



## Monitoraggio sperimentale in zona pedonale urbana per lo studio degli effetti dei parchi sul microclima e sulle concentrazioni di inquinanti



Novembre 2018

# Sommario

---

<b>Premessa</b>	<b>2</b>
<b>Punti di misura e inquinanti rilevati</b>	<b>3</b>
Punto 1 : parco urbano in condizioni di vasta ombreggiatura	3
Punto 2: parco urbano in condizioni di elevata esposizione al sole	3
Punto 3: area urbana edificata in condizioni di esposizione solare e assenza di traffico	4
Punto 4: area urbana edificata in condizioni di esposizione solare e presenza di traffico	4
Punto 3: area urbana edificata in condizioni di esposizione solare e assenza di traffico	8
<b>Analisi dati meteorologici</b>	<b>11</b>
Pressione Atmosferica	11
Radiazione solare	12
Precipitazione	13
Vento	14
Temperatura	16
Umidità Relativa	19
<b>Analisi dati di qualità dell'aria</b>	<b>21</b>
Particolato atmosferico	21
Biossido di azoto	25
Ozono	28
<b>Considerazioni conclusive</b>	<b>34</b>
Sviluppi futuri	35
Ringraziamenti	35

A cura di:

**Luca Torreggiani** - Resp. Rete Monitoraggio qualità dell'aria di Reggio Emilia

**Carla Barbieri** - Resp. Rete Monitoraggio qualità dell'aria di Modena

# Premessa

---

Il progetto “UrbanProof” ha come obiettivo generale quello di aumentare la resilienza dei Comuni ai cambiamenti climatici dotandosi di uno strumento (il toolkit “Urbanproof”) in grado di supportare il processo decisionale nella pianificazione dell'adattamento ai cambiamenti climatici stessi. Affronta diverse linee progettuali: lo studio del clima attuale, la previsione dei futuri cambiamenti climatici e lo studio del loro impatto a livello locale, la creazione di uno strumento web di supporto alla pianificazione e infine alcune misure locali di adattamento a piccola scala (es. tetti verdi, piantumazione di verde pubblico, pavimentazioni permeabili, recupero acque piovane, drenaggio idrico, ecc.) che fungono da azioni pilota dimostrative.

Il Comune di Reggio Emilia, sta avviando lavori sperimentali volti a definire meglio il ruolo che possono avere gli alberi e le aree verdi in ambito urbano nella mitigazione climatica considerando che l'incremento del patrimonio verde e arboreo è uno dei programmi strategici della attuale amministrazione e rappresenta uno degli aspetti cardine del programma ReggioRespira.

A tale fine è stata già attivata di recente una collaborazione con l'Università di Modena e Reggio attraverso un progetto sperimentale che prende in considerazione diversi tipi di piantumazioni di verde pubblico e che nel caso di UrbanProof potrà indirizzare la scelta più idonea per contrastare le isole di calore urbane e rispondere a criteri di adattamento.

Arpae collabora a questo progetto attraverso uno studio sperimentale volto alla misura e valutazione del microclima e della qualità dell'aria in quattro possibili ambienti urbani che differiscono per la presenza di vegetazione e di sorgenti di inquinamento atmosferico (soprattutto traffico stradale).

L'obiettivo principale di questa linea progettuale è studiare l'effetto delle diverse tipologie di verde urbano nel ridurre le isole di calore e contrastare l'inquinamento atmosferico. Il progetto sperimentale si basa sul monitoraggio di alcuni parametri chimico-fisici dell'aria contemporaneamente nei diversi ambienti urbani, utilizzando due laboratori mobili e due stazioni fisse della rete di monitoraggio della qualità dell'aria.

# Punti di misura e inquinanti rilevati

---

Si è scelto di individuare come area di studio il centro storico di Reggio Emilia, in quanto tale area risulta più vulnerabile in termini di isole di calore dagli studi preliminari svolti dall'Università Venezia IUAV nell'ambito del progetto UrbanProof.

Di seguito vengono descritti i diversi punti di monitoraggio individuati:

## **Punto 1 : parco urbano in condizioni di vasta ombreggiatura**

Come punto di monitoraggio situato in area verde e caratterizzato da una elevata ombreggiatura è stato scelto il Parco del Popolo, situato all'interno delle mura della città a nord del centro storico, in area pedonale: si tratta del più grande parco della città di Reggio Emilia di origine storica (1876). Tra le specie arboree presenti all'interno del parco che conferiscono a questa area verde la caratteristica richiesta, si segnalano numerose conifere (abete rosso, cedro del Libano e dell' Atlante, pino nero, cipressi, tuje) e latifoglie (frassini, sofore, pioppi, platani, bagolari ed ippocastani), alcuni cedri con un'altezza fino a 13-15 m e diametro di 130-150 cm, diversi platani (quelli vecchi hanno un diametro compreso tra 100 e 145 cm e sveltano a raggiungere altezze tra i 22 e i 27 m circa) ed una quercia che ha una altezza di circa 25 m ed un diametro di circa 125 cm.

All'interno di questo parco vicino all'ingresso ovest con accesso da Via Antonio Allegri a lato della Scuola dell'Infanzia Diana, è stato posizionato uno dei due Laboratori Mobili.

Inquinanti monitorati: ossidi di azoto (NOX), monossido di carbonio (CO), ozono (O3), polveri PM10, polveri PM2.5;

Parametri meteorologici: temperatura, umidità, pressione, pioggia, vento

## **Punto 2: parco urbano in condizioni di elevata esposizione al sole**

Per quanto riguarda il punto di monitoraggio in area verde, ma in un contesto di più elevata esposizione al sole, è stato scelto il complesso del San Lazzaro che si estende nella periferia sud est della città, su un'area di circa 390.000 mq, lungo la via Emilia verso Modena. L'intero complesso si presenta come un grande parco, all'interno del quale sono dislocati edifici di varia tipologia ed epoca: la sede amministrativa, i poliambulatori e alcune strutture sanitarie dell'AUSL, le Facoltà di Agraria, di Ingegneria e di Medicina, il padiglione Lombroso che dal 2011 è la sede del Museo di Storia della Psichiatria, mentre a febbraio 2015 è stato inaugurato lo studentato universitario ricavato in una parte della dismessa Villa Marchi.

In questo caso è stata scelta la stazione fissa di monitoraggio della qualità dell'aria posizionata all'interno del Campus Universitario di San Lazzaro in area centrale su Via G.Amendola che fornirà invece dati relative ad un contesto di area verde con suolo permeabile ma non ombreggiato, e posizionato al di fuori dell'isola di calore generata dal centro urbanizzato vero e proprio: anche quest'area è pedonale, priva dunque di traffico e adiacente ad un'ampia area verde (Aeroporto).

Inquinanti monitorati: ossidi di azoto (NOX), ozono (O3) polveri PM10, polveri PM2.5

Parametri meteorologici: temperatura, umidità, pressione, pioggia, radiazione solare (RSG)

### **Punto 3: area urbana edificata in condizioni di esposizione solare e assenza di traffico**

Questo punto di monitoraggio si trova in Piazza della Vittoria situato all'interno delle mura della città nel centro storico, in area pedonale. Sulla Piazza priva di alberi, si affacciano il Teatro Ariosto, la facciata e la guglia neogotiche della Galleria Parmeggiani, la Biblioteca delle Arti, la sede dell'Università di Modena e Reggio Emilia nell'ex Caserma Zucchi, il Teatro Cavallerizza e il lato sud del Parco del Popolo.

Il secondo laboratorio mobile è stato posizionato a circa 150 di metri dal punto di monitoraggio 1 situato all'interno del Parco del Popolo, in condizioni di alta esposizione solare e su pavimentazione in pietra.

Inquinanti monitorati: ossidi di azoto (NOX), monossido di carbonio (CO), ozono (O3), anidride solforosa (SO2), benzene, toluene, etilbenzene e xileni(BTEX), polveri PM10, polveri PM2.5;

Parametri meteorologici: temperatura, umidità, pioggia, vento

### **Punto 4: area urbana edificata in condizioni di esposizione solare e presenza di traffico**

Per caratterizzazione invece una zona con elevato irraggiamento solare e alte concentrazioni di inquinanti dovute al traffico veicolare, è stata scelta la stazione fissa di monitoraggio della qualità dell'aria di Timavo situata a ovest del centro storico a lato della SS9 che fa da cornice all'area più centrale di Reggio Emilia; questo punto di monitoraggio fornirà invece informazioni relative ad una condizione di alto traffico veicolare, pavimentazione in asfalto e assenza di ombreggiatura.

Inquinanti monitorati: ossidi di azoto (NOX), monossido di carbonio (CO), benzene, toluene, etilbenzene e xileni(BTEX), polveri PM10, polveri PM2.5;

Parametri meteorologici: nessuno

Localizzazione dei punti su mappa



**Punto Monitoraggio 1: parco urbano in condizioni di vasta ombreggiatura**



**Parco del Popolo**

				
<p>Zona urbana</p>	<p>Fondo</p>	<p>Zona Pedonale</p>	<p>Ombreggiato</p>	<p>Suolo permeabile</p>

**Punto 2: parco urbano in condizioni di elevata esposizione al sole**



**Campus San Lazzaro: stazione rete regionale qualità aria di fondo urbano**






				
<p>Zona urbana</p>	<p>Fondo</p>	<p>Zona Pedonale</p>	<p>Soleggiato</p>	<p>Suolo permeabile</p>



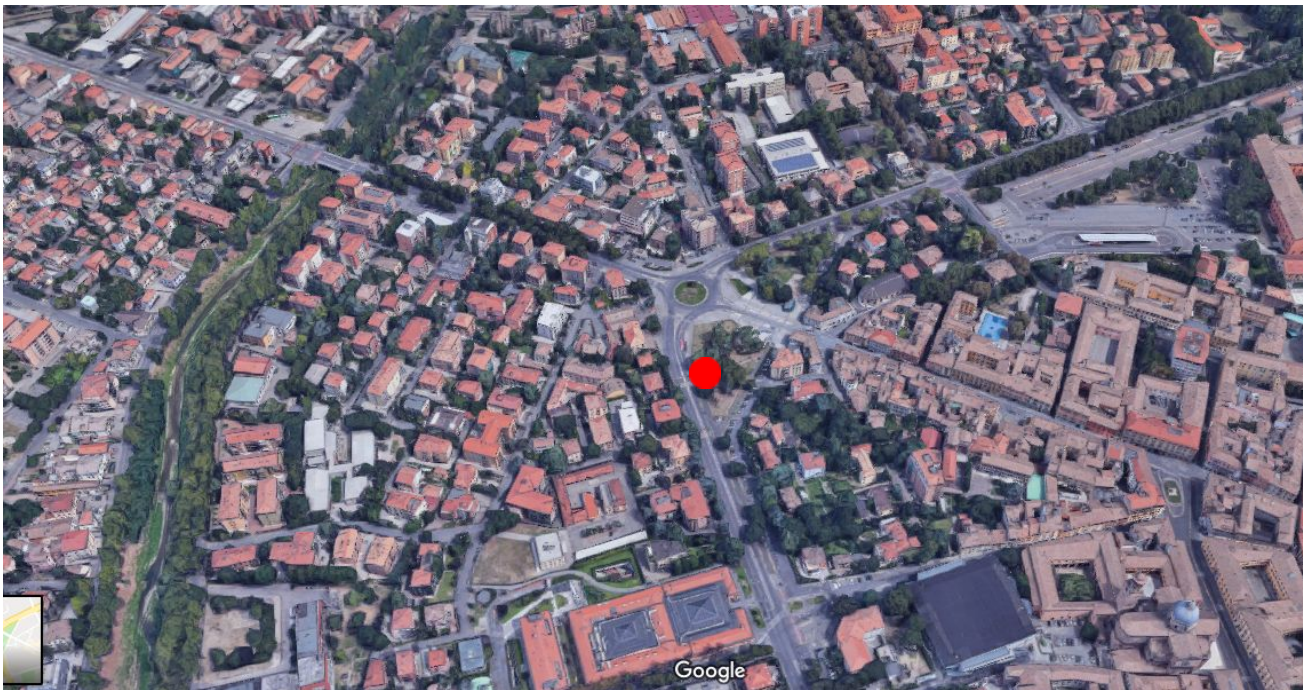
**Punto 3: area urbana edificata in condizioni di esposizione solare e assenza di traffico**



**Piazza della Vittoria**

				
<p>Zona urbana</p>	<p>Fondo</p>	<p>Zona Pedonale</p>	<p>Soleggiato</p>	<p>Suolo NON permeabile</p>

**Punto 4: area urbana edificata in condizioni di esposizione solare e presenza di traffico**



Viale Timavo (stazione rete regionale qualità aria di traffico urbano)

				
<p>Zona urbana</p>	<p>Traffico</p>	<p>Zona Trafficata</p>	<p>Soleggiato</p>	<p>Suolo NON permeabile</p>

Al fine di individuare e caratterizzare i parametri fisici dell'aria e i livelli di inquinamento maggiormente associati all'incidenza solare sul suolo si è scelto di effettuare questa sperimentazione nel periodo più critico dell'anno per irraggiamento e temperature: il mese di Luglio.

In questo periodo l'irraggiamento raggiunge valori molto elevati nelle ore centrali della giornata, con valori che possono superare i  $7-800 \text{ W/m}^2$ . La radiazione solare è stata rilevata per tutta la durata dell'indagine da un particolare sensore in grado di misurare la Radiazione Solare Globale (RSG), ubicato presso la stazione fissa del Campus San Lazzaro. La temperatura e l'umidità relativa sono invece rilevate ad alta frequenza presso tutte le postazioni di rilevamento. Dallo studio ci si aspetta che la presenza di terreno permeabile o pavimentato e la presenza o assenza di ombreggiatura possano influenzare temperatura e umidità presenti nei diversi siti di misura, nonostante si trovino molto vicini fra loro.



