

**STRUTTURA COMPLESSA**

**DIPARTIMENTO TERRITORIALE PIEMONTE SUD EST**

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

**COMUNE DI ASTI**

**VALUTAZIONE EFFETTI MITIGATIVI DEL VERDE URBANO  
SU TEMPERATURA E INQUINANTI ATMOSFERICI  
SECONDA CAMPAGNA DI MISURA 2021  
APRILE-MAGGIO**

**RELAZIONE TECNICA**

**RISULTATO ATTESO B5.16  
PRATICA N°G07\_2020\_01013\_054**

**PERIODO DI MONITORAGGIO dal 26/04/2021 al 31/05/2021**

<b>Redazione</b>	<b>Funzione: Tecnico Prevenzione</b>  <b>Cristina Otta</b>	
<b>Redazione</b>	<b>Funzione: Collaboratore tecnico</b>  <b>Dott.ssa Laura Erbetta</b>	
<b>Verifica e Approvazione</b>	<b>Funzione: Responsabile Attività di Produzione Sud Est</b>  <b>Dott. Enrico Bonansea</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

***ARPA Dipartimento Piemonte Sud Est***

***Redazione dei testi e delle elaborazioni a cura di:***

C. Otta e 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. Littera, S. Vazzola del Dipartimento ARPA Piemonte Sud Est.

I colleghi del Dipartimento ARPA Radiazioni non ionizzanti e servizio tarature

## Sommario

<b>1.INTRODUZIONE</b>	<b>4</b>
<b>2. IL QUADRO NORMATIVO</b>	<b>4</b>
<b>3. DESCRIZIONE DEGLI INQUINANTI MONITORATI</b>	<b>5</b>
<b>4. STRUMENTAZIONE UTILIZZATA</b>	<b>7</b>
<b>5. SCELTA DEI PUNTI DI MISURA</b>	<b>8</b>
<b>6. CARATTERIZZAZIONE METEOROLOGICA DEL PERIODO DI MISURA</b>	<b>10</b>
<b>7. RISULTATI</b>	<b>11</b>
<b>7.1 ANALISI DATI METEOROLOGICI</b>	<b>11</b>
<b>7.1.1 TEMPERATURA</b>	<b>12</b>
<b>7.1.2 RADIAZIONE SOLARE GLOBALE</b>	<b>13</b>
<b>7.1.2 UMIDITA'</b>	<b>13</b>
<b>7.2 ANALISI DATI DI QUALITA' DELL'ARIA</b>	<b>15</b>
<b>7.2.1 OSSIDI DI AZOTO</b>	<b>15</b>
<b>7.2.2 POLVERI PM10</b>	<b>18</b>
<b>7.2.3 OZONO (O3)</b>	<b>21</b>
<b>8. CONCLUSIONI</b>	<b>22</b>
<b>9. BIBLIOGRAFIA</b>	<b>24</b>

## 1.INTRODUZIONE

La presente relazione illustra i risultati della seconda campagna di misura della qualità dell'aria inerente al progetto regionale "Urban Forestry" in collaborazione con IBE-CNR relativa allo studio sulla capacità delle piante di trattenere gli inquinanti in funzione delle varie fasi vegetative. La campagna si è svolta ad Asti con utilizzo di due laboratori mobili per il monitoraggio della qualità dell'aria nel periodo compreso tra il 26 aprile 2021 e il 31 maggio 2021 e rientra nel programma di monitoraggio del progetto che prevede 4 campagne nell'anno, una per stagione.

Analogamente alla prima campagna di misura invernale, i laboratori mobili di Arpa Piemonte sono stati posizionati presso il parco urbano della città di Asti e presso la centrale Piazza Statuto, quale sito di confronto senza vegetazione. Contestualmente i ricercatori del gruppo di ricerca IBE\_CNR hanno nuovamente prelevato campioni di foglie delle diverse specie caducifoglie e sempreverdi in modo da correlare i dati di qualità dell'aria con le analisi micro-morfologiche-biochimiche sulle foglie, in particolare sulle cere, e con la quantificazione delle PM trattenute dalla superficie fogliare.

## 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. Le Tabelle sottostanti riassumono i limiti previsti dalla normativa cogente per i diversi inquinanti oggetto della presente relazione

Periodo di mediazione	Valore limite D.Lgs.155/2010
1 giorno	50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ da non superare più di 35 volte per anno civile
Anno civile	40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

**PM10 - Valori limite ai sensi del D. Lgs.155/2010**

Periodo di mediazione	Valore limite D.Lgs.155/2010
1 ora	200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ da non superare più di 18 volte per anno civile
Anno civile	40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

**Biossido di azoto - Valori limite ai sensi del D. Lgs.155/2010**

Finalità	Indicatori	Periodo di mediazione	Valore	Data entro la quale deve essere raggiunto il valore obiettivo
protezione della salute umana	Soglia di informazione	1 ora	180 µg/m <sup>3</sup>	-
	Soglia di allarme	1 ora	240 µg/m <sup>3</sup> (1)	-
	Valore obiettivo	Media massima giornaliera calcolata su 8 ore (media su tre anni)	120 µg/m <sup>3</sup> da non superare più di 25 volte per anno civile come media su tre anni	01/01/2010
	Obiettivo a lungo termine (OLT)	Media massima giornaliera calcolata su 8 ore	120 µg/m <sup>3</sup>	Non definito

(1) Per l'applicazione dell'articolo 10 (Piani per la riduzione del rischio di superamento dei valori limite, dei valori obiettivo e delle soglie di allarme), comma 1 (recante adozione di azioni in caso di superamenti della soglia di allarme) del D.Lgs. 155/2010, deve essere misurato o previsto un superamento per tre ore consecutive.

**Ozono: Soglia di informazione, soglia di allarme, valore obiettivo e obiettivo a lungo termine per la protezione della salute umana ai sensi del D. Lgs.155/2010**

### 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)

Nella campagna di misura sono stati misurati gli inquinanti atmosferici seguenti, di cui vengono riassunte le caratteristiche.

#### 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 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 **PM<sub>10</sub>** e **PM<sub>2.5</sub>** 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 NO<sub>x</sub> (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 postazione GREEN – Parco della Resistenza</b>				
STRUMENTO	MODELLO	PARAMETRO MISURATO	METODO DI MISURA	INCERTEZZA ESTESA
Analizzatore API	200E	NO-NO <sub>2</sub>	Chemiluminescenza	8.2% <sup>1</sup>
Analizzatore API	400E	O <sub>3</sub>	Assorbimento UV	8% <sup>2</sup>
PM10 TECORA	Charlie-sentinel	PM10	Gravimetria	14.0% <sup>3</sup>

<b>Laboratorio mobile postazione NON-GREEN Piazza Statuto</b>				
STRUMENTO	MODELLO	PARAMETRO MISURATO	METODO DI MISURA	INCERTEZZA ESTESA
Analizzatore API	200E	NO-NO <sub>2</sub>	Chemiluminescenza	7.6% <sup>4</sup>
Analizzatore API	M400E	O <sub>3</sub>	Assorbimento UV	9% <sup>5</sup>
PM10 TECORA	Charlie-sentinel	PM10	Gravimetria	14.0%

<sup>1</sup> Rapporto di Taratura 2020\_063\_RdT-Servizio Tarature Arpa Piemonte del 12/2020

<sup>2</sup> Rapporto di Taratura 2020\_058\_RdT-Servizio Tarature Arpa Piemonte del 06/10/2020

<sup>3</sup> Da Procedura Arpa U.RP.H505

<sup>4</sup> Rapporto di Taratura 2020\_062\_RdT-Servizio Tarature Arpa Piemonte del 12/2020

<sup>5</sup> Rapporto di Taratura 2020\_057\_RdT-Servizio Tarature Arpa Piemonte del 06/10/2020



Analogamente al mese di ottobre 2020 è stato effettuato un nuovo interconfronto tra gli analizzatori presenti sui due laboratori mobili propedeutico alla campagna di monitoraggio. La valutazione della compatibilità tra le coppie di dati misurati è stata effettuata tramite differenti metodi statistici oggetto di specifica relazione (relazione Arpa G07\_2020\_01031\_049). Gli esiti dei test hanno confermato la compatibilità tra i vari analizzatori utilizzati nella campagna di misura.

## 5. SCELTA DEI PUNTI DI MISURA

I due siti di monitoraggio in Asti, Piazza Statuto (SITO NON GREEN) e Parco della Resistenza (SITO GREEN), sono indicati in figura seguente in colore giallo (figura 1) unitamente alle stazioni di traffico urbano di Asti-Baussano e di fondo urbano di Asti-D'Acquisto (in colore verde). Come visibile i punti si trovano all'interno della circoscrizione interna, in area di centro urbano. La distanza tra le due postazioni è di circa 500 metri.



Figura 1-Siti di monitoraggio

### Punto 1-Parco della Resistenza: parco urbano in condizioni di vasta ombreggiatura (SITO GREEN)

Come punto di monitoraggio situato in area verde e caratterizzato da una elevata ombreggiatura è stato scelto il Parco della Resistenza, ubicato nel centro della città di Asti. Si tratta di un piccolo parco urbano che si estende per una superficie circa 2,8ha tra piazza Alfieri e piazza del Palio ed è circondato da vie trafficate. Le specie arboree presenti all'interno del parco, antiche e di pregio, sono sia sempreverdi che caducifoglie ed il suolo è per lo più inerbato e non permeabile solo nelle parti di camminamento. Nelle aree a prato sono presenti principalmente alberi ad alto fusto sempreverdi e latifoglie a foglie caduche, e in misura minore arbusti.

