

STRUTTURA COMPLESSA
DIPARTIMENTO TERRITORIALE PIEMONTE SUD EST

Struttura Semplice Attività di Produzione Sud-Est- Nucleo Operativo Qualità dell'Aria

COMUNE DI ALESSANDRIA

**SECONDA CAMPAGNA DI VALUTAZIONE
 DEGLI EFFETTI MITIGATIVI DEL VERDE URBANO SU
 QUALITA' DELL'ARIA E PARAMETRI METEO CLIMATICI
 AGOSTO - SETTEMBRE 2019**



RELAZIONE TECNICA

RISULTATO ATTESO B5.16
PRATICA N°G07_2019_1099_19

PERIODO DI MONITORAGGIO dal 13/08/2019 al 30/09/2019

| | | |
|--------------------------------|---|---------------------------------|
| Redazione | Funzione: Tecnico Nome: Laura Erbetta | Firmato elettronicamente |
| Verifica e Approvazione | Funzione: Responsabile S.S. Produzione Nome: Donatella Bianchi | Firmato digitalmente |

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

ARPA Dipartimento Piemonte Sud Est

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, C.Littera del Dipartimento ARPA Piemonte Sud Est

Si ringrazia per la collaborazione ed il supporto tecnico scientifico il gruppo di ricerca IBIMET-CNR coordinato dalla dott.ssa Rita Baraldi

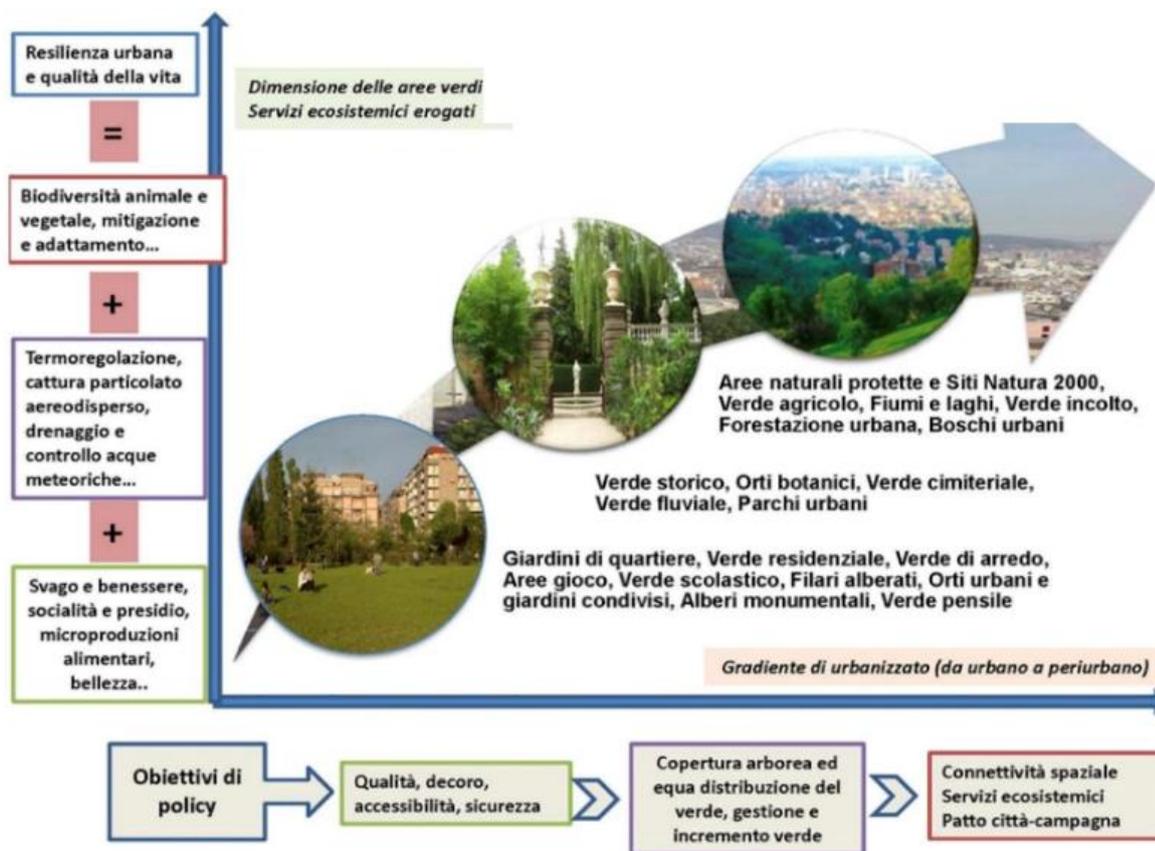
Sommario

| | |
|---|-----------|
| 1. INTRODUZIONE | 4 |
| 2. IL QUADRO NORMATIVO | 6 |
| 3. DESCRIZIONE DEGLI INQUINANTI MONITORATI | 7 |
| 4. STRUMENTAZIONE UTILIZZATA | 9 |
| 5. SCELTA DEI SITI DI MISURA | 10 |
| 6. CARATTERIZZAZIONE METEOROLOGICA PERIODO DI MISURA | 12 |
| 7. RISULTATI | 13 |
| 7.1 EFFETTI SU TEMPERATURA-UMIDITA' | 13 |
| 7.2 EFFETTI SUGLI INQUINANTI | 15 |
| 7.2.1 OSSIDI DI AZOTO NO/NO2 | 15 |
| 7.2.2 POLVERI PM10 | 21 |
| 7.2.3 OZONO | 24 |
| 7.2.4 MISURA DI VOC E CO2 MEDIANTE STAZIONI LOW COST "AIRQUINO CNR" | 25 |
| 9. BIBLIOGRAFIA | 29 |

1. INTRODUZIONE

È oggi ampiamente documentato a livello scientifico¹ 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 CO₂ 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 in generale a riqualificare l'ambiente urbano ed a migliorarne la vivibilità con ricadute positive di carattere sociale e relazionale.

Su tale fronte sono oggi attivate numerose sperimentazioni in ambito nazionale ed internazionale, tra cui si citano, a titolo di esempio, i progetti europei Escape², LifeGaia³, Urbanproof⁴ e la piattaforma nazionale Mosaico Verde⁵ patrocinata dal Ministero per l'Ambiente a cui soggetti pubblici e privati possono aderire con la finalità di piantare 300.000 nuovi alberi e tutelare 30.000ha di boschi esistenti in Italia. Il Ministero per l'Ambiente ha inoltre adottato nel 2018 la *strategia nazionale del verde urbano*⁶ che fissa criteri e linee guida per la promozione di foreste urbane e periurbane attraverso la riduzione delle superfici asfaltate. La forestazione così intesa si sviluppa senza soluzione di continuità ricomprendendo tutti gli aspetti del verde urbano: lembi di bosco, viali alberati, aree parco, orti urbani, giardini, ville storiche, verde di quartiere, verde architettonico (pareti e tetti verdi). La strategia prevede il coinvolgimento degli stakeholders del territorio, puntando su competenze necessariamente multidisciplinari, per indirizzare le amministrazioni comunali verso la realizzazione di piani e progetti basati su servizi ecosistemici.



Variabilità dei Servizi Ecosistemici in funzione della dimensione delle aree verdi (Fonte: Anna Chiesura)

Immagine tratta da Min. Ambiente - *strategia nazionale del verde urbano*

¹ Si veda nota bibliografica

² www.iscapeproject.eu

³ www.lifegaia.eu

⁴ <http://urbanproof.eu/it/>

⁵ www.mosaicoverde.it

⁶ https://www.minambiente.it/sites/default/files/archivio/allegati/comitato%20verde%20pubblico/strategia_verde_urbano.pdf

Nell'ottica di approfondire tali tematiche a livello locale e promuovere azioni sinergiche facilmente attuabili per fronteggiare le criticità legate al risanamento della qualità dell'aria ed alla mitigazione degli impatti dei mutamenti climatici in atto, il Dipartimento Arpa Piemonte Sud-Est in collaborazione con il gruppo di ricerca in bio-meteorologia del Consiglio Nazionale delle Ricerche di Bologna⁷ (IBIMET-CNR) 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 dei Comuni di Asti e Alessandria.

Le fasi dello studio sono così articolate:

- monitoraggio della qualità dell'aria estiva/invernale 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 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 PM10 rilevati dalla stazione di monitoraggio della qualità dell'aria di Alessandria-Volta sull'anno 2017;
- simulazioni modellistiche realizzate da IBIMET-CNR, sulla base dei dati di verde comunali elaborati mediante il software open-source **ITREE**⁸, volte a stimare il livello 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 CO₂, 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 risultati della campagna di qualità dell'aria estiva effettuata con laboratori mobili presso aree comunali caratterizzate da differente presenza di vegetazione, nel periodo compreso tra il 13 agosto e il 30 settembre 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. I dati vengono confrontati con i risultati della precedente campagna e invernale svoltasi a febbraio-marzo 2019.

Scopo del monitoraggio è nello specifico quello di appurare 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.

Le misure effettuate con gli analizzatori di riferimento presenti sui laboratori mobili sono state inoltre integrate con l'utilizzo di 2 stazioni portatili low-cost modello "AIRQino" fornite e progettate da IBIMET_CNR e corredate di mini-sensori per temperatura e umidità, VOC totali, NO₂, Ozono, polveri Pm10/PM2.5, CO₂.

⁷ www.bo.ibimet.cnr.it

⁸ www.itreetools.org

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

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* | C6H6 | Attività industriali, traffico autoveicolare |
| Biossido di zolfo* | SO2 | Attività industriali, centrali di potenza |
| Biossido di azoto*/** | NO2 | 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** | O3 | Non ci sono significative sorgenti di emissione antropiche in atmosfera |
| Particolato atmosferico */** | PM10 | 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 NO₂)

Gli ossidi di azoto (nel complesso indicati anche come NO_x) 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_x è in forma di monossido di azoto (NO), con un rapporto NO/NO₂ notevolmente a favore del primo. L'NO, una volta diffusosi in atmosfera può ossidarsi e portare alla formazione di NO₂. L'NO è quindi un inquinante primario mentre l'NO₂ 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 NO₂ 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 PM10 e PM2.5 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 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

RELAZIONE TECNICA

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/m³** 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 NO_x (NO – NO₂), Biossido di Zolfo (SO₂), 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 2,3m³/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:

| Laboratorio mobile di monitoraggio della qualità dell'aria | | | | |
|---|------------------|---------------------------------------|-------------------------|--------------------------|
| Strumento | Modello | Parametro misurato | Metodo di misura | Incertezza estesa |
| Analizzatore API | 200E | NO – NO ₂ | Chemiluminescenza | 15.1% |
| Analizzatore API | 300E | CO | Spettrometria IR | 8.2% |
| Analizzatore CROMATOTECH | GC855 | Benzene, Toluene, Xileni, Etilbenzene | Gascromatografia | 25% max |
| Analizzatore API | 100A | SO ₂ | Fluorescenza | 10.8% |
| PM10 TECORA | Charlie-Sentinel | PM ₁₀ | Gravimetria | 13.0% |
| Analizzatore API | 400E | O ₃ | 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 circoscrizione interna, in area di centro urbano, entrambi a 200 m circa dagli spalti (circoscrizione interna). L'area dei giardini antistante 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 circoscrizione interna (linee gialle).



Siti di misura della sperimentazione (in azzurro) e postazioni fisse di monitoraggio della qualità dell'aria (in giallo)



Scuola Carducci



Giardini comunali

Nella tabella seguente sono riassunte le caratteristiche relative alle due postazioni di misura.

