

**STRUTTURA COMPLESSA**

**DIPARTIMENTO TERRITORIALE PIEMONTE SUD EST**

**Struttura Semplice Attività di Produzione Sud-Est– Nucleo Operativo Qualità dell’Aria**

**COMUNE DI ALESSANDRIA**

**PROGETTO MONITORAGGIO EFFETTI EL VERDE  
URBANO SULLA QUALITA' DELL'ARIA**

**FEBBRAIO – MARZO 2019**

**RELAZIONE TECNICA**

**RISULTATO ATTESO B5.16  
PRATICA N°G07\_2018\_01942\_15**

**PERIODO DI MONITORAGGIO dal 11/02/2019 al 11/03/2019**

<b>Redazione</b>	<b>Funzione: Tecnico</b> <b>Nome: Laura Erbetta</b>	<b>Firmato elettronicamente</b>
<b>Verifica e Approvazione</b>	<b>Funzione: Responsabile S.S. Produzione</b> <b>Nome: Donatella Bianchi</b>	<b>Firmato digitalmente</b>

**Arpa Piemonte**

Codice Fiscale – Partita IVA 07176380017

**Dipartimento Piemonte Sud Est**

Struttura Semplice -Attività di Produzione Sud Est

Spalto Marengo, 33 – 15121 Alessandria – tel. 0131276200 – fax 0131276231

Email: dip.sudest@arpa.piemonte.it PEC: dip.sudest@pec.arpa.piemonte.it

**RELAZIONE TECNICA**

**ARPA Dipartimento Piemonte Sud Est**  
**Direttore Alberto Maffiotti**

**Redazione dei testi e delle elaborazioni a cura di:**  
L.Erbetta, del Dipartimento ARPA Piemonte Sud Est

**Per la gestione tecnica della campagna di monitoraggio hanno collaborato:**  
G. Mensi, V. Ameglio, E. Scagliotti, L. Erbetta, C.Otta del Dipartimento ARPA Piemonte Sud Est

---

## SOMMARIO

<b>1. INTRODUZIONE</b>	<b>4</b>
<b>2. IL QUADRO NORMATIVO</b>	<b>5</b>
<b>3. DESCRIZIONE DEGLI INQUINANTI MONITORATI</b>	<b>6</b>
<b>4. STRUMENTAZIONE UTILIZZATA</b>	<b>8</b>
<b>5. SCELTA DEI SITI DI MISURA</b>	<b>9</b>
5.1 PRIMA CAMPAGNA.....	10
<b>6. CARATTERIZZAZIONE METEOROLOGICA DEL PERIODO DI MISURA</b>	<b>111</b>
<b>7. RISULTATI</b>	<b>111</b>
7.1 EFFETTI SULLA TEMPERATURA-UMIDITA' .....	111
7.2 EFFETTI SUGLI INQUINANTI.....	15
7.2.1 OSSIDI DI AZOTO .....	15
7.2.2 POLVERI PM10 .....	200
7.2.3 OZONO.....	266
<b>8. CONCLUSIONI</b>	<b>277</b>
<b>9. BIBLIOGRAFIA</b>	<b>288</b>

---

	<b>Dipartimento Territoriale Piemonte Sud Est – SC07</b> <b>Struttura Semplice Produzione SS07.02</b>	<b>Pagina:</b> 4/28
	<b>RELAZIONE TECNICA</b>	

## 1.INTRODUZIONE

È oggi ampiamente documentato a livello scientifico<sup>1</sup> che il verde urbano, opportunamente progettato, può apportare benefici in termini di depurazione dell'aria dagli inquinanti atmosferici e di mitigazione del surriscaldamento terrestre e dei cambiamenti climatici in atto, aumentando l'assorbimento della CO<sub>2</sub> e di altri inquinanti gassosi, riducendo le polveri fini, aumentando la capacità di ritenzione delle acque meteoriche e contrastando l'effetto "isola di calore" tipico delle città. Oltre a ciò, la forestazione urbana contribuisce a ridurre l'inquinamento acustico e, più in generale, a riqualificare e migliorare la vivibilità dell'ambiente urbano con ricadute positive di carattere sociale e relazionale.

In linea con le numerose sperimentazioni in atto su tale fronte in ambito nazionale ed internazionale ([www.iscapeproject.eu](http://www.iscapeproject.eu), [www.lifegaia.eu](http://www.lifegaia.eu), [www.urbanproof.eu/it/](http://www.urbanproof.eu/it/)) e nell'ottica di approfondire e diffondere buone pratiche ambientali sui comuni del bacino padano, in contrasto all'inquinamento atmosferico ed ai cambiamenti climatici, il Dipartimento Arpa Piemonte Sud-Est in collaborazione con il gruppo di ricerca bio-meteorologia del Consiglio Nazionale delle Ricerche di Bologna (<http://www.bo.ibimet.cnr.it>) coordinato dalla dott.ssa Rita Baraldi, ha intrapreso un approfondimento circa gli aspetti tecnico scientifici e sperimentali legati agli effetti mitigativi del verde urbano sul territorio del Comune di Alessandria.

Le fasi del progetto sono così articolate:

- monitoraggio della qualità dell'aria estiva e svolto da Arpa mediante centraline mobili posizionate in contemporanea in due postazioni del centro urbano esposte al traffico cittadino, di cui una con presenza di vegetazione (giardini, parchi, viali alberati) ed una in assenza di vegetazione al fine di rilevare le differenze microclimatiche e di inquinamento.
- censimento delle specie arboree attualmente presenti sul territorio comunale e delle loro principali caratteristiche (numero piante, tipologia, dimensioni) attraverso la consultazione delle banche dati comunali abbinata ai dati di inquinamento forniti dalle stazioni della rete regionale gestita da Arpa, in particolare ai dati orari di PM<sub>10</sub> rilevati dalla stazione di monitoraggio della qualità dell'aria di Alessandria-Volta sull'anno 2017;
- simulazioni modellistiche realizzate da IBIMET-CNR mediante il software open-source **ITREE** (<https://www.itreetools.org/>) sulla base dei dati acquisiti volte a stimare il grado di efficacia di mitigazione del verde attualmente presente in termini di riduzione dell'inquinamento atmosferico (capacità assorbimento di inquinanti gassosi, cattura delle polveri sottili) e mitigazione dei cambiamenti climatici (sequestro di CO<sub>2</sub>, riduzione delle temperature, assorbimento delle acque meteoriche) ed a prefigurare nuovi scenari di implementazione di verde urbano appositamente progettati ed inseriti nel contesto territoriale (alberature, barriere verdi, boschi urbani, green-walls, green-roof, etc..) per ottenere benefici aggiuntivi e misurabili.

In questa prima fase di screening l'attività di carattere istituzionale fornita da Arpa e CNR è svolta a titolo gratuito allo scopo di fornire all'Amministrazione comunale utili elementi di carattere scientifico per futuri progetti da svilupparsi nell'ambito dei piani di risanamento della qualità dell'aria e di mitigazione dei cambiamenti climatici.

Nello specifico la presente relazione illustra i primi risultati della campagna di monitoraggio della qualità dell'aria in periodo invernale svolta con due laboratori mobili posizionati presso aree comunali caratterizzate da differente presenza di vegetazione, nel periodo compreso tra 11 febbraio e 11 marzo 2019. I due siti prescelti sono la **scuola primaria Carducci (sito NON GREEN)** e i **giardini pubblici** antistanti la stazione ferroviaria (**sito GREEN**) entrambi dislocati in area centrale all'interno degli spalti cittadini.

Scopo del monitoraggio è quello di studiare se vi siano effetti mitigativi misurabili sull'inquinamento e sui parametri meteorologici (temperatura, umidità, vento, radiazione) legati alla presenza della vegetazione e confrontarli con i dati di letteratura nelle varie stagioni. A questo primo monitoraggio ne farà seguito un secondo in periodo estivo.

<sup>1</sup> Si veda nota bibliografica

**RELAZIONE TECNICA**

## 2. IL QUADRO NORMATIVO

Il Decreto Legislativo 155 del 13/08/2010 recepisce la Direttiva Europea 2008/50/CE, abroga la normativa precedente riguardo i principali inquinanti atmosferici (D.P.C.M. 28/03/83 – D.P.R. 203/88 – D.M. 25/11/94 – D.M. 60/02 - D.lgs. 183/04) istituendo un quadro normativo unitario in materia di valutazione e gestione della qualità dell'aria. Al fine di salvaguardare la salute umana e l'ambiente, stabilisce limiti di concentrazione, a lungo e a breve termine, a cui attenersi. La Tabella sottostante riassume i limiti previsti dalla normativa per i diversi inquinanti considerati.

**Table 4.1 Air quality standards for the protection of health, as given in the EU Ambient Air Quality Directives**

Pollutant	Averaging period	Legal nature and concentration	Comments
PM <sub>10</sub>	1 day	Limit value: 50 µg/m <sup>3</sup>	Not to be exceeded on more than 35 days per year
	Calendar year	Limit value: 40 µg/m <sup>3</sup>	
PM <sub>2.5</sub>	Calendar year	Limit value: 25 µg/m <sup>3</sup>	
		Exposure concentration obligation: 20 µg/m <sup>3</sup>	Average Exposure Indicator (AEI) (*) in 2015 (2013-2015 average)
		National Exposure reduction target: 0-20 % reduction in exposure	AEI (*) in 2020, the percentage reduction depends on the initial AEI
O <sub>3</sub>	Maximum daily 8-hour mean	Target value: 120 µg/m <sup>3</sup>	Not to be exceeded on more than 25 days/year, averaged over 3 years (b)
		Long term objective: 120 µg/m <sup>3</sup>	
	1 hour	Information threshold: 180 µg/m <sup>3</sup> Alert threshold: 240 µg/m <sup>3</sup>	
NO <sub>2</sub>	1 hour	Limit value: 200 µg/m <sup>3</sup>	Not to be exceeded on more than 18 hours per year
		Alert threshold: 400 µg/m <sup>3</sup>	To be measured over 3 consecutive hours over 100 km <sup>2</sup> or an entire zone
	Calendar year	Limit value: 40 µg/m <sup>3</sup>	
BaP	Calendar year	Target value: 1 ng/m <sup>3</sup>	Measured as content in PM <sub>10</sub>
SO <sub>2</sub>	1 hour	Limit value: 350 µg/m <sup>3</sup>	Not to be exceeded on more than 24 hours per year
		Alert threshold: 500 µg/m <sup>3</sup>	To be measured over 3 consecutive hours over 100 km <sup>2</sup> or an entire zone
	1 day	Limit value: 125 µg/m <sup>3</sup>	Not to be exceeded on more than 3 days per year
CO	Maximum daily 8-hour mean	Limit value: 10 mg/m <sup>3</sup>	
C <sub>6</sub> H <sub>6</sub>	Calendar year	Limit value: 5 µg/m <sup>3</sup>	
Pb	Calendar year	Limit value: 0.5 µg/m <sup>3</sup>	Measured as content in PM <sub>10</sub>
As	Calendar year	Target value: 6 ng/m <sup>3</sup>	Measured as content in PM <sub>10</sub>
Cd	Calendar year	Target value: 5 ng/m <sup>3</sup>	Measured as content in PM <sub>10</sub>
Ni	Calendar year	Target value: 20 ng/m <sup>3</sup>	Measured as content in PM <sub>10</sub>

Notes: (\*) AEI: based upon measurements in urban background locations established for this purpose by the MSs, assessed as a 3-year running annual mean.

(b) In the context of this report, only the maximum daily 8-hour means in 2015 are considered, so no average over 2013-2015 is presented.

Fonte: EEA Air Quality Report 2017

### 3. DESCRIZIONE DEGLI INQUINANTI MONITORATI

Gli inquinanti che si trovano dispersi in atmosfera possono essere divisi schematicamente in due gruppi: inquinanti primari e inquinanti secondari. I primi sono emessi nell'atmosfera direttamente da sorgenti di emissione antropogeniche o naturali, mentre gli altri si formano in atmosfera in seguito a reazioni chimiche che coinvolgono altre specie siano esse primarie o secondarie. Le concentrazioni di un inquinante primario dipendono significativamente dalla distanza tra il punto di misura e le sorgenti, mentre le concentrazioni di un inquinante secondario, essendo prodotto dai suoi precursori già dispersi nell'aria ambiente, risultano in genere diffuse in modo più omogeneo sul territorio.

TABELLA – Inquinanti principali sorgenti emissive

Inquinanti	Formula chimica	Principali sorgenti emissive
Benzene*	C <sub>6</sub> H <sub>6</sub>	Attività industriali, traffico autoveicolare
Biossido di zolfo*	SO <sub>2</sub>	Attività industriali, centrali di potenza
Biossido di azoto*/**	NO <sub>2</sub>	Impianti di riscaldamento, traffico autoveicolare (in particolare quello diesel), centrali di potenza, attività industriali
Monossido di carbonio*	CO	Traffico autoveicolare (processi di combustione incompleta dei combustibili fossili)
Ozono**	O <sub>3</sub>	Non ci sono significative sorgenti di emissione antropiche in atmosfera
Particolato atmosferico */**	PM <sub>10</sub>	È prodotto da combustioni, per azioni di tipo meccaniche (erosione, attrito, ecc.), da processi chimico-fisici che avvengono in atmosfera a partire da precursori anche in fase gassosa.

\* = Inquinante Primario (generato da emissioni dirette in atmosfera dovute a fonti naturali e/o antropogeniche)

\*\* = Inquinante Secondario (prodotto in atmosfera attraverso reazioni chimiche)

Si descrivono di seguito le caratteristiche degli inquinanti atmosferici di interesse per il progetto e misurati dalle stazioni ARPA di rilevamento della qualità dell'aria.

#### Ossidi di azoto (NO e NO<sub>2</sub>)

Gli ossidi di azoto (nel complesso indicati anche come NO<sub>x</sub>) sono emessi direttamente in atmosfera dai processi di combustione ad alta temperatura (impianti di riscaldamento, motori dei veicoli, combustioni industriali, centrali termiche, ecc.), per ossidazione dell'azoto atmosferico e, solo in piccola parte, per l'ossidazione dei composti dell'azoto contenuti nei combustibili utilizzati. All'emissione, gran parte degli NO<sub>x</sub> è in forma di monossido di azoto (NO), con un rapporto NO/NO<sub>2</sub> notevolmente a favore del primo. L'NO, una volta diffusosi in atmosfera può ossidarsi e portare alla formazione di NO<sub>2</sub>. L'NO è quindi un inquinante primario mentre l'NO<sub>2</sub> ha caratteristiche prevalentemente di inquinante secondario. Il monossido di azoto (NO) non è soggetto a limiti alle immissioni in quanto, alle concentrazioni tipiche misurate in aria ambiente, non provoca effetti dannosi sulla salute e sull'ambiente. Se ne misurano comunque i livelli poiché esso, attraverso la sua ossidazione in NO<sub>2</sub> e la sua partecipazione ad altri processi fotochimici, contribuisce, tra altro, alla produzione di ozono troposferico.

