

**ISTITUTO SUPERIORE DI SANITÀ**

**Monitoraggio della qualità dell'aria ambiente  
nella stazione di rilevamento  
dell'Istituto Superiore di Sanità nel 1999**

**Marcello Ferdinandi, Marco Inglessis,  
Salvatore Puleda, Giuseppe Viviano**

*Laboratorio di Igiene Ambientale*

ISSN 1123-3117

**Rapporti ISTISAN**

**01/17**

Istituto Superiore di Sanità

**Monitoraggio della qualità dell'aria ambiente nella stazione di rilevamento dell'Istituto Superiore di Sanità nel 1999.**

Marcello Ferdinandi, Marco Inglessis, Salvatore Puledda, Giuseppe Viviano

2001, 76 p. Rapporti ISTISAN 01/17

Vengono elaborati e valutati i risultati del rilevamento degli inquinanti atmosferici, effettuato tramite la stazione di rilevamento dell'Istituto Superiore di Sanità (ISS) nell'anno 1999. Detta stazione, che non ha scopi di controllo ma soltanto di valutazione di metodiche e di studio, misura, in continuo, le concentrazioni dei seguenti inquinanti: monossido di carbonio (CO), biossido di azoto (NO<sub>2</sub>), ozono (O<sub>3</sub>). Per ogni inquinante, a partire dalle concentrazioni medie orarie, sono presentate le medie mensili, giornaliere, l'andamento delle concentrazioni per ora del giorno e per i diversi giorni della settimana (giornate tipo: festivi, semifestivi, feriali). I dati ottenuti sono confrontati, a titolo indicativo, con i valori stabiliti dalle norme vigenti come valori limite e livelli di attenzione e di allarme. Di ogni inquinante vengono inoltre descritte le caratteristiche generali, la normativa vigente in Italia e gli effetti sulla salute.

*Parole chiave:* Biossido di azoto, Effetti sulla salute, Inquinamento atmosferico, Monossido di carbonio, Normativa italiana, Ozono, Qualità dell'aria ambiente

Istituto Superiore di Sanità

**Monitoring of ambient air quality as recorded by the monitoring station at the Istituto Superiore di Sanità in 1999.**

Marcello Ferdinandi, Marco Inglessis, Salvatore Puledda, Giuseppe Viviano

2001, 76 p. Rapporti ISTISAN 01/17 (in Italian)

The paper reports the processing and assessment of the results obtained from the determination of air pollutants during 1999 recorded by means of a monitoring station at the Istituto Superiore di Sanità. The station – which is not used to control air pollution, but only to assess methodologies and study outdoor air quality – continuously measures the concentration of carbon monoxide, nitrogen dioxide and ozone. As from the mean hourly concentration, daily and monthly means, and concentration trend per hour of the day and per day of the week (working and non-working days) for each pollutant were calculated. The data obtained are compared with the values set forth in the regulations in force as threshold limits and attention/alarm levels. A description of the general characteristics, health impact and related current regulations in Italy for each pollutant is also provided.

*Key words:* Air pollution, Ambient air quality, Carbon monoxide, Health effects, Italian legislation, Nitrogen dioxide, Ozone

Il rapporto è disponibile online nel sito di questo Istituto: [www.iss.it](http://www.iss.it).

# INDICE

|                                                                                                                     |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>1. Introduzione</b> .....                                                                                        | 1  |
| <b>2. Metodi</b> .....                                                                                              | 2  |
| <b>3. Ossido di carbonio</b> .....                                                                                  | 3  |
| 3.1 Caratteristiche generali.....                                                                                   | 3  |
| 3.2 Effetti sulla salute.....                                                                                       | 5  |
| 3.3 Legislazione .....                                                                                              | 6  |
| 3.4 Concentrazioni atmosferiche.....                                                                                | 6  |
| <b>4. Ossidi di azoto</b> .....                                                                                     | 11 |
| 4.1 Caratteristiche generali.....                                                                                   | 11 |
| 4.2 Effetti sulla salute.....                                                                                       | 11 |
| 4.3 Legislazione .....                                                                                              | 12 |
| 4.4 Concentrazioni atmosferiche.....                                                                                | 12 |
| <b>5. Ozono</b> .....                                                                                               | 14 |
| 5.1 Caratteristiche generali.....                                                                                   | 14 |
| 5.2 Effetti sulla salute.....                                                                                       | 15 |
| 5.3 Legislazione .....                                                                                              | 15 |
| 5.4 Concentrazioni atmosferiche.....                                                                                | 16 |
| <b>6. Conclusioni</b> .....                                                                                         | 19 |
| <b>Bibliografia</b> .....                                                                                           | 20 |
| <b>Appendice A</b>                                                                                                  |    |
| Andamento delle concentrazioni del monossido di carbonio nell'aria ambiente<br>(periodo gennaio-novembre 1999)..... | 23 |
| <b>Appendice B</b>                                                                                                  |    |
| Andamento delle concentrazioni del biossido di azoto nell'aria ambiente<br>(periodo gennaio-novembre 1999) .....    | 47 |
| <b>Appendice C</b>                                                                                                  |    |
| Andamento delle concentrazioni di ozono nell'aria ambiente<br>(periodo gennaio-novembre 1999) .....                 | 53 |



# 1. INTRODUZIONE

Le caratteristiche fisiche e chimiche dell'aria ambiente sono soggette ad un continuo cambiamento dovuto, essenzialmente negli agglomerati urbani, all'utilizzo di combustibili e carburanti per le necessità energetiche. Alcuni composti, originati dalle diverse tipologie di combustione, presentano un notevole impatto sulla salute umana e destano notevole preoccupazione, anche a causa del numero di esposti che si vengono a determinare in area urbana.

I recenti recepimenti di direttive della Unione Europea (UE) hanno inserito importanti aspetti sia sulla qualità dell'aria ambiente, sia sugli aspetti di prevenzione; si possono ricordare in particolare: il DL.vo 4 agosto 1999, n. 351 "Attuazione della direttiva 96/62/CE in materia di valutazione e di gestione della qualità dell'aria ambiente" e il DL.vo 4 agosto 1999, n. 372 "Attuazione della direttiva 96/61/CE relativa alla prevenzione e riduzione integrate dell'inquinamento". Inoltre è in via di approvazione il decreto di recepimento della direttiva 99/30 del Consiglio del 22 aprile 1999 relativa ai valori limite di qualità dell'aria ambiente per il biossido di zolfo, gli ossidi di azoto, le particelle e il piombo.

Con il DM 15 aprile 1994 sono stati introdotti i *livelli di attenzione* e di *allarme*, per alcuni inquinanti atmosferici, intesi ad assicurare il rispetto dei relativi standard di qualità dell'aria vigenti e successivamente, con il DM 25 novembre 1994, sono stati introdotti alcuni *obiettivi di qualità*, intesi come *valore medio annuale di riferimento da raggiungere e rispettare* relativamente a: materiale particolato PM<sub>10</sub>, benzene e benzo(a)pirene. Successivamente, con il DL.vo 4 agosto 1999 n. 351, si introducono alcune definizioni che evidenziano l'evoluzione che si è avuta in questo campo:

- *Aria ambiente*: aria esterna presente nella troposfera, ad esclusione di quella presente nei luoghi di lavoro.
- *Inquinante*: qualsiasi sostanza immessa direttamente o indirettamente dall'uomo nell'aria ambiente che può avere effetti dannosi sulla salute umana o sull'ambiente nel suo complesso.
- *Valore limite*: livello fissato in base alle conoscenze scientifiche al fine di evitare, prevenire o ridurre gli effetti dannosi sulla salute umana o per l'ambiente nel suo complesso, tale livello deve essere raggiunto entro un dato termine ed in seguito non superato.
- *Valore obiettivo*: livello fissato al fine di evitare, a lungo termine, ulteriori effetti dannosi per la salute umana o per l'ambiente nel suo complesso; tale livello deve essere raggiunto per quanto possibile nel corso di un dato periodo e in seguito non superato.
- *Livello di allarme*: livello oltre il quale vi è un rischio per la salute umana in caso di esposizione di breve durata e raggiunto il quale si deve immediatamente intervenire a norma del DL.vo 4 agosto 1999 n. 351.
- *Margine di tolleranza*: la percentuale del valore limite nella cui misura tale valore può essere superato alle condizioni stabilite dal DL.vo 4 agosto 1999 n. 351.

Al fine di effettuare studi sulla qualità dell'aria e valutare la correlazione tra i diversi inquinanti atmosferici, è operante dal 1978, presso l'Istituto Superiore di Sanità (ISS), Reparto di Igiene dell'Aria del Laboratorio di Igiene Ambientale, una stazione di monitoraggio degli inquinanti atmosferici ed in questo rapporto sono riportati i risultati di detto monitoraggio per il periodo gennaio-novembre 1999.

## 2. METODI

La stazione di monitoraggio della qualità dell'aria ambiente dell'ISS è ubicata in zona semicentrale, al margine di una strada ampia, a libera circolazione. La sonda di campionamento si trova a circa 2 metri dal ciglio stradale e ad un'altezza di 2,5 metri dal suolo.

I mezzi pubblici, circolanti nella zona, sono su rotaia e ad alimentazione elettrica; il traffico veicolare privato esistente, che rappresenta la fonte predominante di emissione, è dovuto agli utenti delle numerose strutture pubbliche site nelle vicinanze (ospedali, CNR, ISS, università). Esiste inoltre un traffico di attraversamento diretto, da aree extraurbane e suburbane, verso il centro della città.

Gli inquinanti presi in esame, monitorati in continuo, sono l'ossido di carbonio (CO), il biossido di azoto (NO<sub>2</sub>), e l'ozono (O<sub>3</sub>). Gli analizzatori funzionano in continuo, l'acquisizione dati viene realizzata effettuando una scansione dei segnali provenienti dagli analizzatori ogni 5 secondi ed il *software* applicativo provvede ad effettuare le medie orarie, che costituiscono la base dei dati. Vengono poi calcolate le altre varie concentrazioni medie che sono, a titolo indicativo, confrontate con i valori stabiliti dalle norme vigenti come livelli di attenzione, di allarme, limiti di accettabilità e di esposizione.

Nella Tabella 1 sono riportati i principi di misura ed i limiti di rilevabilità degli analizzatori utilizzati nella stazione ISS.

**Tabella 1. Principali caratteristiche degli analizzatori utilizzati nella stazione di rilevamento ISS**

| Analizzatore    | Principio di misura  | Limite di rilevabilità |
|-----------------|----------------------|------------------------|
| CO              | spettrofotometria IR | 0,05 ppm               |
| NO <sub>x</sub> | chemiluminescenza    | 0,4 ppb                |
| O <sub>3</sub>  | assorbimento luce UV | 0,6 ppb                |

Gli analizzatori vengono calibrati periodicamente:

- la calibrazione dell'analizzatore di ossido di carbonio viene effettuata utilizzando miscele certificate di CO in aria;
- la calibrazione dell'analizzatore degli ossidi di azoto viene effettuata tramite diluizione volumetrica di miscele certificate di NO ed NO<sub>2</sub> in N<sub>2</sub>;
- la calibrazione dell'analizzatore di ozono viene effettuata utilizzando la titolazione in fase gassosa (GPT) in NO.

La manutenzione ed il controllo periodico della strumentazione viene effettuata, con cadenza trimestrale, da tecnici specializzati della ditta fornitrice della strumentazione utilizzata.

Per ogni inquinante vengono di seguito, brevemente, descritte le caratteristiche chimico-fisiche essenziali, gli effetti sulla salute ed i livelli di concentrazione misurati nell'anno, anche in relazione ai parametri meteorologici presenti ed ai principali provvedimenti di limitazione della circolazione adottati dall'amministrazione comunale.

## 3. MONOSSIDO DI CARBONIO

### 3.1. Caratteristiche generali

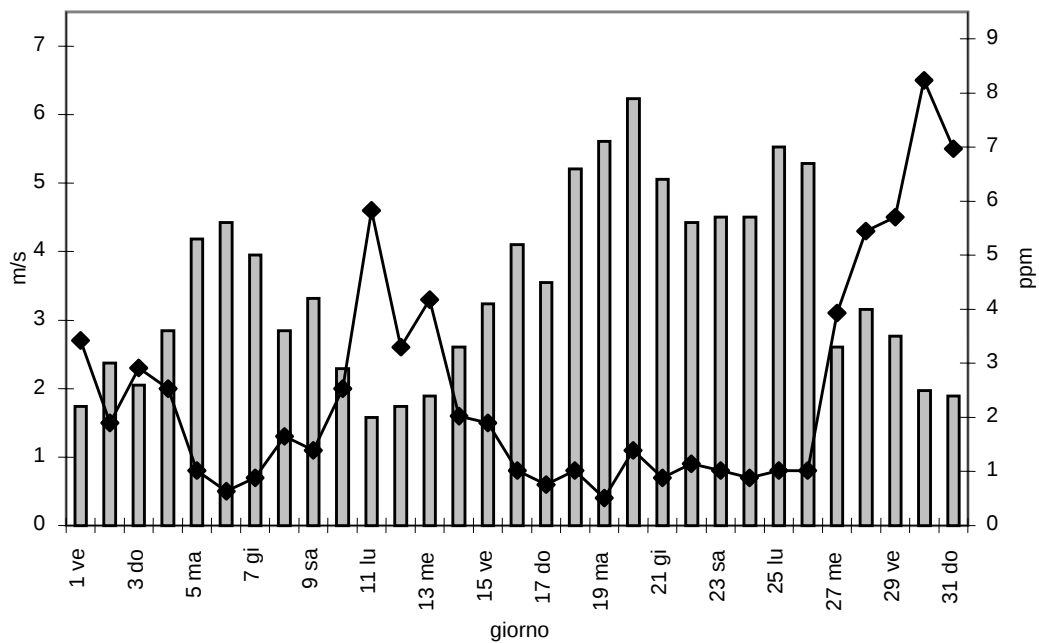
Il monossido di carbonio (CO) è un gas incolore, inodore ed insapore prodotto dai processi di combustione incompleta di materiali contenenti carbonio. Malgrado siano presenti fonti naturali di tale gas (incendi boschivi, vulcani, ossidazione del metano, oceani, ecc.) la sua concentrazione nell'aria, lontano da sorgenti artificiali di emissione, è estremamente bassa (0,009-0,200 ppm) grazie all'esistenza di meccanismi naturali di eliminazione (ossidazione atmosferica a CO<sub>2</sub>, solubilizzazione in acqua, metabolizzazione da parte di microrganismi, trasformazione in CO<sub>2</sub> e metano da parte di alcuni vegetali). Concentrazioni atmosferiche alte si riscontrano invece in prossimità di sorgenti artificiali di emissione (autoveicoli a motore, vari impianti a combustione). Per l'uomo, se si eccettuano le intossicazioni acute o croniche in ambito lavorativo o domestico, le fonti più importanti di CO sono rappresentate dal fumo di sigaretta e dall'aria inquinata delle aree urbane; infatti la più importante sorgente urbana di CO rimane il traffico motorizzato. La sua produzione da parte degli autoveicoli varia in rapporto al tipo di veicolo, essendo maggiore nei motori a benzina rispetto ai motori diesel che lavorano in eccesso di aria. La produzione di questo gas dipende inoltre dal regime del motore, risultando maggiore in avviamento, in decelerazione ed al minimo, e minore a velocità di crociera. Nel traffico urbano quindi la quantità di CO prodotta dagli autoveicoli è relativamente elevata (bassa velocità, frequenti decelerazioni e soste con il motore al minimo). La concentrazione di CO nei gas di scarico è inoltre influenzata dal sistema di alimentazione del motore adottato, dalla sua regolazione e dalla presenza o meno dei dispositivi di limitazione delle emissioni. Il progressivo rinnovo del parco autoveicolare ed i provvedimenti di limitazione e velocizzazione del traffico hanno portato, a parità di veicoli circolanti, ad una riduzione delle emissioni; sono inoltre in progressiva diminuzione le emissioni derivate dal settore domestico.

Il CO è un inquinante primario e, una volta emesso, subisce nell'atmosfera poche reazioni, essendo notevolmente stabile e, quindi, la sua concentrazione è progressivamente minore man mano che aumenta la distanza dalle sorgenti di emissione, cioè essenzialmente dalle strade adibite a circolazione autoveicolare.

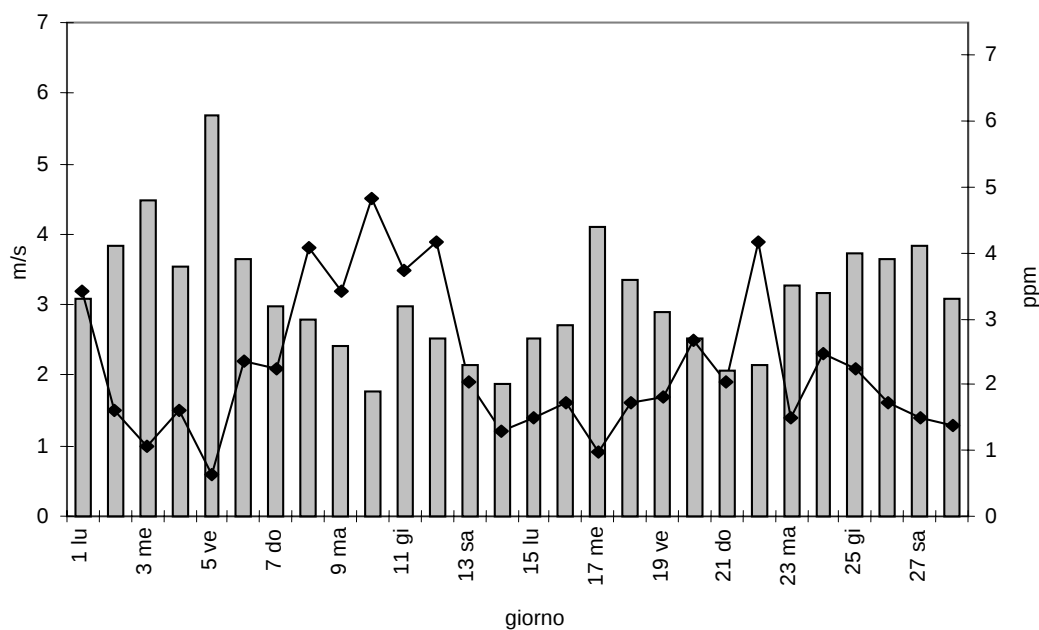
I processi di diluizione e dispersione che il gas subisce sono condizionati dai parametri meteorologici. La presenza di un gradiente termico verticale facilita la diluizione mentre il contrario avviene in corso di neutralità o, peggio, inversione termica; il parametro meteorologico più importante è tuttavia costituito dalla velocità del vento.

In Figura 1 sono riportate, a titolo esemplificativo, le velocità del vento medie giornaliere e le relative concentrazioni di CO nei mesi di gennaio (Figura 1a) e febbraio 1999 (Figura 1B).

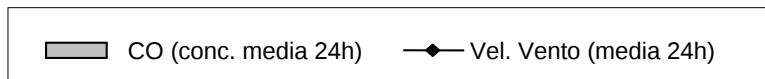
Appare evidente come la concentrazione giornaliera di CO, in presenza di emissioni presumibilmente simili (giorni feriali o festivi), decresca sensibilmente con l'aumentare della velocità del vento. L'effetto delle condizioni meteorologiche pesa ovviamente in misura molto minore quando vengono comparate medie di lungo periodo (ad esempio annuali).



**1a. gennaio 1999**



**1b. febbraio 1999**



**Figura 1. Velocità del vento e concentrazione media giornaliera di CO**

## 3.2. Effetti sulla salute

Il monossido di carbonio, inalato con il fumo di tabacco o presente nell'aria ambiente, giunge a contatto con la membrana alveolo-capillare, dove avviene lo scambio gassoso aria-sangue. La diffusione dei gas tra aria alveolare e sangue si compie in modo passivo in rapporto al gradiente pressorio esistente ed è influenzata da una costante di diffusione, caratteristica di ciascun gas.

La diffusibilità del monossido di carbonio è notevolissima, cosa che gli permette un rapidissimo attraversamento della membrana alveolo-capillare. La tossicità del gas è dovuta al suo legame con l'emoglobina e con gli altri enzimi contenenti l'eme. Nel sangue il CO si lega con l'atomo di ferro presente nell'eme dell'emoglobina, dando luogo alla formazione di carbossiemoglobina (HbCO). L'affinità dell'emoglobina per il CO è circa 240 volte superiore a quella dell'emoglobina per l'ossigeno; bastano quindi piccole quantità di CO nell'aria inspirata per determinare la formazione di notevoli quantità di HbCO. Il tempo necessario per l'eliminazione del CO dall'organismo è invece lungo e varia in rapporto alla dose, al tempo, alla modalità di esposizione e alle caratteristiche individuali. Generalmente è necessario un tempo compreso tra le tre e le cinque ore per eliminare il 50% del gas ed un periodo di 7-8 ore per raggiungere un'eliminazione del 90%. La carbossiemoglobina, avendo il ferro già legato con il CO, non può più assolvere al compito di trasportare ossigeno ai tessuti. Si può quindi avere, se si superano determinati valori ematici di carbossiemoglobina, una ridotta ossigenazione periferica, anche in conseguenza di una perturbazione che si determina nella dissociazione dell'ossigeno dall'emoglobina, con conseguente minore efficienza degli scambi tra sangue e tessuti.

Gli effetti dell'esposizione cronica al monossido di carbonio, comportanti un tasso di carbossiemoglobina superiore al 2% in gruppi a rischio, sembrano sostanzialmente essere dovuti alla ridotta ossigenazione tissutale. Gli organi prevalentemente interessati sono quelli più sensibili all'ipossia, e cioè il cuore ed il sistema nervoso centrale. A concentrazioni di carbossiemoglobina superiori al 3% è stata riscontrata, in soggetti sani, la riduzione della vigilanza acustica e visiva. Significative riduzioni delle prestazioni intellettive e della capacità di svolgere compiti complessi si verificano, sempre in soggetti sani, per concentrazioni di HbCO > del 5%. Effetti importanti si verificano a carico del sistema cardiovascolare.

In numerosi studi, già da molti anni (1, 2), è stata rilevata una associazione statisticamente significativa tra le concentrazioni atmosferiche medie di CO e l'aumento della mortalità per infarto miocardico. Un recente studio canadese (3) ha riscontrato una associazione statisticamente significativa, in un periodo di 15 anni, tra mortalità giornaliera e livelli ambientali di alcuni inquinanti, tra cui hanno significato predominante i livelli di CO, di PM<sub>10</sub> e PM<sub>2,5</sub>.

Effetti significativi anche a basse concentrazioni ematiche di carbossiemoglobina si rilevano inoltre in particolari gruppi a rischio. Soggetti con *angina pectoris* stabile da sforzo presentano decremento del tempo di comparsa di segni e sintomi di ischemia miocardica per concentrazioni di HbCO del 2% (4). Simili livelli di carbossiemoglobina possono essere raggiunti, in soggetti non fumatori, svolgenti una attività fisica lieve ed aventi tassi ematici iniziali bassi di carbossiemoglobina (HbCO = 0,5%), con esposizioni a concentrazioni ambientali di CO pari a 10 ppm per 8 ore (5).

### 3.3. Legislazione

I limiti massimi di accettabilità (standard di qualità) delle concentrazioni di CO in ambiente esterno per l'Italia sono stati fissati dal DPCM del 28 marzo 1983 e sono i seguenti:

- concentrazione media massima di 8 ore:  $10 \text{ mg/m}^3$
- concentrazione media massima di 1 ora:  $40 \text{ mg/m}^3$

Il Ministero dell'Ambiente, con il decreto del 15 aprile 1994, ha inoltre definito lo *stato di attenzione*, lo *stato di allarme* ed i relativi *livelli*; per il CO sono state stabilite le seguenti concentrazioni:

- livello di attenzione: media oraria  $15 \text{ mg/m}^3$
- livello di allarme: media oraria  $30 \text{ mg/m}^3$

Per il raggiungimento degli stati di attenzione o di allarme è necessario che si abbia il superamento dei relativi livelli in un numero di stazioni di rilevamento pari o superiore al 50% del totale.

### 3.4. Concentrazioni atmosferiche

Nell'area considerata, e più in generale in tutti i centri urbani dove la produzione del monossido di carbonio è determinata quasi esclusivamente dal traffico veicolare, si rilevano concentrazioni che presentano periodicità giornaliera molto ben definite e strettamente correlate ai flussi di traffico.

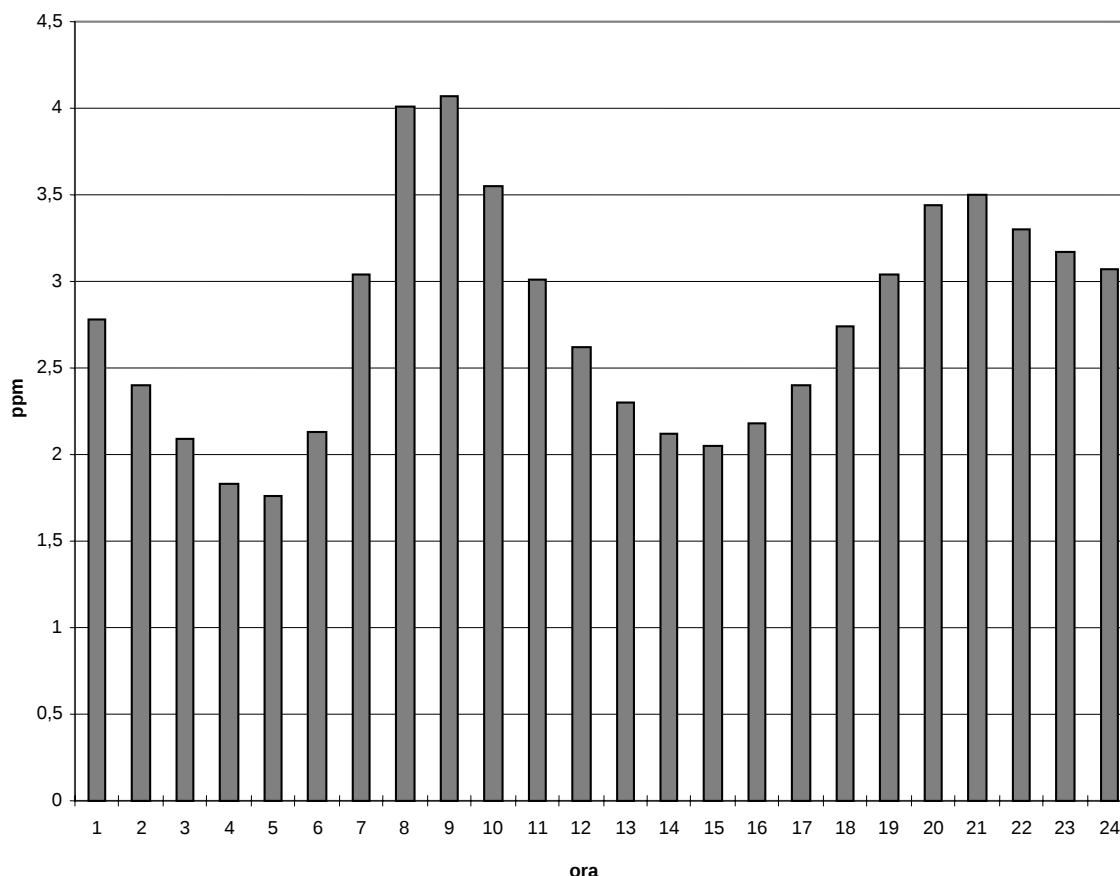
Nella Figura 2 sono riportate le concentrazioni medie orarie annuali del CO per il periodo gennaio-novembre 1999, si evidenziano due picchi, ben evidenti, che corrispondono alle ore di punta della circolazione autoveicolare. Il primo picco, di maggiore entità, si riscontra alle ore 9 (8,01-9,00 ora solare) ed il secondo picco si verifica alle ore 20-21.

Si riportano in Appendice A i grafici rappresentativi delle concentrazioni di CO nell'aria ambiente per i singoli mesi, per ognuno dei quali sono state separate le concentrazioni orarie giornaliere in sottogruppi ottenendo così quattro grafici rappresentanti:

- a) le medie orarie di tutti i giorni del mese;
- b) le medie orarie dei giorni feriali;
- c) le medie orarie dei sabati;
- d) le medie orarie delle domeniche.

Come si può vedere dai giorni rappresentativi dei mesi (parte a delle figure A1-A11) sia l'altezza dei picchi che la conformazione dei tracciati variano notevolmente. Nei mesi di gennaio e novembre si hanno picchi di maggiore entità e quello serale è più alto (7-8 ppm) del mattutino, nel mese di ottobre la prevalenza del picco serale risulta di minore entità mentre da febbraio a settembre si rileva una netta prevalenza del picco mattutino. Da gennaio fino a luglio-agosto si ha una progressiva diminuzione di tutte le 24 medie giornaliere, con il picco serale che si riduce progressivamente, fino quasi a scomparire. Da settembre a novembre, invece, le 24 medie orarie giornaliere aumentano progressivamente e cresce soprattutto il picco serale, che a novembre diviene quello prevalente.

Essendo, come già detto, la concentrazione dell'inquinante strettamente legata al traffico motorizzato, essa varia in rapporto ai vari giorni della settimana, che presentano condizioni diverse di traffico.



**Figura 2. Concentrazioni medie orarie del CO nel periodo gennaio-novembre 1999**

Esaminando i grafici rappresentativi dei giorni feriali (parte b delle Figure A1-A11) si può rilevare come i picchi giornalieri siano generalmente più alti, soprattutto se confrontati con i grafici rappresentativi dei sabati e delle domeniche (parti c e d delle Figure A1-A11).

Osservando la configurazione del grafico rappresentativo delle domeniche (parte d delle Figure A1-A11), si può vedere come il picco mattutino sia sempre di bassa intensità e sia quello serale a prevalere, anche nei mesi nei quali, per gli altri giorni della settimana, prevale il picco mattutino.

Nelle Figure A12-A22 sono riportate, divise per mese, le medie giornaliere e le medie orarie massime e minime per ciascun giorno. I valori medi più alti si riscontrano nei mesi di gennaio e novembre (2-8 ppm) mentre nei mesi di luglio ed agosto le concentrazioni medie sono costantemente basse (quasi sempre inferiori ai 2 ppm); anche le concentrazioni orarie massime sono maggiori in gennaio e novembre, raggiungendo punte superiori ai 20 ppm. Dall'esame di tali figure si possono anche rilevare i giorni in cui si è avuto il superamento del livello di attenzione nel 1999 (il livello di allarme non è mai stato superato). Anche in questo caso si può vedere che la gran parte dei superamenti è avvenuta nei mesi di gennaio e novembre.

Nella Tabella 2 è riportato il numero di superamenti del livello di attenzione, diviso per mesi e per periodo della giornata, nel periodo gennaio-novembre 1999 e, per confronto, nello stesso periodo del 1993. Tali dati presentano un valore del tutto indicativo, in quanto la stazione di

rilevamento dell'ISS non è stata strutturata come stazione di controllo e non fa parte, ovviamente, della rete di rilevamento degli inquinanti atmosferici della città di Roma.