Periodo di monitoraggio: 13 agosto – 30 settembre 2019

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

| | | |
|--|--|---|
|  Centro città – densamente costruito |  fondo urbano |  NO ZTL |
|  poco ombreggiato |  suolo non permeabile | |
|  |  | |

POSTAZIONE 2 - Viale Repubblica – Giardini comunali

| | | |
|--|---|---|
|  Centro città – densamente costruito |  fondo urbano |  area pedonale ZTL |
|  ombreggiato |  suolo in parte permeabile | |
|  |  | |

6. CARATTERIZZAZIONE METEOROLOGICA PERIODO DI MISURA

In Piemonte agosto 2019 ha avuto una temperatura media di 19.7°C con un’anomalia termica positiva di circa 1.4°C rispetto alla media del periodo 1971-2000 ed è risultato il 12° mese di agosto più caldo nella distribuzione storica degli ultimi 62 anni. Dal punto di vista pluviometrico le precipitazioni sono state inferiori alla media degli anni 1971-2000 (-15%); con 70.2 mm agosto 2019 si pone al 28° posto tra i corrispondenti mesi meno piovosi degli ultimi 62 anni.⁹



Resoconto

Agosto 2019

Caldo e secco

+ 1.4 °C oltre la norma 1971-2000 (norma mensile 18.3 °C);
 12° mese di agosto più caldo degli ultimi 62 anni

Precipitazione media mensile: 70.2 mm (-15% rispetto alla norma 1971-2000);
 28° mese di agosto meno piovoso dal 1958

Diversi eventi temporaleschi con elevati picchi di precipitazione, grandinate e raffiche di vento



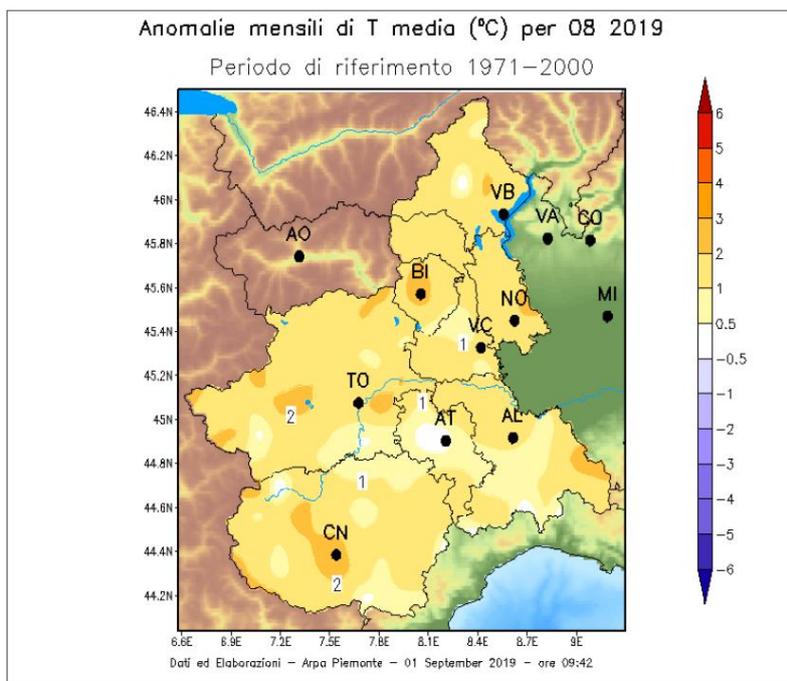
Resoconto

Settembre 2019

Caldo e secco

+ 1.4 °C oltre la norma 1971-2000 (norma mensile 14.4 °C);
 16° mese di settembre più caldo degli ultimi 62 anni

Precipitazione media mensile: 57.4 mm (-42% rispetto alla norma 1971-2000);
 25° mese di settembre: meno piovoso dal 1958



I dati di settembre confermano andamenti climatici caldi e secchi con temperature sopra la media per la nostra regione di +1.4°C rispetto alla media del periodo 1971-2000. Anche le precipitazioni sono state inferiori alla norma.

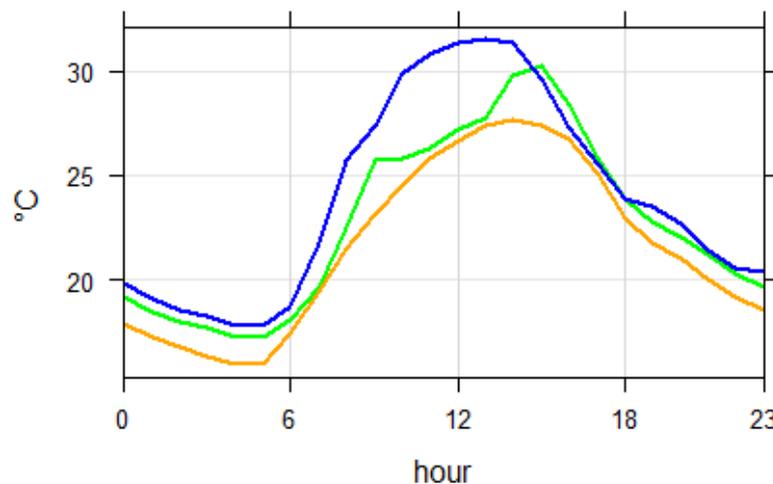
⁹ http://www.arpa.piemonte.it/rischinaturali/tematismi/clima/rapporti-di-analisi/eventi_pdf/2019/Agosto2019.pdf

7. RISULTATI

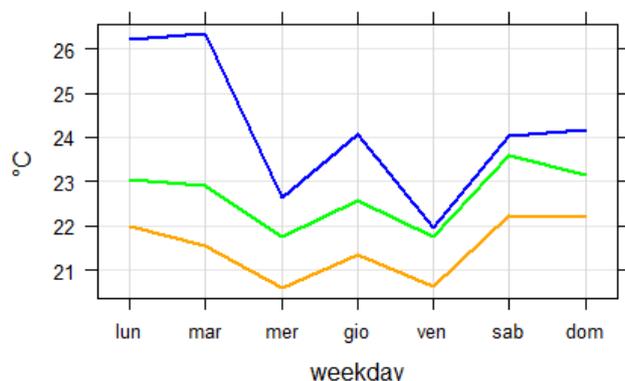
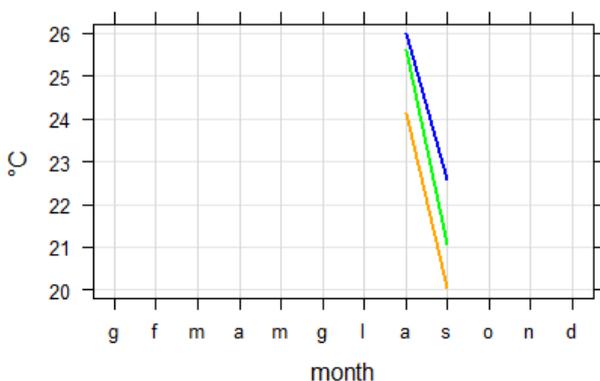
Per quantificare l'effetto del verde sui livelli degli inquinanti presenti in ambito urbano e sulle condizioni microclimatiche locali sono stati confrontati tra loro i dati acquisiti dai due laboratori mobili nelle due postazioni dei **giardini comunali ("postazione GREEN")** e della **scuola Carducci (postazione "NON GREEN")**. I parametri considerati per il confronto sono stati PM10, acquisiti con frequenza giornaliera, e NO/NO2, Ozono, CO₂, VOC, 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 (AL_TU) e con quella di fondo urbano di Alessandria Volta (AL_FU)

7.1 EFFETTI SU TEMPERATURA-UMIDITA'

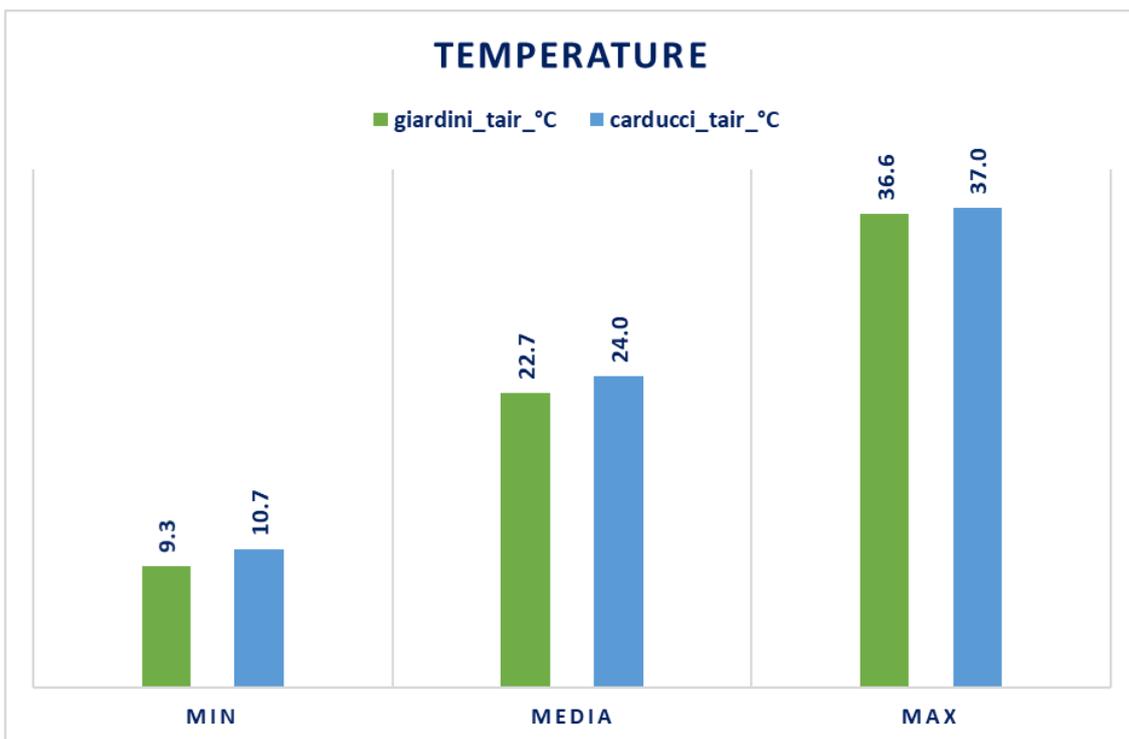
Nei grafici seguenti vengono raffigurate le temperature minime, medie e massime rilevate nel corso delle due campagne di misura presso le postazioni scelte unitamente agli andamenti del giorno tipo. Rispetto agli andamenti orari sul giorno tipo si osservano differenze significative nelle ore centrali della giornata: **tra le 9.00 e le 15.00 si registrano differenze di circa di circa -5°C nella postazione "GREEN" rispetto a quella "NON GREEN"**, più marcatamente nel mese di settembre rispetto ad agosto. Anche se le temperature massime e minime assolute sono simili si nota una differenza nelle ore di maggior insolazione dove la differenza è significativa e si riverbera, seppur in misura meno evidente, anche sui valori medi del periodo di monitoraggio dove le temperature risultano in media 1.5°C inferiori presso i giardini.



■ giardini (GREEN) ■ carducci (NON GREEN) ■ AL_Lobbi

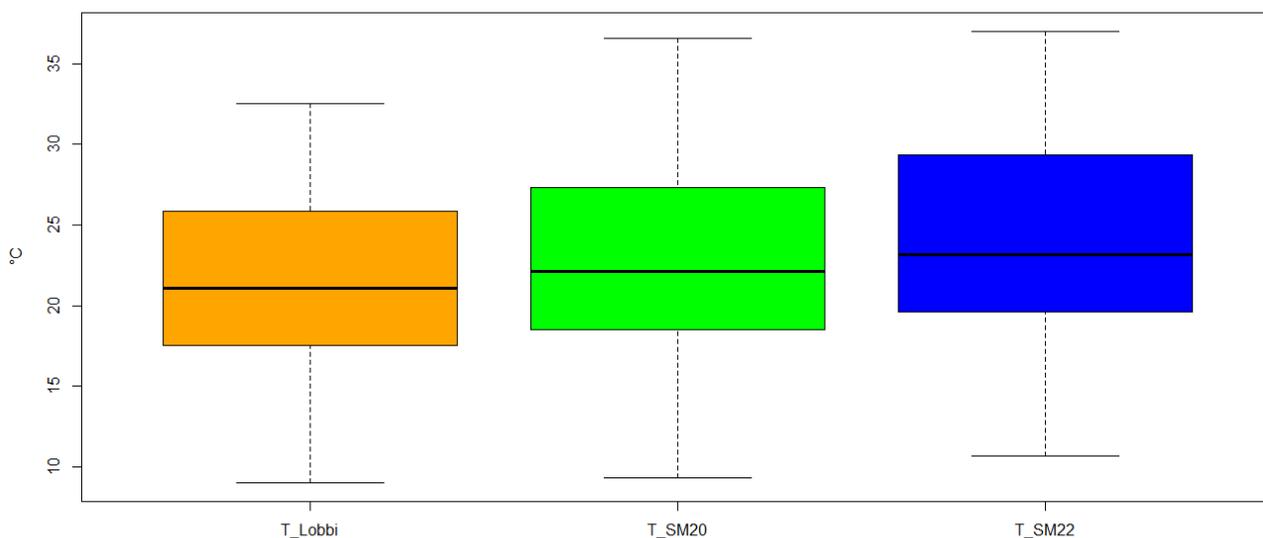


Seconda campagna di monitoraggio-Giorno tipo e media mensile/settimanale della temperatura