#### Particolato atmosferico aerodisperso

È costituito da una miscela di particelle allo stato solido o liquido, esclusa l'acqua, presenti in sospensione nell'aria per tempi sufficientemente lunghi da subire fenomeni di diffusione e trasporto. Possono avere dimensioni che variano anche di 5 ordini di grandezza (da 10 nm a 100 μm), così come forme diverse e per lo più irregolari: le polveri fini PM<sub>10</sub> e PM<sub>2.5</sub> sono costituite da particelle il cui diametro sia inferiore rispettivamente a 10 e 2.5 micron. Esse possono essere di origine primaria, cioè emesse direttamente in atmosfera da processi naturali o antropici, o secondaria, cioè

## RELAZIONE TECNICA

formate in atmosfera a seguito di reazioni chimiche e fisiche. Le principali sorgenti naturali sono l'erosione e il successivo risollevarsi di polvere del suolo, incendi, pollini, spray marino, eruzioni vulcaniche; le sorgenti antropiche si possono ricondurre principalmente a processi di combustione (traffico autoveicolare, uso di combustibili, emissioni industriali); non vanno tuttavia trascurati i fenomeni di risospensione causati dalla circolazione dei veicoli, le attività di cantiere e alcune attività agricole. Nelle aree urbane il materiale particolato di origine antropica può avere origine da lavorazioni industriali (cantieri edili, fonderie, cementifici), dal traffico (usura dell'asfalto, dei pneumatici, dei freni e delle frizioni, emissioni di scarico degli autoveicoli), dal riscaldamento, dalle attività agricole e dalla produzione di energia elettrica. Le polveri fini e ultrafini si formano in atmosfera (particolato secondario) anche da numerosi precursori tra cui ossidi di azoto, idrocarburi, inquinanti emessi dal settore agricolo e zootecnico, uso di solventi, etc. I principali gas precursori (ammoniaca, ossidi di zolfo e di azoto) reagiscono in atmosfera per formare sali di ammonio: questi composti formano nuove particelle nell'aria o condensano su quelle preesistenti e formano i cosiddetti **aerosol inorganici secondari (SIA)**. Altre sostanze organiche emesse in forma gassosa (VOC) reagiscono chimicamente formando **aerosol organici secondari (SOA)**. Al fine di valutare l'impatto del particolato sulla salute umana è quindi necessario individuare uno o più sottoinsiemi di particelle che, in base alla loro dimensione, abbiano maggiore capacità di penetrazione nelle prime vie respiratorie (naso, faringe, laringe) piuttosto che nelle parti più profonde dell'apparato respiratorio (trachea, bronchi, alveoli polmonari). Nel 2013 lo **IARC** (Agenzia Internazionale per la Ricerca sul Cancro) ha ufficialmente classificato il particolato atmosferico come cancerogeno per l'uomo (Gruppo 1) alla stregua di alcuni inquinanti atmosferici specifici dell'aria come il benzene e il benzo(a)pirene già inseriti nel gruppo dei cancerogeni. L'**OMS** inoltre indica valori di tutela della salute per polveri **PM10** e **PM2.5** più bassi rispetto alla legislazione europea: **20 e 10 microgrammi/m<sup>3</sup>** rispettivamente come media sull'anno

### Ozono

L'ozono a livello del suolo (troposferico) è un inquinante del tutto peculiare poiché non viene emesso da nessuna sorgente ma si forma in atmosfera in presenza di forte radiazione solare per reazione chimica da altri inquinanti primari (ossidi di azoto, composti organici volatili) prodotti sia da fenomeni naturali che da attività umane (traffico veicolare, industrie, processi di combustione). L'ozono è un componente dello "smog fotochimico" che si origina da maggio a settembre in concomitanza di un intenso irraggiamento solare e di un'elevata temperatura. Le più alte concentrazioni di ozono si registrano d'estate nelle ore di massimo irraggiamento solare mentre nelle ore serali la sua concentrazione tende a diminuire

#### 4. STRUMENTAZIONE UTILIZZATA

I dati di qualità dell'aria analizzati nella presente relazione sono stati acquisiti mediante un laboratorio mobile, provvisto di analizzatori automatici in grado di monitorare in continuo e di fornire dati in tempo reale per i principali inquinanti atmosferici. La strumentazione utilizzata dal laboratorio mobile è del tutto simile a quella presente nelle stazioni fisse della RRQA e risponde alle caratteristiche previste dalla legislazione vigente (D. Lgs.155/2010). In particolare, il laboratorio mobile è provvisto di strumenti per misurare: Monossido di Carbonio CO, Ossidi di Azoto NOx (NO – NO<sub>2</sub>), Biossido di Zolfo (SO<sub>2</sub>), Ozono, BTEX (Benzene, Toluene, Xileni, etilbenzene) , polveri fini PM10.



Figura 1-Laboratorio mobile in servizio presso ARPA

I livelli di concentrazione degli inquinanti sono forniti con cadenza oraria, tranne per le polveri PM10 che sono fornite come medie giornaliera. L'aria da campionare è prelevata attraverso una "testa di prelievo" che pompa una quantità d'aria sufficiente da poter essere inviata ai vari analizzatori e direttamente analizzata. L'analisi del PM10 è l'unica che non viene effettuata direttamente sul posto in quanto si utilizza un sistema di campionamento gravimetrico a "impatto inerziale", ovvero la testa di prelievo pompa 2,3m<sup>3</sup>/h di aria che viene fatta passare attraverso dei filtri di quarzo del diametro di 47mm sul quale si deposita la polvere PM10 (ovvero solo la frazione del particolato appositamente filtrato con diametro inferiore a 10 micron). Dopo 24 ore il filtro "sporco" viene prelevato e successivamente pesato in laboratorio: la concentrazione di polvere si desume per differenza di peso tra il filtro pulito pesato prima del campionamento e lo stesso filtro pesato dopo le 24 ore di campionamento.

Le specifiche tecniche della strumentazione utilizzata sono di seguito riportate:

<b>Laboratorio mobile di monitoraggio della qualità dell'aria</b>				
<b>Strumento</b>	<b>Modello</b>	<b>Parametro misurato</b>	<b>Metodo di misura</b>	<b>Incertezza estesa</b>
Analizzatore API	200E	NO – NO <sub>2</sub>	Chemiluminescenza	15.1%
Analizzatore API	300E	CO	Spettrometria IR	8.2%
Analizzatore CROMATOTECH	GC855	Benzene, Toluene, Xileni, Etilbenzene	Gasromatografia	25% max
Analizzatore API	100A	SO <sub>2</sub>	Fluorescenza	10.8%
PM10 TECORA	Charlie-Sentinel	PM <sub>10</sub>	Gravimetria	13.0%
Analizzatore API	400E	O <sub>3</sub>	Assorbimento UV	5.1%

N.B. L'INCERTEZZA ESTESA è riferita ai valori limite imposti dalla normativa (all. XI D.lgs 155/2010) e calcolata secondo le UNI EN specifiche per i vari inquinanti, tenendo conto dei contributi all'incertezza ritenuti più significativi.

## 5. SCELTA DEI SITI DI MISURA

I due siti di monitoraggio, **scuola Carducci (SITO NON GREEN)** e **Giardini comunali (SITO GREEN)**, sono indicati in figura in colore azzurro (figura 1). I siti si trovano all'interno della circonvallazione interna, in area di centro cittadino, entrambi a 200 m circa dagli spalti (circonvallazione interna). L'area dei giardini antistanti la stazione ferroviaria è l'unico polmone verde attualmente presente all'interno degli spalti ed ha una estensione di circa 12 ettari in cui sono presenti numerose essenze di piante sia sempreverdi che caducifoglie di grandi dimensioni. In giallo sono indicate le due stazioni fisse della qualità dell'aria installate ad Alessandria presso p.za D'annunzio come sito di monitoraggio da traffico (**STAZIONE\_TU**) e presso via Scassi - Istituto Volta come sito di fondo residenziale (**STAZIONE\_FU**). Entrambe si collocano appena al di fuori del concentrico segnato dagli spalti della circonvallazione interna (linee gialle).



**Siti di misura della sperimentazione e postazioni fisse di monitoraggio della qualità dell'aria**



**Scuola Carducci**



**Giardini comunali**

**5.1 PRIMA CAMPAGNA**

Nella tabella seguente sono riassunte le caratteristiche relative alle due postazioni di misura afferenti alla prima campagna in periodo invernale.

**Periodo di monitoraggio: 11 febbraio – 11 marzo 2019**

**POSTAZIONE 1 - P.za Carducci c/o scuola primaria**



Centro città – densamente costruito



poco ombreggiato



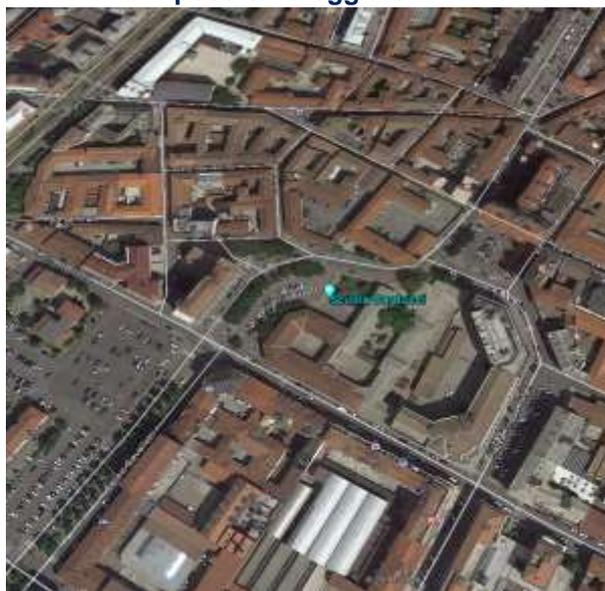
fondo urbano



NO ZTL



suolo non permeabile



**POSTAZIONE 2 - Viale Repubblica – Giardini comunali**



Centro città – densamente costruito



ombreggiato



fondo urbano

area  
pedonale



ZTL



suolo permeabile



## 6. CARATTERIZZAZIONE METEOROLOGICA DEL PERIODO DI MISURA

In Piemonte febbraio 2019 è stato un mese caldo e secco con un'anomalia termica positiva di circa 3.3°C rispetto alla media del periodo 1971-2000 ed è risultato il 3° mese di febbraio più caldo nella distribuzione storica degli ultimi 62 anni. Il maggiore contributo allo scostamento positivo è stato dato dall'ultima decade del mese. Le precipitazioni in febbraio sono state inferiori alla media degli anni 1971-2000, con un deficit pari a -37% rispetto alla media storica. Si segnala il giorno 27 febbraio 2019 come il giorno più caldo di febbraio degli ultimi 62 anni, con una temperatura media di 11.3°C ed un valore medio delle temperature massime pari a 17.2°C registrate dai termometri della rete automatica di Arpa Piemonte. L'inverno 2018/2019 in Piemonte è risultato il quinto più caldo nella distribuzione storica delle ultime 62 stagioni invernali, con un'anomalia positiva di 1.9°C rispetto alla norma del periodo 1971-2000.<sup>2</sup> La prima decade di marzo, in linea con febbraio, è stata decisamente secca e calda in pianura.

	Media (°C)	Anomalia (°C)	Posizione	Media in pianura (°C)
Dicembre 2018	+3.2	+1.9	7° più caldo	+3.5
Gennaio 2019	+0.8	+0.4	25° più caldo	+1.9
<b>Febbraio 2019</b>	<b>+4.9</b>	<b>+3.3</b>	<b>3° più caldo</b>	<b>+5.4</b>
Inverno 2018/2019	+2.9	+1.9	5° più caldo	+3.6

**Tabella 1 - Temperature medie mensili in Piemonte nell'inverno 2018/2019.** Per ciascun mese è riportata la temperatura media mensile in °C, la relativa anomalia rispetto alla media 1971-2000, la posizione relativa rispetto al corrispondente mese più caldo o più freddo dell'intera serie storica ed il valore medio sulle località pianeggianti.

([www.arpa.piemonte.it/rischinaturali/tematismi/clima/rapporti-di-analisi/eventi\\_pdf/2019/climalnverno2019.pdf](http://www.arpa.piemonte.it/rischinaturali/tematismi/clima/rapporti-di-analisi/eventi_pdf/2019/climalnverno2019.pdf))

## 7. RISULTATI

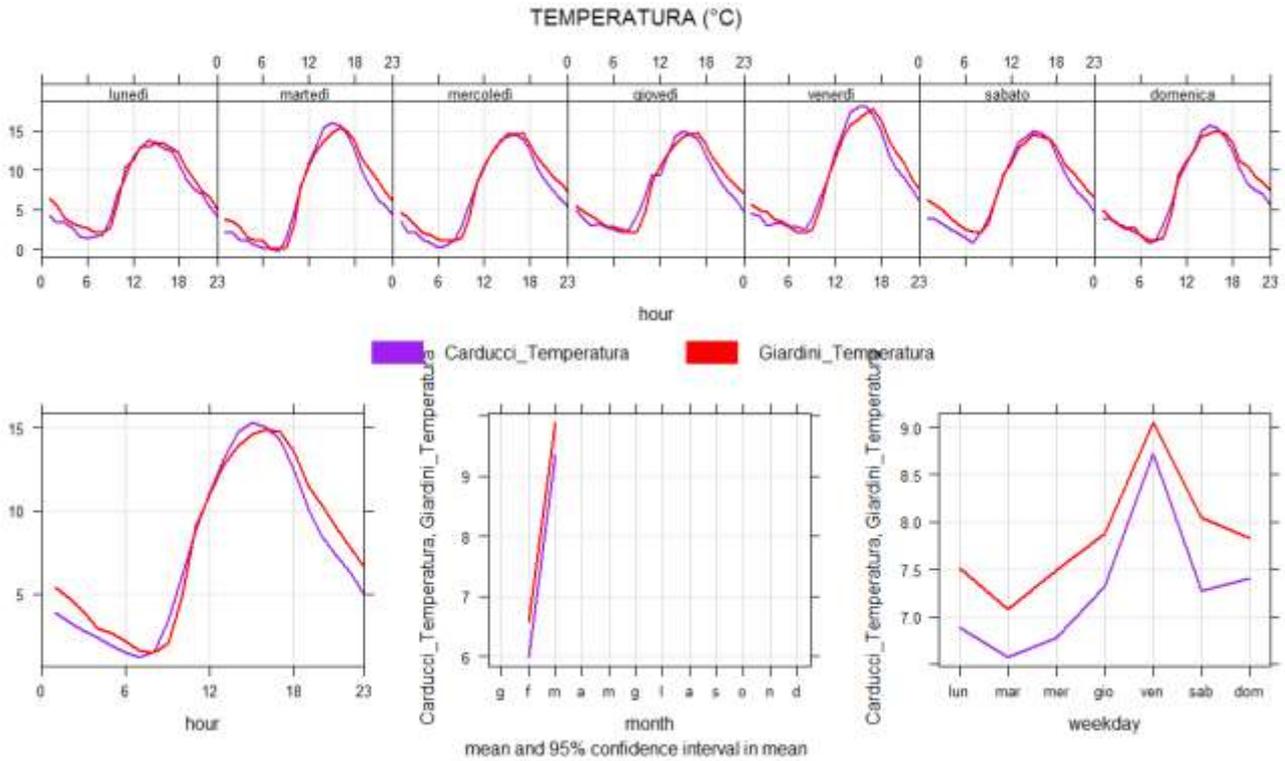
Per quantificare l'effetto del verde sui livelli degli inquinanti presenti in ambito urbano e sulle condizioni microclimatiche locali sono stati confrontati tra loro i dati acquisiti dai due laboratori mobili nelle due postazioni dei **giardini comunali ("postazione GREEN")** e della **scuola Carducci (postazione "NON GREEN")**. I parametri considerati per il confronto sono stati PM10, acquisiti con frequenza giornaliera, e NO/NO2, Ozono, temperatura, umidità relativa acquisiti con frequenza oraria. Le concentrazioni registrate con i laboratori mobili sono state altresì confrontate con quelle misurate nelle stazioni fisse della Rete Regionale della Qualità dell'Aria (RRQA) presenti ad Alessandria la stazione da traffico di Alessandria D'annunzio (TU) e con quella di fondo urbano di Alessandria Volta (FU)

### 7.1 EFFETTI SU TEMPERATURA-UMIDITA'

Nei grafici seguenti vengono raffigurate le temperature minime, medie e massime rilevate nel corso delle due campagne di misura presso le postazioni scelte unitamente agli andamenti del giorno tipo. Rispetto agli andamenti orari, sul giorno tipo e sui giorni della settimana non si osservano differenze particolarmente significative. **Si nota tuttavia una leggera superiorità, di circa +0.5°C nella postazione "GREEN" rispetto a quella "NON GREEN", in particolare sulle temperature minime.** L'andamento del giorno tipo evidenzia infatti temperature più alte dalle 0 alle 6 e dalle 17 alle 24 presso la postazione dei giardini, ovvero le temperature più alte nella zona "GREEN" si registrano in assenza di sole.