**Tabella 2. Numero di giorni con superamento del livello di attenzione per il CO  
(15 mg/m<sup>3</sup> - media oraria)**

| Numero di giorni di superamento | Gennaio |      | Febbraio |      | Ottobre |      | Novembre |      |
|---------------------------------|---------|------|----------|------|---------|------|----------|------|
|                                 | 1993    | 1999 | 1993     | 1999 | 1993    | 1999 | 1993     | 1999 |
| solo mattina                    | 3       | 0    | 0        | 0    | 1       | 0    | 4        | 0    |
| solo sera                       | 7       | 3    | 3        | 0    | 0       | 2    | 4        | 1    |
| mattina e sera                  | 2       | 0    | 1        | 0    | 0       | 0    | 2        | 0    |
| totale giorni di superamento    | 12      | 3    | 4        | 0    | 1       | 2    | 10       | 1    |

Si è verificata una drastica riduzione del numero dei giorni di superamento del livello di attenzione nel periodo considerato del 1999 (si è passati da 27 a 6 giorni); inoltre, sempre nello stesso periodo del 1999, il livello è stato superato esclusivamente nelle ore serali (mentre nel 1993 vi erano stati 13 superamenti nelle ore mattutine).

Nella Tabella 3 è riportato il numero dei giorni con superamento della concentrazione media massima di 8 ore; anche in questo caso i superamenti sono avvenuti prevalentemente nei periodi serali.

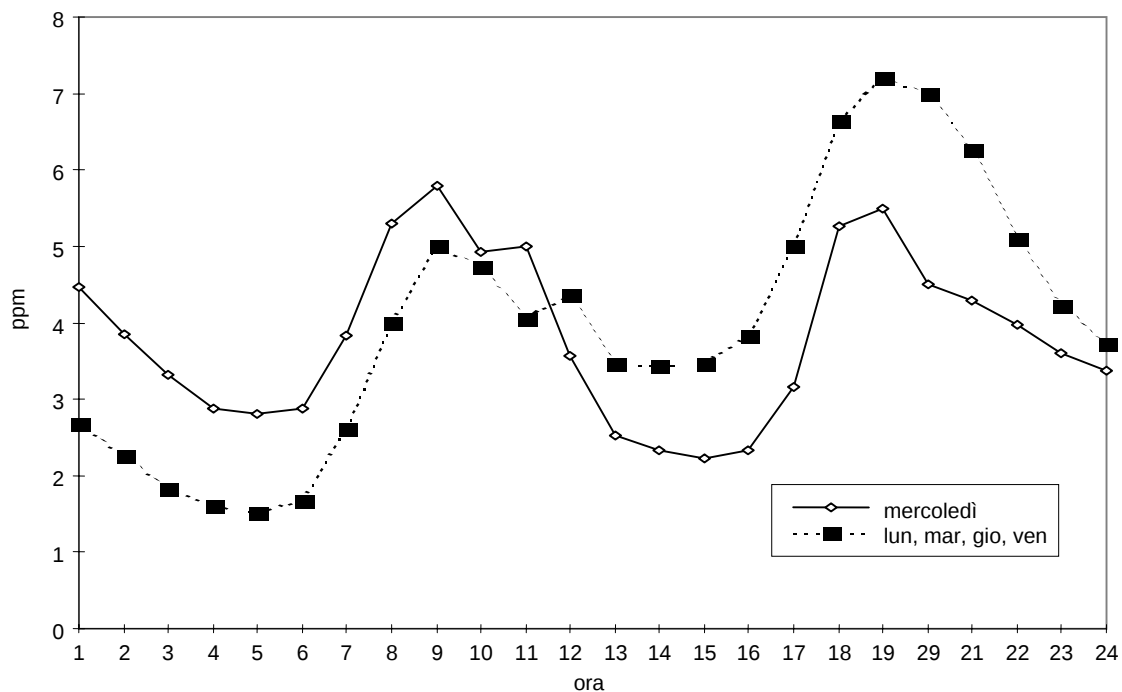
**Tabella 3. Numero di giorni con superamento della concentrazione media massima del CO di 8 ore  
(10 mg/m<sup>3</sup>) nel periodo gennaio - novembre 1999**

| Mese     | Numero di giorni di superamento |
|----------|---------------------------------|
| gennaio  | 4                               |
| febbraio | 1                               |
| ottobre  | 2                               |
| novembre | 3                               |

Dal giorno 6 ottobre 1999, e per tutti i rimanenti mercoledì dell'anno, il Comune di Roma ha attuato un provvedimento restrittivo sul traffico autoveicolare privato, con blocco della circolazione per le auto non catalizzate, all'interno di un perimetro definito *anello ferroviario*, dalle ore 15 alle ore 21.

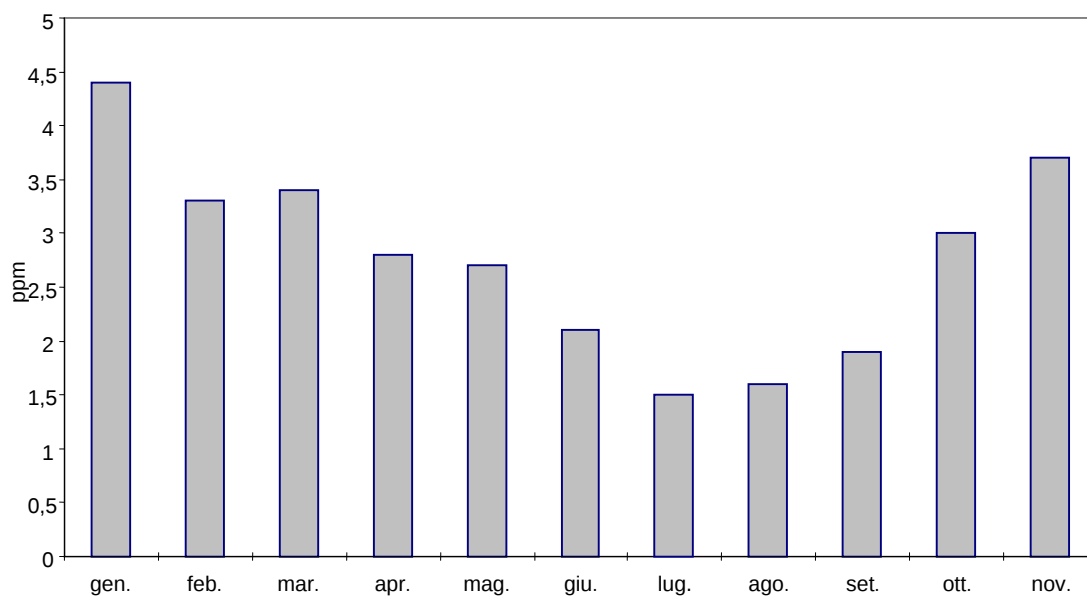
Nella Figura 3 sono riportate le medie orarie, separando i mercoledì dagli altri giorni feriali, per il mese di novembre 1999. Mentre per il picco mattutino non si apprezza una sostanziale differenza tra il mercoledì e gli altri giorni feriali, durante il blocco (ore 15-21) si ha una sostanziale diminuzione delle concentrazioni atmosferiche dell'ossido di carbonio. La media oraria delle ore 19, che rappresenta il valore di picco, passa da 5,5 ppm nei mercoledì, a 7,2 ppm negli altri giorni feriali.

Le concentrazioni più basse riscontrate nei periodi di blocco sono dovute, oltre che alla riduzione complessiva del volume di traffico, al notevole abbattimento di CO operato dal dispositivo di limitazione delle emissioni (marmitta catalitica) presente sulle autovetture circolanti.



**Figura 3. Concentrazioni medie orarie del CO, differenziate per giorni della settimana, nel mese di novembre 1999**

Nella Figura 4 sono riportate le concentrazioni atmosferiche medie mensili di CO; come si vede i livelli di maggiore inquinamento si verificano nella stagione fredda.



**Figura 4. Concentrazioni medie mensili dell'ossido di carbonio (periodo gennaio-novembre 1999)**

Questo può essere spiegato dalle condizioni atmosferiche, più favorevoli alla stasi nel periodo invernale, e da un maggior numero di sorgenti emissive. Infatti, come detto, la stazione di rilevamento è situata di fronte all'università e si ha quindi un periodo di massima attività nei mesi invernali, mentre nei mesi caldi si verifica una forte riduzione di transiti autoveicolari dovuta anche alle ferie estive. A questo si aggiunge che nei mesi freddi aumentano le emissioni domestiche dovute agli impianti di riscaldamento.

## 4. OSSIDI DI AZOTO

### 4.1. Caratteristiche generali

Gli ossidi di azoto nell'aria ambiente sono rappresentati principalmente dal monossido (NO), emesso come tale, e dal biossido (NO<sub>2</sub>), che è invece un inquinante secondario. Sono prodotti nei processi di combustione dalla combinazione di N<sub>2</sub> e O<sub>2</sub>. Esistono fonti naturali di produzione (incendi, emissioni vulcaniche) ed emissioni antropogeniche (motori a scoppio, riscaldamento domestico, centrali elettriche, processi industriali).

Nelle aree urbane sono prodotti prevalentemente dai motori a scoppio degli autoveicoli e, in misura minore, dagli impianti di riscaldamento. Nei motori a scoppio si ha una produzione maggiore di ossidi di azoto quando la miscela è povera di carburante e la temperatura raggiunta nella camera di combustione è maggiore; condizioni che si verificano normalmente soprattutto a velocità di crociera.

In atmosfera il monossido di azoto partecipa ad una serie di reazioni fotochimiche che determinano la formazione di inquinanti secondari, tra cui hanno particolare importanza il biossido di azoto e l'ozono; ciò avviene particolarmente nelle ore in cui sono più elevate temperatura e radiazione solare. Le concentrazioni degli ossidi di azoto risentono, come tutti gli inquinanti, delle condizioni atmosferiche: vento, pioggia, periodi di stabilità ed inversione termica. Inoltre il rapporto tra NO ed NO<sub>2</sub> dipende dalla temperatura e dall'irraggiamento, in relazione all'instaurarsi di reazioni fotochimiche.

### 4.2. Effetti sulla salute

Gli ossidi di azoto sono tossici per l'uomo come tali; sono importanti reattanti atmosferici e partecipano alla formazione dello *smog fotochimico*, altamente irritante per le mucose; reagiscono con gli idrocarburi policiclici aromatici (IPA), determinando la formazione di nitro-IPA, notevolmente tossici; sotto forma di nitrati costituiscono una componente delle polveri fini (anch'esse importanti per i loro effetti sulla salute).

Tra i vari ossidi di azoto quello più importante da un punto di vista tossicologico è il biossido (NO<sub>2</sub>); esposizioni umane controllate a tale inquinante hanno dimostrato che esposizioni di breve periodo a concentrazioni superiori a 0,3-0,5 ppm determinano broncocostrizione (6, 7). A concentrazioni più alte (2 ppm), ed in seguito ad esposizioni ripetute, si possono verificare alterazioni strutturali ed infiammatorie dell'epitelio di rivestimento delle vie aeree (8, 9).

Alterazioni degli indici di funzionalità polmonare in seguito ad esposizione ad NO<sub>2</sub> si verificano soprattutto in soggetti asmatici (10).

Numerosi studi epidemiologici hanno evidenziato una associazione tra le concentrazioni giornaliere di NO<sub>2</sub> e di altri inquinanti atmosferici e le consultazioni mediche o i ricoveri ospedalieri per malattie respiratorie (11-13). E' stata anche riscontrata una associazione significativa tra concentrazioni atmosferiche di NO<sub>2</sub> e mortalità giornaliera in varie città (14-16), ma è verosimile, essendo le fonti di emissione di NO<sub>2</sub> e polveri sospese, in area urbana, in gran parte sovrapponibili, che questo effetto sia causato prevalentemente dal particolato fine ed ultrafine.

## 4.3. Legislazione

Il legislatore ha indicato limiti e valori guida per il solo biossido di azoto, che risulta essere il più tossico tra gli  $\text{NO}_x$ .

Il DPR 203/1988 ha stabilito i seguenti limiti:

- Valore limite, standard di qualità:  $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$   
(98° percentile delle medie orarie durante l'anno)
- Valore guida:  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$   
(50° percentile delle concentrazioni medie orarie durante l'anno)
- Valore guida  $135 \mu\text{g}/\text{m}^3$   
(98° percentile delle concentrazioni medie orarie durante l'anno)

Il DM 15/4/94 ha fissato i livelli di attenzione e di allarme:

- Livello di attenzione:  $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (media oraria)
- Livello di allarme:  $400 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (media oraria)

Attualmente è in corso di recepimento la Direttiva 99/30 CE , nella quale sono stabiliti nuovi valori limite e soglie di allarme; sono inoltre previsti inizialmente margini di tolleranza in progressiva diminuzione ed è indicata la data entro la quale tali valori limite dovranno essere rispettati.

Sono indicati i seguenti valori:

1. Valori limite per il biossido di azoto ( $\text{NO}_2$ ) e per gli ossidi di azoto ( $\text{NO}_x$ ):

- Valore limite orario (media oraria) per la protezione della salute umana:  
 $\text{NO}_2$   $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$  da non superare più di 18 volte per anno civile.
- Valore limite annuale (media anno civile) per la protezione della salute umana:  
 $\text{NO}_2$   $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$
- Valore limite annuale (media anno civile) per la protezione della vegetazione:  
 $\text{NO}_x$   $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$

2. Soglia di allarme per il biossido di azoto ( $\text{NO}_2$ ):

- $\text{NO}_2$ :  $400 \mu\text{g}/\text{m}^3$  misurati per tre ore consecutive in un sito rappresentativo della qualità dell'aria di un'area di almeno  $100 \text{ km}^2$  oppure una zona o un agglomerato completi, nel caso siano meno estesi.

## 4.4. Concentrazioni atmosferiche

Viene preso in esame il solo biossido di azoto, data la sua particolare importanza tossicologica. In Appendice B (Figure B1-B4) sono riportate in grafico le concentrazioni medie orarie per periodi trimestrali; la concentrazione dell'inquinante risulta essere bassa tra le ore 3 e 5 del mattino ed aumenta quindi delineando 2 picchi giornalieri.

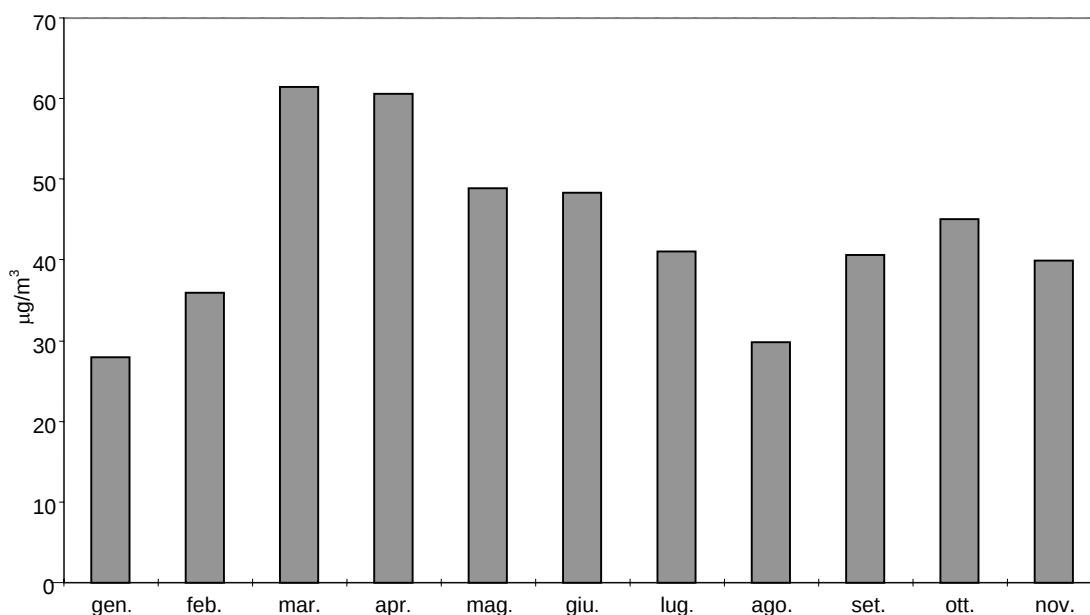
Nei mesi più freddi (periodi gennaio-marzo e ottobre-novembre) i picchi non sono molto ben separati e le concentrazioni si mantengono su livelli elevati fino alle ore 20, per poi decrescere riportandosi al minimo nelle prime ore del mattino.

Nei mesi più caldi (periodi aprile-giugno e luglio-settembre) i 2 picchi giornalieri sono ben distinti, le concentrazioni più elevate si raggiungono al mattino (picco delle ore 9), si nota poi un decremento fino al raggiungimento dei minimi giornalieri (ore 14-15) ed un seguente aumento delle concentrazioni fino ad un massimo alle ore 23-24.

Nei mesi più freddi le concentrazioni massime si raggiungono alla sera, mentre nei periodi più caldi prevale il picco mattutino; tale andamento è dipendente dal volume delle emissioni e dai parametri meteorologici.

Gli ossidi di azoto vengono prevalentemente emessi sotto forma di NO che si converte quindi in NO<sub>2</sub>. Durante i mesi caldi la radiazione solare innesca reazioni fotochimiche che provocano la dissociazione di NO<sub>2</sub> (valore minimo ore 14-15) e, coinvolgendo altri precursori (idrocarburi), la formazione di ozono (valore massimo ore 13-15).

Nella Figura 5 sono riportate le medie mensili del biossido di azoto nel periodo gennaio-novembre 1999. Le concentrazioni minime vengono raggiunte nel mese di agosto, le massime nei mesi di marzo e aprile. Per il biossido di azoto non si sono verificati superamenti dei livelli di attenzione e di allarme durante il periodo considerato.



**Figura 5. Concentrazioni medie mensili del biossido di azoto (gennaio-novembre 1999)**

## 5. OZONO

### 5.1. Caratteristiche generali

L'ozono ( $O_3$ ) presente nella bassa troposfera origina in massima parte da una serie complessa di reazioni chimiche, a partire da altri inquinanti presenti nell'atmosfera (precursori), prevalentemente tramite l'azione dell'irraggiamento solare (reazioni fotochimiche).

I principali precursori coinvolti nella formazione dell' $O_3$  sono gli ossidi di azoto ( $NO_x$ ) ed i Composti Organici Volatili (COV); possono essere di origine antropogenica (combustioni, evaporazione di solventi organici) o derivare da sorgenti naturali di emissione (combustioni, vegetazione, suolo). Il rapporto tra emissioni di origine naturale ed antropogenica varia in relazione alla zona geografica considerata; in Europa circa il 95% degli  $NO_x$  ed il 60% dei COV sono di origine antropogenica, molto diverse sono le proporzioni che si riscontrano nei Paesi in via di sviluppo.

Nei centri urbani gli inquinanti coinvolti nella produzione di ozono derivano principalmente dal traffico veicolare. Nella complessa serie di reazioni coinvolgenti  $NO_x$  e COV, che portano alla formazione di ozono (17), i vari composti organici volatili hanno una differente reattività (18); tra i più reattivi vanno ricordati il toluene, l'etene, il propene, l'isoprene. Dopo l'emissione i precursori si disperdono nell'ambiente in maniera variabile a seconda delle condizioni atmosferiche. Affinché dai precursori, con l'azione della radiazione solare, si formi ozono in quantità apprezzabili, occorre un certo periodo di tempo (da ore a giorni). Questo fa sì che le concentrazioni di  $O_3$  in un dato luogo non siano linearmente correlate alle quantità di precursori emessi nella zona considerata; quasi sempre anzi le concentrazioni di ozono sono invece maggiori nelle aree sottovento rispetto ai luoghi di emissione. Inoltre, visto il tempo occorrente per la formazione di ozono, le masse d'aria contenenti  $O_3$ , COV ed  $NO_x$  possono percorrere notevoli distanze (anche centinaia di chilometri), arricchendosi magari di precursori, prima che in esse si raggiungano le concentrazioni massime dell'inquinante. Da ciò deriva che il problema dell'inquinamento da ozono non può essere valutato strettamente su base locale ma deve essere considerato su ampia scala. Ad esempio risulta di scarsa efficacia, per abbassare le concentrazioni di ozono in un'area urbana, bloccare la circolazione autoveicolare nel solo centro storico. Questo anche perché i processi che portano alla degradazione dell'ozono possono coinvolgere gli stessi precursori. Ad esempio l'ozono può reagire con il monossido di azoto formando biossido di azoto e ossigeno; tale reazione porta, almeno inizialmente, ad una diminuzione delle concentrazioni di ozono. Ne deriva che, in particolari condizioni, la concentrazione di ozono può essere inversamente correlata con le quantità di alcuni precursori emessi (l'aumento degli  $NO_x$  in zone con bassi valori del rapporto COV/ $NO_x$  porta, ad esempio, ad una diminuzione di  $O_3$ ) ed anche per questo le concentrazioni di ozono possono essere più elevate in aree suburbane o rurali rispetto a quelle centrali a più intenso traffico autoveicolare.

Le concentrazioni di ozono dipendono quindi notevolmente dalle condizioni atmosferiche; le reazioni che portano alla sua formazione sono reazioni fotochimiche e quindi le concentrazioni dell'inquinante aumentano con l'aumentare di radiazione solare e temperatura (stagione estiva nelle ore subito seguenti la massima insolazione), mentre diminuiscono con l'aumentare della velocità del vento e della turbolenza atmosferica.

## 5.2. Effetti sulla salute

L'ozono è il principale ossidante presente nello smog fotochimico e i suoi effetti dannosi più evidenti si verificano sulle mucose con le quali l'inquinante viene a contatto. L'entità del danno dipende dalla concentrazione di  $O_3$  a cui si viene esposti, dalla durata dell'esposizione, dalla ventilazione nonché dalla suscettibilità individuale del soggetto esposto. A livello dell'epitelio di rivestimento delle vie aeree il contatto iniziale avviene con il sottile film fluido presente in superficie, che subisce modificazioni qualitative e quantitative, e con le membrane cellulari delle cellule epiteliali. Si formano, in seguito a processi ossidativi e perossidativi, dei composti che determinano il rilascio di mediatori endogeni pro-infiammatori (19), in grado di provocare un processo flogistico con prevalenza di neutrofili, rilevabile, nei soggetti più sensibili, già a bassi livelli di esposizione (20) e anche capace di incrementare la responsività delle vie aeree agli allergeni (21). La risposta infiammatoria e il danneggiamento, operato direttamente dall'ozono, o attraverso radicali liberi, tramite fenomeni di ossidazione e perossidazione, sulle membrane cellulari conducono ad una alterazione della permeabilità epiteliale ed endoteliale. Studi *in vitro* hanno inoltre dimostrato una ridotta capacità di reazione di macrofagi polmonari murini esposti a concentrazioni di 1 ppm di ozono (22), meccanismo che potrebbe contribuire a determinare una maggiore suscettibilità alle infezioni polmonari.

Nelle esposizioni acute ad ozono si verificano: un incremento della reattività polmonare, una reazione infiammatoria delle vie aeree, una iniziale iperplasia epiteliale, alterazione degli indici di funzionalità respiratoria ( $FEV_1$ , FVC).

In generale per i meccanismi di azione dell'ozono appena descritti, si può dire che tutti i soggetti con elevata ventilazione operanti in ambienti inquinati (atleti, soggetti che svolgono lavori pesanti, ecc.) sono maggiormente a rischio in quanto inalano una maggior quantità di ozono; sono anche a rischio i soggetti con una preesistente ridotta funzionalità polmonare o una iper-reattività bronchiale (broncopneumopatie, asma), in quanto a seguito dell'esposizione si determina una ulteriore limitazione funzionale. Un gruppo particolarmente sensibile è costituito dai bambini; essi infatti hanno una maggior ventilazione, presentano un epitelio più suscettibile all'azione dannosa dell'ozono e generalmente passano più ore all'aria aperta.

Dai numerosi studi epidemiologici effettuati, sono risultate correlazioni significative tra concentrazioni giornaliere di ozono e ricoveri ospedalieri o visite mediche per crisi asmatiche, uso di farmaci broncodilatatori, ricoveri per broncopneumopatie croniche ostruttive (23-26). In alcuni studi è anche stata rilevata una associazione significativa tra concentrazione di ozono e mortalità giornaliera (27-29), ma i risultati fin qui ottenuti non sono univoci, ed è possibile che l'aumento della mortalità sia causato essenzialmente da altri inquinanti.

Non sono ancora ben definiti gli effetti dell'esposizione cronica alle concentrazioni di ozono riscontrabili nell'ambiente. Studi effettuati su animali da laboratorio hanno rilevato, per esposizioni prolungate ad elevate concentrazioni di ozono, oltre alle alterazioni riportate per le esposizioni acute, una infiammazione cronica con fibrosi interstiziale progressiva, marcata riduzione della funzionalità respiratoria e più rapido invecchiamento dei tessuti polmonari.

## 5.3. Legislazione

Sono attualmente in vigore in Italia le seguenti disposizioni:

- DPR 203/1988
  - Valore limite, standard di qualità:  $200 \mu g/m^3$   
(concentrazione media di un'ora da non raggiungere più di una volta al mese)

- DM 25 novembre 1994
  - Livello di attenzione:  $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (media oraria)
  - Livello di allarme:  $360 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (media oraria)
- DM 16 maggio 1996
  - Livello di protezione per la salute umana:
    - $110 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (media mobile dei valori di 8 ore)
  - Livello di protezione per la vegetazione:
    - $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (media oraria)
    - $65 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (media giornaliera)

## 5.4. Concentrazioni atmosferiche

Come già detto, essendo prodotto, in presenza dei precursori, da una serie di reazioni fotochimiche, l'ozono risente di andamenti stagionali e giornalieri con la massima produzione dell'inquinante nei periodi con più alta radiazione solare.

In Appendice C (Figure C1-C11) sono riportate, per ciascun mese, le concentrazioni medie orarie differenziate in 2 gruppi: il primo gruppo comprende i giorni dal lunedì al venerdì, il secondo gruppo i sabati e le domeniche. Come si può vedere le concentrazioni più basse di ozono si riscontrano nei periodi invernali e le più alte nel periodo giugno-agosto. Per quanto riguarda l'andamento giornaliero le concentrazioni minime si hanno tra le ore 6 e le ore 8. Si riscontrano poi due picchi giornalieri.

Il picco di maggior entità è presente in tutti i mesi e segue l'ora del giorno in cui si ha la massima insolazione; si verifica intorno alle ore 14-15 nei mesi più freddi (gennaio-novembre) ed intorno alle ore 13 - 14 nel periodo più caldo (giugno-settembre).

Il secondo picco, di minor entità, si verifica in maniera evidente solo nel periodo invernale e si ha tra le ore 3 e le ore 6, quando cioè gli ossidi di azoto presentano le concentrazioni minime giornaliere.

Dall'esame delle figure si può inoltre vedere come le concentrazioni di ozono siano generalmente più elevate nei *weekend* rispetto ai giorni lavorativi, soprattutto nei mesi in cui la radiazione solare è minore. Questo fenomeno, già rilevato in altre sedi (30, 31), è probabilmente conseguente ad una minor produzione di  $\text{NO}_x$ , in assenza di una equivalente concomitante riduzione dei COV e si verifica prevalentemente in presenza di condizioni meteorologiche non favorevoli alla produzione di ozono.

In Appendice C (Figure C13-C22) sono inoltre riportate, suddivise per mese, le concentrazioni medie giornaliere, le concentrazioni orarie massime e minime dell'ozono. Come si può vedere si passa da valori medi giornalieri anche molto bassi ( $3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) nei mesi invernali, a valori di molto superiori nei giorni estivi ( $88 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ). Dalle figure in esame è anche possibile vedere i giorni in cui si è avuto il superamento del livello di attenzione (mesi di luglio ed agosto) ed il superamento del valore limite, standard di qualità, di  $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , che si è verificato una sola volta, e per una sola ora, nel mese di luglio (Figura C19).

Nella Tabella 4 sono riportati il numero di giorni ed il numero di ore in cui è stato superato il *livello di attenzione* per l'ozono ( $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ); tale livello è stato superato, nel periodo gennaio-novembre 1999, per sole 5 ore.

Nella Tabella 5 è riportato il numero di giorni in cui è stato superato il *livello di protezione della salute* ( $110 \mu\text{g}/\text{m}^3$  come media mobile dei valori di 8 ore) ed il numero complessivo dei possibili periodi di 8 ore in cui è avvenuto il superamento.

**Tabella 4. Numero di giorni e numero di ore in cui è stato superato il *livello di attenzione* per l'ozono (media oraria 180  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) nel periodo gennaio-novembre 1999**

| Mese   | Numero di giorni con superamento | Numero di ore con superamento |
|--------|----------------------------------|-------------------------------|
| luglio | 2                                | 3                             |
| agosto | 2                                | 2                             |

**Tabella 5. Numero di giorni con superamento del *livello di protezione della salute* per l'ozono (110  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  come medie mobili trascinate di 8 ore) e numero di medie in cui si è verificato il superamento di detto livello nel periodo gennaio - novembre 1999**

| Mese      | Numero di giorni con superamenti | Numero di medie con superamenti |
|-----------|----------------------------------|---------------------------------|
| maggio    | 6                                | 22                              |
| giugno    | 8                                | 43                              |
| luglio    | 9                                | 38                              |
| agosto    | 7                                | 29                              |
| settembre | 1                                | 2                               |

Nella Tabella 6 è riportato il numero di giorni in cui è stato superato il livello di protezione per la vegetazione (media giornaliera 65  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ).

**Tabella 6. Numero di giorni in cui è stato superato il livello di protezione per la vegetazione (media giornaliera 65  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) nel periodo gennaio-novembre 1999**

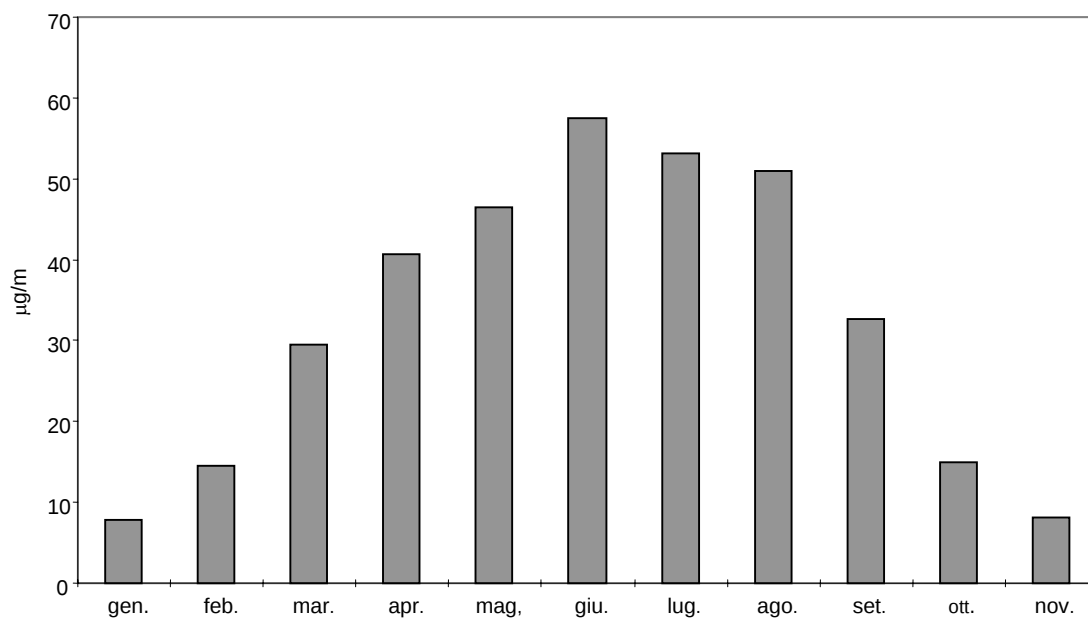
| Mese   | Numero di giorni con superamento |
|--------|----------------------------------|
| giugno | 9                                |
| luglio | 6                                |
| agosto | 5                                |

La Figura 6 riporta le medie mensili di ozono nel periodo gennaio-novembre 1999. La concentrazione massima (57,5  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) è stata raggiunta nel mese di giugno mentre la concentrazione minima c'è stata nel mese di gennaio (7,8  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ).