# Analisi dati meteorologici

---

L'aspetto più interessante di questa indagine è certamente lo studio dei parametri fisici meteorologici nelle diverse postazioni di riferimento. In particolar modo radiazione solare, pressione, temperatura, umidità, vento e precipitazioni.

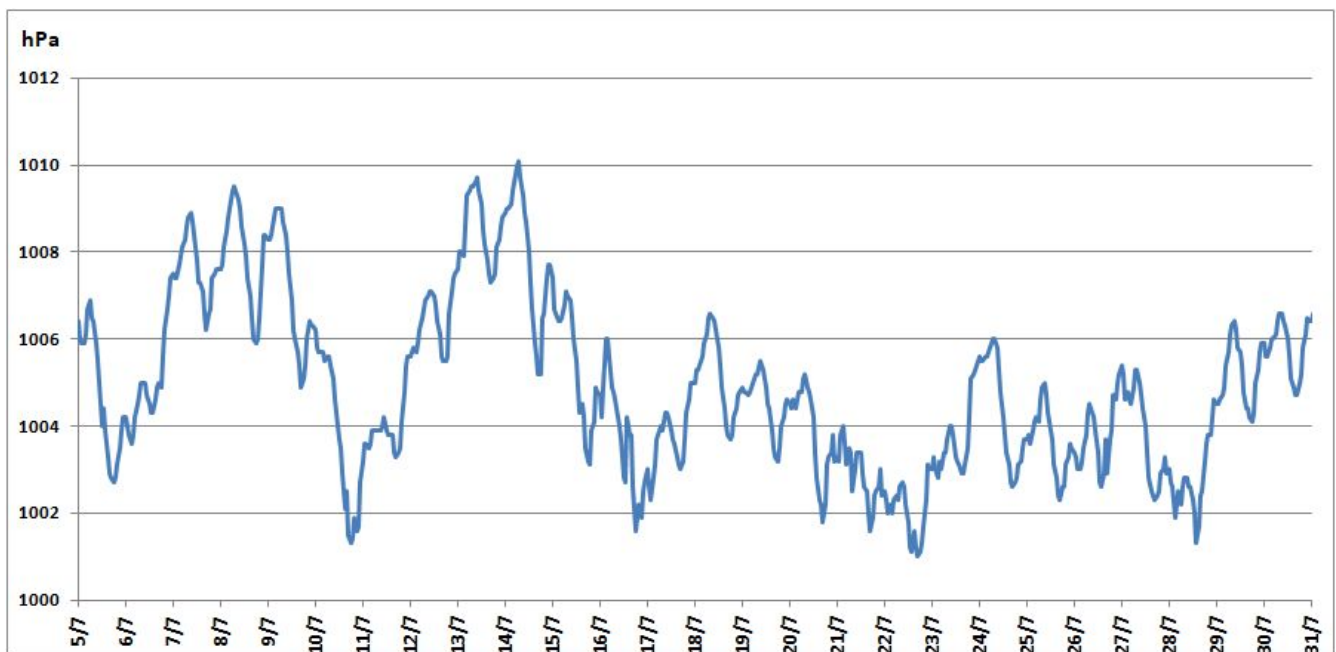
## Pressione Atmosferica

La pressione atmosferica normale o standard è quella misurata alla latitudine di 45°, al livello del mare e ad una temperatura di 0 °C su una superficie unitaria di 1 cm<sup>2</sup>, che corrisponde alla pressione di una colonna di mercurio di 760 mm che corrisponde a 1013,25 hPa (ettopascal) o mbar (millibar).

La pressione atmosferica è influenzata dalla temperatura dell'aria e dall'umidità che, al loro aumentare, generano una diminuzione di pressione.

Gli spostamenti di masse d'aria fredda e calda generano importanti variazioni di pressione. Infatti non è tanto il valore assoluto di pressione che deve interessare, ma la sua variazione nel tempo.

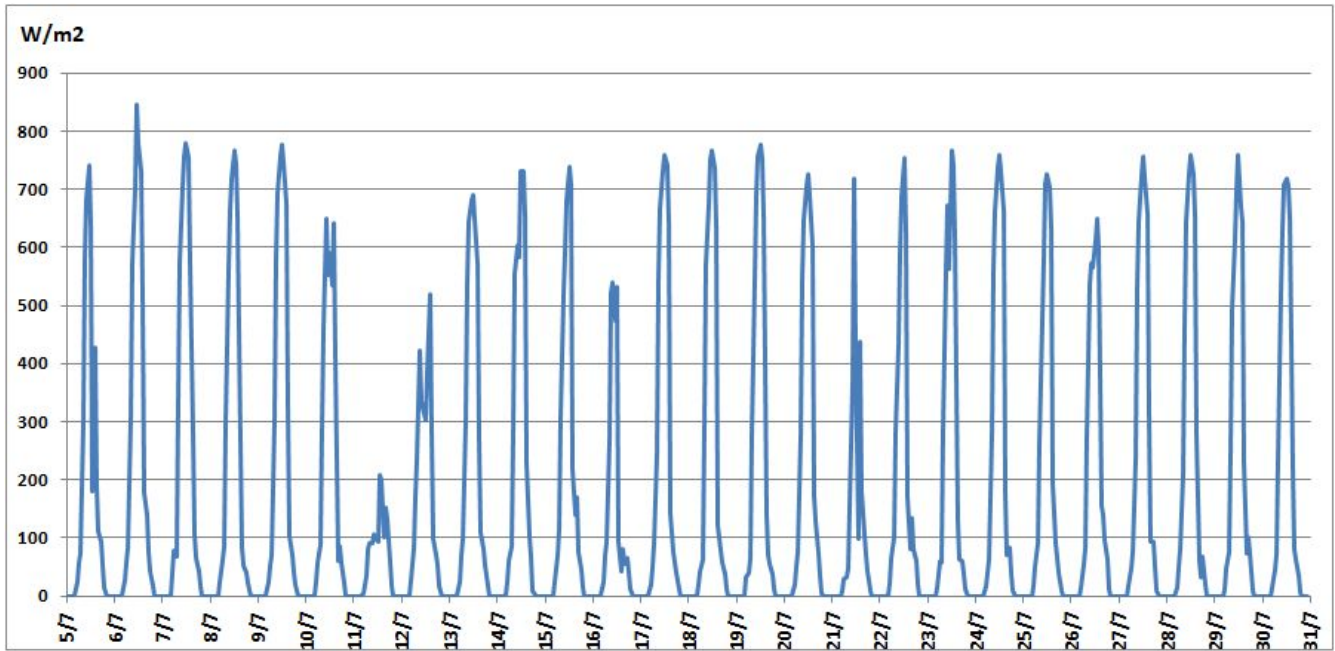
Nelle giornate di alta pressione, l'umidità e gli inquinanti contenuti nell'atmosfera vengono "premuti" verso il basso e costretti a rimanere concentrati in prossimità del suolo, generando inevitabilmente un peggioramento della qualità dell'aria. Tra le sostanze principali che "subiscono" questo meccanismo di accumulo vi sono senz'altro il biossido di azoto, l'ozono e le polveri sottili.



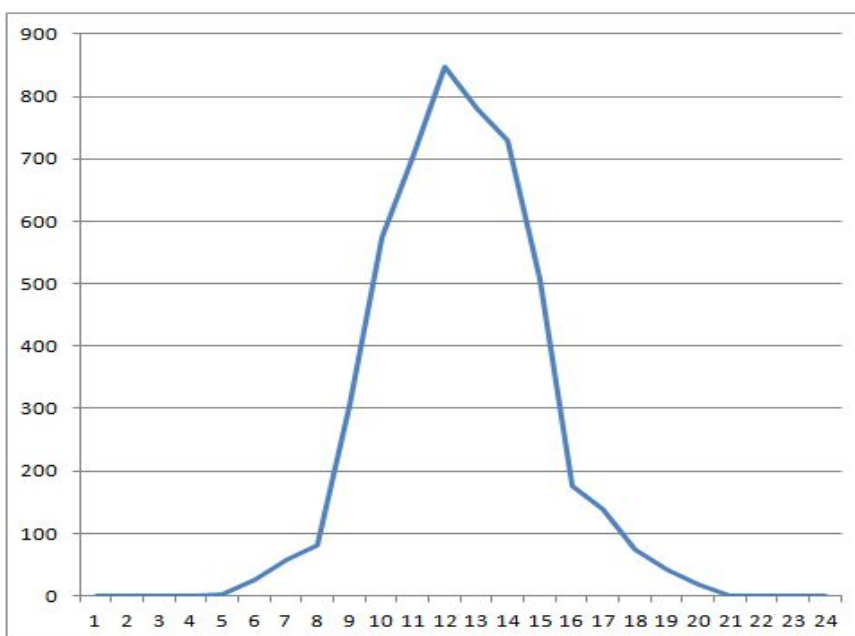
Andamento della pressione atmosferica a Regg Emilia durante la campagna di monitoraggio.

## Radiazione solare

La radiazione solare globale, espressa in  $W/m^2$ , è ottenuta dalla somma della radiazione solare diretta e della radiazione globale diffusa ricevuta dall'unità di superficie orizzontale. Nel mese di luglio il valore di tale radiazione è molto elevato ed è stato pressoché costante nelle diverse giornate di indagine. Dall'analisi della pressione si era osservato l'instaurarsi di un evento di bassa pressione nelle giornate del 10-11-12 luglio, che infatti corrispondono ad una forte riduzione dell'irraggiamento solare, dovuto appunto alla nuvolosità.



Andamento della radiazione solare globale a Reggio Emilia durante la campagna di monitoraggio.

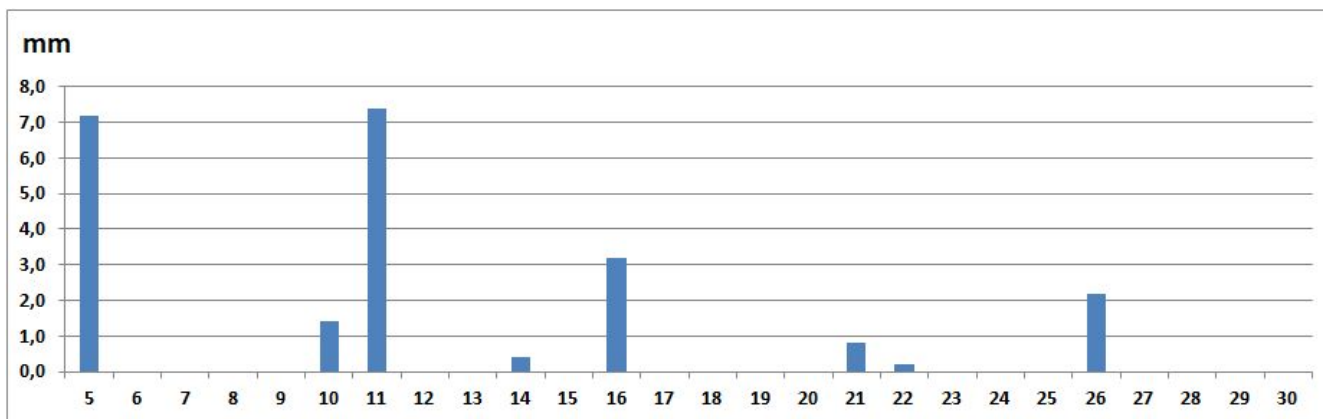


Giorno tipico: andamento orario della radiazione solare globale

## Precipitazione

Le precipitazioni sono rilevate sia dalla strumentazione presente presso le stazioni di qualità dell'aria di Arpae che presso la stazione meteorologica del Servizio Meteorologico di Arpae ubicata sul tetto del Municipio di Reggio Emilia. I dati rilevati dalle due stazioni sono molto simili tra loro, per questo nel grafico vengono riportati unicamente i dati rilevati presso il punto di monitoraggio in Piazza della Vittoria.

La precipitazione cumulata giornaliera, espressa in millimetri (mm), permette anche di stabilire quali sono le giornate da escludere nello studio degli effetti della vegetazione sulla temperatura e sulle concentrazioni degli inquinanti.