Le specie sempreverdi presenti appartengono alle seguenti specie: *Magnolia grandiflora*, *Cedrus atlantica*, *Picea abies*, *Abies alba*, *Chamaecyparis sp.*, *Thuja sp.*, *Taxus baccata*, *Libocedrus decurrens*, *Cedrus deodara*.

Gli alberi sempreverdi più vecchi e con diametro maggiore appartengono a *Cedrus atlantica*, *Libocedrus decurrens* e *Magnolia grandiflora*, ma sono solo 12 esemplari in tutto il parco, questo fa sì che in periodo invernale, quando le latifoglie a foglie caduche sono spoglie, la copertura della canopea sia lassa.

Le specie caducifoglie sono numerose, quelle più frequenti sono *Carpinus betulus*, *Celtis australis*, *Paulownia tomentosa*, *Platanus occidentalis*, *Quercus robur*, *Robinia Pseudoacacia*, *Sophora Japonica*, *Ulmus sp.* e 4 diverse specie di *Acer*.

Appartengono proprio alle caducifoglie i 5 esemplari con diametro del tronco superiore a 100 cm: *Paulownia tomentosa*, *Celtis australis*, *Sophora japonica*, *Quercus robur* e *Platanus occidentalis*, e se si considerano quelle superiori a 50 cm risultano in tutto 80 esemplari, ragione per cui nella



stagione vegetativa, ad esclusione della piazza centrale dove non ci sono alberi, la canopea è densa ed ha una buona capacità ombreggiante



Figura 2 – Foto sito “GREEN” di Parco della Resistenza

**Punto 2-Piazza Statuto: area urbana edifica in condizioni di esposizione solare e ZTL (SITO NON GREEN)**

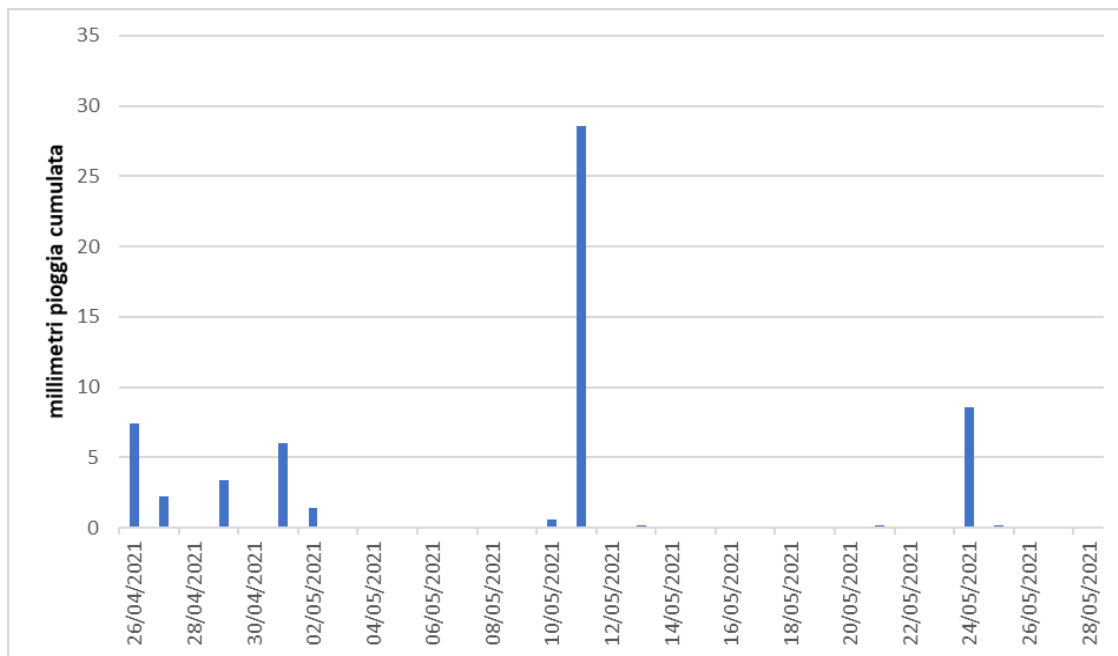
Questo punto di monitoraggio si trova in Piazza Statuto all’interno della ZTL comunale, in area pedonale ad elevato soleggiamento e con scarsa o assente presenza di verde. Il suolo non è permeabile, la pavimentazione è a porfido.



Figura 3 – Foto sito “NON GREEN” di Piazza Statuto

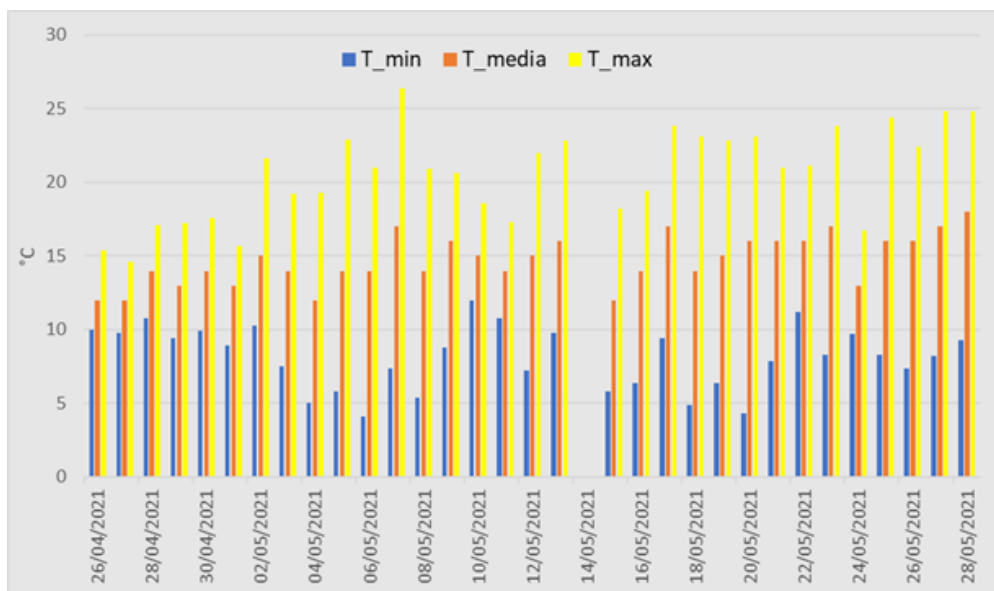
## 6. CARATTERIZZAZIONE METEOROLOGICA DEL PERIODO DI MISURA

I dati meteorologici del periodo di misura sono stati ricavati dai dati forniti dalla stazione della Rete meteo idrografica gestita da Arpa Piemonte di Asti-Penna<sup>6</sup>. Nel grafico seguente sono riportati i mm di pioggia cumulata giornaliera relativi al periodo di monitoraggio.



*Asti-Penna-mm pioggia cumulata dal 26 aprile al 28 maggio 2021*

Le temperature minime, medie e massime misurate nell'intero periodo di monitoraggio che risultano coerenti con la situazione rilevata a livello regionale, vengono raffigurate nel grafico seguente. Dai dati acquisiti si ricava che, su base oraria, la temperatura massima del periodo del monitoraggio è stata di 26.4°C registrata il 7 maggio, la media di 14.7 °C e la minima di 4.1°C il 6 maggio.



*Asti-Penna-temperature minime-medie-massime dal 26 aprile al 28 maggio 2021*

<sup>6</sup> [http://www.arpa.piemonte.it/rischinaturali/tematismi/meteo/osservazioni/rete-meteoidrografica/anagrafica-stazioni.html?delta=2&ID\\_VENUE=21548](http://www.arpa.piemonte.it/rischinaturali/tematismi/meteo/osservazioni/rete-meteoidrografica/anagrafica-stazioni.html?delta=2&ID_VENUE=21548)



## 7. RISULTATI

Per quantificare l'effetto del verde sui livelli degli inquinanti presenti in ambito urbano sono stati confrontati tra loro i dati acquisiti dai due laboratori nelle due postazioni "green" e "non green". I parametri considerati sono stati PM10, NOx e Ozono, temperatura, umidità relativa e radiazione solare globale. 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 Asti, ovvero con la stazione da traffico (TU) di Asti-Baussano e con quella di fondo urbano (FU) di Asti-D'Acquisto.

### 7.1 ANALISI DATI METEOROLOGICI

La temperatura, insieme all'umidità relativa e alla radiazione solare globale, sono normalmente i parametri più interessanti da analizzare, soprattutto in periodo estivo in quanto, come risaputo, in contesti densamente urbanizzati si riscontrano variazioni del profilo giornaliero della temperatura a causa della presenza dell'isola di calore urbana, per cui nel centro urbano si riscontrano temperature di diversi gradi superiori a quelle della periferia meno urbanizzata.

I parametri acquisiti presso il sito GREEN di Parco della Resistenza e quello NONGREEN di Piazza Statuto sono stati confrontati tra loro e con quelli acquisiti nelle stazioni della Rete meteo idrografica gestita da Arpa Piemonte di Asti-Penna e Asti-Tanaro, ubicate esternamente al centro urbano.

