

# Interconfronto di smart sensor a Milano: una attività svolta tra soci IAS del WG2

Cristina Colombi, Rosario Cosenza – ARPA Lombardia

Daniela Cesari, Florian Unga, Daniele Contini – ISAC-CNR Lecce

Maria Chiara Bove, Roberto Cresta – ARPA Liguria

Silvia Moroni – AMAT, Comune di Milano

Carlo Giglioni – Con.Tec Engineering srl

Enrico Bompadre – FAI Instruments srl

Stefano Alberti - Dado Lab srl

Alberto Scarcelli - ORION srl

Davide Vignola - Pollution srl

Marc Giles - Eurelettronica Icas

Maria Grazia Perrone - XearPro srl,

*WG2 IAS*



## JRC, 2019 – Review of sensors for air quality monitoring

*In linea teorica, uno strumento per la qualità dell'aria deve rispettare i criteri di massima incertezza relativa permessa e indicata nella Direttiva 2008/50/CE (Allegato I).*

*La valutazione dei LCS si rivolge prevalentemente ai seguenti criteri:*

- *accordo tra sensori LCS e misure di riferimento;*
- *disponibilità (in output dello strumento) dei dati grezzi, trasparenza nel loro trattamento e possibilità di calibrazione a posteriori;*
- *possibilità di rilevare e misurare più inquinanti;*
- *accessibilità ai sistemi sensoristici (costo e commercializzazione).*

## WMO, 2018 – Low-cost sensors for the measurement of atmospheric composition: overview of topic and future applications

*In generale, i LCS devono essere trattati come un qualunque strumento analitico, quindi richiedono una calibrazione regolare (o diretta o con strumenti di riferimento installati nel medesimo sito). Inevitabilmente mostreranno un drift della baseline (cambiamento di intercetta) o della sensibilità (cambiamento della pendenza della retta di calibrazione).*

*Per ciò che concerne la loro applicabilità, bisogna considerare:*

- *il range di T, RH e di concentrazione del parametro target;*
- *il range di risposta dello strumento;*
- *la stabilità dello strumento in funzione delle condizioni ambientali del sito.*

# UNI CEN/TS 17660 Marzo 2022 – Qualità dell'aria - Valutazione della prestazione dei sistemi di sensori per la qualità dell'aria

- *principi generali per la classificazione delle prestazioni dei sistemi di sensori a basso costo per il monitoraggio dei composti gassosi in aria ambiente in siti stazionari*
- *applicabile alla determinazione della concentrazione in massa degli inquinanti atmosferici*
- *classificazione coerente con i requisiti per le misurazioni indicative e le stime obiettive definite nella Direttiva 2008/50/EC*
- *fornisce una classificazione per le applicazioni (misurazioni non regolamentate) che richiedono criteri di prestazione più distese*
- *fornisce una guida sulla verifica dei sistemi di sensori per la CO2*
- *Valutazione della sensibilità, selettività e stabilità*

**Classe 1:** sistemi che possono essere utilizzati per misure indicative

**Classe 2:** sistemi che possono essere utilizzati per stime

**Classe 3:** sistemi che hanno caratteristiche di incertezze di misura più «rilassate» e che quindi possono essere utilizzati con obiettivi di ricerca specifici, scopi educativi e/o di *citizen science*.

LCS: Low Cost Sensor.....quanto low?

Detector



Cella elettrochimica (ECH)

Ossido di metallo

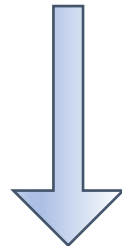
Dispositivi micro-elettro-meccanici

Nefelometro

OPC

Assorbimento non dispersivo dell'IR (NDIR)

Rilevatori a fotoionizzazione (PID)



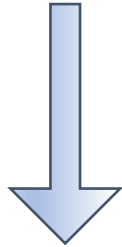
Torino, 28-31 maggio 2024



Detector



Cella elettrochimica (ECH)  
Ossido di metallo  
Dispositivi micro-elettro-meccanici  
Nefelometro  
OPC  
Assorbimento non dispersivo dell'IR (NDIR)  
Rilevatori a fotoionizzazione (PID)



Torino, 28-31 maggio 2024



Schede elettroniche

Dispositivo di alimentazione

Sistema di campionamento (attivo o passivo)

Convertitore di segnale A/D

Processore di segnali



Dispositivo di memorizzazione e trasmissione dati



ECH

Reazione di ossido-riduzione con gli elettrodi del sensore immersi in un elettrolita



Corrente elettrica tra gli elettrodi



proporzionale alle concentrazioni GAS

Buona sensibilità MA precisione e affidabilità variano a seconda della specie da misurare

Interferenze con UR e T

**ECH**

Reazione di ossido-riduzione con gli elettrodi del sensore immersi in un elettrolita  
→ Corrente elettrica tra gli elettrodi → proporzionale alle concentrazioni GAS  
Buona sensibilità MA precisione e affidabilità variano a seconda della specie da misurare  
Interferenze con UR e T

**NDIR**

Attenuazione di una luce infrarossa attraverso un gas → assorbimento a specifiche lunghezze d'onda dalle molecole del gas → proporzionale alla concentrazione (*Lambert-Beer*)  
Concentrazioni di CO<sub>2</sub> con buona sensibilità  
Risultati risentono delle condizioni ambientali (T, UR e P) → correzioni

**ECH**

Reazione di ossido-riduzione con gli elettrodi del sensore immersi in un elettrolita  
→ Corrente elettrica tra gli elettrodi → proporzionale alle concentrazioni GAS  
Buona sensibilità MA precisione e affidabilità variano a seconda della specie da misurare  
Interferenze con UR e T

**NDIR**

Attenuazione di una luce infrarossa attraverso un gas → assorbimento a specifiche lunghezze d'onda dalle molecole del gas → proporzionale alla concentrazione (*Lambert-Beer*)  
Concentrazioni di CO<sub>2</sub> con buona sensibilità  
Risultati risentono delle condizioni ambientali (T, UR e P) → correzioni

**PID**

Interazione tra una sorgente nel campo UV e le molecole organiche presenti nell'aria (composti organici volatili);  
→ fotoni ad alta energia specifica → corrente indotta → proporzionale alla quantità di ioni  
Alcuni composti vengono ionizzati (e rilevati) in modo efficiente mentre altri composti sono ionizzati in modo meno efficiente → VOC totali



**ECH**

Reazione di ossido-riduzione con gli elettrodi del sensore immersi in un elettrolita  
→ Corrente elettrica tra gli elettrodi → proporzionale alle concentrazioni GAS  
Buona sensibilità MA precisione e affidabilità variano a seconda della specie da misurare  
Interferenze con UR e T

**NDIR**

Attenuazione di una luce infrarossa attraverso un gas → assorbimento a specifiche lunghezze d'onda dalle molecole del gas → proporzionale alla concentrazione (*Lambert-Beer*)  
Concentrazioni di CO<sub>2</sub> con buona sensibilità  
Risultati risentono delle condizioni ambientali (T, UR e P) → correzioni

**PID**

Interazione tra una sorgente nel campo UV e le molecole organiche presenti nell'aria (composti organici volatili);  
→ fotoni ad alta energia specifica → corrente indotta → proporzionale alla quantità di ioni  
Alcuni composti vengono ionizzati (e rilevati) in modo efficiente mentre altri composti sono ionizzati in modo meno efficiente → VOC totali

**PM**

Misura ottica → diffusione della luce → LED o un laser, diffusa dalle particelle che attraversano una cella di misura → concentrazione proporzionale all'intensità della luce diffusa (densità e dN/dLogDp fisse)  
• Nefelometria: misura la diffusione della luce  
• Conteggio ottico delle particelle (OPC): misura dimensione e numero delle particelle (anche ∇ classe)