Dai dati riportati si rileva quindi un esiguo numero di superamenti dei livelli di attenzione e del livello di protezione per la salute umana, mentre il valore limite sanitario di 200  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  è stato superato per una sola ora.

Va rilevato tuttavia che, per quanto detto nella parte riguardante le caratteristiche generali dell'inquinante, le concentrazioni di ozono sono maggiori nelle aree verdi ed in zone extraurbane e suburbane con caratteristiche diverse rispetto all'area in esame.

I valori riscontrati dalla stazione di monitoraggio ISS non forniscono quindi indicazioni dell'andamento dell'inquinamento da ozono estensibili alla generalità dell'area urbana di Roma, ma descrivono la particolare situazione di una zona urbana avente le caratteristiche già descritte.



**Figura 6. Concentrazioni medie mensili di ozono (gennaio-novembre 1999)**

## 6. CONCLUSIONI

I rilevamenti effettuati hanno consentito di verificare gli andamenti dei tre inquinanti considerati e di evidenziare alcuni aspetti essenziali.

Per quanto riguarda il monossido di carbonio risultano evidenti e ben definiti i ritmi stagionali e giornalieri; questi sono rimasti sostanzialmente invariati negli anni e sono strettamente correlati con i flussi di traffico esistenti nell'area e con le condizioni atmosferiche. Il confronto del numero dei superamenti del livello di attenzione tra gli anni 1993 e 1999 ha permesso, inoltre, di evidenziare che i valori di picco si sono notevolmente ridotti nell'ultimo anno. Tale riduzione non si è invece verificata per i valori delle concentrazioni di fondo, che sono rimasti invece all'incirca sugli stessi livelli, contribuendo così a mantenere relativamente alte le medie di lungo periodo.

Anche per il biossido di azoto sono state evidenziate ben definite periodicità stagionali, con il raggiungimento delle massime concentrazioni nei mesi invernali. Non si sono riscontrate, invece, significative variazioni delle concentrazioni ambientali dell'inquinante negli ultimi anni; le concentrazioni medie raggiunte risultano comunque essere ben al di sotto dei limiti legislativi esistenti, non essendosi verificati superamenti dei livelli di attenzione e di allarme durante il periodo considerato.

Per quanto riguarda l'ozono, oltre alla ben nota periodicità stagionale, si è evidenziata una periodicità giornaliera con caratteristiche diverse tra periodi caldi, favorevoli alla produzione dell'inquinante, e periodi freddi. Nei mesi invernali è infatti ben evidente, contrariamente a quanto avviene nei mesi caldi, un secondo picco giornaliero, di minor entità, che si verifica nelle prime ore del giorno (ore 3-6). Si è inoltre riscontrata, ben evidente nei mesi invernali, una certa influenza legata al periodo del weekend, con concentrazioni dell'inquinante più elevate nei giorni festivi rispetto a quelli feriali.

I rilevamenti nella stazione proseguiranno per i prossimi anni al fine di continuare l'osservazione degli andamenti e al fine di disporre di una serie di dati continuativi da correlare con altri inquinanti ed in particolare microinquinanti di specifico interesse igienico-sanitario.

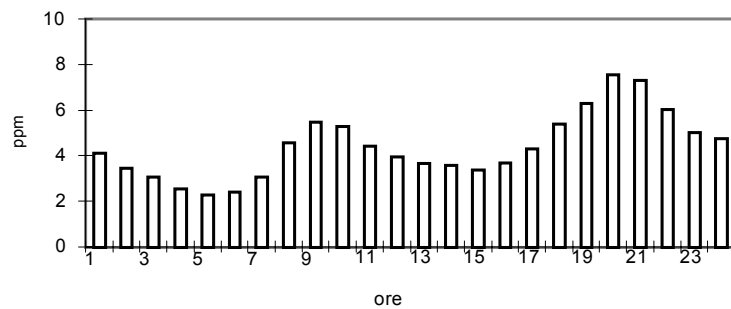
## BIBLIOGRAFIA

1. Goldsmith JR, Landaw SA. Carbon monoxide and human health. *Science* 1968;162:1352-9.
2. Hexter AC, Goldsmith JR. Carbon monoxide: association of community air pollution with mortality. *Science* 1971;172:265-7.
3. Burnett RT, Cakman S, Raizenne ME, Stieb D, Vincent R, Krewski D, Brook JR, Philips O, Ozkaynak H. The association between ambient carbon monoxide levels and daily mortality in Toronto, Canada. *J Air Waste Manag Assoc* 1998;48(8):689-700.
4. Allred EN, Bleecker BRC, Dahms TE, Gottlieb SO, Hekney JD, Pagano M, Selvester RH, Walden SM, Warren J. Effects of carbon monoxide on myocardial ischemia. *Environ Health Perspect* 1991;91:82-123.
5. Coburn RF, Foster RE, Kane PB. Consideration of the physiological variables that determine the blood carboxyhemoglobin in man. *J Clin Invest* 1965;44:1899-910.
6. Kagawa J. Evaluation of biological significance of nitrogen oxides exposure. *Tokai J Exp Clin Med* 1985;10(4):348-53.
7. Lindvall T. Health effects of nitrogen dioxide and oxidants. *Scand J Environ Health*. 1985;11 Suppl.3:10-28.
8. Carson JL, Collier AM, Hu SC, Delvin RB. Effect of nitrogen dioxide on human nasal epithelium. *Am J Respir Cell Mol Biol* 1993;9(3):264-70.
9. Blomberg A, Krishna MT, Helleday R, Soderberg M, Ledin MC, Kelly FJ, Frew AJ, Holgate ST, Sandstrom T. Persistent airway inflammation but accomodated antioxidant and lung function responses after repeated daily exposure to nitrogen dioxide. *Am J Respir Crit Care Med* 1999;159(2):536-43.
10. Kjaergaard SK, Rasmussen TR. Clinical studies of effects of nitrogen oxides in healthy and asthmatic subjects. *Cent Eur J Public Health* 1996;4Suppl:23-6.
11. Hajat S, Haines A, Goubet SA, Atkinson RW, Anderson HR. Association of air pollution with daily GP consultation for asthma and other lower respiratory conditions in London. *Thorax* 1999;54(7): 597-605.
12. Spix C, Anderson H, Schwartz J, Vigotti M. Short term effects of air pollution on hospital admissions for respiratory diseases in Europe: a quantitative summary of APHEA study results. *Arch Environ Health*. 1998;53:54-64.
13. Fusco D, Forastiere F, Michelozzi P, Spadea T, Perucci CA. Effetti acuti dell'inquinamento atmosferico: qualità dell'aria e ricoveri ospedalieri per cause cardiovascolari e respiratorie a Roma, 1995-97. Roma: Regione Lazio e Osservatorio Epidemiologico; 1998.
14. Kinney PL, Ozkaynak H. Associations of daily mortality and air pollution in Los Angeles County. *Environ Res* 1991;54:99-120.
15. Anderson HR, Ponce De Leon A, Bland JM, Bower JS, Strachn DP. Air pollution and daily mortality in London: 1987-1992. *BMJ* 1996;312(7032):665-9.
16. Michelozzi P, Forastiere F, Fusco D, Perucci CA, Ostro B, Ancona C, Pallotti G. Air pollution and daily martality in Rome, Italy. *J Occup Environ Med* 1998;55:605-10.
17. Finlayson-Pitts BJ, Pitts JN Jr. Tropospheric air pollution: ozone, airborne toxics, polycyclic aromatic hydrocarbons, and particles. *Science* 1997;16;276(5315):1045-52.
18. Simpson D. Hydrocarbon reactivity and ozone formation in Europe. *J Atmos Chem* 1995;20:163-77.

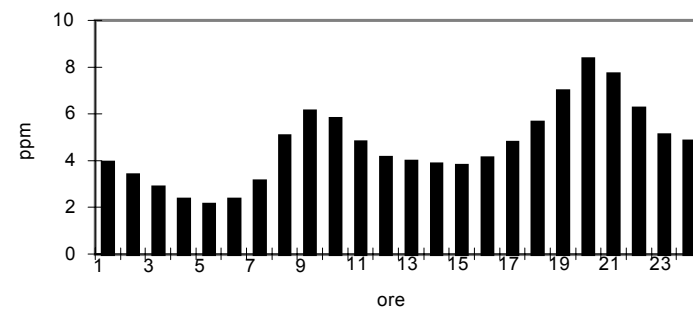
19. Pryor WA, Squadrito GL, Friedman MA. New mechanism for the toxicity of ozone. *Toxicol Lett* 1995;82-83:287-93.
20. Bromberg PA, Koren HS. Ozone-induced human respiratory dysfunction and disease. *Toxicol Lett* 1995;82-83:307-16.
21. Devalia JL, Rusznak C, Wang J, Khair OA, Abdelaziz MM, Calderon MA, Daviers RJ. Air pollutants and respiratory hypersensitivity. *Toxicol Lett* 1996;86(2-3):169-76.
22. Cohen MD, Zelikoff JT, Qu Q, Schlesinger RB. Effects of ozone upon macrophage-interferon interaction. *Toxicology* 1996; 114(3): 243-52.
23. Cody RP, Weisel CP, Birnbaum G, Lioy PJ. The effect of ozone associated with summertime photochemical smog on the frequency of asthma visits to hospital emergency departments. *Environ Res* 1992;58:184-94.
24. White MC, Etzel RA, Wilcox WD, Lloyd C. Exacerbations of childhood asthma and ozone pollution in Atlanta. *Environ Res* 1994;65:56-68.
25. Hiltermann TJ, Stolk J, Van Der Zee SC, Brunekreef B, De Bruijne CR, Fischer PH, Ameling CB, Sterk PJ, Hiemstra PS, Van Bree L. Asthma severity and susceptibility to air pollution. *Eur Respir J* 1998;11(3):686-93.
26. Anderson HR, Spix C, Medina S, Schouten JP, Castellsague J, Rossi G, Zmirou D, Touloumi G, Wojtyniak B, Pomka A, Bacharova L, Schwartz J, Katsouyanni K. Air pollution and daily admissions for chronic obstructive pulmonary disease in 6 European cities: results from the APHEA project. *Eur Respir J* 1997;10(5):1064-71.
27. Hoek G, Schwartz JD, Groot B, Eilers P. Effects of ambient particulate matter and ozone on daily mortality in Rotterdam, The Netherlands. *Arch Environ Health* 1997;52(6):455-63.
28. Touloumi G, Katsouyanni K, Zmirou D, Schwartz J, Spix C, De Leon AP, Tobias A, Quennel P, Rabczenko D, Bacharova L, Bisanti L, Vonk JM, Ponka A. Short-term effects of ambient oxidant exposure on mortality: a combined analysis within the APHEA project. Air pollution and Health: a European Approach. *Am J Epidemiol* 1997;146(2):177-85.
29. Borja-Aburto VH, Loomis DP, Bangdiwala SI, Shy CM, Rascon-Pacheco RA. Ozone, suspended particulates, and daily mortality in Mexico City. *Am J Epidemiol* 1997;145(3):258-68.
30. Dumont G. Effects of short term measures to reduce ambient ozone concentrations in Brussel and in Belgium. Relazione presentata alla Conferenza Ministeriale sull'Ozono Troposferico nell'Europa nordoccidentale. London, UK, maggio 1996.
31. Bronnimann S, Neu U. Weekend-weekday differences of near-surface ozone concentrations in Switzerland for different meteorological conditions. *Atmos Environ* 1997;31:1127-35.

## **APPENDICE A**

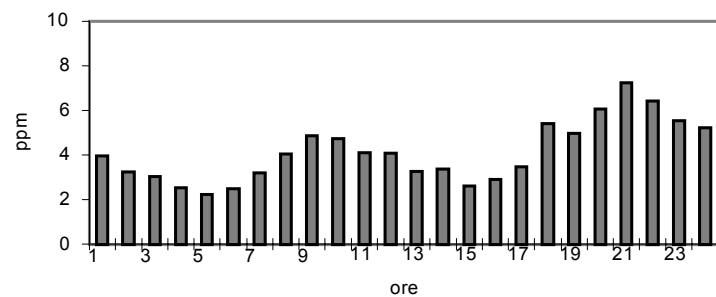
**Andamento delle concentrazioni  
del monossido di carbonio nell'aria ambiente  
(periodo gennaio-novembre 1999)**



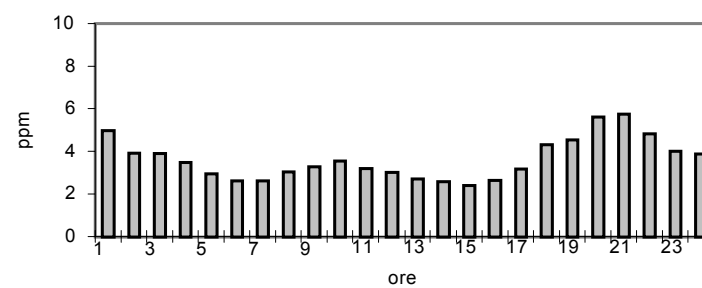
a. Medie orarie mensili



b. Medie orarie giorni dal lunedì al venerdì

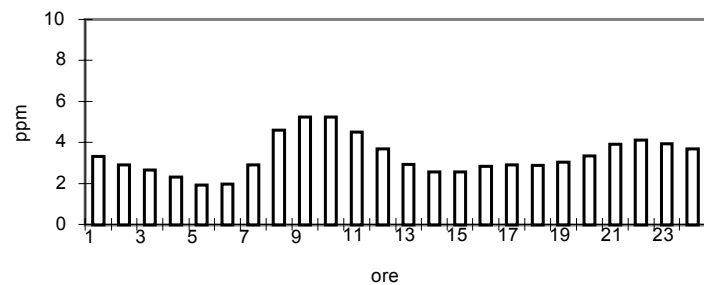


c. Medie orarie dei sabati

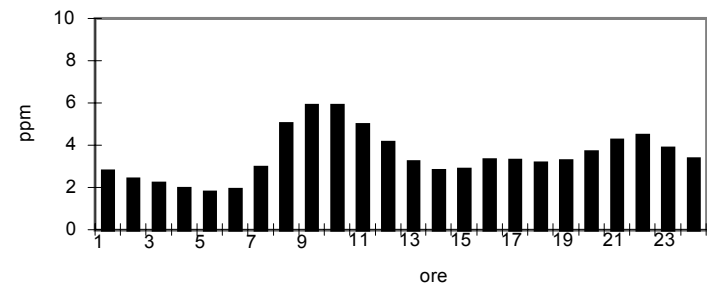


d. Medie orarie delle domeniche

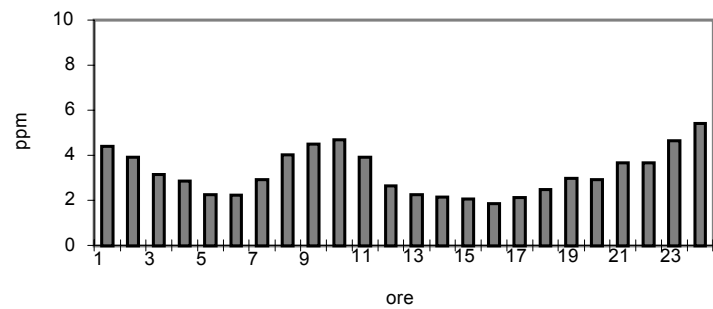
**Figura A1. Concentrazioni orarie del monossido di carbonio. Gennaio 1999**



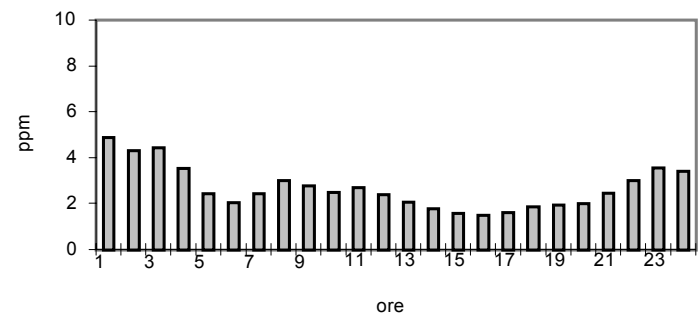
a. Medie orarie mensili



b. Medie orarie giorni dal lunedì al venerdì

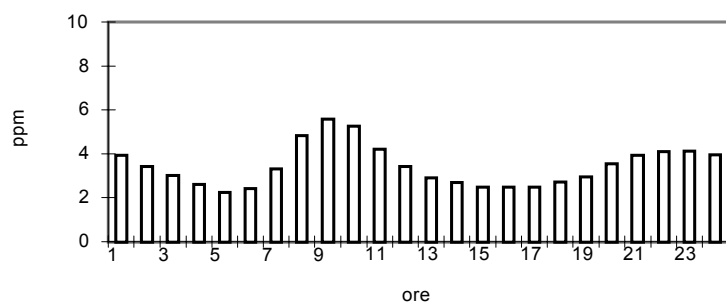


c. Medie orarie dei sabati

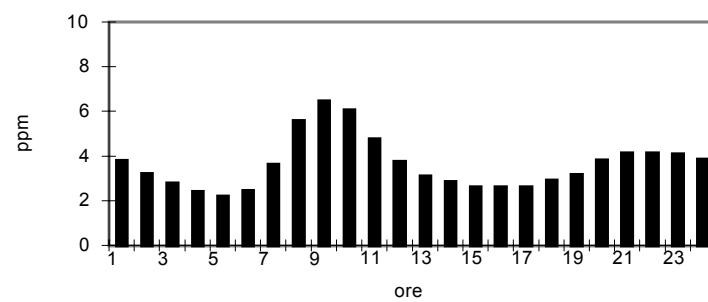


d. Medie orarie delle domeniche

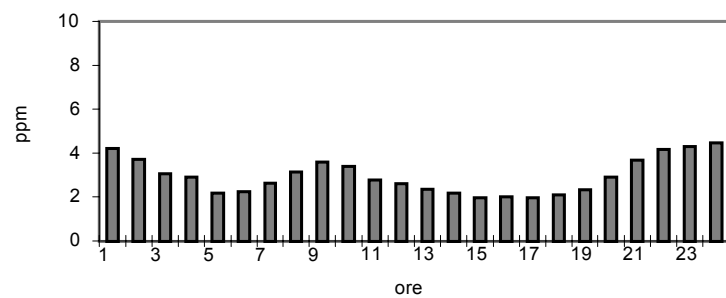
**Figura A2. Concentrazioni orarie del monossido di carbonio. Febbraio 1999**



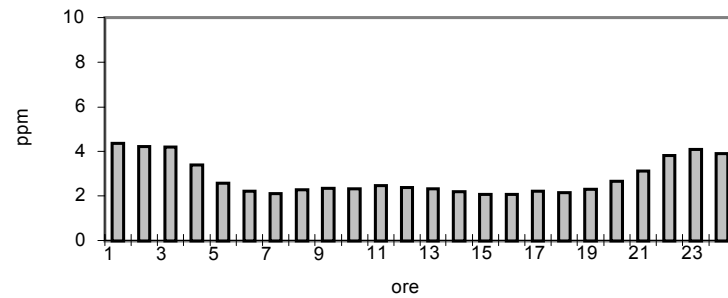
a. Medie orarie mensili



b. Medie orarie giorni dal lunedì al venerdì

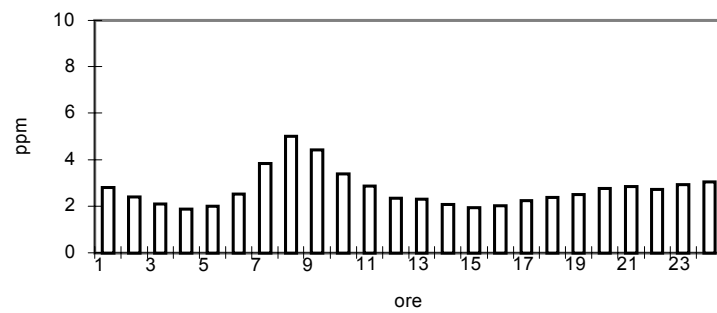


c. Medie orarie dei sabati

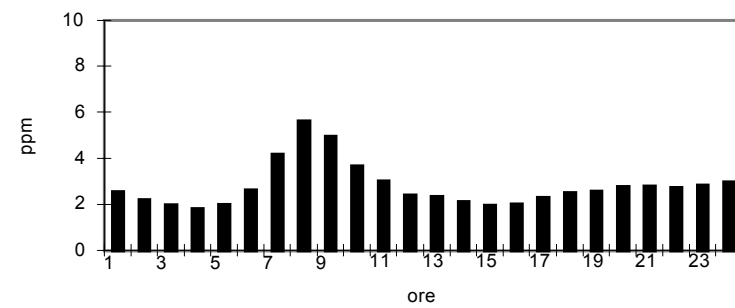


d. Medie orarie delle domeniche

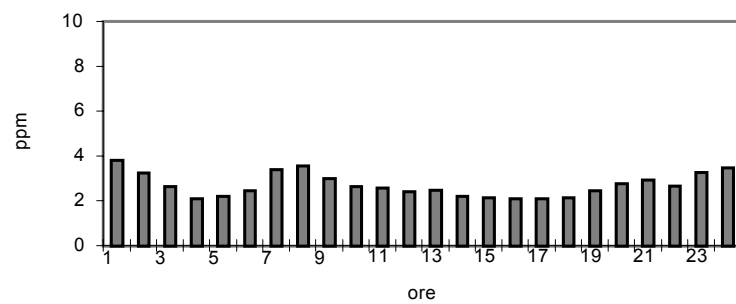
**Figura A3. Concentrazioni orarie del monossido di carbonio. Marzo 1999**



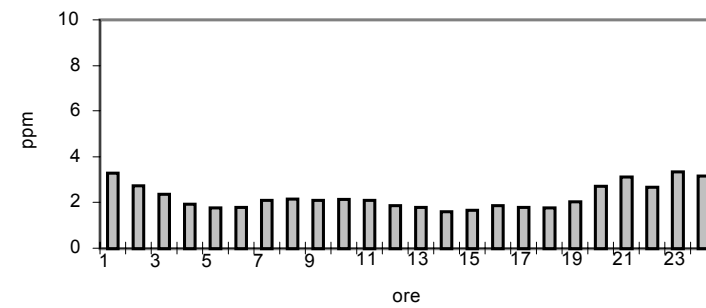
a. Medie orarie mensili



b. Medie orarie giorni dal lunedì al venerdì

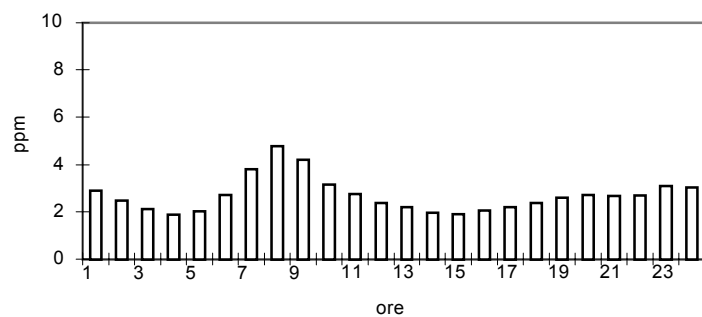


c. Medie orarie dei sabati

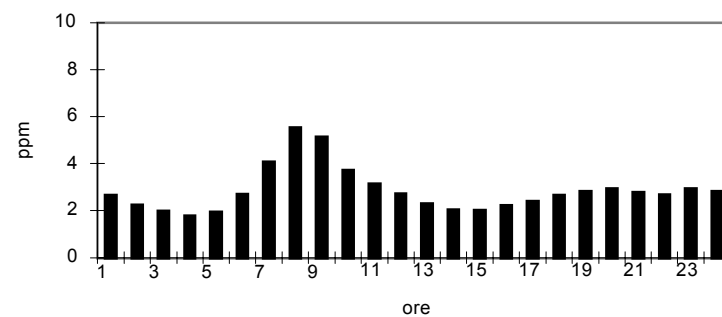


d. Medie orarie delle domeniche

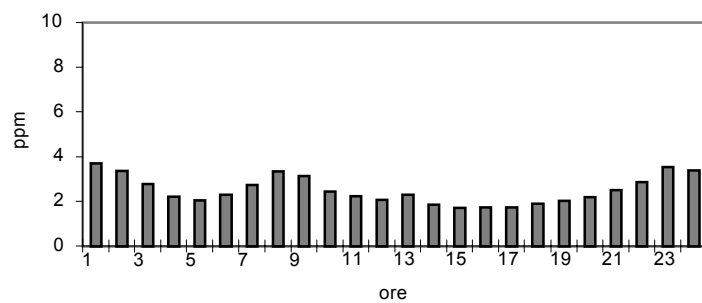
**Figura A4. Concentrazioni orarie del monossido di carbonio. Aprile 1999**



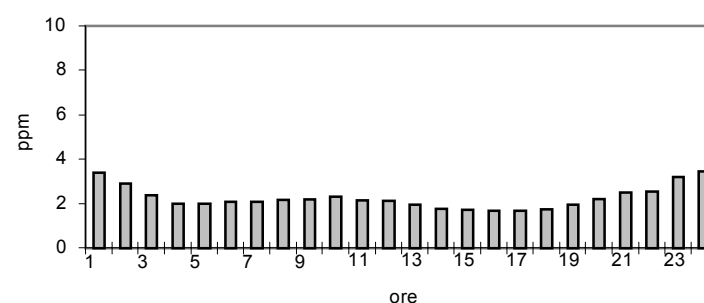
a. Medie orarie mensili



b. Medie orarie giorni dal lunedì venerdì

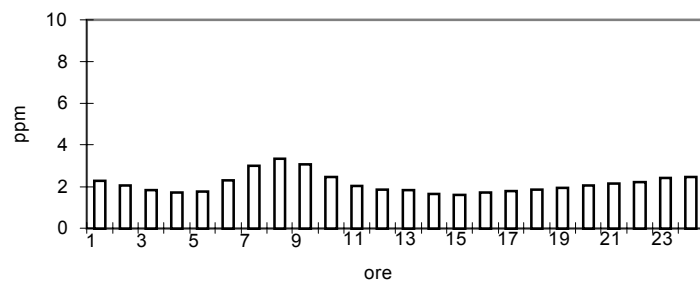


c. Medie orarie dei sabati

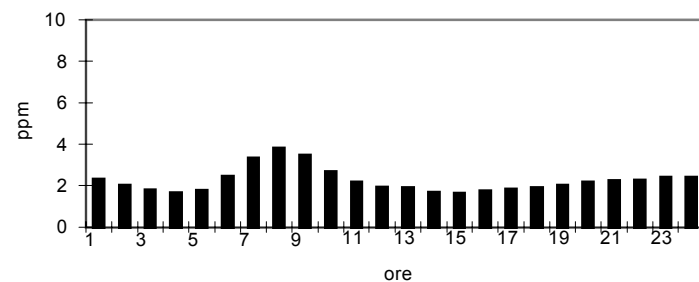


d. Medie orarie delle domeniche

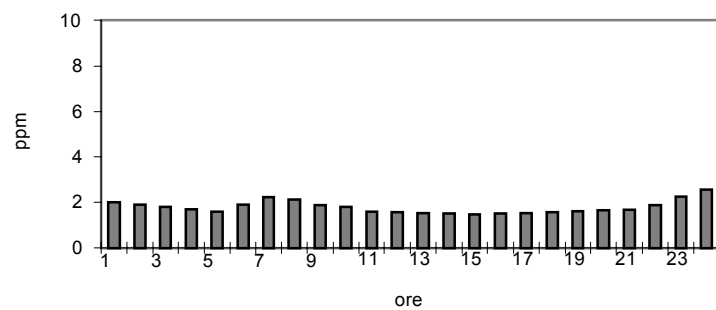
**Figura A5. Concentrazioni orarie del monossido di carbonio. Maggio 1999**



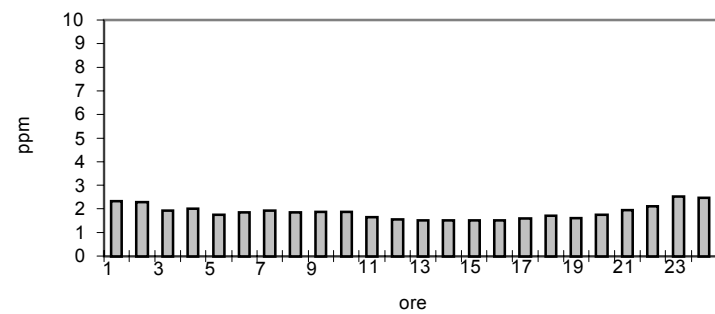
a. Medie orarie mensili



b. Medie orarie giorni dal lunedì al venerdì

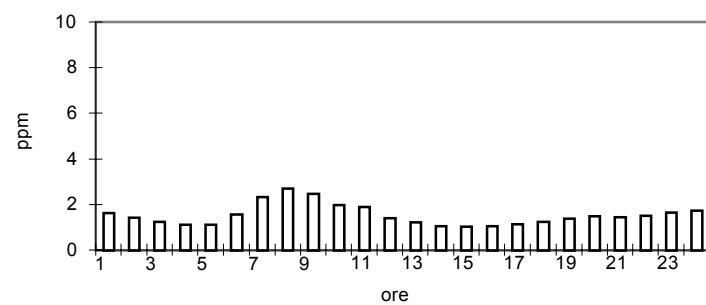


c. Medie orarie dei sabati

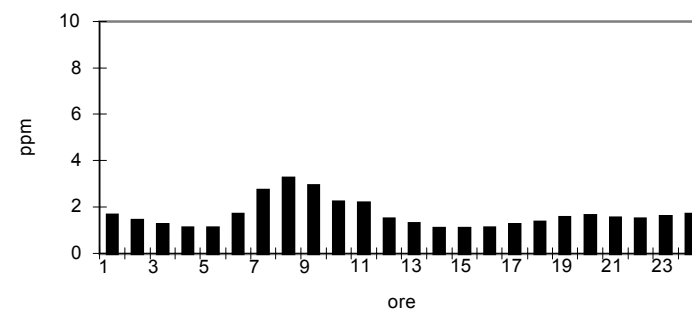


d. Medie orarie delle domeniche

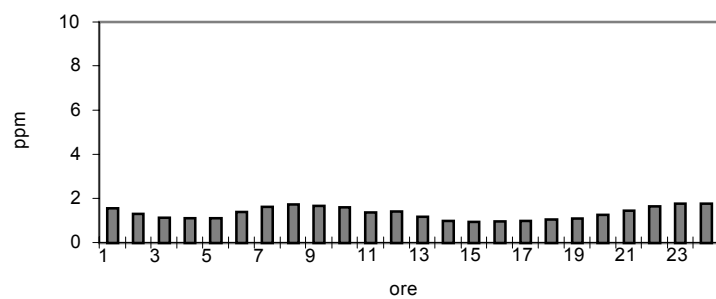
**Figura A6. Concentrazioni orarie del monossido di carbonio. Giugno 1999**



