



Autori articolo di riferimento:  
Alessandro Bigi, Grazia  
Ghermandi e Roy M. Harrison

# Analisi dell'inquinamento dell'aria in un sito di fondo della Pianura Padana

ANALYSIS OF THE AIR POLLUTION CLIMATE AT A  
BACKGROUND SITE IN THE PO VALLEY

Tesi di Laurea Triennale di:  
**Marta Lusuardi**

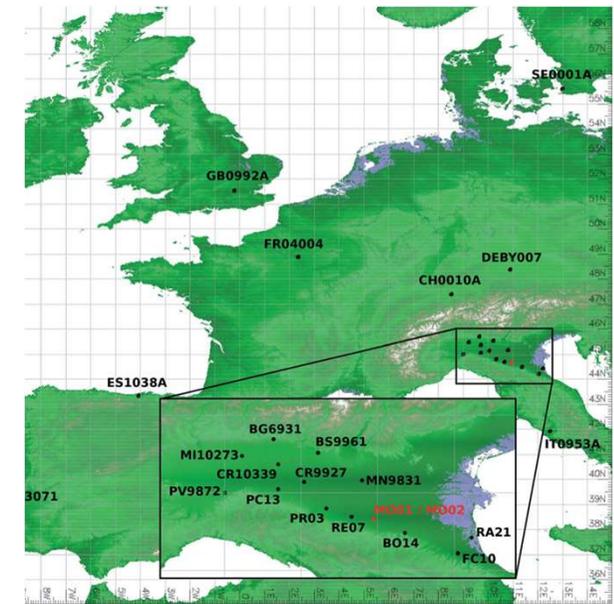
Docente referente:  
**Chiar.mo Prof. Anna Annibaldi**

# Collocazione siti oggetto di studio

Il sito di fondo su cui si incentra l'analisi è quello di Nonantolana, Modena (MO01), di cui è analizzata una serie temporale di dati di 13 anni (1998-2010).

Al fine di rilevare anche la variabilità all'interno dell'area urbana modenese, sono stati inclusi anche dati provenienti da un altro sito di fondo urbano della città di Modena (MO02).

È stato poi eseguito un confronto con altri siti della Pianura Padana e siti europei e Londra, riferendosi al periodo 2002-2009, scelti sia per la loro rappresentatività di città densamente abitate con climi variabili, sia perché coinvolti in studi simili ed approfonditi, o perché aventi una densità demografica simile alla città di Modena, ma con condizioni climatiche differenti.

