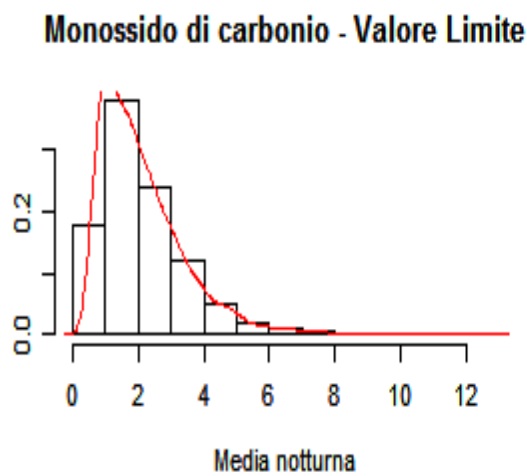
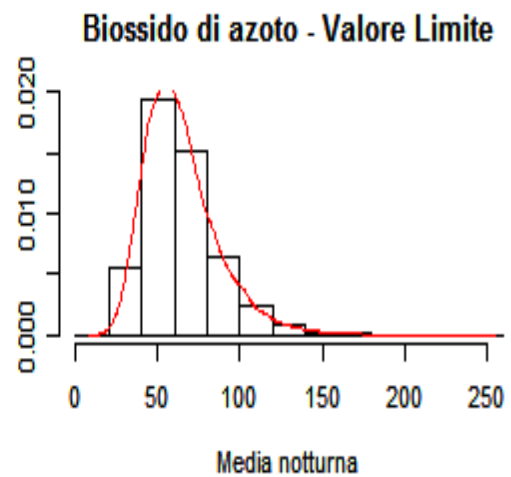
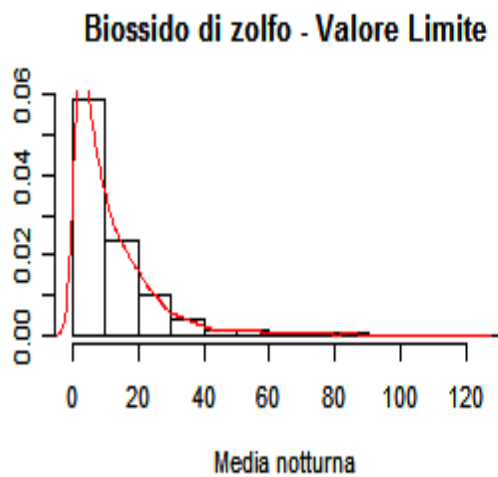
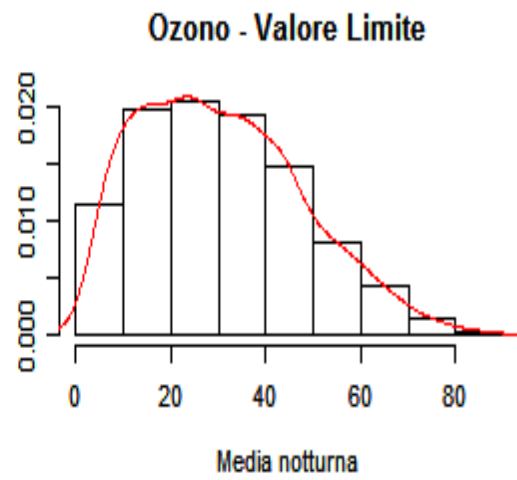
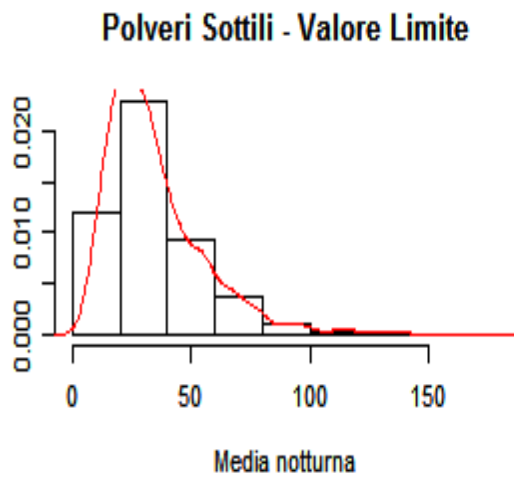


**Monossido di carbonio - Valore Limite**

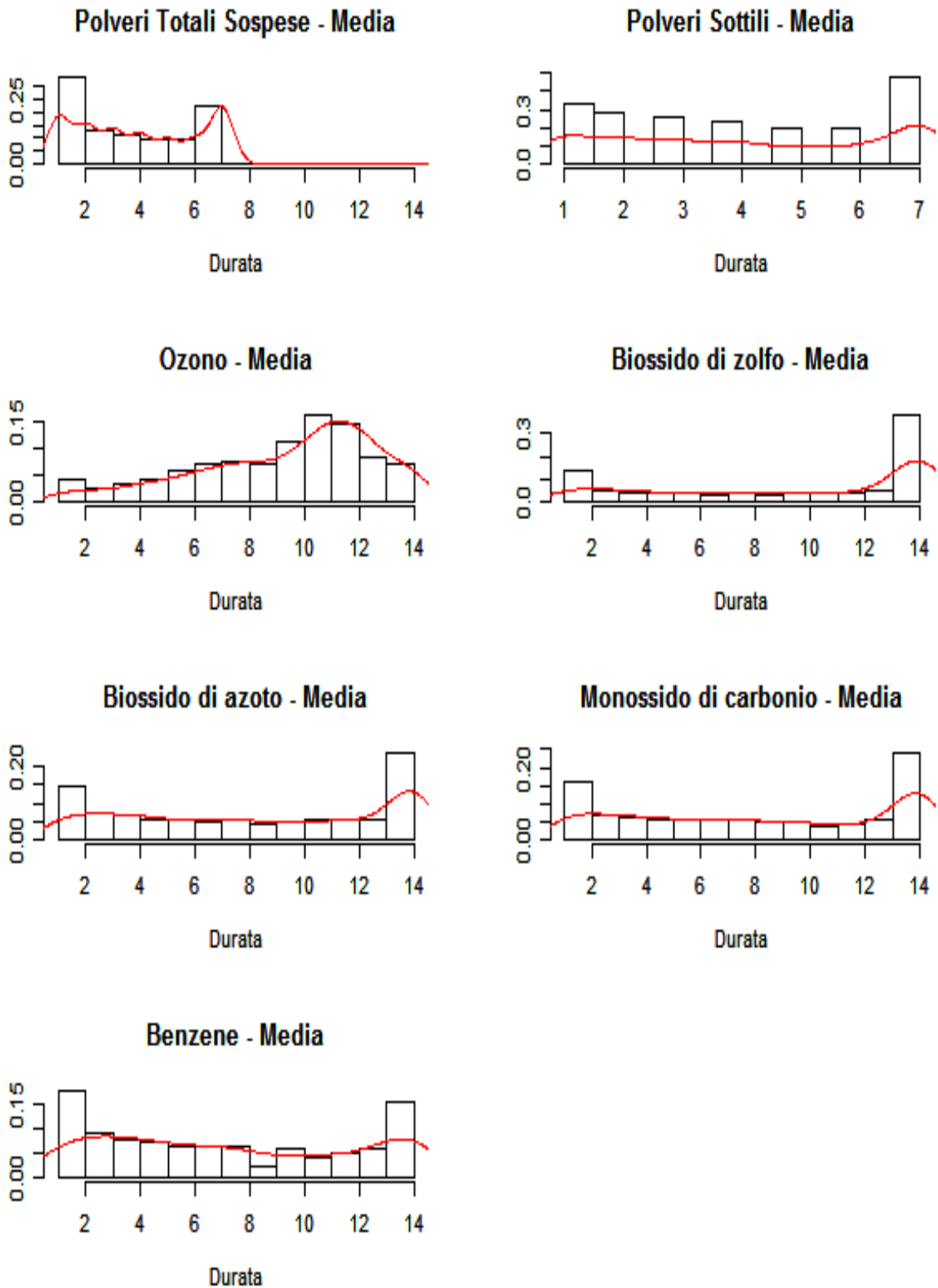


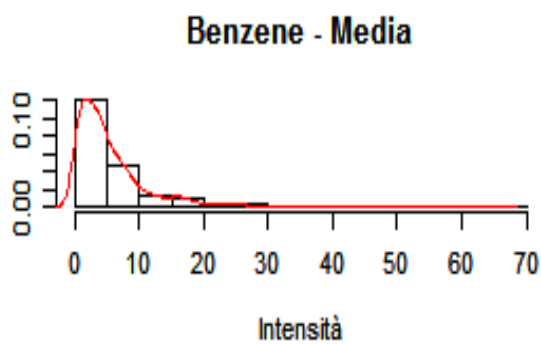
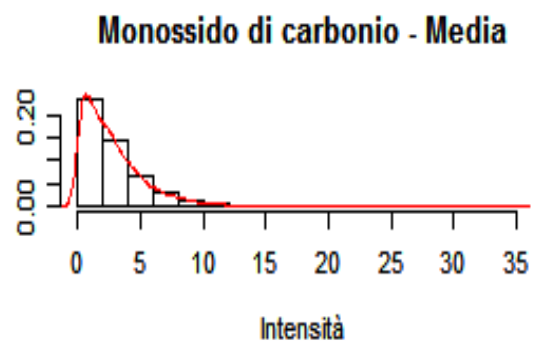
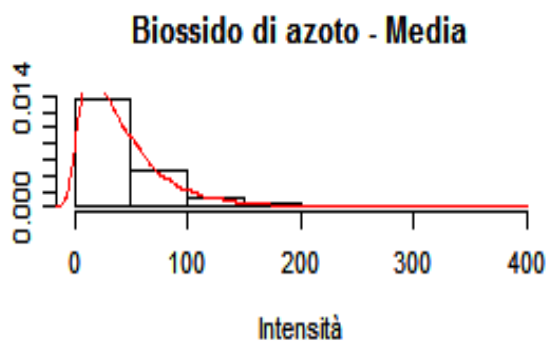
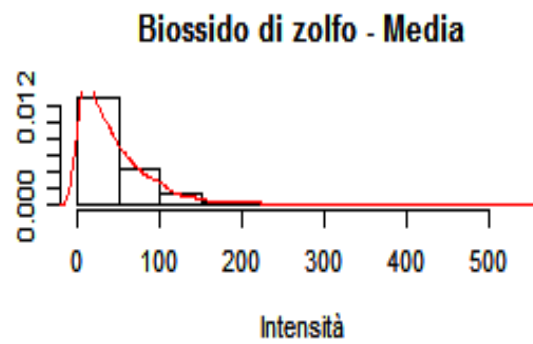
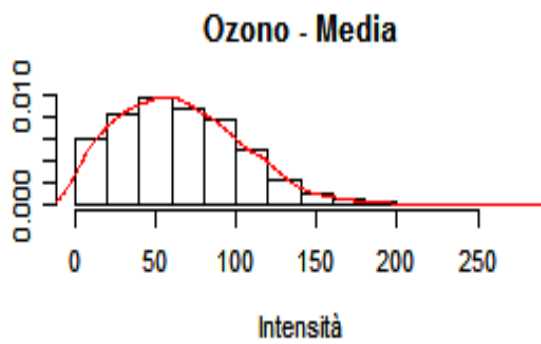
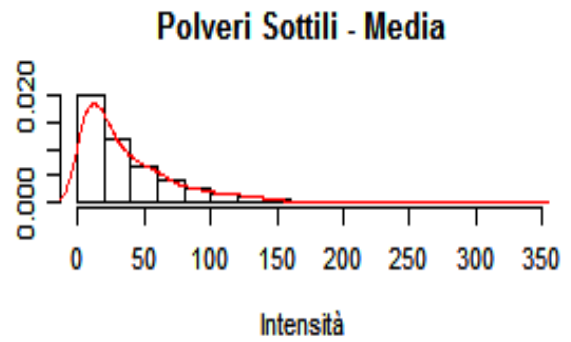
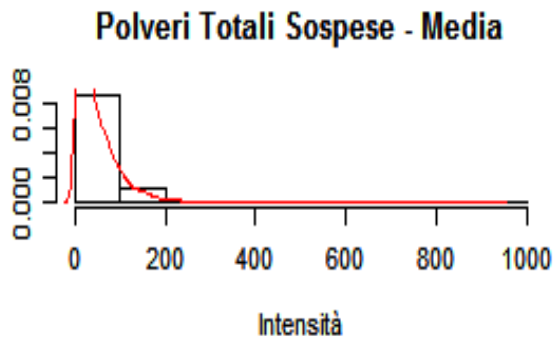
**Benzene - Valore Limite**