# Intercomparison Smart Sensor

## Soci IAS partecipanti:

Arpa Lombardia  
 ARPA LIGURIA  
 ISAC-CNR  
 AMAT per Comune di Milano

Enti pubblici

Contec  
 Dadolab  
 Xearpro  
 FAI  
 ORION  
 Pollution  
 Eurelettronica ICAS

Aziende

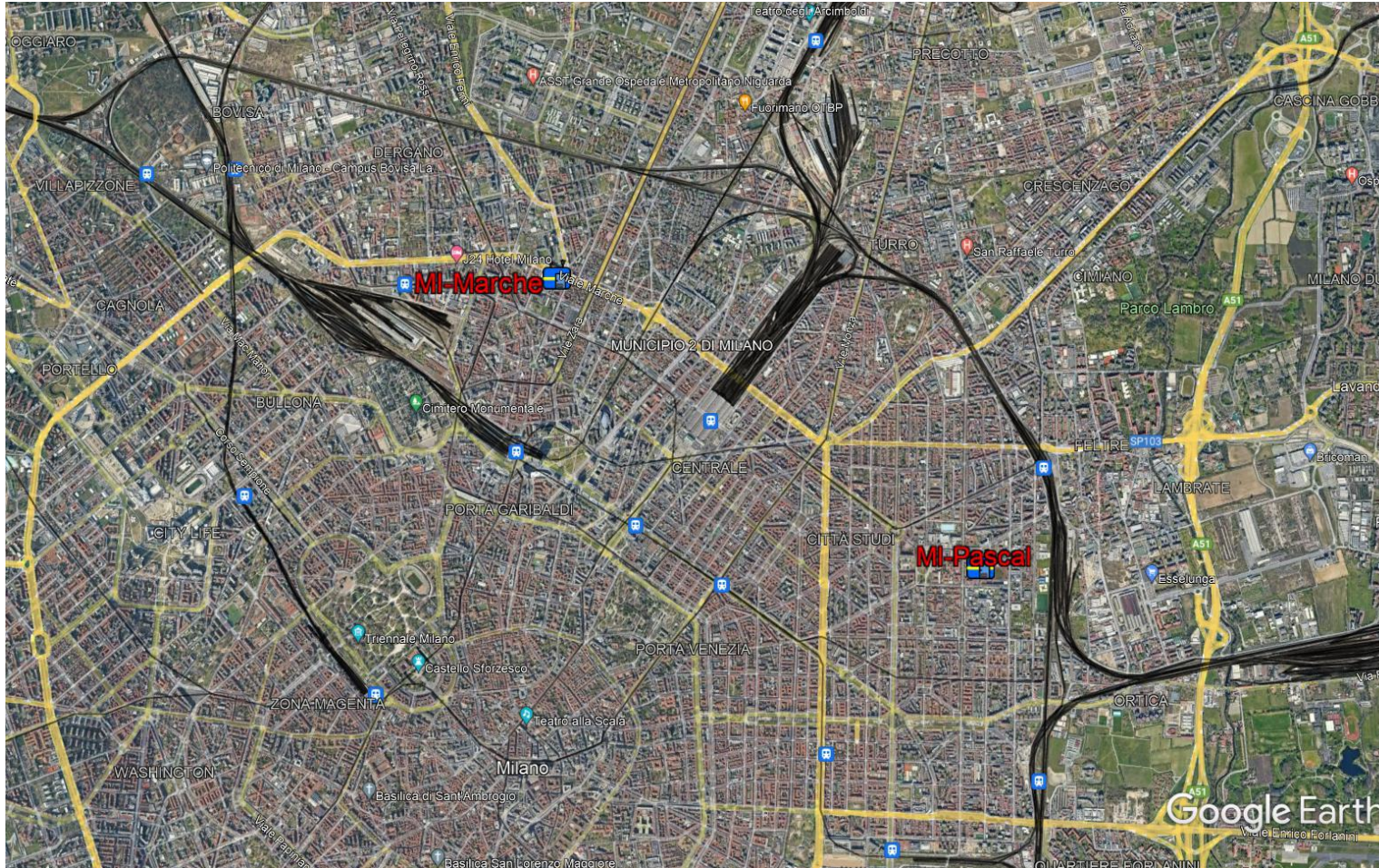
|           | IAS member       | ARPA L. | Socio 1 |       | Socio 2 | Socio 3 | Socio 4 |       | Socio 5 |       | Socio 6 | Socio 7 | Socio 8 | Socio 9 | Socio 10 |
|-----------|------------------|---------|---------|-------|---------|---------|---------|-------|---------|-------|---------|---------|---------|---------|----------|
|           | Parametri/Device | Ref.    | LCS 1   | LCS 2 | LCS 3   | LCS 4   | LCS 5   | LCS 6 | LCS 7   | LCS 8 | LCS 9   | LCS 9   | LCS 10  | LCS 11  | LCS 1    |
| Parametri | Cn               | x       |         |       |         |         |         |       |         |       | x       | x       |         |         |          |
|           | PTS              |         |         |       |         |         |         |       | x       |       |         |         |         |         |          |
|           | PM10             | x       | x       | x     | x       | x       | x       | x     | x       |       | x       | x       | x       | x       | x        |
|           | PM2.5            | x       | x       |       | x       | x       | x       | x     | x       |       | x       | x       | x       | x       | x        |
|           | PM1              |         |         |       |         |         |         | x     | x       | x     |         |         | x       | x       |          |
|           | NO2              | x       |         |       | x       | x       |         | x     | x       | x     |         |         |         | x       | x        |
|           | NO               | x       |         |       |         | x       |         |       | x       |       |         |         |         | x       | x        |
|           | O3               | x       |         |       |         | x       |         | x     | x       | x     |         |         |         | x       | x        |
|           | CO               | x       |         |       |         | x       |         | x     | x       |       |         |         |         | x       | x        |
|           | SO2              | x       |         |       |         | x       |         |       |         |       |         |         |         |         |          |
|           | H2S              |         |         |       |         | x       |         |       |         |       |         |         |         |         |          |
|           | NH3              | x       |         |       |         |         |         |       |         |       |         |         |         |         |          |
|           | VOC              | x       |         |       |         |         |         |       |         | x     | x       |         |         |         | x        |
|           | CO2              |         |         |       |         |         |         |       |         |       |         |         |         |         | x        |
|           | BC               | x       |         |       |         |         |         |       |         |       |         |         |         |         | x        |
|           | Luce             |         |         |       |         |         |         |       |         | x     |         |         |         |         |          |
| Meteo     | x                |         |         |       | x       |         | x       | x     |         |       | x       | x       | x       | x       |          |

# Intercomparison Smart Sensor

|           | IAS member       | Socio 1 |       | Socio 2 | Socio 3 | Socio 4 |       | Socio 5 |       | Socio 6 | Socio 7 | Socio 8 | Socio 9 | Socio 10 |
|-----------|------------------|---------|-------|---------|---------|---------|-------|---------|-------|---------|---------|---------|---------|----------|
|           | Parametri/Device | LCS 1   | LCS 2 | LCS 3   | LCS 4   | LCS 5   | LCS 6 | LCS 7   | LCS 8 | LCS 9   | LCS 9   | LCS 10  | LCS 11  | LCS 1    |
| Parametri | Cn               |         |       |         |         |         |       |         |       | OPC     | OPC     |         |         |          |
|           | PTS              |         |       |         |         |         |       | OPC     |       |         |         |         |         |          |
|           | PM10             | Neph    | Neph  | OPC     | OPC     | Neph    | Neph  | OPC     |       | OPC     | OPC     | OPC     | Neph    | Neph     |
|           | PM2.5            | Neph    |       | OPC     | OPC     | Neph    | Neph  | OPC     |       | OPC     | OPC     | OPC     | Neph    | Neph     |
|           | PM1              |         |       |         |         | Neph    | Neph  | OPC     |       |         |         | OPC     | Neph    |          |
|           | NO2              |         | ECH   | ECHp    |         | ECHp    | ECH   | ECH     |       |         |         | ECHp    | ECH     |          |
|           | NO               |         |       | ECHp    |         |         | ECH   |         |       |         |         | ECHp    | ECH     |          |
|           | O3               |         |       | ECHp    |         | ECHp    | ECH   | ECH     |       |         |         | ECHp    | ECH     |          |
|           | CO               |         |       | ECHp    |         | NDIRp   | NDIR  |         |       |         |         | ECHp    | ECH     |          |
|           | SO2              |         |       | ECHp    |         |         |       |         |       |         |         |         |         |          |
|           | H2S              |         |       | ECHp    |         |         |       |         |       |         |         |         |         |          |
|           | NH3              |         |       |         |         |         |       |         |       |         |         |         |         |          |
|           | VOC              |         |       |         |         |         |       |         | PID   | GC      |         |         |         | PID      |
|           | CO2              |         |       |         |         |         |       | NDIR    |       |         |         |         |         | NDIR     |
|           | BC               |         |       |         |         |         |       |         |       |         |         |         |         | 5λ       |
|           | Luce             |         |       |         |         |         |       | Neph    |       |         |         |         |         |          |
| Meteo     |                  |         |       | x       |         | x       | x     |         |       | x       | x       | x       | x       |          |

# Intercomparison Smart Sensor

**MI-Marche:**  
dal 5 maggio al 20  
giugno 2022



**MI-Pascal:**  
dal 5 al 29 aprile 2022

# Intercomparison Smart Sensor

## MI-Pascal – UB

Monitor:

SO<sub>2</sub>

NO<sub>X</sub>

O<sub>3</sub>

NH<sub>3</sub> (x2)

CH<sub>4</sub>

BTX

BC

PM<sub>10</sub>

PM<sub>2.5</sub>

OPC-FAI (PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub> e

PM<sub>1</sub> orari stimati)



# Intercomparison Smart Sensor

## MI-Marche – UT

Monitor:  
CO  
NOX  
BTX  
BC  
PM10-h  
PM2.5-h  
OPC-ENVEA (PM1 orario  
stimato)



# Intercomparison Smart Sensor – MI-Pascal



# Intercomparison Smart Sensor – MI-Marche

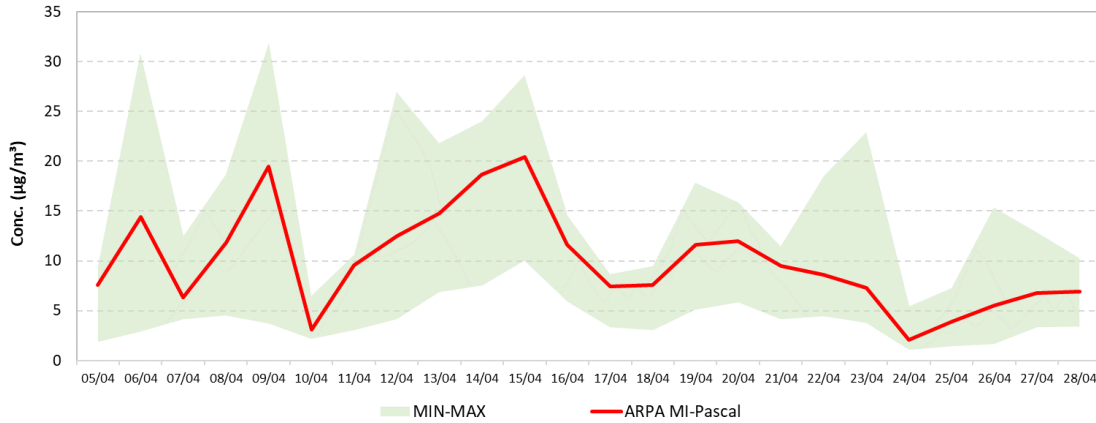




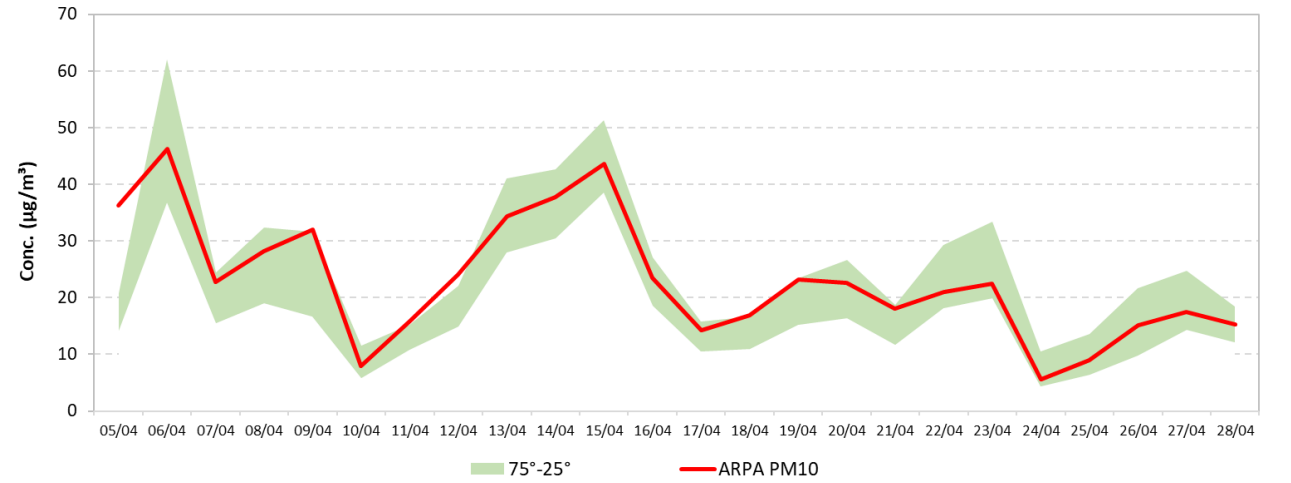
# PM – MI-Pascal

| PM10        | PM2.5       |
|-------------|-------------|
| LCS2        | ---         |
| LCS3        | LCS3        |
| LCS4        | LCS4        |
| LCS5        | LCS5        |
| LCS6a       | LCS6a       |
| LCS6b       | LCS6b       |
| LCS7        | LCS7        |
| LCS9-Socio6 | LCS9-Socio6 |
| LCS9-Socio7 | LCS9-Socio7 |
| LCS10       | LCS10       |
| LCS11       | LCS11       |

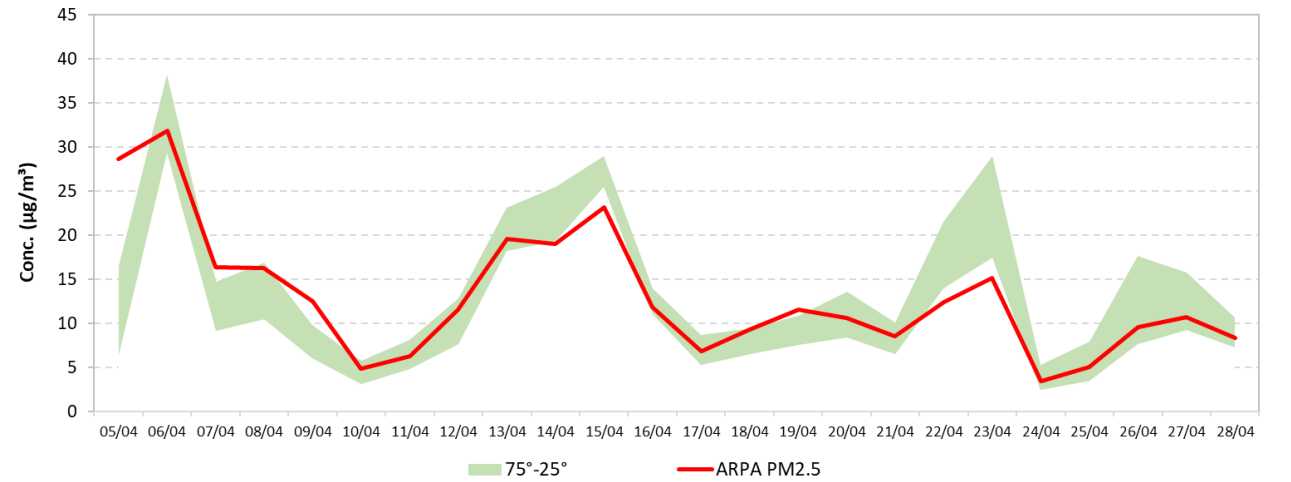
LCS - Frazione Coarse - Concentrazioni giornaliere  
MI-Pascal



LCS - PM10 - Concentrazioni giornaliere  
MI-Pascal



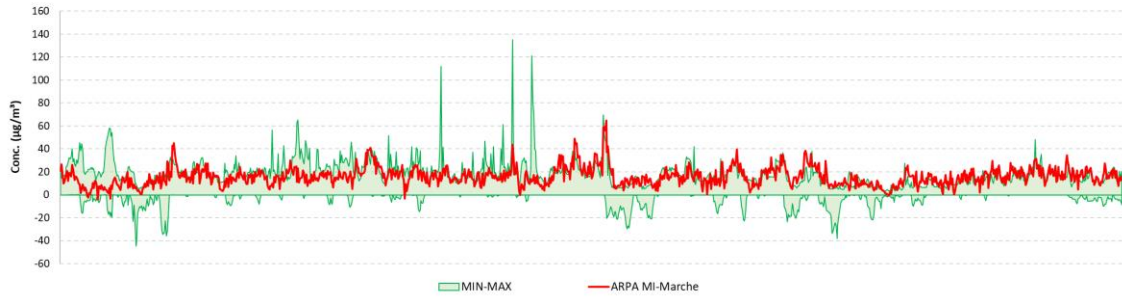
LCS - PM2.5 - Concentrazioni giornaliere  
MI-Pascal