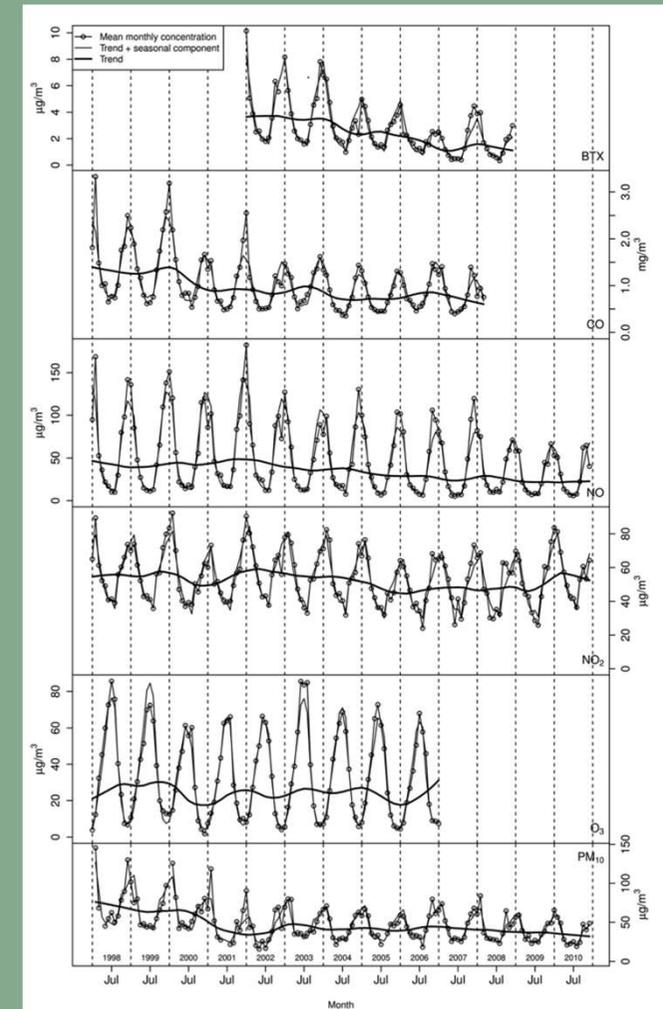


ID	Station name
<i>Po valley</i>	
BG6931	Bergamo
BO14	Bologna
BS9961	Brescia
CR10339	Crema
CR9927	Cremona
FC10	Forlì
MI10273	Milano
MO01	Modena
MO02	Modena
MN9831	Mantova
PC13	Piacenza
PR03	Parma
PV9872	Pavia
RA21	Ravenna
RE07	Reggio Emilia
<i>Europe</i>	
CH0010A	Zürich (CH)
DEBY007	Augsburg (D)
ES1038A	Torrelavega (E)
FR04004	Paris (F)
IT0953A	Roma (I)
PT03071	Lisboa (P)
SE0001A	Malmö (S)
GB0992A	London (UK)

# Andamenti a lungo termine e pattern stagionali

- Significativo trend decrescente per le concentrazioni di BTX, che stagionalmente presenta picchi a gennaio e minimi ad agosto.
- CO, NO e NO<sub>2</sub> mostrano componenti stagionali piuttosto simili, con ampi range di concentrazione mensile. I trend a lungo termine sono decrescenti, in maniera molto marcata per CO e NO, meno per NO<sub>2</sub>, che si mantiene quasi costante e al di sopra dei valori limite europei di 40 mg/m<sup>3</sup>.
- L'andamento stagionale dell'ozono è caratterizzato da picchi nel mese di luglio e minimi a dicembre, mentre il suo trend si mantiene costante, nonostante la concentrazione dell'NO decresca sul lungo termine.
- Il PM<sub>10</sub> ha una componente stagionale massima a febbraio, minima in agosto, con un andamento destagionalizzato sul lungo periodo nettamente decrescente, anche se la variazione tra il 2001 e il 2007 è stata molto piccola, in comune con molti siti dell'Europa occidentale.

Nel complesso, tramite analisi con metodo GLS si è dimostrato che tutti gli inquinanti presentano una significativa tendenza al ribasso, con eccezione dell'O<sub>3</sub>.



# Anno medio

Si notano alcuni modelli stagionali chiari ed eventi ricorrenti:

- 15 Agosto -> minimo nell'NO<sub>2</sub> e picco nella concentrazione di ozono
- 25 Dicembre -> minimo per CO, NO, NO<sub>2</sub> e PM<sub>10</sub>, senza picchi di ozono
- 1 Gennaio -> picco nel PM<sub>10</sub>, riduzione di CO e NO.

Il PM<sub>10</sub> si comporta in maniera piuttosto differente, rispetto al sito di Londra, e ciò è probabilmente dovuto alle diverse condizioni climatiche che ne influenzano la dispersione.

Londra è una città con temperature medie annuali simili a Modena, ma ha una variazione stagionale di temperatura molto minore e l'altezza di rimescolamento uguale o superiore ai 1000m durante l'anno, con una media attorno 800-850m in autunno. Nella Pianura Padana, invece, dove le velocità del vento sono piuttosto deboli tutto l'anno, l'altezza massima giornaliera di rimescolamento a Modena ha una media di 850m tra novembre e febbraio, e di circa 450m a dicembre e gennaio.

Il maggiore calo della concentrazione di PM<sub>10</sub> a Modena rilevato in estate, e il giorno rispetto la notte, è anche dovuto alle concentrazioni di nitrati (e nitrato di ammonio) nell'aria, che dipende fortemente dalla temperatura.