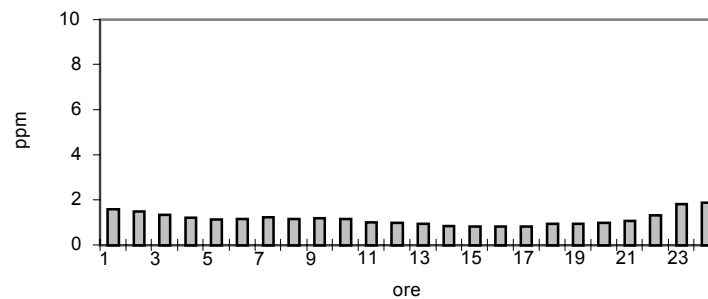
a. Medie orarie mensili



b. Medie orarie giorni dal lunedì al venerdì

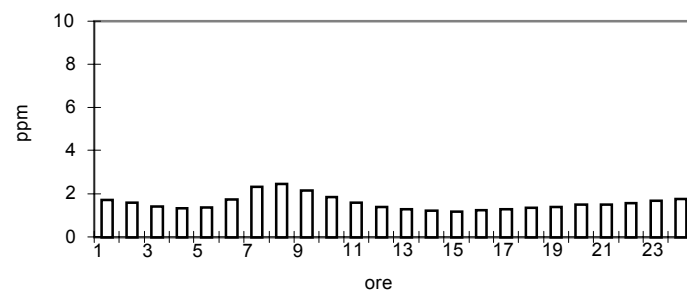


c. Medie orarie dei sabati

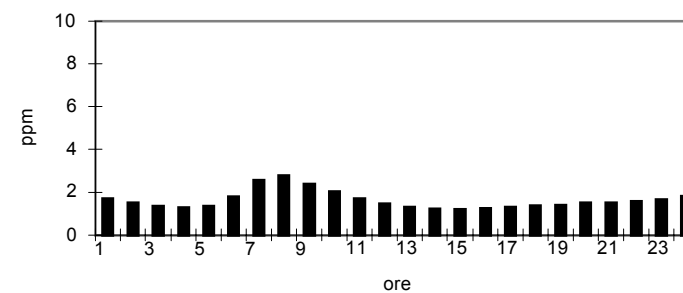


d. Medie orarie delle domeniche

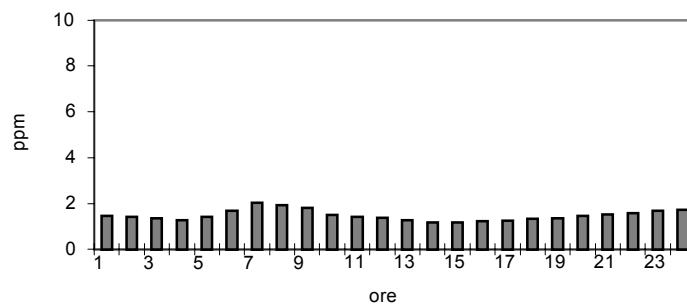
**Figura A7. Concentrazioni orarie del monossido di carbonio. Luglio 1999**



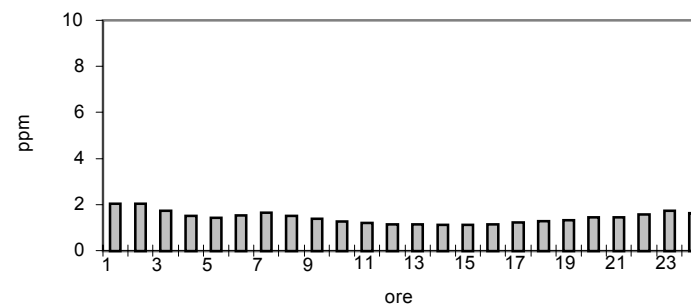
a. Medie orarie mensili



b. Medie orarie giorni dal lunedì al venerdì

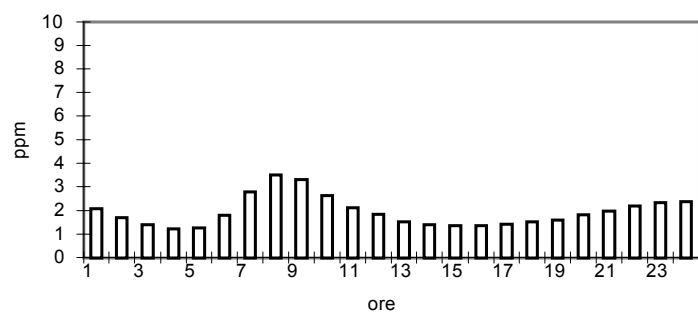


c. Medie orarie dei sabati

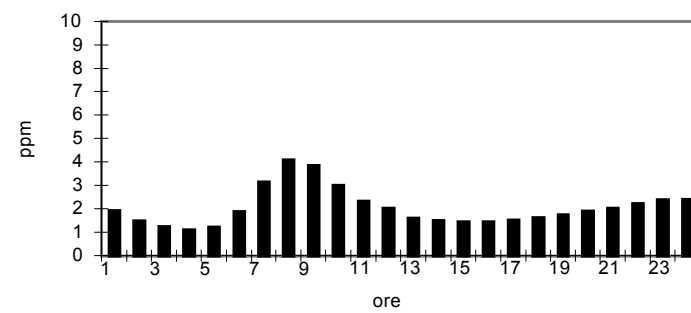


d. Medie orarie delle domeniche

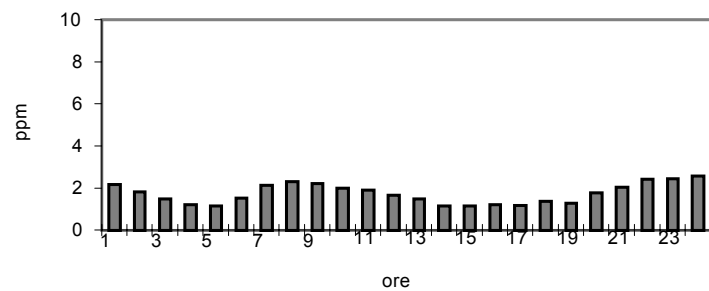
**Figura A8. Concentrazioni orarie del monossido di carbonio. Agosto 1999**



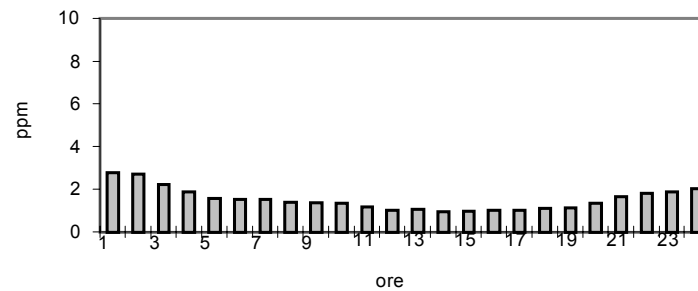
a. Medie orarie mensili



b. Medie orarie giorni dal lunedì al venerdì

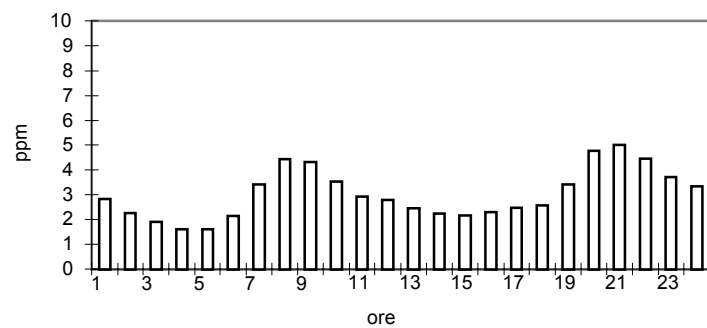


c. Medie orarie dei sabati

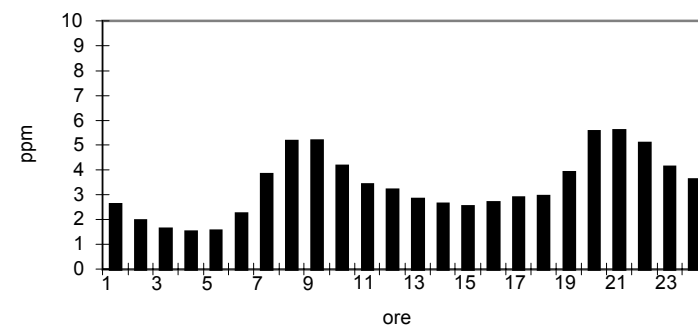


d. Medie orarie delle domeniche

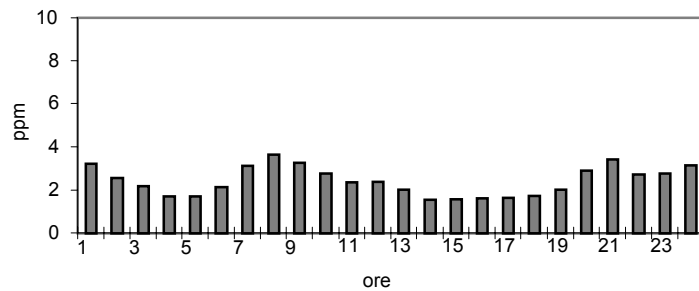
**Figura A9. Concentrazioni orarie del monossido di carbonio. Settembre 1999**



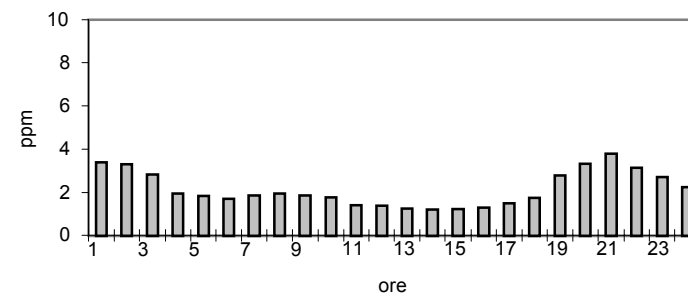
a. Medie orarie mensili



b. Medie orarie giorni dal lunedì al venerdì

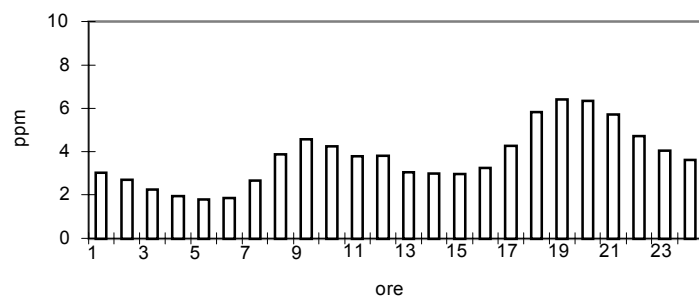


c. Medie orarie dei sabati

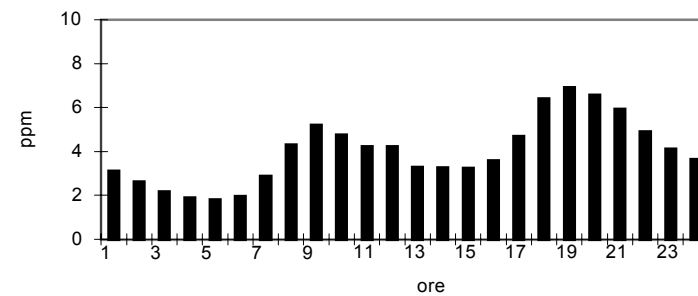


d. Medie orarie delle domeniche

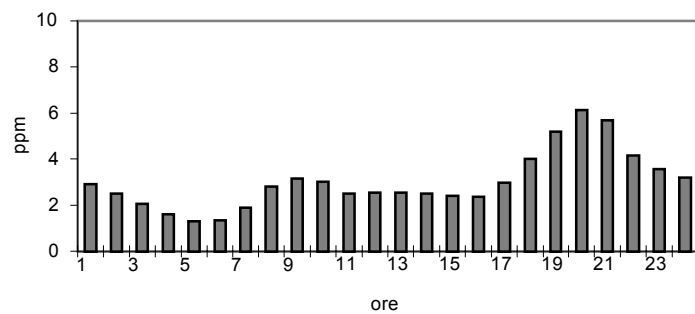
**Figura A10. Concentrazioni orarie del monossido di carbonio. Ottobre 1999**



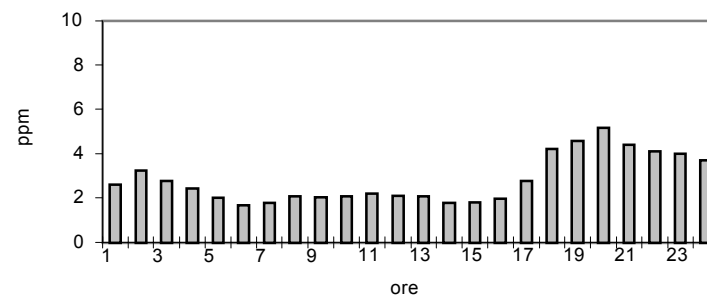
a. Medie orarie mensili



b. Medie orarie giorni dal lunedì al venerdì

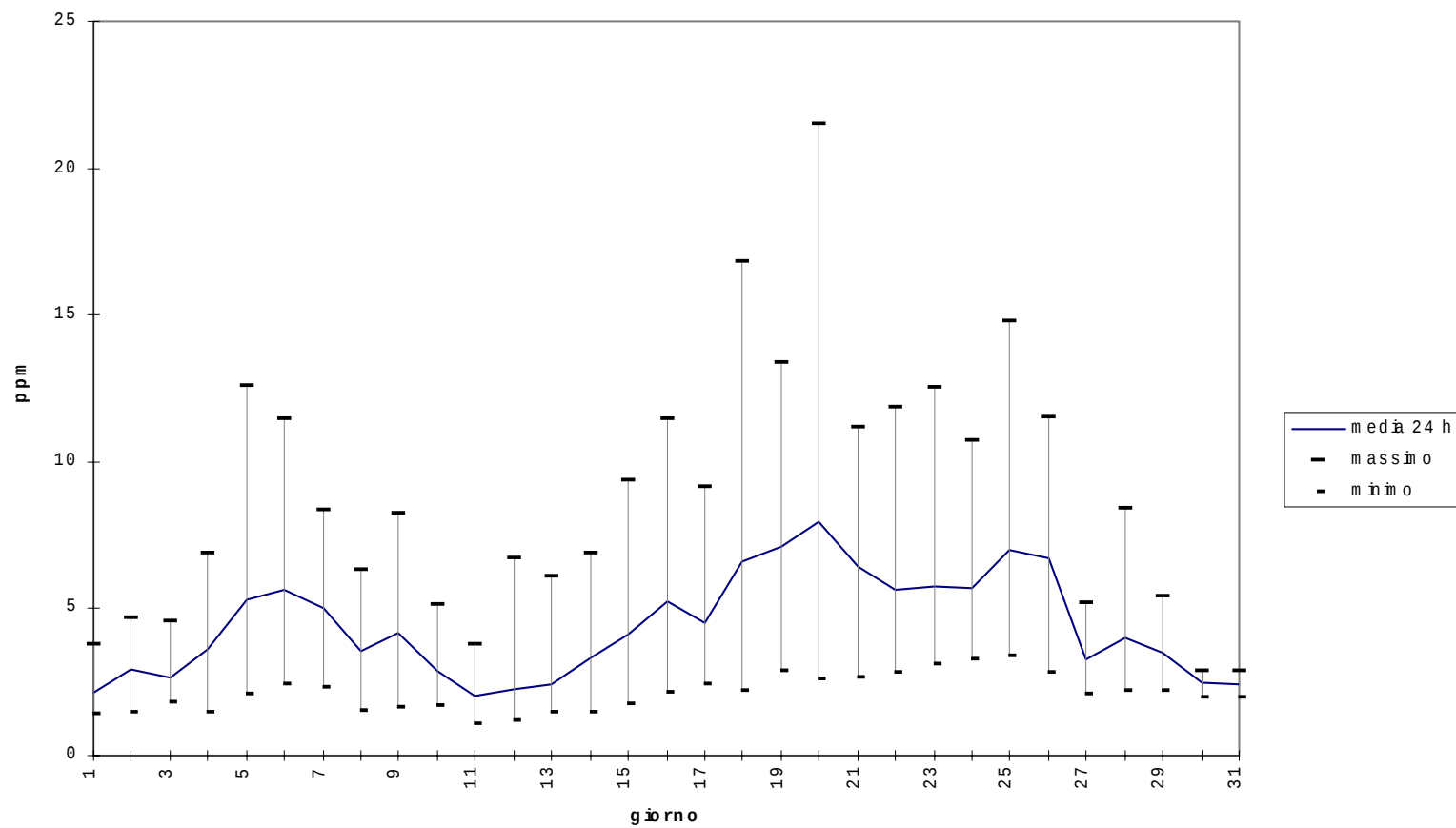


c. Medie orarie dei sabati

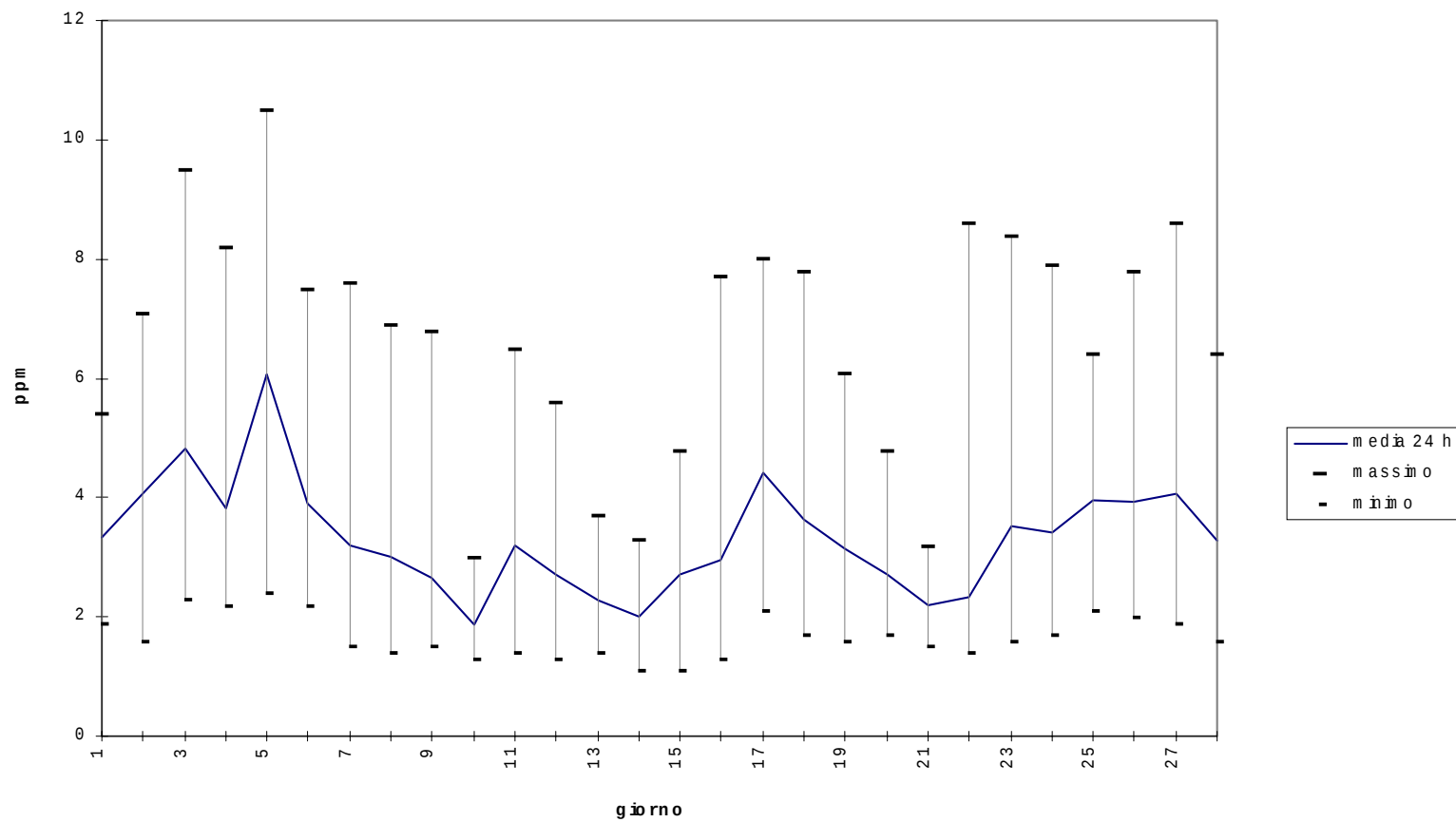


d. Medie orarie delle domeniche

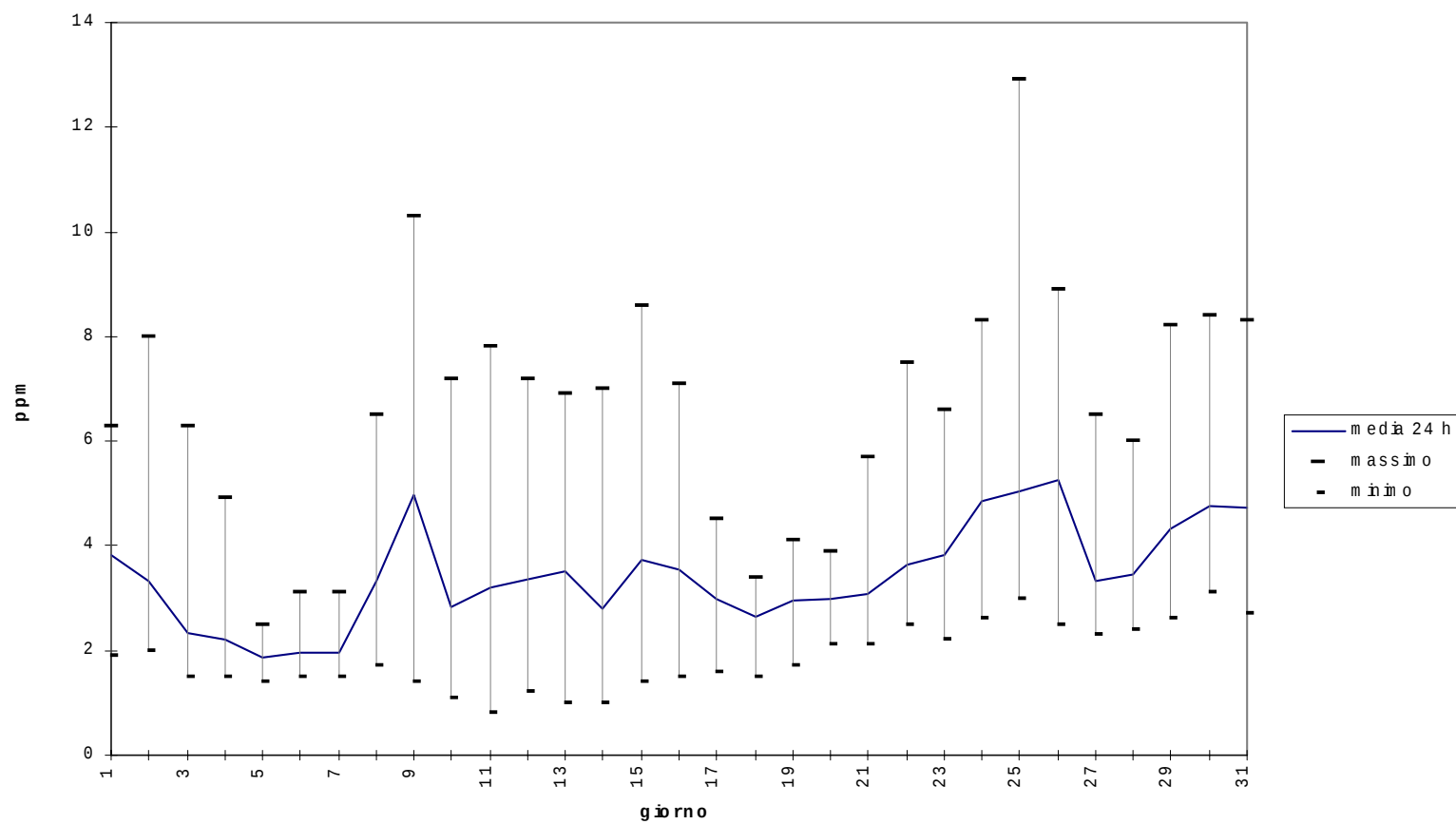
**Figura A11. Concentrazioni orarie del monossido di carbonio. Novembre 1999**



**Figura A12. Concentrazioni medie giornaliere, medie orarie massime e minime del monossido di carbonio. Gennaio 1999**



**Figura A13. Concentrazioni medie giornaliere, medie orarie massime e minime del monossido di carbonio. Febbraio 1999**



**Figura A14. Concentrazioni medie giornaliere, medie orarie massime e minime del monossido di carbonio. Marzo 1999**

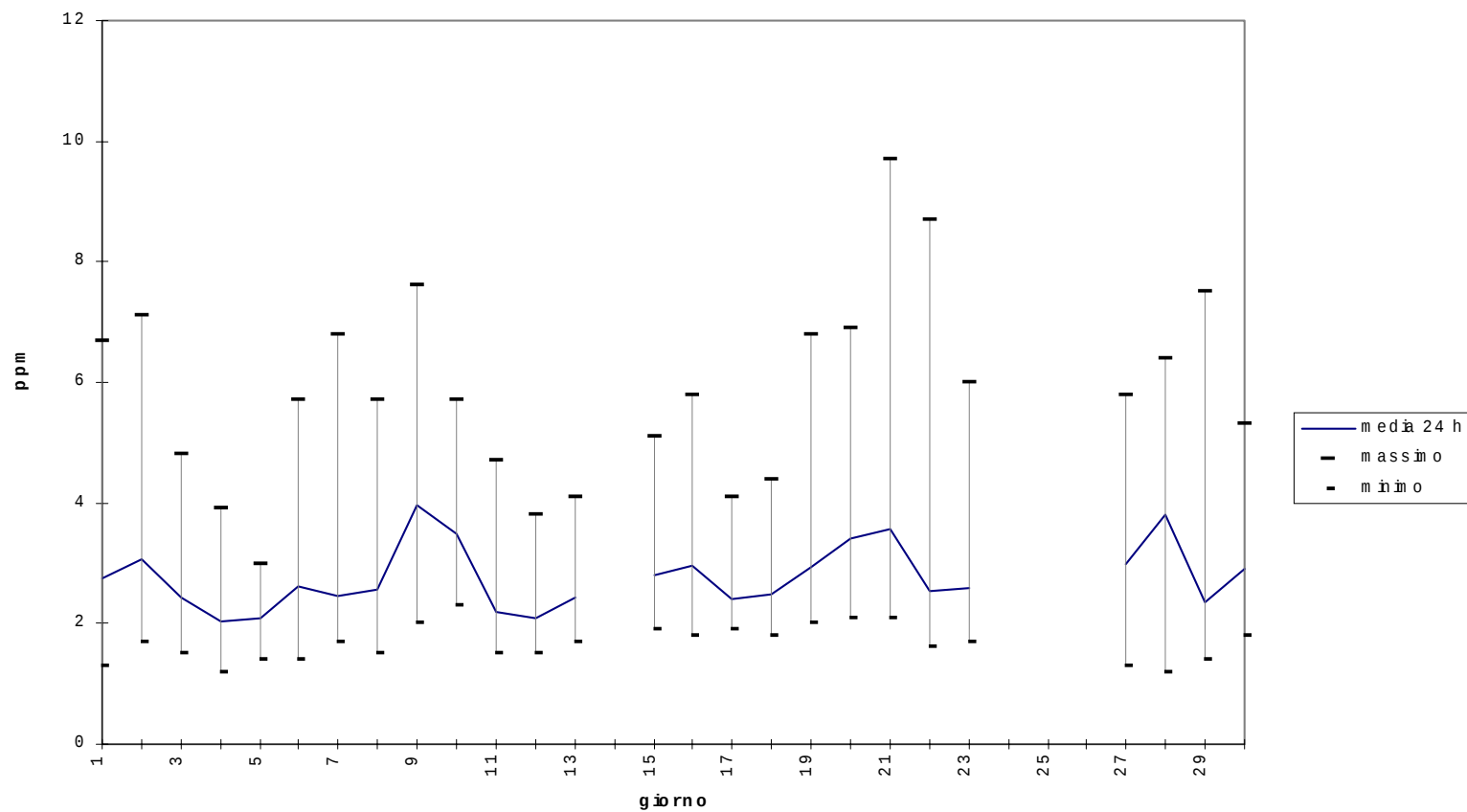
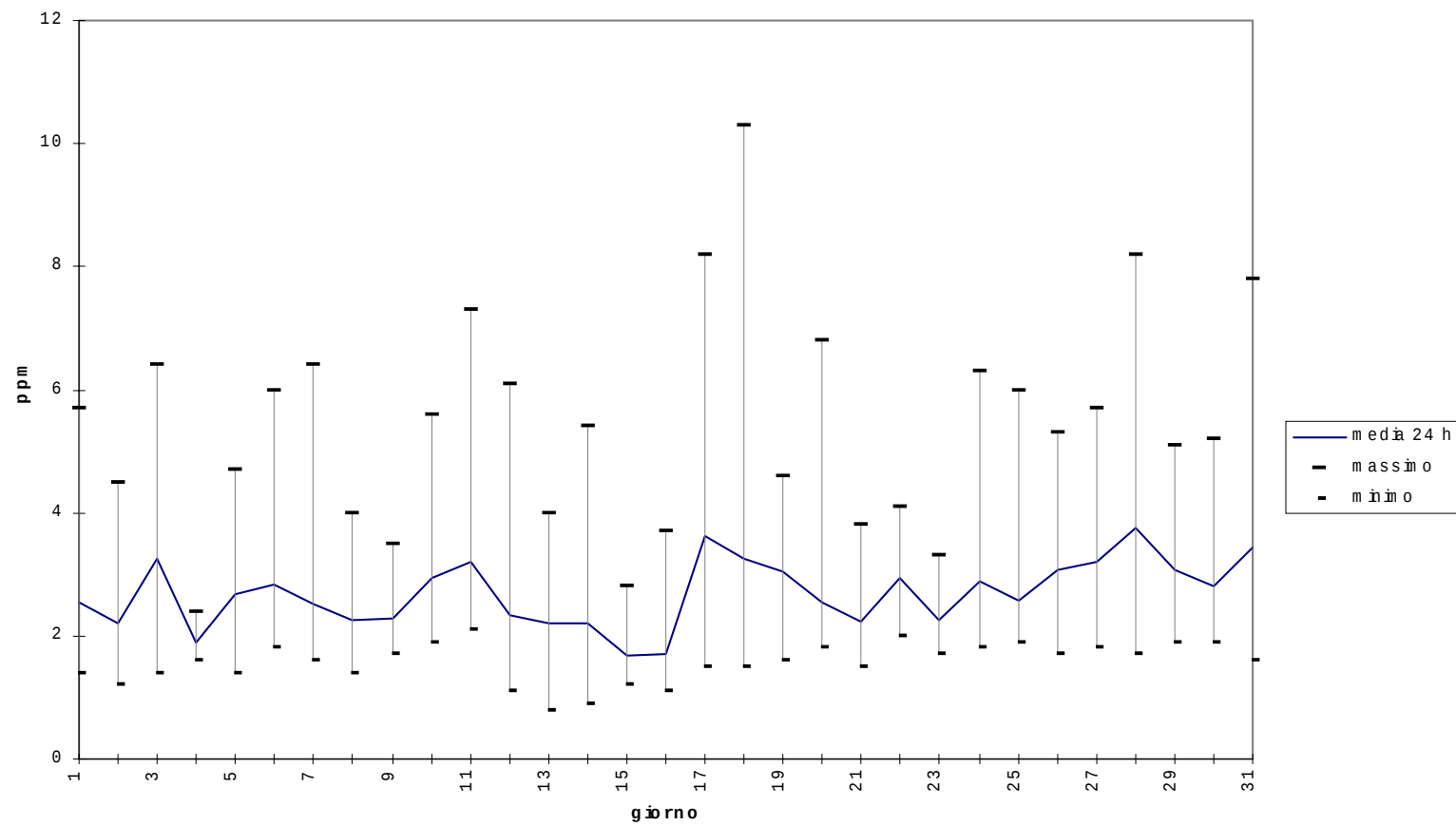