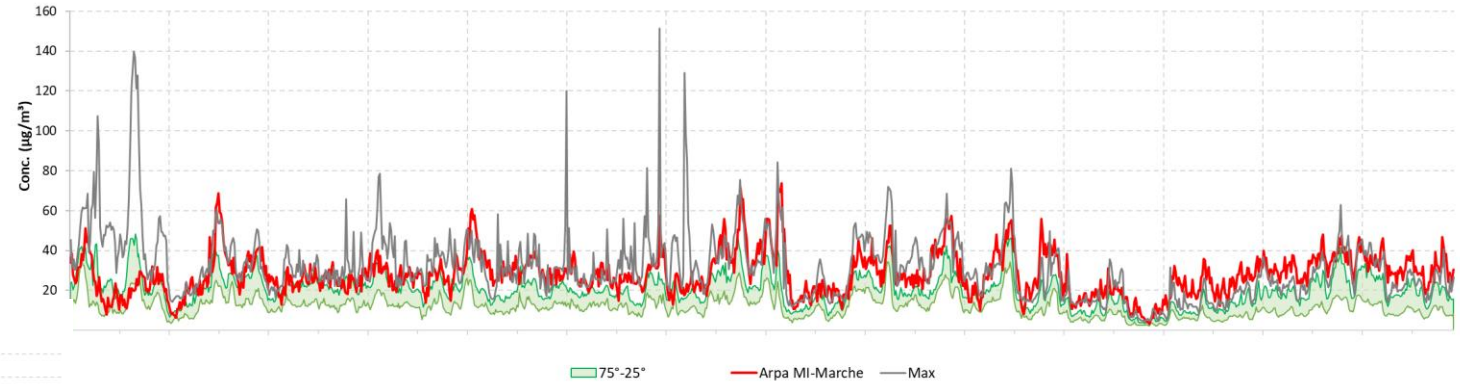
# PM – MI-Marche

| PM10         | PM2.5        |
|--------------|--------------|
| LCS1-Socio1  | LCS1-Socio1  |
| LCS1-Socio10 | LCS1-Socio10 |
| LCS2         | ---          |
| LCS3         | LCS3         |
| LCS4         | LCS4         |
| LCS5         | LCS5         |
| LCS6a        | LCS6a        |
| LCS7         | LCS7         |
| LCS9-Socio6  | LCS9-Socio6  |
| LCS9-Socio7  | LCS9-Socio7  |
| LCS10        | LCS10        |
| LCS11        | LCS11        |

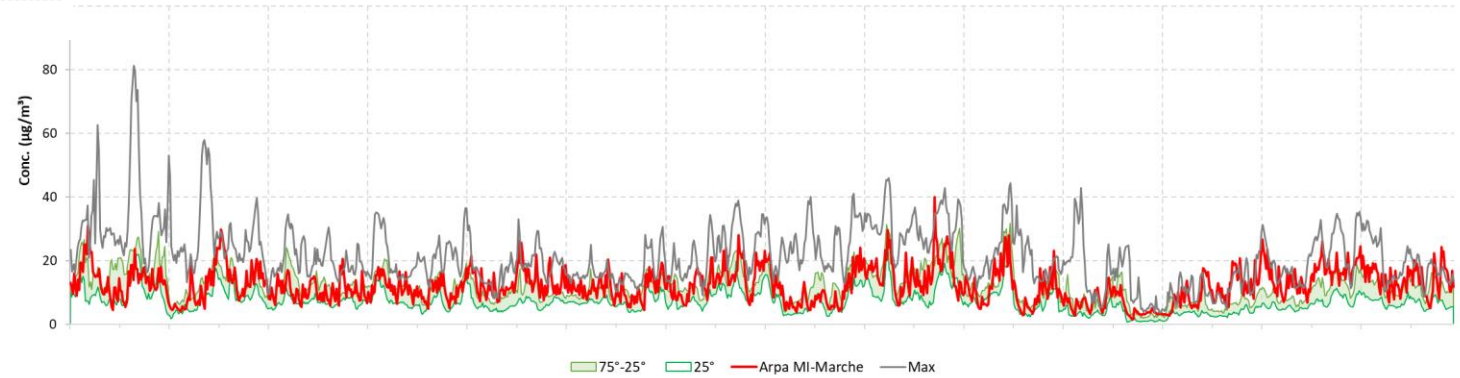
LCS - Frazione Coarse - Concentrazioni orarie  
MI-Marche



LCS - PM10 - Concentrazioni orarie  
MI-Marche



LCS - PM2.5 - Concentrazioni orarie  
MI-Marche

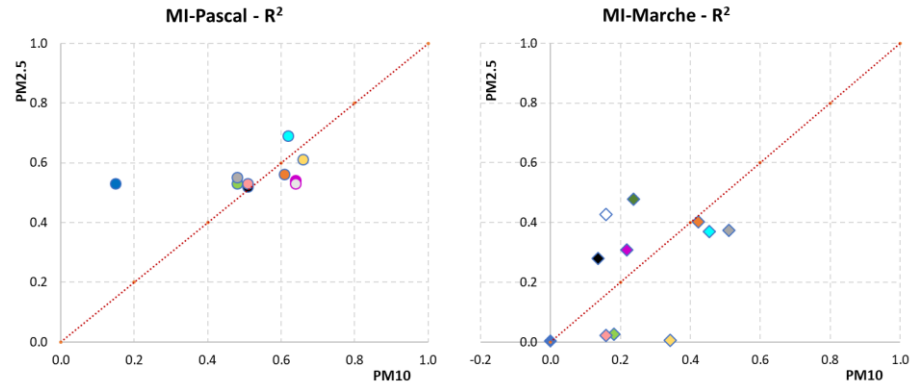


# PM – Analisi di regressione

| y = mx + q   | PM10 MI-Pascal |      |      |       | PM2.5 MI-Pascal |      |      |       | PM10 MI-Marche |      |       |       | PM2.5 MI-Marche |       |      |       |
|--------------|----------------|------|------|-------|-----------------|------|------|-------|----------------|------|-------|-------|-----------------|-------|------|-------|
|              | R <sup>2</sup> | m    | q    | η (%) | R <sup>2</sup>  | m    | q    | η (%) | R <sup>2</sup> | m    | q     | η (%) | R <sup>2</sup>  | m     | q    | η (%) |
| LCS1-Socio1  |                |      |      |       |                 |      |      |       | 0.24           | 0.32 | 4.6   | 69    | 0.48            | 0.61  | 0.7  | 100   |
| LCS1-Socio10 |                |      |      |       |                 |      |      |       | 0.16           | 0.19 | 4.0   | 57    | 0.43            | 0.67  | 1.3  | 57    |
| LCS2         | 0.58           | 0.38 | 10.4 | 89    |                 |      |      |       | 0.44           | 0.29 | 10.9  | 70    |                 |       |      |       |
| LCS3         | 0.66           | 0.81 | 3.4  | 42    | 0.61            | 0.45 | -0.8 | 97    | 0.34           | 0.62 | 3.3   | 88    | 0.01            | -0.06 | 14.6 | 88    |
| LCS4         | 0.51           | 0.39 | 0.3  | 98    | 0.52            | 0.44 | 1.8  | 97    | 0.14           | 0.19 | 3.3   | 100   | 0.28            | 0.52  | 2.1  | 100   |
| LCS5         | 0.61           | 0.50 | 3.3  | 96    | 0.56            | 0.39 | 2.6  | 96    | 0.42           | 0.43 | 1.29  | 100   | 0.40            | 0.54  | 1.3  | 100   |
| LCS6a        | 0.64           | 0.88 | 7.2  | 96    | 0.54            | 0.52 | 4.9  | 95    | 0.22           | 0.70 | 7.8   | 100   | 0.31            | 0.94  | 2.3  | 100   |
| LCS6b        | 0.64           | 0.92 | 5.5  | 96    | 0.53            | 0.53 | 4.1  | 95    |                |      |       |       |                 |       |      |       |
| LCS7         | 0.62           | 0.55 | 0.8  | 96    | 0.69            | 0.82 | 3.3  | 41    | 0.45           | 0.36 | 2.1   | 99    | 0.37            | 0.42  | 2.3  | 88    |
| LCS9-Socio6  | 0.48           | 0.54 | 8.9  | 98    | 0.53            | 0.48 | 5.9  | 97    | 0.18           | 0.33 | 6.6   | 100   | 0.03            | -0.20 | 14.7 | 100   |
| LCS9-Socio7  | 0.51           | 0.67 | 9.4  | 98    | 0.53            | 0.61 | 6.6  | 97    | 0.16           | 0.37 | 7.9   | 100   | 0.02            | -0.23 | 17.5 | 100   |
| LCS10        | 0.48           | 0.54 | 5.2  | 98    | 0.55            | 0.38 | 2.4  | 98    | 0.51           | 0.76 | -0.60 | 100   | 0.37            | 0.51  | 2.0  | 99    |
| LCS11        | 0.15           | 0.48 | 17.7 | 89    | 0.53            | 0.25 | 13.0 | 89    | 0.00           | 0.05 | 23.6  | 45    | 0.00            | -0.19 | 17.9 | 45    |