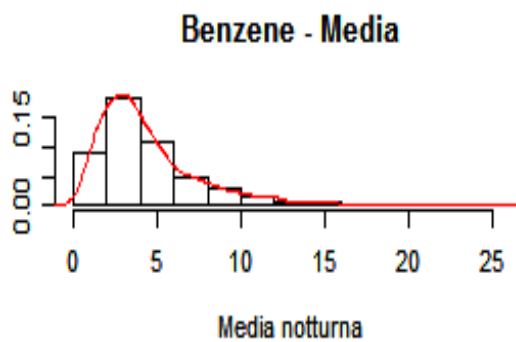
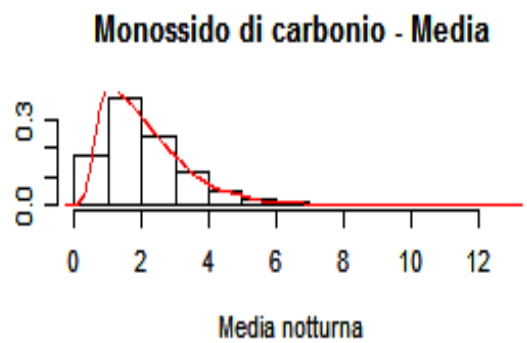
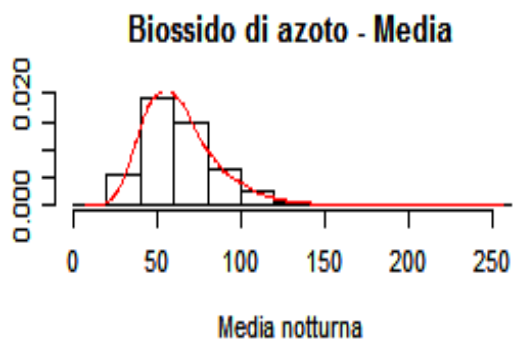
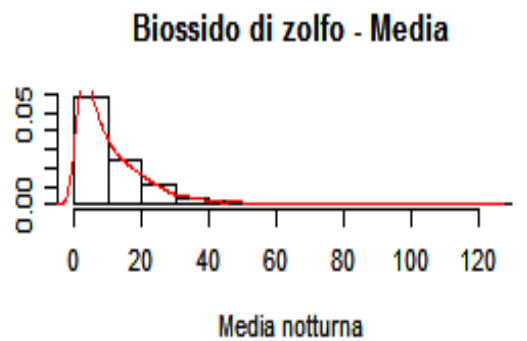
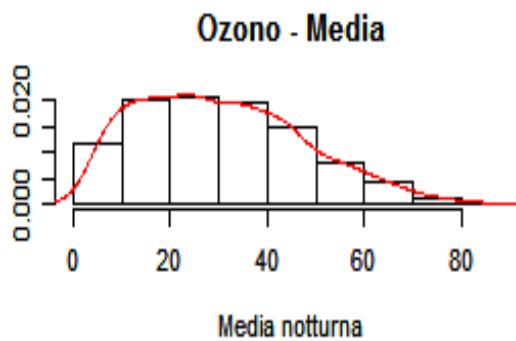
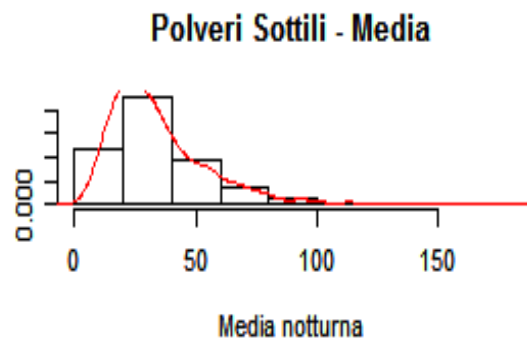
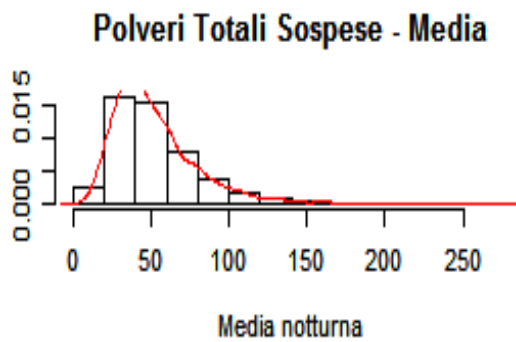


### Valori rispetto alla media delle osservazioni



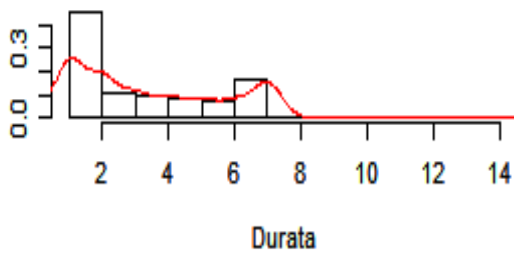




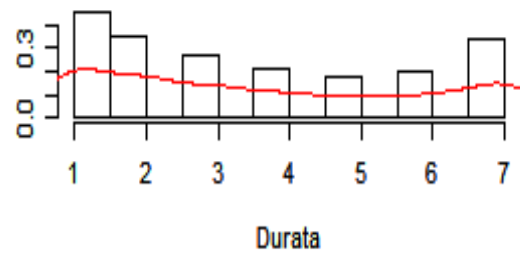


### Valori rispetto al terzo quartile delle osservazioni

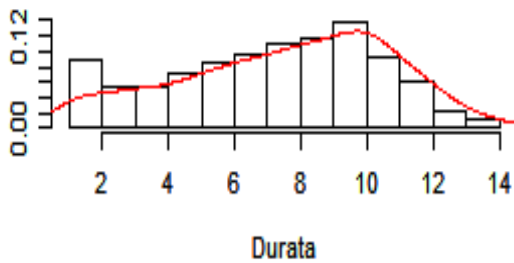
**Polveri Totali Sospese - 3° Quartile**



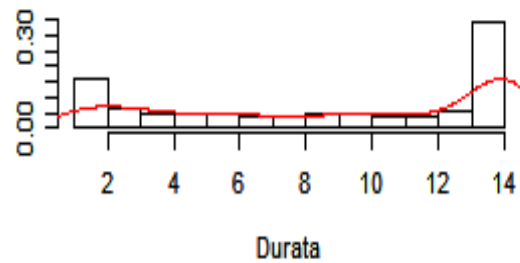
**Polveri Sottili - 3° Quartile**



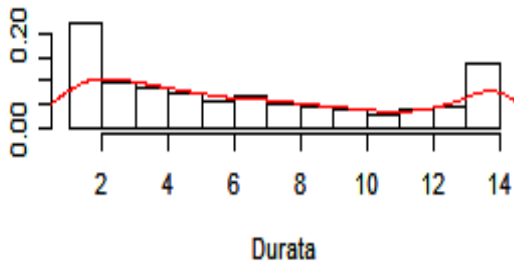
**Ozono - 3° Quartile**



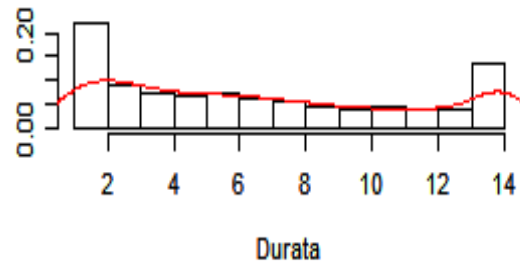
**Biossido di zolfo - 3° Quartile**



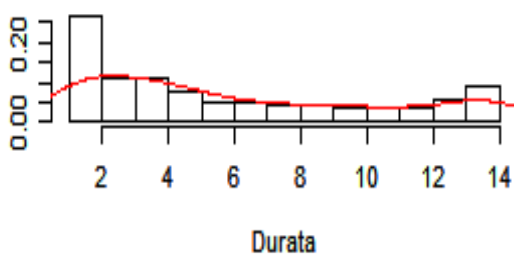
**Biossido di azoto - 3° Quartile**



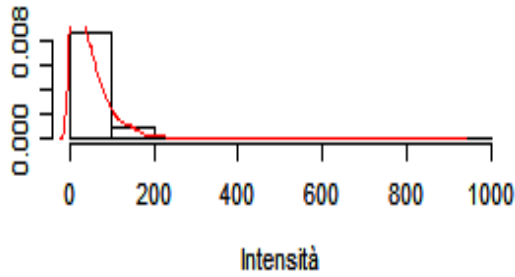
**Monossido di carbonio - 3° Quartile**



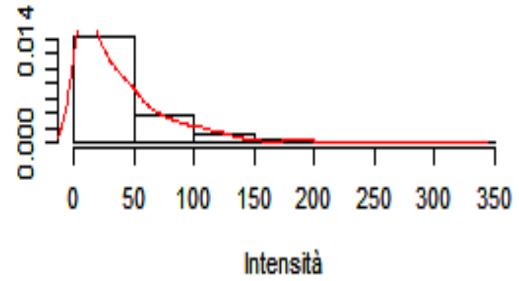
**Benzene - 3° Quartile**



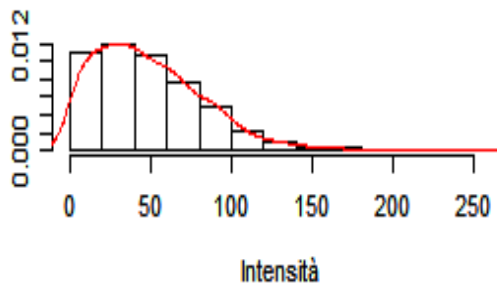
**Polveri Totali Sospese - 3° Quartile**