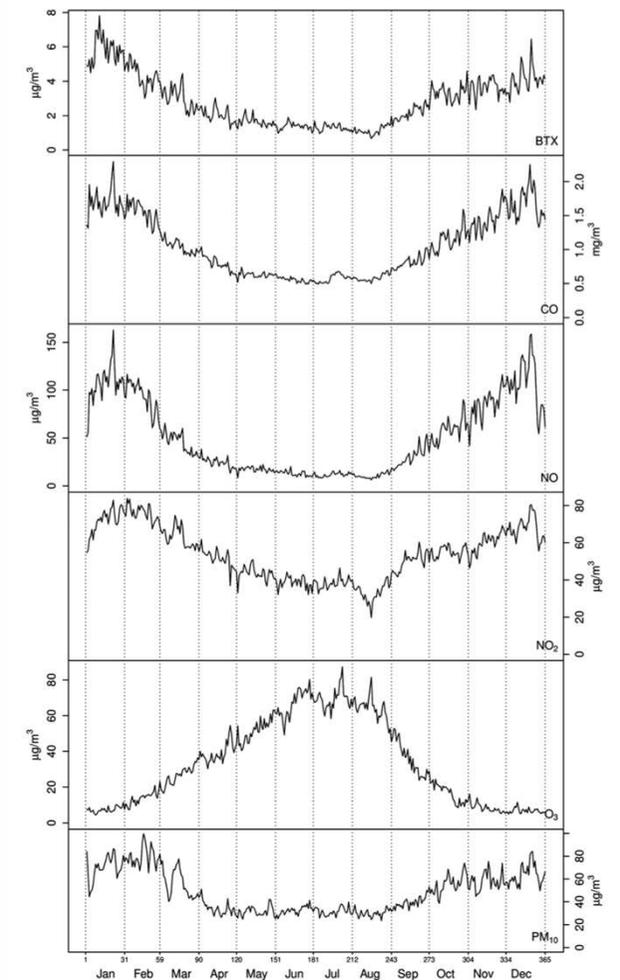


Fig. 3 Average daily time series of concentration for the air pollutants.

# Modelli diurni

Andamento invernale:

- BTX e inquinanti gassosi legati al traffico. Giorni feriali: modello a due picchi, tipico delle aree urbane, divisi da un minimo. Domenica: unico picco la sera, concentrazioni generalmente più basse. Il piccolo cambiamento tra giorni feriali e festivi è indice di un inquinante con fonti sia primarie che secondarie.
- Ozono: andamento simile sia per giorni feriali che domenica, dove si registra un incremento probabilmente per l'effetto weekend.

Andamento estivo:

Fortemente influenzato dalla maggiore dispersione.

- BTX e inquinanti gassosi legati al traffico. Giorni feriali: picco principale nelle ore mattutine, uno secondario ridotto nelle ore notturne. Differenza da modello delle latitudini più settentrionali in Europa. Di domenica le concentrazioni rilevate sono inferiori.
- Ozono. Un solo picco, per inquinamento fotochimico. Di domenica il minimo è più elevato del minimo invernale; non presenta un picco più alto per le ridotte concentrazioni di  $\text{NO}_x$ .

Da notare l'effetto weekend.