# PM – Analisi di regressione

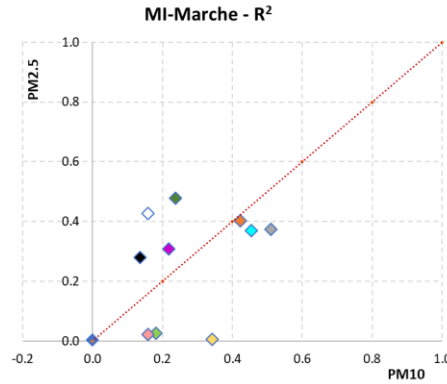
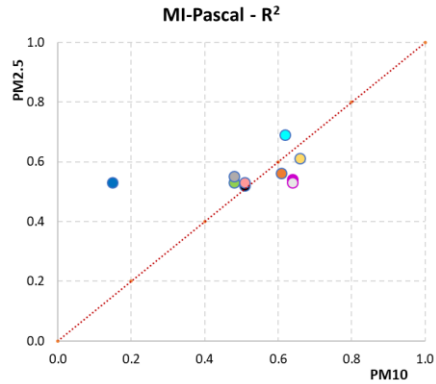
|              |             |
|--------------|-------------|
| LCS1-Socio1  | LCS6b       |
| LCS1-Socio10 | LCS7        |
| LCS3         | LCS9-Socio6 |
| LCS4         | LCS9-Socio7 |
| LCS5         | LCS10       |
| LCS6a        | LCS11       |



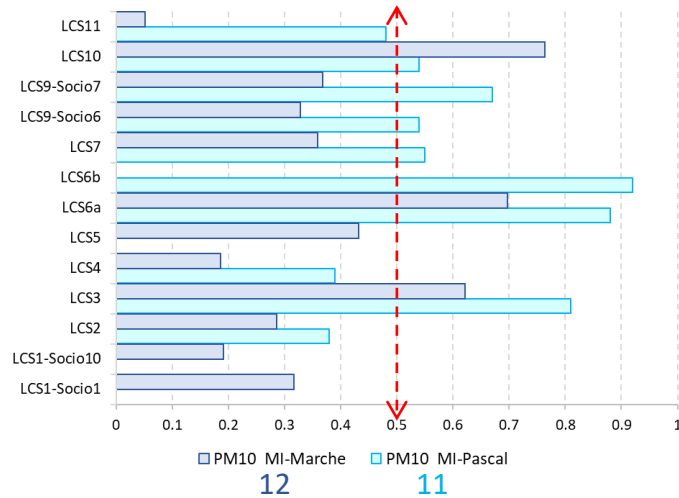
A MI-Pascal sono meno dispersi

# PM – Analisi di regressione

|              |             |
|--------------|-------------|
| LCS1-Socio1  | LCS6b       |
| LCS1-Socio10 | LCS7        |
| LCS3         | LCS9-Socio6 |
| LCS4         | LCS9-Socio7 |
| LCS5         | LCS10       |
| LCS6a        | LCS11       |

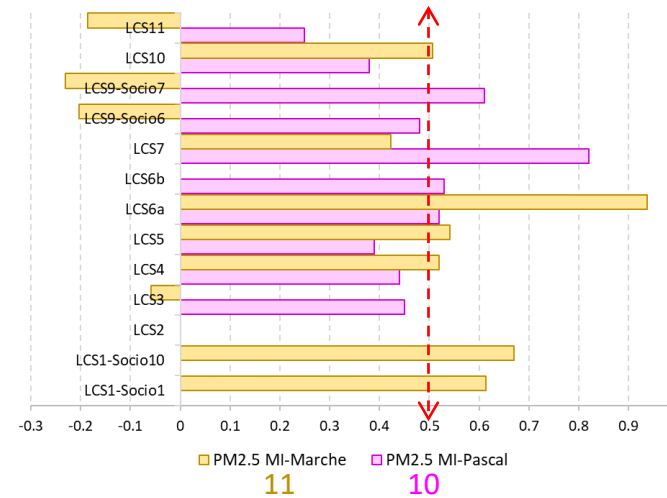


PM10 - Pendenza



$m \geq 0.5$  8 sensori MI-Pascal  
 3 sensori MI-Marche  
 $m \geq 0.6$  4 sensori MI-Pascal  
 3 sensori MI-Marche  
 $m \geq 0.8$  3 sensori MI-Pascal  
 0 sensori MI-Marche

PM2.5 - Pendenza



$m \geq 0.5$  4 sensori MI-Pascal  
 6 sensori MI-Marche  
 $m \geq 0.6$  2 sensori MI-Pascal  
 3 sensori MI-Marche  
 $m \geq 0.8$  1 sensore MI-Pascal  
 1 sensore MI-Marche

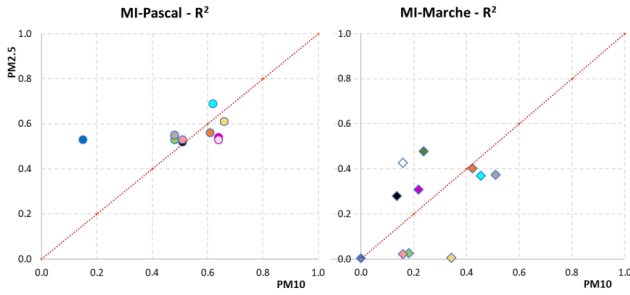


Torino, 28-31 maggio 2024

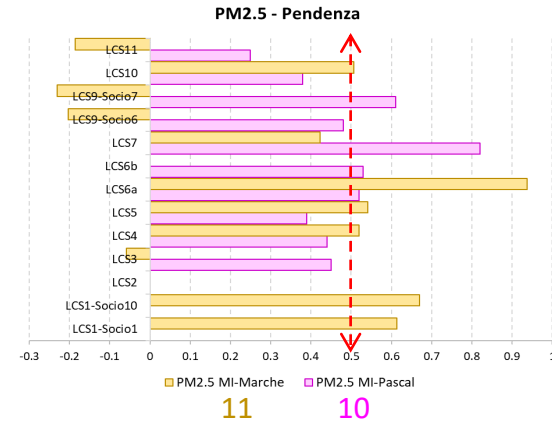
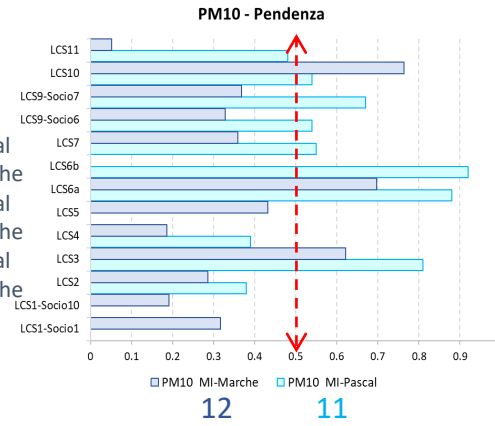


# PM – Analisi di regressione

|              |             |
|--------------|-------------|
| LCS1-Socio1  | LCS6b       |
| LCS1-Socio10 | LCS7        |
| LCS3         | LCS9-Socio6 |
| LCS4         | LCS9-Socio7 |
| LCS5         | LCS10       |
| LCS6a        | LCS11       |

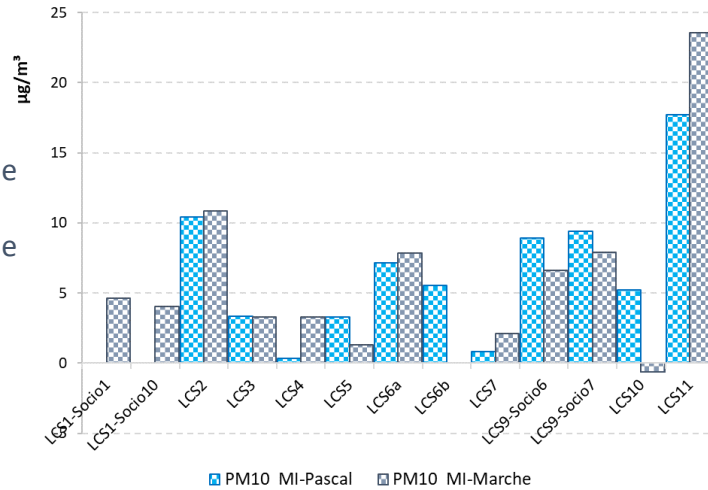


$m \geq 0.5$  8 sensori MI-Pascal  
 3 sensori MI-Marche  
 $m \geq 0.6$  4 sensori MI-Pascal  
 3 sensori MI-Marche  
 $m \geq 0.8$  3 sensori MI-Pascal  
 0 sensori MI-Marche