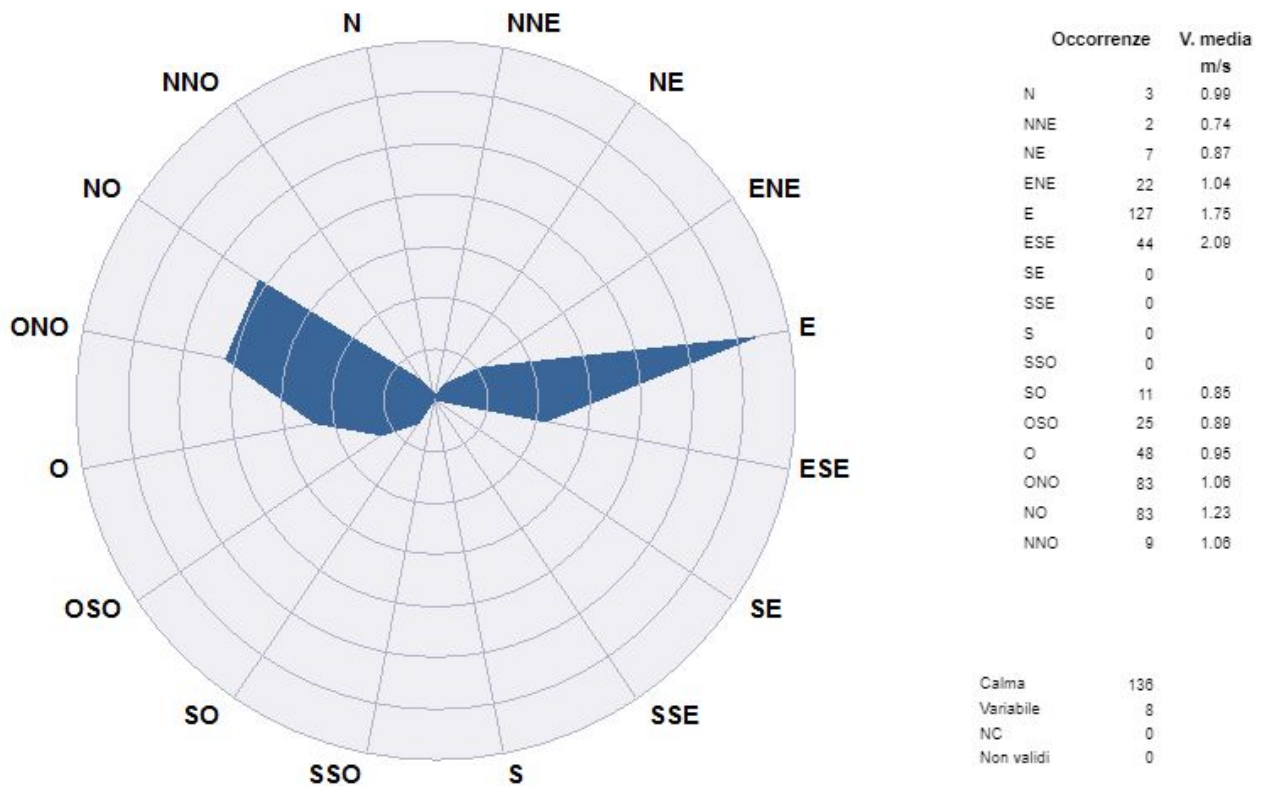


*Precipitazione cumulata giornaliera (mm) a Reggio Emilia durante la campagna di monitoraggio.*

## Vento

Per quel che concerne il vento, la Pianura Padana è caratterizzata, da sempre, da venti molto deboli e con direzione prevalente est-ovest/ovest-est. Le velocità del vento registrate risultano essere molto basse tutto l'anno, solitamente inferiori ai 2 m/s.

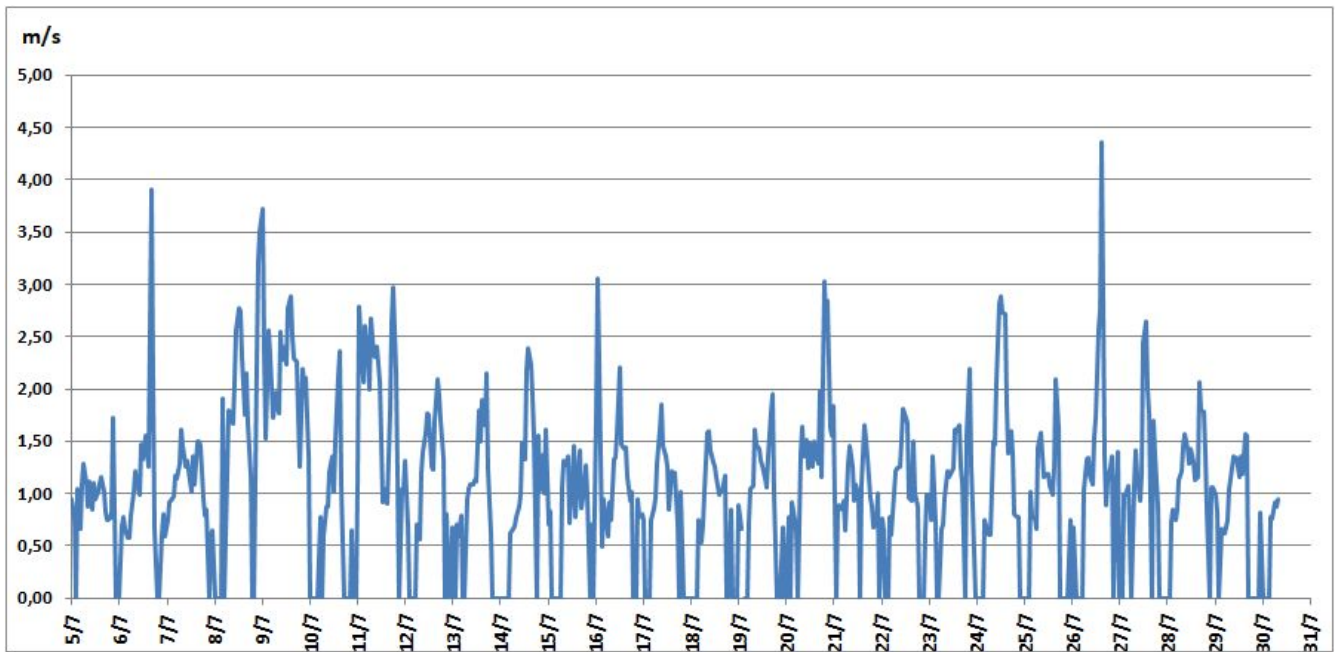
Nella rosa dei venti sottostante, che indica la direzione di provenienza del vento, sono rappresentati i dati rilevati in Piazza della Vittoria nel periodo dal 5 al 31 luglio 2018.



Di maggior interesse è analizzare la sola velocità del vento, al fine di individuare se vi sono stati episodi in cui la velocità era più sostenuta. Infatti si osservano alcune giornate in cui la media oraria della velocità ha superato i 3 m/s, seppur per episodi di breve durata: 6, 8, 9, 16, 20, 26 Luglio.

In tali episodi sicuramente i valori di umidità si riducono notevolmente e anche le temperature potrebbero subire una certa riduzione.

Inoltre si riporta il grafico del giorno tipo relativo alla velocità del vento in Piazza della Vittoria, al fine di evidenziare come la velocità del vento sia strettamente correlata con la radiazione solare, ovvero la ventilazione è più sostenuta nelle ore del pomeriggio.



Velocità oraria del vento (m/s) in Piazza della Vittoria durante la campagna di monitoraggio.











Giorno tipo: andamento orario della velocità del vento (m/s) in Piazza della Vittoria.



## Temperatura

La temperatura, insieme alla umidità relativa, sono i parametri più interessanti da analizzare in quanto i valori registrati sono sensibilmente differenti tra le diverse postazioni di misura, in funzione del verde. Si precisa che la stazione da traffico di V.le Timavo non ha la rilevazione della temperatura.

		
<b>Piazza della Vittoria</b>		
<b>Parco del Popolo</b>		
<b>Campus S.Lazzaro</b>		

L'analisi delle temperature medie giornaliere evidenzia importanti differenze fra le diverse postazioni: nella tabella seguente si riportano le differenze medie riscontrate sull'intero periodo delle due postazioni mobili rispetto a quella della stazione fissa del Campus S.Lazzaro, della quale si riporta il valor medio, massimo e minimo dell'intero periodo.

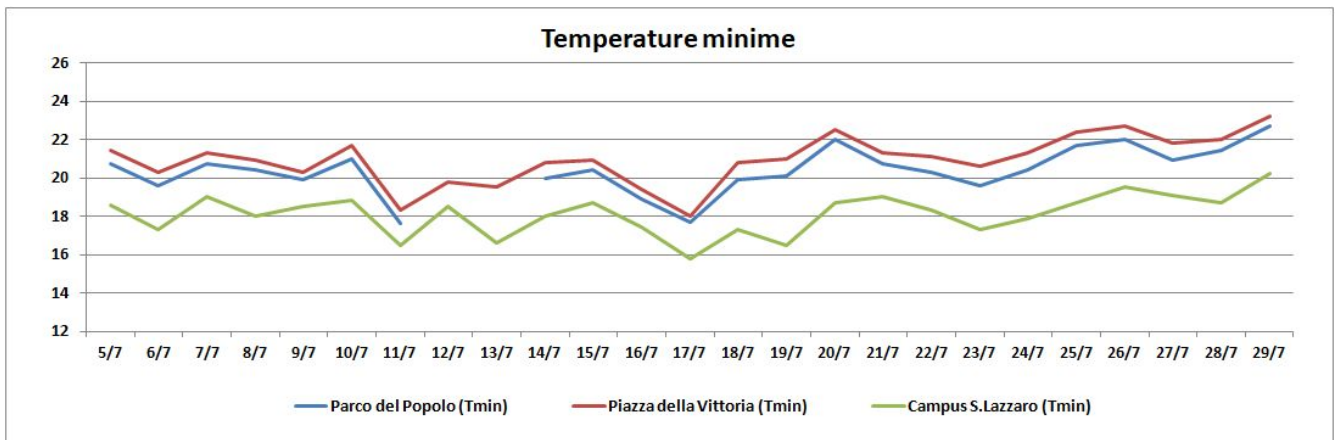
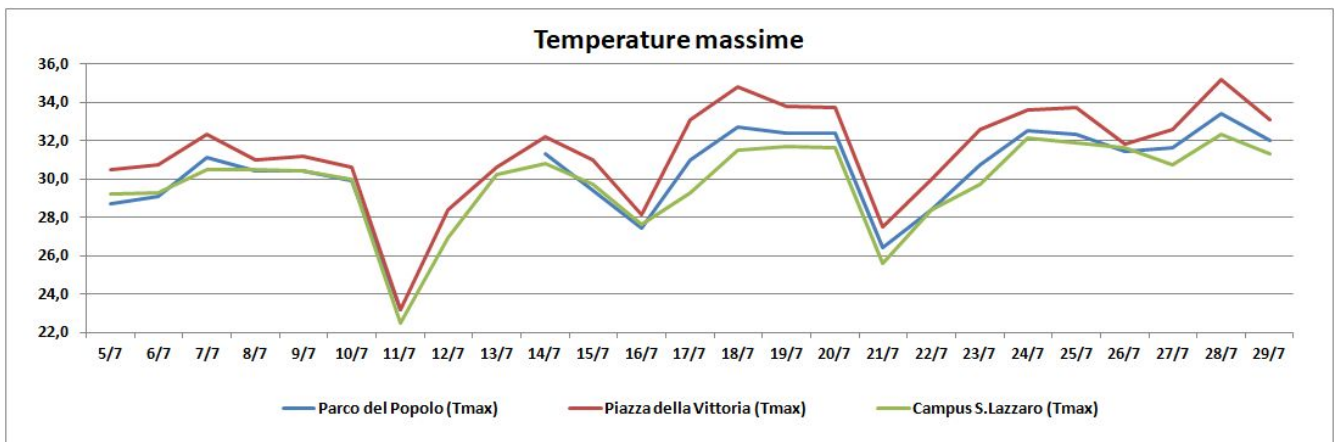
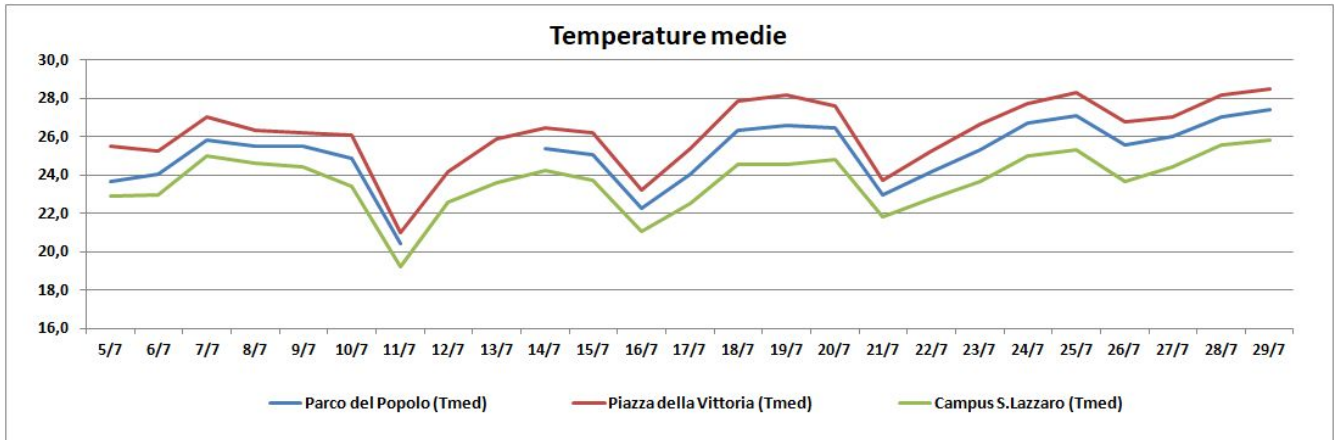
	Temperatura media (°C)	Temperatura massima (°C)	Temperatura minima (°C)
<b>Campus S.Lazzaro</b>	23,7	29,8	18,1
	<b>Δ Tmed</b>	<b>Δ Tmax</b>	<b>Δ Tmin</b>
<b>Piazza della Vittoria</b>	+2,5	+1,6	+2,8
<b>Parco del Popolo</b>	+1,4	+0,6	+2,3

Si può dunque affermare che il centro urbano presenta valori di temperatura costantemente più elevati rispetto alla prima periferia, in quanto risente dell'isola di calore urbana, sia nelle piazze assolate che nei parchi urbani. Nel periodo di monitoraggio l'isola di calore è quantificabile con un  $\Delta$  di +2,5°C.

Inoltre si può affermare che la presenza di un parco urbano all'interno del centro storico consente di ridurre ovviamente la temperatura rispetto alla piazza assolata ma di una quantità inferiore rispetto al

surplus generato dall'isola di calore. Nel periodo di monitoraggio il la riduzione è stimabile in 1°C nelle temperature medie e massime e di solo 0,5°C nelle minime.