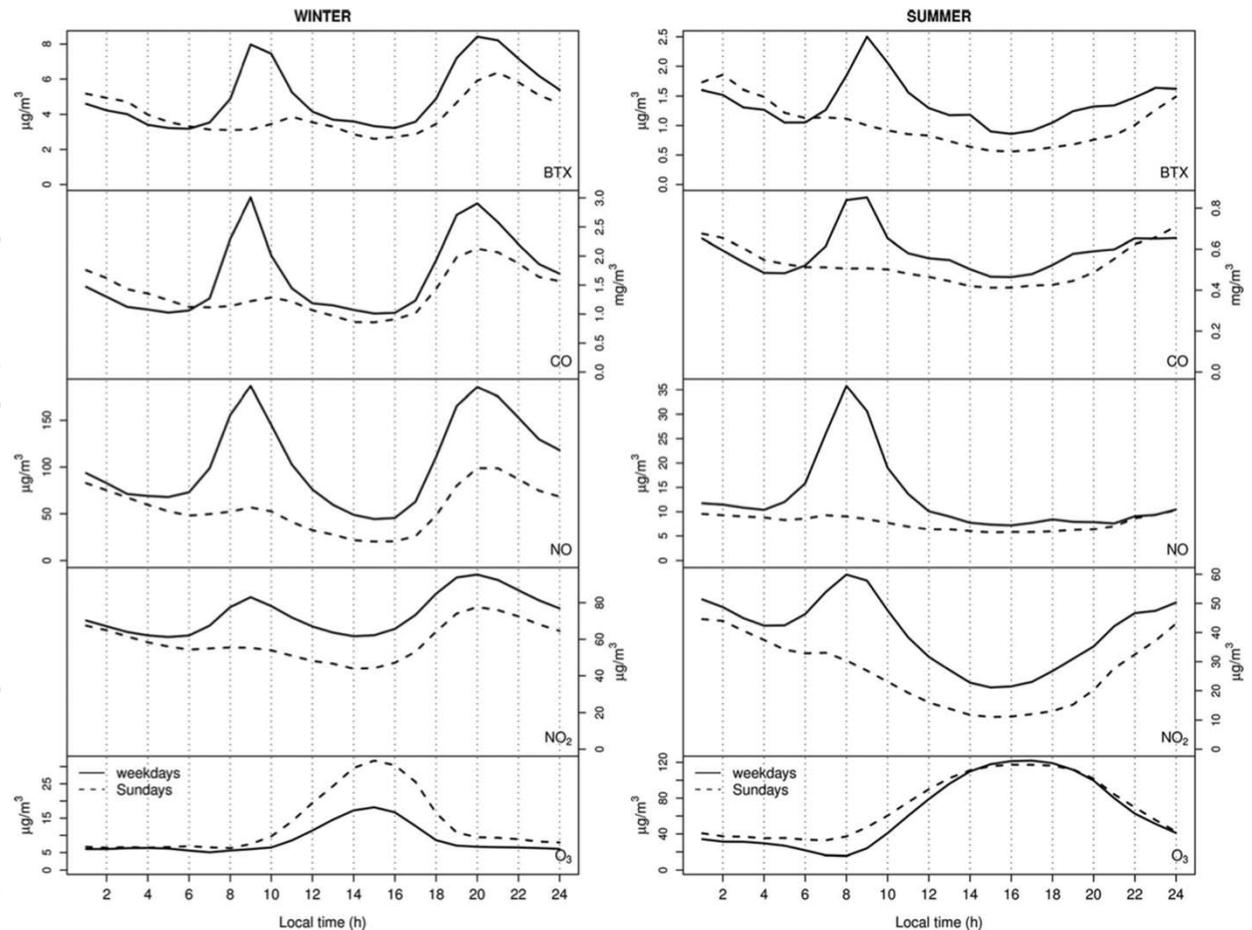


Fig. 4 Average diurnal pattern of mean hourly concentration.

# Andamento diurno – settimanale del PM<sub>10</sub>

Le concentrazioni medie giornaliere di PM<sub>10</sub> nel sito di Nonantolana mostrano una lieve riduzione nelle domeniche sia invernali che estive.

L'ampia deviazione standard delle concentrazioni invernali ha richiesto l'utilizzo del KW test per dimostrare che l'andamento ciclico settimanale del PM<sub>10</sub> illustrato in grafico presenta effettivamente un calo significativo di domenica, che è ricollegabile all'effetto weekend.

Le concentrazioni medie settimanali nel periodo estivo sono inferiori per via di una migliore dispersione.

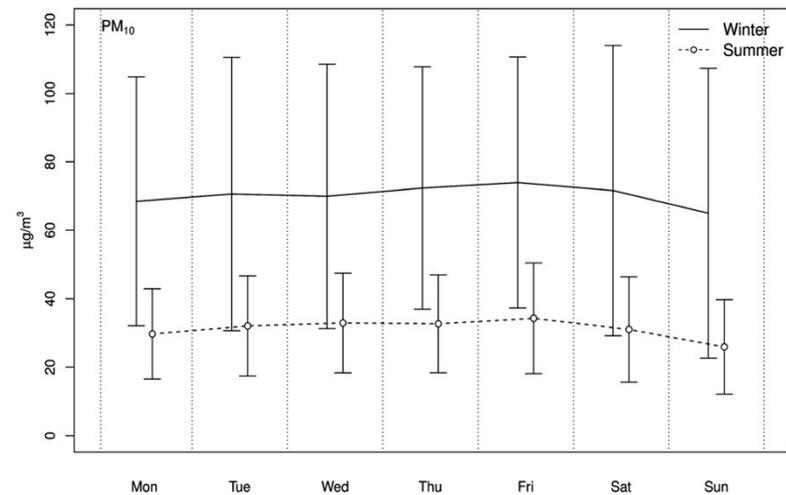


Fig. 5 Weekly pattern of mean daily concentration (PM<sub>10</sub>) along with standard deviation.