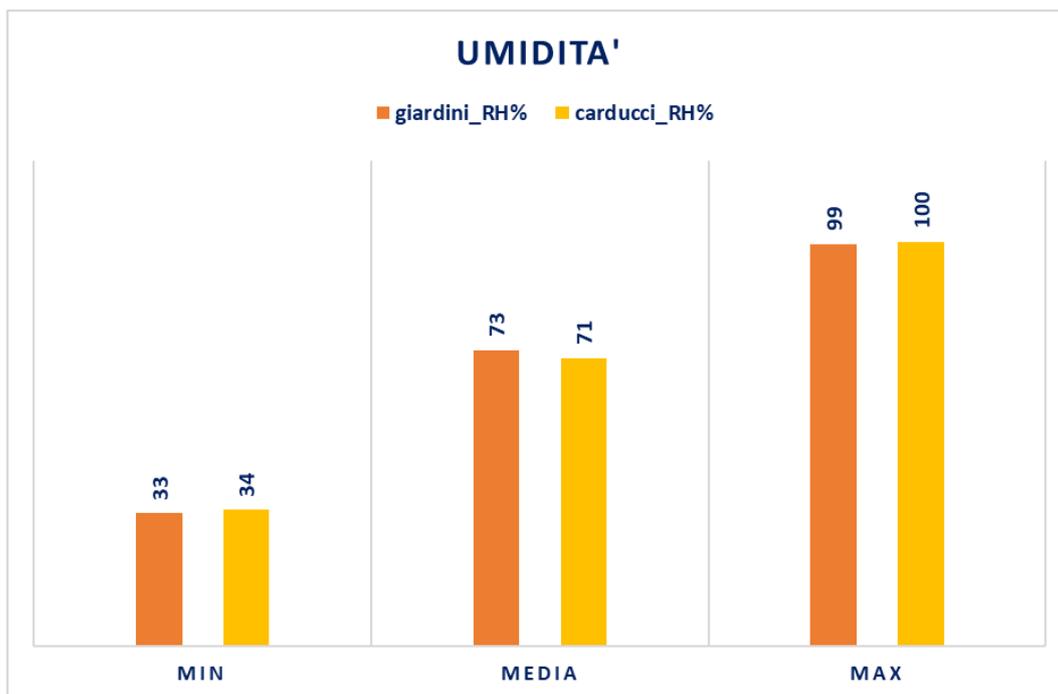
Seconda campagna di monitoraggio. Temperature MIN_MEDIE_MAX.

La stazione “GREEN” dei giardini presenta valori di temperatura assimilabili a quelli registrati dalla stazione Arpa di Alessandria Lobbi che si trova nei sobborghi del comune in zona aperta e poco urbanizzata.

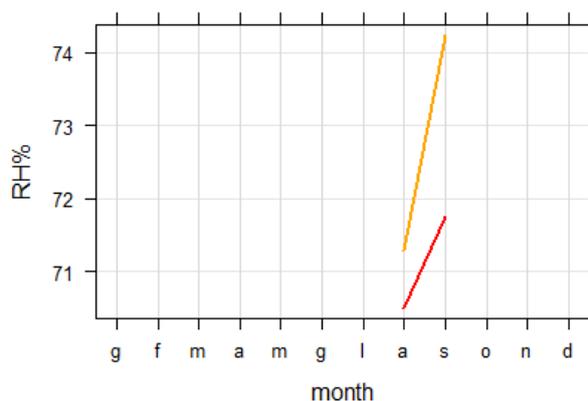
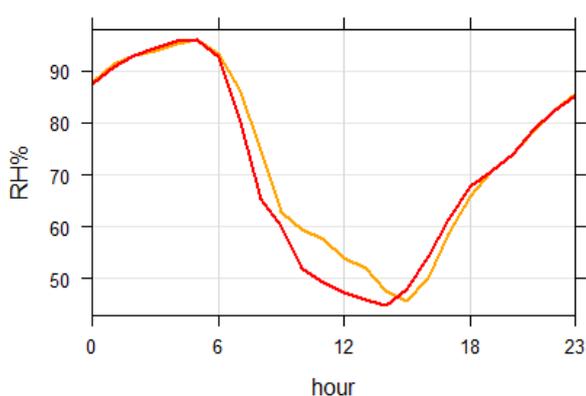


Seconda campagna di monitoraggio - Box Plot Temperature: stazione meteo regionale di Alessandria Lobbi (arancio), sito “GREEN” giardini (verde) e “NON GREEN” scuola Carducci (blu).

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



Seconda campagna di monitoraggio. Umidità relativa MIN_MEDIE_MAX.



giardini (GREEN)

carducci (NON GREEN)

Seconda campagna di monitoraggio- Giorno tipo e media mensile della dell'umidità relativa

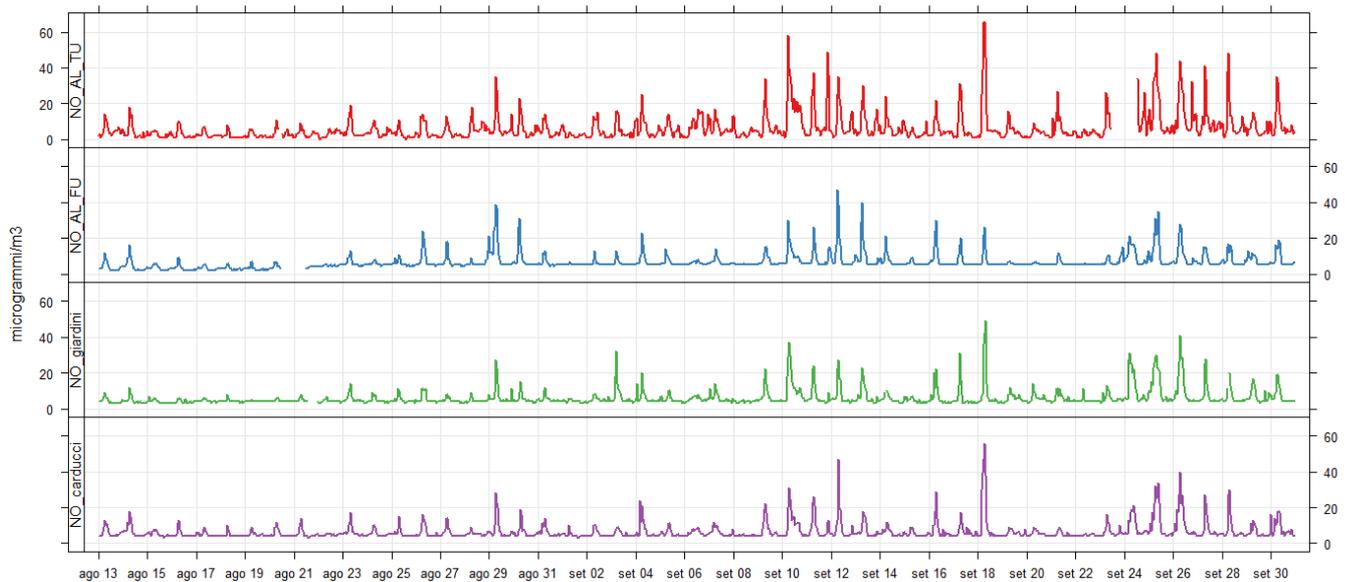
7.2 EFFETTI SUGLI INQUINANTI

7.2.1 OSSIDI DI AZOTO NO/NO2

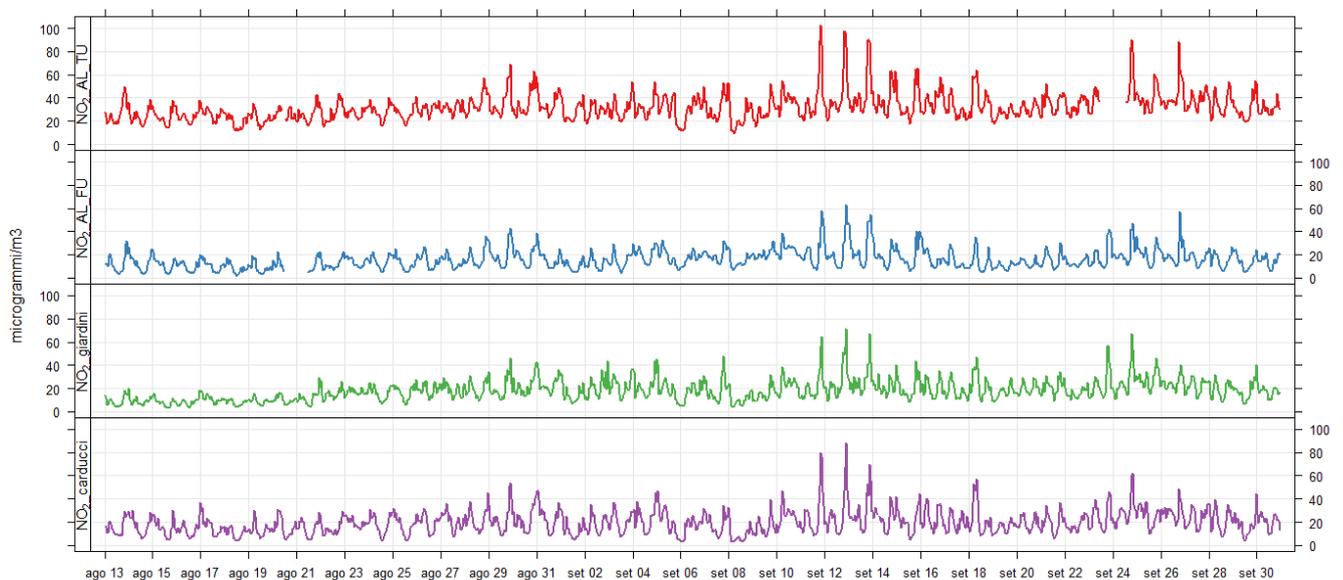
I grafici sottostanti rappresentano le concentrazioni orarie per monossido di azoto (NO) e biossido di azoto (NO₂) registrati nel periodo di monitoraggio nei due siti di indagine (green e non green) e presso le stazioni della rete regionale. Analizzando gli andamenti giornalieri degli inquinati, possiamo individuare in entrambi i siti sia la presenza del picco mattutino e serale sia di NO che di NO₂. Per NO gli andamenti presso la scuola Carducci risultano simili a quelli della postazione dei giardini ed alla stazione di fondo urbano di Alessandria (AL_FU) mentre la stazione da traffico (AL_TU) presenza picchi di inquinamento decisamente più elevati.

Dagli andamenti orari di agosto e settembre emerge l'incremento corrispondente alla ripresa delle attività scolastiche dal 10 settembre in poi su tutti i siti di misura.