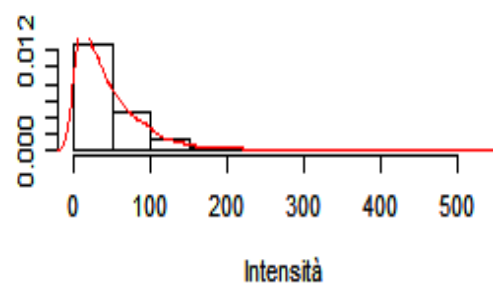
**Polveri Sottili - 3° Quartile**



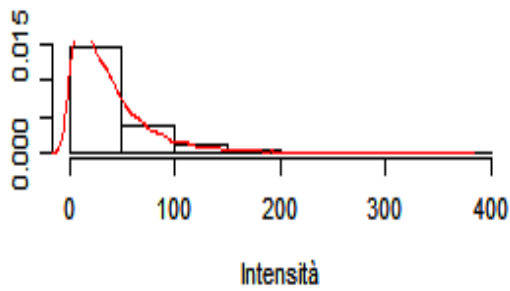
**Ozono - 3° Quartile**



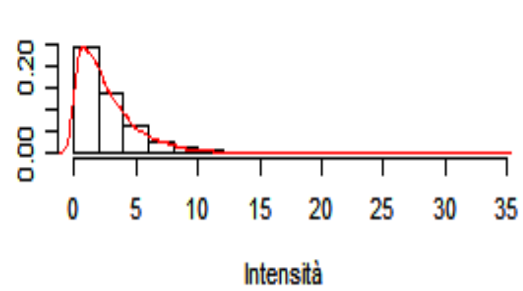
**Biossido di zolfo - 3° Quartile**



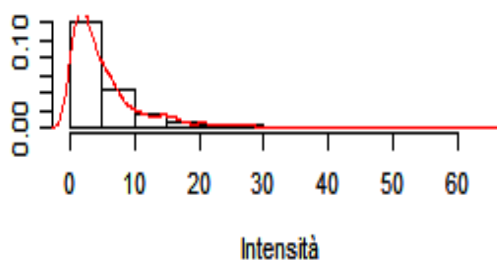
**Biossido di azoto - 3° Quartile**

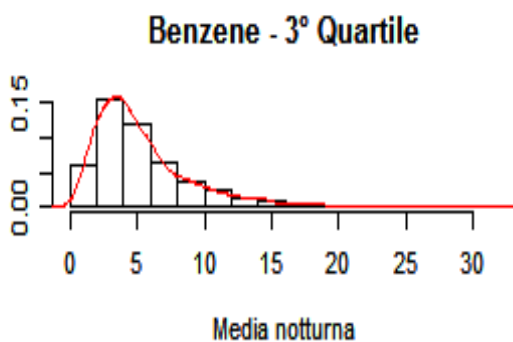
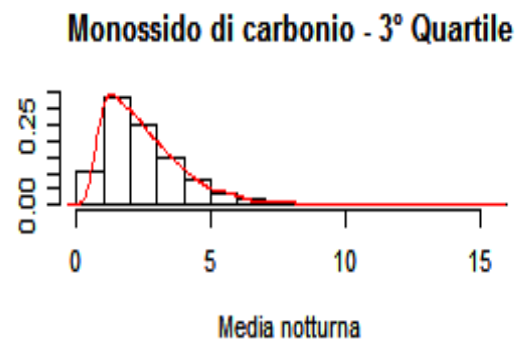
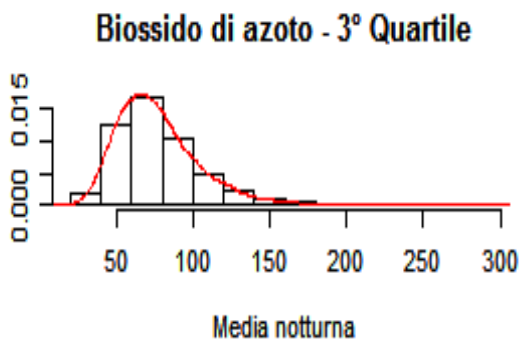
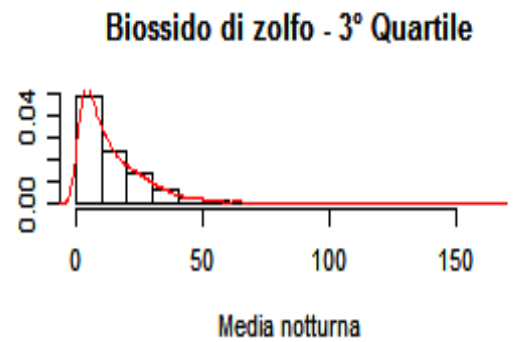
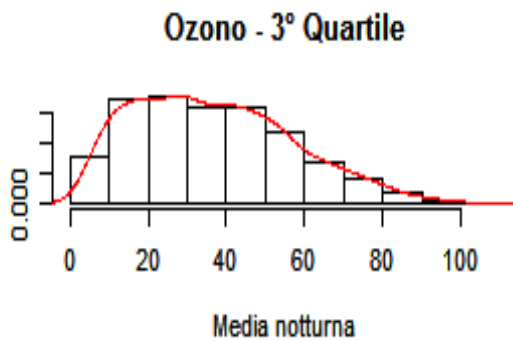
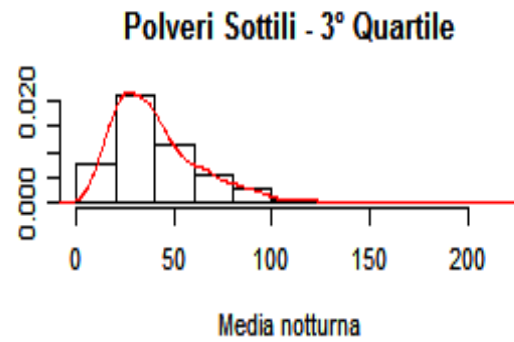
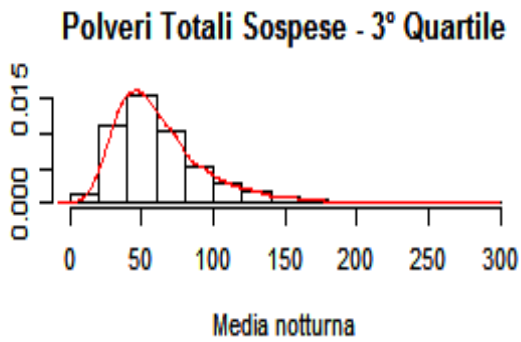


**Monossido di carbonio - 3° Quartile**

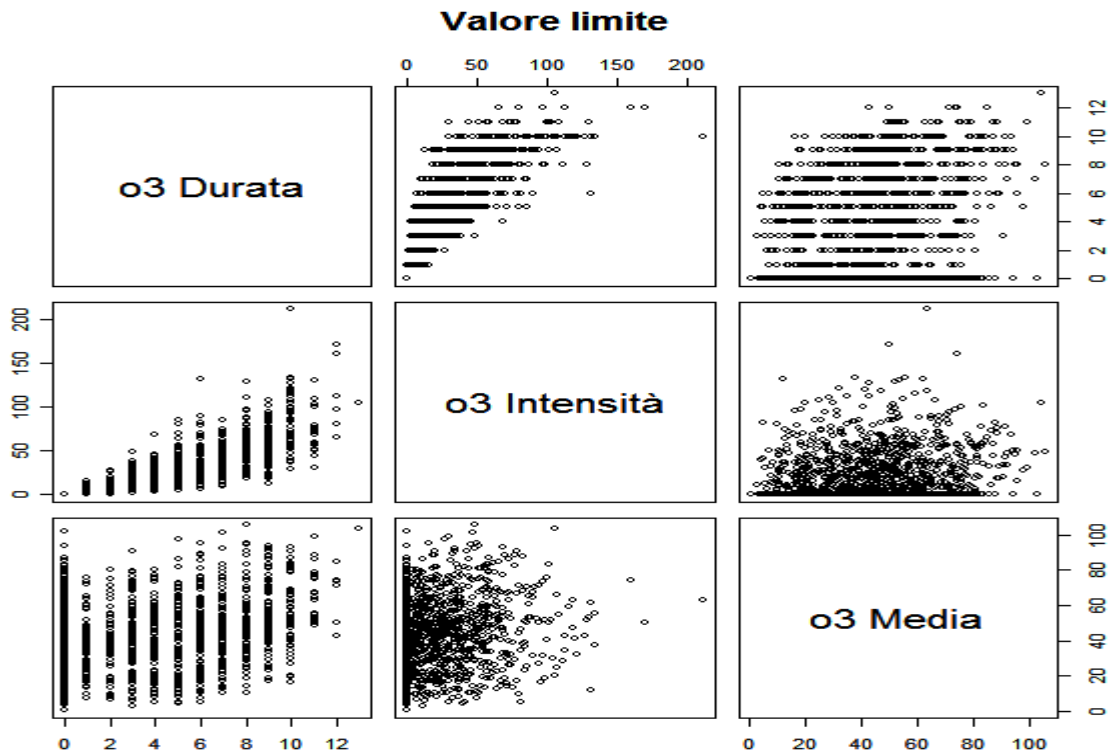
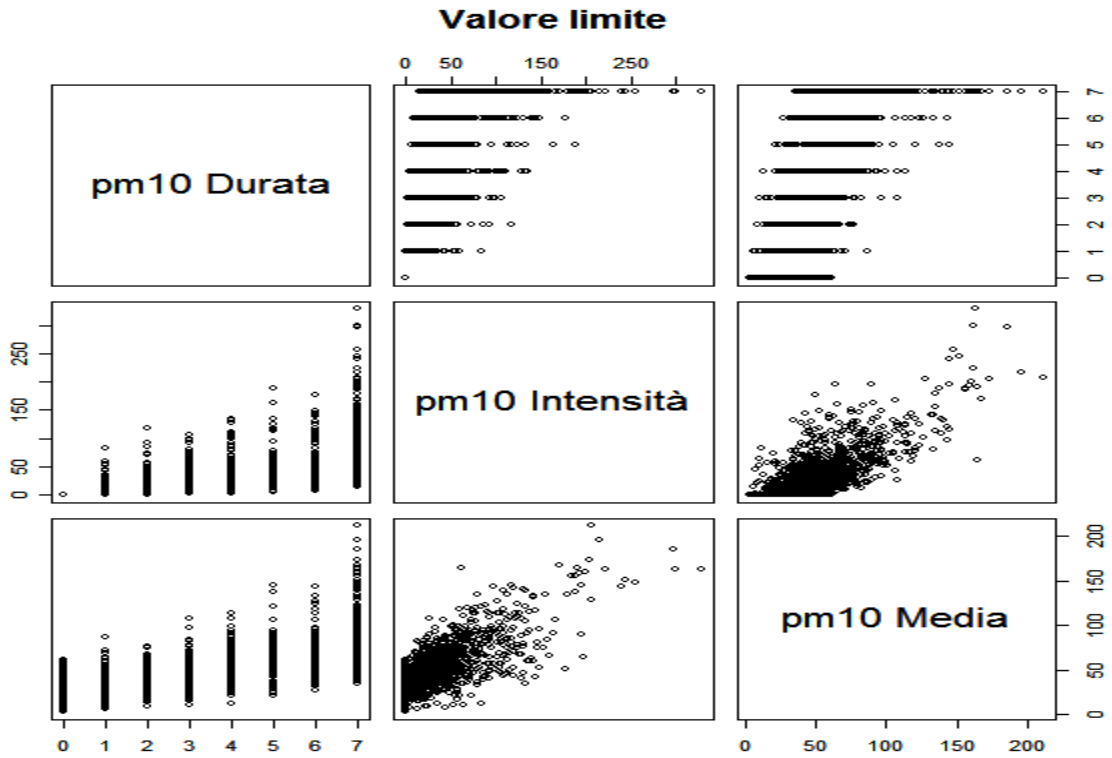


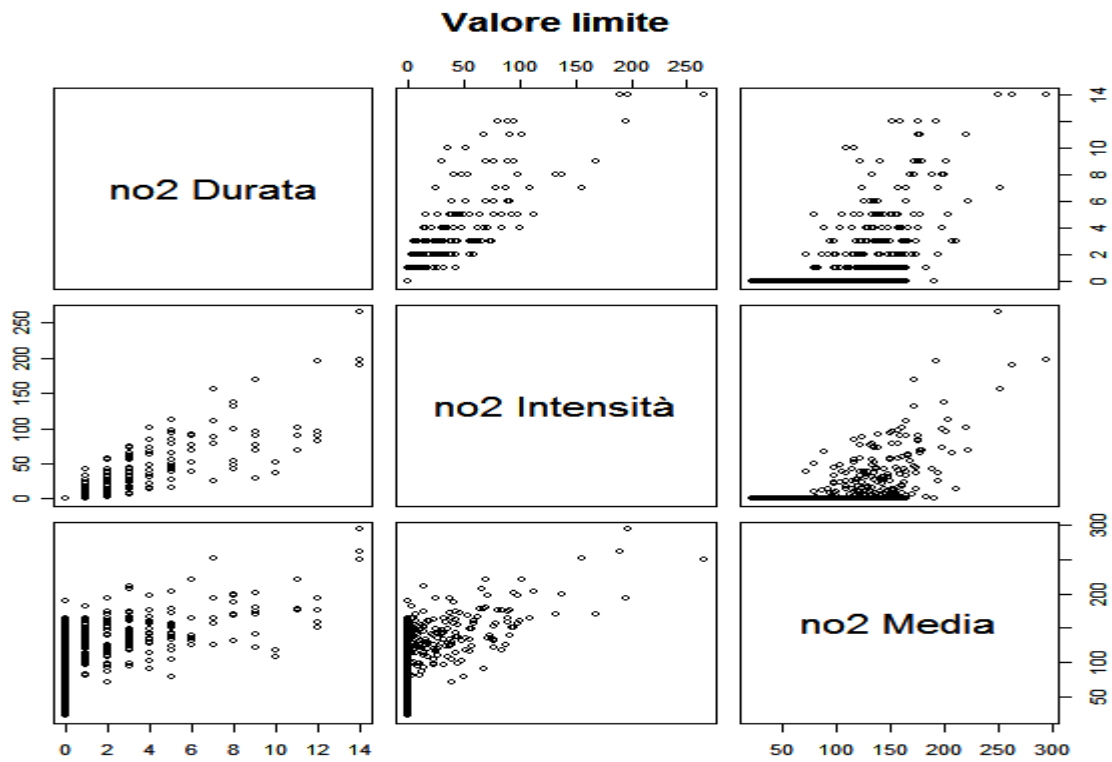
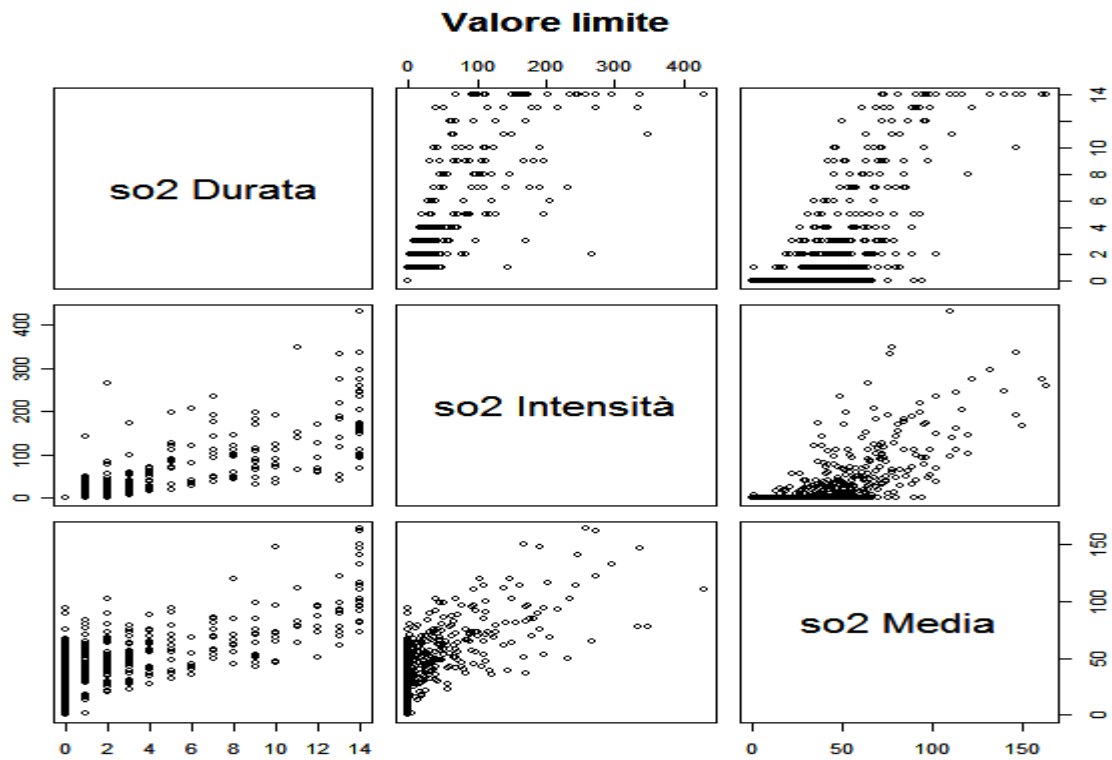
**Benzene - 3° Quartile**