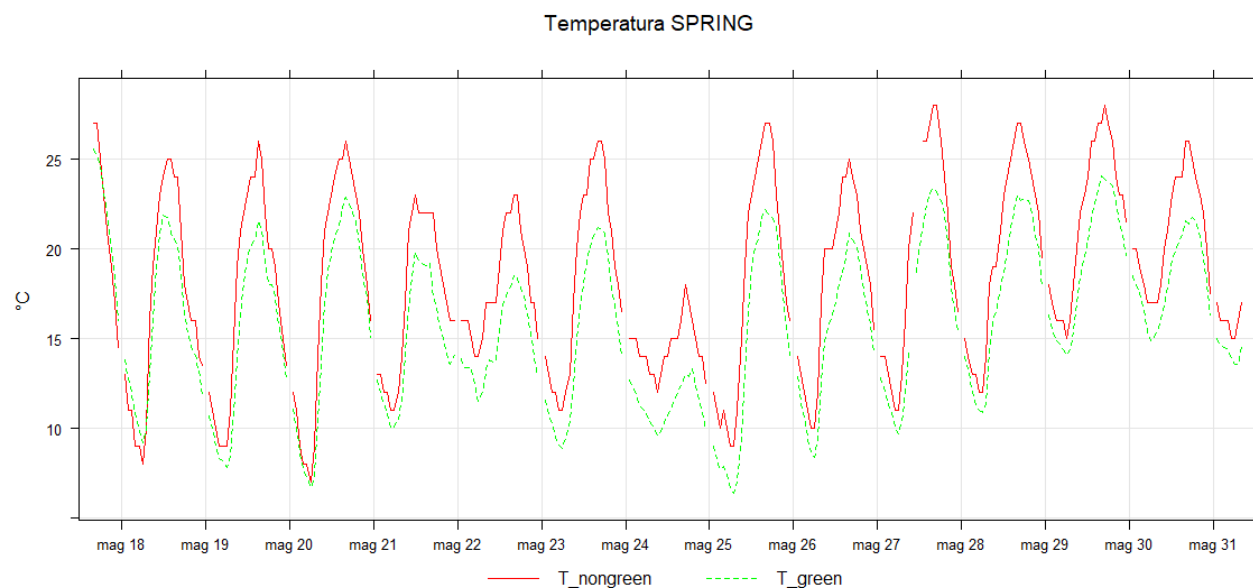


Figura 4-Stazioni meteo

### 7.1.1 TEMPERATURA

Relativamente al parametro temperatura sono stati analizzati i dati acquisiti nel periodo 17-31 maggio 2021. Come evidenziato nella tabella e nel time-plot seguenti si evidenziano differenze anche significative tra le diverse postazioni e tra il punto GREEN e NONGREEN.

	Temperatura minima (°C)	Temperatura media (°C)	Temperatura massima (°C)
Asti-Penna	4.5	16.3	26.0
Asti-Tanaro	6.3	16.7	25.2
Piazza Statuto (NONGREEN)	7.0	18.4	28.0
Parco della Resistenza (GREEN)	6.4	15.8	25.6

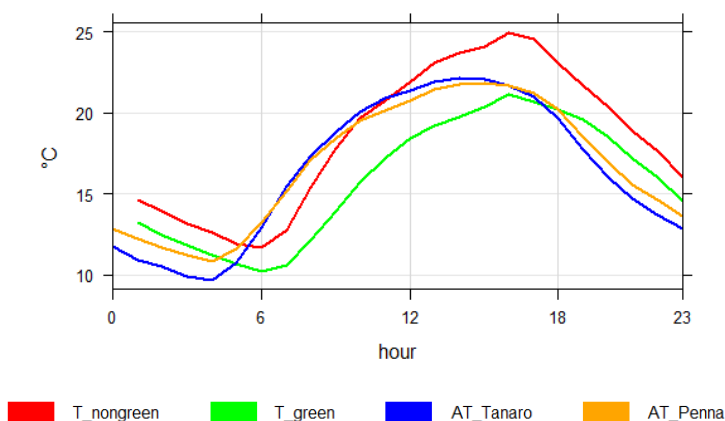


**Radiazione solare globale-time-plot dell'irraggiamento orario rilevato dal 17/05/21 al 31/05/21 ad Asti (in rosso postazione "non green" Piazza Statuto, in verde postazione "green" Parco della Resistenza)**

Come riscontrato nelle precedenti campagne di misura, le due postazioni "GREEN" e "NON-GREEN", entrambe poste all'interno dell'isola di calore tipica del centro urbano, presentano valori differenti: la postazione "NON-GREEN" mostra valori più elevati di quella "GREEN" che invece ha temperature simili a quelle delle aree aperte periferiche dove si trovano le stazioni meteo Arpa di Asti -Penna e Asti-Tanaro.

Nel sito "NON-GREEN" si riscontra un innalzamento delle temperature medie pari a 2.1°C e di circa 2°C sulle temperature massime rispetto alla stazione di riferimento di Asti Penna. I valori medi determinati presso il sito GREEN risultano invece inferiori sia a quanto misurato presso la postazione NONGREEN sia rispetto a quanto determinato presso le stazioni periferiche, mentre le temperature minime e massime sono del tutto confrontabili con quanto rilevato presso la stazione meteo di Asti Tanaro. **La differenza tra la temperatura media relativa alla postazione NONGREEN e quella GREEN risulta pari a 2.6°C.**

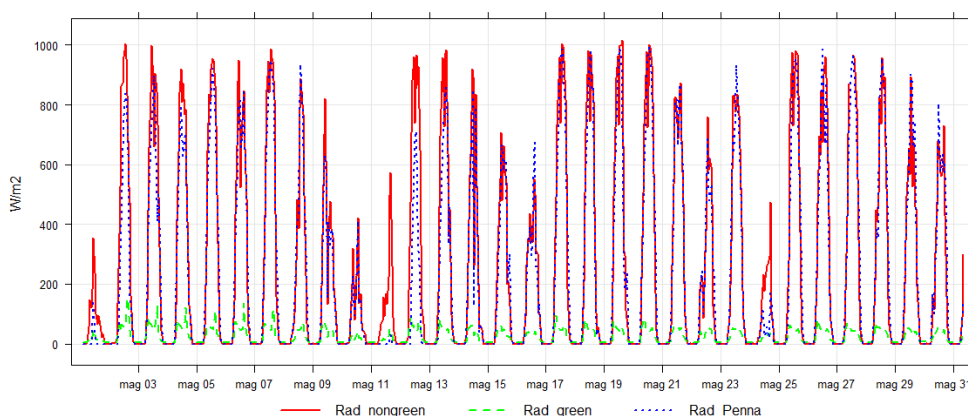
L'analisi del giorno tipo, ovvero di come varia nel corso della giornata la temperatura, evidenzia come nelle ore notturne le temperature misurate in città siano più elevate rispetto alla periferia, sia nella postazione GREEN che in quella NONGREEN in quanto durante la notte la superficie urbanizzata rilascia il calore immagazzinato nelle ore diurne, riscaldando l'aria. Tuttavia, come visibile, nel sito NONGREEN le temperature risultano tutto il giorno più elevate rispetto a quello GREEN, con differenze significative nelle ore centrali della giornata.



### 7.1.2 RADIAZIONE SOLARE GLOBALE

Considerando i dati di irraggiamento al suolo è ancora più evidente l'effetto dell'ombreggiamento della vegetazione che determina una forte riduzione della radiazione, pari a circa 1/7 di quanto rilevato nel sito NONGREEN nelle ore di massimo irraggiamento. Ciò è dovuto sia all'effetto schermante del verde sulla radiazione diretta sia ad un maggior assorbimento e, quindi, ad un ridotto effetto riflettente delle superfici a verde (prato e foglie) rispetto alle superfici a più elevata riflettività come gli edifici e la pavimentazione in pietra.

RADIAZIONE SPRING



**Radiazione solare globale-time-plot dell'irraggiamento orario rilevato dal 01/05/21 al 31/05/21 ad Asti (in rosso postazione "non green" Piazza Statuto, in verde postazione "green" Parco della Resistenza) e presso stazione Arpa Asti-Penna (in blu)**

### 7.1.2 UMIDITA'

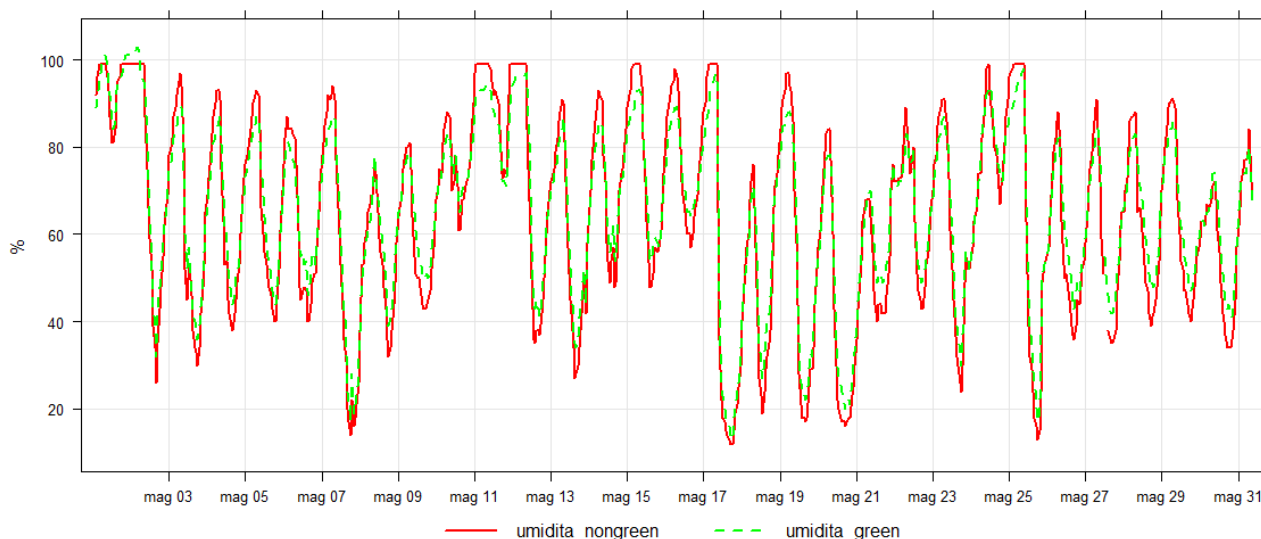
Nella tabella e nel grafico seguenti vengono riassunti i valori di umidità relativa orari misurati presso le due postazioni di monitoraggio nel periodo di misura e presso le stazioni meteo di Arpa. Come visibile i valori più elevati vengono riscontrati al di fuori del centro urbano, mentre i valori più bassi presso la postazione NONGREEN.