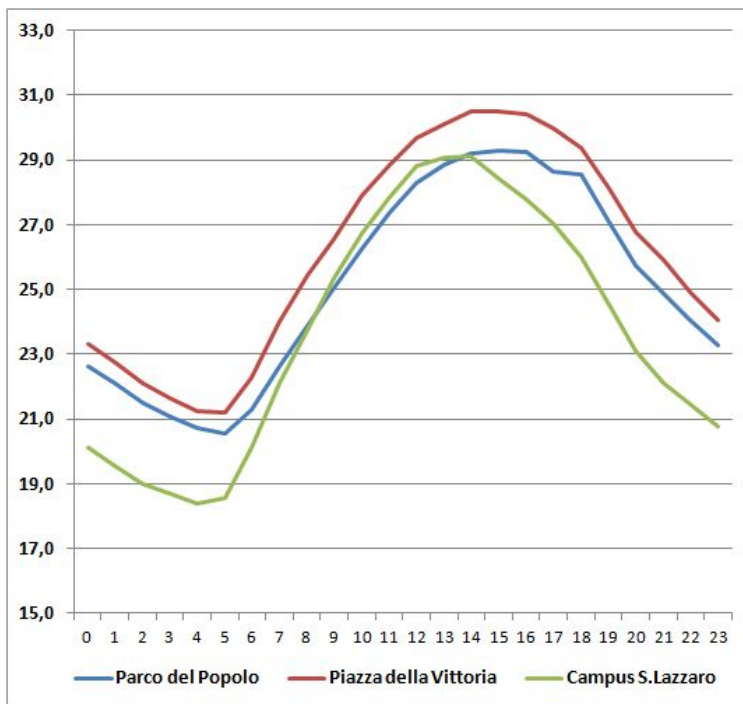
Vengono riportati qui di seguito i grafici dell'andamento giornaliero delle temperature medie, massime e minime delle tre postazioni a confronto.



Nella stazione del Parco del Popolo mancano i dati relativi alle due giornate del 12 e 13 luglio in conseguenza di un intervento tecnico.

L'analisi del giorno tipo, ovvero di come evolve il profilo della temperatura nel corso della giornata, evidenzia informazioni molto interessanti legate all'isola di calore urbana.

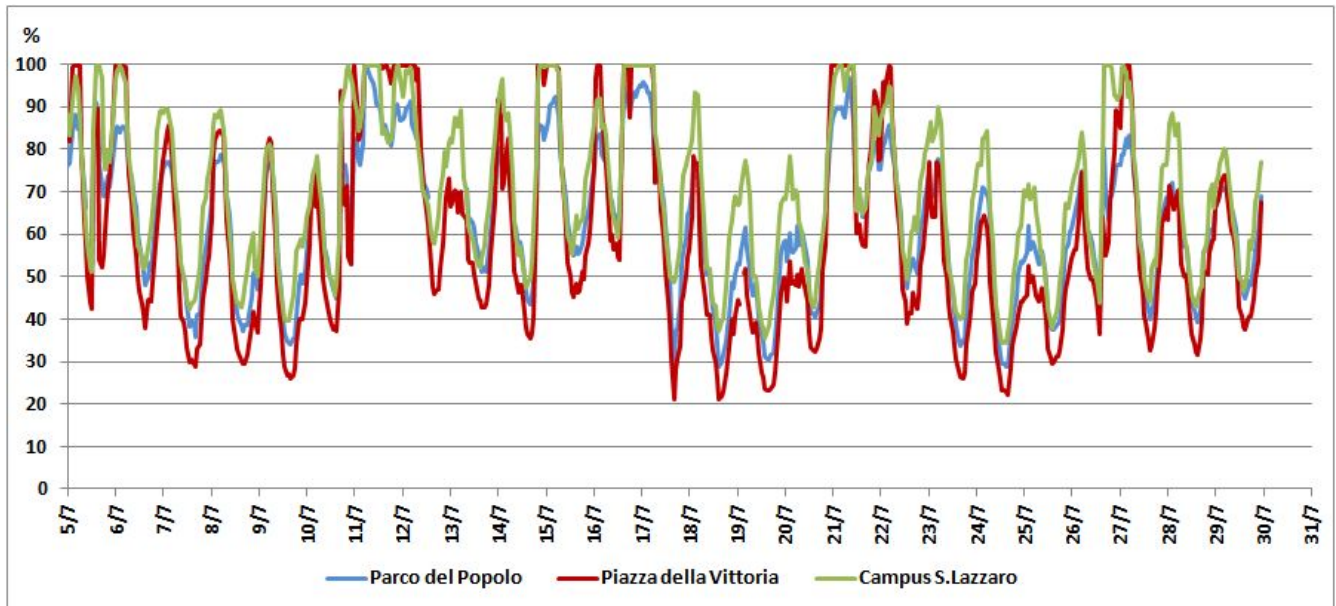
- Nelle ore notturne si osserva come la differenza con la città sia molto più accentuata che di giorno: ciò è dovuto al fatto che nella notte la superficie urbanizzata rilascia il calore immagazzinato per radiazione durante le ore diurne, riscaldando di conseguenza l'aria. Diversamente in periferia, in assenza di superficie urbanizzata, l'aria si raffredda maggiormente.
- Nelle ore del mattino, dal sorgere del sole fino alle 14:00 ( 15:00 ora legale), nel parco urbano permangono temperature leggermente inferiori a quelle rilevate nel Campus S.Lazzaro. Quindi la copertura arborea riesce a ridurre sensibilmente gli effetti del riscaldamento generati dall'irraggiamento (radiazione solare diretta) creando un microclima più favorevole.
- Nelle ore del pomeriggio prevale l'effetto isola di calore: i muri degli edifici e la pavimentazione asfaltata surriscaldati notevolmente, cominciano a emettere in infrarosso una elevata quantità di energia termica. Pertanto, mentre in periferia la temperatura si riduce in modo coerente con la riduzione dell'irraggiamento, in città le temperature continuano a salire o a permanere molto elevate in entrambi i siti.



Temperatura (°C) nelle ore del giorno nei tre siti di misura.

## Umidità Relativa

L'umidità è una misura della quantità di vapor acqueo presente nell'aria. La massima quantità di vapor d'acqua che una massa d'aria può contenere è tanto maggiore quanto più elevata è la sua temperatura. Pertanto le elaborazioni non sono espresse in umidità assoluta, bensì in umidità relativa, che è il rapporto tra la quantità di vapor d'acqua effettivamente presente nella massa d'aria e la quantità massima che essa può contenere a quella temperatura. Nel periodo estivo, valori pari al 100% di umidità relativa corrispondono a condensazione, ovvero ad eventi di pioggia.



*Umidità Relativa (%) nei tre siti di misura durante la campagna di monitoraggio.*

Nel grafico sopra riportato si osserva come l'umidità relativa percentuale raggiunge il valore del 100% durante gli episodi di pioggia e nelle notti seguenti gli episodi. Diversamente nelle altre notti l'umidità relativa è decisamente inferiore.

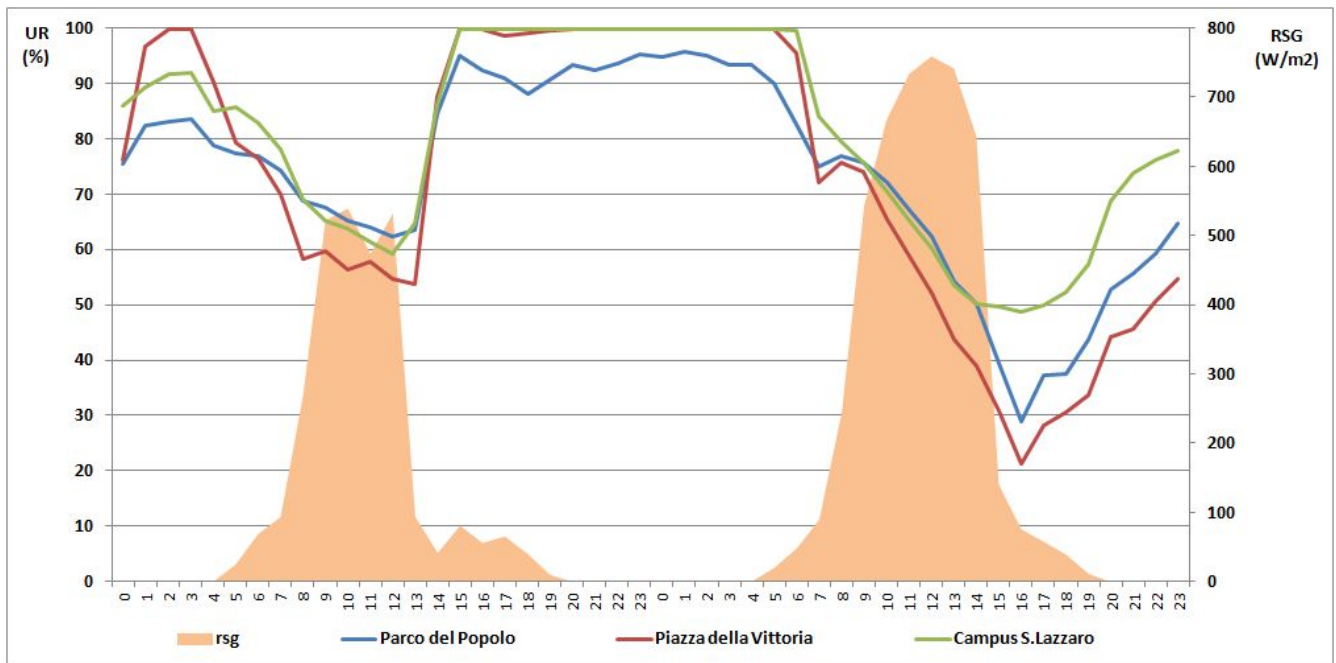
Si osserva che sia nelle ore diurne che in quelle notturne l'umidità relativa rilevata presso il Campus S. Lazzaro è sempre più elevata rispetto alle altre postazioni: ciò può essere spiegato dai processi di evapotraspirazione del suolo erboso.

Nelle ore di forte irraggiamento i valori più bassi di umidità relativa si riscontrano in Piazza della Vittoria: luogo ove la pavimentazione urbanizzata non genera vapore acqueo e le temperature sono maggiori.

All'interno del Parco del Popolo l'umidità relativa risulta:

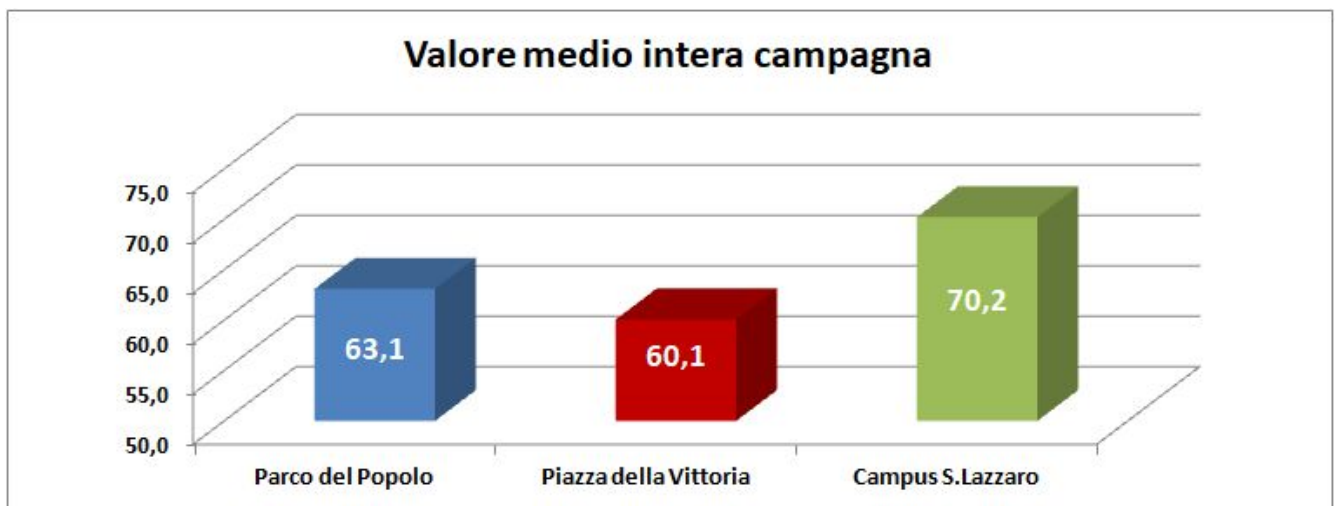
- nelle ore diurne superiore a Piazza della Vittoria ma inferiore al Campus S. Lazzaro
- nelle ore notturne tendenzialmente inferiore ad entrambe le postazioni

Si riportano qui di seguito uno zoom relativo a 48 ore, nel quale viene esplicitato anche il valore dell'irraggiamento solare. Nel periodo preso in considerazione si ha un episodio di precipitazione della durata di poche ore.



Umidità Relativa il 16 e 17 Luglio 2018 - pioggia dalle 13:00 alle 16:00 del 16/7.

Si osserva che nella prima giornata l'irraggiamento è inferiore in quanto si ha maggiore copertura nuvolosa, poi dalle ore 13 l'irraggiamento si riduce drasticamente e inizia la pioggia: l'umidità di conseguenza sale al 100%. Nella giornata seguente l'irraggiamento risulta molto più elevato e porta ad un abbassamento molto elevato dell'umidità. In Piazza della Vittoria l'evaporazione termina immediatamente in quanto la superficie è urbanizzata e dunque si creano le condizioni di minor umidità.



Umidità Relativa (%) media nei tre siti di misura.