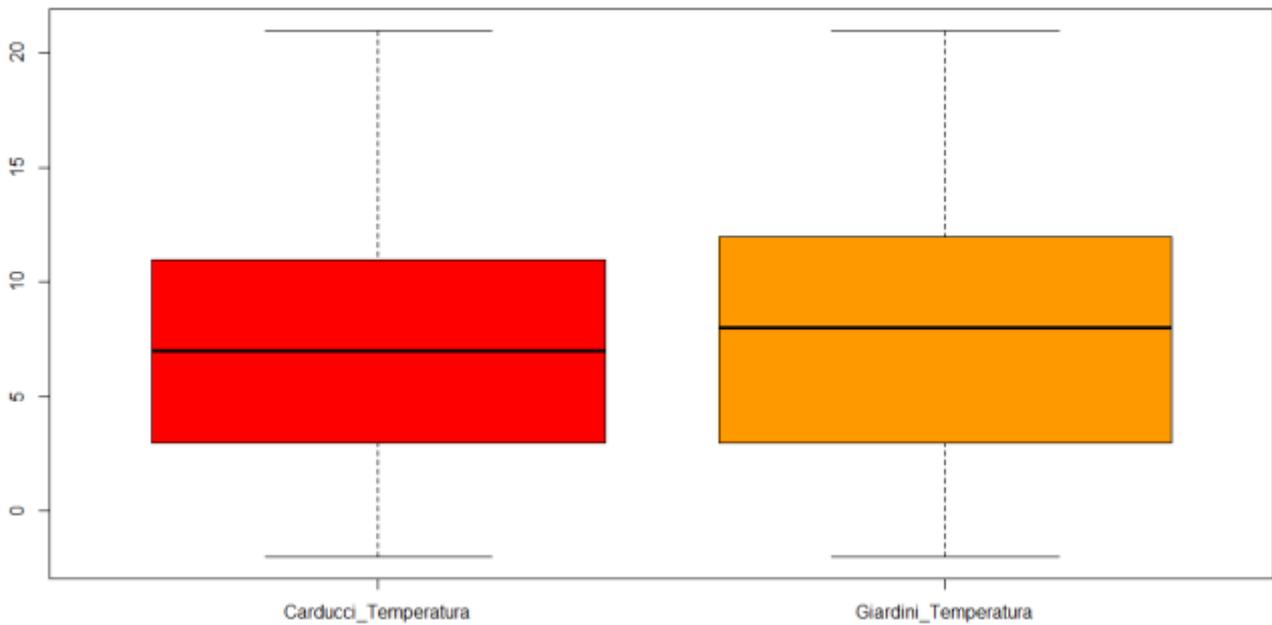
<sup>2</sup>Sistemi Previsionali Arpa Piemonte

**RELAZIONE TECNICA**



Prima campagna di monitoraggio-Giorno tipo e settimana tipo della temperatura. In rosso postazione “green” Giardini, in viola postazione “non green” Carducci

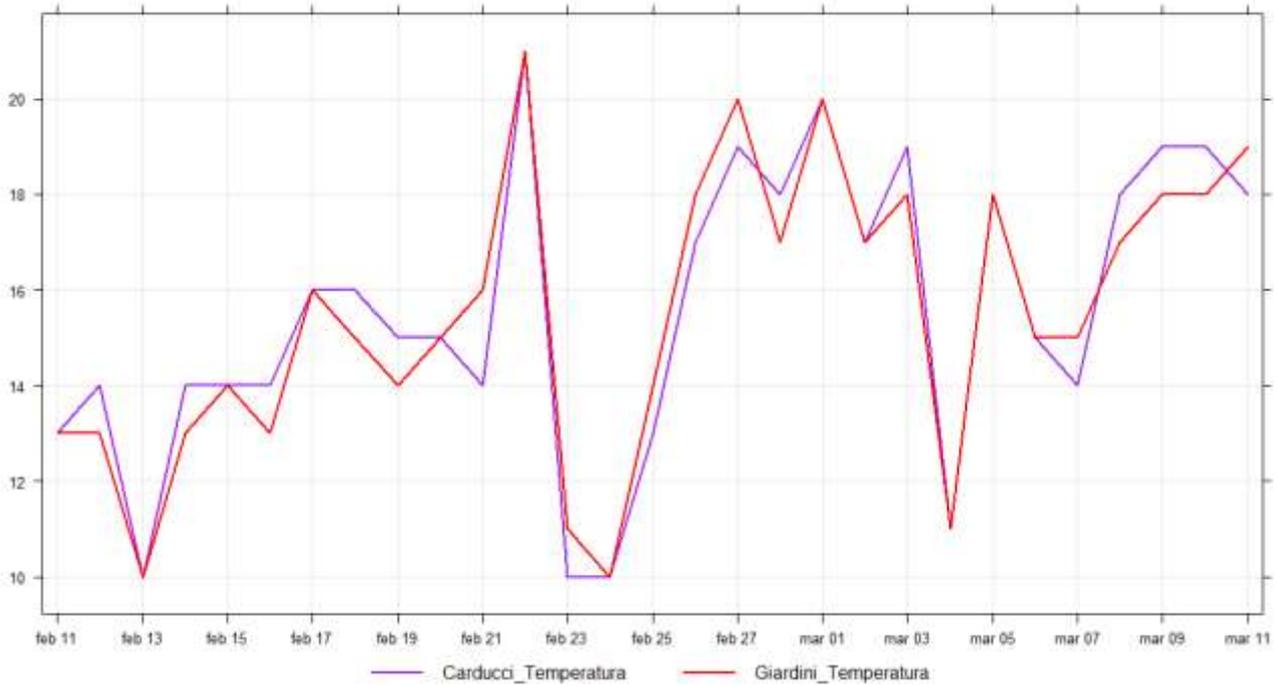
**Temperatura campagna inverno 2019**



Prima campagna di monitoraggio-box plot temperature. In arancio postazione “green” Giardini, in rosso postazione “non green” Carducci

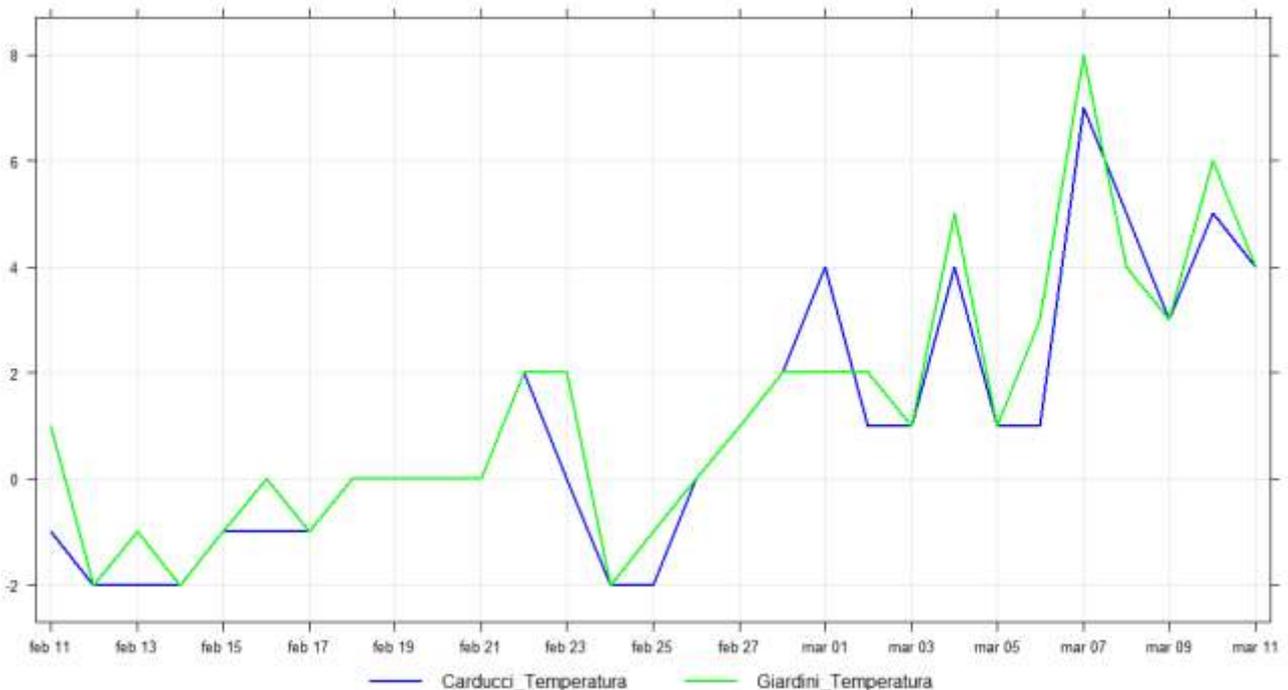
**RELAZIONE TECNICA**

Andamenti temperatura max giornaliera (°C)



Prima campagna di monitoraggio-Confronto tra temperature massime. In rosso postazione “green” Giardini, in viola postazione “non green” Carducci

Andamenti temperatura min giornaliera (°C)

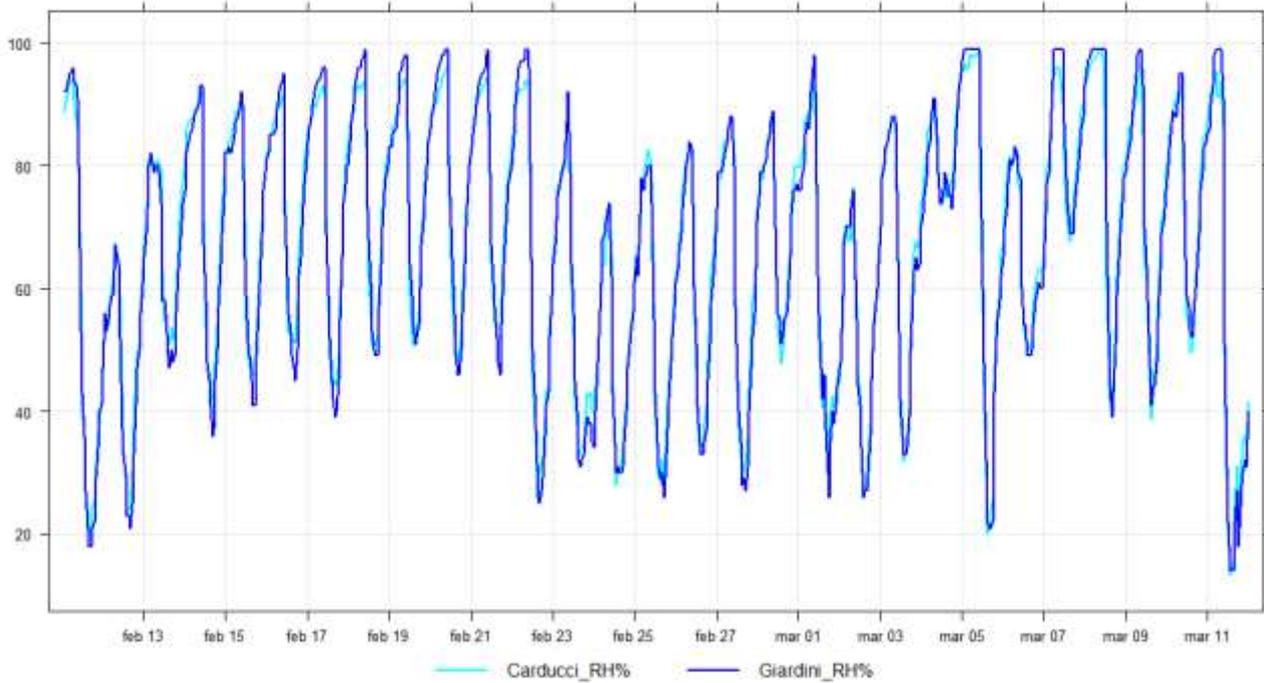


Prima campagna di monitoraggio-Confronto tra temperature minime. In verde postazione “green” Giardini, in blu la postazione “non green” Carducci

**Per quanto riguarda l’andamento dell’umidità relativa, non si riscontrano differenza tra le due postazioni. Gli andamenti per il periodo di misura sono del tutto coincidenti**

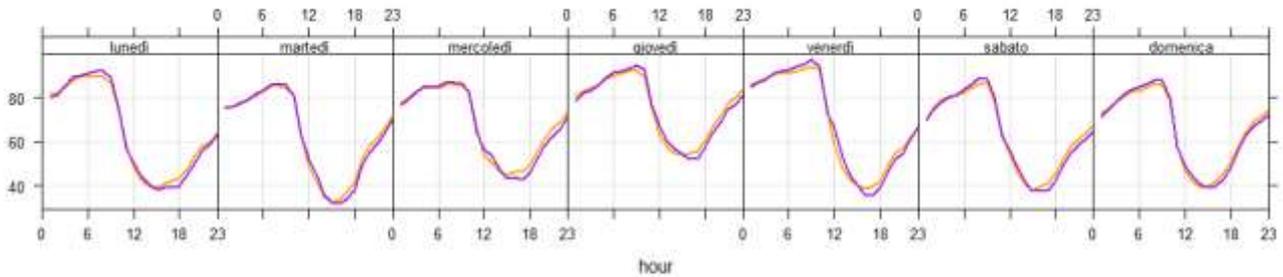
**RELAZIONE TECNICA**

Andamenti umidità relativa (°C)

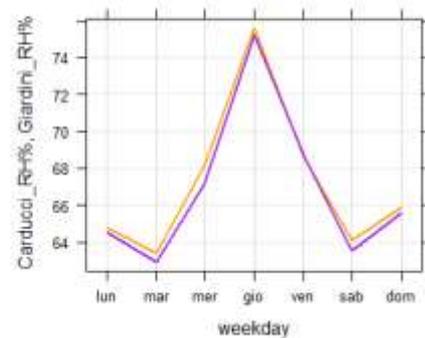
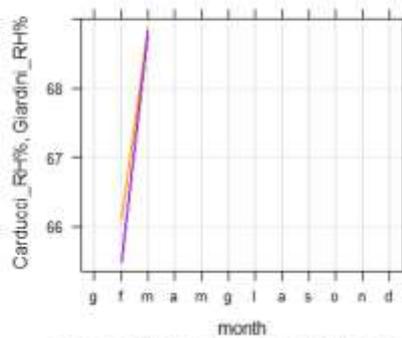
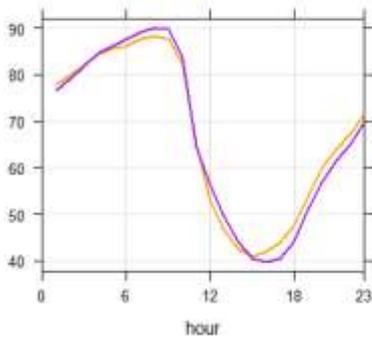


Prima campagna di monitoraggio-Confronto tra umidità relativa. In blu postazione “green” Giardini, in azzurro postazione “non green” Carducci