Si raggiungono valori prossimi al 100% negli episodi di pioggia e nelle notti seguenti a tali eventi.

	Umidità minima (%)	Umidità media (%)	Umidità massima (%)
Asti-Penna	49%	71%	95%
Asti-Tanaro	47%	68%	90%
Piazza Statuto (NONGREEN)	41%	64%	89%
Parco della Resistenza (GREEN)	46%	65%	85%



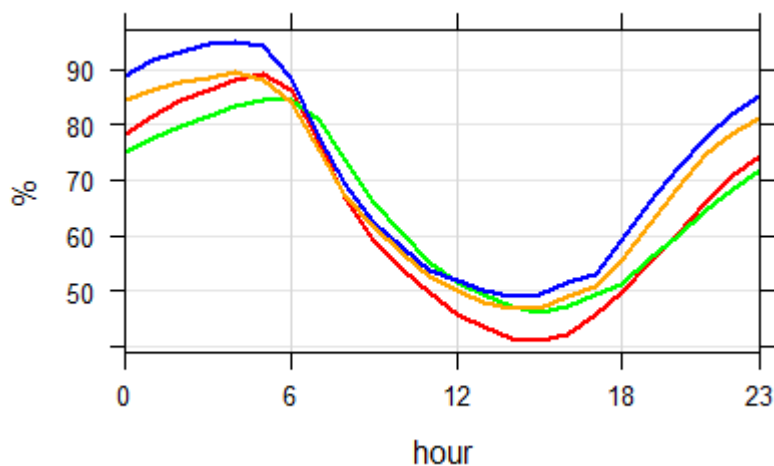
UMIDITA relativa SPRING



**Umidità relativa percentuale-time-plot concentrazioni orarie rilevate dal 01/05/21 al 31/05/21 ad Asti (in rosso postazione “non green” Piazza Statuto, in verde postazione “green” Parco della Resistenza)**

Analizzando invece il grafico del giorno tipo relativo al parametro si può osservare che i valori di umidità relativa sono minimi nelle ore centrali della giornata sia presso le postazioni di misura che presso le stazioni Arpa esterne al centro urbano a causa dell’irraggiamento solare.

Presso il sito GREEN l’umidità relativa risulta più bassa nelle ore notturne e più alta nelle ore centrali della giornata rispetto al sito NONGREEN, ciò rappresenta una minor escursione del parametro umidità tra il massimo notturno e il minimo diurno imputabile al fenomeno dell’evapotraspirazione della vegetazione. Questa escursione ridotta rappresenta una condizione microclimatica migliore. Risultati simili sono stati riscontrati nell’analogo studio condotto da ArpaE.<sup>7</sup>



Umidita\_nongreen Umidita\_green Umidita\_Penna Umidita\_Tanaro

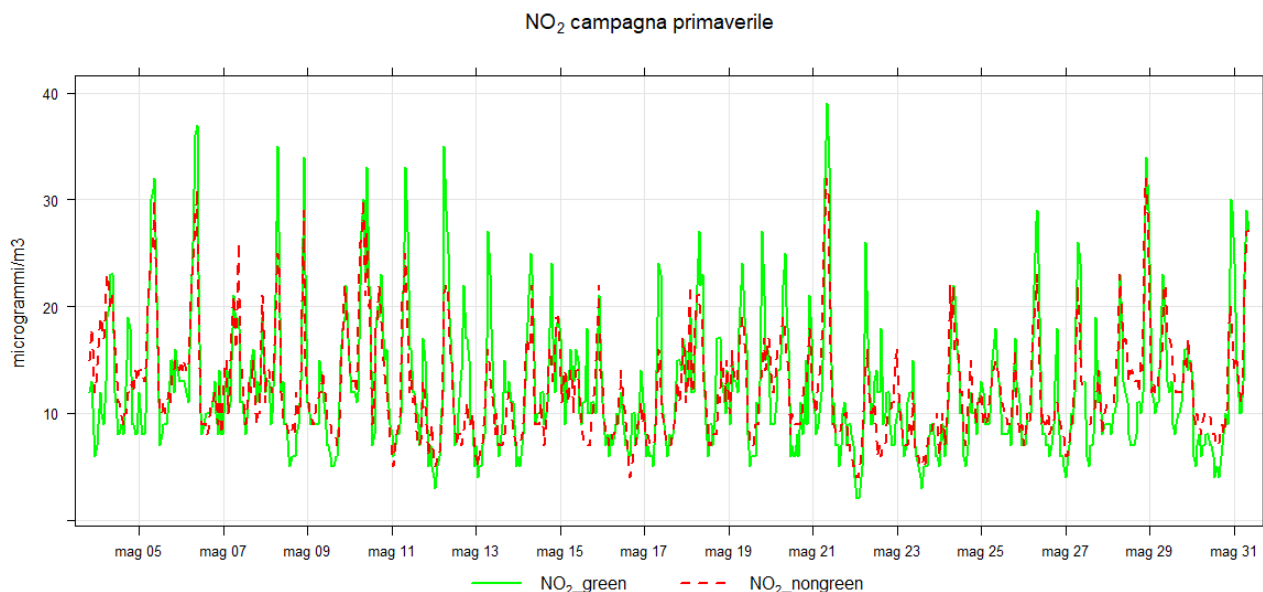
**Umidità relativa percentuale-giorno tipo**

<sup>7</sup> <https://www.arpae.it/it/il-territorio/reggio-emilia/report-a-reggio-emilia/aria/altri-report/relazione-urbanproof.pdf/view>

## 7.2 ANALISI DATI DI QUALITA' DELL'ARIA

### 7.2.1 OSSIDI DI AZOTO

Le elaborazioni relative agli ossidi di azoto sono state effettuate considerando solo le giornate con la presenza di entrambe le coppie di dati e l'intervallo temporale compreso tra il 03 maggio e il 31 maggio 2021. Nel grafico seguente viene rappresentato l'andamento delle concentrazioni orarie di Biossido di azoto NO<sub>2</sub> rilevate nel periodo considerato presso le due postazioni. Come visibile sia i valori misurati sia le modulazioni sono quasi perfettamente corrispondenti, seppur nel sito GREEN i valori massimi mattutini giornalieri raggiungano valori superiori, probabilmente in relazione al traffico presente nelle vie adiacenti il parco cittadino.



**NO<sub>2</sub>-time-plot concentrazioni orarie rilevate dal 03/05/2021 al 31/05/2021 ad Asti (in rosso postazione "non green" Piazza Statuto, in verde postazione "green" Parco della Resistenza)**

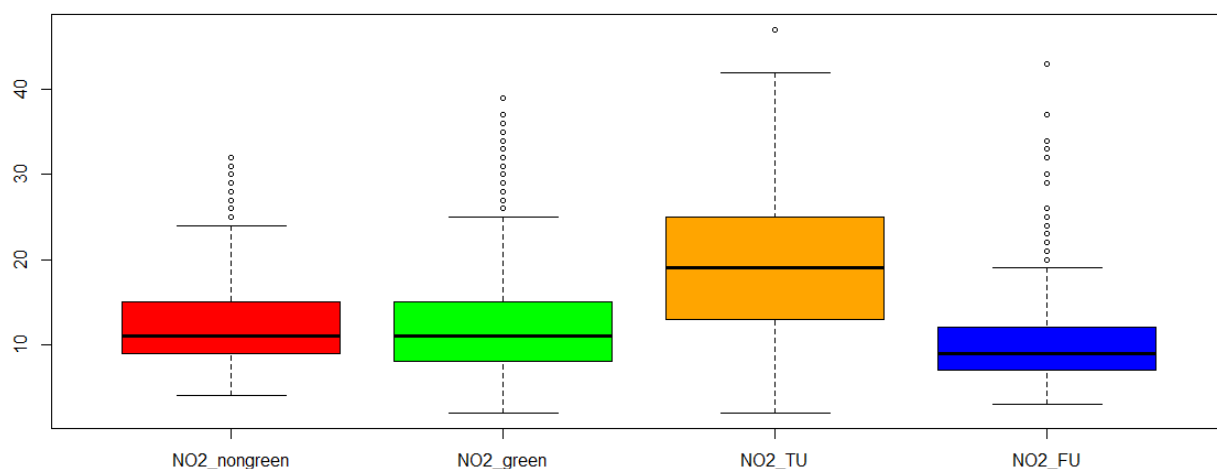
Come visibile nella tabella e nel box plot seguenti le concentrazioni medie dell'inquinante rilevate nel sito GREEN risultano perfettamente compatibili sia con quanto rilevato nella postazione NONGREEN sia con quanto determinato nella stazione di fondo urbano (Asti FU), con una riduzione di circa il 35% rispetto a quanto misurato nella stazione di traffico urbano, contrariamente a quanto osservato nella campagna invernale 2021 e in linea con la campagna autunnale 2019.

Le concentrazioni massime del sito GREEN si confermano superiori a quanto determinato nel punto NONGREEN di circa il 20% come già rilevato nelle altre campagne di misura soprattutto in alcune giornate e nelle ore corrispondenti ai flussi di traffico mattutino in ingresso e uscita dalle due aree parcheggio limitrofe al Parco.