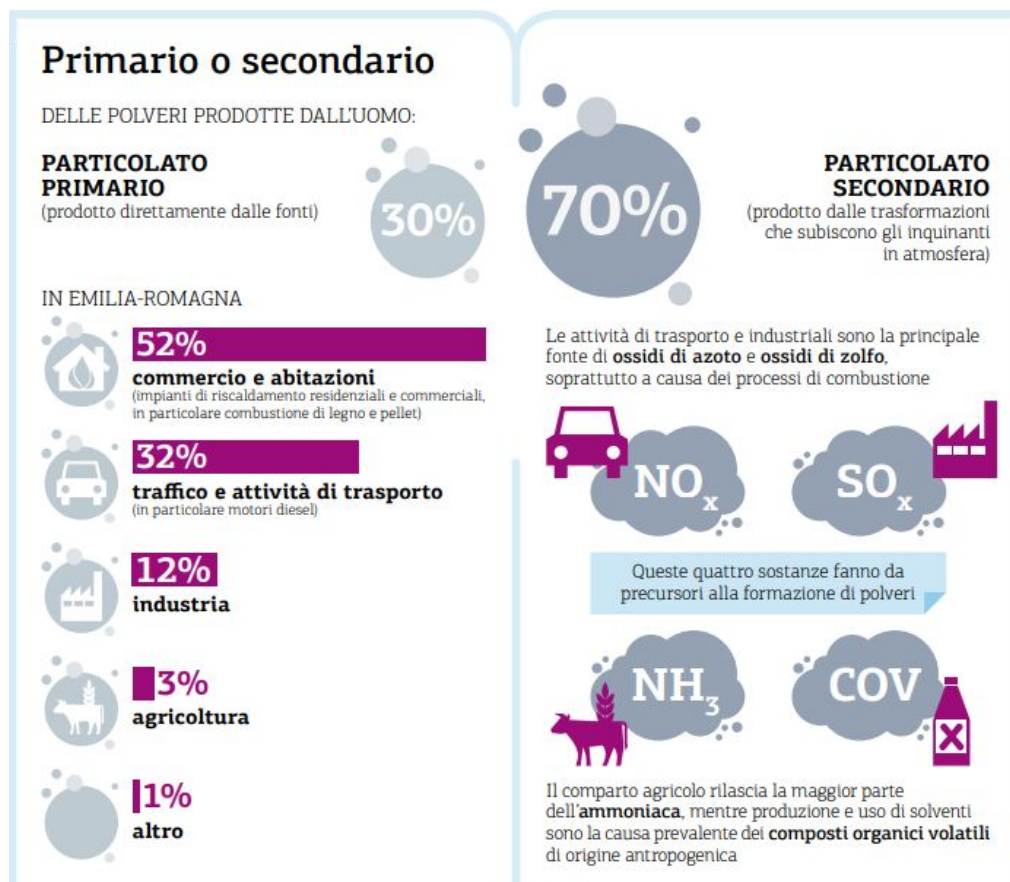
# Analisi dati di qualità dell'aria

In questo capitolo verranno analizzati i dati di qualità dell'aria rilevati nelle diverse postazioni: oltre alle 3 postazioni indicate nel precedente capitolo sui dati meteorologici, in questa sezione si riporteranno anche i dati relativi alla stazione di traffico urbano di V.le Timavo.

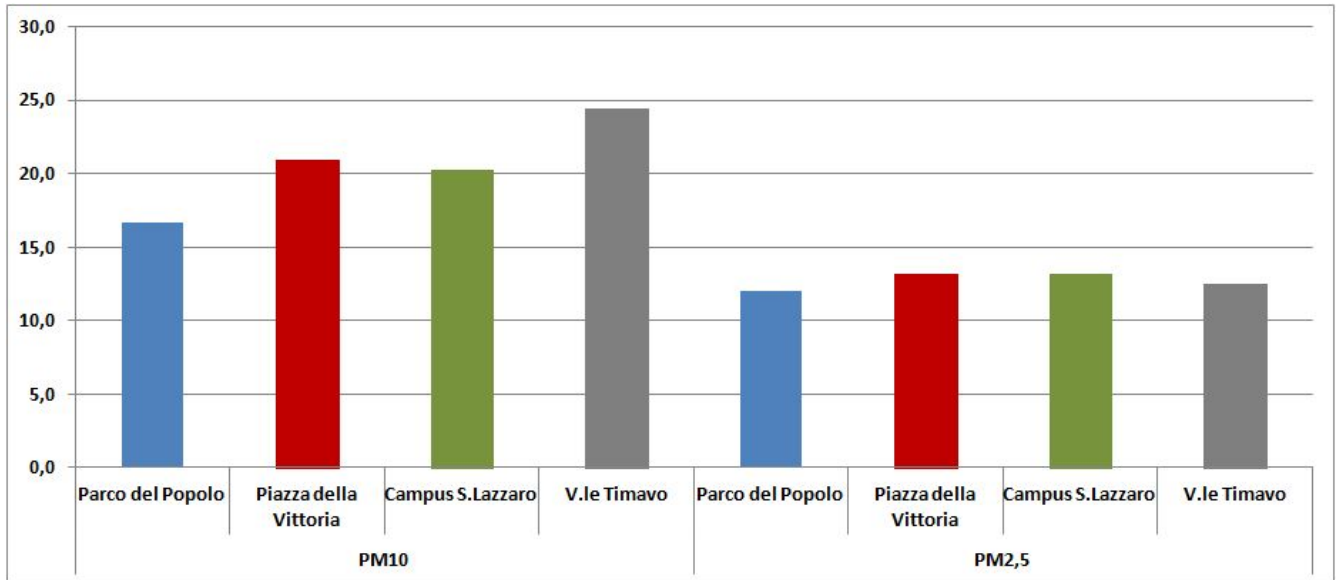
Si precisa inoltre che i dati relativi al Particolato PM10 e PM2.5 sono su base giornaliera, mentre per gli altri inquinanti il tempo di mediazione è l'ora.

## Particolato atmosferico

Il termine PM10 identifica le particelle di diametro aerodinamico inferiore o uguale ai 10  $\mu\text{m}$  (1  $\mu\text{m}$  = 1 millesimo di millimetro). Le particelle PM10 penetrano in profondità nei nostri polmoni. Il loro effetto sulla nostra salute e sull'ambiente dipende dalla loro composizione. Alcune particelle vengono emesse direttamente nell'atmosfera (primario), ma la maggior parte si formano come risultato di reazioni chimiche che coinvolgono i gas precursori (secondario). Gran parte delle particelle emesse direttamente derivano dalle attività umane, principalmente dalla combustione di combustibili fossili e biomasse. I gas precursori sono emessi dal traffico veicolare, dall'agricoltura, dall'industria e dal riscaldamento domestico.



Osservando i valori medi di concentrazione del particolato PM10 si rileva, come previsto, una differenza significativa fra la stazione da traffico (V.le Timavo) e le altre 3 stazioni di fondo urbano, caratterizzate dall'essere tutte ubicate in zona pedonale.



PM10 (ug/m<sup>3</sup>): valore medio di Luglio 2018 nei 4 siti di misura.

Relativamente al mese di Luglio 2018, periodo dell'indagine è dunque possibile affermare che:

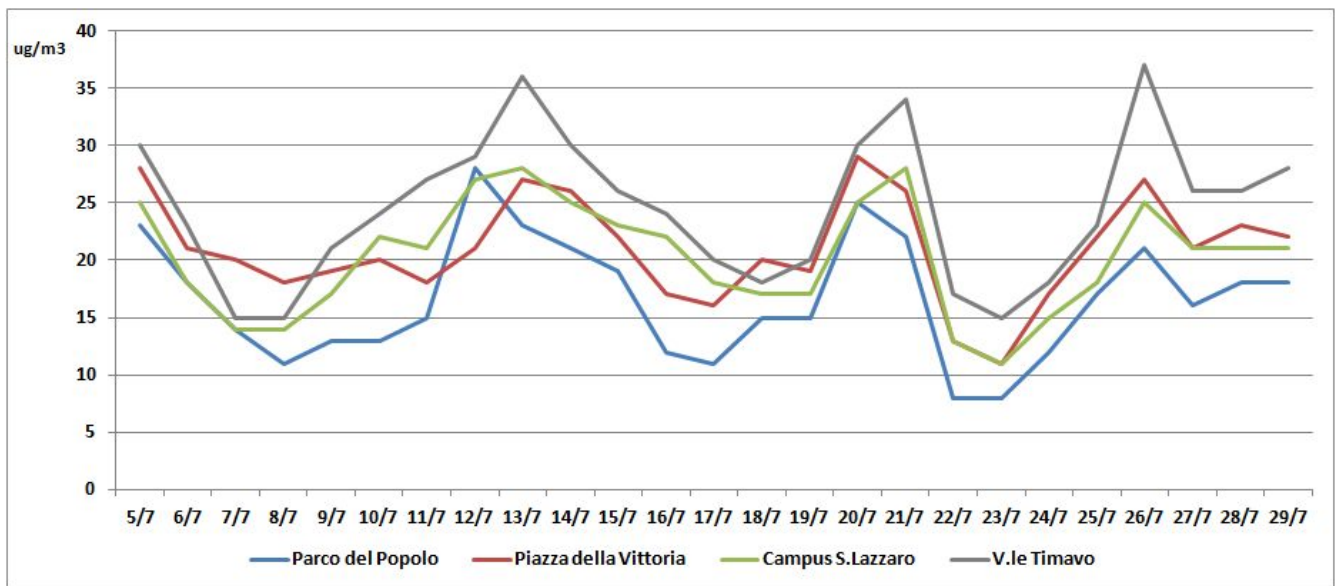
- ★ la Zona Pedonale di Reggio Emilia porta ad una riduzione di PM10 di circa il 15% rispetto ai valori riscontrati lungo la circonvallazione urbana.
- ★ l'effetto schermante degli alberi presenti nel Parco del Popolo porta ad una ulteriore riduzione di PM10 corrispondente a circa il 15% rispetto ai valori riscontrati nella Zona Pedonale adiacente di Piazza della Vittoria o del Campus San Lazzaro.
- ★ le concentrazioni di PM2.5 nelle 4 postazioni sono equivalenti e non si riscontrano differenze.

Quanto sopra esposto trova conferma nel fatto che la componente che viene ridotta ad opera della Zona Pedonale e ancor più dagli alberi del parco è quella Primaria e non quella Secondaria. Infatti come espresso in premessa la componente primaria costituisce circa il 30% del PM10 totale. La differenza fra la concentrazione media di V.le Timavo e quella di Parco del Popolo corrisponde al -30%.

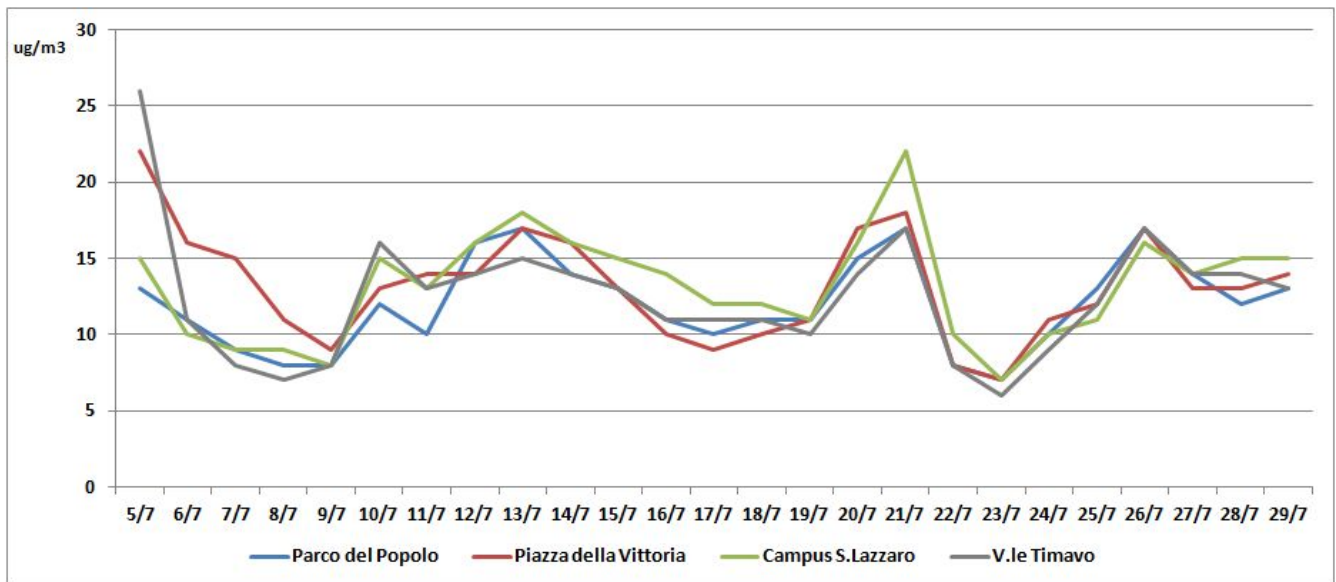
Diversamente sulla componente secondaria, altamente diffusa, non si riscontra nessuna riduzione e ciò è maggiormente dimostrato dai valori di PM2.5 rilevati.

Sarebbe molto interessante ripetere tale studio nel periodo invernale al fine di quantificare tale effetto in periodo sfavorevole alla dispersione degli inquinanti.

Per una analisi di dettaglio si riporta l'andamento giornaliero dei dati PM10 e PM2.5 rilevati nell'intera campagna.