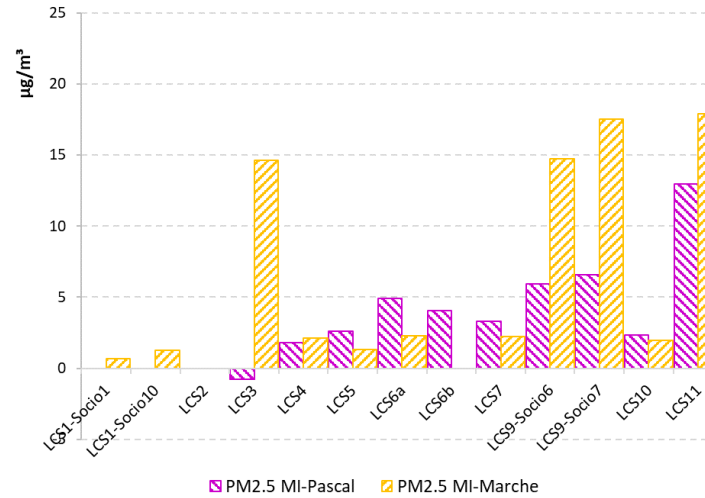
$m \geq 0.5$  4 sensori MI-Pascal  
 6 sensori MI-Marche  
 $m \geq 0.6$  2 sensori MI-Pascal  
 3 sensori MI-Marche  
 $m \geq 0.8$  1 sensore MI-Pascal  
 1 sensore MI-Marche

### PM10 - Intercetta



$q \leq 5.0$  4 sensori MI-Pascal  
 7 sensori MI-Marche  
 $q \leq 2.5$  2 sensori MI-Pascal  
 3 sensori MI-Marche

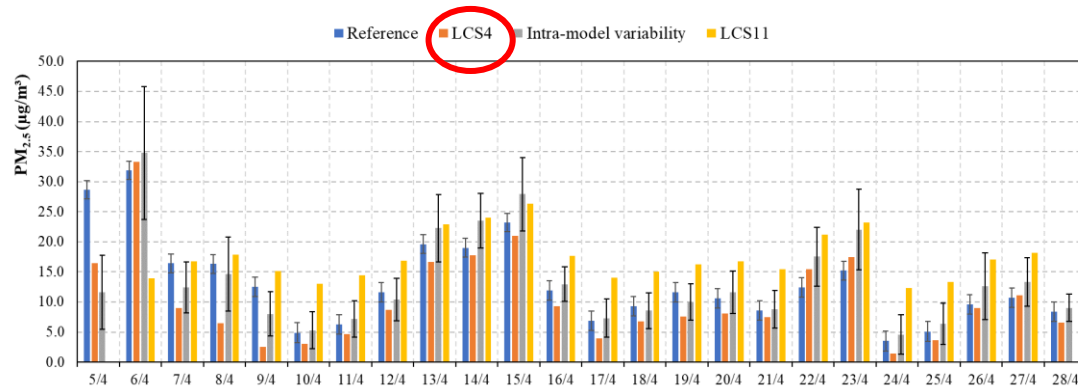
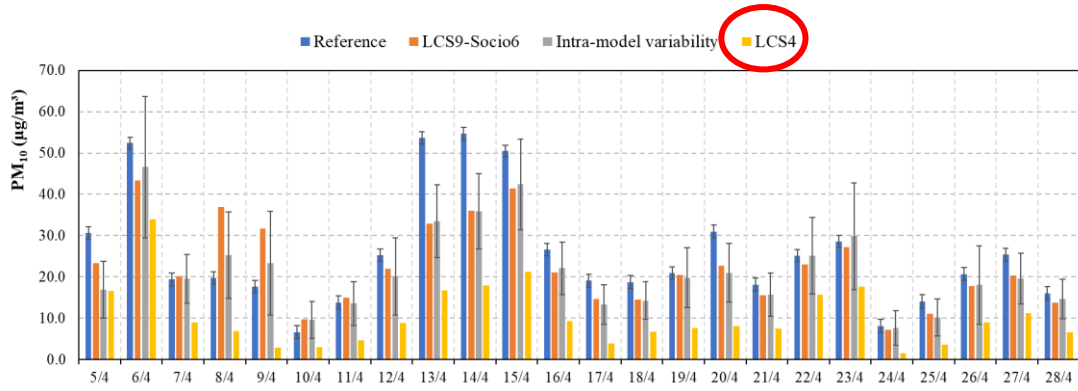
### PM2.5 - Intercetta



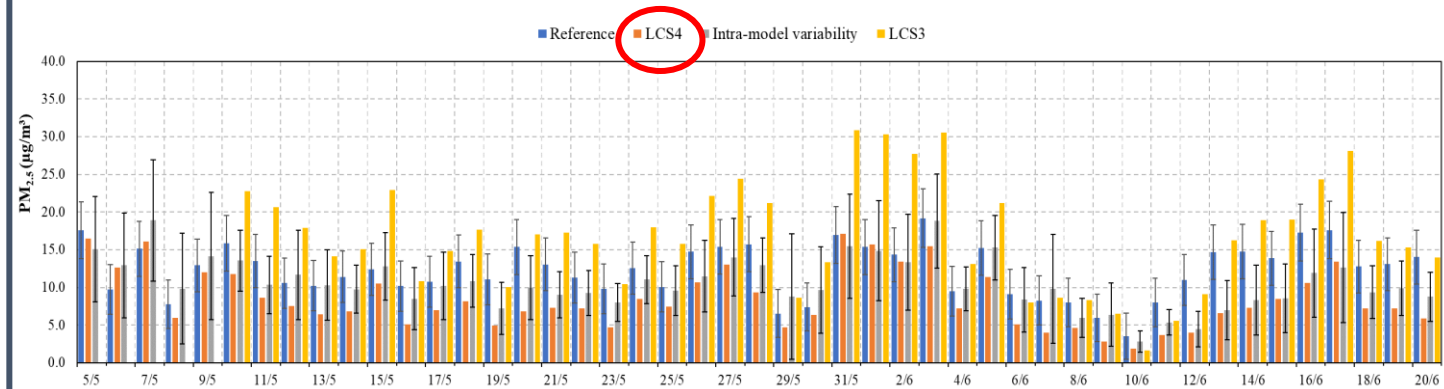
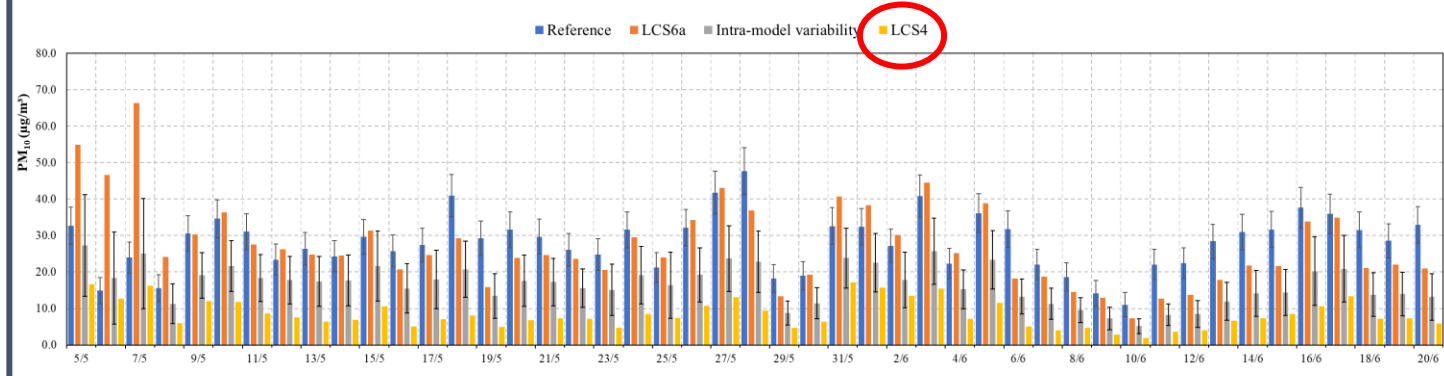
$q \leq 5.0$  7 sensori MI-Pascal  
 7 sensori MI-Marche  
 $q \leq 2.5$  3 sensori MI-Pascal  
 7 sensori MI-Marche