UMIDITA' RELATIVA



Carducci\_RH% Giardini\_RH%



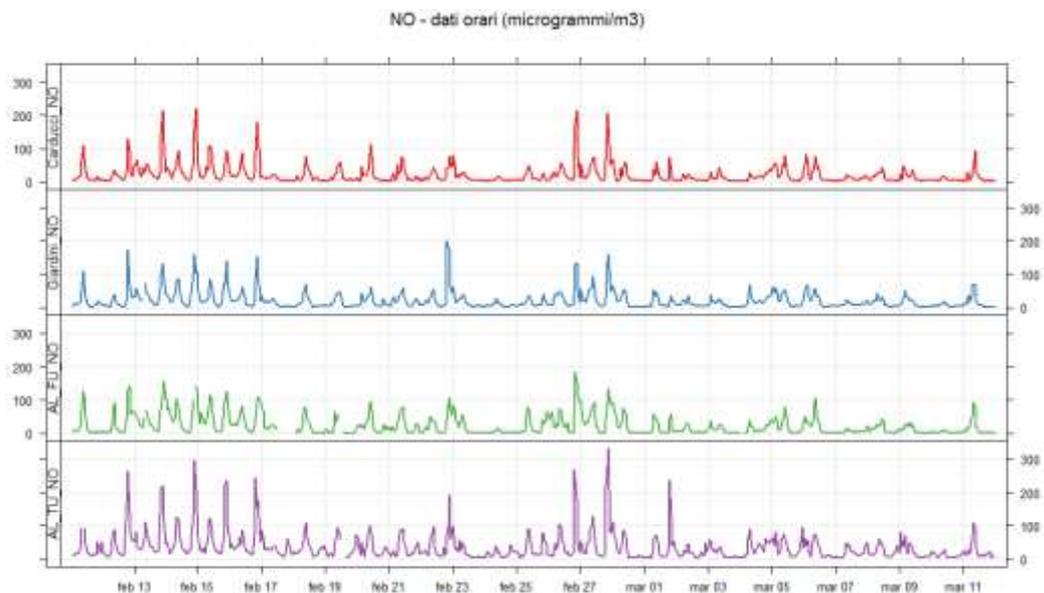
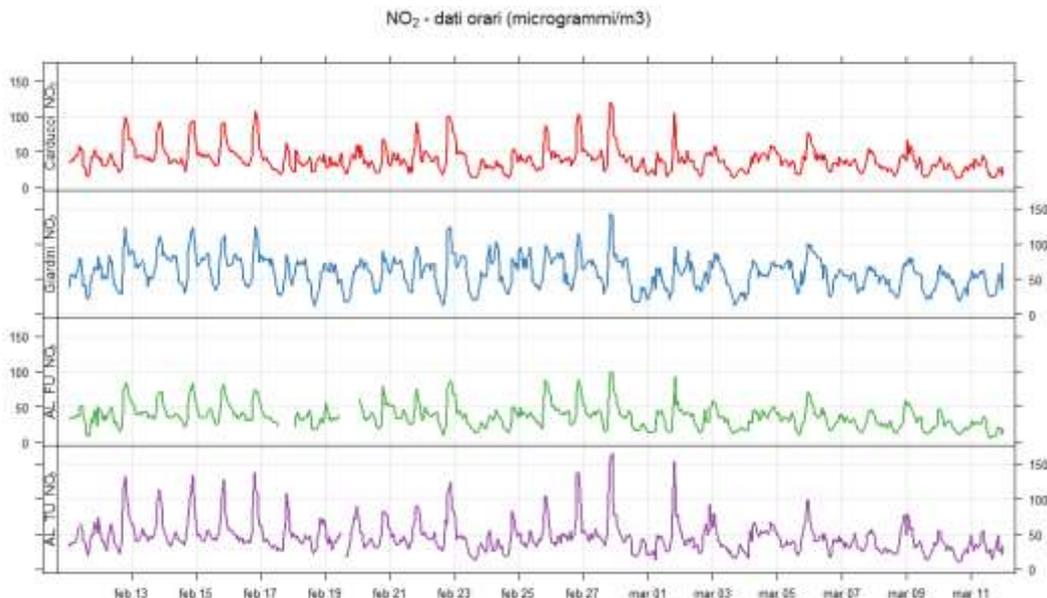
mean and 95% confidence interval in mean

Prima campagna di monitoraggio-Giorno tipo e settimana tipo della tumidità relativa. In viola postazione “green” Giardini, in arancio la postazione “non green” Carducci

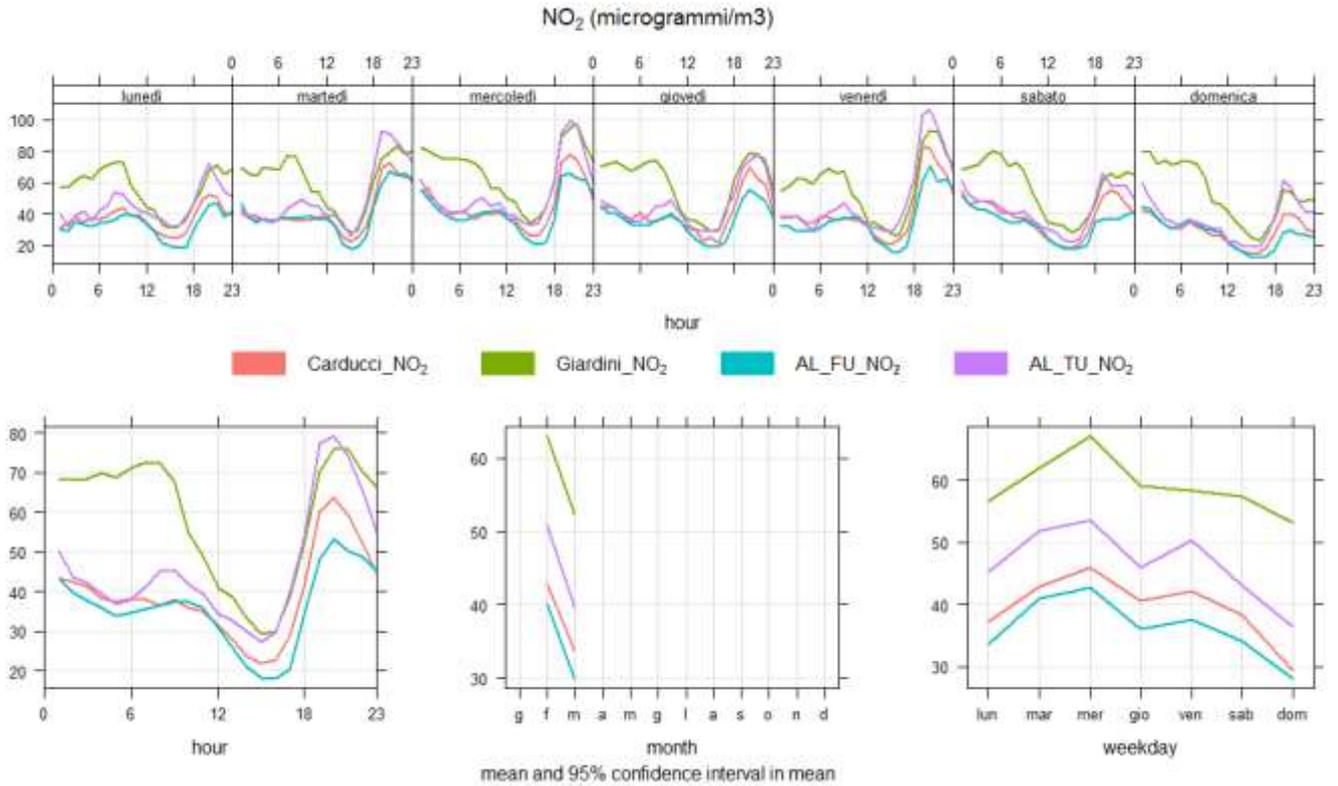
## 7.2 EFFETTI SUGLI INQUINANTI

### 7.2.1 OSSIDI DI AZOTO NO/NO<sub>2</sub>

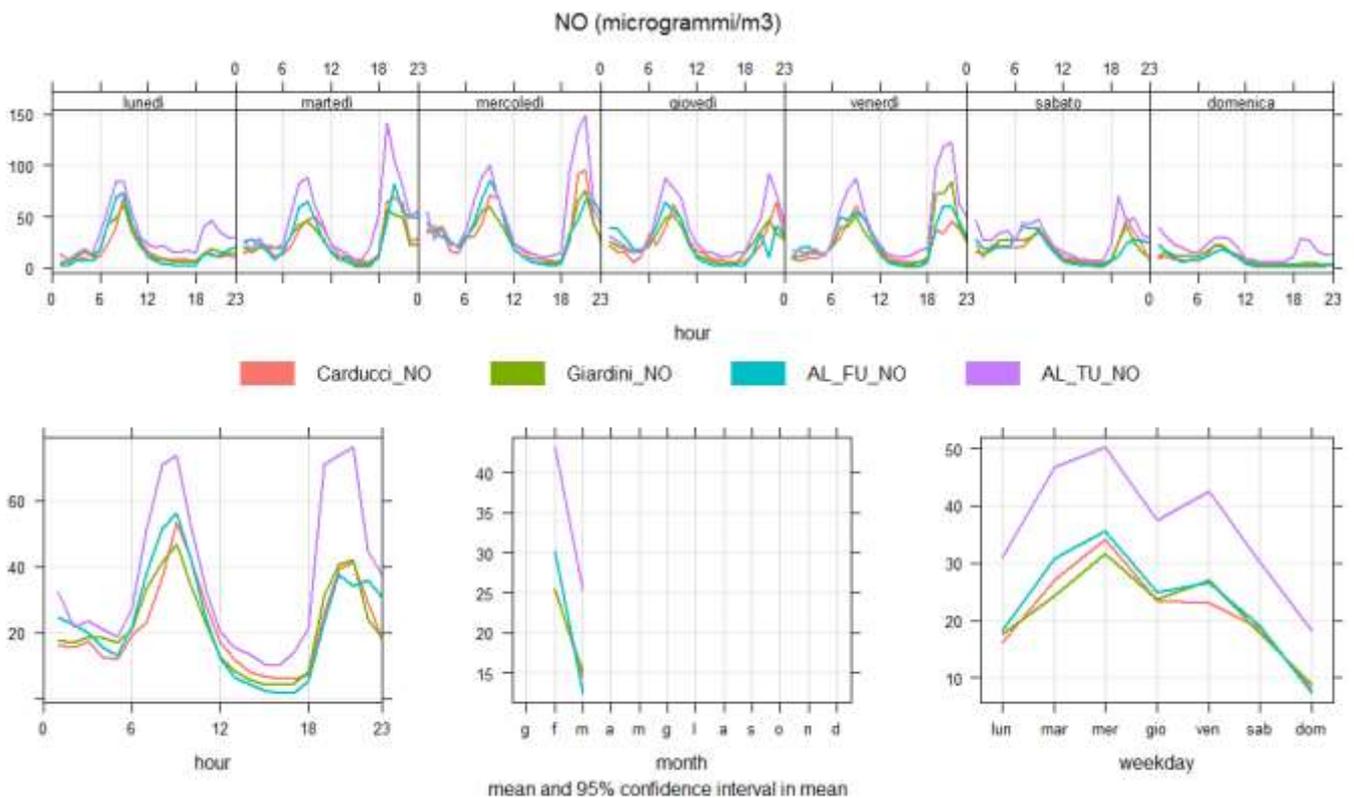
I grafici sottostanti rappresentano le concentrazioni orarie per monossido di azoto (NO) e biossido di azoto (NO<sub>2</sub>) registrati nel periodo di monitoraggio nei due siti di indagine (green e non green) e presso le stazioni della rete regionale. Analizzando gli andamenti giornalieri degli inquinati, possiamo individuare in entrambi i siti sia la presenza del picco mattutino e serale sia di NO che di NO<sub>2</sub>. Per NO gli andamenti presso la scuola Carducci risultano simili a quelli della postazione dei giardini ed alla stazione di fondo di Alessandria Volta mentre la stazione da traffico di p.za d'Annunzio presenta picchi di inquinamento decisamente più elevati. Questi andamenti trovano corrispondenza nell'andamento del traffico veicolare, principale sorgente urbana di NOx, che presenta un incremento il mattino e la sera, ridotto o assente invece nelle giornate festive. Gli andamenti di NO<sub>2</sub> invece presentano alcune differenze già riscontrate in analoghe campagne con valori più alti in area verde, probabilmente a causa di un diverso bilanciamento delle reazioni tipiche del ciclo degli ossidi di azoto ad opera degli alberi o per effetto indiretto sul ciclo fotochimico degli ossidi di azoto della differente filtrazione della luce solare. Le differenze di NO<sub>2</sub> tra postazione giardini e Carducci variano da 10 a 30 microgrammi/m<sup>3</sup> nelle ore della giornata soprattutto per effetto degli elevati valori notturni di NO<sub>2</sub> registrati presso i giardini comunali.



**RELAZIONE TECNICA**

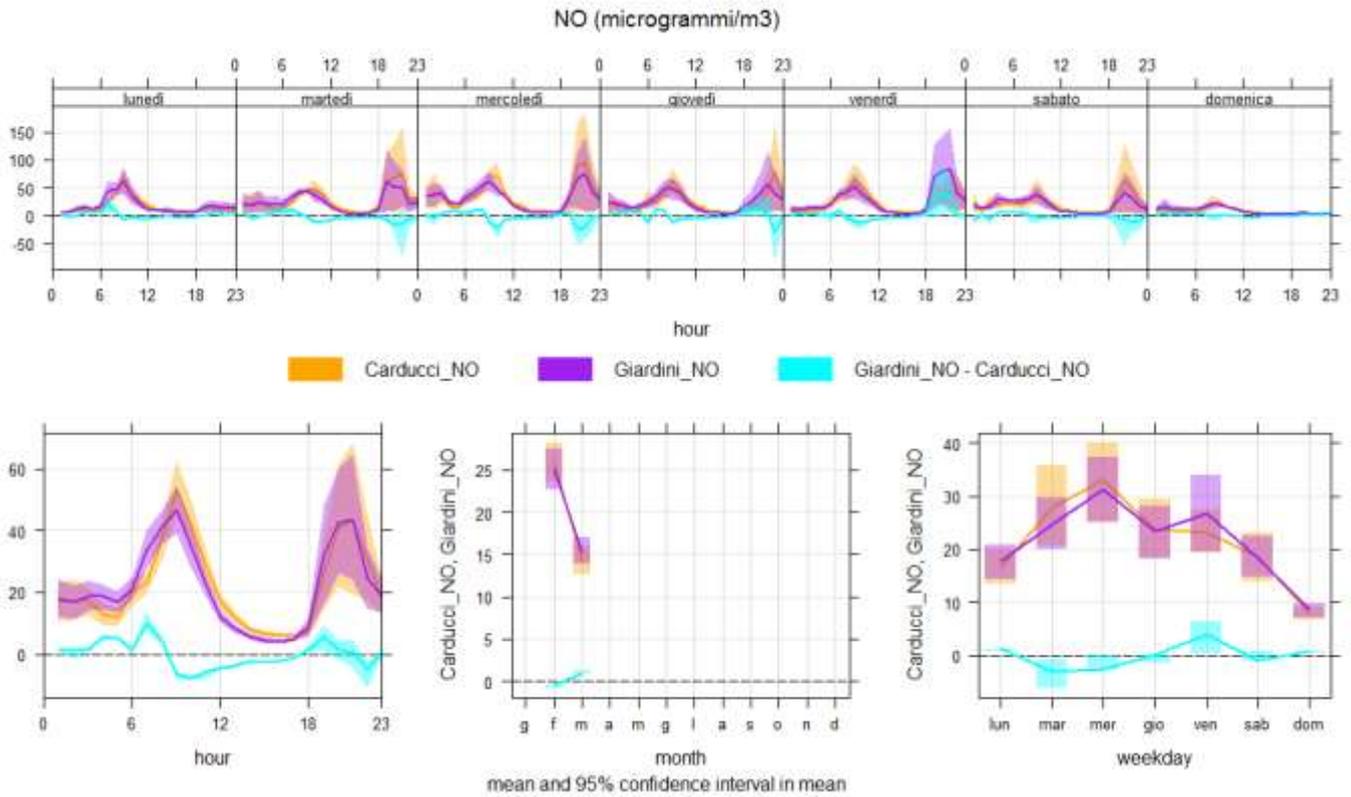


*Prima campagna di monitoraggio-Giorno tipo NO<sub>2</sub>. In verde la postazione “green” dei giardini, in rosa la postazione “non green” Carducci*