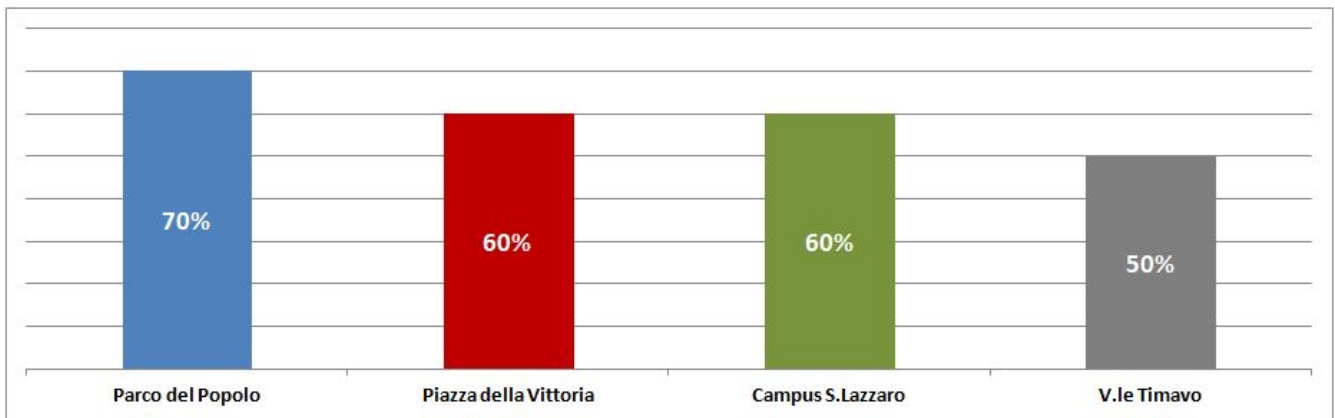
PM10 (ug/m<sup>3</sup>): valore medio giornaliero nei 4 siti di misura.



PM2.5 (ug/m<sup>3</sup>): valore medio giornaliero nei 4 siti di misura.



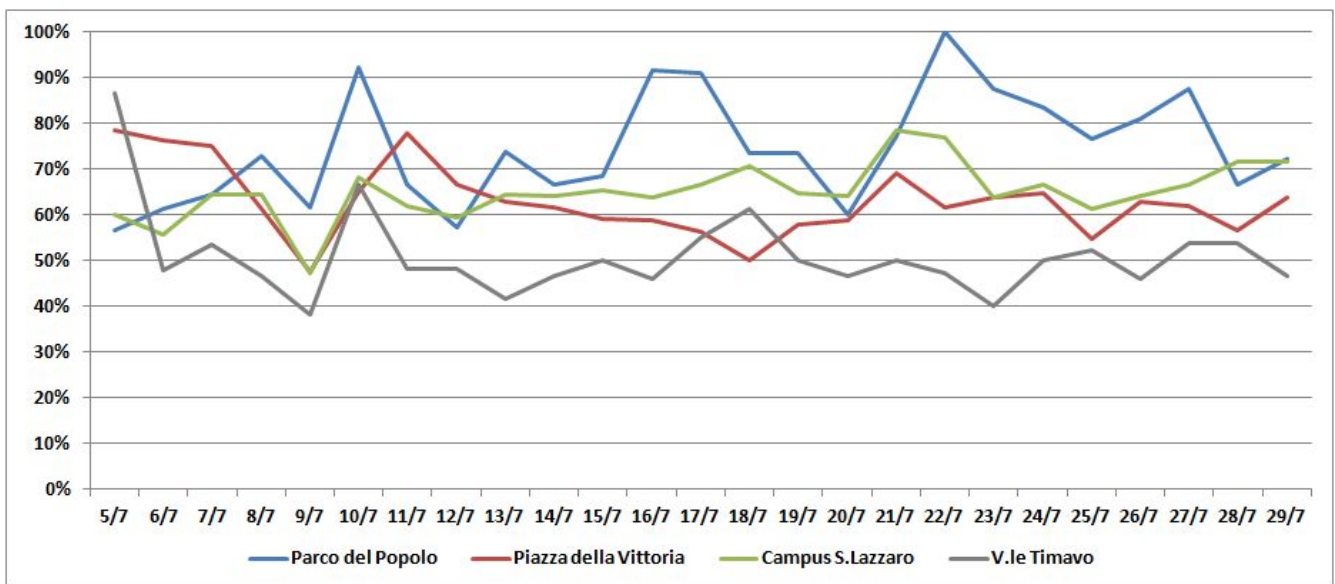
In ultima analisi, viene riportato il rapporto percentuale del PM2.5 / PM10 caratteristico di ognuna delle 4 postazioni, riferito a Luglio 2018.



Rapporto percentuale medio PM2.5/PM10 nei 4 siti di misura (valore arrotondato).

Si osserva nuovamente come sulla stazione da traffico la componente primaria sia maggiore e dunque la percentuale del PM2.5 sul PM10 risulta inferiore.

Di seguito si riporta l'evoluzione giornaliera del rapporto PM2.5/PM10 per ogni punto di misura.

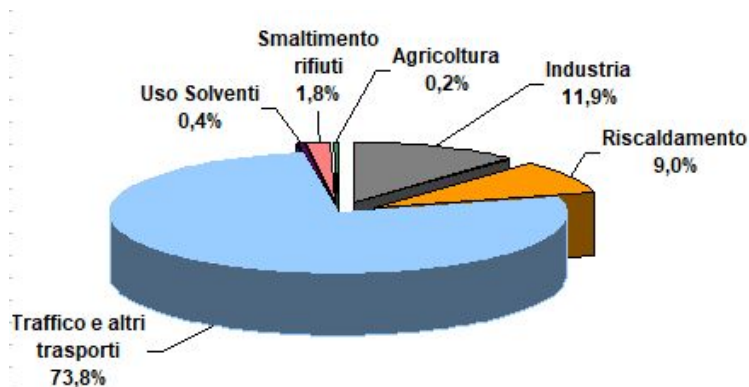


Rapporto percentuale giornaliero PM2.5/PM10 nei 4 siti di misura.

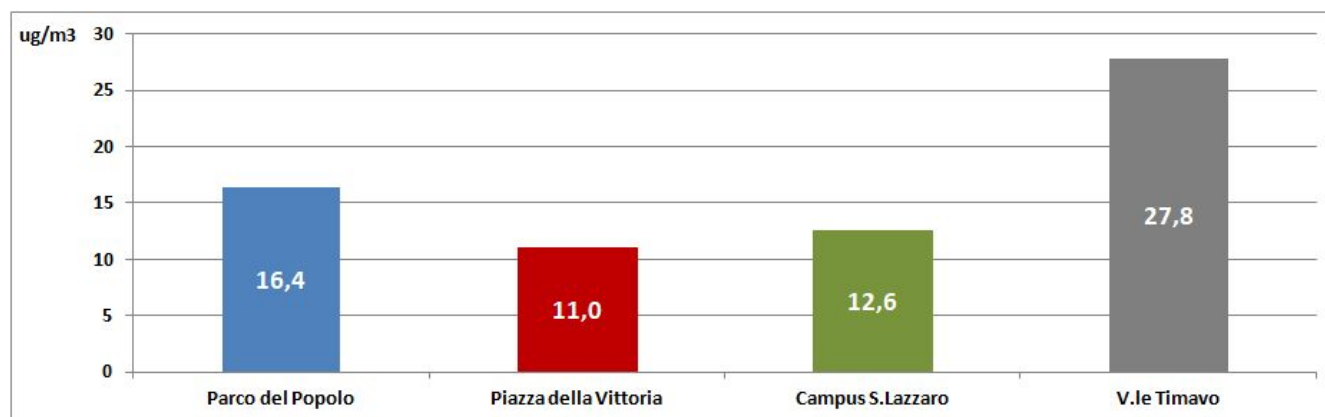
I valori massimi del rapporto percentuale nella serie del Parco del Popolo si riscontrano in concomitanza con gli eventi di pioggia, ovvero quando il valore della concentrazione di PM10 si abbassa.

## Biossido di azoto

Il biossido di azoto ( $\text{NO}_2$ ) è un gas reattivo, di colore bruno e di odore acre e pungente. L'esposizione a breve termine all' $\text{NO}_2$  può causare diminuzione della funzionalità polmonare, specie nei gruppi più sensibili della popolazione, mentre l'esposizione a lungo termine può causare effetti più gravi come un aumento della suscettibilità alle infezioni respiratorie. Inoltre determina effetti negativi sugli ecosistemi, contribuendo all'acidificazione e all'eutrofizzazione. E' precursore dell'ozono, del  $\text{PM}_{10}$  e del  $\text{PM}_{2,5}$ . Le maggiori sorgenti di  $\text{NO}_2$  sono i processi di combustione ad alta temperatura (come quelli che avvengono nei motori delle automobili, specie diesel).



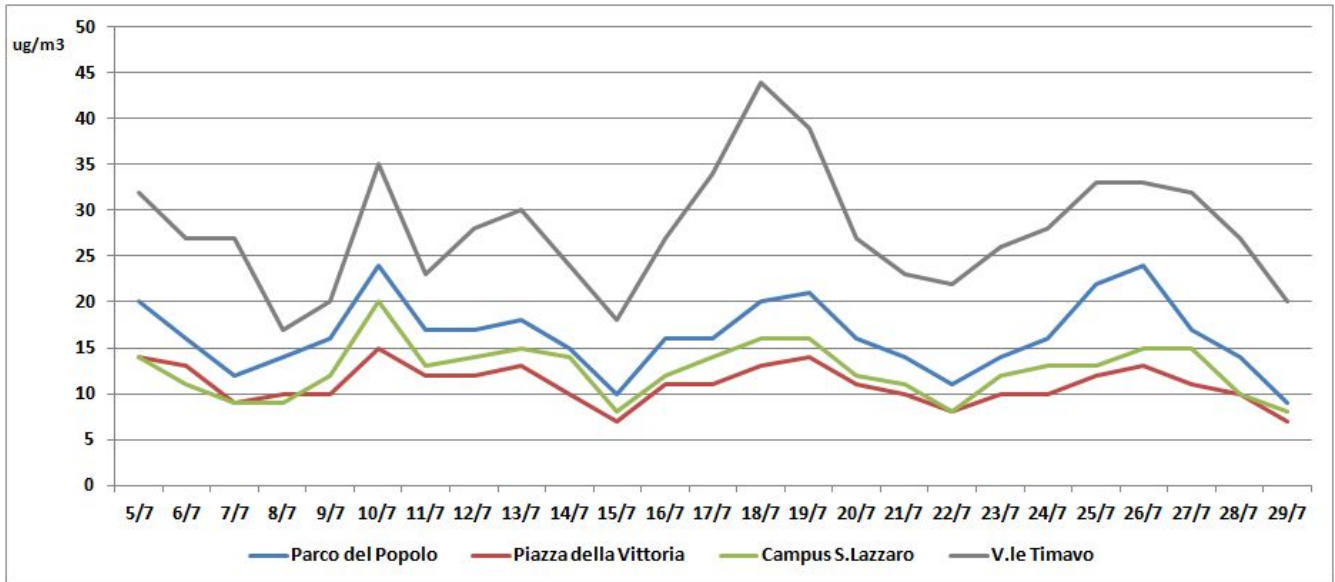
Osservando i valori medi riscontrati nelle 4 postazioni durante l'intera campagna, si osserva che i valori più contenuti si registrano in Piazza della Vittoria e quelli più elevati ovviamente lungo la circonvallazione in V.le Timavo. Nella postazione ubicata sotto gli alberi del Parco del Popolo si registrano valori sensibilmente maggiori rispetto alle altre due postazioni di fondo: per dare spiegazione a questo risultato occorre prendere in considerazione anche un altro inquinante, l'Ozono (paragrafo successivo).



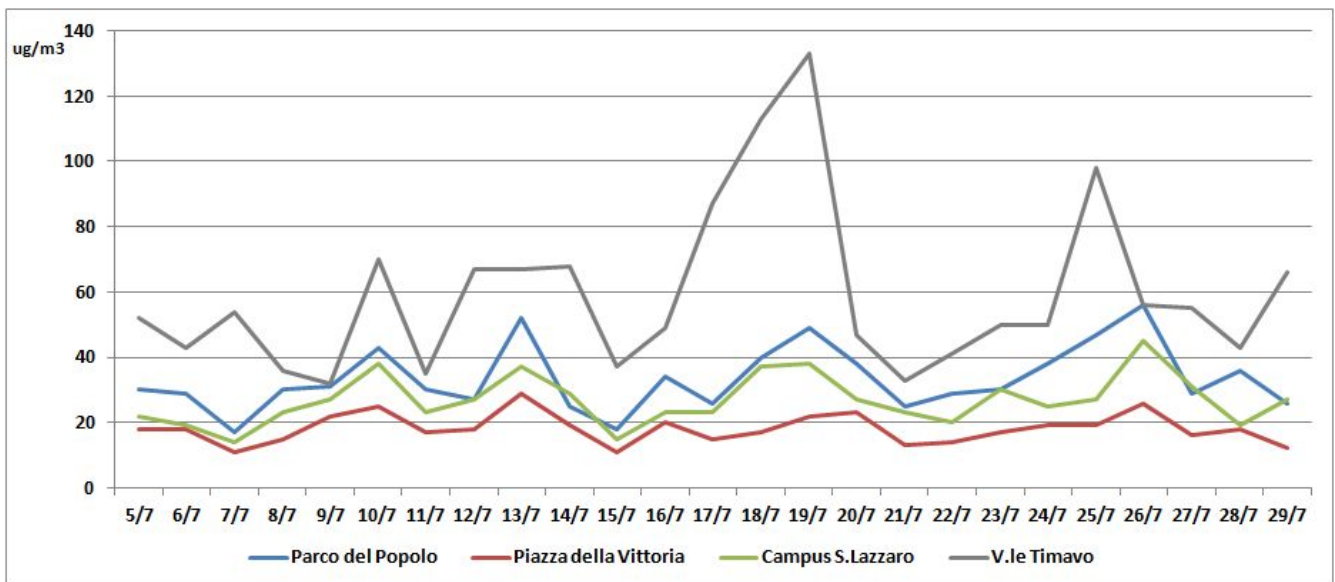
Concentrazioni medie di  $\text{NO}_2$  in Luglio 2018 nei 4 siti di misura.

Nelle seguenti elaborazioni non vengono riportati i valori di concentrazione di ossido di azoto ( $\text{NO}$ ) in quanto esso, in tutte le postazioni presenta valori di concentrazione medi giornalieri inferiori ai  $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$  poiché si ossida immediatamente ad opera dell'Ozono in conseguenza del forte irraggiamento e delle alte temperature che caratterizzano il mese di Luglio.