# PM – Analisi di regressione

## MI-Pascal – aprile 2022



## MI-Marche – maggio/giugno 2022

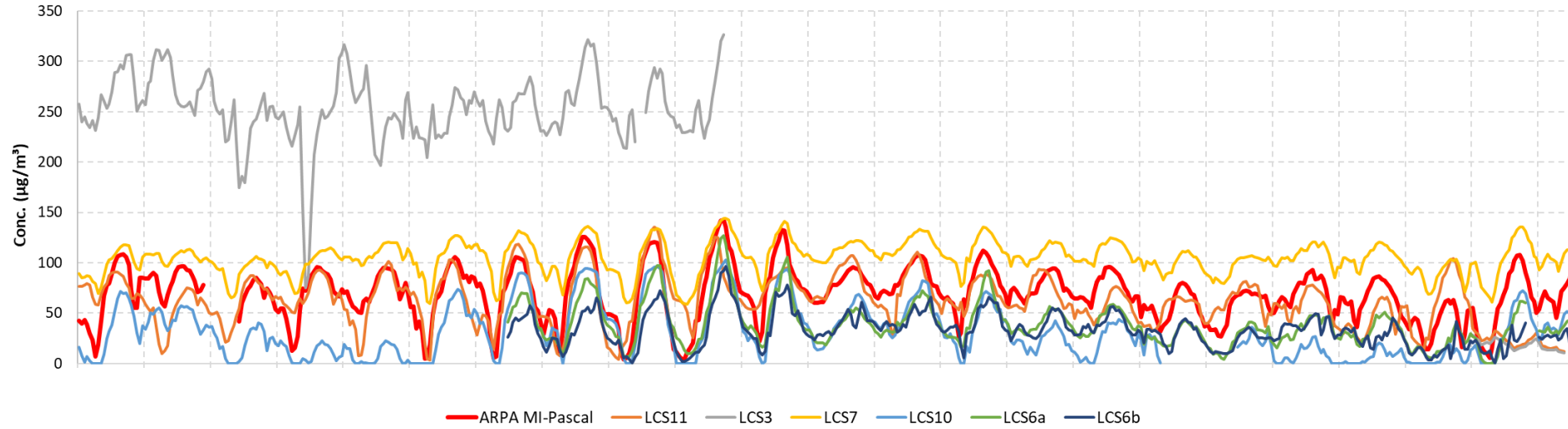


Torino, 28-31 maggio 2024



# O3 – MI-Pascal

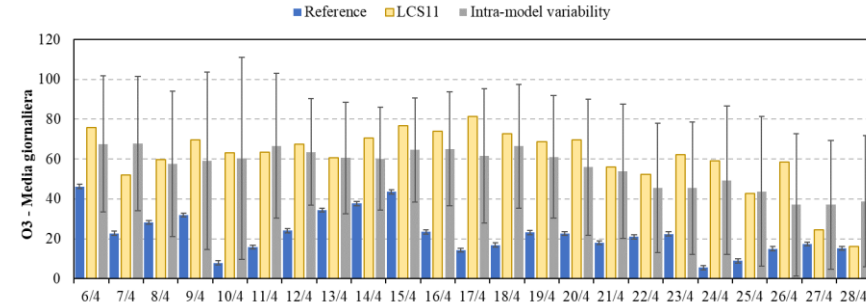
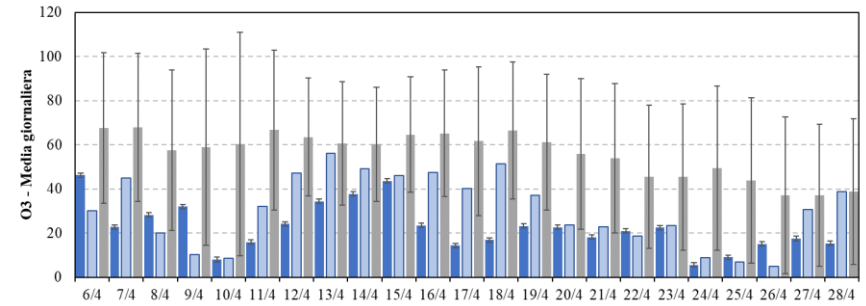
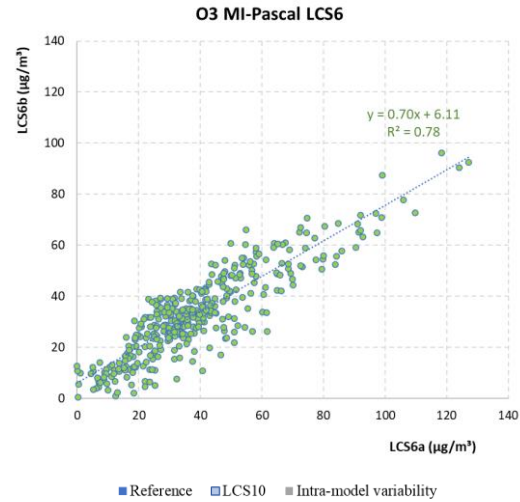
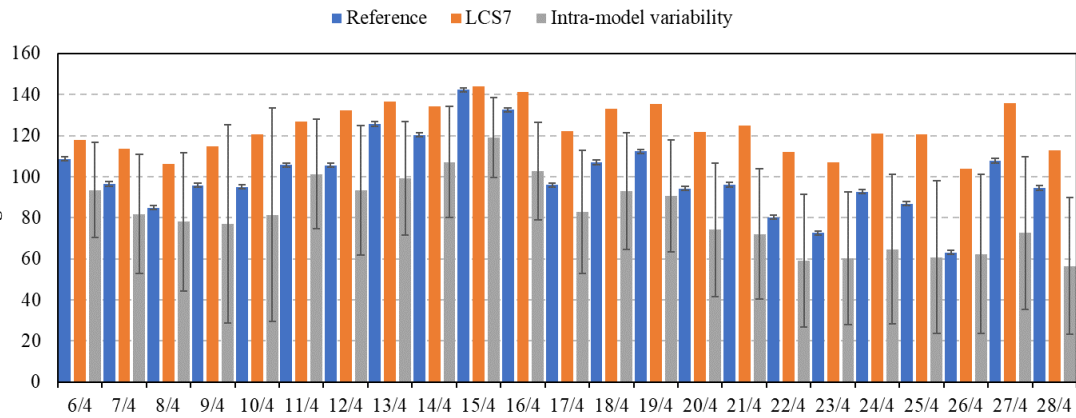
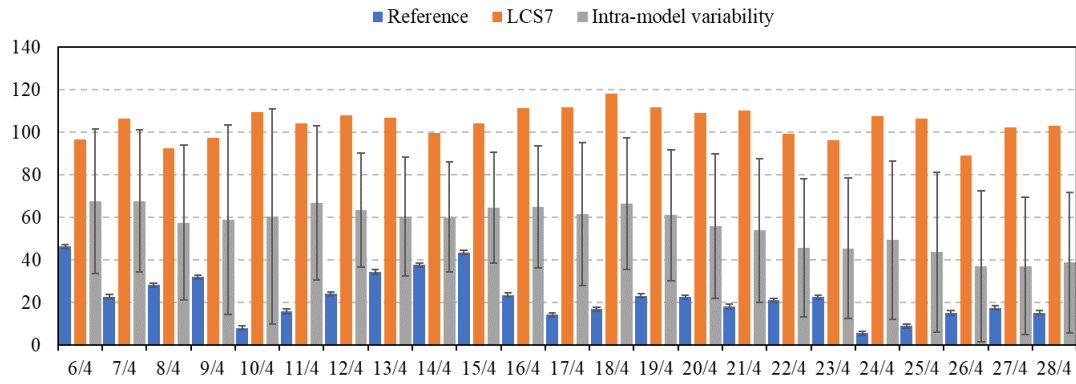
MI-Pascal - Concentrazioni orarie O3



| $y = mx + q$ | O3 MI-Pascal |       |     |            |
|--------------|--------------|-------|-----|------------|
|              | $R^2$        | $m$   | $q$ | $\eta$ (%) |
| LCS3         | 0.05         | 0.64  | 178 | 48         |
| LCS6a        | 0.19         | -0.35 | 63  | 70         |
| LCS6b        | 0.10         | -0.20 | 47  | 70         |
| LCS7         | 0.83         | 0.57  | 66  | 100        |
| LCS10        | 0.57         | 0.75  | -21 | 95         |
| LCS11        | 0.38         | 0.61  | 21  | 99         |