NO campagna estiva



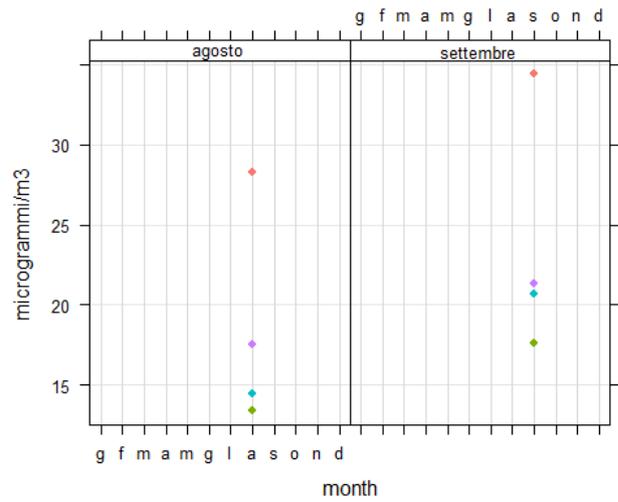
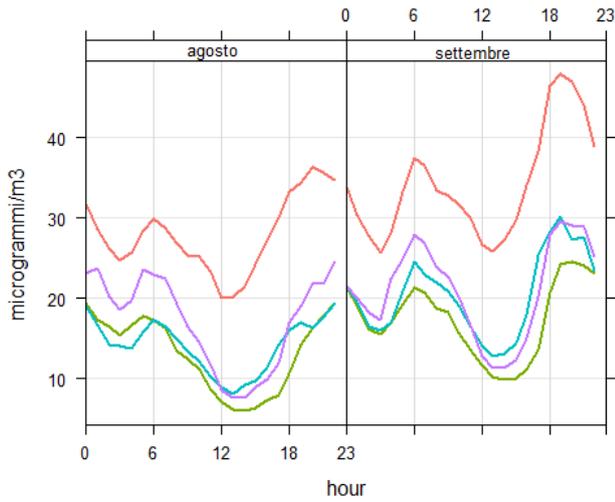
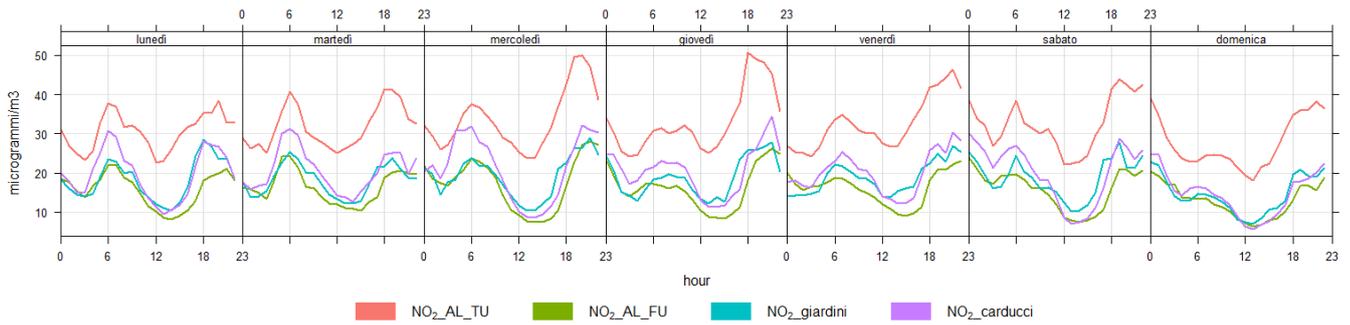
NO₂ campagna estiva



Gli andamenti riportati nei grafici trovano corrispondenza nell'andamento del traffico veicolare, principale sorgente urbana di NO_x, che presenta un incremento il mattino e la sera, ridotto o assente invece nelle giornate festive. Le concentrazioni di ossidi di azoto appaiono sensibilmente più elevati presso la stazione da traffico (AL_TU) mentre le altre tre postazioni sono assimilabili sia come andamenti che come concentrazioni (si veda il box plot della distribuzione dei dati)

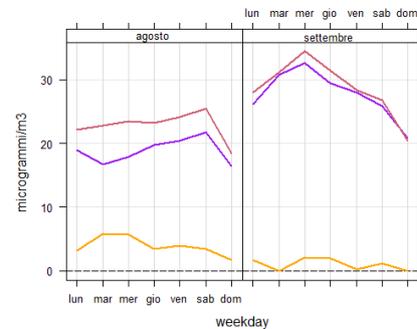
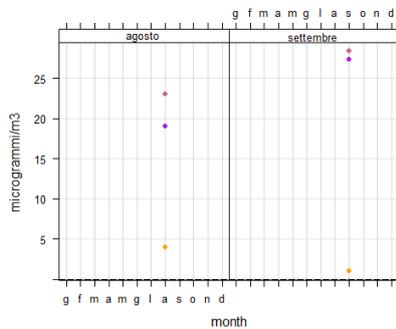
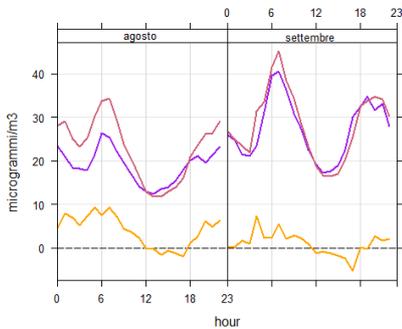
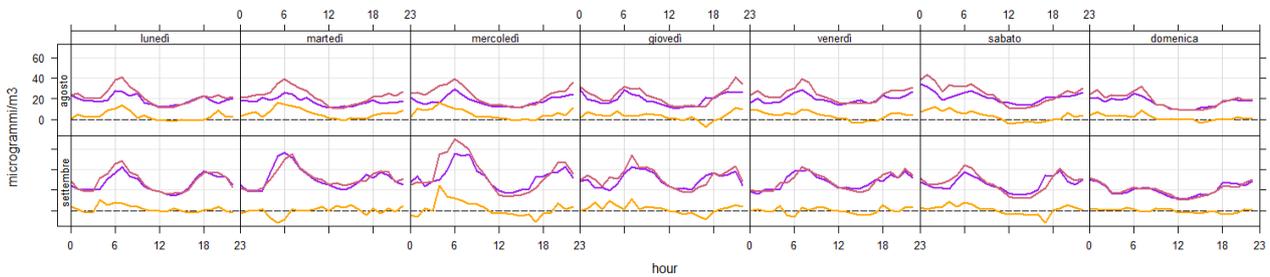
Riguardo a NO₂ non si confermano le differenze riscontrate nella precedente campagna che mostrava valori più alti in area verde. Se si considerano le concentrazioni totali di NO_x come somma di NO+NO₂ misurate nel corso della campagna dove i contributi di NO_x derivavano dalle emissioni primarie dei veicoli in transito sulle arterie urbane, si osserva invece una differenza sui valori di NO_x (come somma di NO+NO₂) con valori leggermente maggiori presso la postazione Carducci "non green". **Le differenze variano da 1 a 10 microgrammi/m³ a seconda delle ore della giornata e dei mesi, con settembre che mostra differenze meno pronunciate rispetto ad agosto.**

NO₂ campagna estiva



Giorno tipo NO₂ e andamenti mensili.

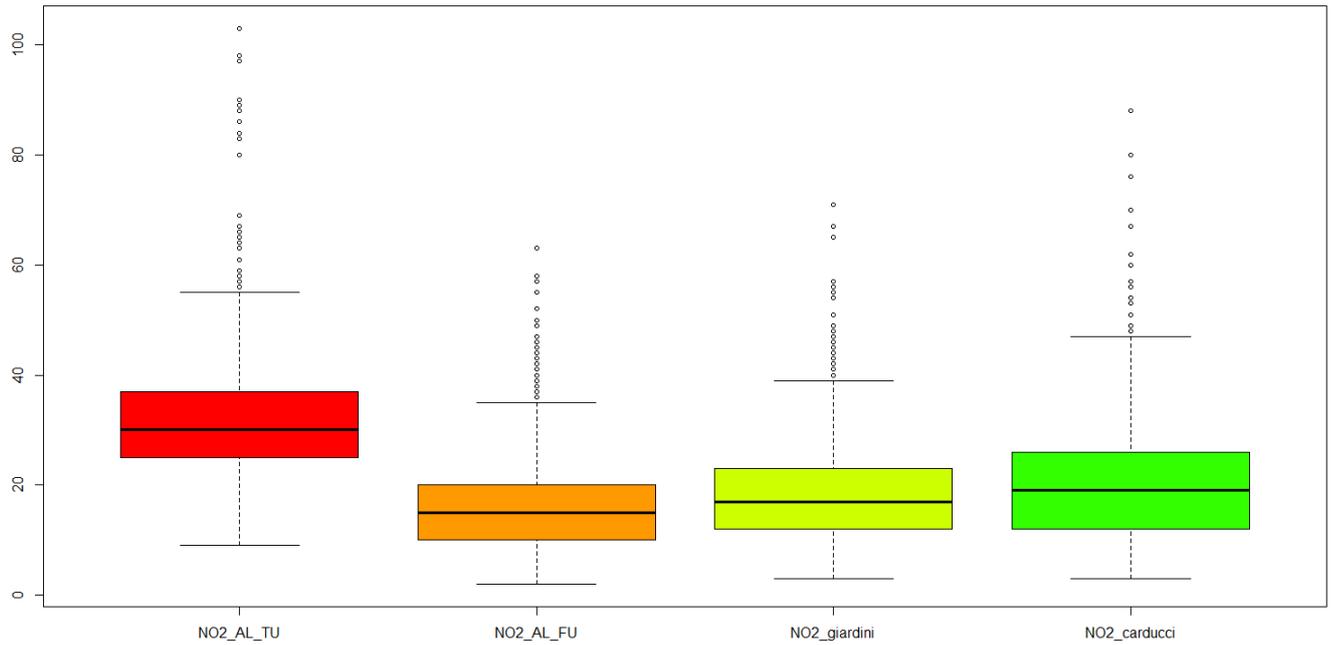
NO_x-confronto



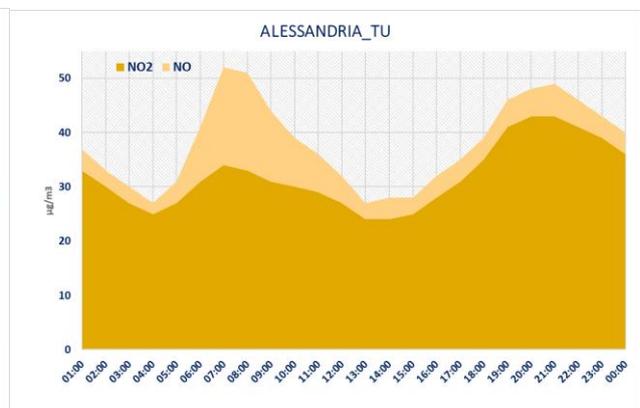
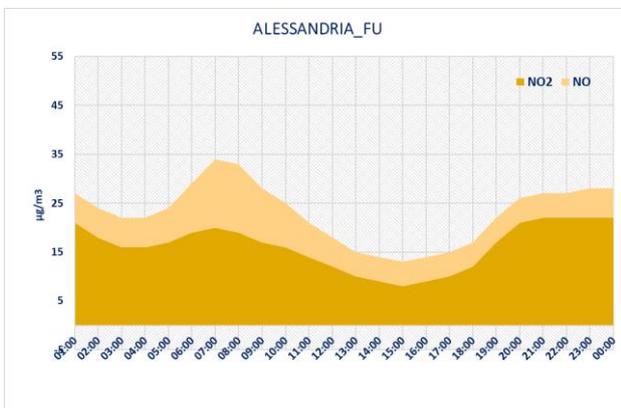
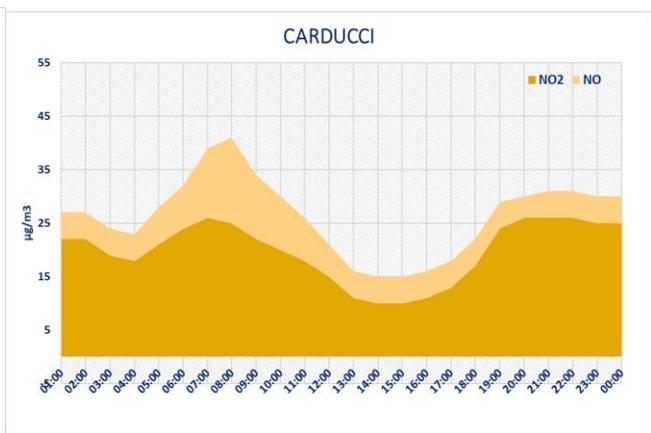
mean and 95% confidence interval in mean

Giorno tipo NO_x In e differenze tra il sito "green" dei giardini e quello "non green" Carducci

NO2 campagna estiva



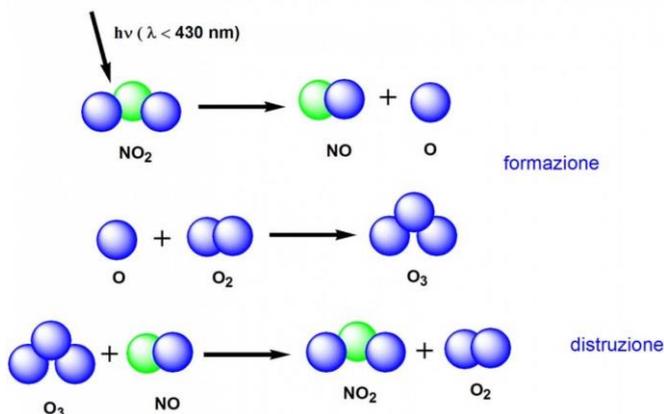
Box plot per NO₂ – confronto sui 4 siti di misura



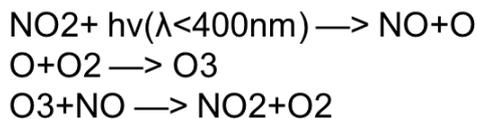
Giorno tipo NO_x-NO-NO₂ postazione “green”- Giardini, postazione “ non green” Scuola Carducci e stazioni fisse di fondo urbano (FU) e traffico urbano (TU)