Si riportano nei grafici seguenti l'andamento delle concentrazioni medie e massime giornaliere nei diversi siti di misura.

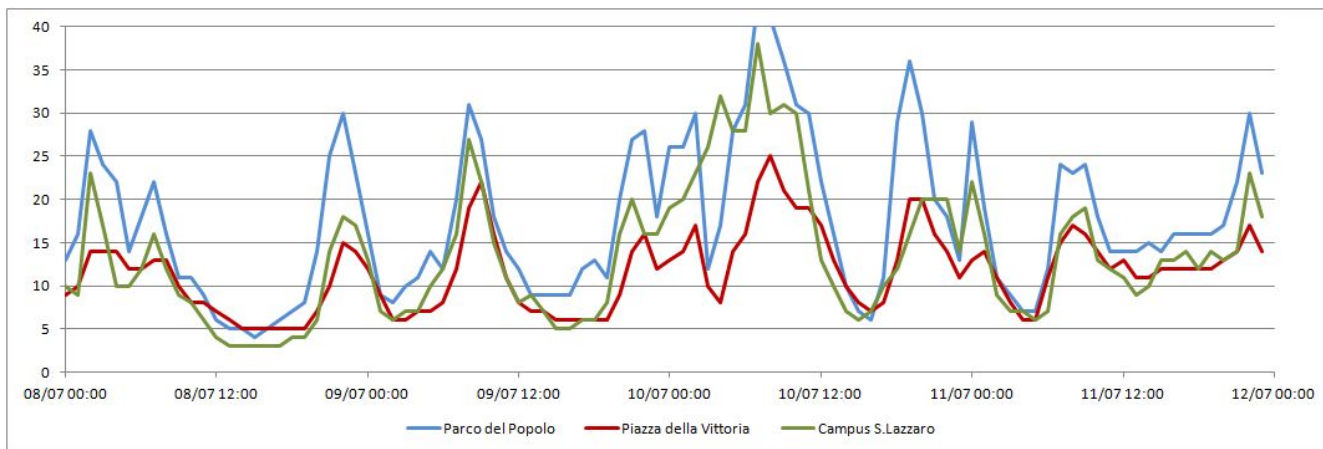


Concentrazioni medie giornaliere di NO2 nei 4 siti di misura.



Concentrazioni massime giornaliere di NO2 nei 4 siti di misura.

Per gli ossidi di azoto è possibile analizzare anche l'andamento orario al fine di studiare come esso evolve nel corso della giornata. Si riportano gli andamenti di alcune giornate ritenute significative perché caratterizzate da prima, da alta pressione e forte irraggiamento (8 e 9 luglio), poi bassa pressione e precipitazioni (10 e 11 luglio).

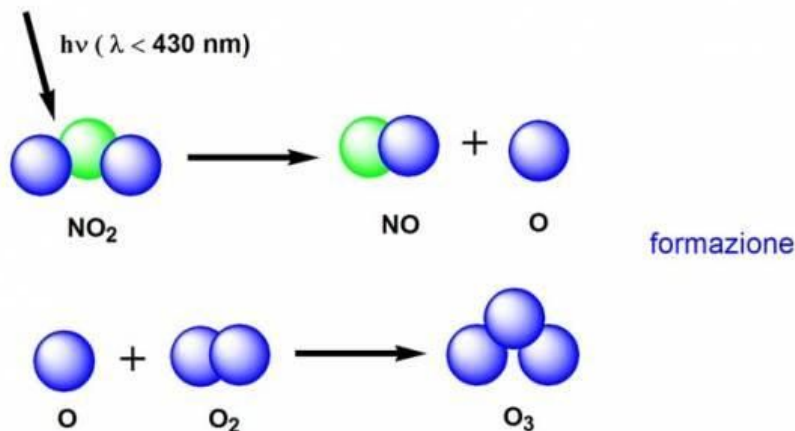


Concentrazioni medie orarie di NO2 nei 3 siti di fondo dal 8 al 11 luglio 2018.

Escludendo i valori di V.le Timavo che risultano essere più elevati in quanto si tratta di una stazione da traffico, il comportamento di questo inquinante nelle tre stazioni di fondo risulta essere abbastanza differente.

Le concentrazioni più elevate si riscontrano presso Parco del Popolo, situato molto vicino ai viali della circonvallazione della città - fonti di NO2 - e dove, in assenza dell'irraggiamento solare, il biossido di azoto non viene "consumato" in favore della formazione di ozono.

In Piazza della Vittoria si rilevano le concentrazioni più basse proprio perché il forte irraggiamento, unito alle elevate temperature dell'isola di calore urbana favoriscono fortemente la produzione di ozono a discapito degli ossidi di azoto.



## Ozono

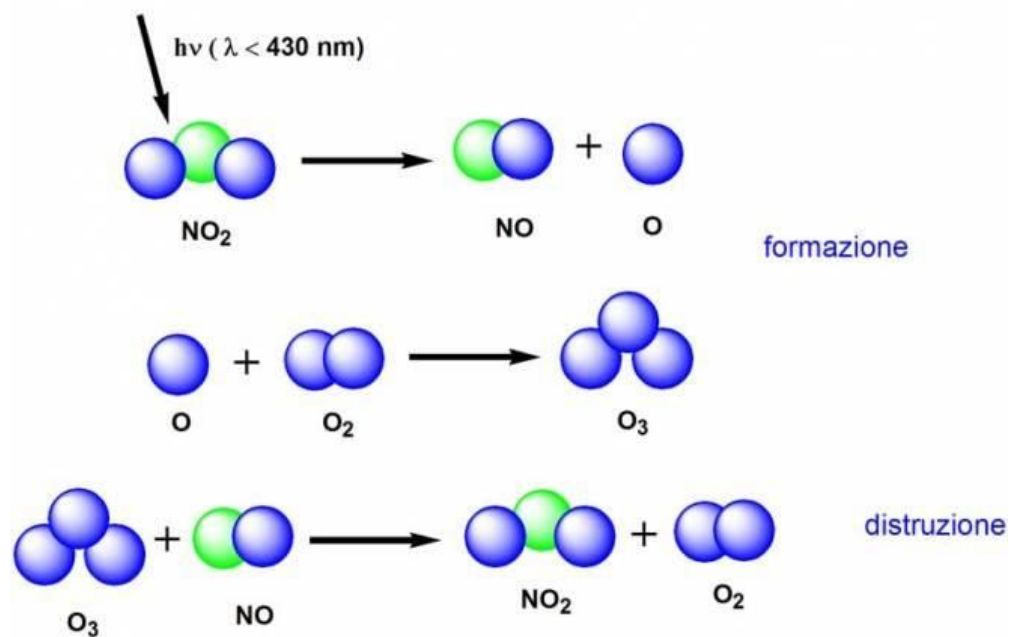
Dal punto di vista dell'inquinamento atmosferico, l'inquinante estivo per eccellenza è rappresentato dall'ozono.

L'ozono ( $O_3$ ) è una forma speciale e altamente reattiva di ossigeno ed è composto da tre atomi di ossigeno. Nella stratosfera, uno degli strati più alti dell'atmosfera, l'ozono ci protegge dalle pericolose radiazioni ultraviolette provenienti dal sole. Ma nello strato più basso dell'atmosfera – la troposfera – l'ozono è, di fatto, un'importante sostanza inquinante che influisce sulla salute pubblica e l'ambiente. L'ozono è infatti reattivo e fortemente ossidante. Alti livelli di ozono corrodono i materiali, gli edifici e i tessuti vivi. L'ozono riduce la capacità delle piante di eseguire la fotosintesi e ostacola il loro assorbimento di anidride carbonica. Indebolisce inoltre la crescita e la riproduzione delle piante, con il risultato di minori raccolti e di uno sviluppo ridotto di boschi e foreste. Nel corpo umano provoca infiammazioni ai polmoni e ai bronchi. Non appena esposto all'ozono, il nostro corpo cerca di impedirne l'entrata nei polmoni. Questa reazione riduce l'ammontare di ossigeno che inaliamo. Inalare meno ossigeno rende il lavoro del cuore più difficile. Quindi per le persone che già soffrono di disturbi cardiovascolari o respiratori, come l'asma, picchi di ozono possono essere debilitanti e persino fatali.

L'ozono è un inquinante "secondario", cioè non viene direttamente immesso in atmosfera ma si forma per reazioni tra composti che vengono generalmente definiti "precursori". Queste specie sono essenzialmente schematizzabili in due grandi categorie - ossidi di azoto e composti organici volatili perciò si dovrà considerare l'immissione in atmosfera di precursori che in seguito, reagendo con l'ossigeno e le altre specie chimiche già presenti, daranno origine ad ozono e altri prodotti dello "smog fotochimico".

L'andamento temporale della concentrazione di ozono al suolo è caratterizzato da due componenti principali:

- 1) una forte componente stagionale, correlata con le variazioni stagionali dei processi meteorologici, principalmente con il ciclo stagionale dell'irraggiamento solare. I massimi stagionali nelle aree urbane si osservano nei mesi estivi
- 2) una componente giornaliera. La variabilità giornaliera dipende dal bilancio dei fattori che influenzano la formazione, il trasporto e la rimozione dell'ozono. Questi andamenti giornalieri variano da luogo a luogo.



#### Precursori di ozono di origine antropica

La produzione di ozono è principalmente influenzata da due gruppi di sostanze: gli ossidi di azoto e i composti organici volatili.

L'emissione in atmosfera di ossidi di azoto (principalmente NO ma anche, in minori quantità, di NO<sub>2</sub>) avviene durante la combustione, in quanto, ad alte temperature, azoto e ossigeno, si combinano. Da ciò si comprende come le sorgenti di questi inquinanti primari siano numerosissime, ma la fonte di maggior emissione in ambito urbano è rappresentata dal traffico veicolare.

Più difficili da caratterizzare e da quantificare sono le emissioni di VOC, di cui questa classe di sostanze è composta. Principalmente essi provengono dal petrolio e dai suoi derivati, per cui tutti i processi dove se ne fa utilizzo comportano un'emissione di tali composti; le sorgenti antropiche sono rappresentate dai processi industriali, in particolare dall'uso di solventi, e dal traffico urbano.

#### Precursori di ozono di origine biogenica

Più articolato invece è il discorso per i composti organici biogenici. Si possono distinguere essenzialmente due contributi: uno dato dagli idrocarburi alifatici e aromatici e l'altro dai terpeni.

I primi entrano in atmosfera attraverso una serie di processi biogeochimici alcuni dei quali ancora sconosciuti. Si sa con certezza invece che vengono emessi dalla fermentazione enterica (intestinale) negli animali, dalle coltivazioni intensive di alcuni prodotti (ad esempio il riso), dai rifiuti domestici e dalle zone umide della Terra.

Relativamente alle emissioni di terpeni, i problemi sono maggiori in quanto se per gli idrocarburi alifatici ed aromatici una loro misurazione risulta sufficiente per determinare il probabile contributo alla formazione di ozono, per questo gruppo di composti il numero e la complessità delle reazioni in atmosfera è tale per cui i tentativi di correlare le concentrazioni rilevate con l'apporto fornito alla crescita di O<sub>3</sub> risultano di difficile attuabilità. Le fonti principali di emissioni in atmosfera di terpeni sono le foreste, i quantitativi emessi dipendono dal tipo di vegetazione e di clima. I composti non metanici prodotti dalle piante sono oltre 400 (compresi aldeidi, chetoni, acidi organici, alcoli, alcani, alcheni, isoprene e terpeni), però le conoscenze sull'andamento delle emissioni e sul comportamento si limitano soprattutto all'isoprene e alle specie del monoterpene. Per queste ultime non è ancora del tutto chiaro il meccanismo di formazione: si pensa comunque sia correlato alla fotosintesi e non alla fotorespirazione. Le emissioni di monoterpene dipendono fortemente dalla temperatura ma non dall'intensità della luce, infatti queste continuano anche durante le ore notturne. Per contro la produzione dell'isoprene è dipendente da entrambi i fattori e si riduce praticamente a zero durante la notte. Da ciò si capisce come tali fenomeni abbiano degli andamenti stagionali con i valori di picco nei mesi estivi.

In particolare gli alberi decidui sono produttori di isoprene mentre le conifere emettono monoterpene, anche se questa generalizzazione può mascherare una situazione più complessa, data dal fatto che all'interno di una stessa famiglia di piante ci sono alcune specie emettitrici ed altre non-emettitrici. Fra i principali produttori di isoprene troviamo alcune specie di quercia (*Quercus* spp.), il pioppo (*Populus* spp.), la robinia (*Robinia pseudoacacia*) il Liquidambar (*Liquidambar styraciflua*) e il platano (*Platanus x acerifolia*). Alcuni studi suggeriscono comunque che sotto particolari condizioni, basse concentrazioni di NO<sub>x</sub>, il terpene e i suoi derivati possono agire come distruttori di ozono.

#### L'influenza delle variabili meteorologiche

Le condizioni atmosferiche rivestono grande importanza all'interno delle problematiche dell'inquinamento fotochimico. Ad esempio le concentrazioni di ozono misurate in una stazione di rilevamento possono variare nel periodo estivo, nell'arco di 2 o 3 giorni (a parità di sorgenti di precursori) di un fattore 10 o 20, al variare delle condizioni meteorologiche da condizioni di tempo perturbato a condizioni di tempo stabile ed elevato irraggiamento solare.

Data la molteplicità e complessità dei processi di produzione e rimozione, la concentrazione di ozono risulta dipendere da diverse variabili meteorologiche quali: l'irraggiamento solare; la temperatura dell'aria; la direzione e velocità del vento; le condizioni di stabilità atmosferica e l'altezza dello strato di rimescolamento.