# Confronto con altri siti della Pianura Padana e siti europei (PM<sub>10</sub>)

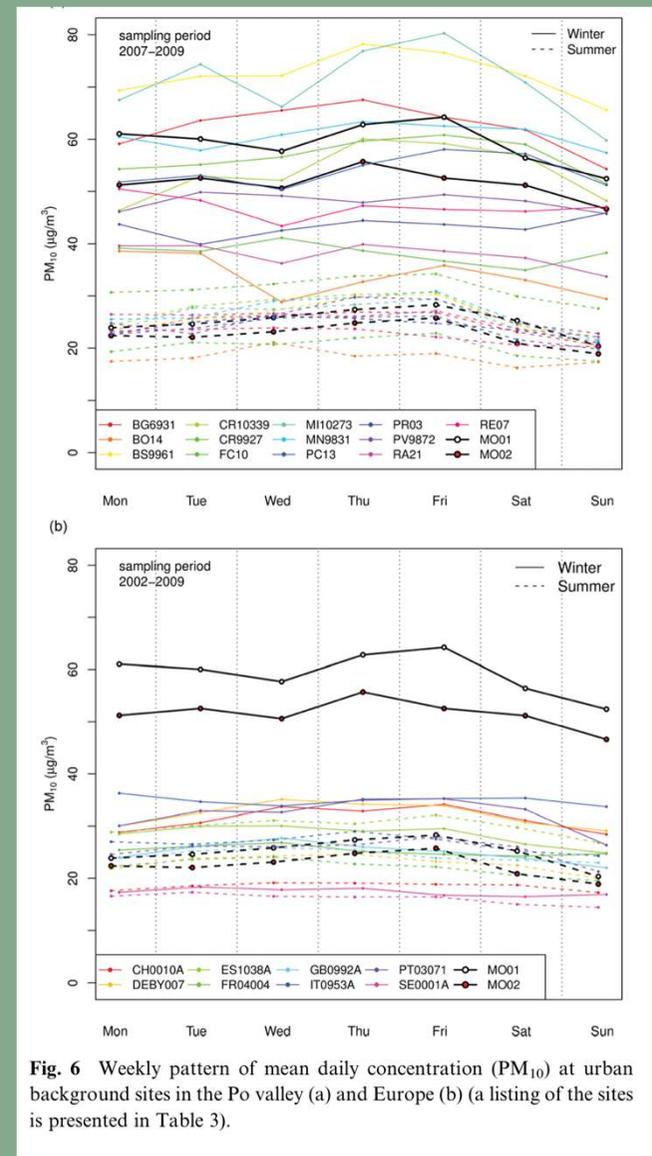
## Siti della Pianura Padana:

- Forte stagionalità e ampia varietà di concentrazione tra i siti.
- Il sito modenese utilizzato per confronto con quello di Nonantolana si trova nel più grande parco comunale e presenta concentrazioni più basse.
- La differenza maggiore nelle concentrazioni medie dei vari siti si rileva in inverno, mentre in estate le concentrazioni medie sono più simili.
- I siti che in inverno hanno concentrazioni medie sopra i 50mg/m<sup>3</sup> mostrano un andamento settimanale con concentrazioni in calo nel weekend, indicando una influenza da fonti antropiche.

## Siti di fondo urbano europei:

- Rispetto agli altri siti europei, MO01 e MO02 mostrano più alta stagionalità e più alte concentrazioni medie.
- MO01 e MO02 mostrano anche una maggiore variazione tra i giorni della settimana tra tutti i siti, durante l'inverno. Anche i siti di Zurigo e Lisbona mostrano una certa periodicità settimanale in inverno.

Anche in questo caso è stato eseguito un KW test per accertare la significatività delle anomalie nelle serie temporali.



**Fig. 6** Weekly pattern of mean daily concentration (PM<sub>10</sub>) at urban background sites in the Po valley (a) and Europe (b) (a listing of the sites is presented in Table 3).

# Relazione tra PM<sub>10</sub> e NO<sub>x</sub>

Per distinguere il PM<sub>10</sub> generato dalla combustione primaria dal PM<sub>10</sub> non primario, si utilizza la regressione del PM<sub>10</sub> su NO<sub>x</sub>. Si utilizzano due metodi: regressioni stimate usando i minimi quadrati ordinari e regressione ortogonale, che dovrebbe essere meno influenzato dai punti periferici.

**Table 4** Estimated coefficients for orthogonal and linear regression models of daily mean PM<sub>10</sub> (*y*-variable) upon daily mean NO<sub>x</sub> concentration (*x*-variable) in Modena

Season	Orthogonal regression		Linear regression ( $\pm 95\%$ conf. int)	
	Intercept/ $\mu\text{g m}^{-3}$	Slope/ $\mu\text{g m}^{-3}$ per $\mu\text{g m}^{-3}$	Intercept/ $\mu\text{g m}^{-3}$	Slope/ $\mu\text{g m}^{-3}$ per $\mu\text{g m}^{-3}$
Spring	2.09	0.79	11.96 $\pm$ 2.62	0.58 $\pm$ 0.05
Summer	-4.05	1.23	17.67 $\pm$ 2.36	0.39 $\pm$ 0.08
Autumn	9.77	0.56	16.84 $\pm$ 3.06	0.45 $\pm$ 0.04
Winter	20.45	0.40	26.62 $\pm$ 3.90	0.34 $\pm$ 0.03

L'intercetta costantemente più elevata in inverno rispetto all'estate riflette un maggiore contributo di particelle secondarie, specie nitrato di ammonio.