RELAZIONE TECNICA

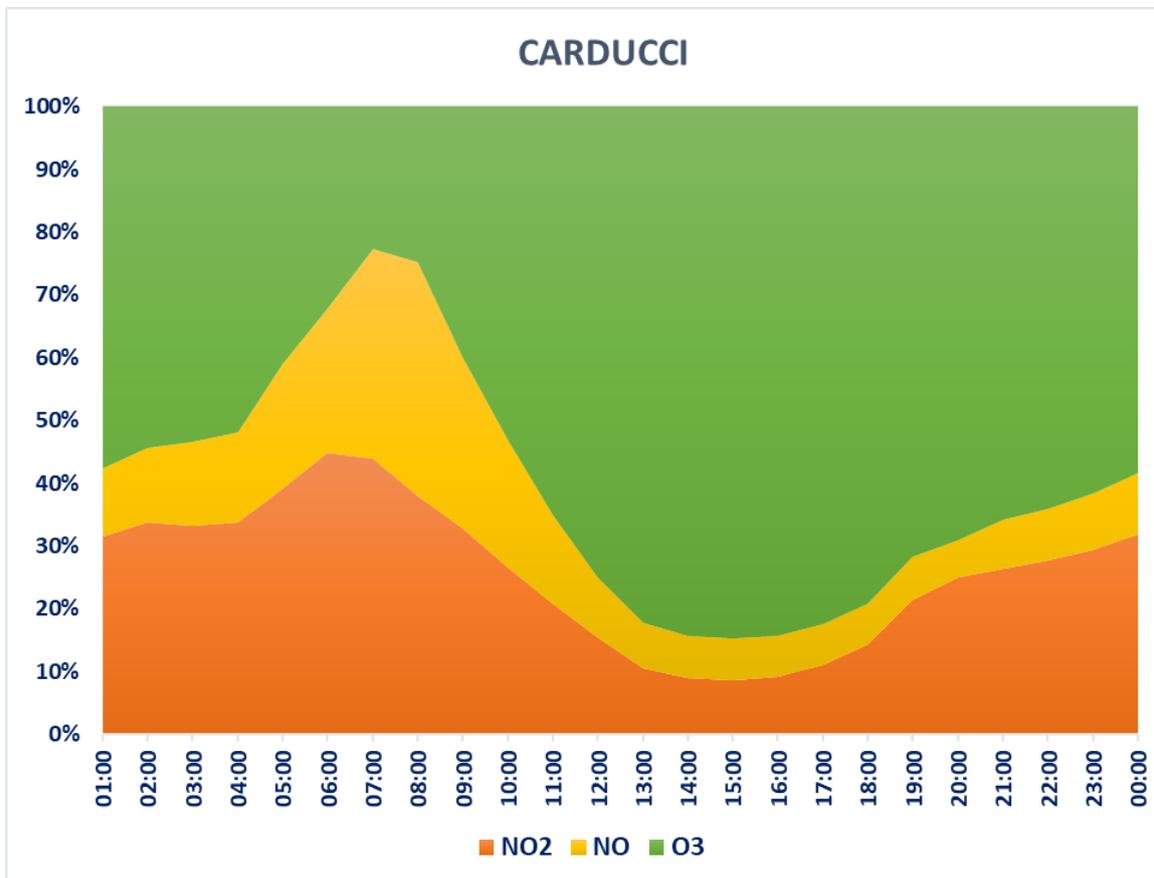
Le misure di NO e NO₂ giornaliere sono state analizzate congiuntamente ai livelli di Ozono in quanto questi inquinanti sono coinvolti in una serie di reazioni fotochimiche comuni (ciclo foto-stazionario dell'ozono), a cui si somma l'effetto delle piante nelle postazioni con alberi. Come è noto infatti, 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.



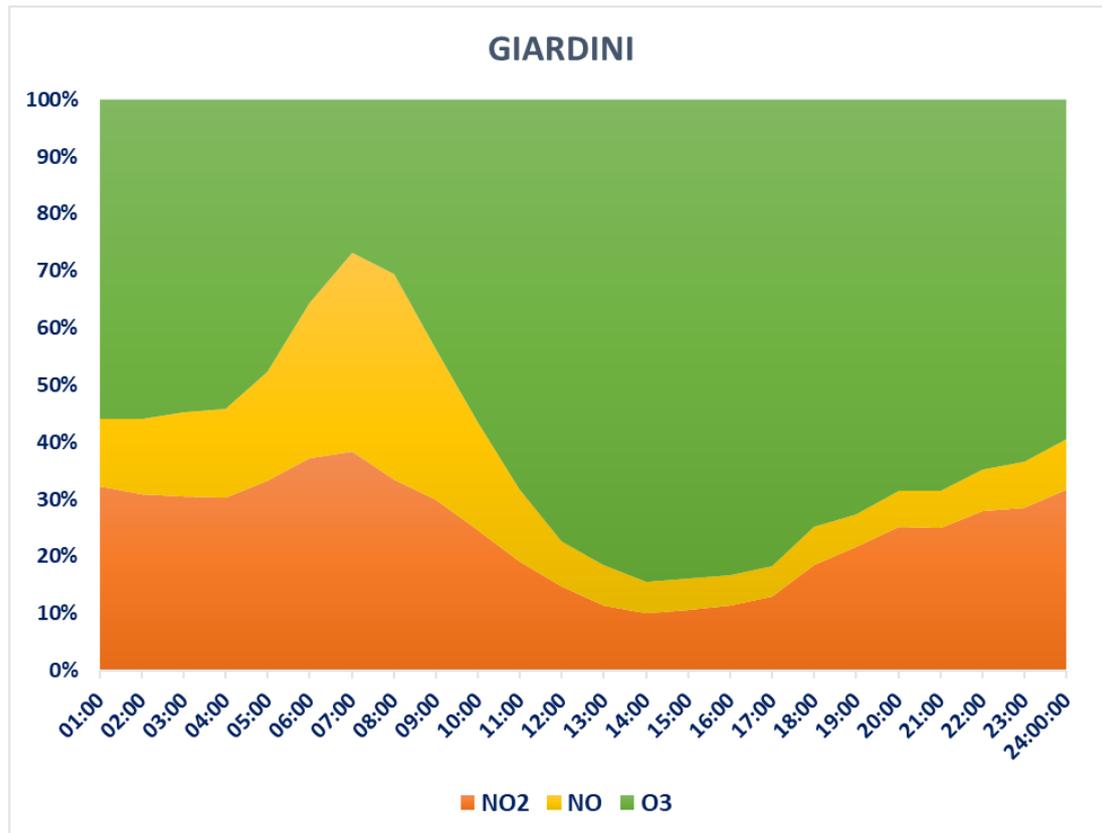
Ciclo foto-stazionario dell'ozono



Nei grafici seguenti dove sono rappresentati i rapporti percentuali delle concentrazioni (espresse in ppb volume) di ozono, NO e NO₂. A differenza delle altre campagne precedenti non si osservano differenze di rilievo tra i due siti: entrambi presentano una maggior presenza di NO e NO₂ nelle prime ore del mattino in aumento nella fascia oraria 06.00 – 09.00 per via dell'aumento di traffico che ne è sorgente diretta. I due inquinanti poi tendono a scendere man mano che aumenta l'irraggiamento solare con contestuale formazione di elevate concentrazioni di ozono che raggiungono i massimi verso le 14.00. Dopo le 16.00 il ciclo gradualmente si inverte e l'ozono si dissocia con contestuale aumento di NO e NO₂ nelle ore serali.



Giorno tipo abbondanza percentuale O₃-NO-NO₂. postazione "non-green" Carducci



Giorno tipo abbondanza percentuale O₃-NO-NO₂. postazione "green" Giardini

Come riscontrato durante campagne svolte da Arpa Piemonte presso il comune di Asti e da Arpa Emilia Romagna nell'ambito del progetto Iscape¹⁰, la presenza di vegetazione ha un effetto sugli equilibri di reazione esistenti tra i 3 inquinanti, con effetto netto di riduzione dell'ozono nelle aree verdi. Tale effetto non si riscontra nella presente campagna. Va tuttavia 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.

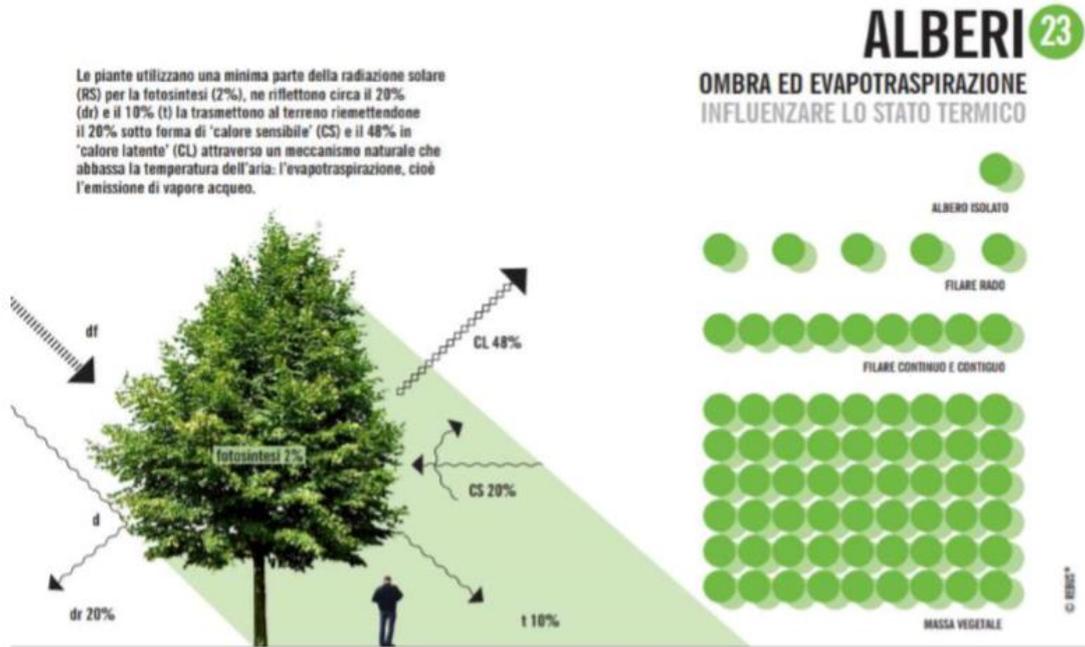
Come è noto da numerosi studi¹¹, infatti, gli alberi influenzano lo stato termico e, di conseguenza, anche gli scambi radiativi tra atmosfera e terreno, attraverso due azioni principali: ombreggiamento e evapotraspirazione. Lo stesso numero di alberi possiede una maggiore efficienza mitigatrice, superiore alla semplice somma della capacità di ciascuno di loro, quanto minori sono le loro distanze, ovvero quando più gli alberi formano una rete continua vegetata. Inoltre il portamento e la dimensione sono importanti perché è attraverso questi due elementi, che definiscono la dimensione e la forma dell'ombra, determinano anche differenti effetti di mitigazione.

L'area dei giardini pubblici di Alessandria, seppur abbia un'estensione significativa e sia ricca di essenze pregiate di notevoli dimensioni, risulta avere numerose discontinuità ed un eccessivo spazio tra le alberature: questo potrebbe spiegare un'efficacia mitigativa ridotta.

Per ottenere effetti mitigativi consistenti, a seconda della morfologia dello spazio urbano, negli impianti occorre privilegiare filari continui ai filari radi e gruppi arborei rispetto agli alberi isolati creando un vero e proprio "effetto bosco".