La quantità di radiazione solare che raggiunge la troposfera determina gli andamenti giornalieri e stagionali e fornisce l'energia necessaria per guidare i processi fotochimici. Quindi la concentrazione di O<sub>3</sub> tende a crescere all'aumentare dell'irraggiamento solare.

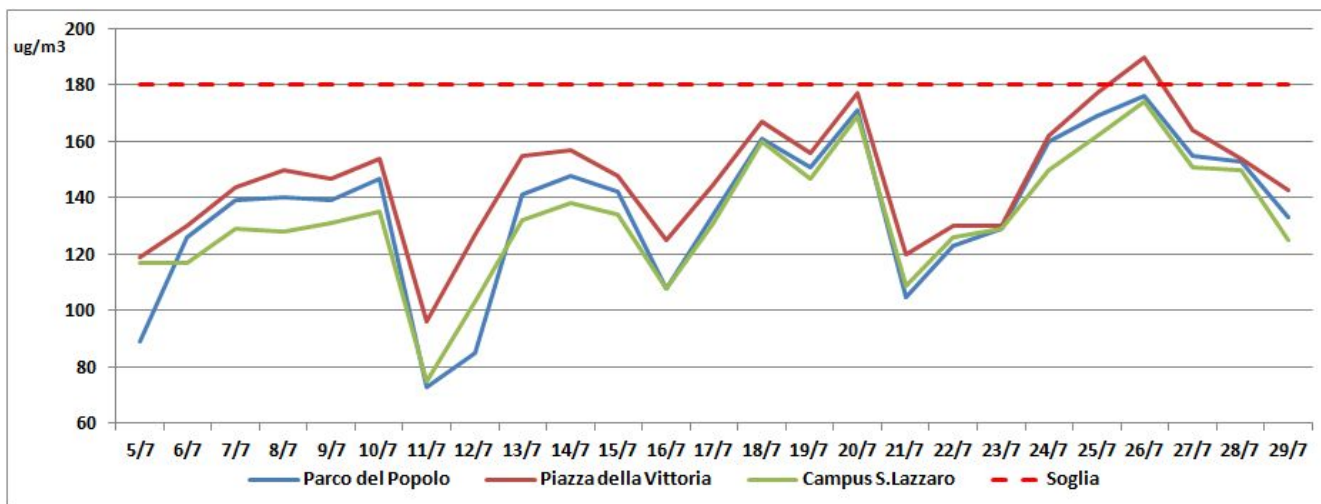
La velocità del vento determina l'accumulo o meno, specie nei centri urbani ed industrializzati, degli inquinanti primari e secondari; episodi di alti valori si verificano con vento compreso in un intervallo di 1-5 m/s.

Le condizioni favorevoli agli episodi di smog fotochimico sono solitamente associate a condizioni di alta pressione, tipici in Italia dei mesi estivi. I fenomeni di avvezione verticale sono responsabili dell'accumulo di ozono negli alti strati dove si hanno tempi di residenza maggiori. Quando, per particolari condizioni meteorologiche, questi strati vengono riportati al suolo si hanno casi di alte concentrazioni non spiegabili con i meccanismi precedenti.

Per questo inquinante non si valuta la media giornaliera ma si hanno due differenti indicatori di riferimento:

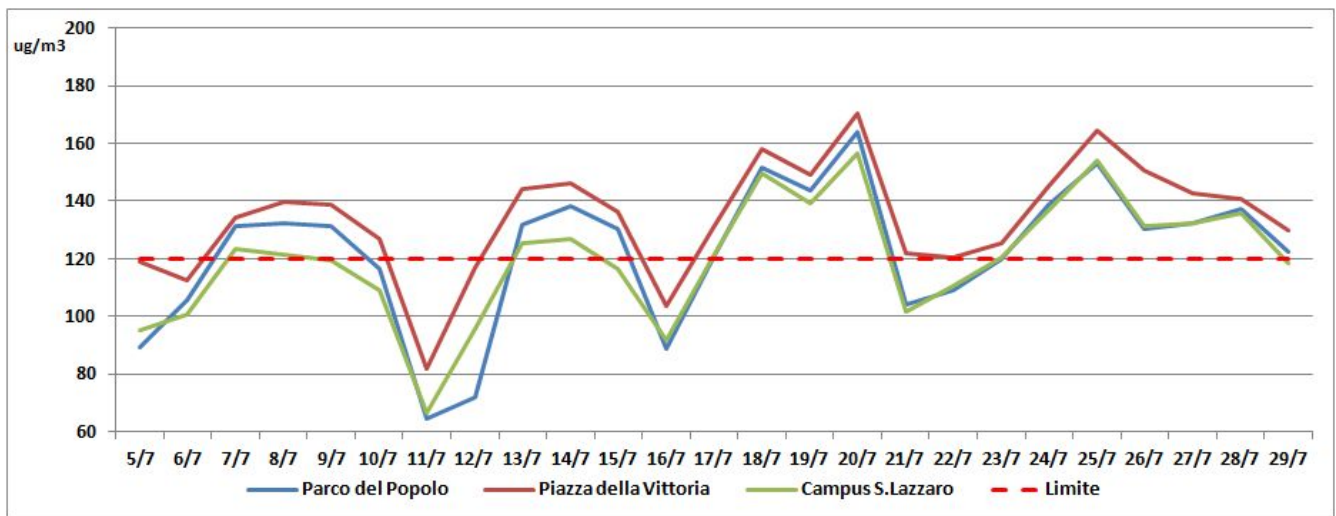
- Il valore della massima media oraria nella giornata, che è opportuno si mantenga al di sotto della soglia di informazione di  $180 \text{ ug/m}^3$
- Il valore della massima media mobile sulle 8 ore nella giornata, che non deve superare il valore limite di  $120 \text{ ug/m}^3$

Si riportano qui di seguito gli andamenti giornalieri di questi due indicatori di riferimento.



Concentrazioni massime orarie di O<sub>3</sub> nei 3 siti di fondo.



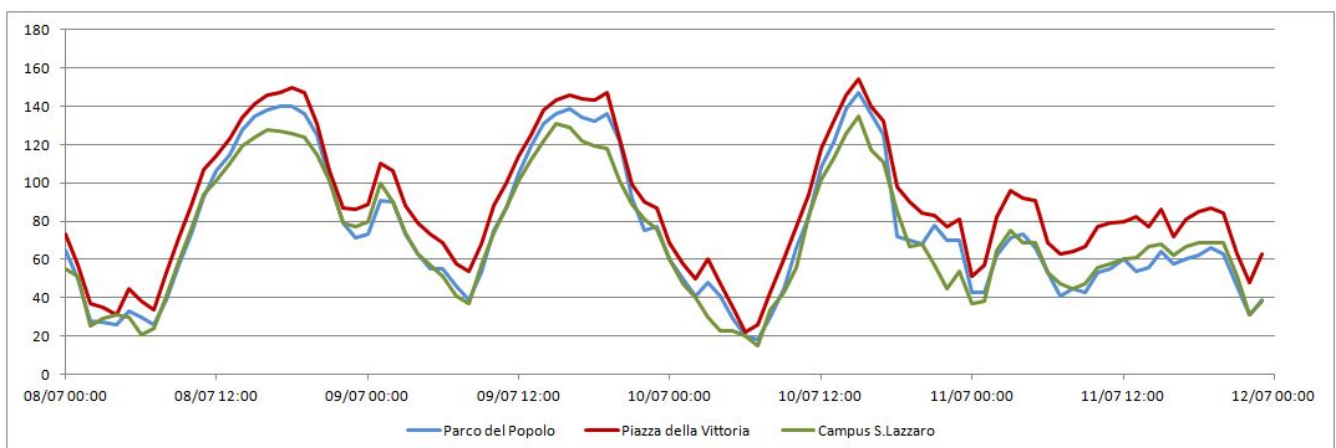


Concentrazioni massime sulle 8 ore di O3 nei 3 siti di fondo.

Si osserva innanzitutto che le massime concentrazioni di ozono si registrano in Piazza della Vittoria, in conseguenza del forte irraggiamento solare e alte temperature che si generano in estate nella piazza assolata e dalla superficie pavimentata.

La stazione di monitoraggio di riferimento per l'ozono per la città di Reggio Emilia è quella del Campus di San Lazzaro. In riferimento ad essa si può affermare che le condizioni "microclimatiche" di Piazza della Vittoria portano ad un incremento del 10-12% dei valori di ozono. Tale incremento ha fatto sì che si registrasse 1 superamento della soglia di informazione il 26 luglio, superamento non registrato presso S. Lazzaro. Analogamente ha portato al superamento del Valore Limite sulle 8 ore in ben 20 giornate, anziché 14 come a San Lazzaro.

Le concentrazioni di ozono rilevate presso il parco del Popolo sono molto simili a quelle rilevate presso il campus san lazzaro. Nelle prime due settimane di indagine nel parco ombreggiato si riscontrano valori superiori rispetto al campus; nella seconda parte dell'indagine tali differenze sembrano minori.



Concentrazioni medie orarie di O3 nei 3 siti di fondo dal 8 al 11 luglio 2018.

Dall'analisi dell'andamento orario si osserva che nei giorni di pioggia (dal 10 pomeriggio a tutto l'11) le concentrazioni rilevate nel Parco del Popolo sono analoghe a quelle del Campus, mentre in Piazza della Vittoria permangono comunque più elevate.

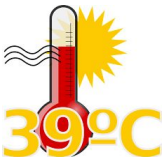



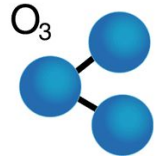
Diversamente, nei giorni di sole l'effetto benefico degli alberi si fa sentire sulla produzione di ozono che risulta inferiore rispetto a Piazza delle Vittoria. Le concentrazioni rilevate al Campus S.Lazzaro rimangono comunque inferiori in quanto esso è ubicato fuori dal centro città, dunque più periferico rispetto all'isola di calore e al traffico cittadino, fonte di ossidi di azoto precursori dell'ozono.

Si può dunque affermare che le condizioni "microclimatiche" di Parco del Popolo portano ad una riduzione del 5% dei valori di ozono (calcolato nelle sole giornate di non pioggia) rispetto alla adiacente Piazza della Vittoria.

# Considerazioni conclusive

L'indagine effettuata in centro città attraverso l'utilizzo di due Laboratori Mobili ha permesso di fornire un riscontro sperimentale relativamente alla distribuzione degli inquinanti all'interno di una Zona Pedonale di una città di piccole dimensioni, permettendo di valutare i potenziali effetti degli alberi di un parco urbano. Il monitoraggio si è svolto in periodo estivo e pertanto ha posto l'attenzione sull'isola di calore e dell'inquinante estivo per eccellenza, l'ozono.

Sulla base di quanto emerso è possibile sintetizzare i risultati raggiunti:

	Il centro urbano presenta valori di temperatura costantemente più elevati in quanto risente dell'isola di calore urbana. Nel periodo estivo l'isola di calore è quantificabile con un $\Delta$ di +2,5°C. La presenza di un parco urbano all'interno del centro storico consente una <b>riduzione di 1°C nelle temperature</b> .
	Un parco totalmente ombreggiato risulta avere una <b>umidità relativa inferiore del 10% rispetto ad un parco al sole</b> , con un conseguente minore stress sull'organismo dato dall'afa. Tuttavia non presenta <b>nessun vantaggio in termini di umidità rispetto ad una piazza assoluta</b> .
	La presenza di una Zona Pedonale ha evidenziato una riduzione del -15% delle PM10 in estate. La presenza di un parco alberato ha evidenziato una riduzione di un ulteriore -15% delle PM10 in estate. <b>L'effetto congiunto di ZP + Parco alberato porta alla rimozione della componente primaria delle PM10, stimabile in -30% (tale considerazione vale solo per il periodo estivo)</b> . Per il periodo invernale occorrerebbe effettuare un monitoraggio. <b>Nessuna variazione sulle PM2.5</b> .
	La presenza di un parco alberato <b>non ha effetti migliorativi aggiuntivi rispetto ad una zona pedonale sul biossido di azoto</b> . In estate l'alberatura ostacola l'irraggiamento e impedisce la trasformazione dell' NO2 con conseguente formazione di O3 e dunque è possibile riscontrare concentrazioni di NO2 maggiori nel parco rispetto ad una piazza assoluta.
	Le condizioni "microclimatiche" di un parco alberato in modo continuo portano ad una <b>riduzione del 5% dell'ozono</b> rispetto ad una piazza assoluta, in periodo estivo all'interno di una zona pedonale di un centro urbano.

---

## Sviluppi futuri

Visti gli interessanti risultati raggiunti, potrebbe essere interessante ripetere l'attività durante il periodo invernale, quando le condizioni meteorologiche non sono favorevoli alla dispersione degli inquinanti, al fine di verificare se sussistono effetti benefici sulla qualità dell'aria della Zona Pedonale e dei parchi urbani. Tale indagine potrebbe essere svolta, ad esempio, in una città di maggiori dimensioni come Modena.

## Ringraziamenti

Si ringrazia il Servizio Sistemi Ambientali dell'Arpae di Modena per aver fornito la strumentazione e il personale necessario ad effettuare l'indagine.

Si ringrazia il Dipartimento di Fisica e Astronomia dell'Università di Bologna per aver supportato l'attività con propria strumentazione (anemometro sonico, termoigrometro, radiometro, sensori low-cost) e personale.

Si ringrazia il Comune di Reggio Emilia per aver inserito questa attività all'interno del progetto UrbanProof e per aver fornito spazi e utenza elettrica necessari allo svolgimento del progetto.

Hanno collaborato: Luca Torreggiani, Carla Barbieri, Francesco Barbano, Riccardo Gazzini, Antonella Anceschi, Patrizia Tedeschini, Elena Manzini, Massimo Bacchetti, Martina Polito, Susanna Ferrari, Giovanni Ferrari, Silvana Di Sabatino.