Non si prevede che la pendenza vari in modo apprezzabile con la stagione, come si vede nella regressione lineare, ma sorprendentemente non nei dati della regressione ortogonale, dove si rileva una maggiore pendenza nei dati estivi, cosa che potrebbe riflettere una correlazione del nitrato secondario con il biossido di azoto (che è il precursore del nitrato negli eventi di smog fotochimico), molto probabile nell'atmosfera estiva altamente reattiva della Pianura Padana.

## Conclusioni

I dati di Modena presentano alcune forti somiglianze con altri siti europei, ma anche alcuni apprezzabili contrasti con altre località analizzate in precedenti studi, come Londra.

Principali somiglianze con Londra: tendenza generale al ribasso degli inquinanti primari, principalmente generati dal traffico (BTX, CO, NO<sub>x</sub>). I PM<sub>10</sub>, in comune con molti altri siti d'Europa, hanno mostrato una trend decrescente molto modesto dal 2000.

Le differenze con gli altri siti usati come confronto sono derivate principalmente da fattori sia meteorologici che chimici. Da notare il diverso andamento stagionale del PM<sub>10</sub>, probabilmente causato da una maggiore differenza nella capacità dispersiva tra inverno ed estate nella Pianura Padana, rispetto a Londra, e la maggiore stagionalità delle concentrazioni di nitrato di ammonio, attribuibile ad una maggiore fluttuazione stagionale della temperatura a Modena.

Gli inquinanti primari a Londra e Modena mostrano un andamento diurno simile in inverno, ma significativamente diverso in estate, per via della migliore dispersione delle emissioni pomeridiane nel sito modenese e forse per un diverso andamento del traffico.

Infine la terza grande differenza sta nel comportamento dell'ozono: a Londra questo sembra essere dominato dal comportamento degli ossidi di azoto: un aumento delle concentrazioni di NO<sub>x</sub> porta ad una diminuzione dell'ozono e viceversa. Lo stesso comportamento sembra prevalere a Modena in inverno, ma non in estate, quando le emissioni primarie locali contribuiscono alla formazione di ozono.

## Riassunto

La Pianura Padana è nota per presentare elevati livelli di inquinanti nell'aria.

Nell'articolo trattato vengono analizzate le concentrazioni di BTX, CO, NO, NO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, O<sub>3</sub> e PM<sub>10</sub> rilevate in un sito di fondo situato a Modena, comune di 200.000 abitanti, nell'arco temporale 1998-2010.

Da questi dati sono stati ottenuti trend di lungo termine, andamenti stagionali, cicli annuali, settimanali e diurni.

Dall'analisi emerge una chiara impronta antropica nella concentrazione elevata di queste sostanze nell'aria padana: CO, NO e NO<sub>2</sub> risultano fortemente correlati al traffico veicolare e l'ozono presenta un picco a luglio attribuito alla produzione locale.

Si notano trend decrescenti sul lungo termine per BTX, CO e ossidi di azoto in genere (in particolare NO), inquinanti primari in gran parte generati dal traffico. L'andamento del PM<sub>10</sub> è sempre decrescente ma in maniera molto moderata a partire dagli anni 2000, mentre l'ozono rimane pressoché costante per tutta la durata dello studio.

Confrontando i dati di Modena con quelli di altri siti europei e dell'Inghilterra simili per traffico e popolazione, si notano somiglianze nel trend a lungo termine degli inquinanti primari BTX, CO, NO<sub>x</sub>, mentre emergono alcune differenze, in particolare con Londra, nell'andamento stagionale del PM<sub>10</sub> e nell'andamento diurno degli inquinanti primari nel periodo estivo, entrambi dovuti probabilmente a differenti condizioni meteorologiche e chimiche e nel comportamento dell'ozono che a Modena che in estate risente in maniera preponderante delle emissioni primarie locali, a differenza di Londra, dove la sua concentrazione è determinata dal comportamento degli ossidi di azoto.