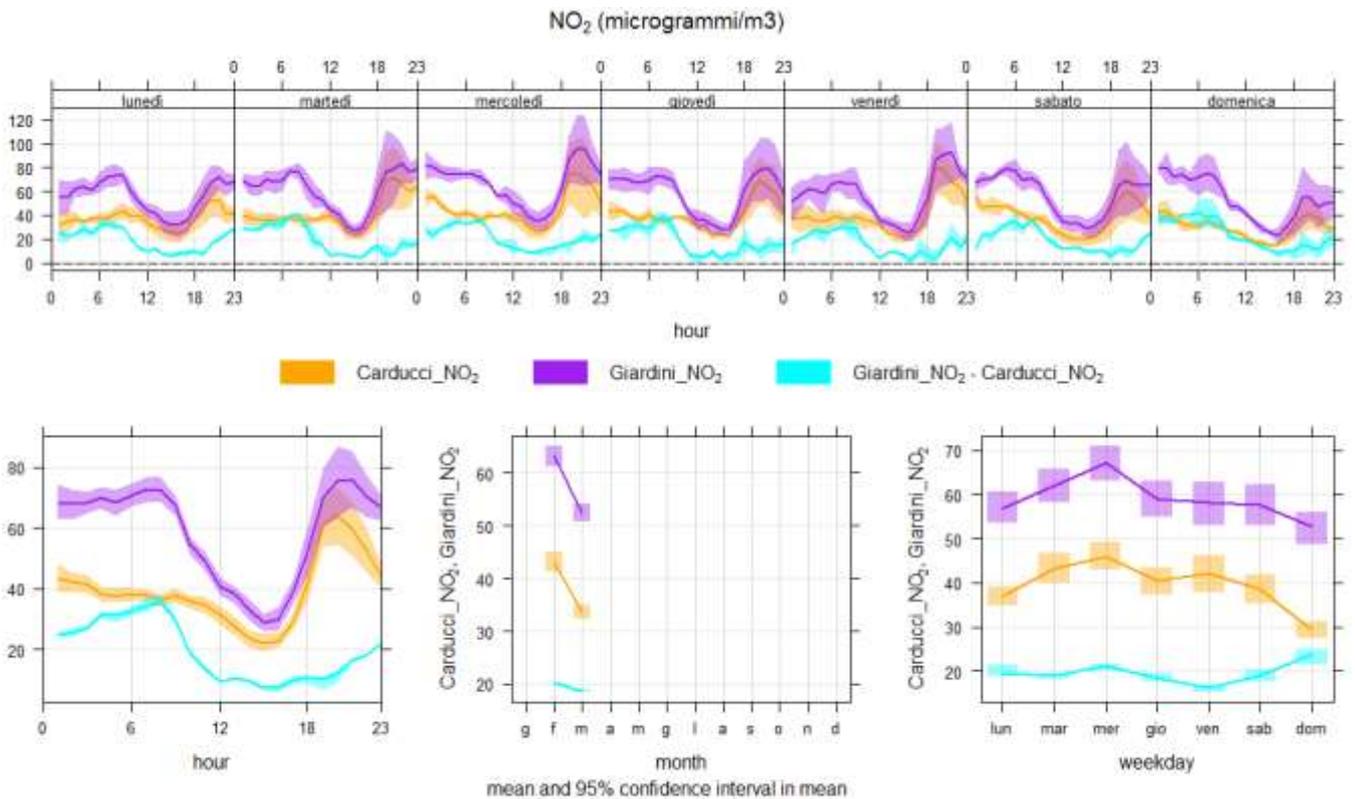


*Prima campagna di monitoraggio-Giorno tipo NO. In verde la postazione “green” dei giardini, in rosa la postazione “non green” Carducci*

**RELAZIONE TECNICA**



*Prima campagna di monitoraggio-Settimana tipo NO. In viola postazione "green" - in arancio postazione "non green", in azzurro la differenza tra le due*

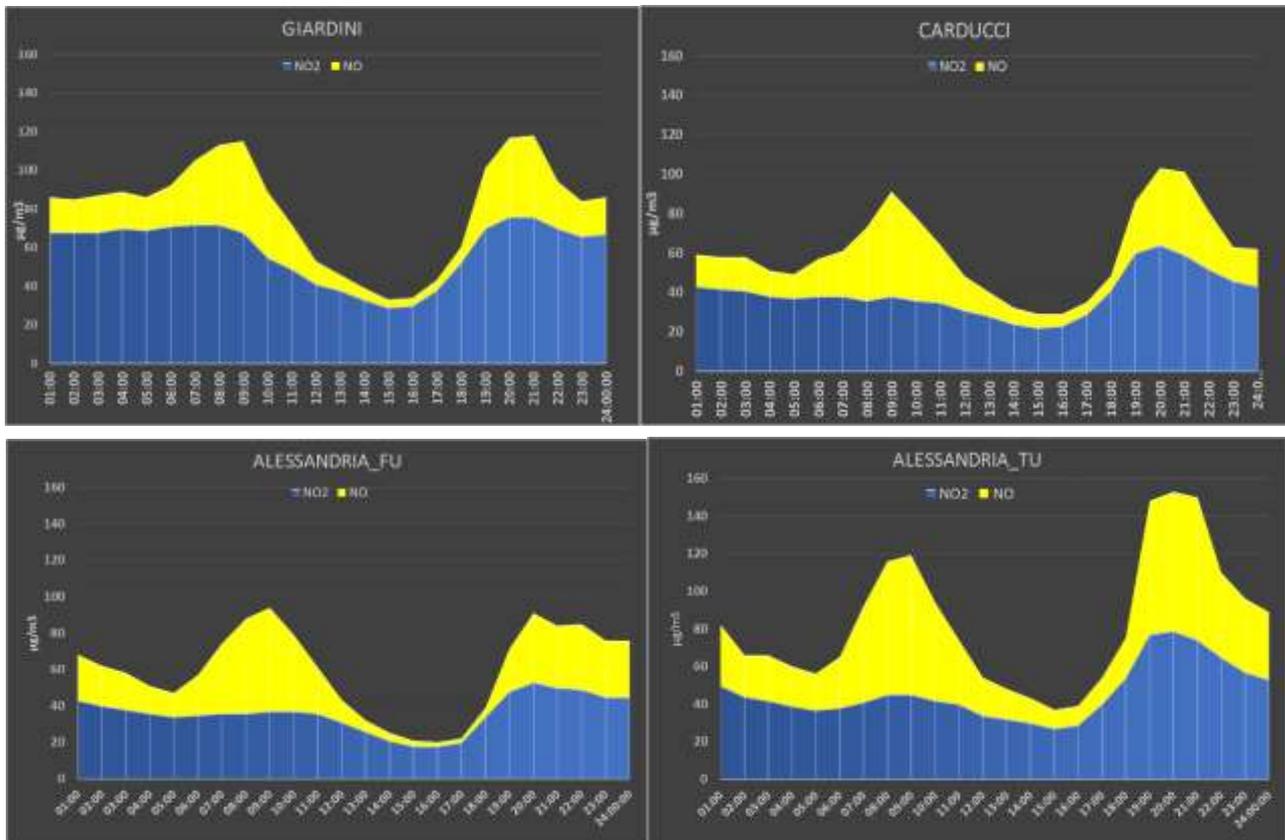


*Prima campagna di monitoraggio-Settimana tipo NO<sub>2</sub>. In viola postazione "green" - in arancio postazione "non green", in azzurro la differenza tra le due*

**RELAZIONE TECNICA**

Nelle figure precedenti vengono rappresentate le concentrazioni medie giornaliere dei due inquinanti nei vari giorni della settimana: nel corso della campagna di misura mediamente le concentrazioni di NO risultano simili nelle due postazioni e decisamente più basse nei fine settimana. Il biossido di azoto invece evidenzia differenze costanti su tutti i giorni della settimana, con decremento per entrambe nei fine settimana. Mediamente presso il sito “GREEN” dei giardini si hanno concentrazioni di NO<sub>2</sub> superiori del 50% circa rispetto al sito “NON GREEN”. Tale effetto è stato riscontrato in precedenti analoghe campagne<sup>3</sup> è compensato dalla diminuzione di ozono come più avanti spiegato.

Se si considerano le concentrazioni totali di NO<sub>x</sub> come somma di NO+NO<sub>2</sub> misurate nel corso della campagna dove i contributi di NO<sub>x</sub> derivavano dalle emissioni primarie dei veicoli in transito sulle arterie urbane, i profili di NO per il sito Giardini, Scuola Carducci e AL\_FU (fondo urbano) sono simili tra loro mentre le concentrazioni registrate della stazione di traffico presentano picchi molto più pronunciati tipici delle ore di punta del traffico del mattino e del tardo pomeriggio. Per gli NO<sub>2</sub> invece sulle stazioni di qualità dell’aria e presso la scuola hanno valori massimi notturni attorno ai 40 microgrammi/m<sup>3</sup>, la postazione dei Giardini raggiunge valori di 60microgrammi/m<sup>3</sup>.

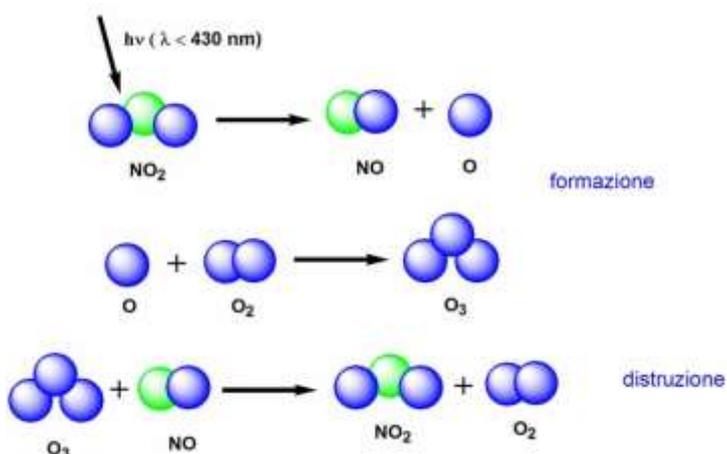


Giorno tipo NO<sub>x</sub>-NO-NO<sub>2</sub>. In azzurro NO<sub>2</sub> - in giallo NO<sub>x</sub>-NO<sub>2</sub>- postazione “green”- Giardini, postazione “non green” Scuola Carducci e stazioni fisse RRQA di fondo urbano (FU) e traffico urbano (TU)

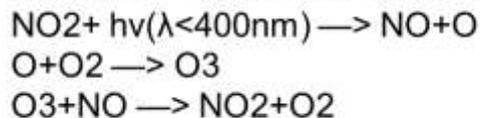
Le misure di NO e NO<sub>2</sub> giornaliere sono state analizzate congiuntamente ai livelli di Ozono in quanto questi inquinanti sono coinvolti in una serie di reazioni fotochimiche comuni (ciclo foto-stazionario dell’ozono), a cui si somma l’effetto delle piante nelle postazioni con alberi. Come è noto infatti, da un lato alcune specie possono rimuovere ozono e altri inquinanti per assorbimento all’interno delle foglie, dall’altro rilasciano nell’aria composti organici volatili che possono intervenire nelle reazioni di formazione dell’ozono.

<sup>3</sup> Rif.to relazione tecnica Arpa Piemonte N°G07\_2018\_01245\_22, “PROGETTO FORESTAZIONE URBANA NEL COMUNE DI ASTI – LUGLIO-AGOSTO 2018”