¹⁰ www.iscapeproject.eu

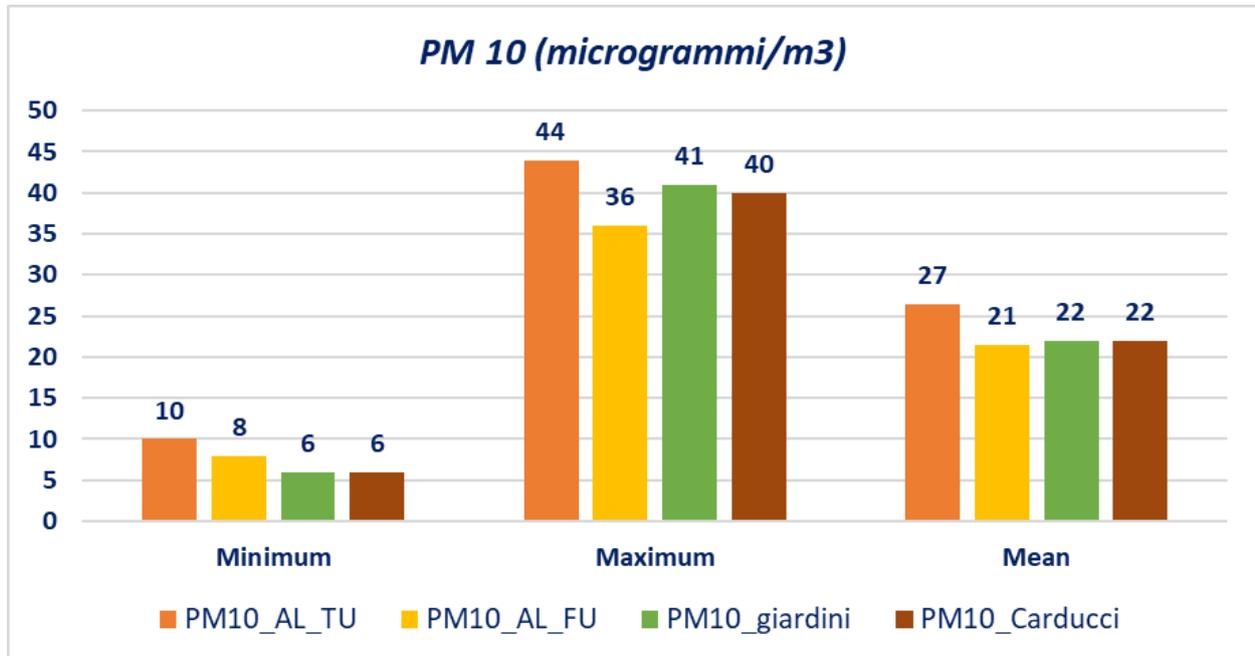
¹¹ <http://urbanproof.eu/it/>



Effetti di ombreggiamento e evapotraspirazione prodotti dal verde
 (infografica da <http://urbanproof.eu/it/>)

7.2.2 POLVERI PM10

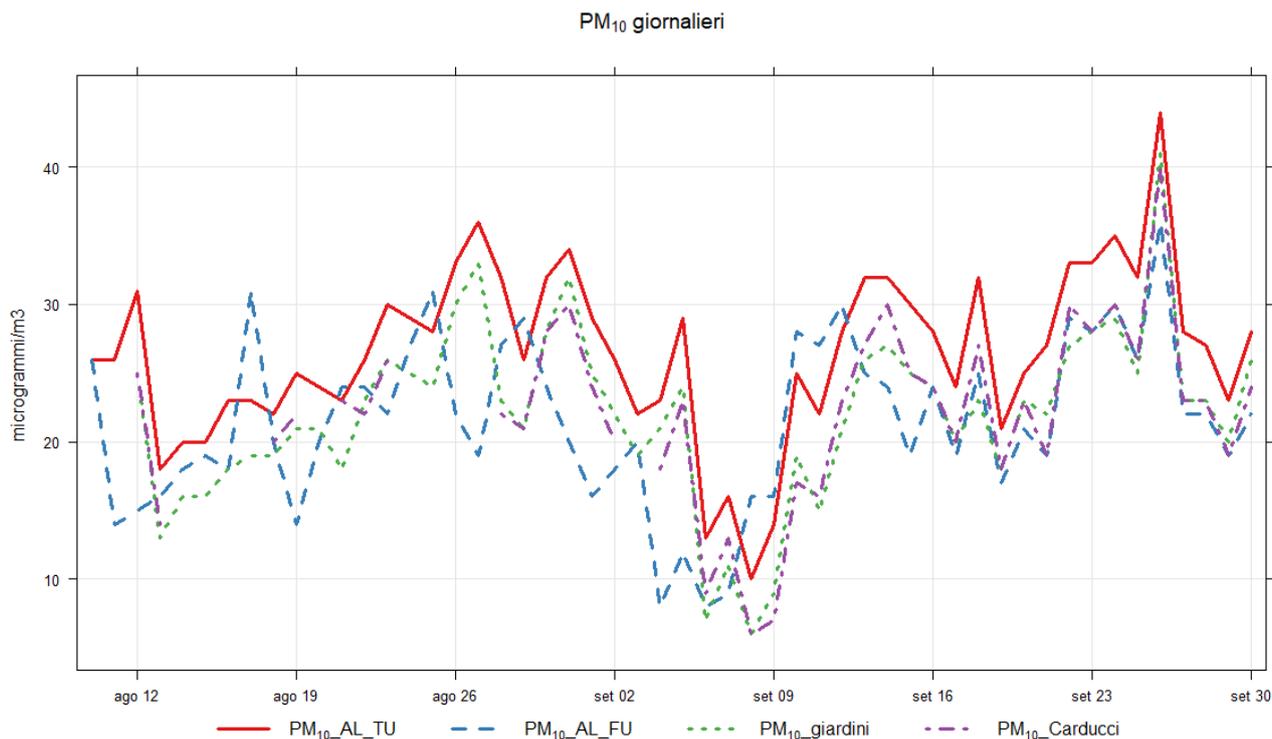
Le concentrazioni medie di PM10 relative alla campagna di misura estiva sono raffigurate nel grafico sottostante e confrontate con quelle ottenute presso le due stazioni urbane di Alessandria (stazione da traffico AL_TU e stazione di fondo AL_FU). Come visibile la zona esposta a traffico mostra concentrazioni decisamente superiori di polveri PM10 mentre le altre tre postazioni mostrano medie confrontabili, con differenze inferiori all'incertezza di misura stimata pari al 13%¹².



Concentrazioni medie/min/max di PM10.

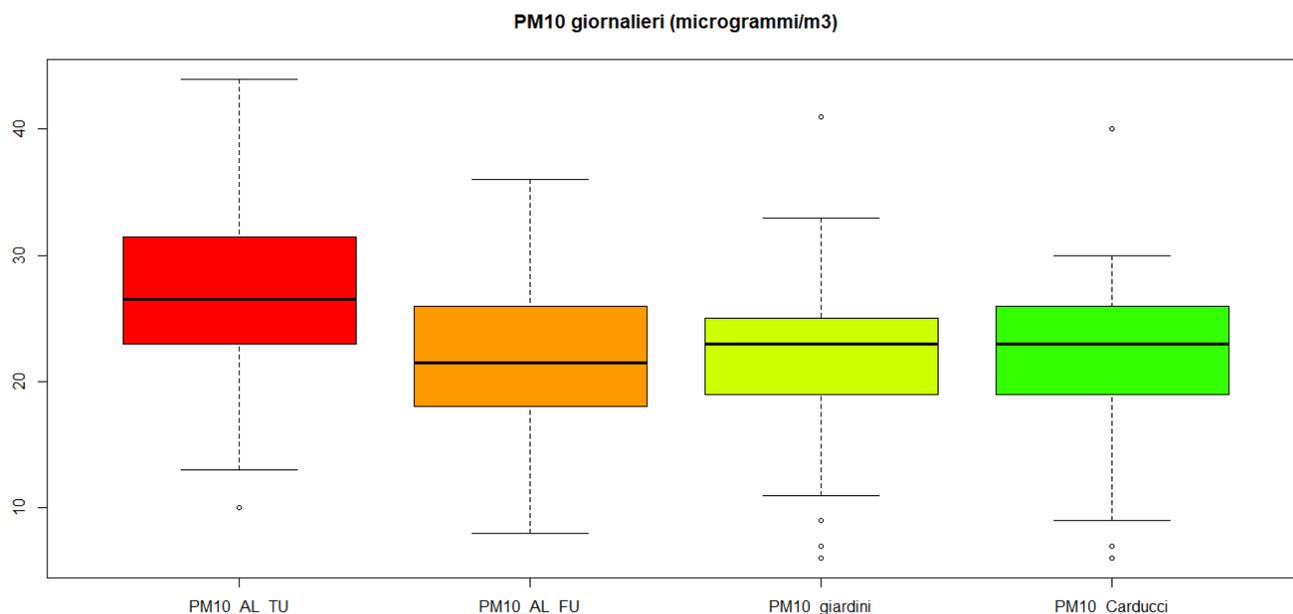
In verde postazione "green" Giardini, in marrone postazione "non green" Scuola Carducci e stazioni fisse RRQA fondo (AL_FU) e traffico (AL_TU) urbano di Alessandria

¹² rif. UNI EN 12341/2014



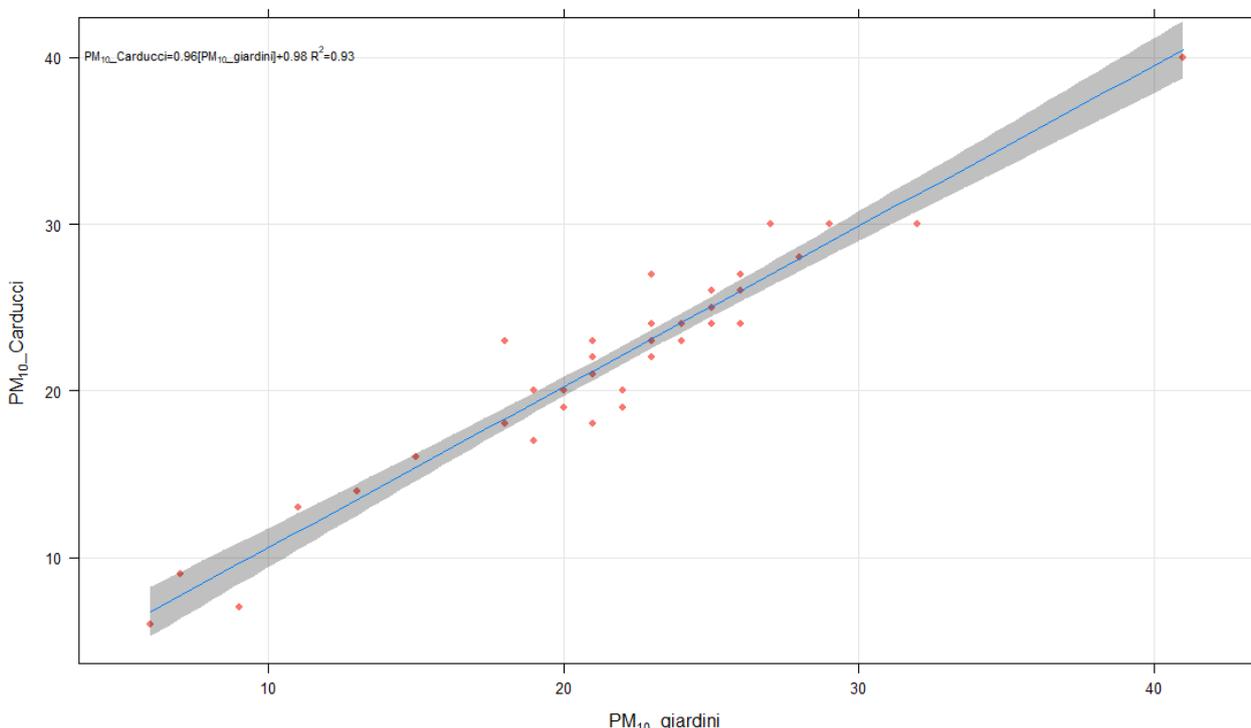
Andamenti medie giornaliere di PM₁₀ nel periodo di misura

Il confronto delle medie giornaliere di PM₁₀ tra le due postazioni GREEN e NON GREEN non mostra differenze apprezzabili. Anche la correlazione tra i dati della postazione “GREEN” e “NON GREEN” conferma la sovrapposibilità dei dati dei due siti, entrambi assimilabili al sito di fondo urbano di Alessandria. **La stazione da traffico presso p.zza d’Annunzio mostra livelli invece più elevati di circa il 30% in media dovuti al contributo diretto del traffico veicolare.**