NO <sub>2</sub>	Sito NONGREEN	Sito GREEN	Asti TU	Asti FU
Concentrazioni minime	4 µg/m <sup>3</sup>	2 µg/m <sup>3</sup>	2 µg/m <sup>3</sup>	3 µg/m <sup>3</sup>
Concentrazioni medie	12 µg/m <sup>3</sup>	12 µg/m <sup>3</sup>	19 µg/m <sup>3</sup>	11 µg/m <sup>3</sup>
Concentrazioni massime	32 µg/m <sup>3</sup>	39 µg/m <sup>3</sup>	47 µg/m <sup>3</sup>	43 µg/m <sup>3</sup>

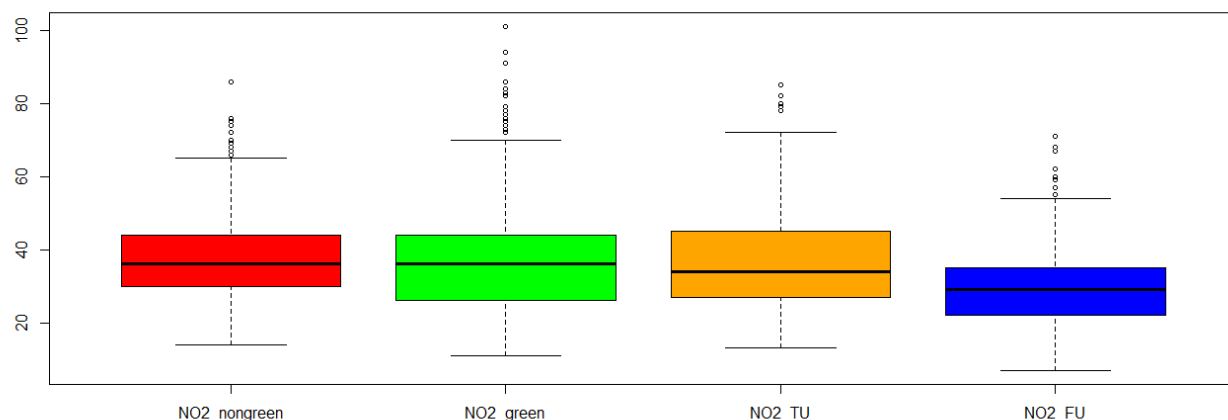
**NO<sub>2</sub>. Concentrazioni minime-medie-massime periodo di misura 2021**

**NO2 campagna primaverile**



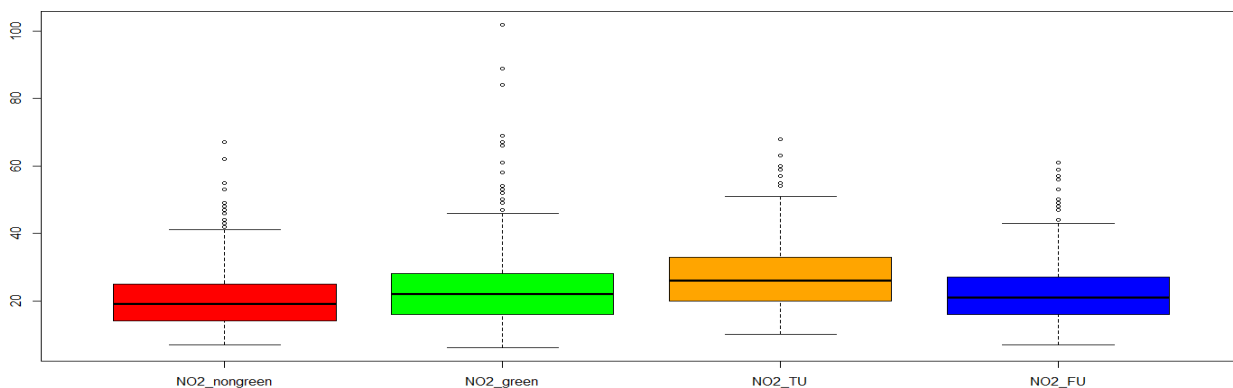
**NO<sub>2</sub>-Box-plot concentrazioni orarie rilevate dal 03/05/2021 al 31/05/2021 ad Asti (in rosso postazione “non green” Piazza Statuto, in verde postazione “green” Parco della Resistenza) e stazioni fisse RRQA Asti**

**NO2 campagna invernale**



**NO<sub>2</sub>-Box-plot concentrazioni orarie rilevate dal 20/01/2021 al 09/02/2021 ad Asti (in rosso postazione “non green” Piazza Statuto, in verde postazione “green” Parco della Resistenza) e stazioni fisse RRQA Asti**

**NO2 campagna autunnale**



**NO<sub>2</sub>-Box-plot concentrazioni orarie rilevate dal 18/09/19 al 05/11/19 ad Asti (in rosso postazione “non green” Piazza Statuto, in verde postazione “green” Parco della Resistenza) e stazioni fisse RRQA Asti**

Per quanto riguarda l'ossido di azoto NO le concentrazioni medie misurate presso la postazione NONGREEN risultano superiori a quanto rilevato presso la postazione GREEN seppur i valori misurati siano decisamente bassi (Detection Limit=1 µg/m³).

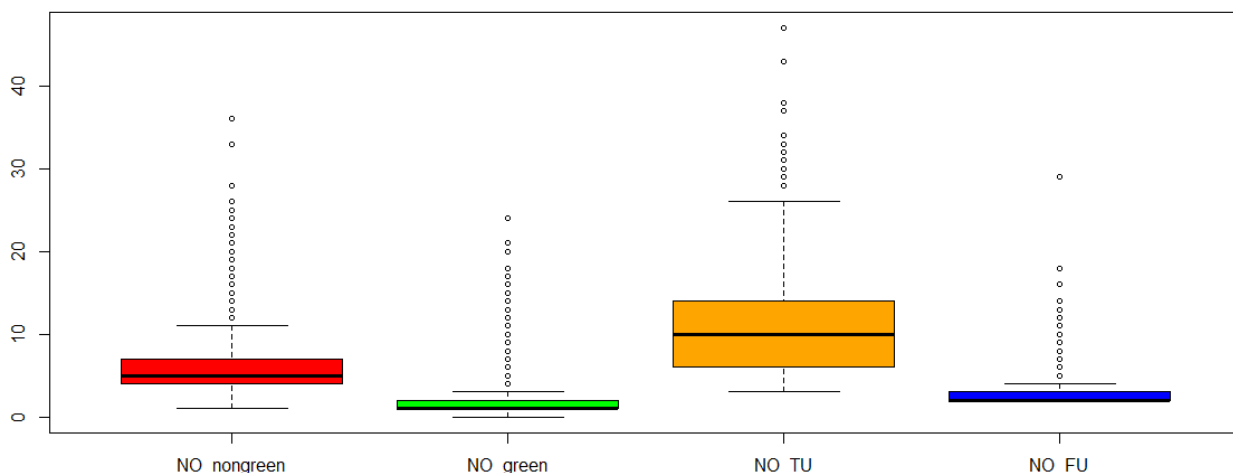
Le concentrazioni massime misurate presso il sito GREEN risultano allineate con quanto determinato presso la stazione di fondo urbano Asti FU e significativamente inferiori a quanto rilevato presso la postazione NONGREEN.

Nella campagna primaverile inoltre non viene evidenziata, come in quelle precedenti, la presenza di valori sporadici più elevati dell'inquinante presso il Parco, come raffigurato nei grafici seguenti.

NO	Sito NONGREEN	Sito GREEN	Asti TU	Asti FU
Concentrazioni minime	1 µg/m³	1 µg/m³	3 µg/m³	2 µg/m³
Concentrazioni medie	6 µg/m³	2 µg/m³	11 µg/m³	3 µg/m³
Concentrazioni massime	36 µg/m³	24 µg/m³	47 µg/m³	29 µg/m³

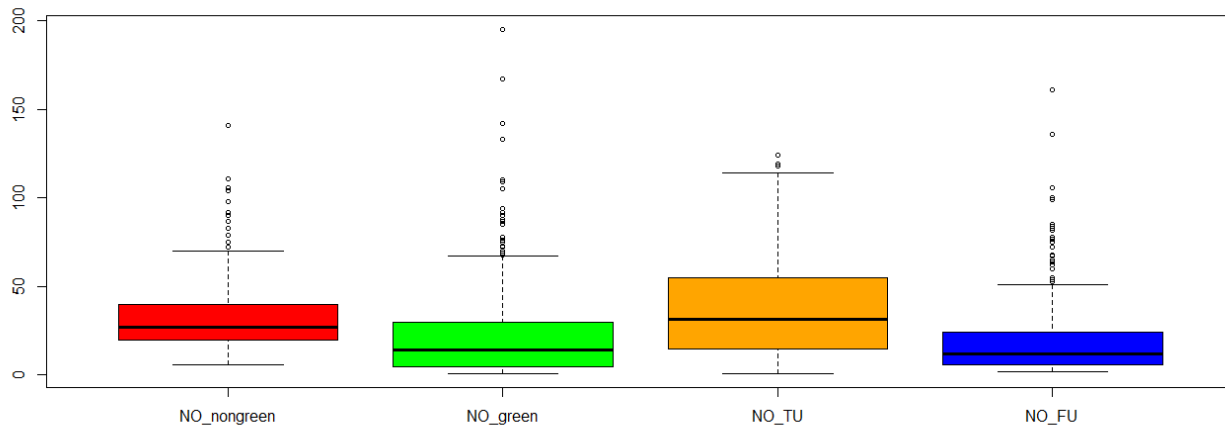
**NO. Concentrazioni minime-medie-massime periodo di misura 2021**