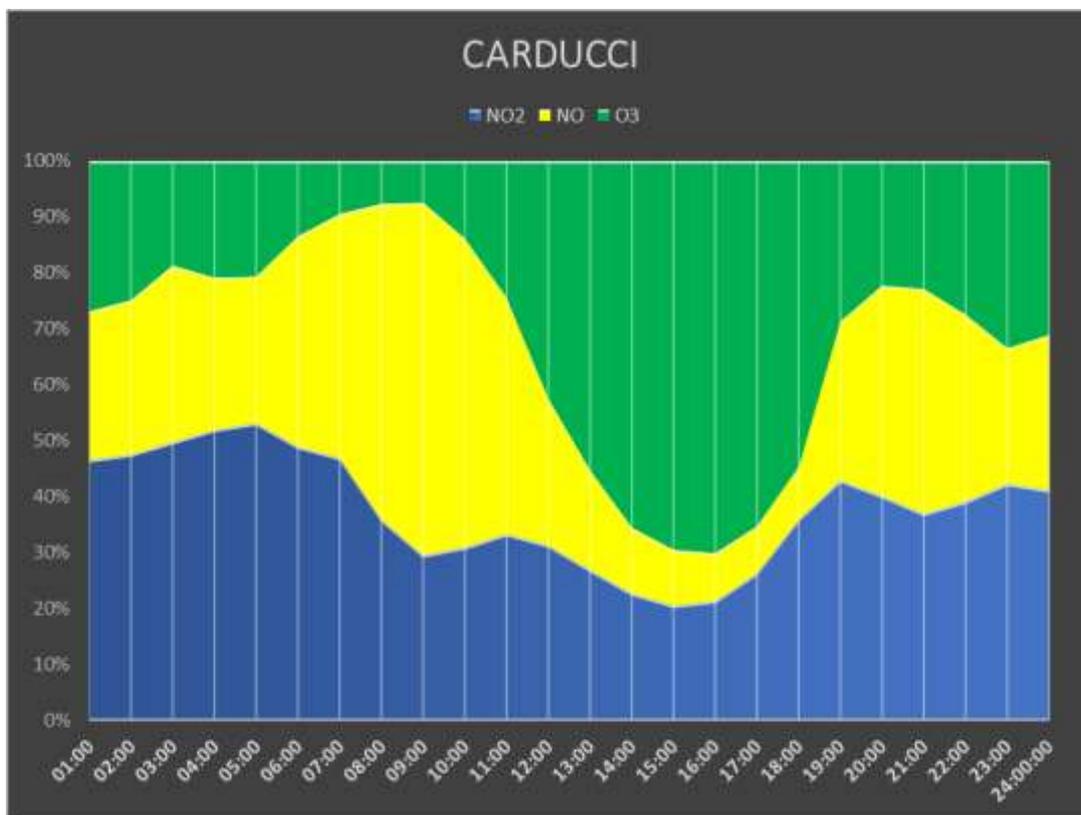
**RELAZIONE TECNICA**



**Ciclo foto-stazionario dell'ozono**

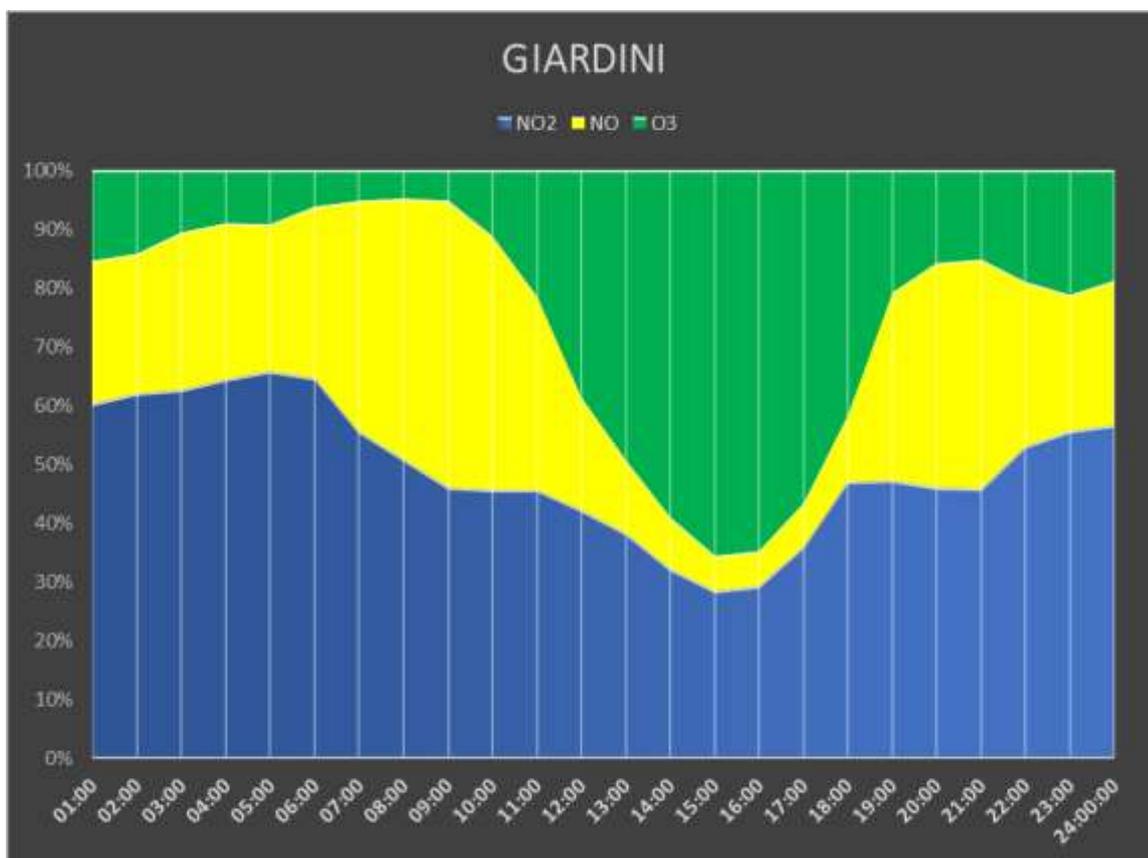


Considerando i grafici seguenti dove sono rappresentati i rapporti percentuali delle concentrazioni (esprese in ppb volume) di ozono, NO e NO<sub>2</sub> si note che, se da un lato è certo che la presenza di vegetazione modifichi gli equilibri delle reazioni tra le specie considerate, tuttavia, non è possibile dare una spiegazione completa del fenomeno in quanto mancano elementi essenziali di valutazione come l'andamento dei cicli fisiologici di ciascuna pianta e le sue emissioni caratteristiche in funzione delle condizioni di temperatura e irraggiamento. Ci limitiamo qui a constatare che presso Carducci (sito NON GREEN) si ha una maggior presenza di NO nelle prime ore del mattino che tende a scendere, insieme a NO<sub>2</sub> man mano che aumenta l'irraggiamento solare con contestuale formazione di elevate concentrazioni di ozono. L'OZONO presso Carducci inoltre è già elevato nelle prime ore del mattino (circa 25% di abbondanza percentuale dalle 01 alle 05 am) per poi scendere man mano che subentra il contributo degli ossidi di azoto provenienti da traffico e riscaldamento e rialzarsi nella ore centrali della giornata per effetto dell'irraggiamento solare. Dopo le 16.00 il ciclo gradualmente si inverte e l'ozono si dissocia con contestuale aumento di NO e NO<sub>2</sub> nelle ore serali.



Giorno tipo abbondanza percentuale O<sub>3</sub>-NO-NO<sub>2</sub>. postazione "non-green" Carducci

Presso i giardini (sito GREEN), si presenta una analoga dinamica ma con bilanciamenti differenti. La presenza di OZONO è decisamente inferiore soprattutto nelle prime ore del mattino (< 15% di abbondanza percentuale dalle 01 alle 05 am). La minore formazione di ozono (-10% in media tra sito GREEN e NON GREEN) è compensata da un contributo superiore di NO<sub>2</sub>. L'abbondanza percentuale di OZONO (in verde nei grafici) è chiaramente più ridotta nell'arco della giornata nel sito GREEN rispetto a quello NON GREEN; permane al contrario un maggior livello di NO<sub>2</sub>. Risultati analoghi sono stati riscontrati durante campagne svolte da Arpa Piemonte presso il comune di Asti e da Arpa Emilia Romagna nell'ambito del progetto Iscape<sup>4</sup>. Ciò fa presumere un effetto della vegetazione sugli equilibri di reazione esistenti tra i 3 inquinanti, con effetto netto di riduzione dell'ozono che, se fosse confermato da ulteriori studi, sarebbe senz'altro un dato positivo in estate, anche a fronte di un aumento degli ossidi di azoto, mentre in inverno avrebbe un effetto negativo. Va tenuto conto che la vegetazione ha effetti differenti a seconda della tipologia, delle dimensioni, della sua distribuzione spaziale: i migliori risultati si ottengono solo progettando un verde urbano appositamente studiato come forma, dimensioni ed essenze al fine di ottenere i benefici attesi.



Giorno tipo abbondanza percentuale O<sub>3</sub>-NO-NO<sub>2</sub>. postazione "green" Giardini

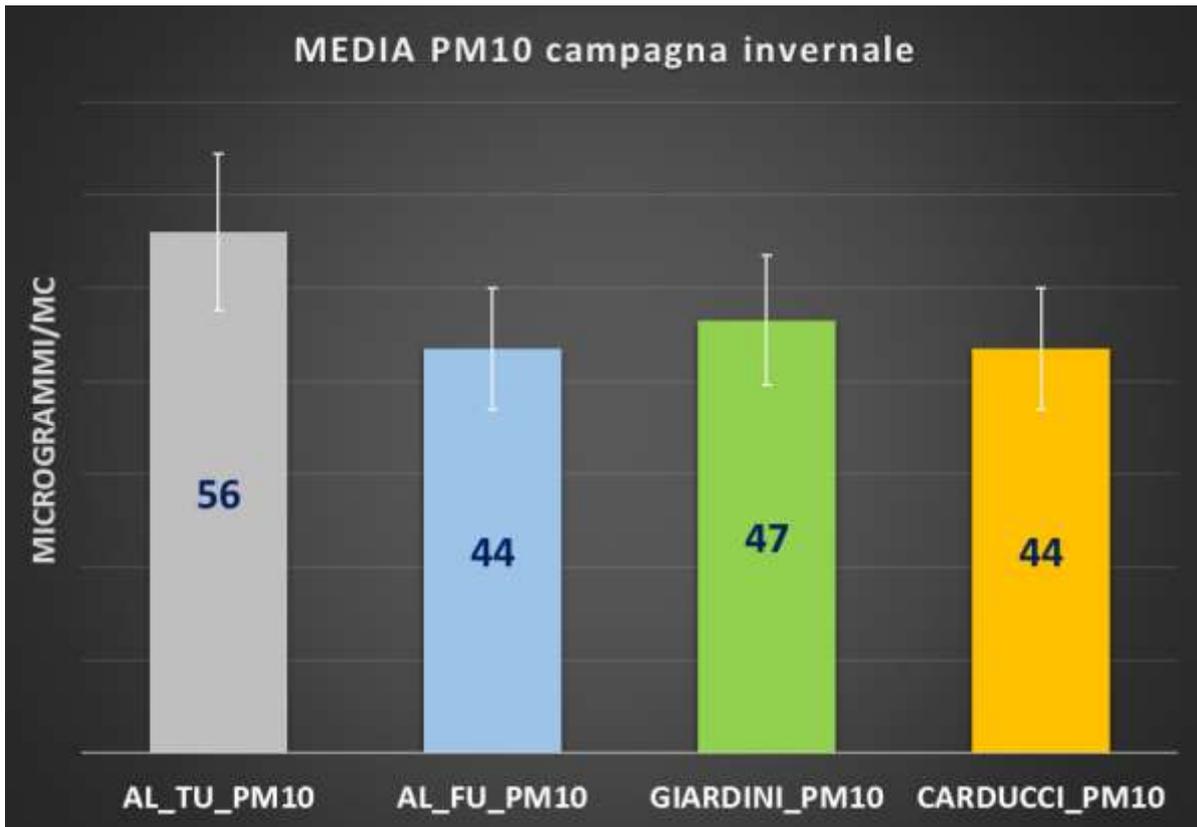
### 7.2.2 POLVERI PM10

Le concentrazioni medie di PM10 relative alla campagna di misura invernale sono raffigurate nel grafico sottostante e confrontate con quelle ottenute presso le due stazioni urbane di Alessandria. Come visibile la zona esposta a traffico mostra concentrazioni decisamente superiori di polveri PM10 mentre le altre tre postazioni mostrano medie confrontabili, con differenze inferiori all'incertezza di misura stimata pari al 13%<sup>5</sup>.

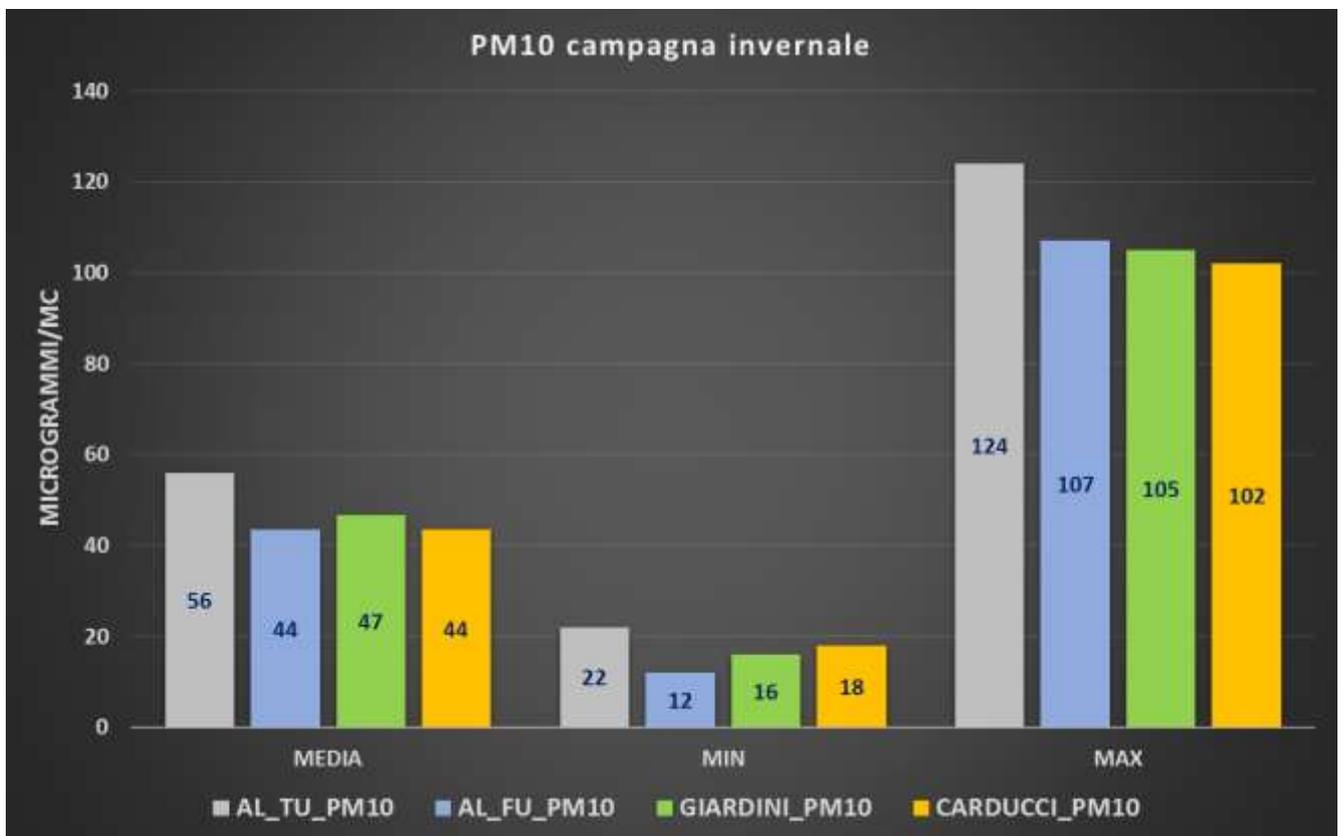
<sup>4</sup> [www.iscapeproject.eu](http://www.iscapeproject.eu)

<sup>5</sup> rif. UNI EN 12341/2014

**RELAZIONE TECNICA**

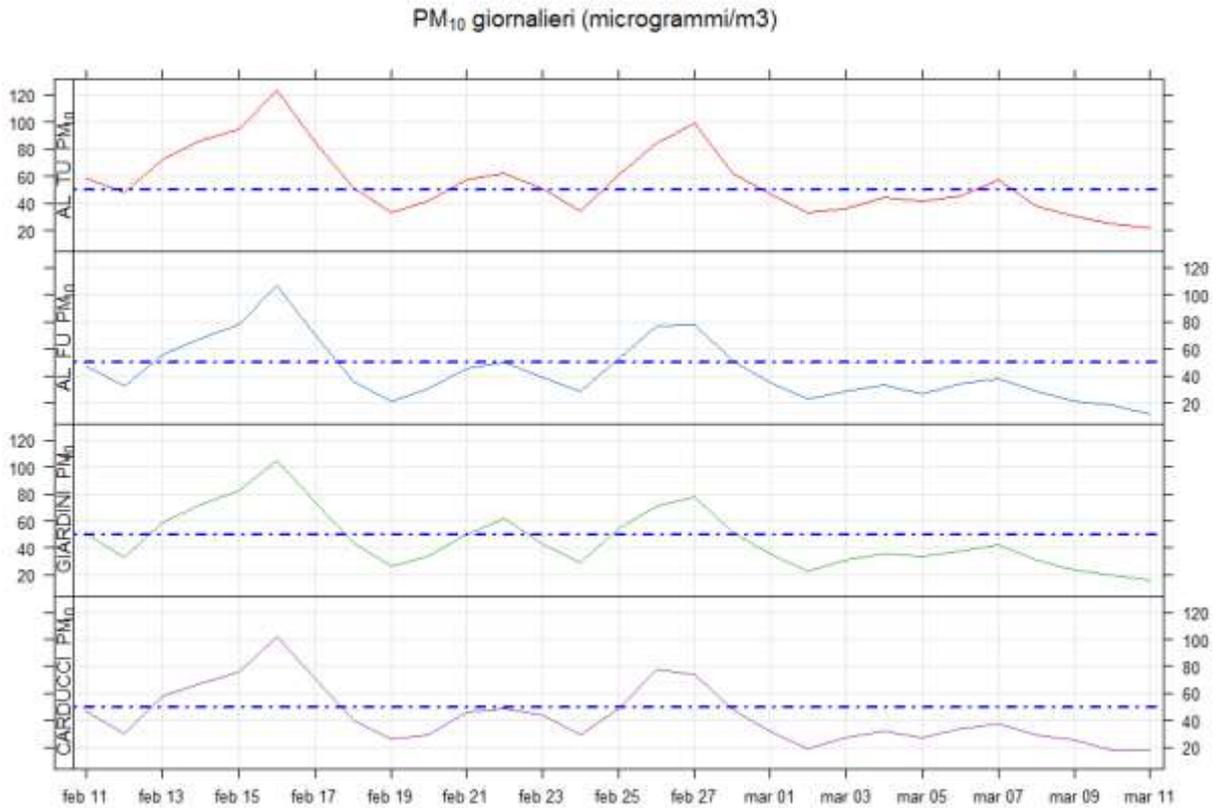


Concentrazioni medie PM10. In verde postazione "green" Giardini, in giallo postazione "non green" Scuola Carducci e stazioni fisse RRQA fondo (AL\_FU) e traffico (AL\_TU) urbano di Alessandria