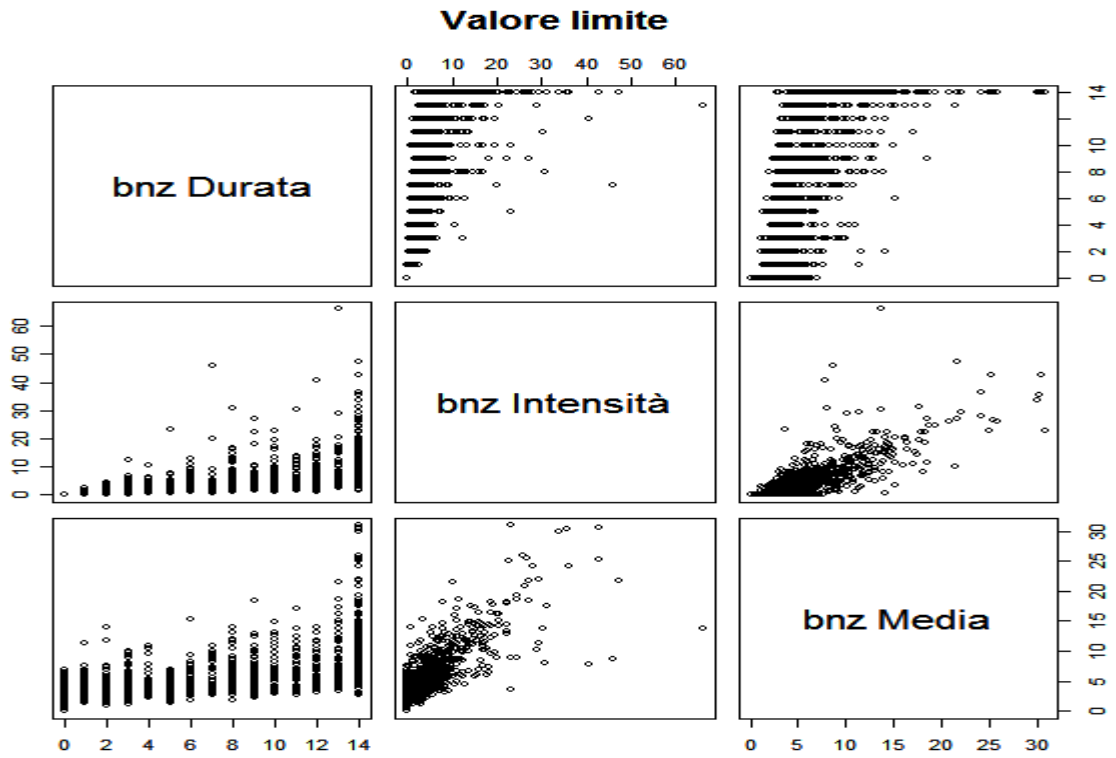
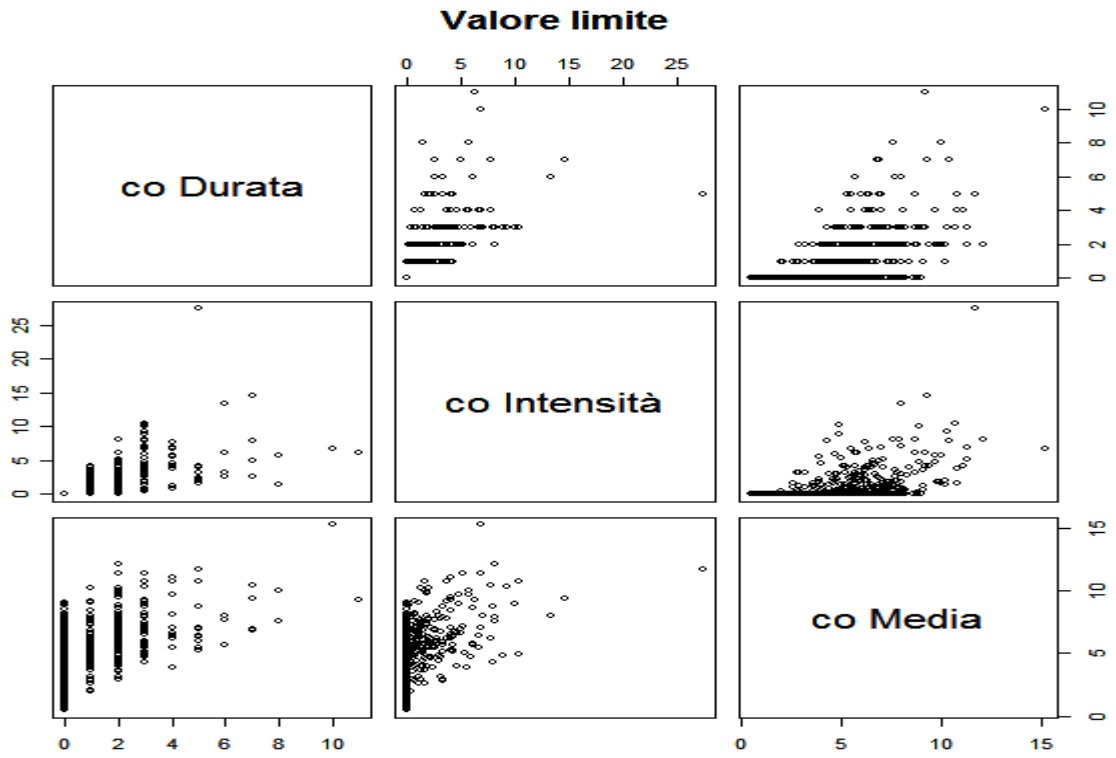




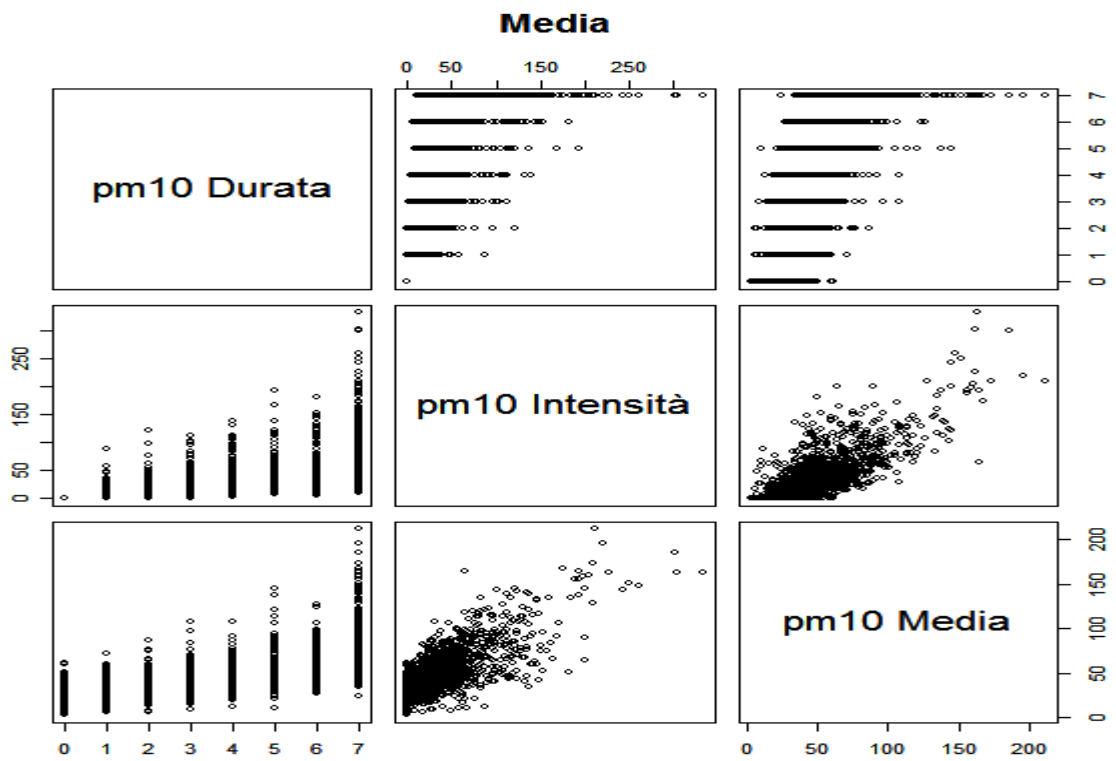
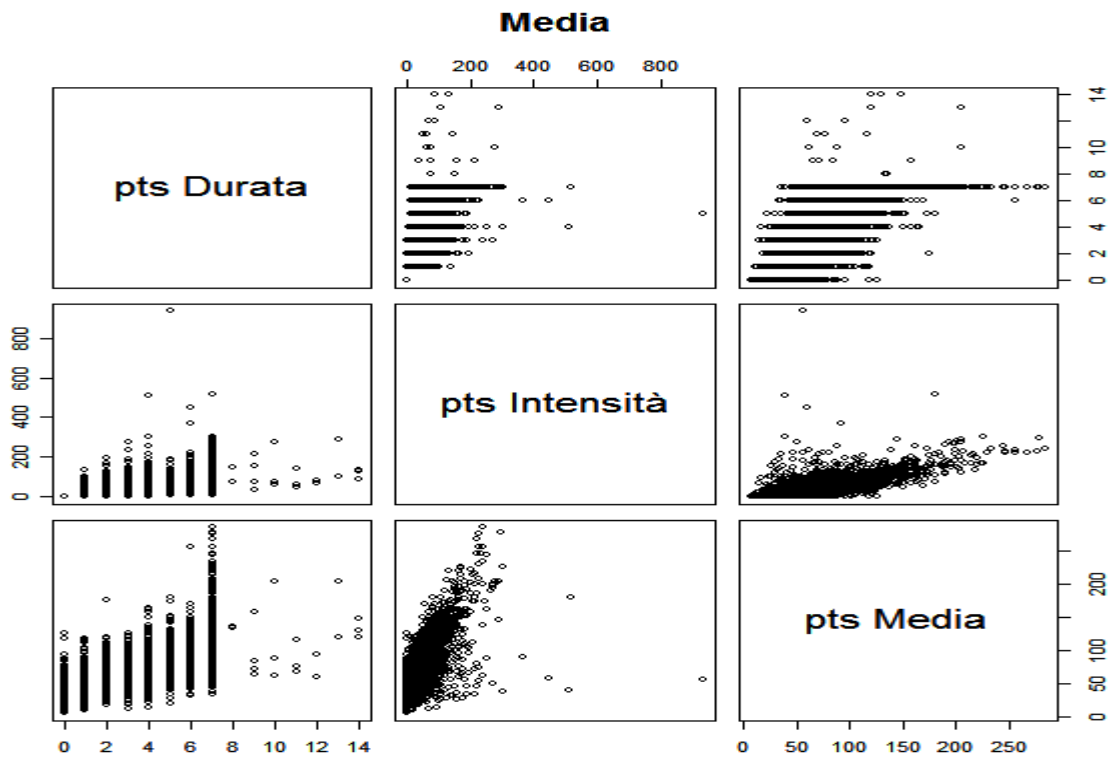
## **8 APPENDICE C: Matrici dei diagrammi di dispersione delle misure**