Figura A15. Concentrazioni medie giornaliere, medie orarie massime e minime del monossido di carbonio. Aprile 1999



**Figura A16. Concentrazioni medie giornaliere, medie orarie massime e minime del monossido di carbonio. Maggio 1999**

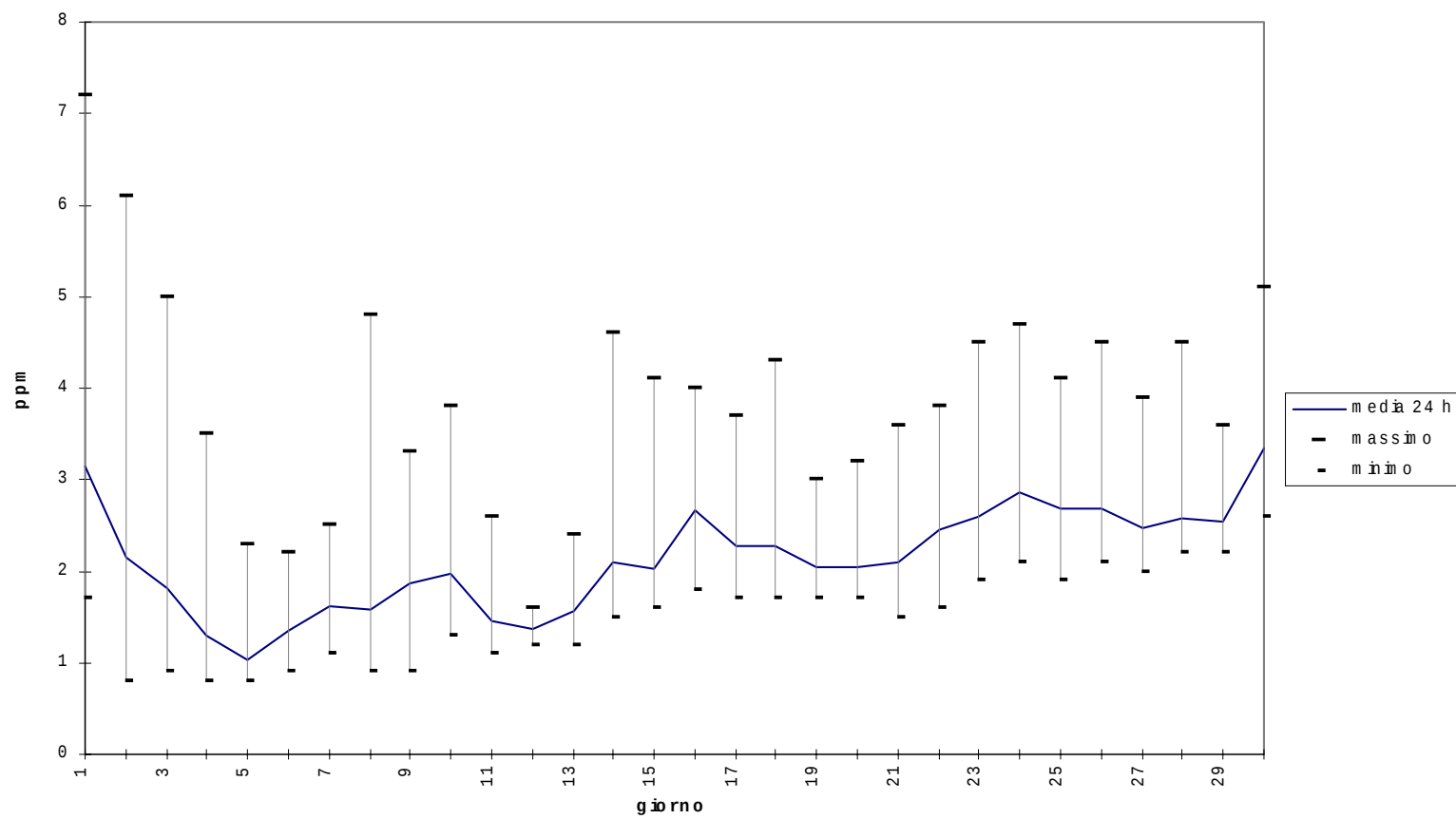


Figura A17. Concentrazioni medie giornaliere, medie orarie massime e minime del monossido di carbonio. Giugno 1999

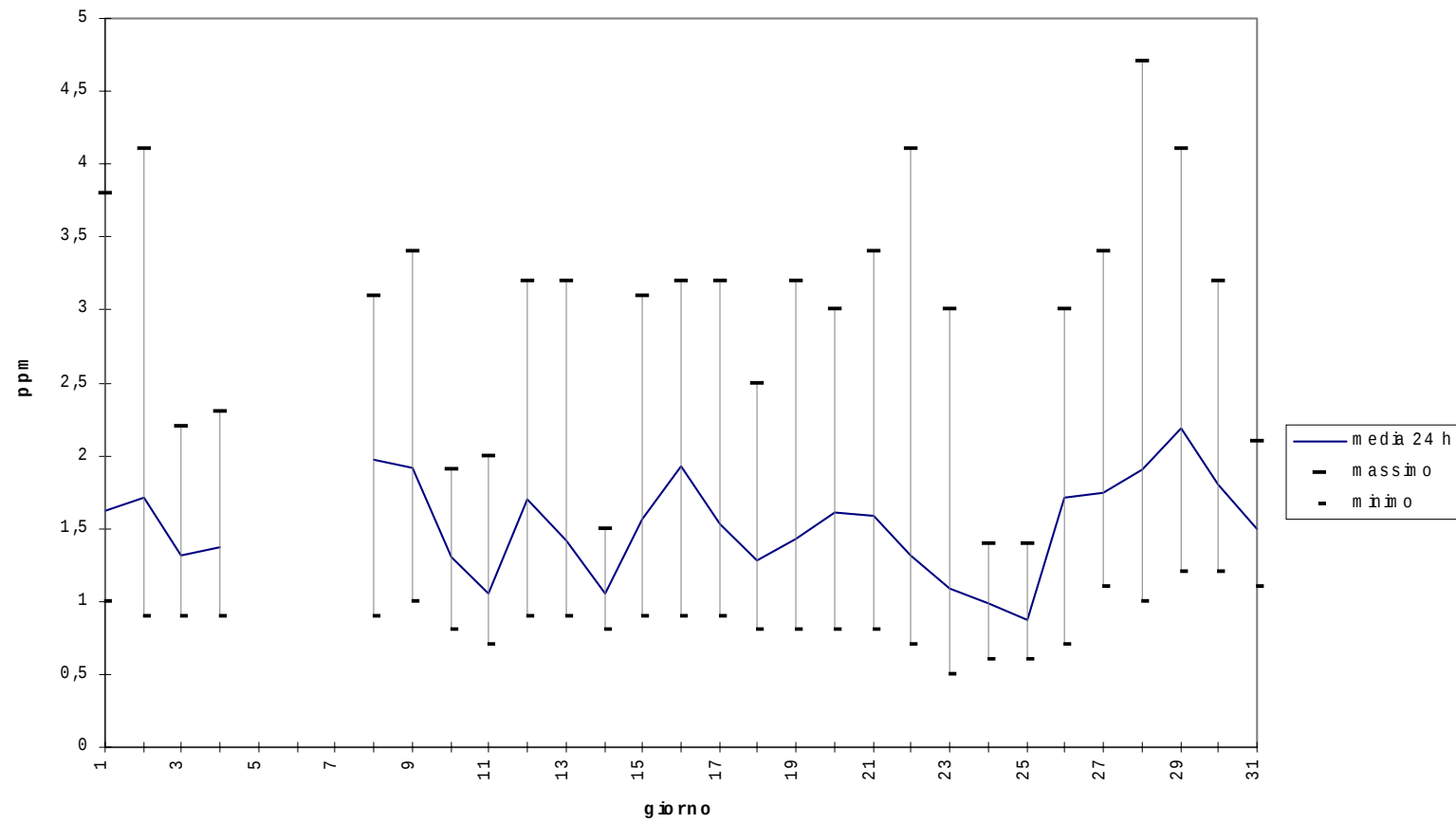


Figura A18. Concentrazioni medie giornaliere, medie orarie massime e minime del monossido di carbonio. Luglio 1999

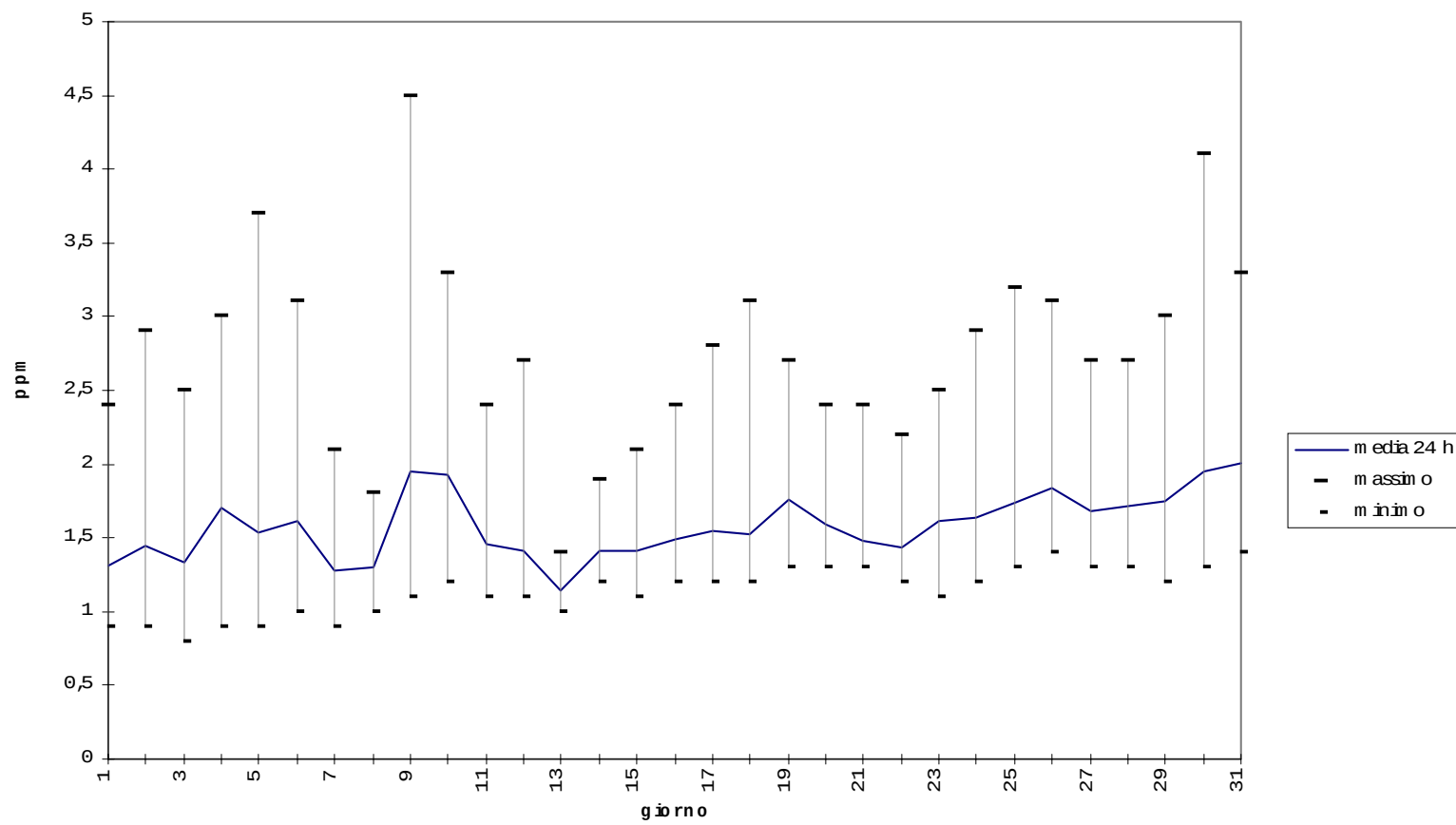


Figura A19. Concentrazioni medie giornaliere, medie orarie massime e minime del monossido di carbonio. Agosto 1999

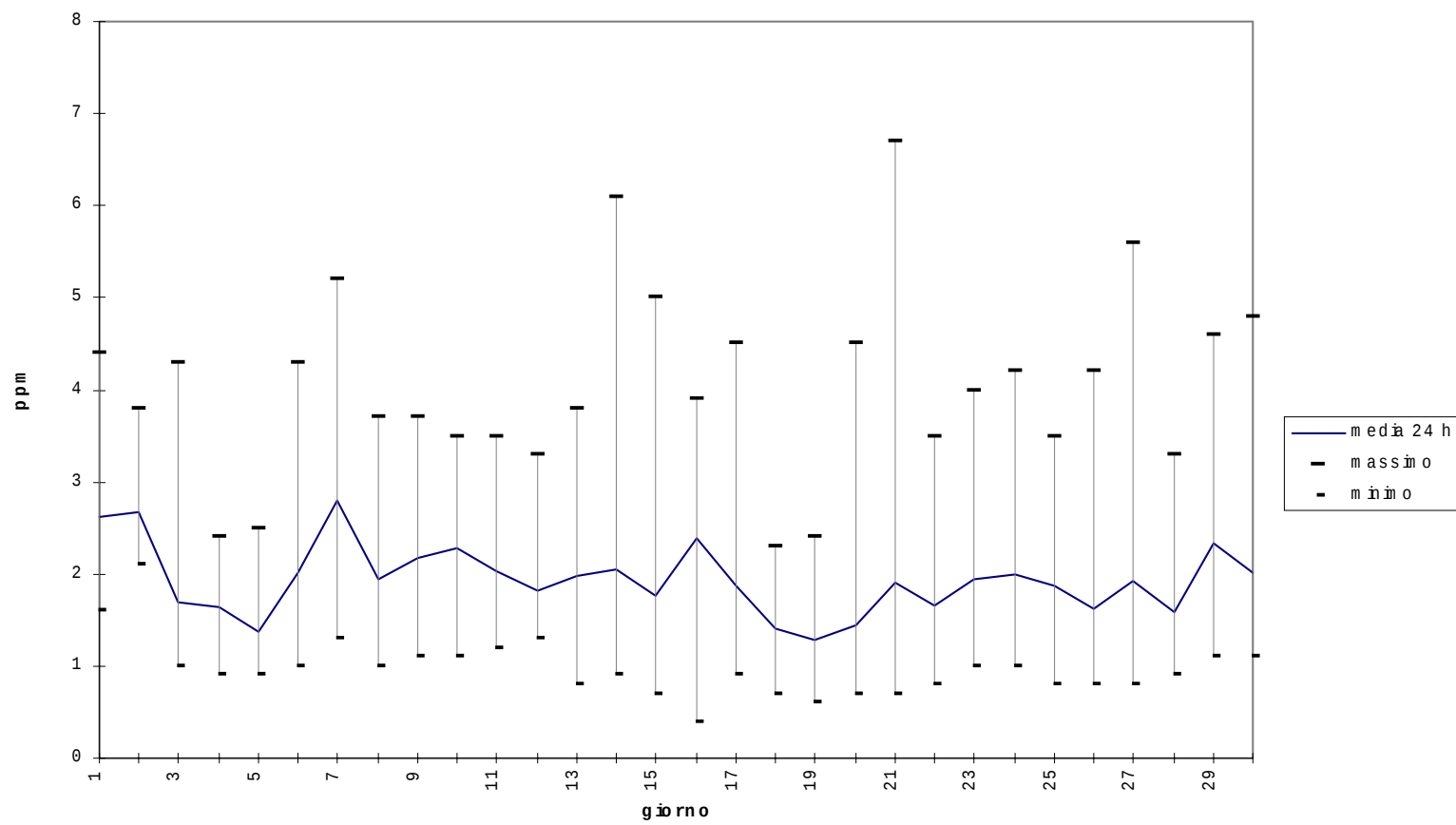


Figura A20. Concentrazioni medie giornaliere, medie orarie massime e minime del monossido di carbonio. Settembre 1999

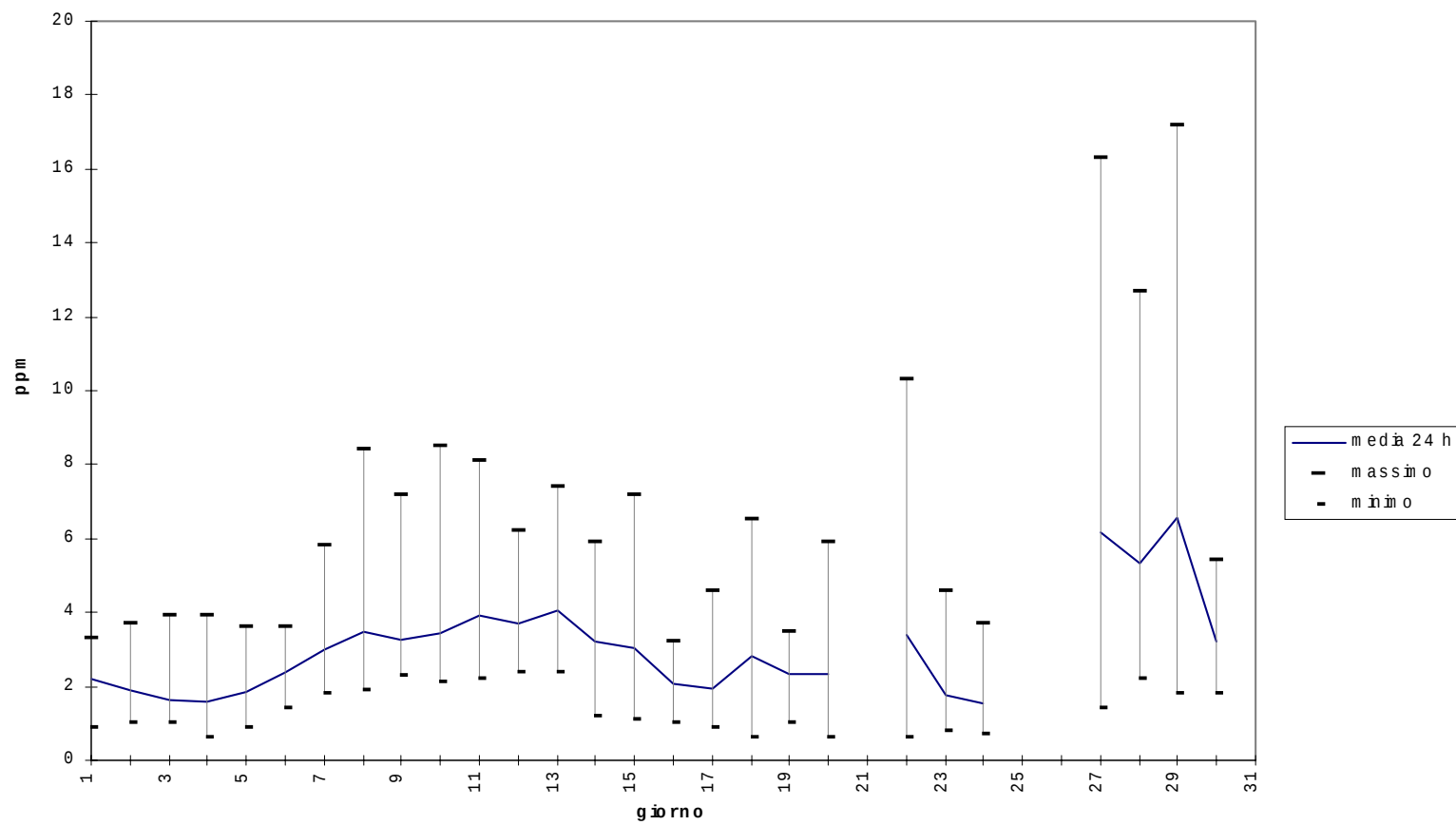
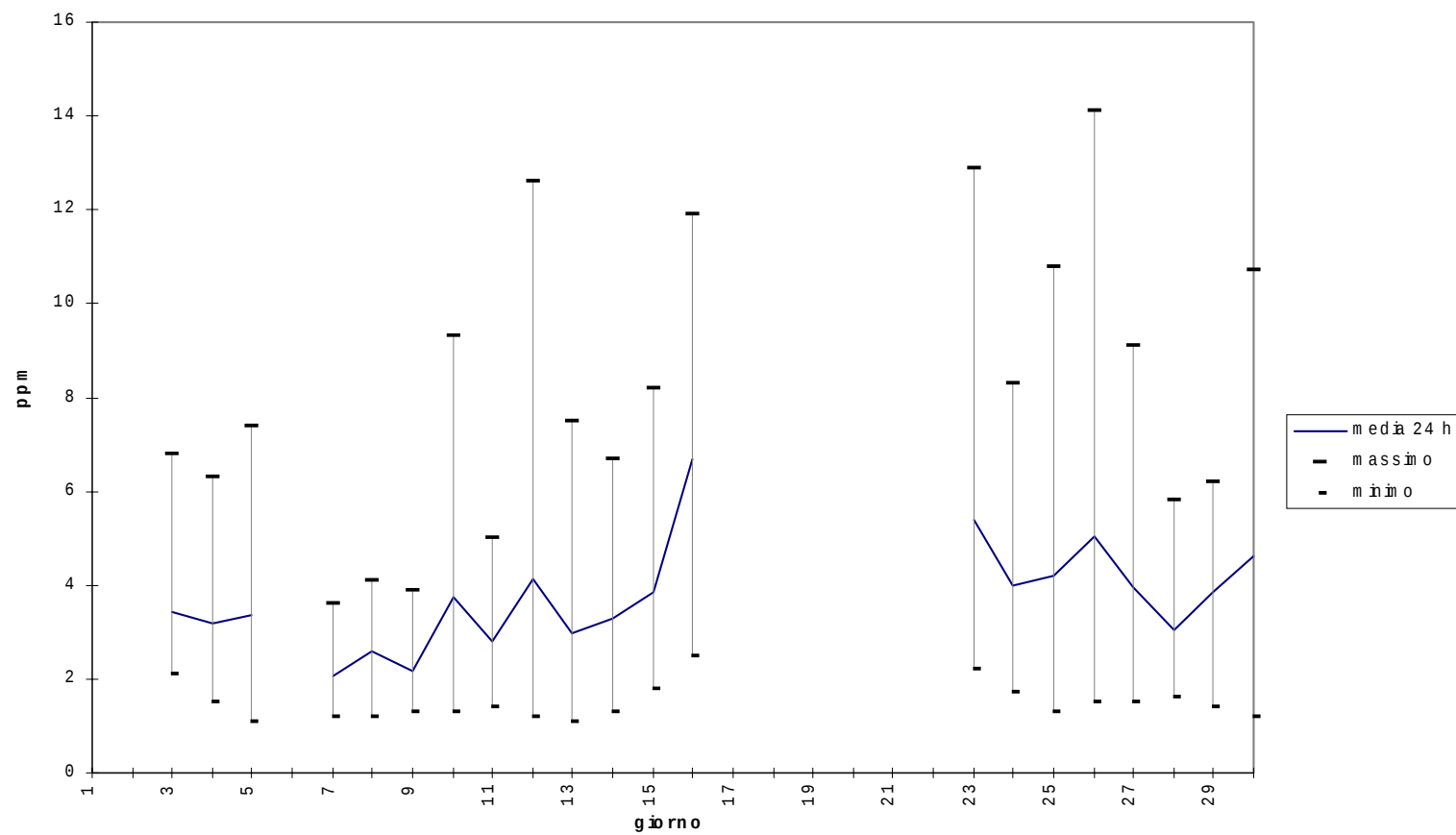


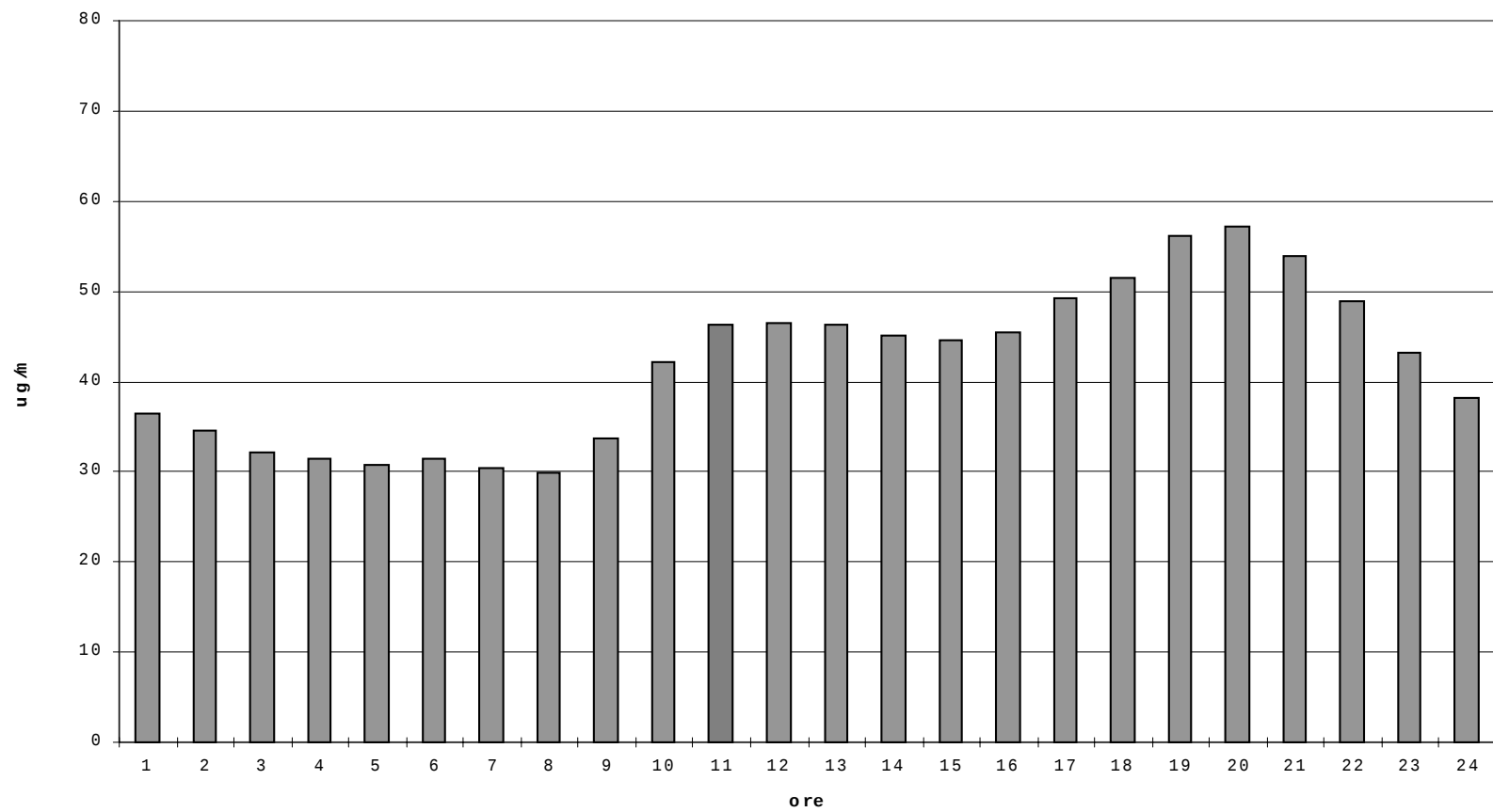
Figura A21. Concentrazioni medie giornaliere, medie orarie massime e minime del monossido di carbonio. Ottobre 1999



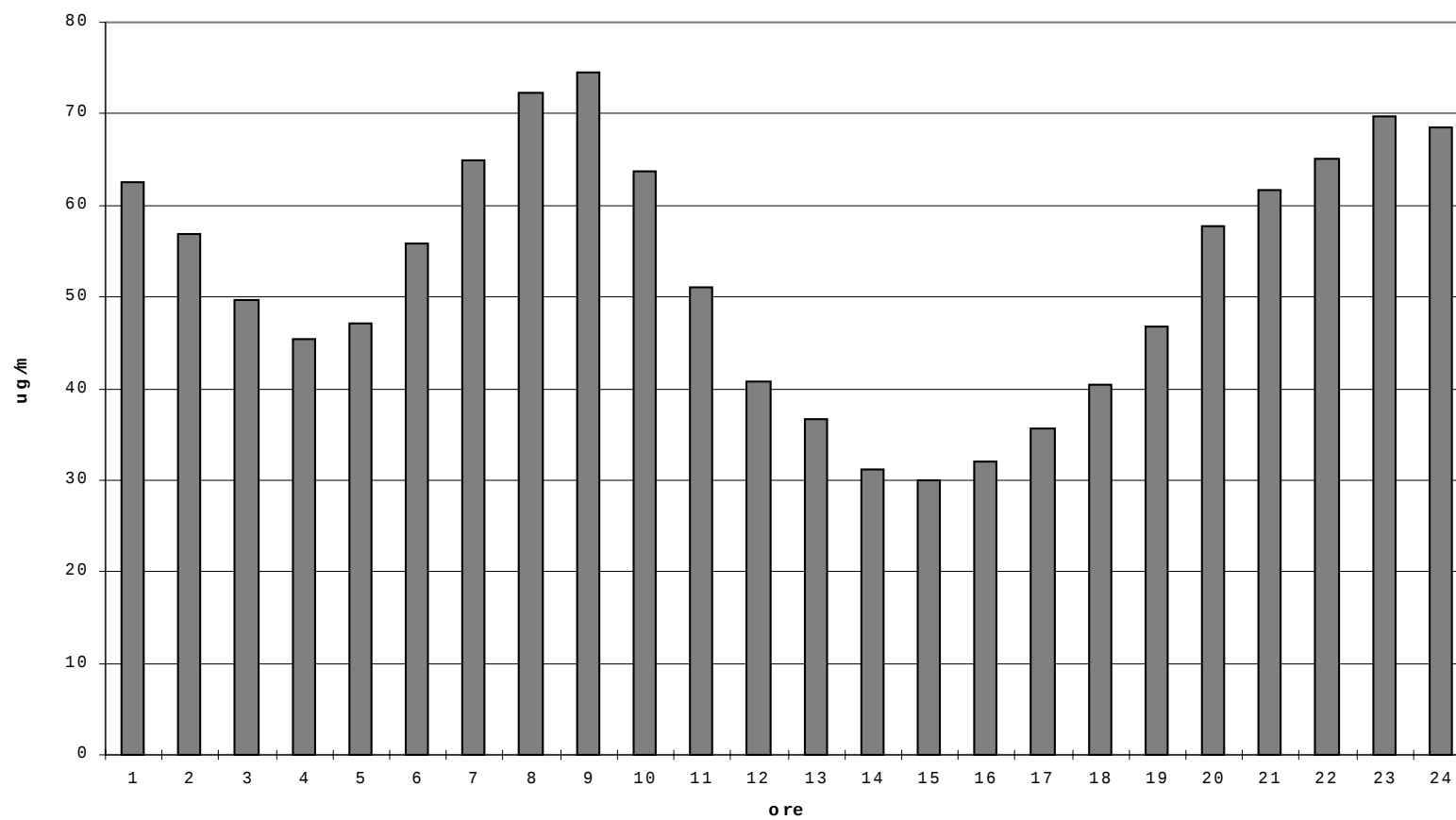
**Figura A22. Concentrazioni medie giornaliere, medie orarie massime e minime del monossido di carbonio. Novembre 1999**