**NO campagna primaverile**

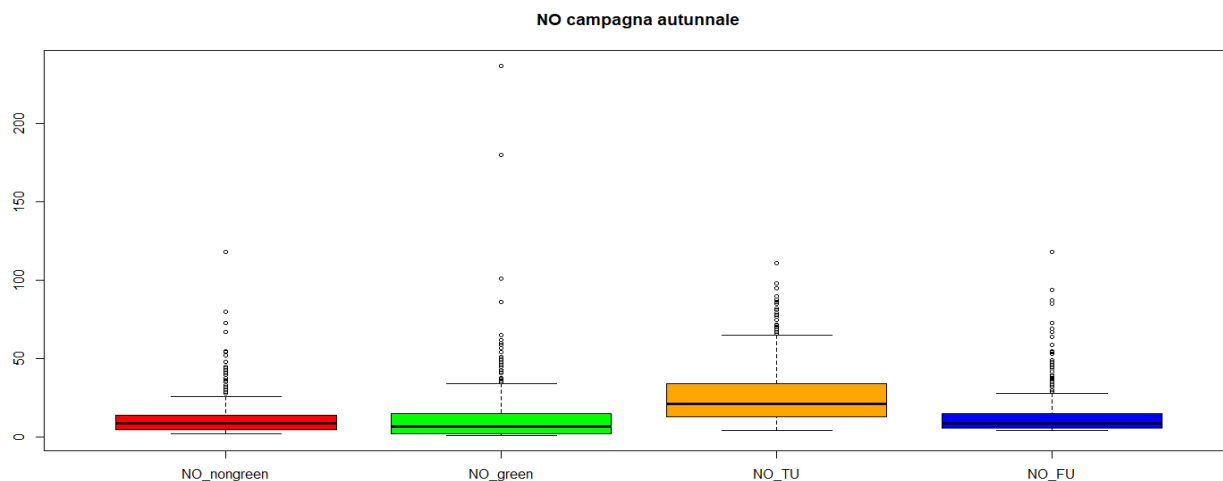


**NO.Box-plot, concentrazioni orarie rilevate dal 03/05/2021 al 31/05/2021 ad Asti (in rosso postazione “non green” Piazza Statuto, in verde postazione “green” Parco della Resistenza) e stazioni fisse RRQA Asti**

**NO campagna invernale**



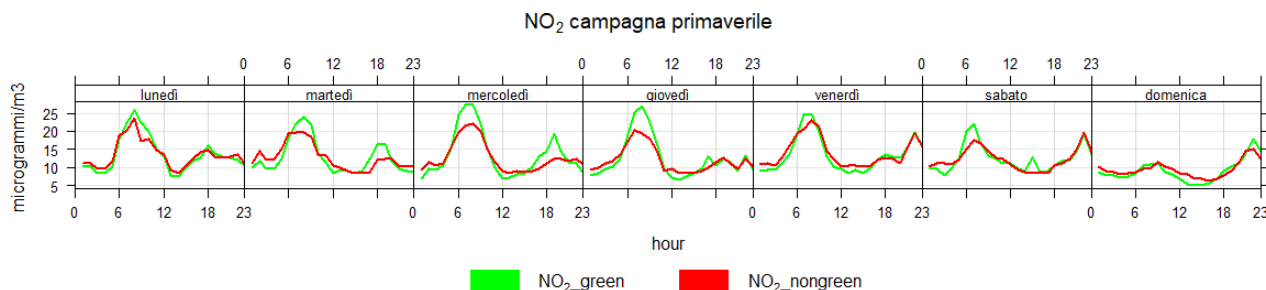
**NO.Box-plot, concentrazioni orarie rilevate dal 20/01/2021 al 09/02/2021 ad Asti (in rosso postazione “non green” Piazza Statuto, in verde postazione “green” Parco della Resistenza) e stazioni fisse RRQA Asti**



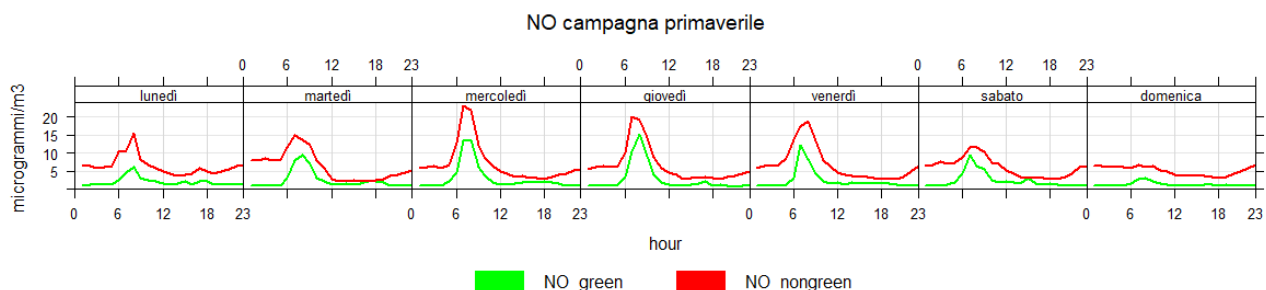
**NO-Box-plot, concentrazioni orarie rilevate dal 18/09/19 al 05/11/19 ad Asti (in rosso postazione “non green” Piazza Statuto, in verde postazione “green” Parco della Resistenza) e stazioni fisse RRQA Asti**

Considerando l’andamento delle concentrazioni medie orarie per monossido di azoto (NO) e biossido di azoto (NO<sub>2</sub>) nei vari giorni della settimana si può osservare come le concentrazioni orarie di NO<sub>2</sub> rilevate presso il sito GREEN seguano perfettamente l’andamento dei valori misurati presso la postazione NONGREEN in tutte le ore del giorno e in tutti i giorni della settimana, con un innalzamento delle concentrazioni mattutine il martedì, il mercoledì e il giovedì.

Mentre per quanto riguarda il NO risultano sempre superiori per il sito NONGREEN ben visibile nel picco mattutino relativo alla giornata di mercoledì, giorno in cui è presente il mercato cittadino.



**Giorno tipo NO<sub>2</sub>. In verde postazione “green” -Parco della Resistenza, in rosso postazione “non green” Piazza Statuto**



**Giorno tipo NO. In verde postazione “green” -Parco della Resistenza, in rosso postazione “non green” Piazza Statuto**

## 7.2.2 POLVERI PM10

Le concentrazioni minime-medie e massime di PM10 rilevate nel periodo di misura nelle due postazioni e nelle stazioni fisse di traffico e fondo urbano presenti ad Asti sono sintetizzate nella tabella seguente unitamente al grafico box-plot che rappresenta la distribuzione delle concentrazioni giornaliere misurate. Sono state considerate solo le giornate con tutte le coppie di

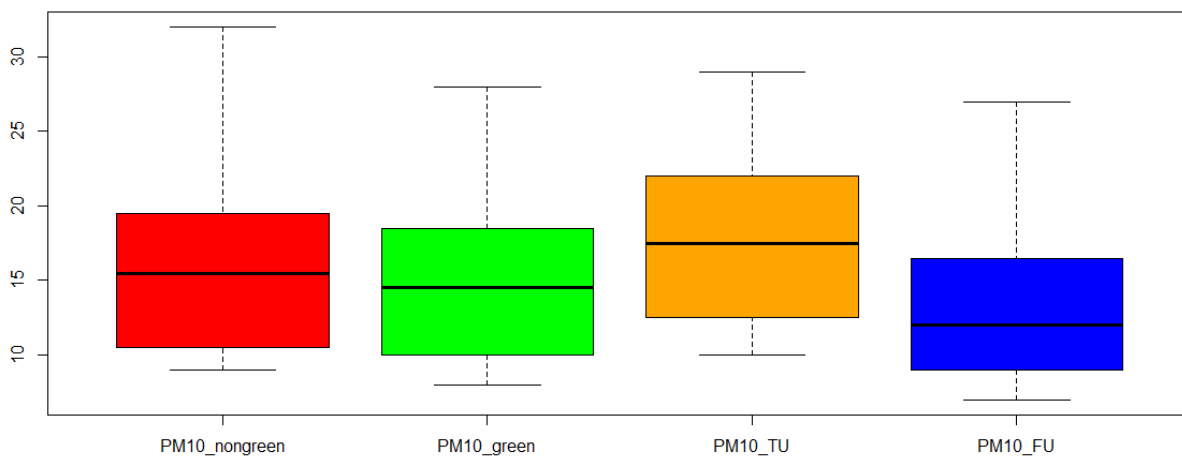


dati presenti, non è stata considerata la giornata del 14 maggio per assenza di dati nella stazione di traffico urbano. Complessivamente le coppie valutate sono 32.

PM10	Sito NONGREEN	Sito GREEN	Asti TU	Asti FU
Concentrazioni minime	9 µg/m <sup>3</sup>	8 µg/m <sup>3</sup>	10 µg/m <sup>3</sup>	7 µg/m <sup>3</sup>
Concentrazioni medie	16 µg/m <sup>3</sup>	15 µg/m <sup>3</sup>	18 µg/m <sup>3</sup>	13 µg/m <sup>3</sup>
Concentrazioni massime	32 µg/m <sup>3</sup>	28 µg/m <sup>3</sup>	29 µg/m <sup>3</sup>	27 µg/m <sup>3</sup>