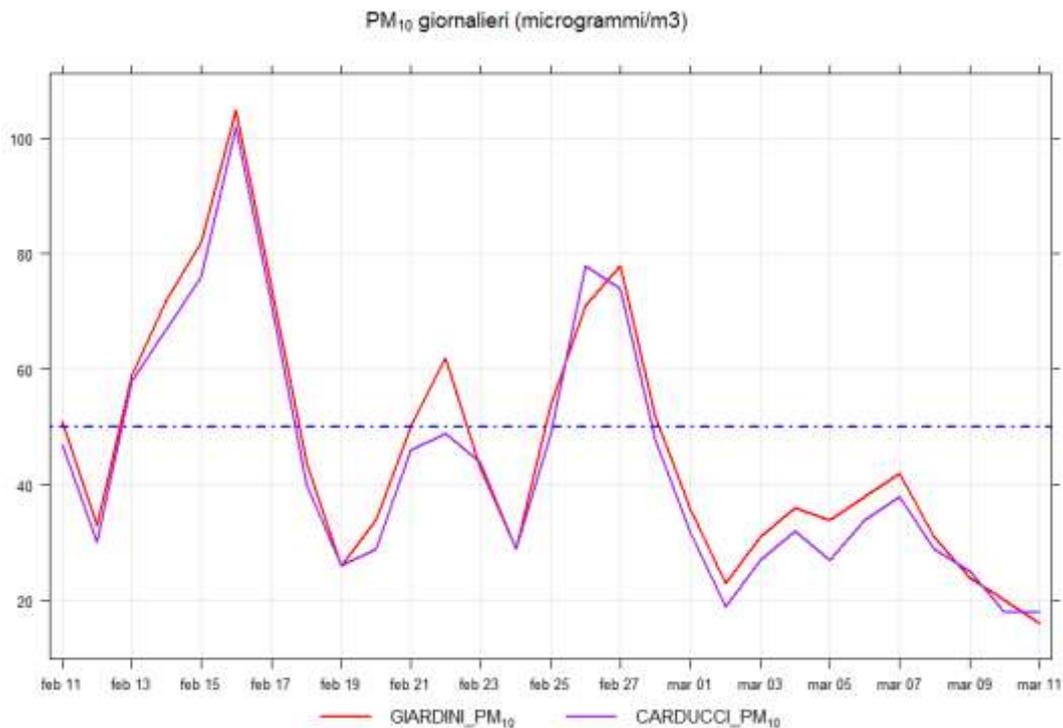
Concentrazioni medie/min/max di PM10. In verde postazione "green" Giardini, in giallo postazione "non green" Scuola Carducci e stazioni fisse RRQA fondo (AL\_FU) e traffico (AL\_TU) urbano di Alessandria

**RELAZIONE TECNICA**



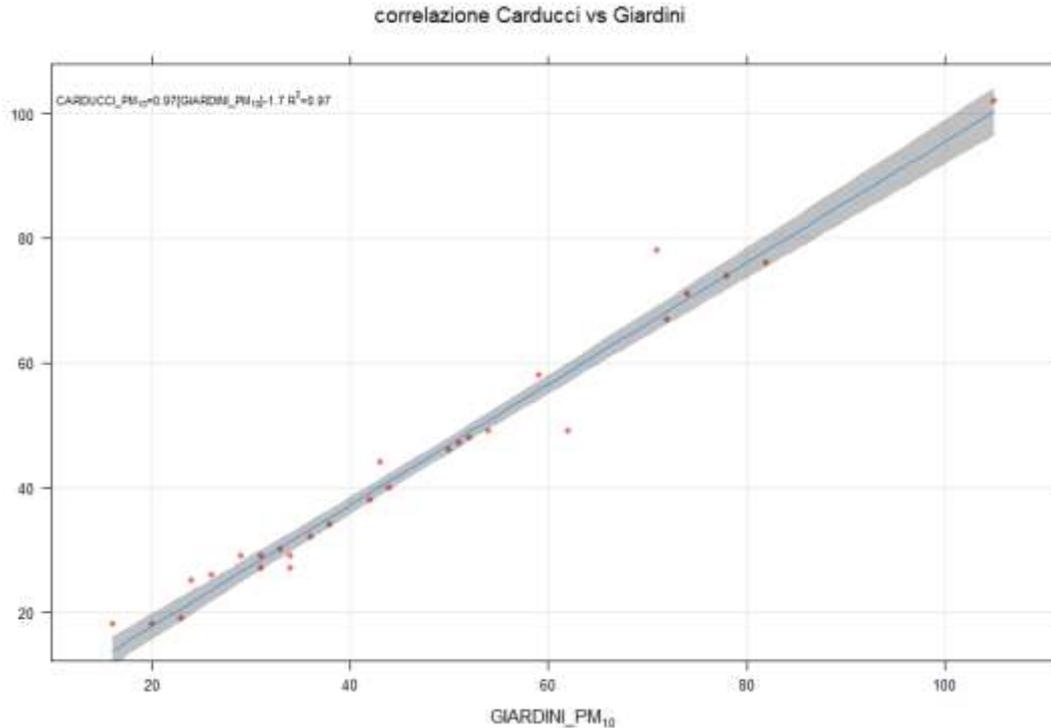
Andamenti medie giornaliere di PM<sub>10</sub> nel periodo di misura

**Il confronto delle medie giornaliere di PM<sub>10</sub> tra le due postazioni GREEN e NON GREEN non mostra differenze.** Si segnala solo una differenza non significativa, di circa +3% della postazione GREEN Giardini rispetto alla postazione NON GREEN Carducci.



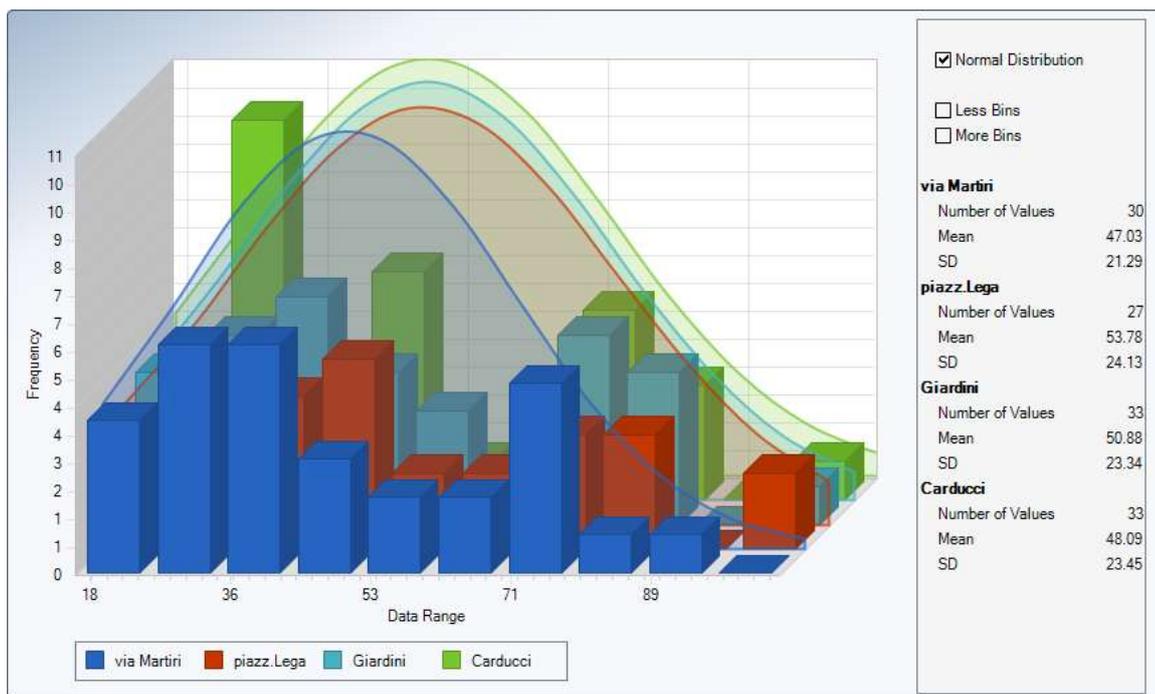
Andamenti medie giornaliere di PM<sub>10</sub> nel periodo di misura. In rosso postazione “green” Giardini, in viola postazione “non green” Scuola Carducci

**RELAZIONE TECNICA**



Regressione lineare e coefficiente  $R^2$  tra i dati di Scuola Carducci e quelli della postazione Giardini

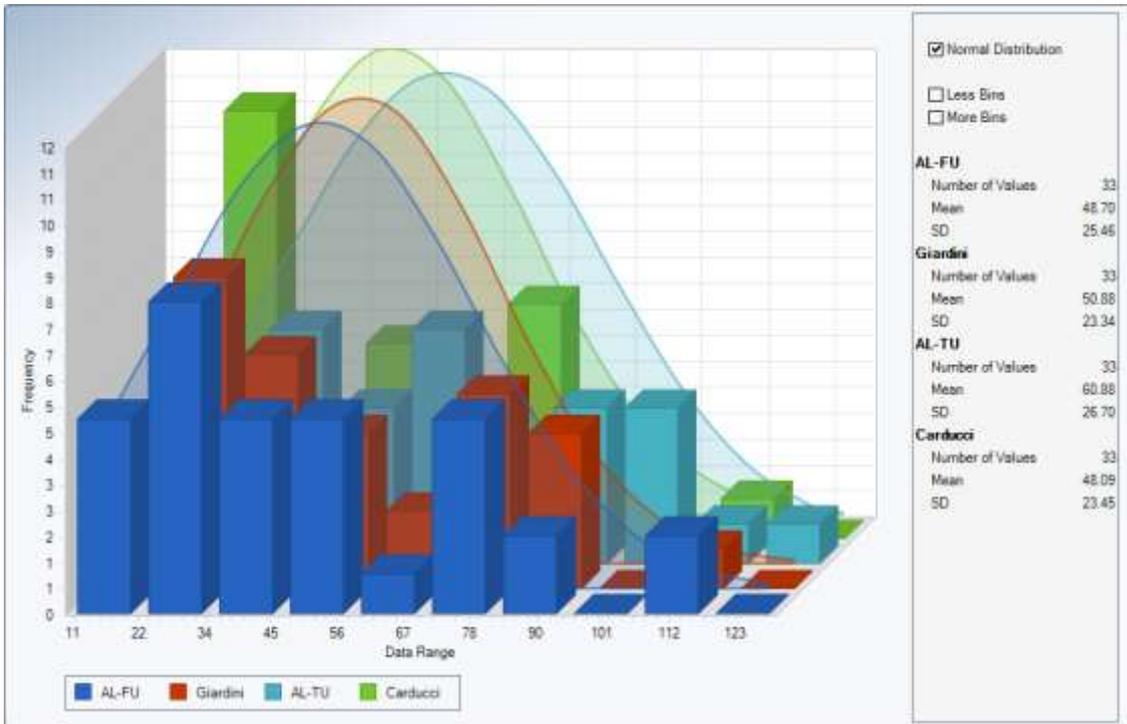
Nella trattazione sotto riportata si sono considerati i dati di PM10 misurati in altre due postazioni di centro urbano nel medesimo periodo: Piazza della Lega e Via dei Martiri (poste in zona centrale a traffico limitato) dove era in corso una sperimentazione legata all'abbattimento delle polveri sottili mediante utilizzo di unità filtranti di trattamento aria. Negli istogrammi di frequenza sotto riportati si confrontano i valori di PM10 relativi alle varie postazioni di misura. In ISTOGRAMMA 1 che riporta i dati nelle quattro postazioni centrali si evidenzia una distribuzione di dati confrontabile. I test statistici di equivalenza parametrici (t-test) e non parametrici (Wilcoxon-Mann-Whitney-Test) indicano una sostanziale equivalenza dei gruppi di dati.



ISTOGRAMMA 1 - Curva distributiva dei dati di PM10 giornalieri nelle postazioni Via dei martiri (zona ZTL con unità filtranti), p.za Lega (zona ZTL senza unità filtranti), Giardini (sito GREEN) e scuola Carducci (sito NON GREEN)

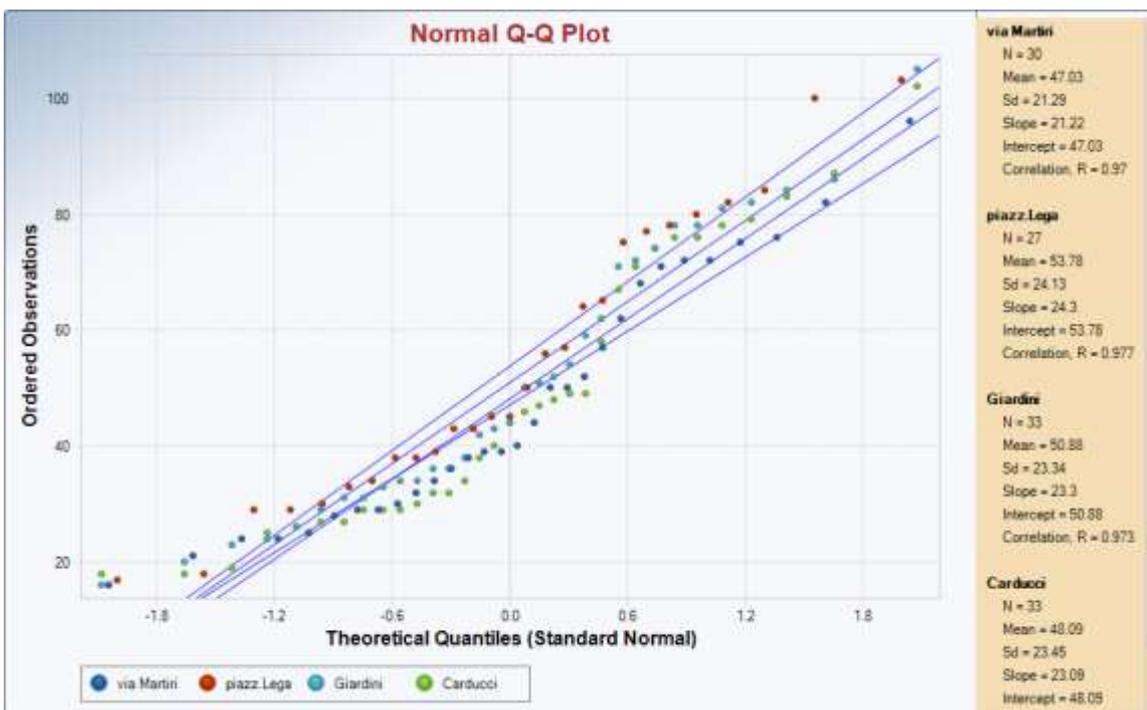
**RELAZIONE TECNICA**

In ISTOGRAMMA 2 che riporta i dati nelle due postazioni GREEN e NON GREEN insieme alle due postazioni fisse di traffico e fondo urbano, si evidenzia una distribuzione di dati confrontabile tranne per la postazione di traffico di Alessandria D'Annunzio che ha livelli decisamente più elevati.