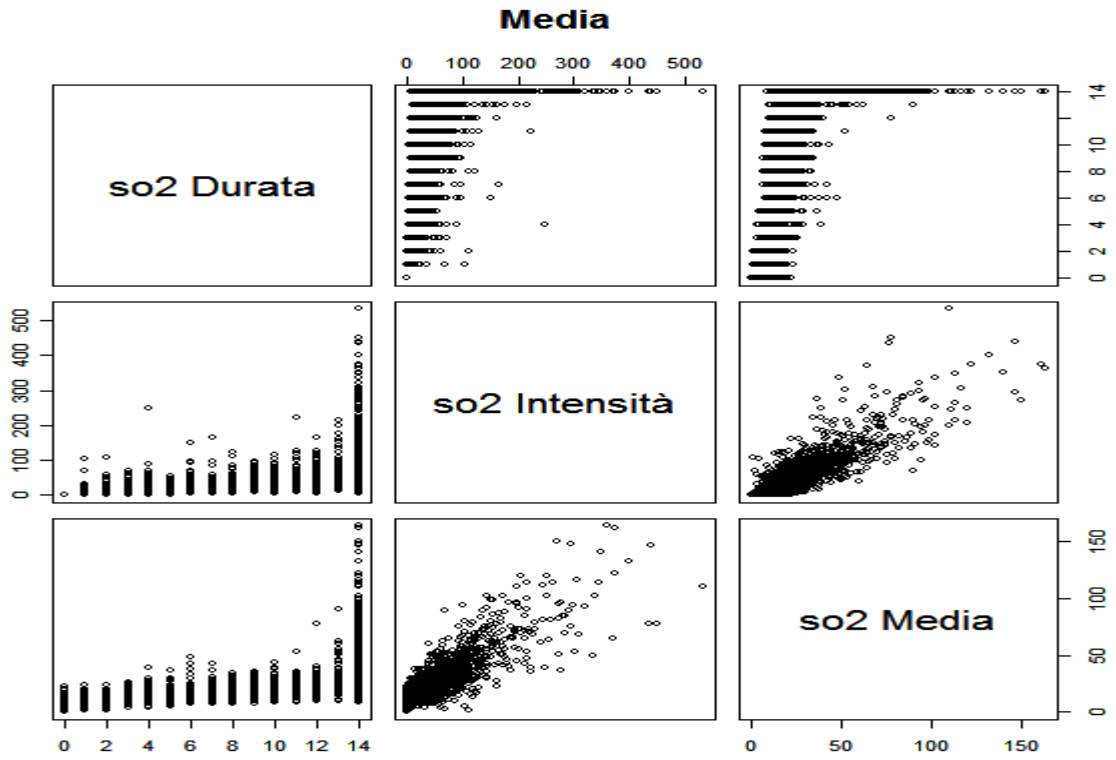
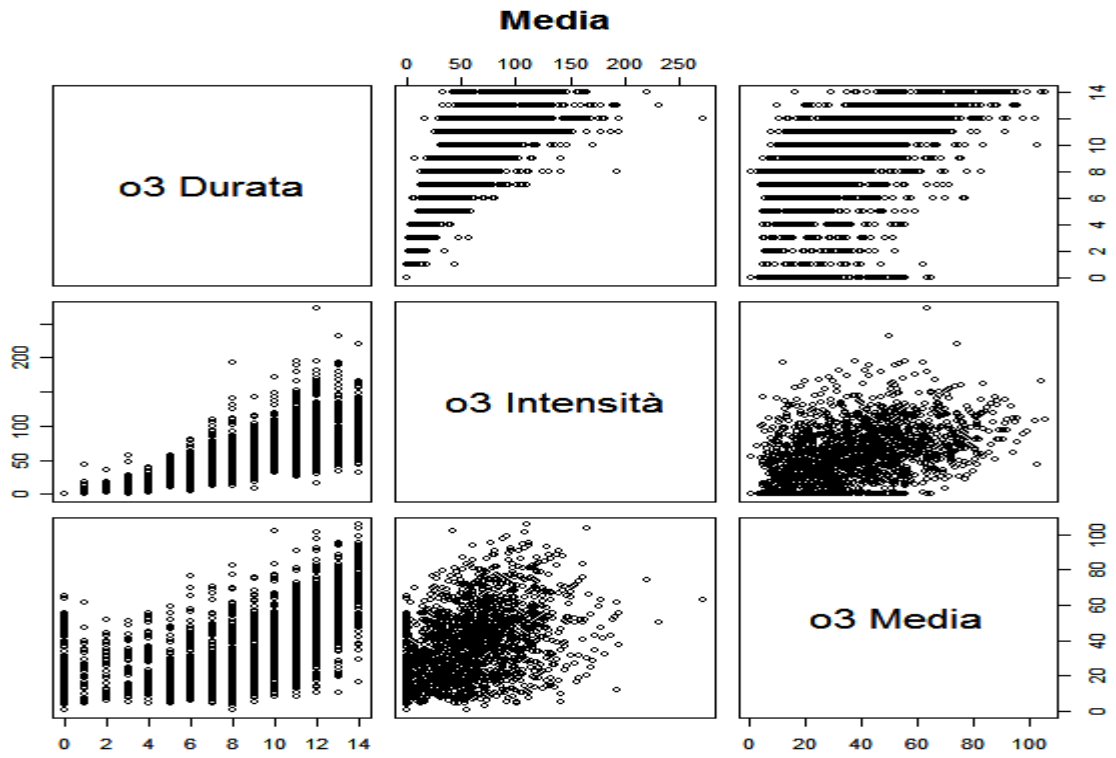


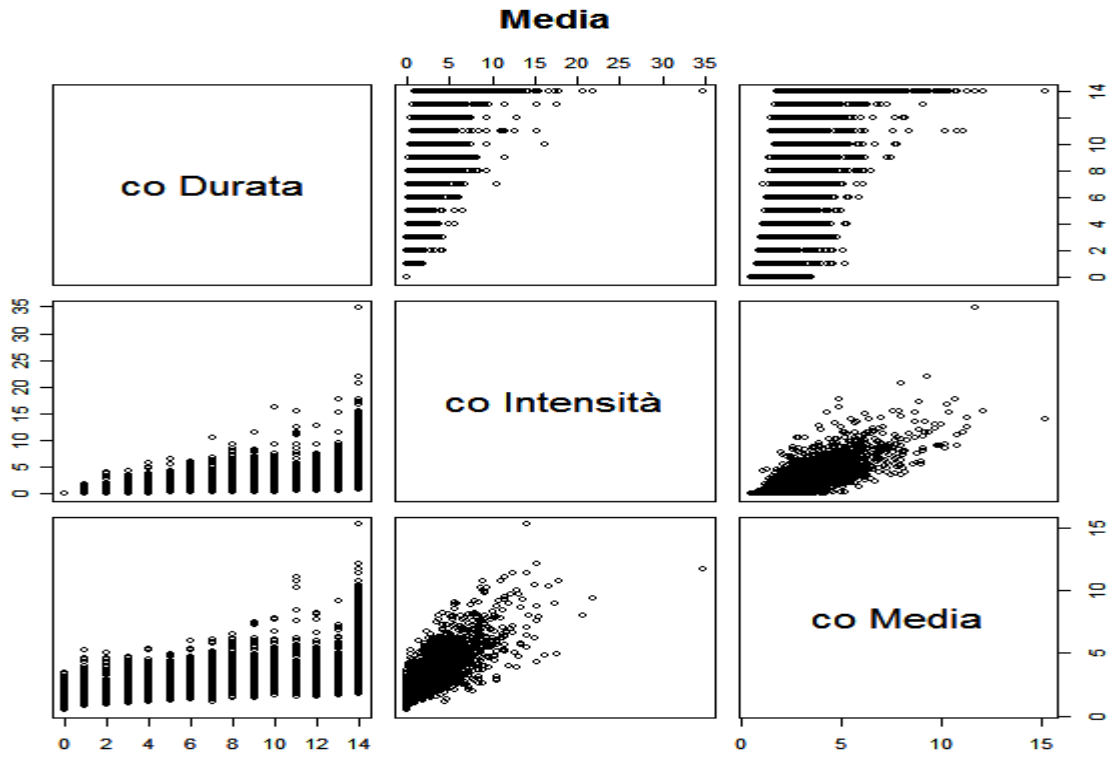
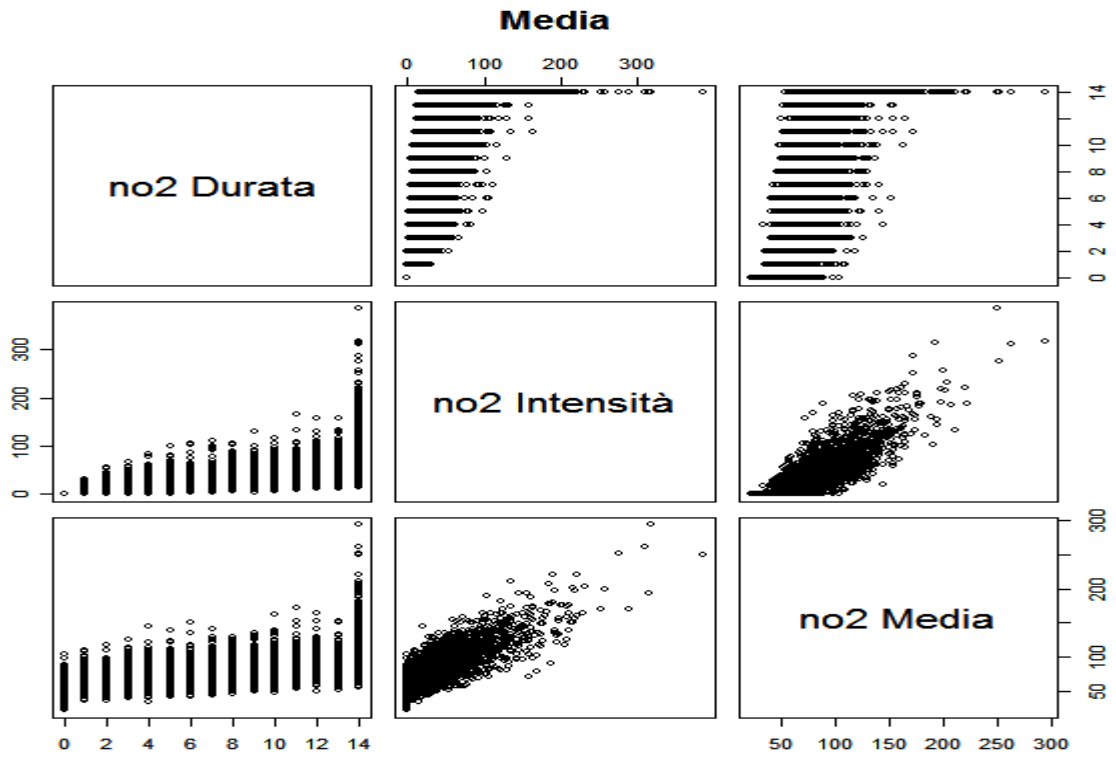