**PM10. Concentrazioni minime-medie-massime periodo di misura**

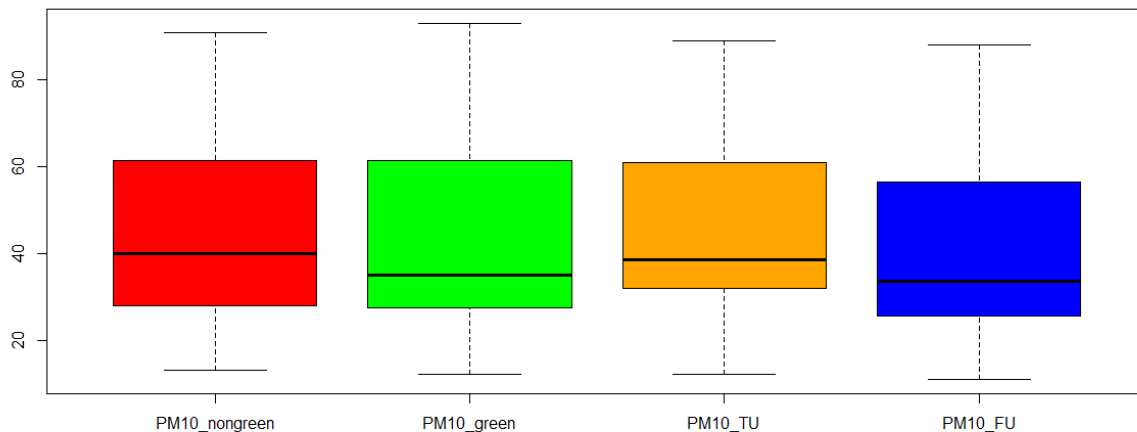
**PM10 campagna primaverile**



**PM10.Box-plot concentrazioni giornaliere rilevate dal 26/04/21 al 28/05/21 ad Asti (in rosso postazione “non green” Piazza Statuto, in verde postazione “green” Parco della Resistenza) e stazioni fisse RRQA Asti**

Come visibile dal grafico e dalla tabella, non si evidenziano differenze significative tra i valori medi misurati nella postazione GREEN e in quella NONGREEN in quanto le minime differenze riscontrate rientrano nell'incertezza della misura che è pari al 14%. La differenza più significativa tra sito NONGREEN e GREEN si ha sulle concentrazioni massime con una differenza percentuale tra parco e piazza del 14%, che non era stata osservata nella campagna invernale.

**PM10 campagna invernale**



**PM10.Box-plot concentrazioni giornaliere rilevate dal 20/01/21 al 26/02/21 ad Asti (in rosso postazione “non green” Piazza Statuto, in verde postazione “green” Parco della Resistenza) e stazioni fisse RRQA Asti**

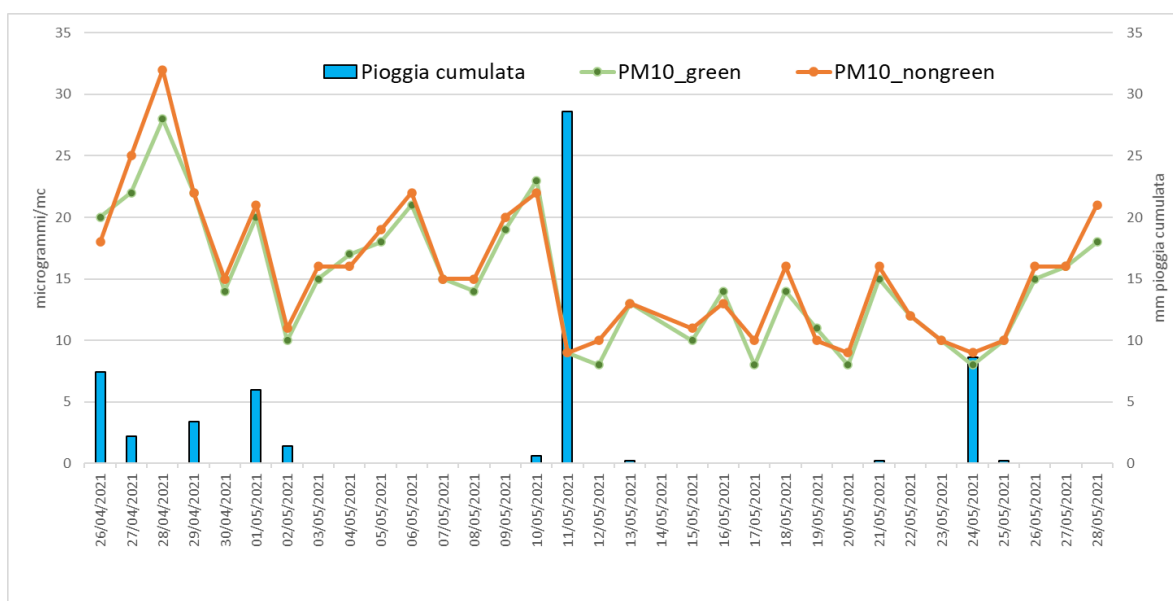
In entrambe le postazioni “green” e “non green” del centro urbano si delinea una condizione di inquinamento intermedio tra quanto registrato dalla stazione da traffico di Asti-Baussano e quella di fondo urbano di Asti-D’Acquisto: si registra infatti un aumento percentuale pari al 15% circa delle concentrazioni medie di PM10 rispetto a quanto misurato nella stazione di fondo e una diminuzione del 17% circa rispetto a quanto rilevato presso la postazione di misura di traffico urbano. Le differenze riscontrate con le zone di fondo e traffico risultano significanti rispetto a quanto osservato nella campagna invernale.

Le differenze tra i valori di polveri PM10 riscontrate nel sito GREEN e NONGREEN nei monitoraggi sin qui effettuati, sono riassunte nella tabella seguente e verranno approfondite nei prossimi mesi per completare il quadro di indagini, prendendo anche in considerazione i dati meteo registrati che sicuramente svolgono un ruolo importante, unitamente ai risultati delle indagini micro-morfologiche-biochimiche condotte dal gruppo di ricerca IBE-CNR di Bologna.

Sin qui si può comunque osservare che le differenze tra le due postazioni sebbene confrontabili con l’incertezza di misura sia sempre in decremento presso la postazione GREEN rispetto al punto NONGREEN e in misura maggiore nella stagione estiva.

PERIODO	Copie di dati a disposizione	Media PM10 sito non GREEN	Media PM10 sito GREEN	Scostamento %
07-17/08/2018	6	19	16	<b>ESTATE -15%</b>
17/10-14/11/2019	23	34	31	<b>AUTUNNO -9%</b>
20/01-26/02/2021	32	45	45	<b>INVERNO 0%</b>
26/04-28/05/2021	32	16	15	<b>PRIMAVERA -6%</b>

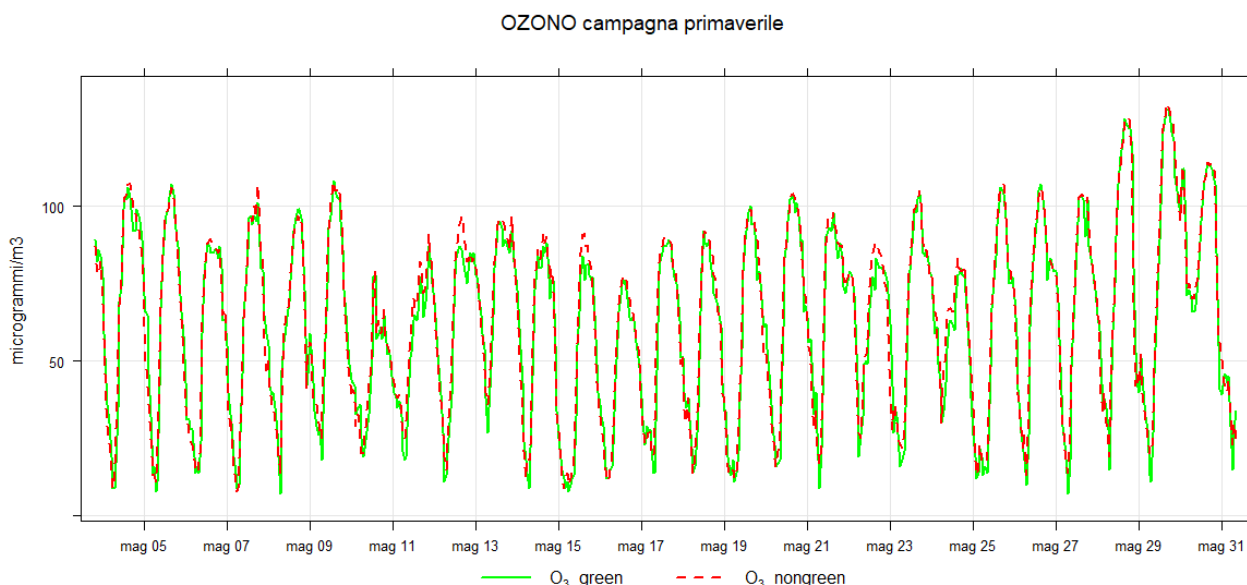
**PM10. Confronto concentrazioni medie campagne di monitoraggio effettuate**



**PM10-Istogramma comparativo concentrazioni giornaliere rilevate dal 26/04/21 al 28/05/21 ad Asti (in rosso postazione “non green” Piazza Statuto, in verde postazione “green” Parco della Resistenza) e mm pioggia cumulata stazione Arpa Asti-Penna**

### 7.2.3 OZONO (O<sub>3</sub>)

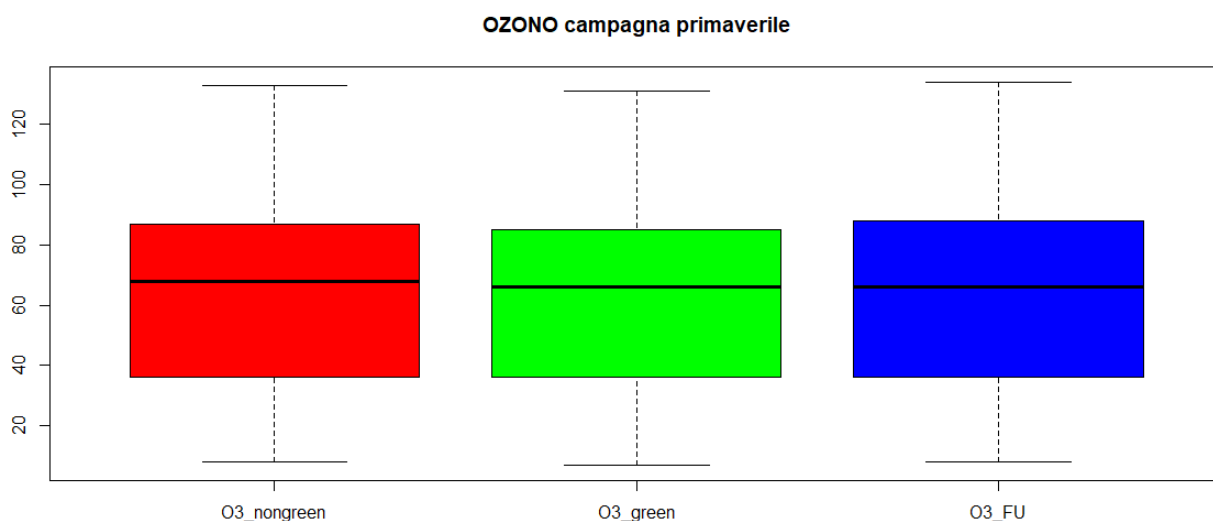
Come per gli ossidi di azoto le elaborazioni seguenti sono state effettuate considerando le giornate ove erano presenti e validate entrambe le copie di dati.