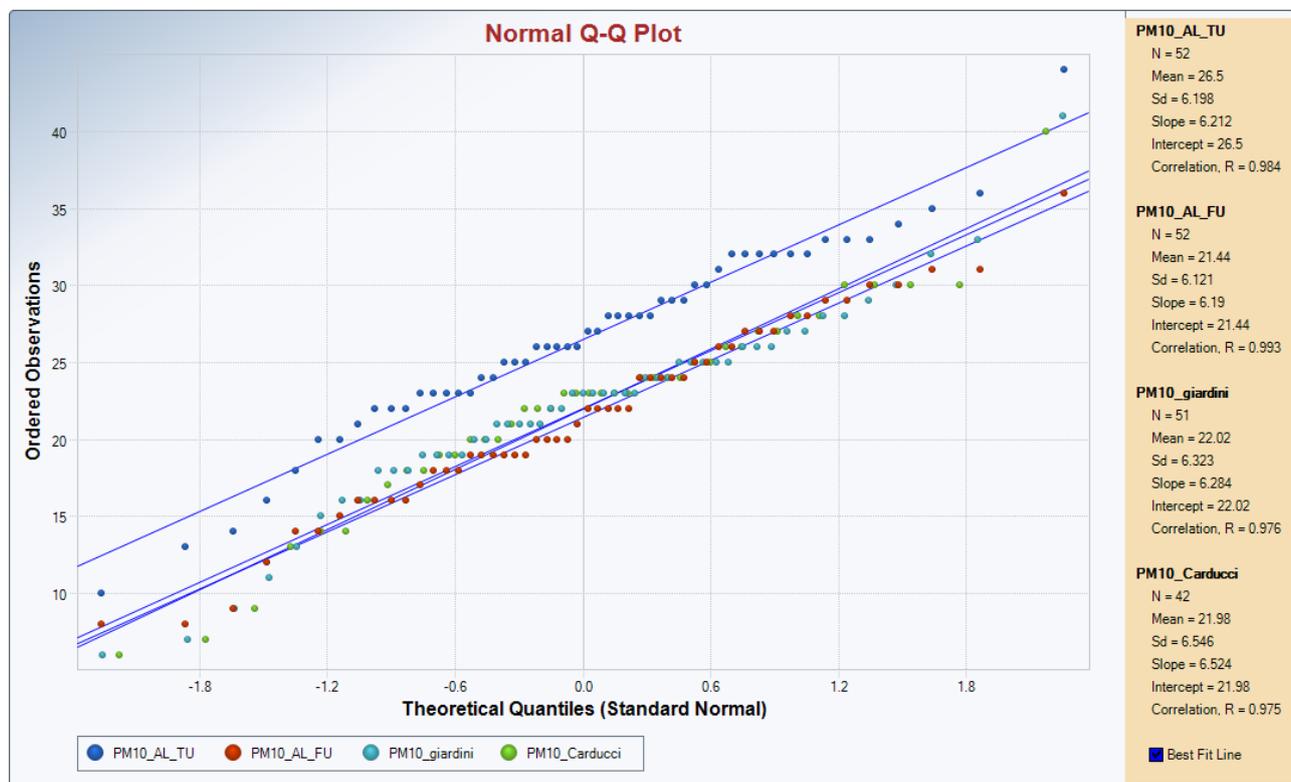
Box plot dati PM₁₀ nel periodo di misura

correlazione Carducci vs Giardini



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

Di seguito si riporta anche i QQ_PLOT che rappresenta 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. Anche in questo caso si nota come l'unica distribuzione differente dalle altre è quella della stazione di TRAFFICO URBANO.

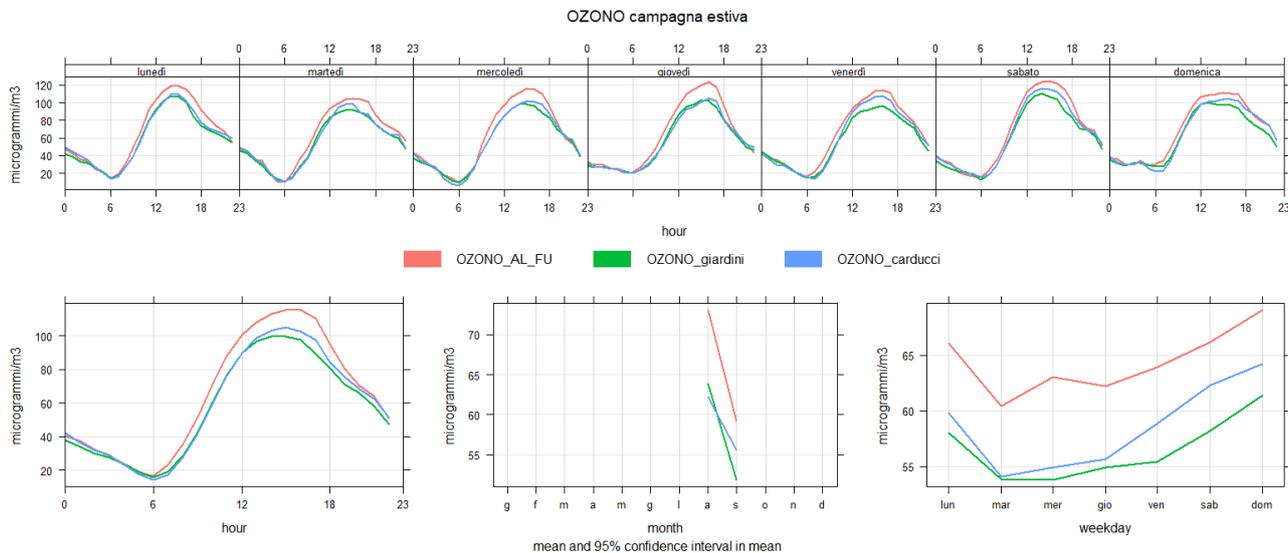


QWQ_PLOT - Retta dei quantili dei dati di PM10 giornalieri nelle postazioni Stazione fissa fondo urbano (AL_FU), stazione fissa traffico urbano (AL_TU), Giardini (sito GREEN) e scuola Carducci (sito NON GREEN)

7.2.3 OZONO

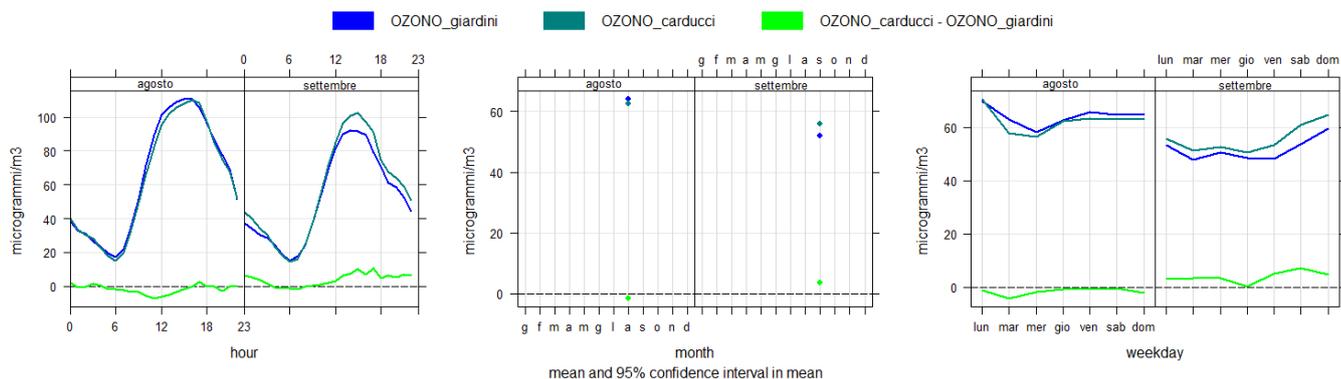
I grafici sottostanti rappresentano le concentrazioni orarie di ozono registrati nelle ore del giorno e nei vari giorni della settimana. L'ozono è un inquinante estivo, che tipicamente si forma da maggio a settembre grazie alla presenza della radiazione solare che ne innesca il processo di formazione; i dati invernali sono invece bassi e poco significativi.

Le concentrazioni orarie rilevate presso le due postazioni "GREEN" e "NON GREEN" si mantengono entrambe più basse di circa il 20% sui valori massimi rispetto al sito di confronto presso la stazione fissa di fondo urbano di Alessandria c/o istituto Volta (AL_FU).



Settimana tipo e giorno tipo OZONO. Confronto con postazione fissa

Gli andamenti orari/giornalieri/settimanali dell'inquinante nella campagna estiva mostrano livelli leggermente più bassi nella postazione GREEN dei giardini rispetto alla scuola Carducci. **La differenza è evidente nel mese di settembre stimabile in circa -10% nei valori massimi della postazione GREEN mentre nel mese di agosto non si registrano differenze tra i due siti.**

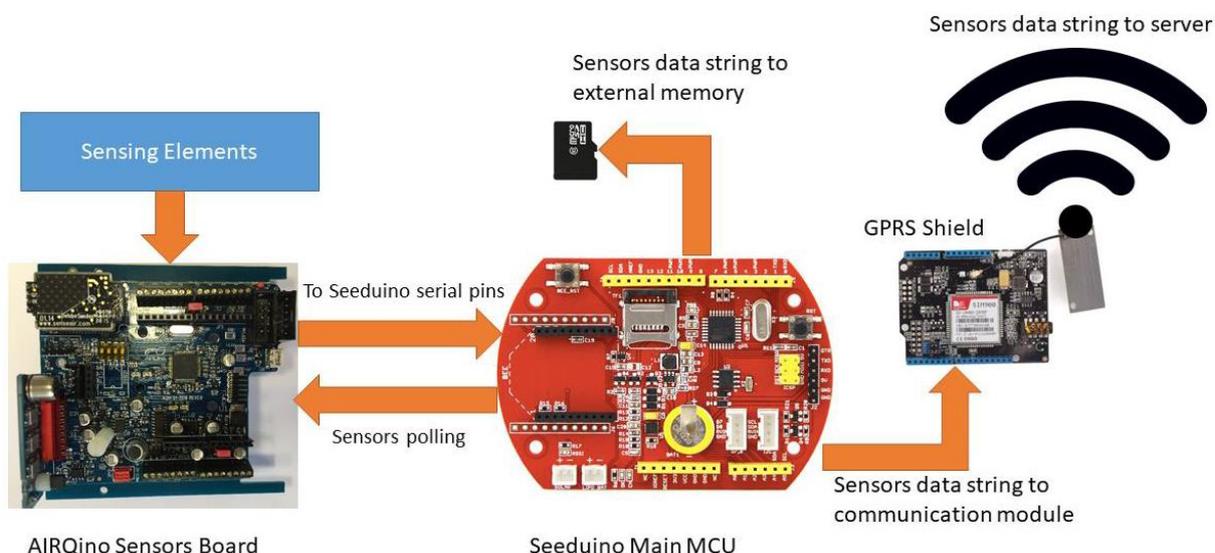


Settimana tipo e giorno tipo OZONO. Differenze tra agosto e settembre

7.2.4 MISURA DI VOC E CO2 MEDIANTE STAZIONI LOW COST “AIRQINO CNR”

Il gruppo di ricerca IBMET-CNR ha sviluppato da diversi anni un prototipo di stazione di monitoraggio della qualità dell'aria compatta e trasportabile mediante sensori low cost per la misura simultanea dei principali contaminanti dell'aria. Questa tipologia di strumenti, caratterizzata da basso costo, robustezza e compattezza, sebbene non possa in alcun modo sostituire la strumentazione ben più sofisticata della rete di monitoraggio ufficiale certificata secondo le direttive UE, può tuttavia costituire un valido supplemento di indagine di dettaglio sulla qualità dell'aria a scala locale.

Le stazioni di monitoraggio AIRQino® di IBMET-CNR sono costituite da un set completo di sensori industriali di qualità dell'aria di tipo SMD. La piattaforma Arduino Shield, integrata con sensori a basso costo e alta risoluzione, permette il monitoraggio simultaneo e con un adeguato livello di sensibilità di parametri ambientali e inquinanti atmosferici di maggior interesse in ambiente urbano (Umidità, Temperatura, CO, CO₂, O₃, NO₂, VOC, PM2.5, PM10, etc).¹³ La stazione è dotata di collegamento GPRS che consente di trasmettere dati a un server Web dedicato. Ciò consente di trasmettere e visualizzare dati in tempo reale ovunque vi sia una copertura del segnale cellulare.