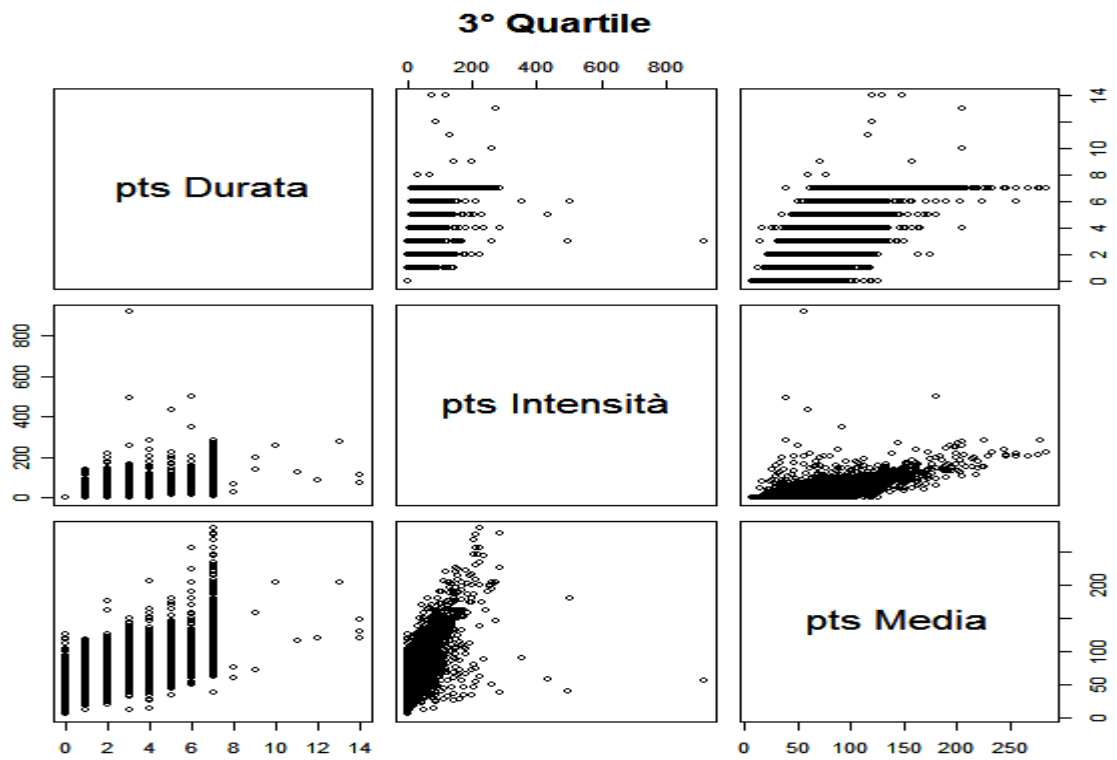
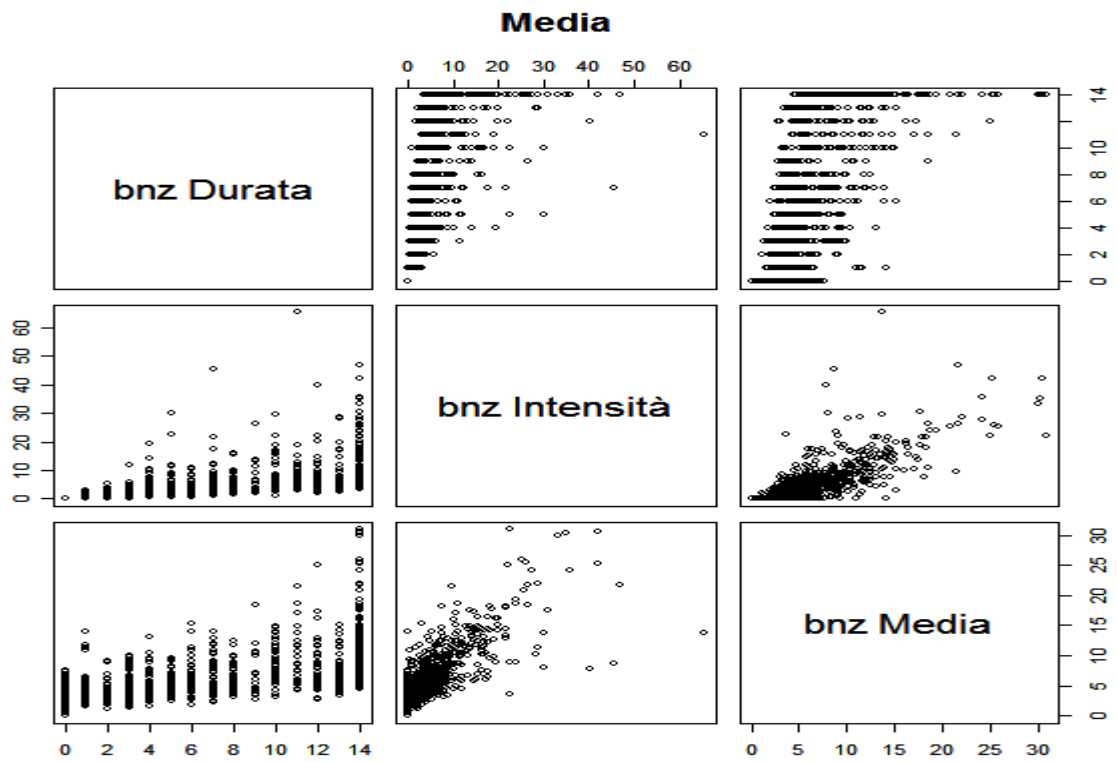


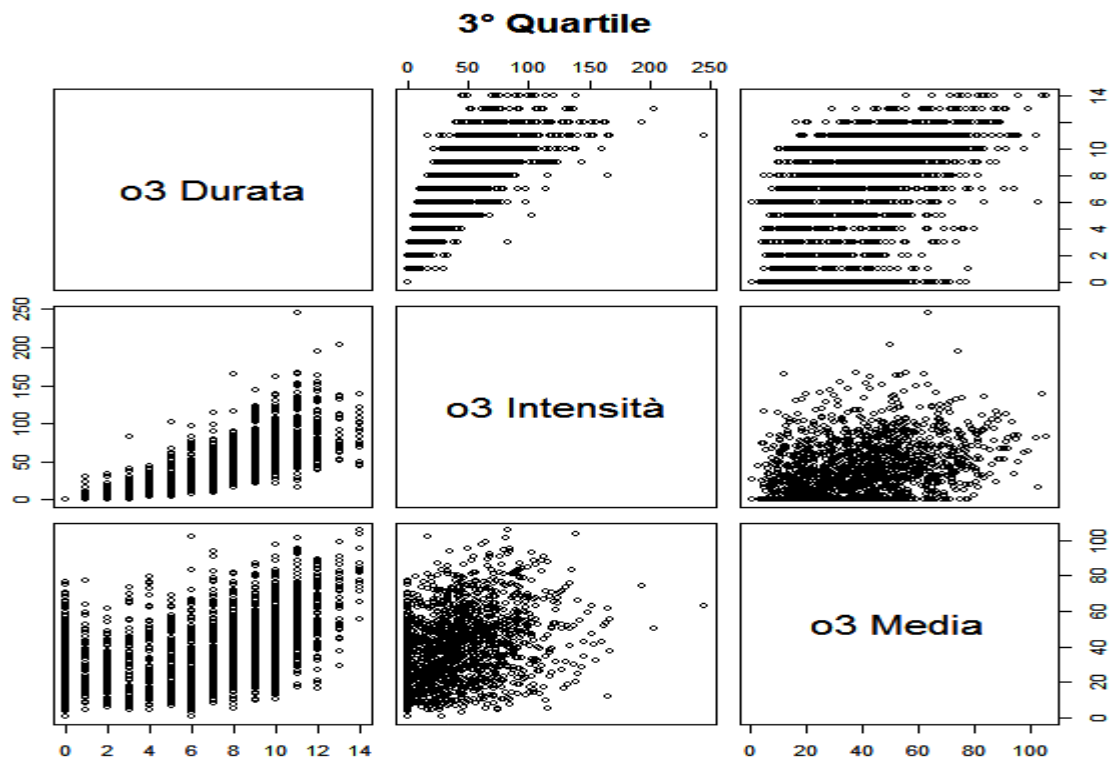
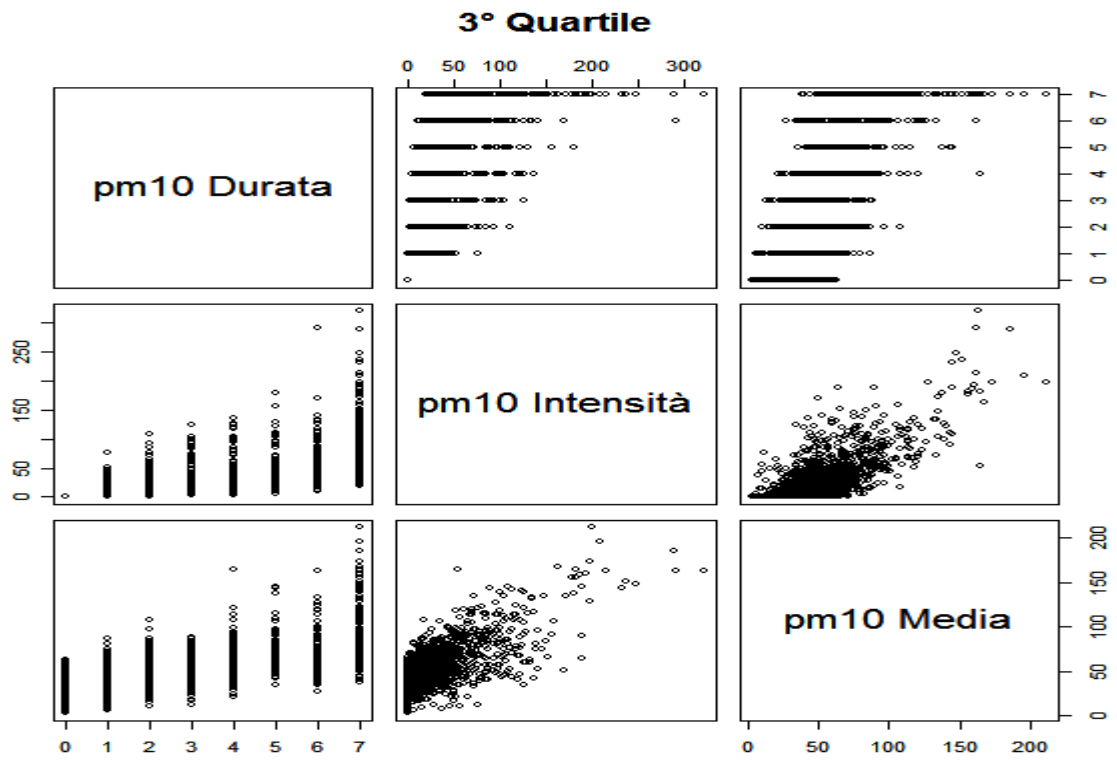


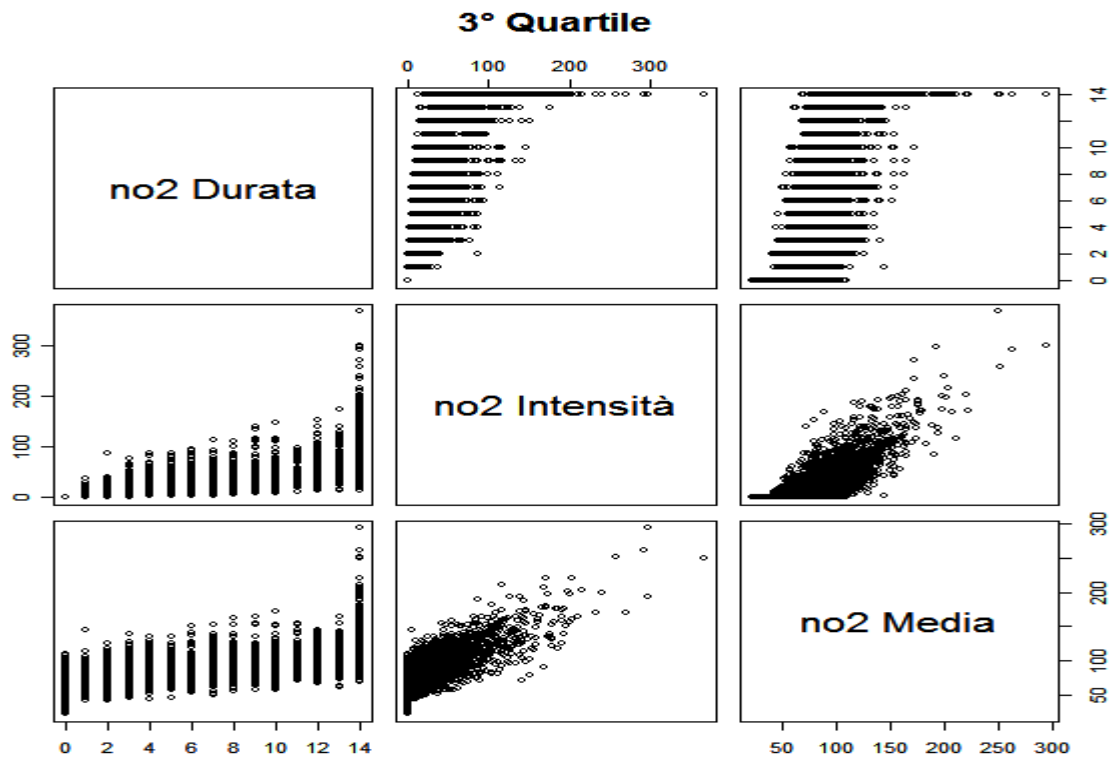
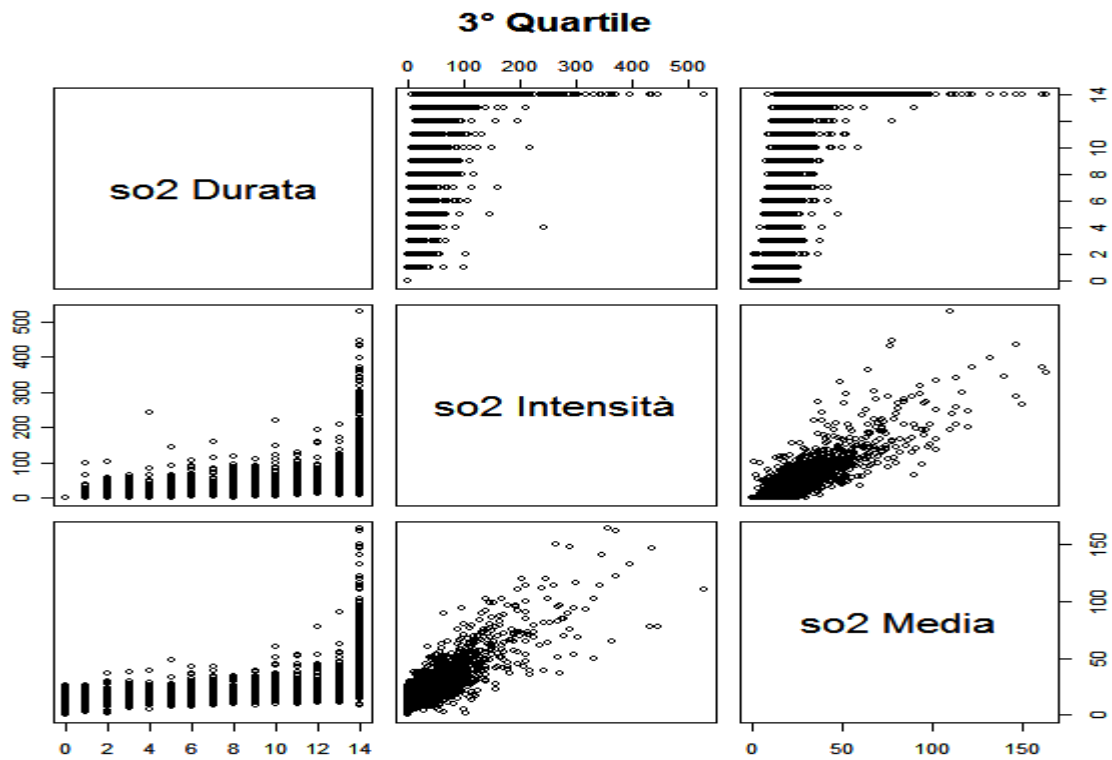