## **APPENDICE B**

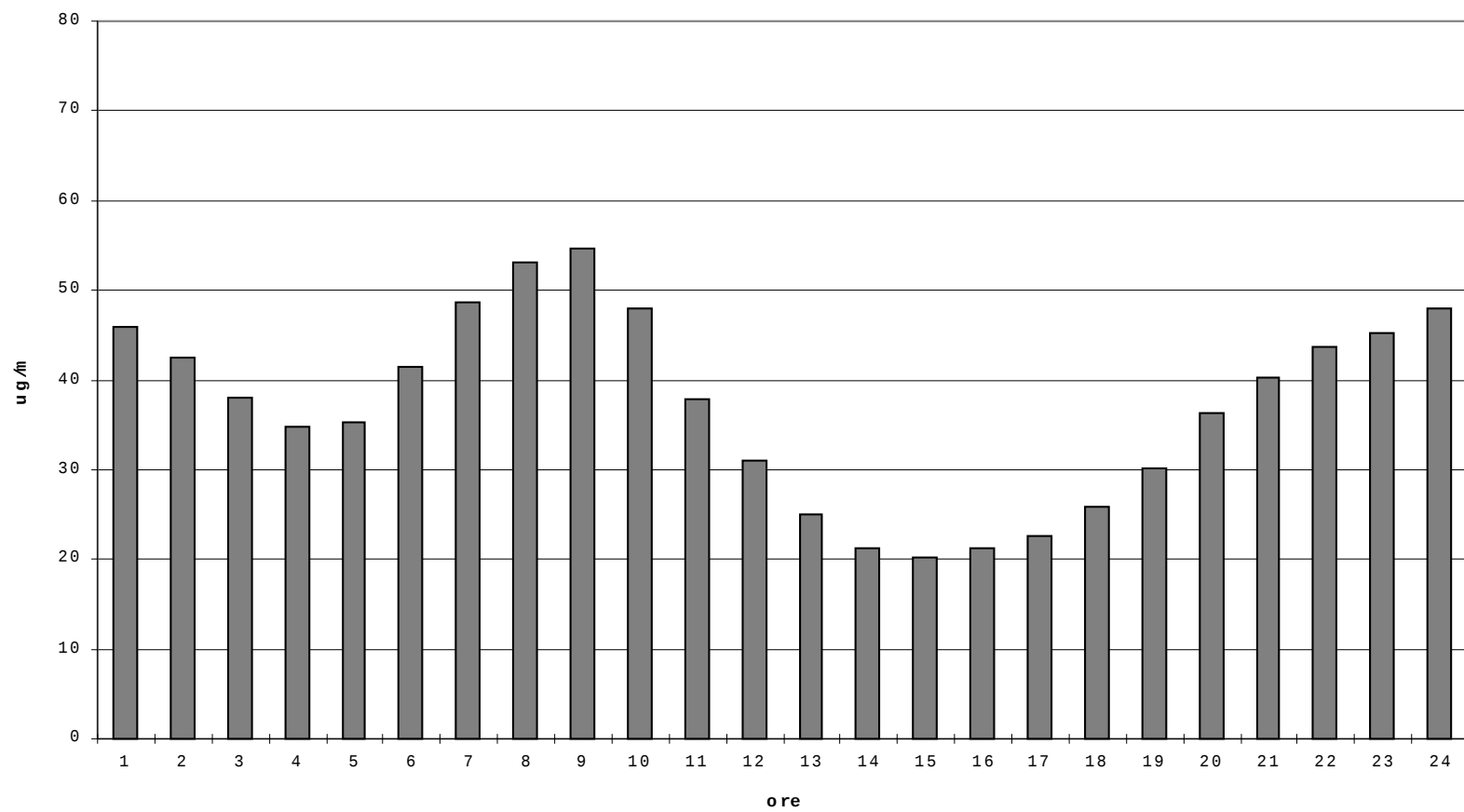
**Andamento delle concentrazioni  
del biossido di azoto nell'aria ambiente  
(periodo gennaio-novembre 1999)**



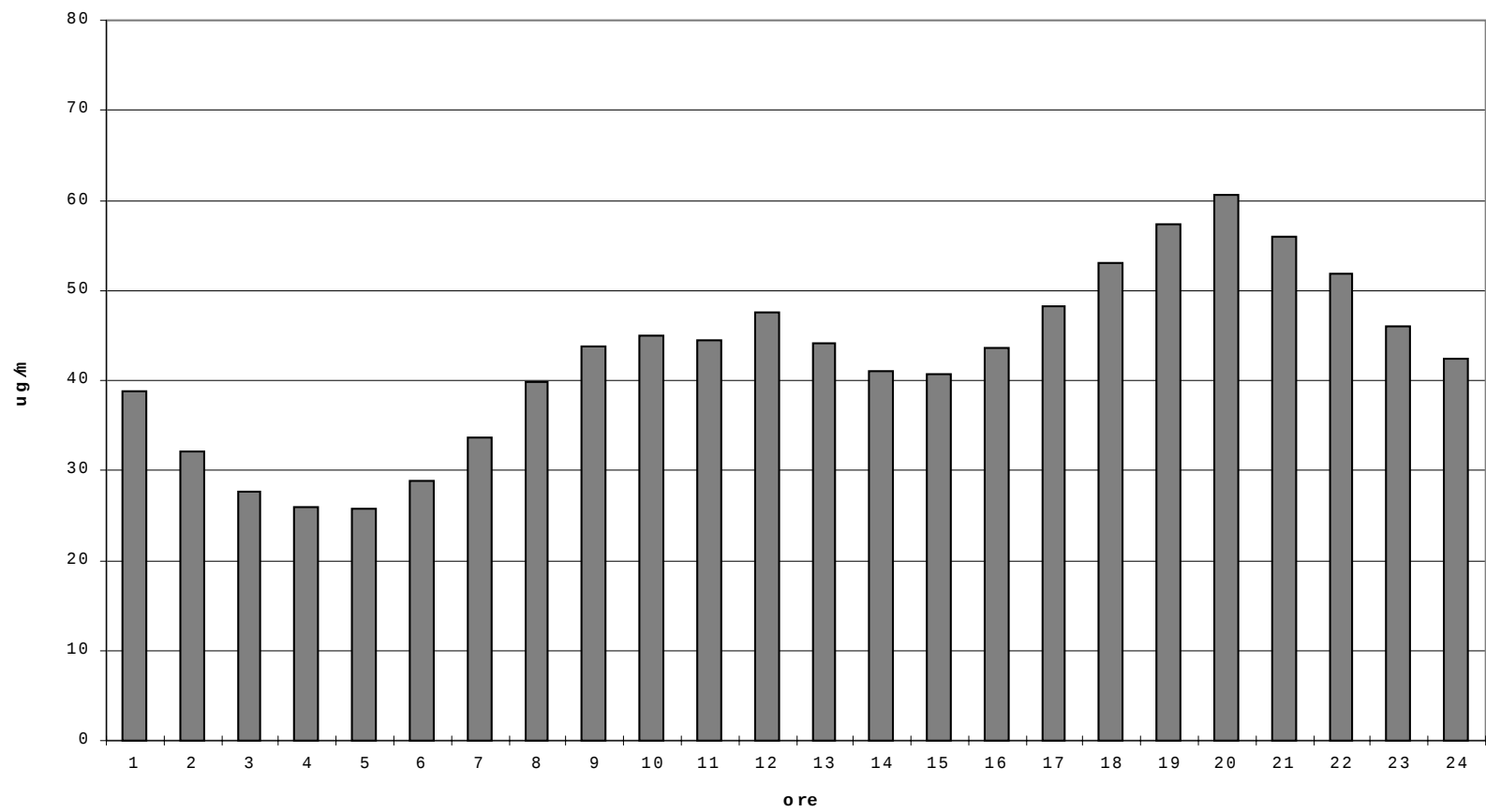
**Figura B1. Medie orarie del biossido di azoto nel periodo gennaio-marzo 1999**



**Figura B2. Medie orarie del biossido di azoto nel periodo aprile-giugno 1999**



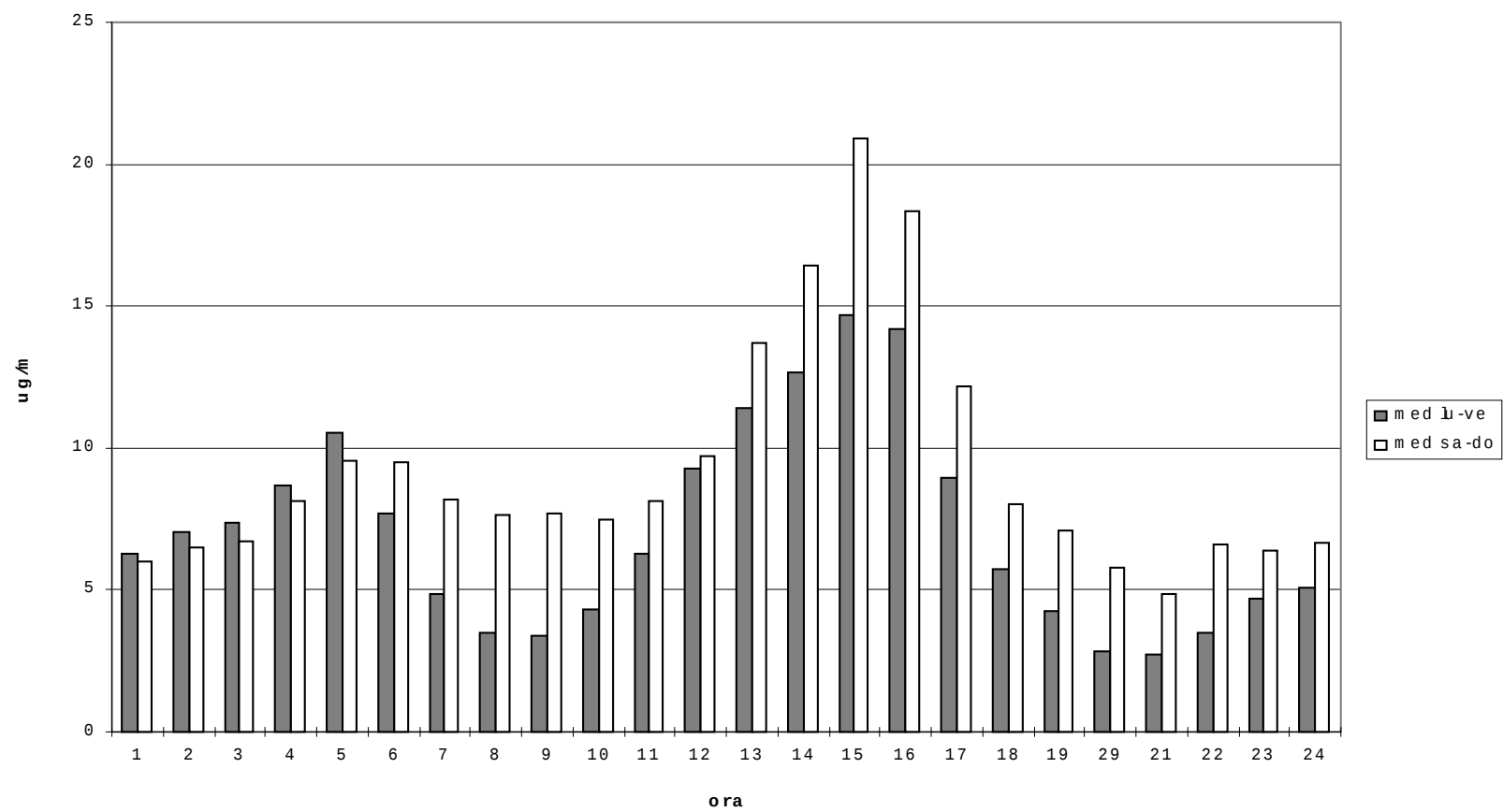
**Figura B3. Medie orarie del biossido di azoto nel periodo luglio-settembre 1999**



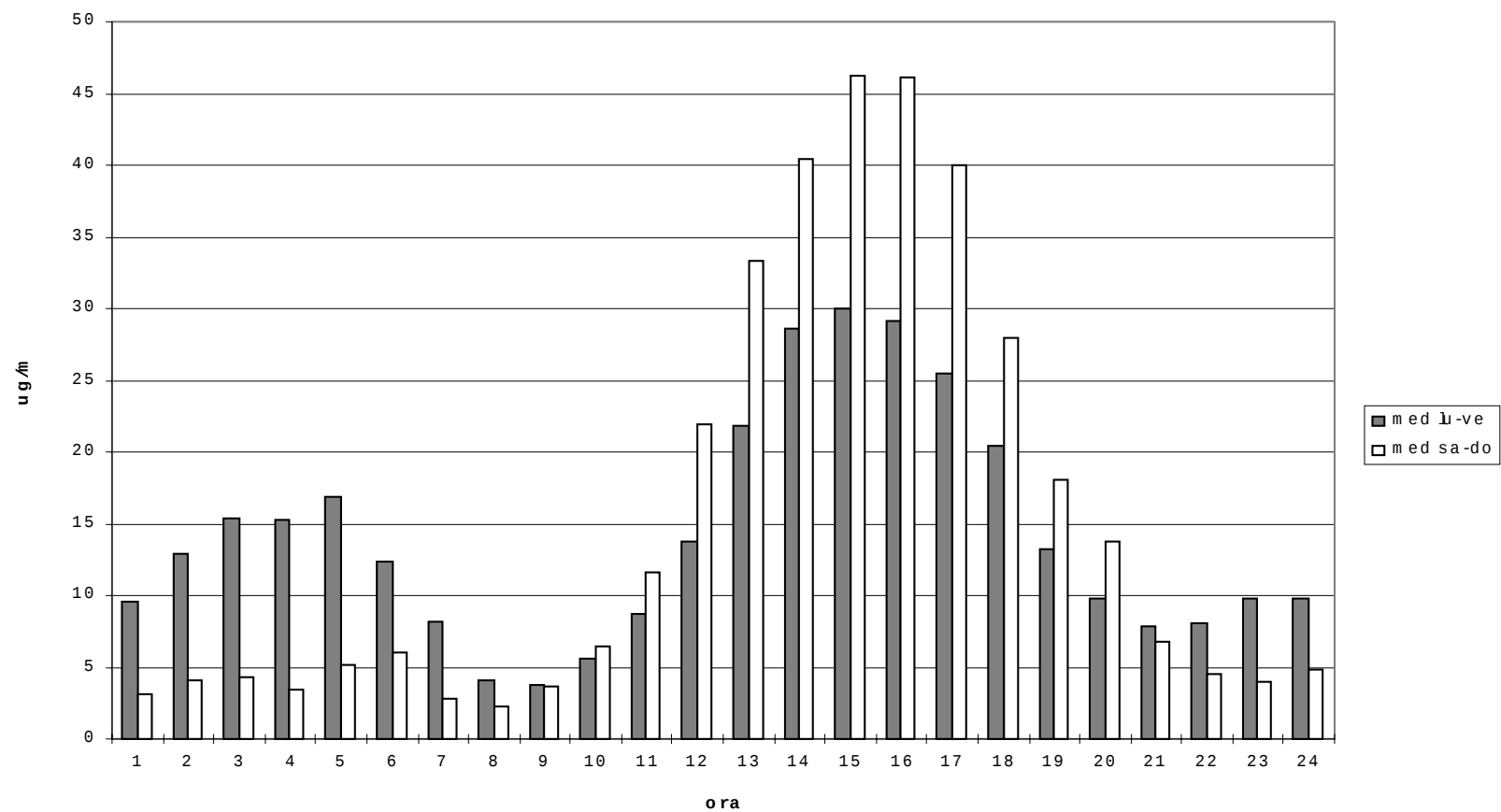
**Figura B4. Medie orarie del biossido di azoto nel periodo ottobre-novembre 1999**

## **APPENDICE C**

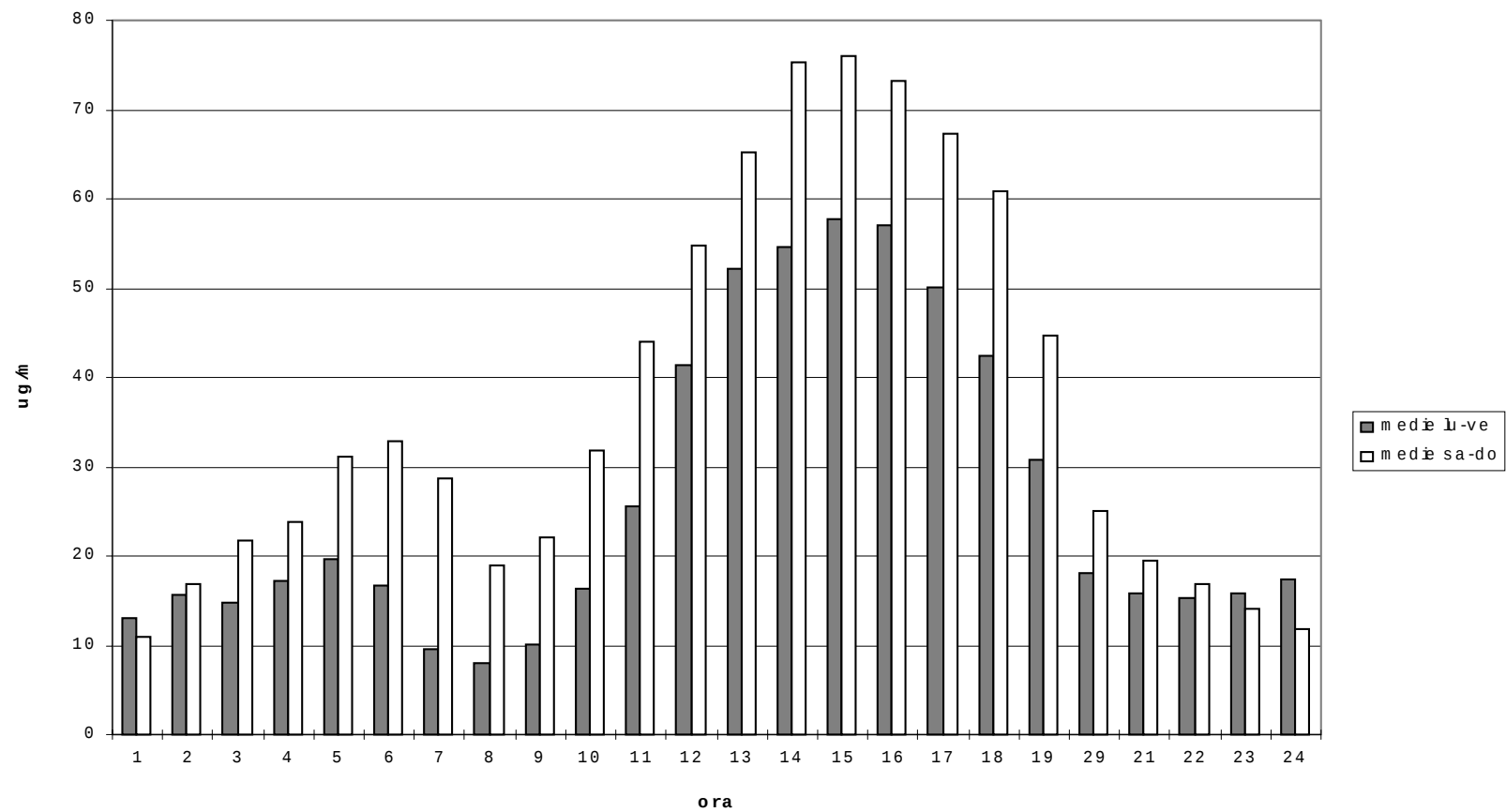
**Andamento delle concentrazioni  
di ozono nell'aria ambiente  
(periodo gennaio-novembre 1999)**



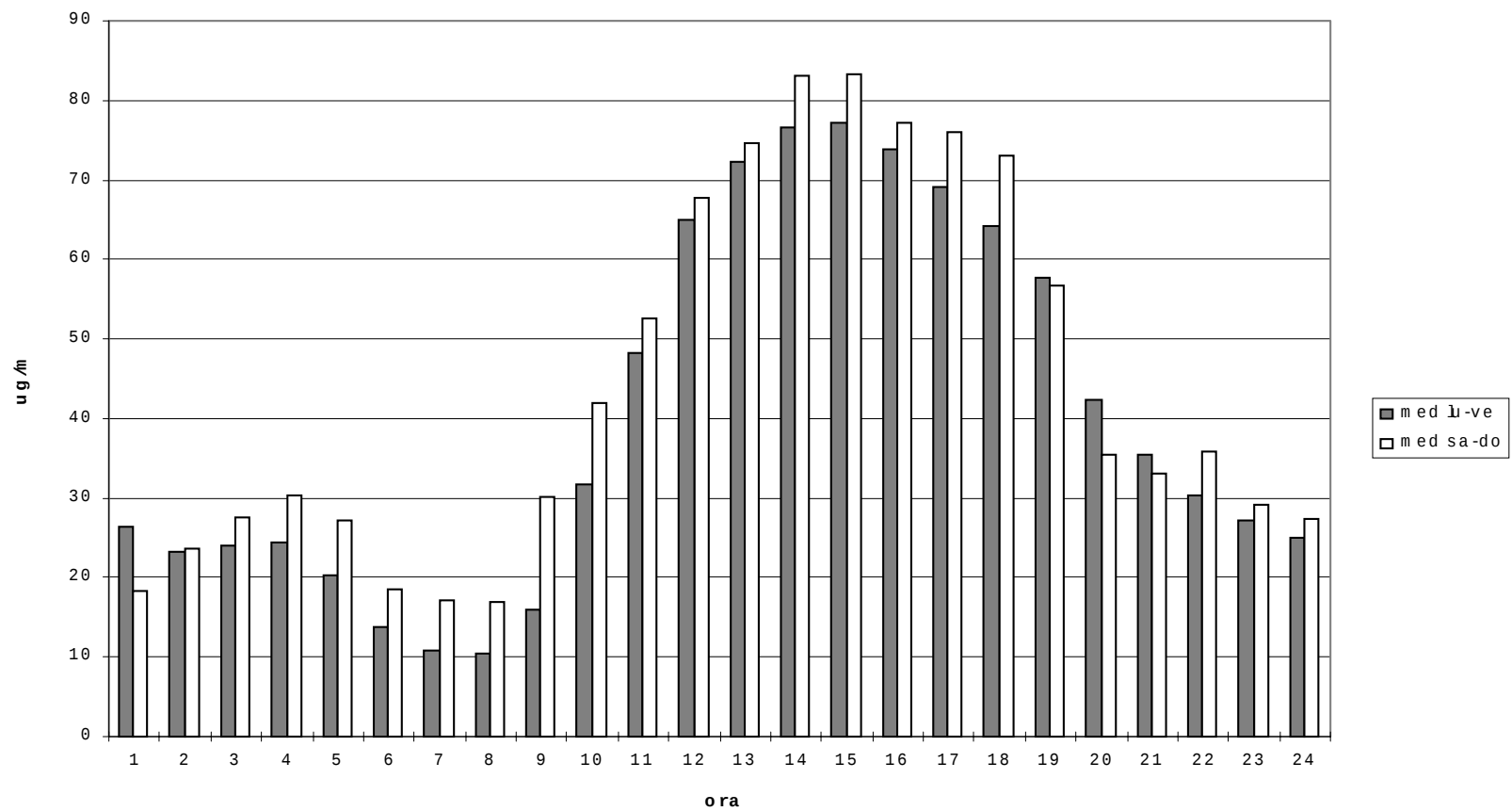
**Figura C1. Concentrazioni medie orarie di ozono su base mensile differenziate per giorni della settimana (gennaio 1999)**



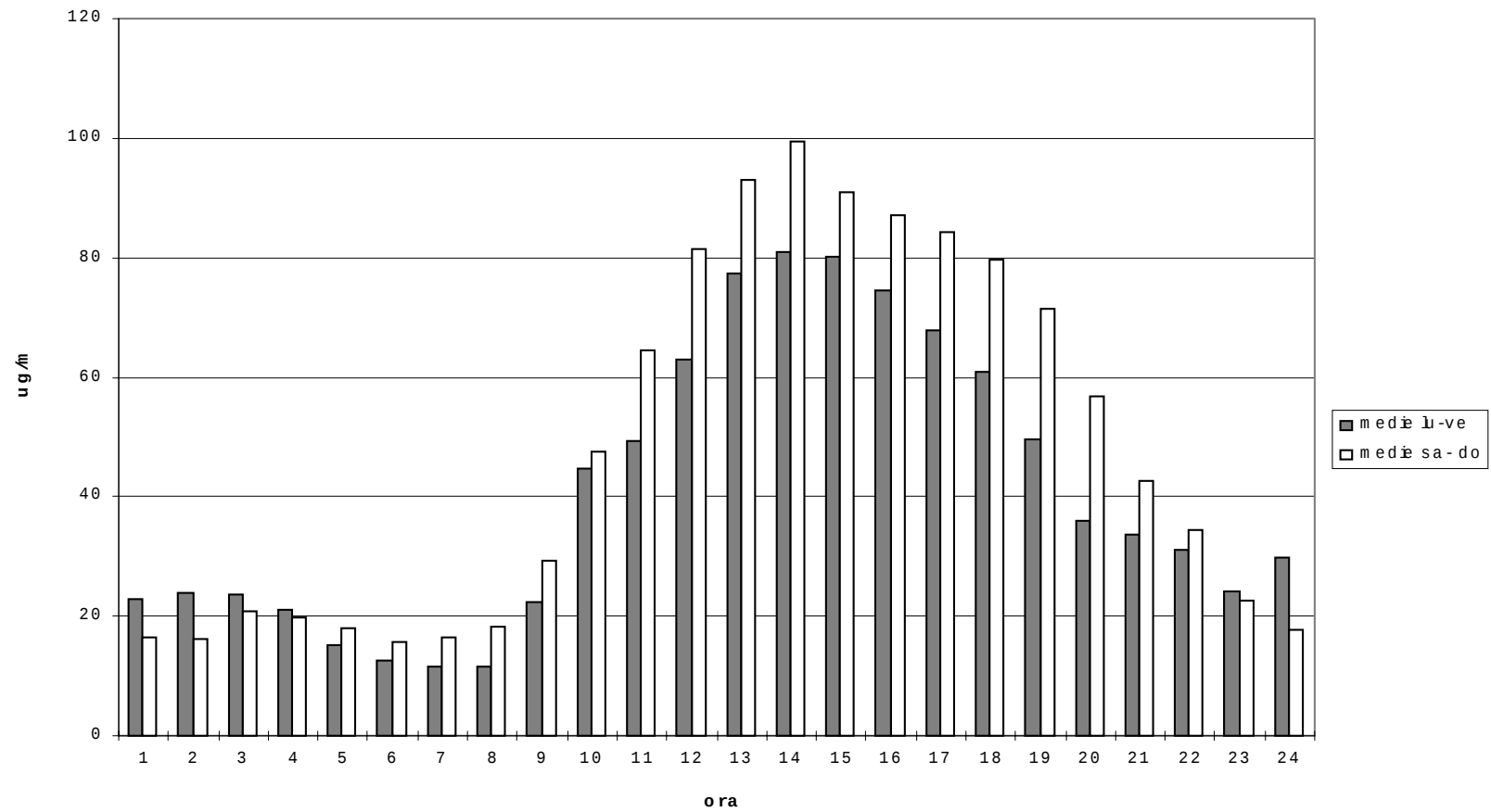
**Figura C2. Concentrazioni medie orarie di ozono su base mensile differenziate per giorni della settimana (febbraio 1999)**



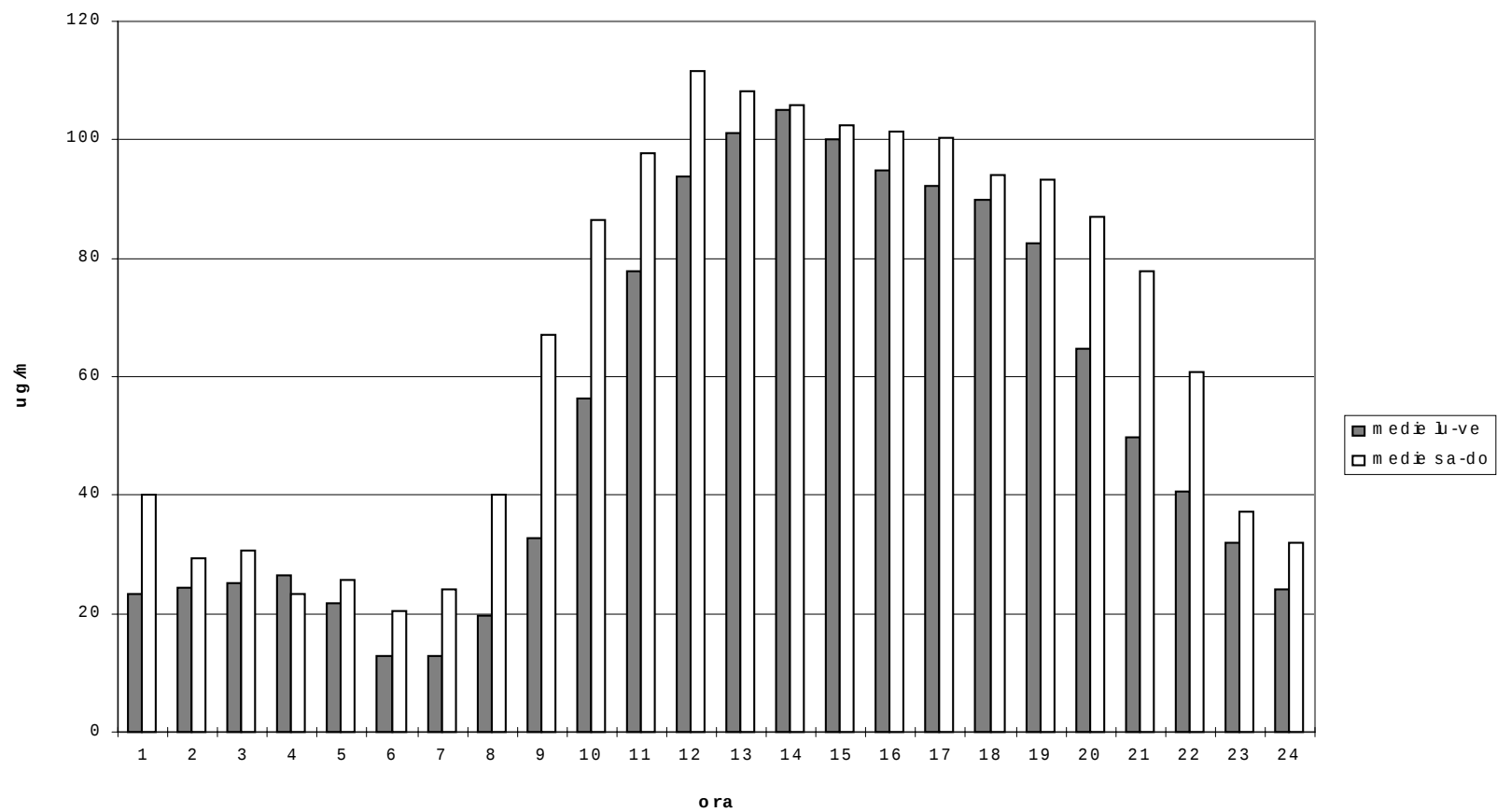
**Figura C3. Concentrazioni medie orarie di ozono su base mensile differenziate per giorni della settimana (marzo 1999)**