Schema stazione di monitoraggio AIRQino®



Possibili utilizzi della stazione di monitoraggio AIRQino®

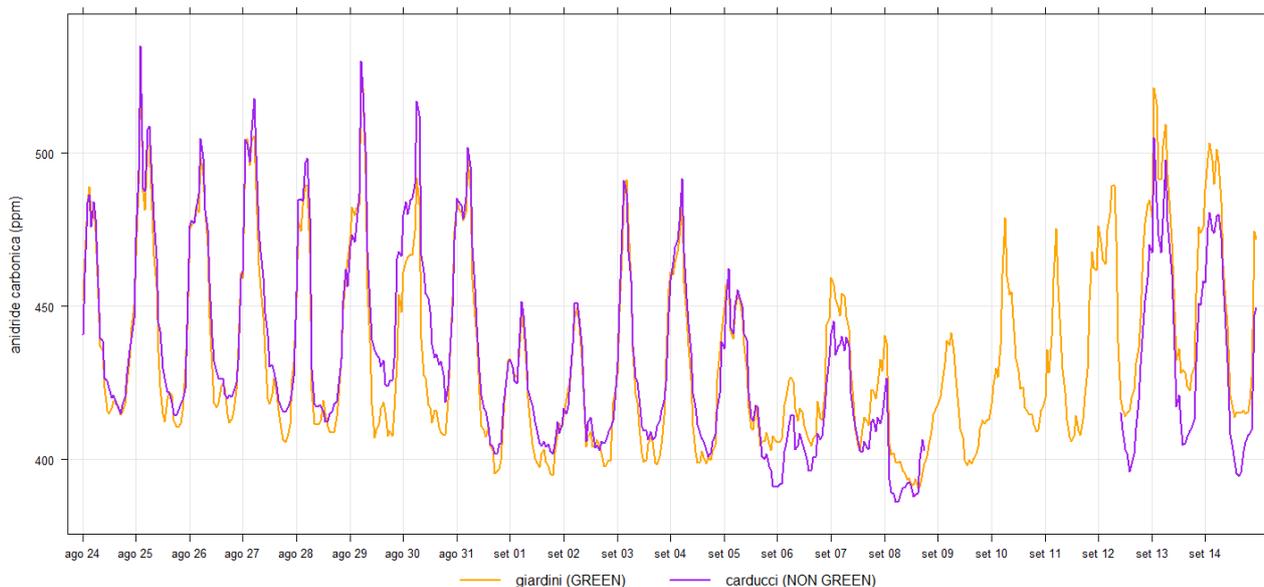
¹³ IBMET CNR "AIRQino general features and applications"

RELAZIONE TECNICA

Nel monitoraggio in esame 2 stazioni AIRQino® sono state installate sul tetto dei due laboratori mobili Arpa posizionati presso i giardini pubblici e presso la scuola primaria Carducci per monitorare anidride carbonica e VOC (composti organici volatili) quali composti specifici di cui sono noti gli scambi tra atmosfera e piante oltre che temperatura, umidità i cui dati sono riportati alla sezione 7.1.

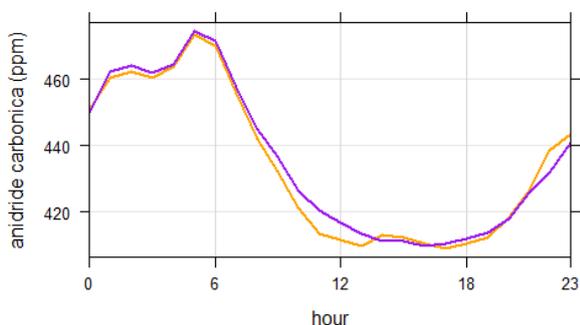
Per quanto riguarda la CO₂ non si registrano differenze di rilievo tra le due postazioni mentre per le sostanze organiche volatili (VOC) si registrano andamenti differenti seppur con valori simili: nella zona alberata dei giardini si registra una variazione meno marcata nelle ore del giorno con massimi più bassi e minimi più alti, mentre presso la scuola Carducci si registrano minimi attorno alle 15.00 e massimi dalle 6.00 in poi con andamenti che sembrano ricalcare le emissioni da traffico veicolare.

LIVELLI DI CO₂ campagna estiva

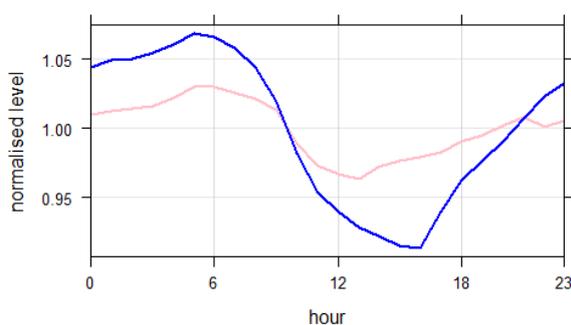


Andamenti medie orarie di CO₂ nel periodo di misura

LIVELLI DI CO₂ campagna estiva



LIVELLI DI VOC campagna estiva



■ giardini (GREEN) ■ carducci (NON GREEN) ■ giardini (GREEN) ■ carducci (NON GREEN)

Settimana tipo per VOC (livelli normalizzati rispetto al valor medio) e CO₂ (ppm) nei due siti

RELAZIONE TECNICA

Considerando le correlazioni tra i parametri misurati dalle stazioni AIRQino® presso i due siti di misura, si riscontrano le medesime correlazioni tra inquinanti e dati meteo climatici. In particolare, risultano positivamente correlati con elevato coefficiente di correlazione (**ellissi in rosso**):

- Ozono e temperatura
- VOC, CO2 e umidità
- VOC, CO2 e NO2 (a conferma della comune sorgente traffico)
- In misura minore PM2.5, NO2 e CO2

Mentre risultano anti-correlati con elevato coefficiente di correlazione (**ellissi in blu**):

- Umidità e temperatura
- Umidità e ozono
- Ozono con altri inquinanti gassosi

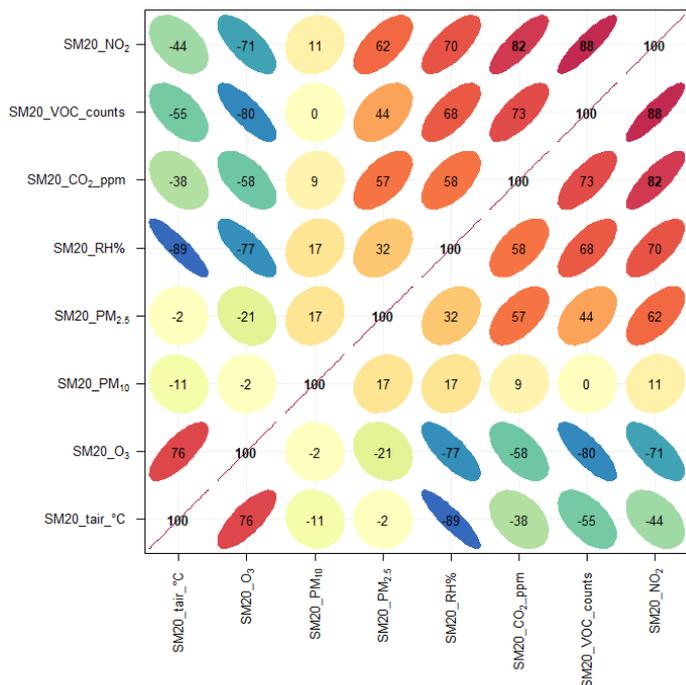


Grafico di correlazione dei parametri misurati dalla stazione AIRQino® presso il sito dei giardini

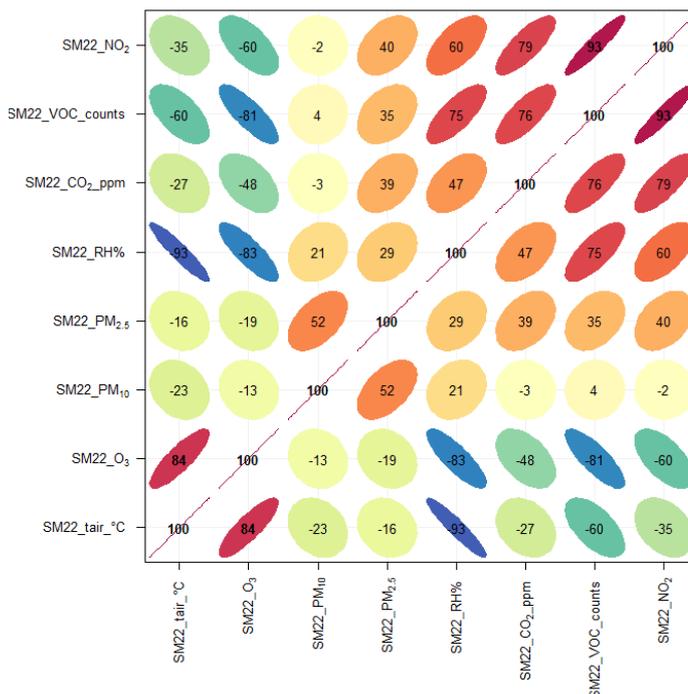


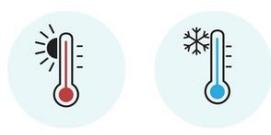
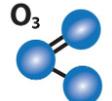
Grafico di correlazione dei parametri misurati dalla stazione AIRQino® presso il sito della scuola Carducci

8. 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 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 CO₂, 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.

Di seguito si riporta una sintesi dei risultati della campagna estiva 2019 confrontati con quelli della precedente campagna invernale. Le campagne si sono svolte 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. I risultati del confronto tra area verde e area non alberata in ambiente urbano effettuato a **febbraio-marzo e agosto-settembre 2019** tramite la misura degli inquinanti più critici per la qualità dell'aria e il clima (ozono, polveri PM10, ossidi di azoto, temperatura e umidità) sono riassunti nella seguente tabella:

| | PERIODO INVERNALE | PERIODO ESTIVO |
|---|--|---|
| TEMPERATURA  | Le temperature minime, medie e massime giornaliere non mostrano differenze di rilievo. Si registrano +0.5°C nella postazione dei giardini rispetto a quella della scuola Carducci nelle ore notturne e del primo mattino | Si registrano circa -5°C nella postazione "GREEN" rispetto a quella "NON GREEN" nelle ore centrali della giornata. Le temperature giornaliere risultano in media 1.5°C inferiori presso i giardini (postazione "GREEN") |
| UMIDITA' | I dati di umidità nei due siti sono del tutto simili | I dati di umidità nei due siti sono del tutto simili |
| PM10  | Non si evidenziano differenze di rilievo | Non si evidenziano differenze di rilievo |
| OSSIDI DI AZOTO  | Si rileva uno spostamento del bilancio dinamico di reazione del ciclo ozono-NO _x con maggior formazione di NO ₂ e diminuzione di ozono nel sito dei giardini rispetto alla scuola Carducci | Non si confermano le differenze riscontrate nella precedente campagna. I dati nei due siti risultano simili |
| OZONO  | Si rileva un effetto sulle concentrazioni di ozono con una riduzione del 10-20% presso i giardini rispetto alla scuola Carducci | Gli andamenti nella campagna estiva mostrano livelli leggermente più bassi ai giardini rispetto alla scuola Carducci. |

Nella campagna estiva sono stati inoltre rilevati anche dati di anidride carbonica CO₂ e VOC (composti organici volatili) quali composti specifici di cui sono noti gli scambi tra atmosfera e piante. Per quanto riguarda la CO₂ non si registrano differenze di rilievo tra le due postazioni mentre per le sostanze organiche volatili (VOC) si registrano andamenti differenti seppur con valori simili: nella zona alberata dei giardini si registra una variazione più contenuta nelle ore del giorno con in generale livelli più bassi.

In conclusione, nelle due campagne stagionali ad Alessandria **si riscontrano limitati effetti del verde urbano in termini di modesta riduzione delle temperature e delle concentrazioni di ozono** mentre non si riscontrano effetti apprezzabili su riduzione di polveri PM10 e NOx. Effetti mitigativi maggiormente significativi si possono ottenere progettando un verde urbano appositamente studiato come forma, dimensioni ed essenze finalizzate ad ottenere i benefici attesi.

I dati sin qui presentati rappresentano le prime risultanze parziali di un approfondimento sulla qualità dell'aria che prevede una raccolta di dati in stagioni e siti differenti in modo da poter esaminare eventuali differenze tra un numero consistente e rappresentativo di dati. Le risultanze dello studio prodotto da IBIMET-CNR verranno illustrate in occasione di un prossimo incontro pubblico. Le risultanze analitiche si qui raccolte sono in linea con quanto emerso dai dati 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.

9. BIBLIOGRAFIA

- ARPA PIEMONTE – Dipartimento Sudest, “Progetto forestazione urbana – monitoraggio della qualità 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**