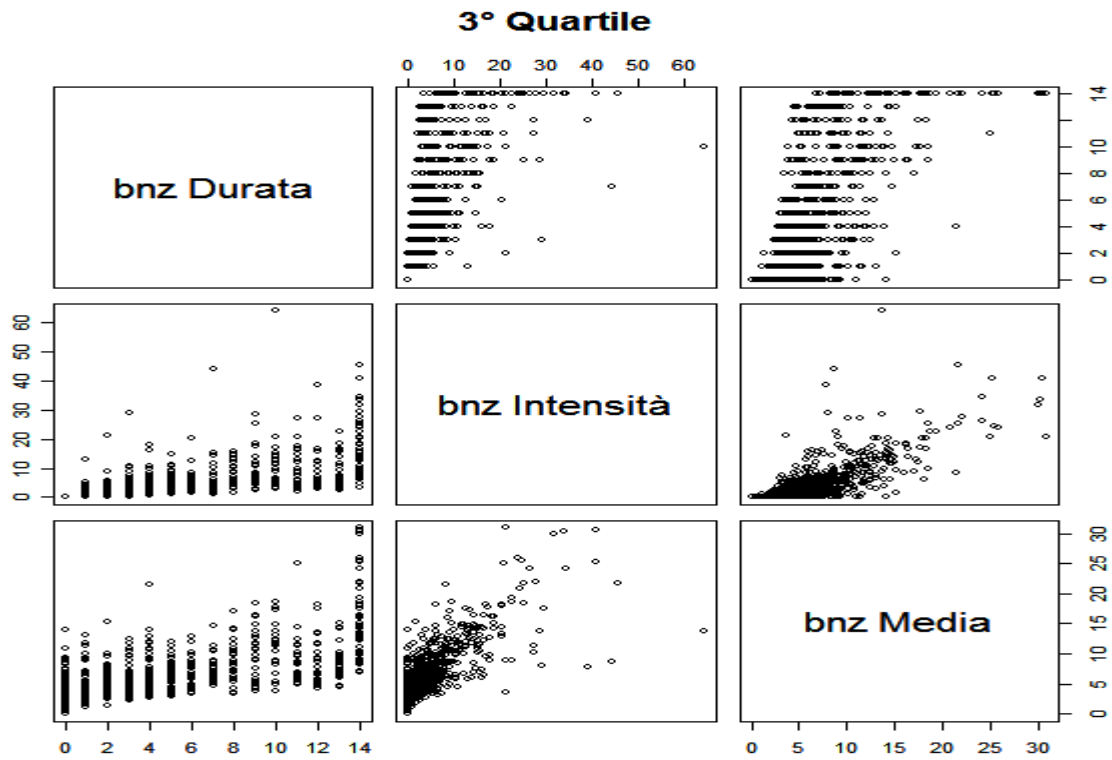
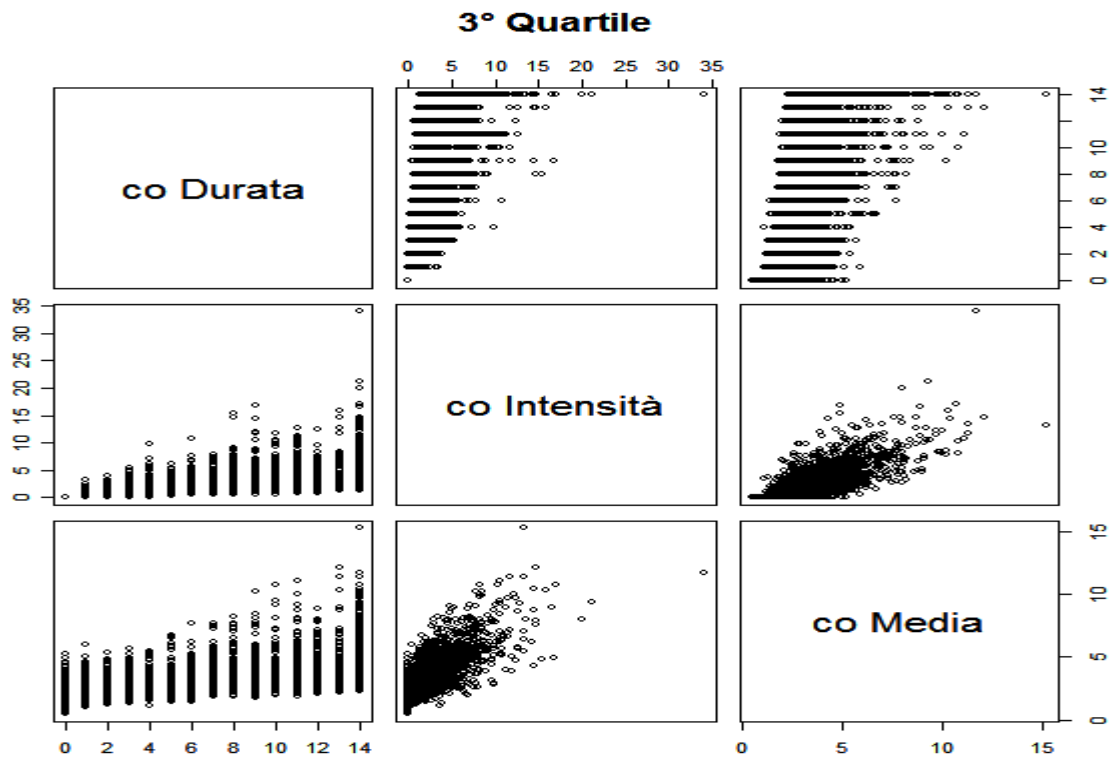












## **9 APPENDICE D: Programmi R**



## Calcolo della 'centralina media'

```
## vettori centralina media
no2_mean=vector("numeric",length=nrow(inq_mi))
co_mean=vector("numeric",length=nrow(inq_mi))
pts_mean=vector("numeric",length=nrow(inq_mi))
o3_mean=vector("numeric",length=nrow(inq_mi))
pm10_mean=vector("numeric",length=nrow(inq_mi))
so2_mean=vector("numeric",length=nrow(inq_mi))
bnz_mean=vector("numeric",length=nrow(inq_mi))

## contatori
inizio=1
fine=24
giorni=(nrow(inq_mi)/24)
## loop per il numero di giorni
for (i in 1:giorni)
{
## operazioni per ogni giorno
  n1_no2=0; n2_no2=0; n3_no2=0; n4_no2=0; n5_no2=0; n6_no2=0; n7_no2=0
  n1_co=0; n2_co=0; n3_co=0; n4_co=0; n5_co=0
  n1_pts=0; n2_pts=0; n3_pts=0; n4_pts=0
  n1_o3=0; n2_o3=0; n3_o3=0
  n1_pm10=0; conta=1
  n1_so2=0
  n1_bnz=0

  for (j in inizio:fine)
  {if (is.na(inq_mi$no2_ju_mi[j])) n1_no2=n1_no2+1
    if (is.na(inq_mi$no2_li_mi[j])) n2_no2=n2_no2+1
    if (is.na(inq_mi$no2_ma_mi[j])) n3_no2=n3_no2+1
    if (is.na(inq_mi$no2_pl_mi[j])) n4_no2=n4_no2+1
    if (is.na(inq_mi$no2_sn_mi[j])) n5_no2=n5_no2+1
    if (is.na(inq_mi$no2_vz_mi[j])) n6_no2=n6_no2+1
    if (is.na(inq_mi$no2_zv_mi[j])) n7_no2=n7_no2+1

    if (is.na(inq_mi$co_li_mi[j])) n1_co=n1_co+1
    if (is.na(inq_mi$co_ma_mi[j])) n2_co=n2_co+1
    if (is.na(inq_mi$co_sn_mi[j])) n3_co=n3_co+1
    if (is.na(inq_mi$co_vz_mi[j])) n4_co=n4_co+1
    if (is.na(inq_mi$co_zv_mi[j])) n5_co=n5_co+1

    if (is.na(inq_mi$o3_ju_mi[j])) n1_o3=n1_o3+1
    if (is.na(inq_mi$o3_pl_mi[j])) n2_o3=n2_o3+1
    if (is.na(inq_mi$o3_vz_mi[j])) n3_o3=n3_o3+1
```

```
if (is.na(inq_mi$so2_ju_mi[j])) n1_so2=n1_so2+1
if (is.na(inq_mi$bnz_zv_mi[j])) n1_bnz=n1_bnz+1
# Rilevazioni ogni due ore #
if (is.na(inq_mi$pts_ju_mi[j])) n1_pts=n1_pts+1
if (is.na(inq_mi$pts_li_mi[j])) n2_pts=n2_pts+1
if (is.na(inq_mi$pts_ma_mi[j])) n3_pts=n3_pts+1
if (is.na(inq_mi$pts_zv_mi[j])) n4_pts=n4_pts+1
if (is.na(inq_mi$pm10_ju_mi[j])) n1_pm10=n1_pm10+1
}

##controllo a fine giornata
for (j in inizio:fine)
{den_no2=7
den_co=5
den_pts=4
den_o3=3
## no2 ##
if ((n1_no2<=6)&! (is.na(inq_mi$no2_ju_mi[j]))) dato1_no2=inq_mi$no2_ju_mi[j]
else {dato1_no2=0
den_no2=den_no2-1}
if ((n2_no2<=6)&! (is.na(inq_mi$no2_li_mi[j]))) dato2_no2=inq_mi$no2_li_mi[j]
else {dato2_no2=0
den_no2=den_no2-1}
if ((n3_no2<=6)&! (is.na(inq_mi$no2_ma_mi[j]))) dato3_no2=inq_mi$no2_ma_mi[j]
else {dato3_no2=0
den_no2=den_no2-1}
if ((n4_no2<=6)&! (is.na(inq_mi$no2_pl_mi[j]))) dato4_no2=inq_mi$no2_pl_mi[j]
else {dato4_no2=0
den_no2=den_no2-1}
if ((n5_no2<=6)&! (is.na(inq_mi$no2_sn_mi[j]))) dato5_no2=inq_mi$no2_sn_mi[j]
else {dato5_no2=0
den_no2=den_no2-1}
if ((n6_no2<=6)&! (is.na(inq_mi$no2_vz_mi[j]))) dato6_no2=inq_mi$no2_vz_mi[j]
else {dato6_no2=0
den_no2=den_no2-1}
if ((n7_no2<=6)&! (is.na(inq_mi$no2_zv_mi[j]))) dato7_no2=inq_mi$no2_zv_mi[j]
else {dato7_no2=0
den_no2=den_no2-1}
if (den_no2>0) no2_mean[j]=
(dato1_no2+dato2_no2+dato3_no2+dato4_no2+dato5_no2+dato6_no2+dato7_no2)/den_no2
else no2_mean[j]=NA
## co ##
if ((n1_co<=6)&! (is.na(inq_mi$co_li_mi[j]))) dato1_co=inq_mi$co_li_mi[j]
else {dato1_co=0
den_co=den_co-1}
```

```
if ((n2_co<=6)&! (is.na(inq_mi$co_ma_mi[j]))) dato2_co=inq_mi$co_ma_mi[j]
  else {dato2_co=0
        den_co=den_co-1}
if ((n3_co<=6)&! (is.na(inq_mi$co_sn_mi[j]))) dato3_co=inq_mi$co_sn_mi[j]
  else {dato3_co=0
        den_co=den_co-1}
if ((n4_co<=6)&! (is.na(inq_mi$co_vz_mi[j]))) dato4_co=inq_mi$co_vz_mi[j]
  else {dato4_co=0
        den_co=den_co-1}
if ((n5_co<=6)&! (is.na(inq_mi$co_zv_mi[j]))) dato5_co=inq_mi$co_zv_mi[j]
  else {dato5_co=0
        den_co=den_co-1}
if (den_co>0) co_mean[j]= (dato1_co+dato2_co+dato3_co+dato4_co+dato5_co)/den_co
  else co_mean[j]=NA
## pts rilevazioni bi-orarie ##
if ((n1_pts<=15)&! (is.na(inq_mi$pts_ju_mi[j]))) dato1_pts=inq_mi$pts_ju_mi[j]
  else {dato1_pts=0
        den_pts=den_pts-1}
if ((n2_pts<=15)&! (is.na(inq_mi$pts_li_mi[j]))) dato2_pts=inq_mi$pts_li_mi[j]
  else {dato2_pts=0
        den_pts=den_pts-1}
if ((n3_pts<=15)&! (is.na(inq_mi$pts_ma_mi[j]))) dato3_pts=inq_mi$pts_ma_mi[j]
  else {dato3_pts=0
        den_pts=den_pts-1}
if ((n4_pts<=15)&! (is.na(inq_mi$pts_zv_mi[j]))) dato4_pts=inq_mi$pts_zv_mi[j]
  else {dato4_pts=0
        den_pts=den_pts-1}
if (den_pts>0) pts_mean[j]= (dato1_pts+dato2_pts+dato3_pts+dato4_pts)/den_pts
  else pts_mean[j]=NA;
## o3 ##
if ((n1_o3<=6)&! (is.na(inq_mi$o3_ju_mi[j]))) dato1_o3=inq_mi$o3_ju_mi[j]
  else {dato1_o3=0
        den_o3=den_o3-1}
if ((n2_o3<=6)&! (is.na(inq_mi$o3_pl_mi[j]))) dato2_o3=inq_mi$o3_pl_mi[j]
  else {dato2_o3=0
        den_o3=den_o3-1}
if ((n3_o3<=6)&! (is.na(inq_mi$o3_vz_mi[j]))) dato3_o3=inq_mi$o3_vz_mi[j]
  else {dato3_o3=0
        den_o3=den_o3-1}
if (den_o3>0) o3_mean[j]= (dato1_o3+dato2_o3+dato3_o3)/den_o3
  else o3_mean[j]=NA
## pm10 solo una colonna rilevazioni bi-orarie ##
if ((n1_pm10<=15)&! (is.na(inq_mi$pm10_ju_mi[j]))) pm10_mean[j]=inq_mi$pm10_ju_mi[j]
  else pm10_mean[j]=NA
```

```
## so2 solo una colonna ##
  if ((n1_so2<=6)&!(is.na(inq_mi$so2_ju_mi[j]))) so2_mean[j]=inq_mi$so2_ju_mi[j]
    else so2_mean[j]=NA

## bnz solo una colonna ##
  if ((n1_bnz<=6)&!(is.na(inq_mi$bnz_zv_mi[j]))) bnz_mean[j]=inq_mi$bnz_zv_mi[j]
    else bnz_mean[j]=NA
}

## incremento contatori
  inizio=inizio+24;
  fine=fine+24;
}

## data.frame con i dati della centralina media
inq_mi_mean=data.frame(inq_mi$date, pm10_mean, pts_mean, o3_mean, so2_mean, no2_mean, co_mean,
  bnz_mean)
```