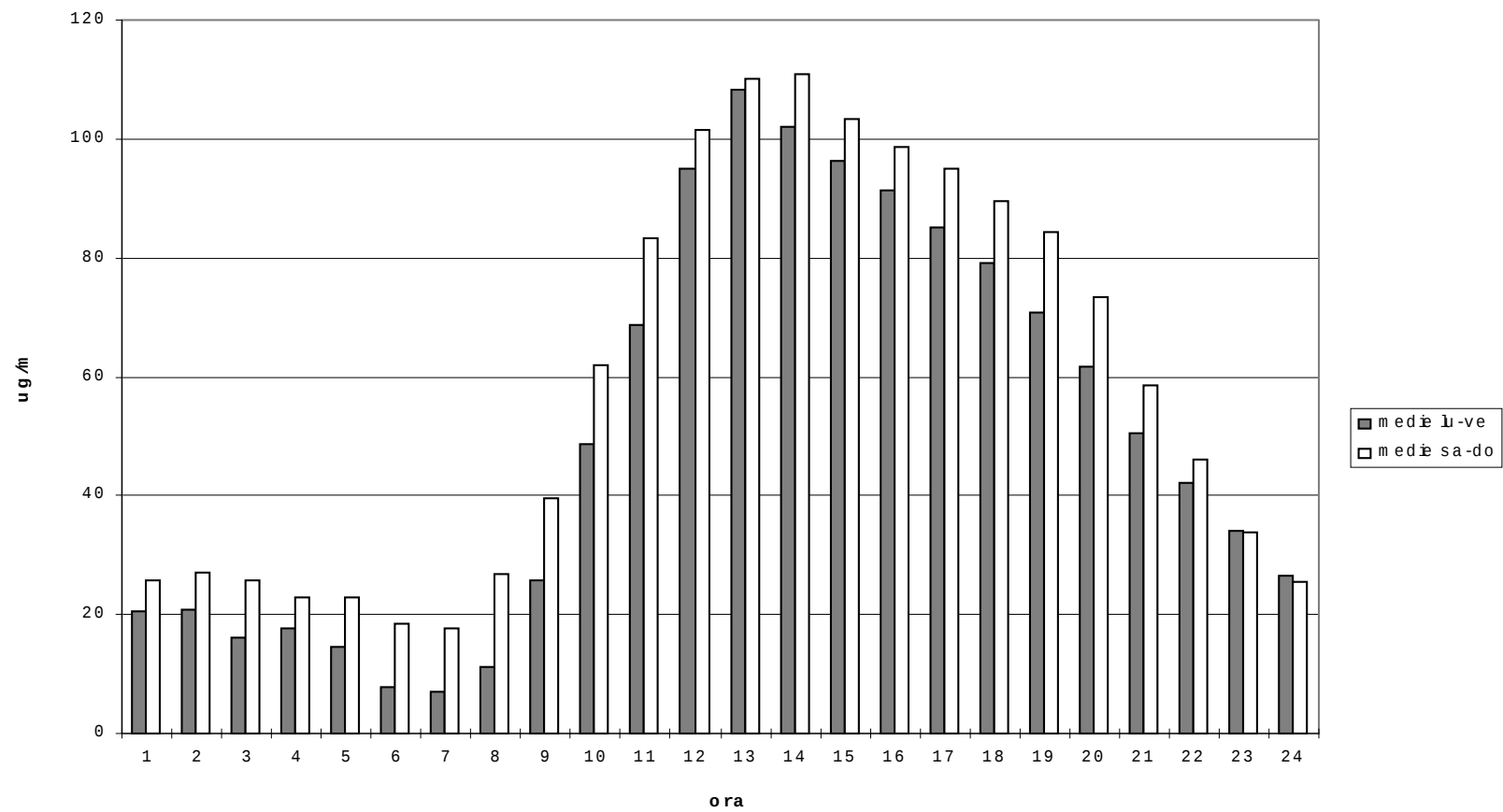
**Figura C4. Concentrazioni medie orarie di ozono su base mensile differenziate per giorni della settimana (aprile 1999)**



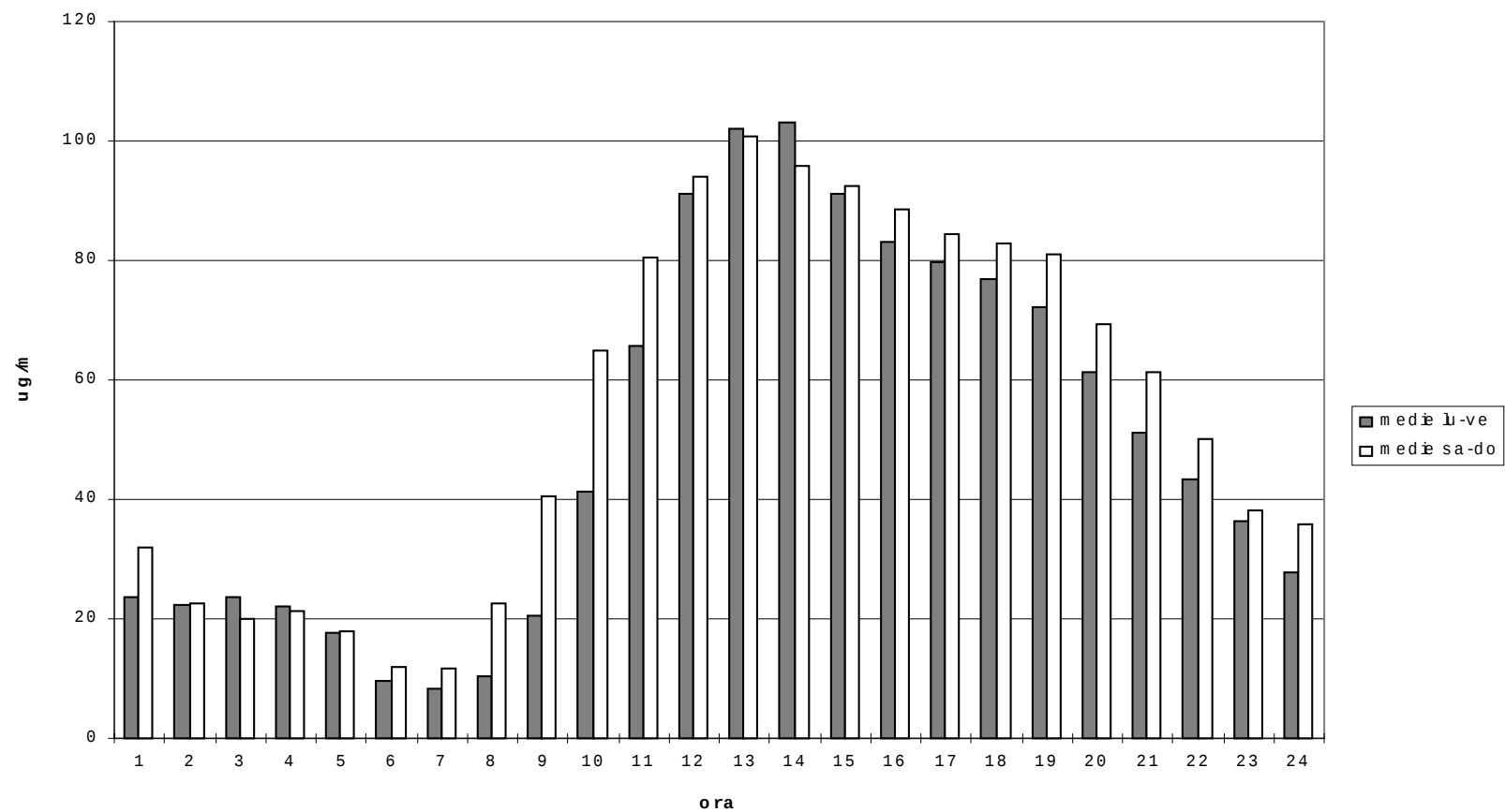
**Figura C5. Concentrazioni medie orarie di ozono su base mensile differenziate per giorni della settimana (maggio 1999)**



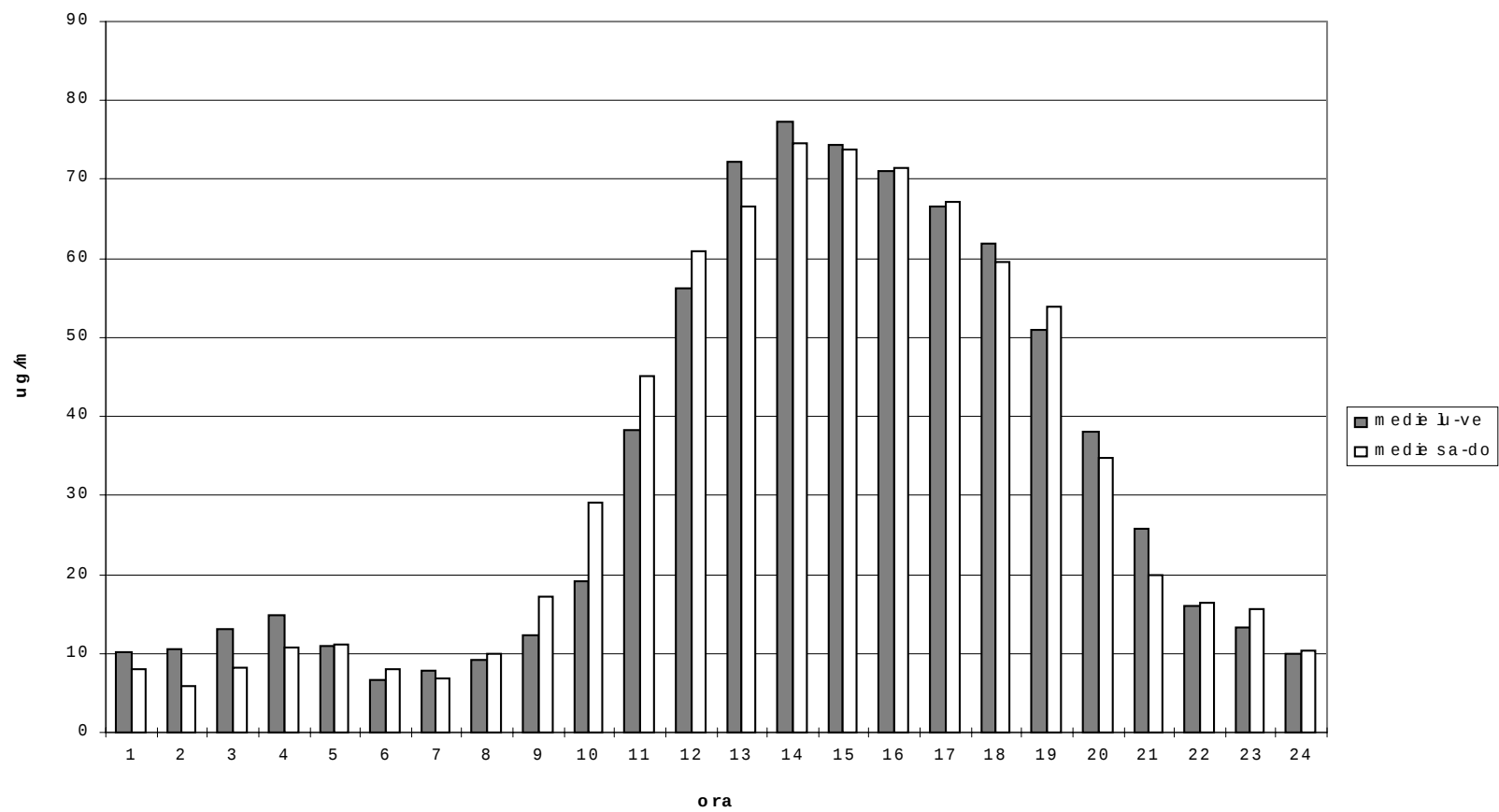
**Figura C6. Concentrazioni medie orarie di ozono su base mensile differenziate per giorni della settimana (giugno 1999)**



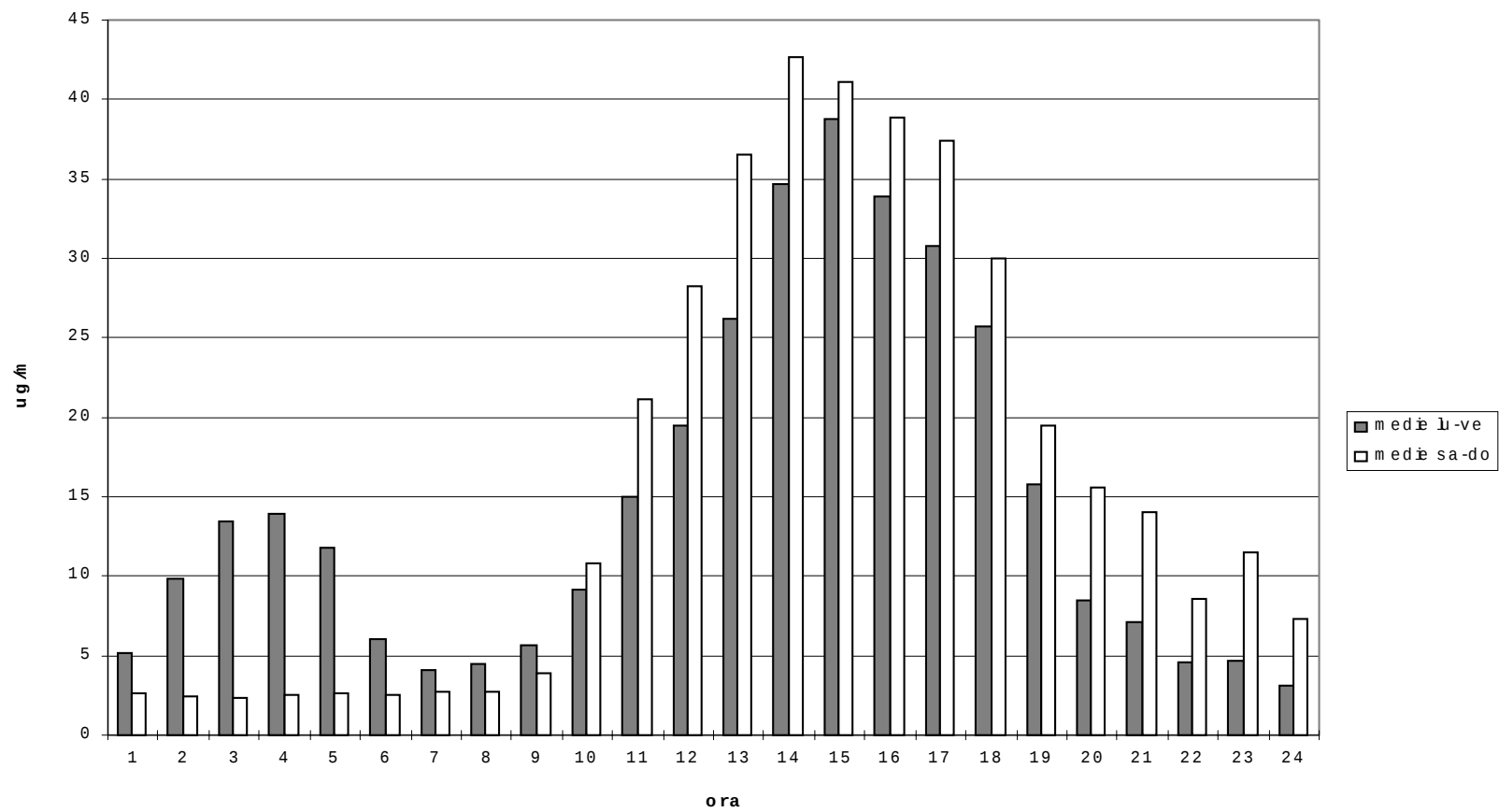
**Figura C7. Concentrazioni medie orarie di ozono su base mensile differenziate per giorni della settimana (luglio 1999)**



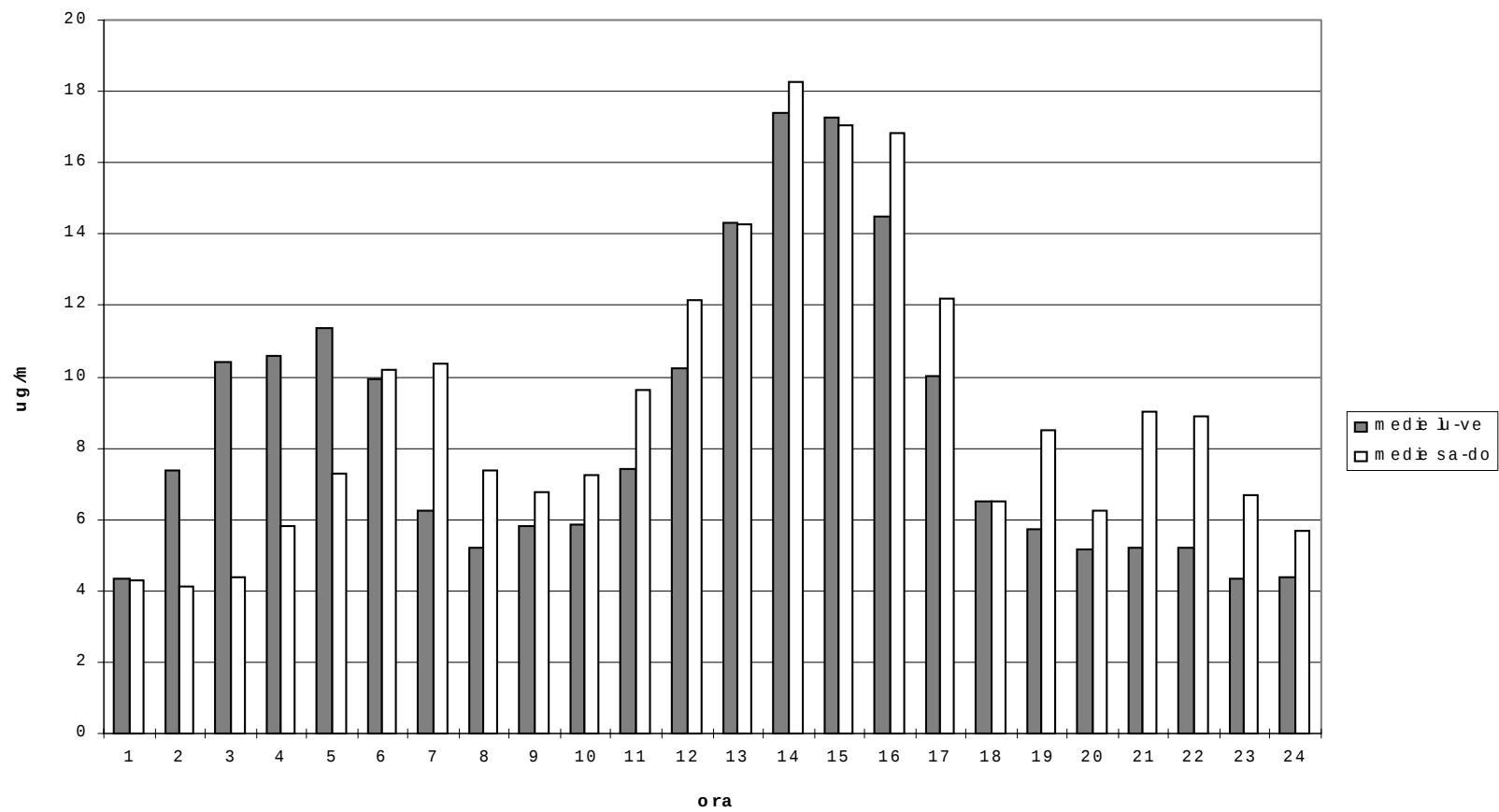
**Figura C8.. Concentrazioni medie orarie di ozono su base mensile differenziate per giorni della settimana (agosto 1999)**



**Figura C9. Concentrazioni medie orarie di ozono su base mensile differenziate per giorni della settimana (settembre 1999)**



**Figura C10. .Concentrazioni medie orarie di ozono su base mensile differenziate per giorni della settimana (ottobre 1999)**



**Figura C11. Concentrazioni medie orarie di ozono su base mensile differenziate per giorni della settimana (novembre 1999)**

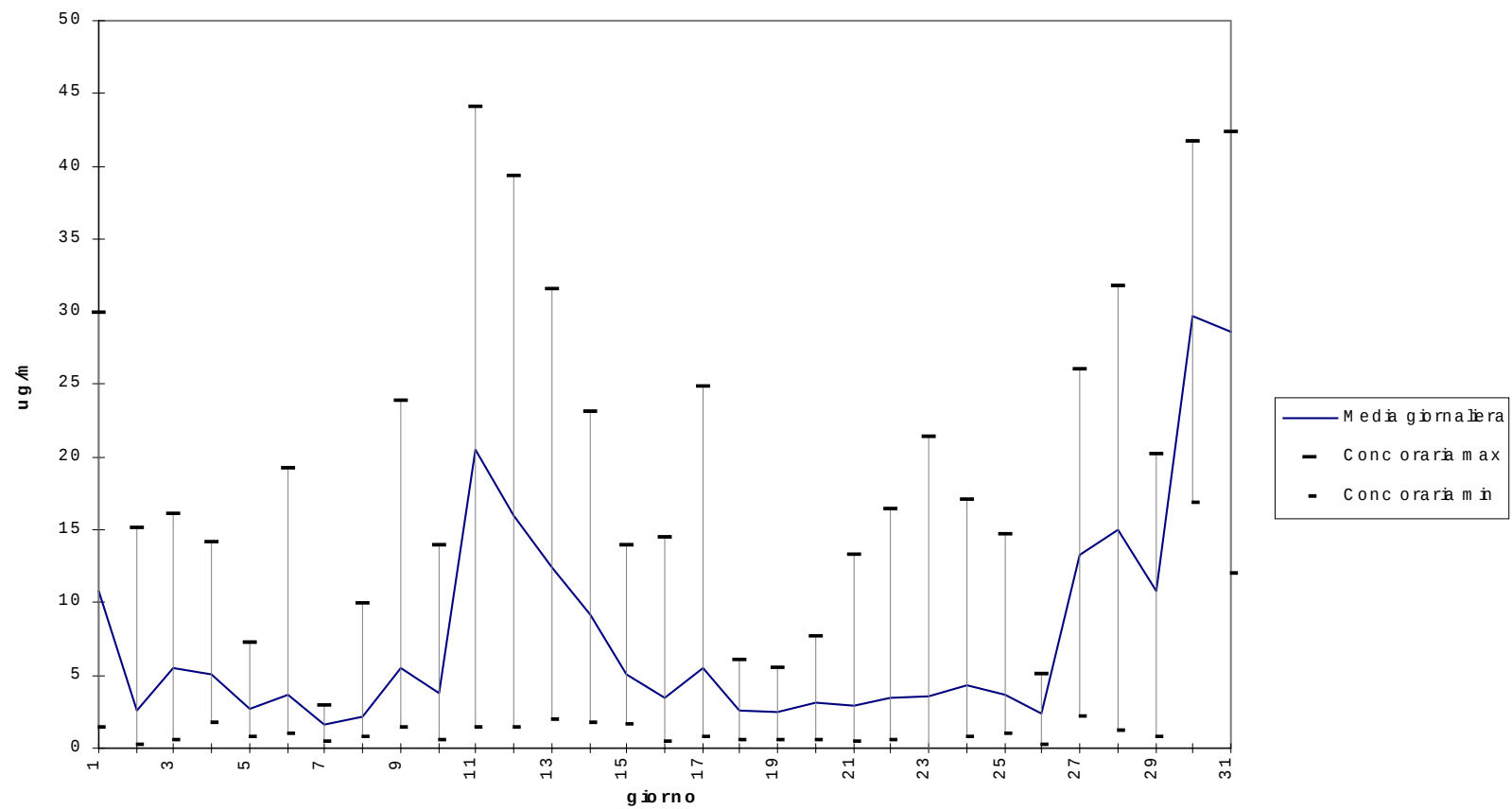


Figura C12. Concentrazioni medie giornaliere, medie orarie massime e minime dell'ozono (gennaio 1999)

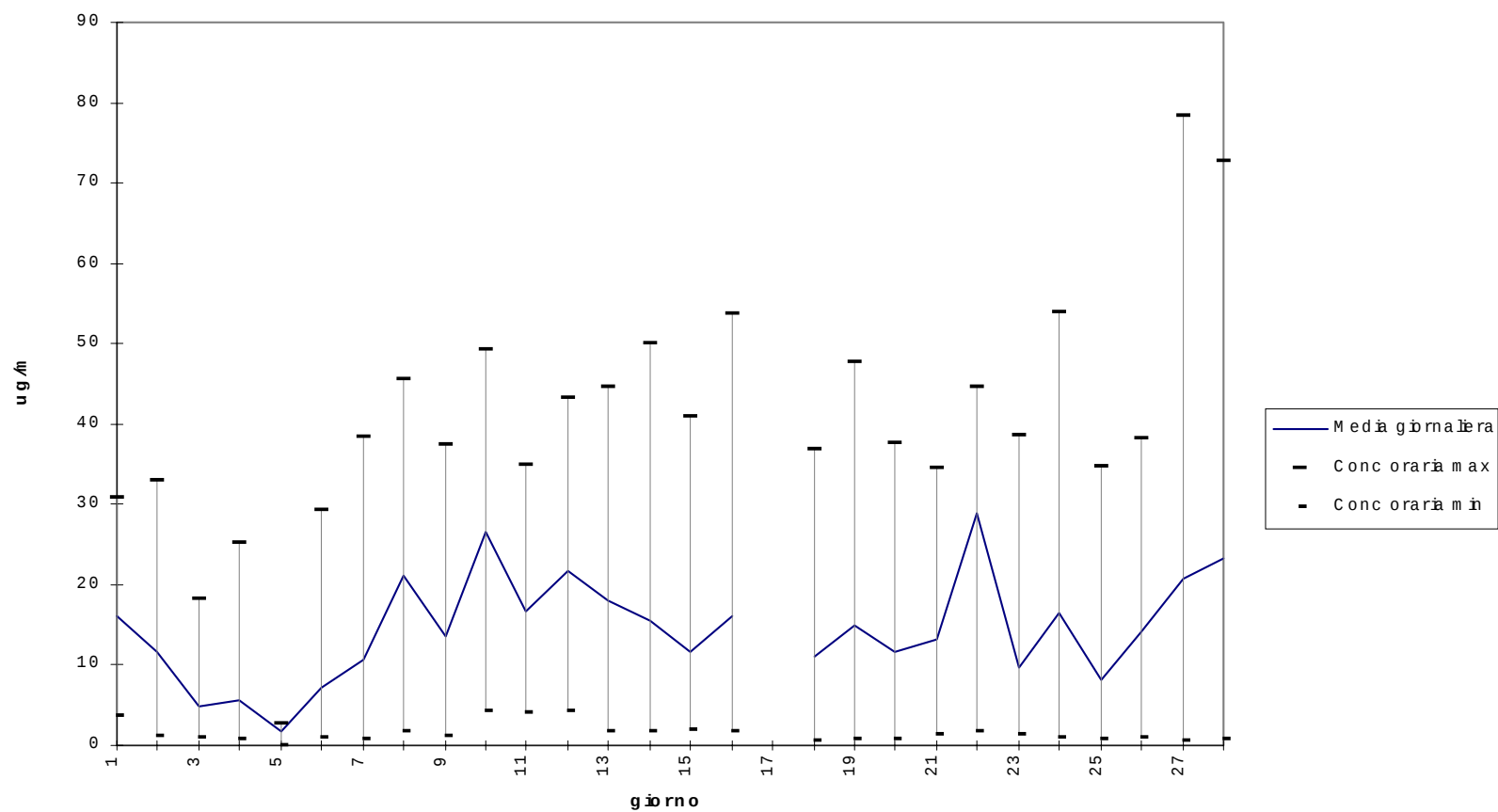


Figura C13. Concentrazioni medie giornaliere, medie orarie massime e minime dell'ozono (febbraio 1999)

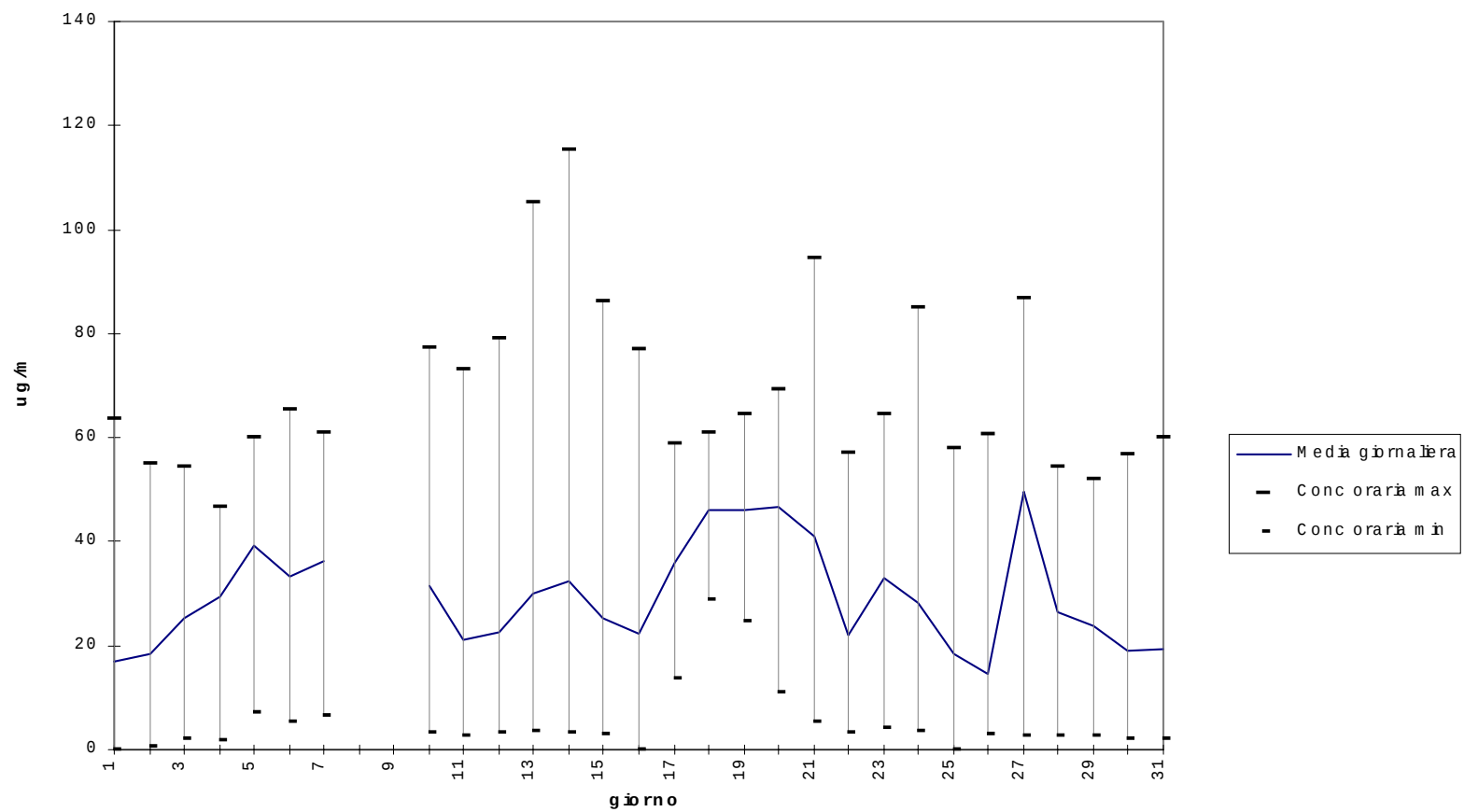


Figura C14. Concentrazioni medie giornaliere, medie orarie massime e minime dell'ozono (marzo 1999)