ISTOGRAMMA 2 - Curva distributiva dei dati di PM10 giornalieri nelle postazioni Stazione fissa fondo urbano (AL\_FU), stazione fissa traffico urbano (AL\_TU), Giardini (sito GREEN) e scuola Carducci (sito NON GREEN)

Di seguito si riportano anche i QQ\_PLOT che rappresentano graficamente i quantili di una distribuzione in relazione ad una curva teorica di tipo gaussiano: più i punti di allineano lungo la retta bisettrice, maggiore è la corrispondenza con una distribuzione normale.



QQ\_PLOT 1 – Retta dei quantili dei dati di PM10 giornalieri nelle postazioni Via dei martiri (zona ZTL con unità filtranti), p.za Lega (zona ZTL senza unità filtranti), Giardini (sito GREEN) e scuola Carducci (sito NON GREEN)

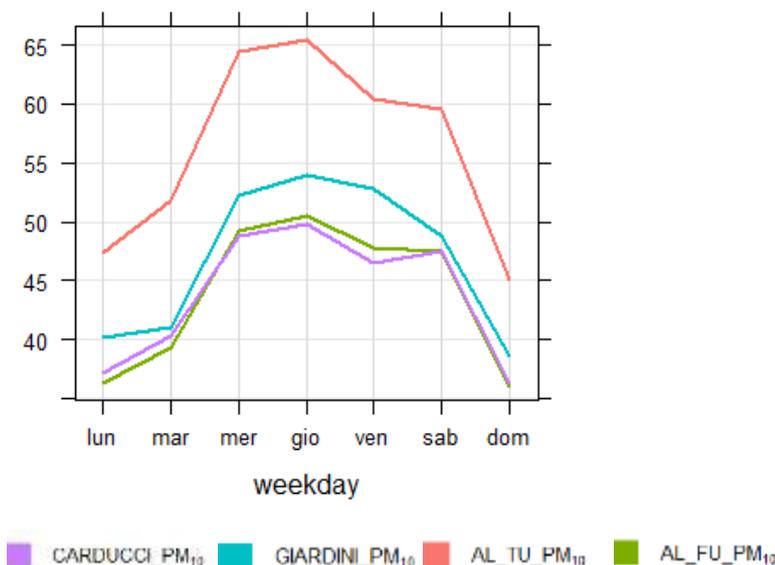
**RELAZIONE TECNICA**

Anche in questo caso si nota come l'unica distribuzione differente dalle altre è quella della stazione di TRAFFICO URBANO



QWQ\_PLOT 2 – Retta dei quantili dei dati di PM10 giornalieri nelle postazioni Stazione fissa fondo urbano (AL\_FU), stazione fissa traffico urbano (AL\_TU), Giardini (sito GREEN) e scuola Carducci (sito NON GREEN)

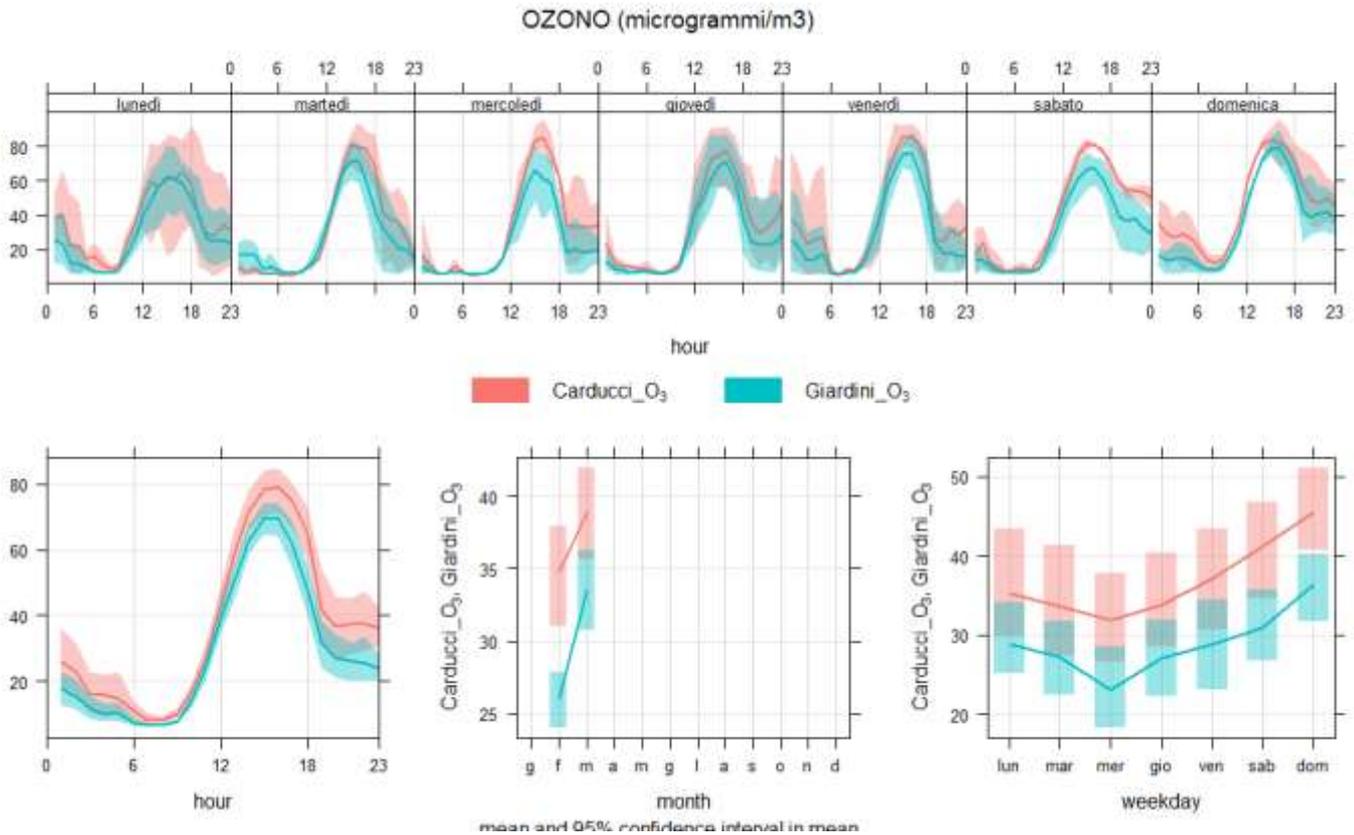
L'andamento della settimana tipo evidenzia concentrazioni sui giorni della settimana sovrapponibili tra sito NON GREEN e fondo urbano di Alessandria, mentre ai giardini si hanno livelli talvolta leggermente superiori anche se confrontabili (differenze <10%). Il sito da traffico mostra invece livelli nettamente più elevati, quantificabili in circa +20% il rispetto alle altre postazioni. L'effetto della vegetazione è scarso o nullo in inverno per via della assenza delle foglie; l'apparato fogliare infatti è il maggior responsabile della rimozione del particolato fine. Un quadro completo di avrà dunque dopo la campagna in periodi estivo. Le risultanze analitiche anche qui confermano i risultati presenti in letteratura ottenuti attraverso l'uso di modelli matematici e quelli ottenuti da Arpa Emilia Romagna nell'ambito del già menzionato progetto Iscape<sup>6</sup>.



<sup>6</sup> <https://www.iscapeproject.eu/>

**7.2.3 OZONO**

I grafici sottostanti rappresentano le concentrazioni orarie di ozono nelle ore del giorno e nei vari giorni della settimana. L'ozono è un inquinante estivo, dunque i dati invernali sono poco significativi e tendenzialmente bassi. Tuttavia si notano delle differenze, anche se non marcate tra le due postazioni. Le concentrazioni rilevate e gli andamenti giornalieri dell'inquinante nella campagna mostrano livelli più bassi nella postazione GREEN dei giardini rispetto alla scuola Carducci. La differenza è stimabile in circa -10% nella postazione GREEN a marzo e -20% a febbraio. Nonostante il periodo invernale l'ozono registrato durante la campagna è stato piuttosto elevato per la stagione per via del clima insolitamente caldo e soleggiato



Settimana tipo OZONO. In azzurro postazione "green" Giardini- in rosa postazione "non green" Carducci

## 7. CONCLUSIONI

Scopo del presente studio è stato quello di valutare a livello locale i benefici in termini di miglioramento della qualità dell'aria e di mitigazione degli effetti del cambiamento climatico apportati dalla vegetazione presente in ambiente urbano così come documentato da una nutrita letteratura scientifica a riguardo. Arpa, in collaborazione con il gruppo di ricerca bio-meteorologia del Consiglio Nazionale delle Ricerche di Bologna (IBIMET-CNR) coordinato dalla dott.ssa Rita Baraldi, ha dunque effettuato, con il supporto operativo del Comune di Alessandria, una prima fase di studio e approfondimento volto a raccogliere utili elementi di carattere scientifico per futuri progetti da svilupparsi nell'ambito dei piani di risanamento della qualità dell'aria e di mitigazione dei cambiamenti climatici sfruttando gli effetti mitigativi del verde urbano.

La prima fase del progetto riguarda il monitoraggio della qualità dell'aria e dei principali parametri meteorologici in estate e inverno mediante centraline mobili posizionate in contemporanea in due postazioni del centro urbano esposte al traffico cittadino, di cui una con presenza di vegetazione ed una in assenza di vegetazione al fine di rilevare le differenze microclimatiche e di inquinamento. In aggiunta alle misure, IBIMET-CNR ha svolto una caratterizzazione del verde urbano, sulla base del censimento delle specie arboree attualmente presenti sul territorio comunale, stimando il grado di efficacia di mitigazione del verde in termini di riduzione dell'inquinamento atmosferico (capacità assorbimento di inquinanti gassosi, cattura delle polveri sottili) e mitigazione dei cambiamenti climatici (sequestro di CO<sub>2</sub>, riduzione delle temperature, assorbimento delle acque meteoriche) ed ipotizzando nuovi scenari di implementazione di verde appositamente progettati ed inseriti nel contesto urbano (alberature, barriere verdi, boschi urbani, green-walls, green-roof, etc..) per ottenere benefici aggiuntivi e misurabili.

La presente relazione illustra i primi risultati della campagna invernale di monitoraggio della qualità dell'aria a cui farà seguito una seconda in periodo estivo. La campagna si è svolta con due laboratori mobili posizionati presso aree comunali caratterizzate da differente presenza di vegetazione: la **scuola primaria Carducci (sito NON GREEN)** e i **giardini pubblici** antistanti la stazione ferroviaria (**sito GREEN**) entrambi dislocati in area centrale all'interno degli spalti cittadini.

Il confronto tra aree verde e non alberate in ambiente urbano effettuato a febbraio-marzo 2019 tramite la misura degli inquinanti più critici per la qualità dell'aria (ozono, polveri PM<sub>10</sub>, ossidi di azoto) e dei principali parametri meteorologici (temperatura e umidità), ha evidenziato quanto segue:

- Le temperature minime, medie e massime nei due siti non mostrano in inverno differenze di rilievo. Si nota tuttavia una leggera superiorità, di circa +0.5°C nella postazione "GREEN" dei giardini rispetto a quella "NON GREEN" nelle ore notturne e del primo mattino. I dati di umidità nei due siti sono del tutto simili
- Il confronto delle medie giornaliere di PM<sub>10</sub> in periodo invernale tra le due postazioni GREEN e NON GREEN non mostra differenze di rilievo
- Si rileva un effetto positivo sulle concentrazioni di ozono con una riduzione del 10-20% presso i giardini (postazione GREEN) rispetto alla scuola Carducci (postazione NON GREEN)
- Si rileva un apparente spostamento del bilancio dinamico di reazione del ciclo ozono-NO<sub>x</sub> con maggior formazione di NO<sub>2</sub> e diminuzione di ozono nel sito con vegetazione dei giardini rispetto a quello della scuola Carducci

I benefici riscontrati nella sessione di misure invernali sono minimi. Ciò non deve stupire in quanto gli effetti maggiori si hanno ad opera dell'apparato fogliare e dunque, nei casi di parchi con alberature in prevalenza caducifoglie, dalla primavera all'autunno. Un effetto mitigativo ottimale si ottiene inoltre solo progettando un verde urbano appositamente studiato come forma, dimensioni ed essenze al fine di ottenere i benefici attesi.

I dati sin qui presentati rappresentano le prime risultanze di un progetto di studio che prevede una ripetizione delle campagne di monitoraggio in periodo estivo in modo da poter esaminare un numero più consistente e rappresentativo di dati. Le risultanze dello studio prodotto da IBIMET-CNR verranno illustrate nel prossimo autunno in occasione di un incontro pubblico.

	<b>Dipartimento Territoriale Piemonte Sud Est – SC07</b> <b>Struttura Semplice Produzione SS07.02</b>	<b>Pagina: 28/28</b>
	<b>RELAZIONE TECNICA</b>	relazione_forestazione urbana_alessandria_feb19

Le risultanze analitiche confermano i risultati presenti in letteratura (si veda bibliografia riportata) ottenuti attraverso l'uso di modelli matematici e quelli ottenuti da Arpa Piemonte in campagne analoghe svolte nel Comune di Asti e da Arpa Emilia Romagna nell'ambito dei progetti europei Iscape e Life Urban Proof.

## 8. BIBLIOGRAFIA

- ARPA PIEMONTE – Dipartimento Sudest, “PROGETTO FORESTAZIONE URBANA-MONITORAGGIO DELLA QUALITA' DELL'ARIA NEL COMUNE DI ASTI”, Relazione tecnica N°G07\_2018\_01245\_22, Asti, agosto 2018
- ARPA EMILIA ROMAGNA, “Monitoraggio sperimentale in zona pedonale urbana per lo studio degli effetti dei parchi sul microclima e sulle concentrazioni di inquinanti”, Reggio Emilia, novembre 2018
- Antoine P.R. Jeanjean, Riccardo Buccolieri, James Eddy, Paul S. Monk, Roland J. Leigh “Air quality affected by trees in real street canyons: The case of Marylebone neighbourhood in central London” **URBAN FORESTRY & URBAN GREENING 22(2017)41-53**
- Sara Janhall “Review on urban vegetation and particle air pollution e Deposition and dispersion”-**ATMOSPHERIC ENVIRONMENT 105(2015) 130-137**
- A.P.R. Jeanjean, P.S. Monks, R.J. Leigh “Modelling the effectiveness of urban trees and grass on PM2.5 reduction via dispersion and deposition at a city scale”, **ATMOSPHERIC ENVIRONMENT 147(2016) 1-10**
- K.V. Abhijith, Prashant Kumar, John Gallagher, Aonghus McNabola, Richard Baldauf , Francesco Pilla, Brian Broderick , Silvana Di Sabatino ,Beatrice Pulvirenti “Air pollution abatement performances of green infrastructure in open road and built-up street canyon environments -A review” **ATMOSPHERIC ENVIRONMENT 162(2017) 71-86**
- Timm Kroeger, Robert I. McDonald, Timothy Boucher, Ping Zhang, Longzhu Wang “Where the people are: Current trends and future potential targeted investments in urban trees for PM10 and temperature mitigation in 27 U.S. Cities” **LANDSCAPE AND URBAN PLANNING 177(2018) 227-240**