## Calcolo delle misure: durata, intensità e media notturna

Si espone di seguito il calcolo delle misure rispetto la media delle osservazioni. Tale calcolo è stato ripetuto modificando solo il valore delle soglie.

```
## globali
tab_leng=nrow(inq_mi_mean9203)
## Media
soglia_pm10=45.53
soglia_pts=65.39
soglia_o3=58.96
soglia_so2=21.63
soglia_no2=80.812
soglia_co=2.711
soglia_bnz=5.656

##3Quartile
##soglia_pm10=58.10
##soglia_pts=81.80
##soglia_o3=85.90
##soglia_so2=26.50
##soglia_no2=98.171
##soglia_co=3.480
##soglia_bnz=7.000

## Valore limite
##soglia_pm10=50
##soglia_pts=0
##soglia_o3=120
##soglia_so2=125
##soglia_no2=200
##soglia_co=10
##soglia_bnz=5

## intervallo ore diurne
dayl=7;
dayu=22;
## contatori
inizio=1;
fine=24;
giorni=(tab_leng/24)
## vettori per le tre misure: durata, intensità, media
no2_d=vector("numeric",length=giorni)
no2_i=vector("numeric",length=giorni)
no2_m=vector("numeric",length=giorni)
co_d=vector("numeric",length=giorni)
```

```
co_i=vector("numeric",length=giorni)
co_m=vector("numeric",length=giorni)
pts_d=vector("numeric",length=giorni)
pts_i=vector("numeric",length=giorni)
pts_m=vector("numeric",length=giorni)
pm10_d=vector("numeric",length=giorni)
pm10_i=vector("numeric",length=giorni)
pm10_m=vector("numeric",length=giorni)
o3_d=vector("numeric",length=giorni)
o3_i=vector("numeric",length=giorni)
o3_m=vector("numeric",length=giorni)
so2_d=vector("numeric",length=giorni)
so2_i=vector("numeric",length=giorni)
so2_m=vector("numeric",length=giorni)
bnz_d=vector("numeric",length=giorni)
bnz_i=vector("numeric",length=giorni)
bnz_m=vector("numeric",length=giorni)
annom=vector("numeric",length=giorni)
mesem=vector("numeric",length=giorni)
giornom=vector("numeric",length=giorni)
datem=vector("numeric",length=giorni)
```

```
## loop per il numero di giorni
```

```
for (i in 1:giorni)
```

```
{
```

```
## inizializzazioni
```

```
  conta_no2 =0
```

```
  conta_co  =0
```

```
  conta_o3  =0
```

```
  conta_so2 =0
```

```
  conta_bnz =0
```

```
  conta_pts =0
```

```
  conta_pm10=0
```

```
  max_no2=0
```

```
  max_co=0
```

```
  max_o3=0
```

```
  max_so2=0
```

```
  max_bnz=0
```

```
  max_pts=0
```

```
  max_pm10=0
```

```
  sum_no2=0
```

```
  sum_co=0
```

```
  sum_o3=0
```

```
  sum_so2=0
```

```
sum_bnz=0
sum_pts=0
sum_pm10=0
n_no2 =0
n_co =0
n_o3 =0
n_so2 =0
n_bnz =0
n_pts =0
n_pm10=0
## operazioni per ogni giorno
  for (j in inizio:fine)
  {
    ## no2
    if (!is.na(no2[j])) {
      if ((ora[j]>dayl)&(ora[j]<dayu)) {
        if (no2[j]>soglia_no2) {
          conta_no2=conta_no2+1
          if(no2[j]>max_no2) max_no2=no2[j]
        }
      }
      else {
        sum_no2=sum_no2+no2[j]
        n_no2=n_no2+1
      }
    }

    ## co
    if (!is.na(co[j])) {
      if ((ora[j]>dayl)&(ora[j]<dayu)) {
        if (co[j]>soglia_co) {
          conta_co=conta_co+1
          if(co[j]>max_co) max_co=co[j]
        }
      }
      else {
        sum_co=sum_co+co[j]
        n_co=n_co+1
      }
    }

    ## o3 Maggio-Settembre
    if
    ((!is.na(mese[j]))&((mese[j]==4)|(mese[j]==5)|(mese[j]==6)|(mese[j]==7)|(mese[j]==8))) {
      if (!is.na(o3[j])) {
        if ((ora[j]>dayl)&(ora[j]<dayu)) {
          if (o3[j]>soglia_o3) {
            conta_o3=conta_o3+1
          }
        }
      }
    }
  }
}
```

```
        if(o3[j]>max_o3) max_o3=o3[j]
      }
    }
    else {
      sum_o3=sum_o3+o3[j]
      n_o3=n_o3+1
    }
  }
}
## so2
if (!is.na(so2[j])) {
  if ((ora[j]>dayl)&(ora[j]<dayu)) {
    if (so2[j]>soglia_so2) {
      conta_so2=conta_so2+1
      if(so2[j]>max_so2) max_so2=so2[j]
    }
  }
  else {
    sum_so2=sum_so2+so2[j]
    n_so2=n_so2+1
  }
}
## bnz
if (!is.na(bnz[j])) {
  if ((ora[j]>dayl)&(ora[j]<dayu)) {
    if (bnz[j]>soglia_bnz) {
      conta_bnz=conta_bnz+1
      if(bnz[j]>max_bnz) max_bnz=bnz[j]
    }
  }
  else {
    sum_bnz=sum_bnz+bnz[j]
    n_bnz=n_bnz+1
  }
}
## pts bi-orario
if (!is.na(pts[j])) {
  if ((ora[j]>dayl)&(ora[j]<dayu)) {
    if (pts[j]>soglia_pts) {
      conta_pts=conta_pts+1
      if(pts[j]>max_pts) max_pts=pts[j]
    }
  }
  else {
    sum_pts=sum_pts+pts[j]
    n_pts=n_pts+1
  }
}
```



```
## pm10 bi-orario
if (!is.na(pm10[j])) {
  if ((ora[j]>dayl)&(ora[j]<dayu)) {
    if (pm10[j]>soglia_pm10) {
      conta_pm10=conta_pm10+1
      if(pm10[j]>max_pm10) max_pm10=pm10[j]
    }
  }
  else {
    sum_pm10=sum_pm10+pm10[j]
    n_pm10=n_pm10+1
  }}
}

##controllo a fine giornata

## durata
no2_d[i]= conta_no2
co_d[i]=  conta_co
o3_d[i]=  conta_o3
so2_d[i]= conta_so2
bnz_d[i]= conta_bnz
pts_d[i]= conta_pts
pm10_d[i]=conta_pm10

## intensità
no2_i[i]=max_no2-soglia_no2
co_i[i]=max_co-soglia_co
o3_i[i]=max_o3-soglia_o3
so2_i[i]=max_so2-soglia_so2
bnz_i[i]=max_bnz-soglia_bnz
pts_i[i]=max_pts-soglia_pts
pm10_i[i]=max_pm10-soglia_pm10
if (no2_i[i]<0) no2_i[i]=0
if (co_i[i]<0) co_i[i]=0
if (o3_i[i]<0) o3_i[i]=0
if (so2_i[i]<0) so2_i[i]=0
if (bnz_i[i]<0) bnz_i[i]=0
if (pts_i[i]<0) pts_i[i]=0
if (pm10_i[i]<0) pm10_i[i]=0

## media ore notturne
no2_m[i]=sum_no2/n_no2
co_m[i]=sum_co/n_co
o3_m[i]=sum_o3/n_o3
so2_m[i]=sum_so2/n_so2
```

```
    bnz_m[i]=sum_bnz/n_bnz
    pts_m[i]=sum_pts/n_pts
    pm10_m[i]=sum_pm10/n_pm10
##date scomposte
    annom[i]=anno[j]
    mesem[i]=mese[j]
    giornom[i]=giorno[j]
    datem[i]=date[j]
        ## incremento i contatori
        inizio=inizio+24
        fine=fine+24
    }
## data.frame con i dati delle tre misure
inq_mi_misureM=data.frame(annom, giornom, mesem, datem, pm10_d, pm10_i, pm10_m, pts_d, pts_i,
pts_m, o3_d, o3_i, o3_m, so2_d, so2_i, so2_m, no2_d, no2_i, no2_m, co_d, co_i, co_m, bnz_d,
bnz_i, bnz_m);
```