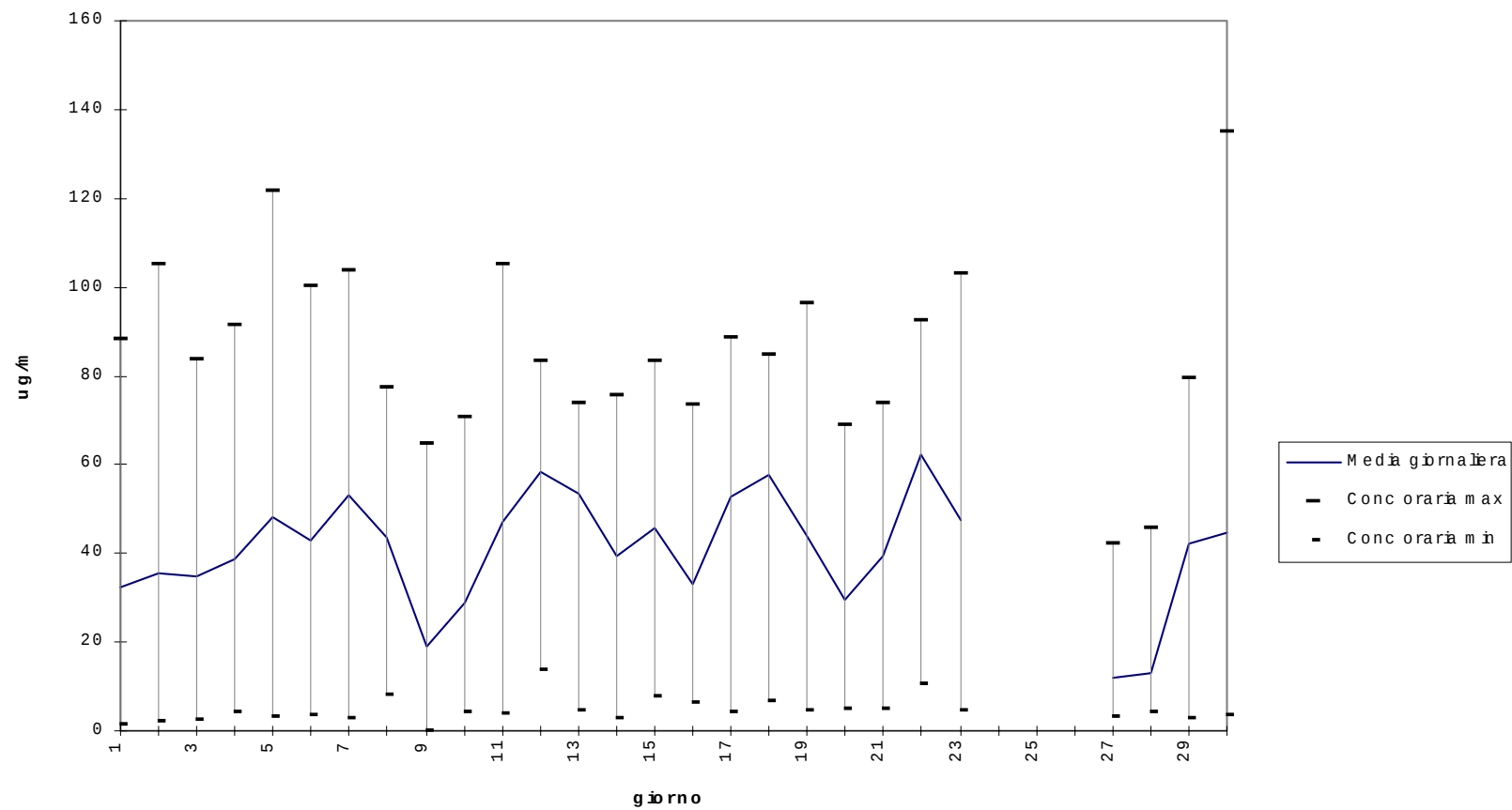
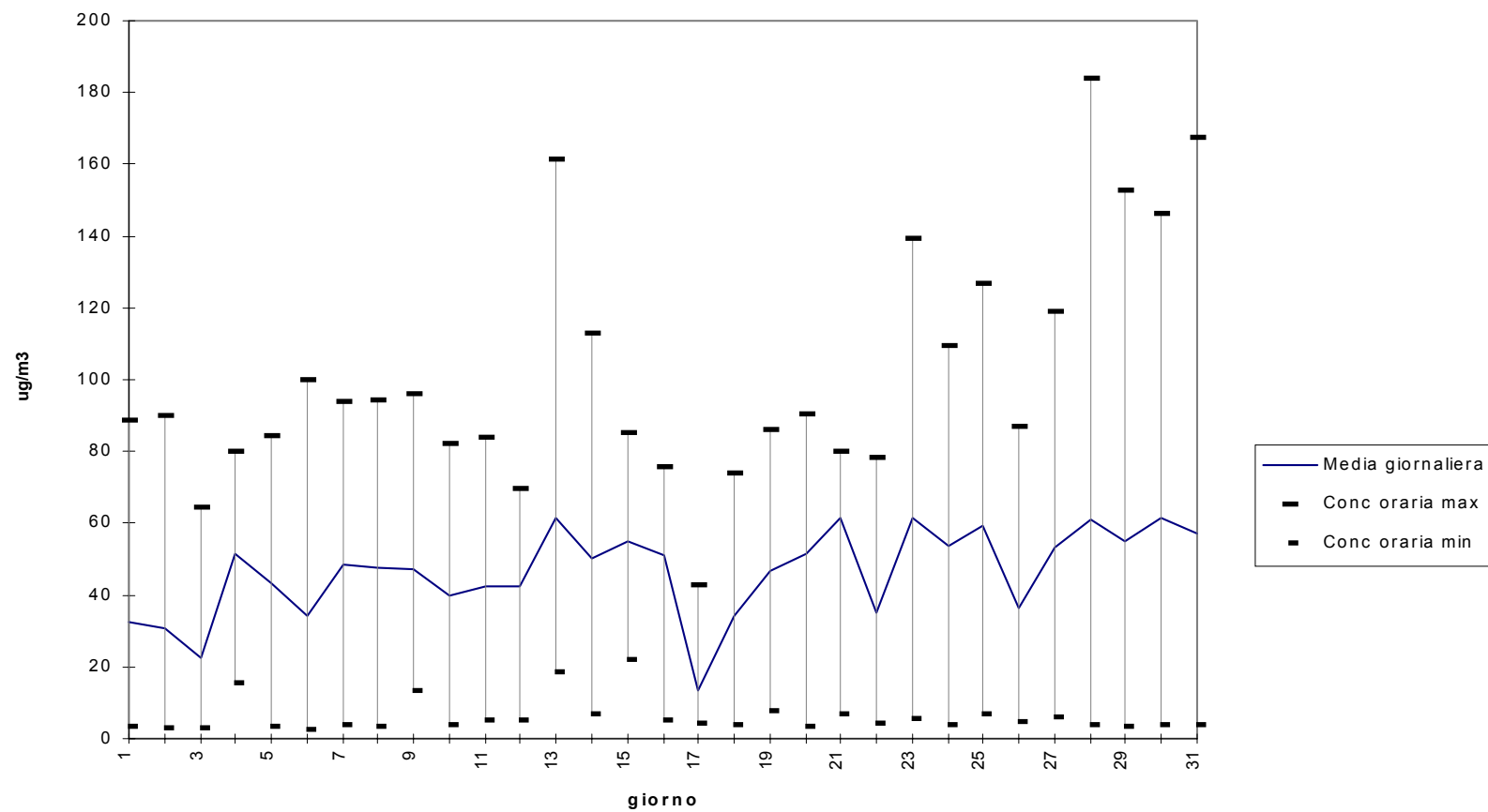
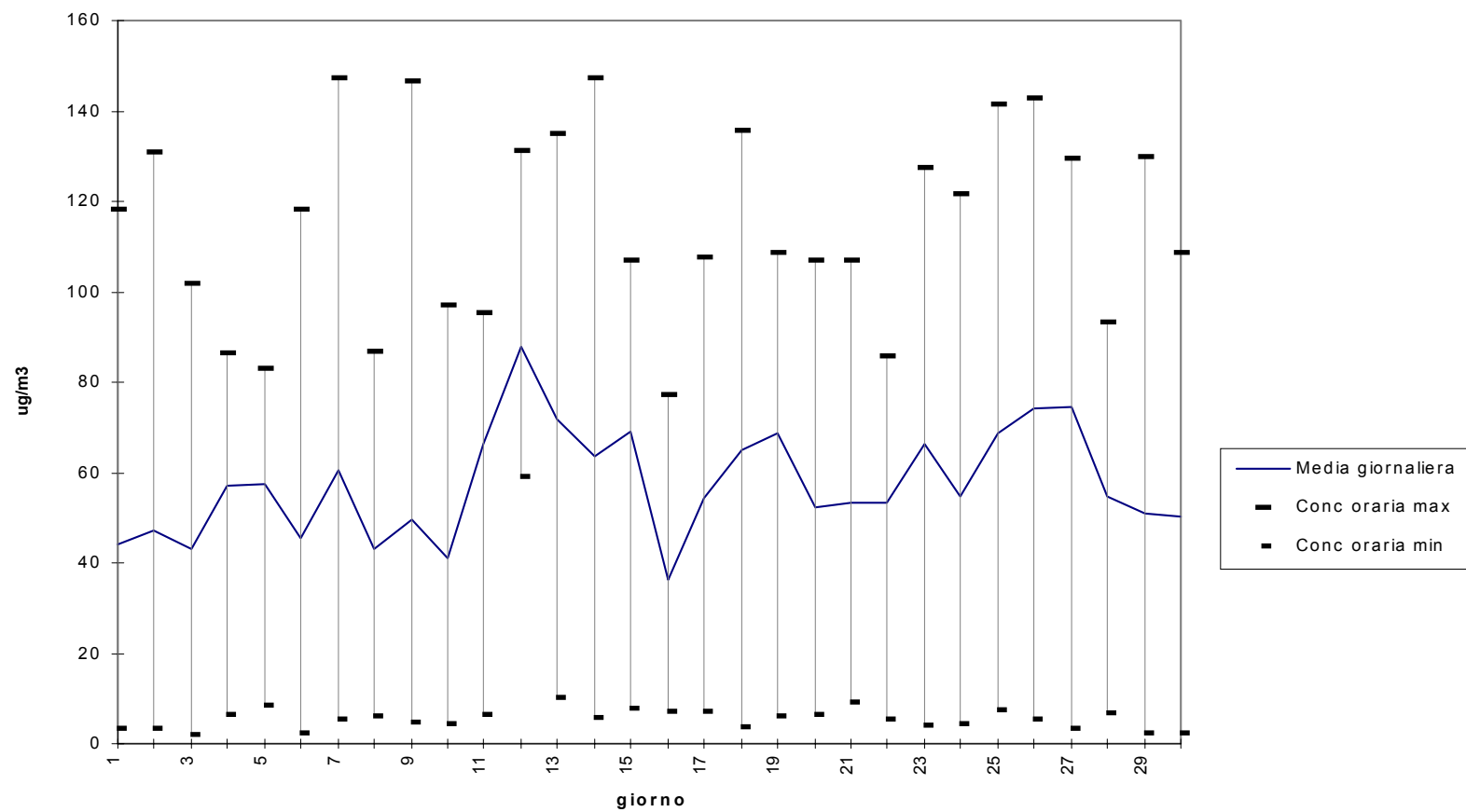


Figura C15. Concentrazioni medie giornaliere, medie orarie massime e minime dell'ozono (aprile 1999)



**Figura C16. Concentrazioni medie giornaliere, medie orarie massime e minime dell'ozono (maggio 1999)**



**Figura C17. Concentrazioni medie giornaliere, medie orarie massime e minime dell'ozono (giugno 1999)**

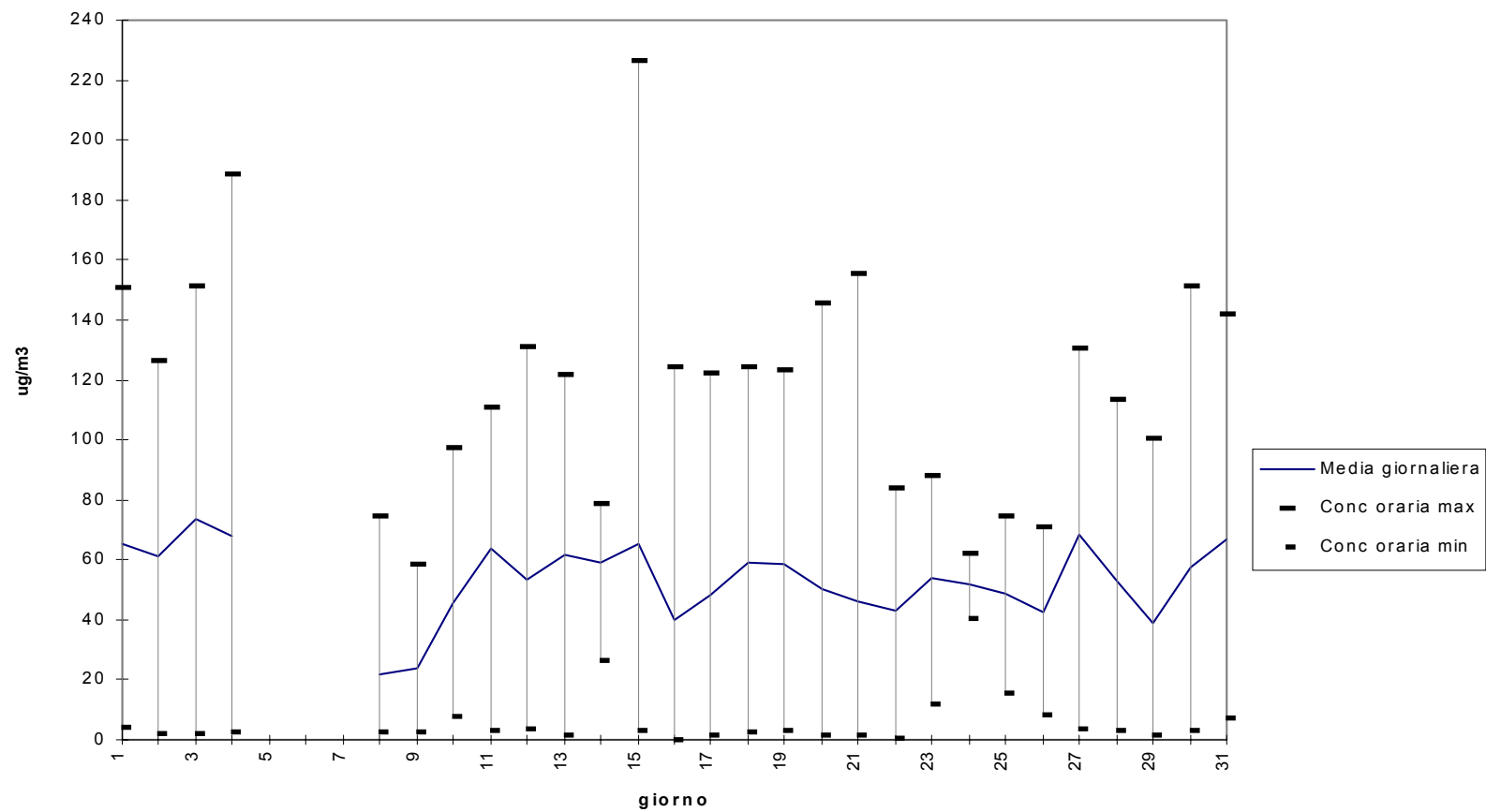


Figura C18. Concentrazioni medie giornaliere, medie orarie massime e minime dell'ozono (luglio 1999)

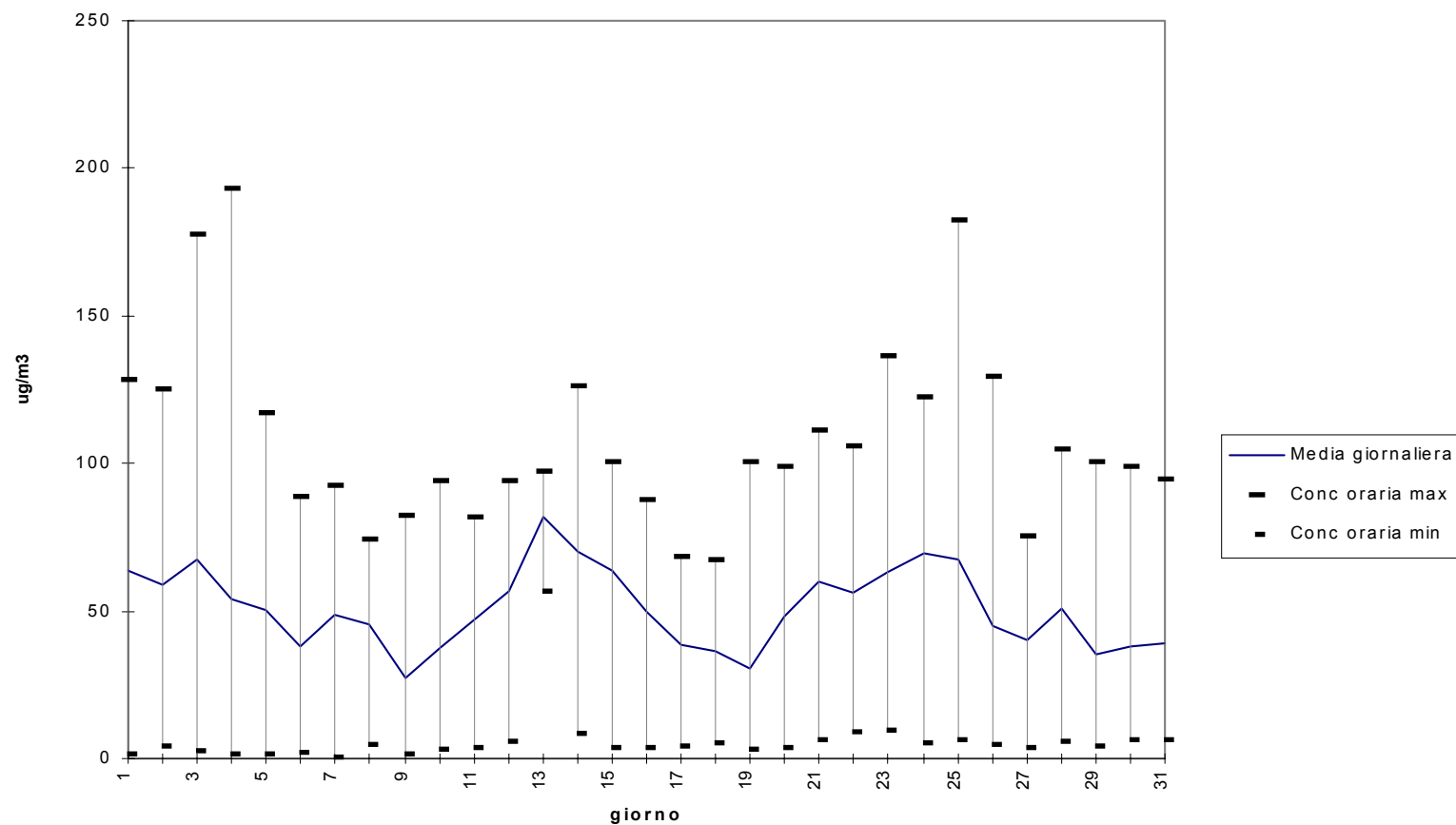
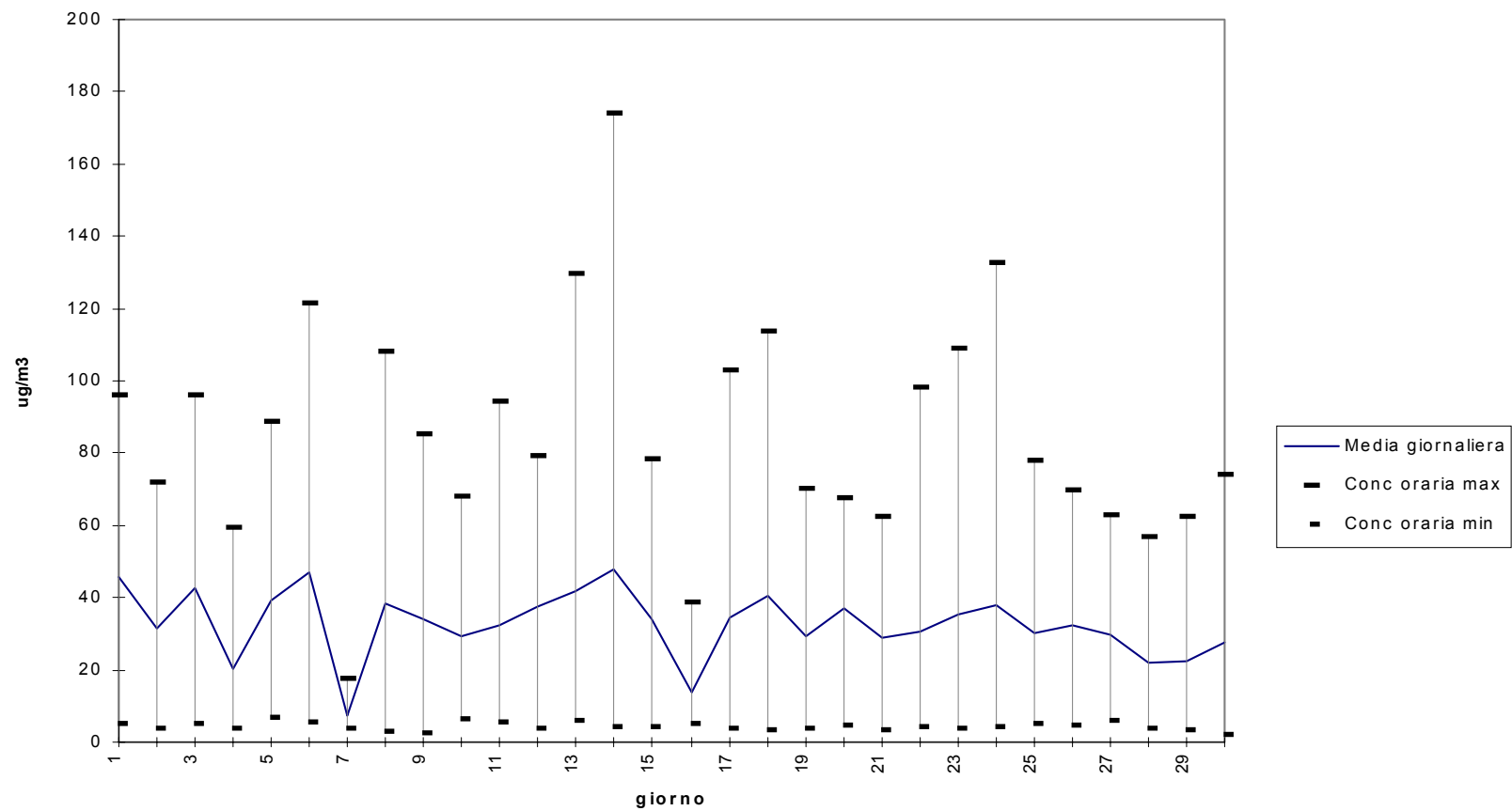


Figura C19. Concentrazioni medie giornaliere, medie orarie massime e minime dell'ozono (agosto 1999)



**Figura C20. Concentrazioni medie giornaliere, medie orarie massime e minime dell'ozono (settembre 1999)**

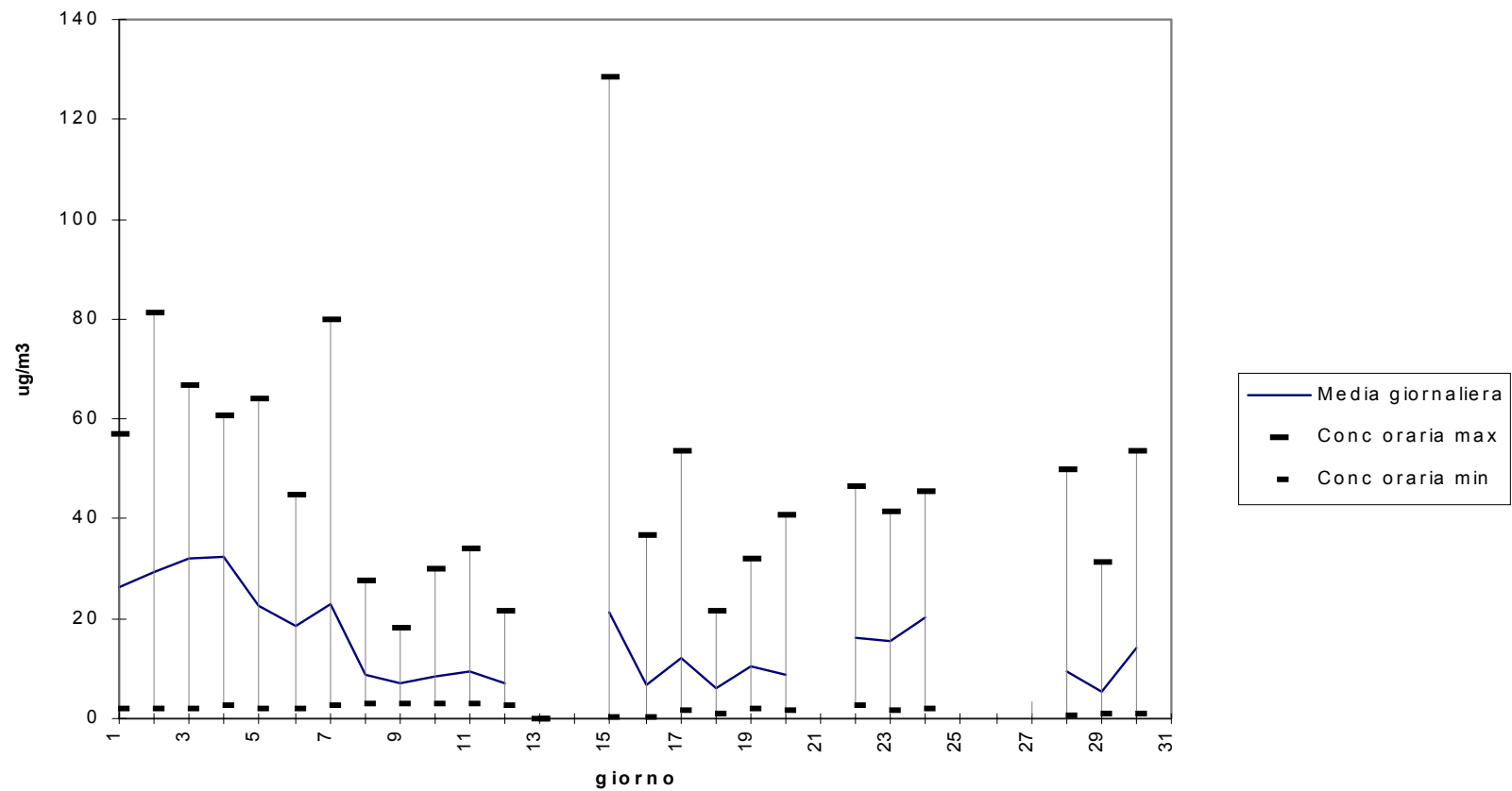
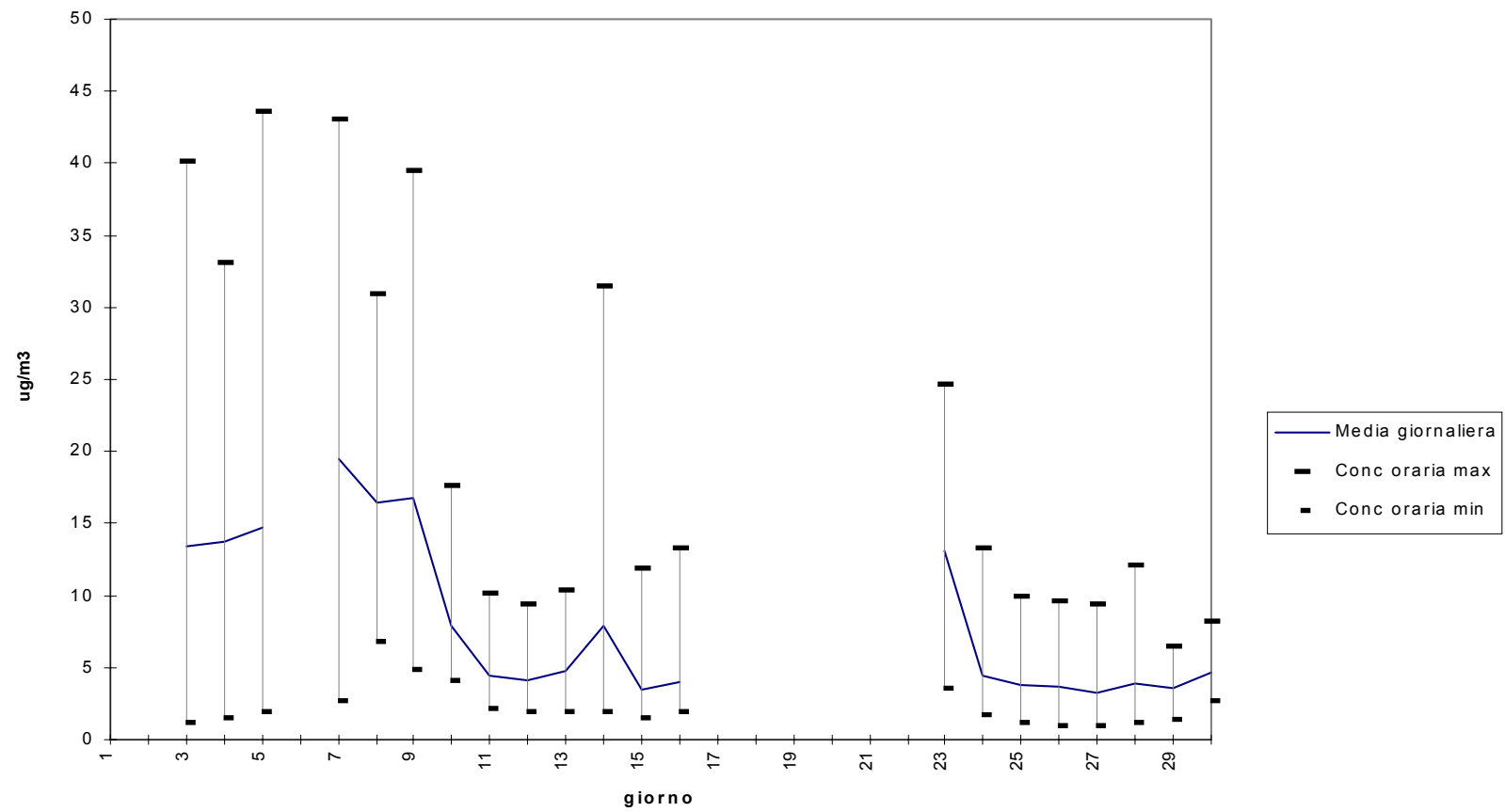


Figura C21. Concentrazioni medie giornaliere, medie orarie massime e minime dell'ozono (ottobre 1999)



**Figura C22. Concentrazioni medie giornaliere, medie orarie massime e minime dell'ozono (novembre 1999)**

*Presidente dell'Istituto Superiore di Sanità  
e Direttore responsabile: Enrico Garaci*

*Coordinamento redazionale:  
Paola De Castro e Sandra Salinetti*

*Stampato dal Servizio per le attività editoriali  
dell'Istituto Superiore di Sanità, Viale Regina Elena, 299 - 00161 ROMA*

*La riproduzione parziale o totale dei Rapporti e Congressi ISTISAN  
deve essere preventivamente autorizzata.*

*Reg. Stampa - Tribunale di Roma n. 131/88 del 1° marzo 1988*

*Roma, giugno 2001 (n. 2) 11° Suppl.*

*La responsabilità dei dati scientifici e tecnici  
pubblicati nei Rapporti e Congressi ISTISAN è dei singoli autori*