**Time plot Ozono. In verde postazione “green” -Parco della Resistenza, in rosso postazione “non green” Piazza Statuto**

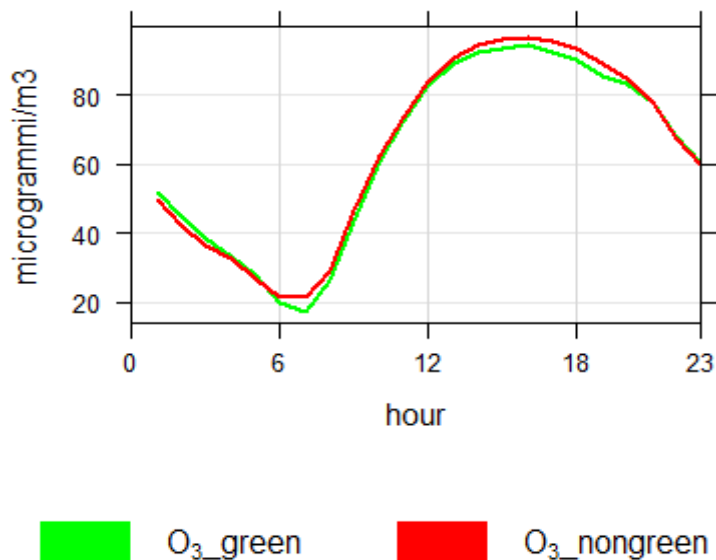
Nel box-plot sottostante le distribuzioni delle concentrazioni orarie rilevate presso i due siti di monitoraggio GREN e NONGREEN vengono confrontate tra loro. Come visibile le concentrazioni di Ozono rilevate presso il Parco della Resistenza sono molto simili a quelle rilevate presso la postazione NONGREEN, non si osservano infatti differenze percentuali significative sulle concentrazioni misurate superiori all'incertezza stimata attorno al 9%.

Relativamente alla stagione primaverile ed analogamente a quella invernale l'effetto delle alberature sembra non influire sui valori dell'inquinante, come invece osservato nella campagna estiva. I valori sono del tutto confrontabili con quelli rilevati nella stazione di fondo urbano di Asti-D'Acquisto.



*Ozono.Box-plot concentrazioni orarie rilevate dal 03/05/21 al 31/05/21 ad Asti (in rosso postazione “non green” Piazza Statuto, in verde postazione “green” Parco della Resistenza, in blu stazione fondo urbano Asti-D'Acquisto)*

L'andamento del giorno tipo evidenzia come nella postazione NONGREEN le concentrazioni dell'inquinante siano leggermente superiori a quelle misurate nella postazione GREEN nelle ore centrali della giornata seppur gli scostamenti rilevati siano sempre comparabili con l'incertezza di misura.





Ozono.giorno tipo periodo 03/05/21 al 31/05/21



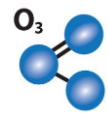
## 8. CONCLUSIONI

Il report riassume i risultati relativi alla seconda campagna di monitoraggio 2021 inerente al progetto pilota di monitoraggio e raccolta di dati microclimatici e di qualità dell'aria nel Comune di Asti il cui obiettivo è quello di valutare la capacità delle piante presenti in un parco urbano della città di trattenere gli inquinanti in funzione delle varie fasi vegetative.

L'indagine svolta con l'utilizzo di due laboratori mobili collocati presso due aree comunali caratterizzate da differente presenza di vegetazione, quali Piazza Statuto (sito NON GREEN) e i giardini pubblici di Parco della Resistenza (sito GREEN), ha avuto luogo dal 26 aprile al 31 maggio 2021 e rientra nel programma di monitoraggio del progetto che prevede 4 campagne nell'anno, una per stagione.

Di seguito si riporta una sintesi dei risultati ottenuti nelle varie campagne stagionali sin qui eseguite a partire dal 2018.

	PRIMAVERA 2021	INVERNO 2021	AUTUNNO 2019	ESTATE 2018
TEMPERATURA				
 	Vengono confermate le differenze tra le postazioni di misura, con un innalzamento dei valori presso il punto NON-GREEN rispetto a quello GREEN pari a 2,6°C sulle Tmedie e 2,4°C sulle Tmax	Si osservano differenze tra le postazioni di misura, con un innalzamento dei valori presso il punto NON-GREEN rispetto a quello GREEN pari a 0,5°C sulle Tmedie e 3°C sulle Tmax	Non si osservano differenze di rilievo tra sito GREEN e NON_GREEN.	Si osservano differenze tra le postazioni di misura con una riduzione delle Tmedie pari al 14% nella postazione GREEN rispetto a quella NON-GREEN.

POLVERI SOTTILI PM10	PRIMAVERA 2021	INVERNO 2021	AUTUNNO 2019	ESTATE 2018
	Non si evidenziano differenze significative tra quanto rilevato presso il sito NON-GREEN e quello GREEN. Le postazioni di misura delineano una condizione di inquinamento intermedio tra quanto registrato dalla stazione da traffico e quella di fondo urbano	Non si evidenziano differenze significative tra quanto rilevato presso il sito NON-GREEN, quello GREEN e le stazioni di fondo e traffico urbano. Sia l'effetto della ZTL che del parco alberato non apportano benefici evidenti rispetto alle concentrazioni di PM10 misurate.	Il sito GREEN non evidenzia differenze apprezzabili rispetto al sito NON-GREEN. L'effetto della ZTL, punto di misura NON_GREEN, non ha evidenziato riduzioni del PM10 in confronto con quanto misurato nella stazione da traffico urbano.	Il sito GREEN evidenzia una riduzione pari a circa il 15% rispetto al sito NON GREEN L'effetto congiunto ZTL +parco alberato porta ad una riduzione della componente primaria delle PM10 pari a circa il 35% La presenza della ZTL, punto di misura NON_GREEN, evidenzia una riduzione del PM10 pari al 20% rispetto alla stazione da traffico.
<b>BIOSSIDO DI AZOTO</b>				
	Non si osservano differenze di rilievo tra sito GREEN e NON_GREEN.	Non si osservano differenze di rilievo tra sito GREEN e NON_GREEN.	Non si osservano differenze di rilievo tra sito GREEN e NON_GREEN.	Non si osservano differenze di rilievo tra sito GREEN e NON_GREEN. L'alberatura ostacola probabilmente la distruzione di biossido di azoto in favore della formazione di ozono alterando quindi il ciclo foto stazionario presente tra le varie specie chimiche.
<b>OZONO</b>				
	Non si osservano differenze di rilievo tra sito GREEN e NON_GREEN.	Non si osservano differenze di rilievo tra sito GREEN e NON_GREEN.	Il sito GREEN non evidenzia differenze apprezzabili rispetto al sito NON-GREEN.	Si osserva un effetto positivo dell'area GREEN con riduzioni del 20-25% di Ozono estivo rispetto al sito NON_GREEN.

I risultati relativi al periodo primaverile sembrano, dal punto di vista degli inquinanti monitorati, non evidenziare differenze significative tra le due postazioni, con alberi e senza alberi, in termini quantitativi.

I risultati dovranno comunque essere integrati con quelli ottenuti dalle osservazioni e analisi effettuate su campioni di foglie prelevate dal gruppo di ricerca IBE\_CNR parallelamente alla campagna di misura.

Per quanto riguarda i parametri fisici meteorologici (temperatura, radiazione solare e umidità) viene confermata anche nella stagione primaverile la riduzione delle temperature per effetto della vegetazione nel punto di misura del Parco con una differenza di circa -3°C sui valori massimi rispetto a quanto rilevato nella Piazza.

Relativamente alla radiazione solare globale i valori presso il punto Green sono ridotti di circa l'80% rispetto a quelli misurati presso il punto NONGreen per effetto dell'ombreggiamento delle piante.



L'effetto benefico del parco urbano riscontrato sull'umidità è di una minor variazione del parametro tra il giorno e la notte con abbassamento dei valori massimi nel periodo notturno e conseguente riduzione dello stress sull'organismo dato dall'afa estiva.

La sperimentazione, come programmato, continuerà anche in periodo estivo ed autunnale e i risultati verranno integrati con i dati di IPA e metalli determinati sui filtri di PM10.

## **9. BIBLIOGRAFIA**

- ArpaE: <https://urlsand.esvalabs.com/?u=https%3A%2F%2Fwww.arpae.it%2Fit%2Fterritorio%2Freggio-emilia%2Freport-a-reggio-emilia%2Faria%2Faltri-report%2Frelazione-urbanproof.pdf%2Fview&e=eb736440&h=005ccf13&f=y&p=n>
- 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**