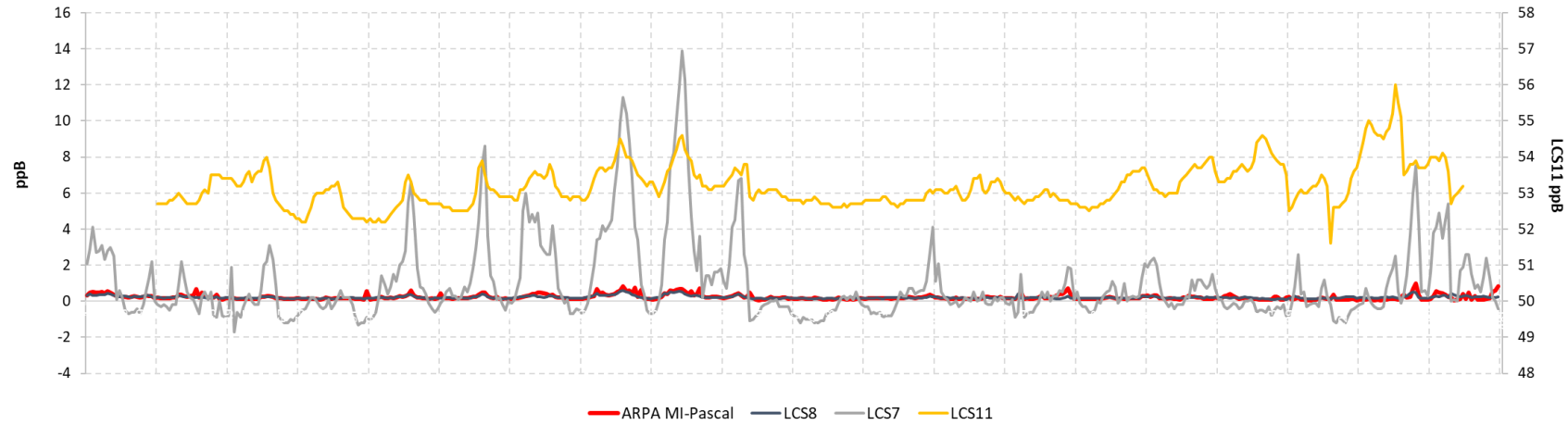


# O3 – MI-Pascal

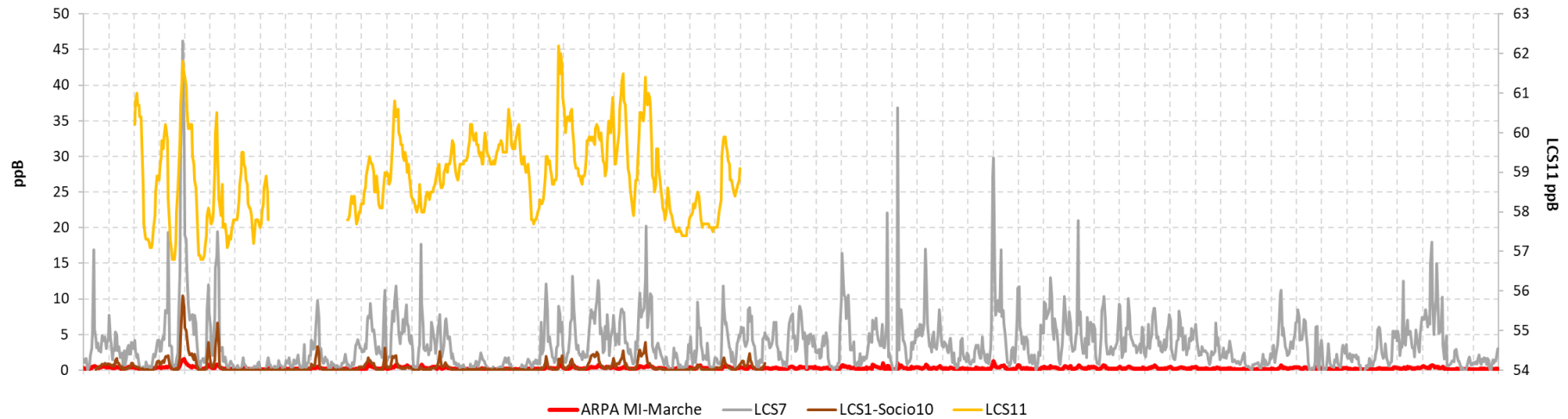


# Benzene

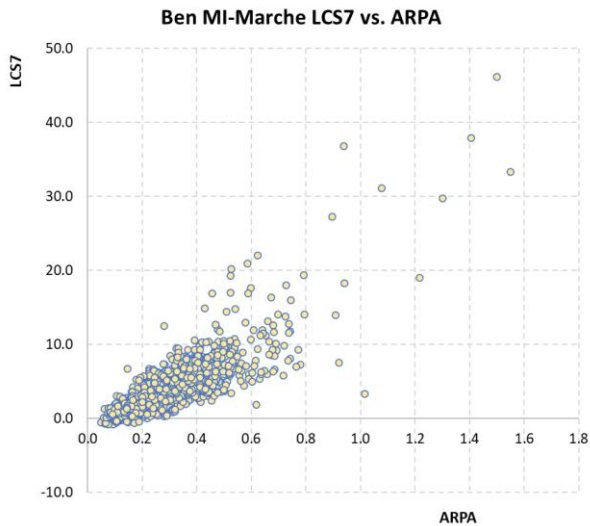
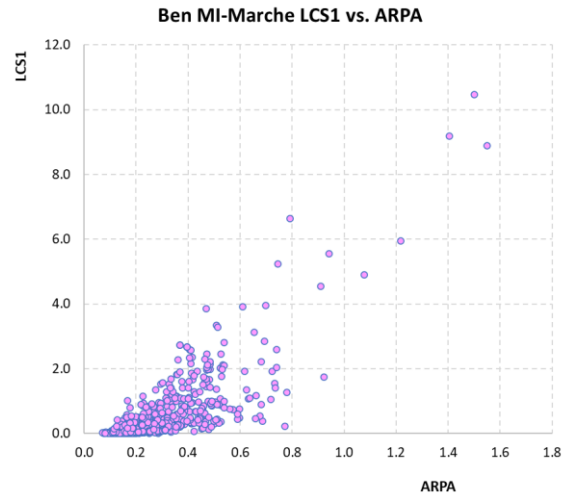
## MI-Pascal - Concentrazioni orarie Benzene



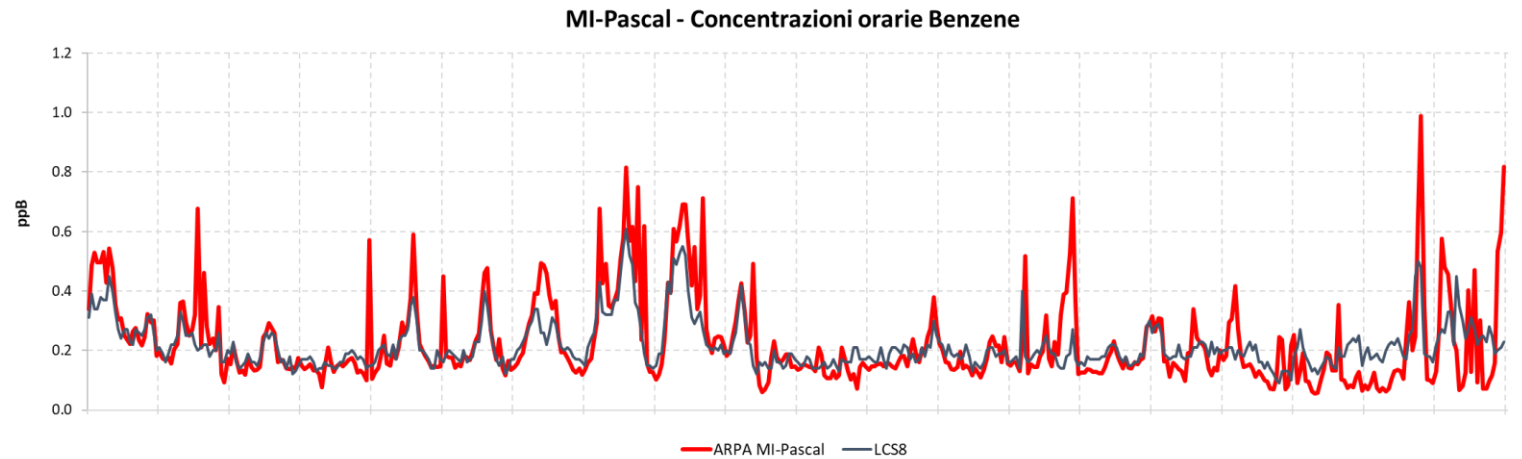
## MI-Marche - Concentrazioni orarie Benzene



# Benzene - Analisi di regressione

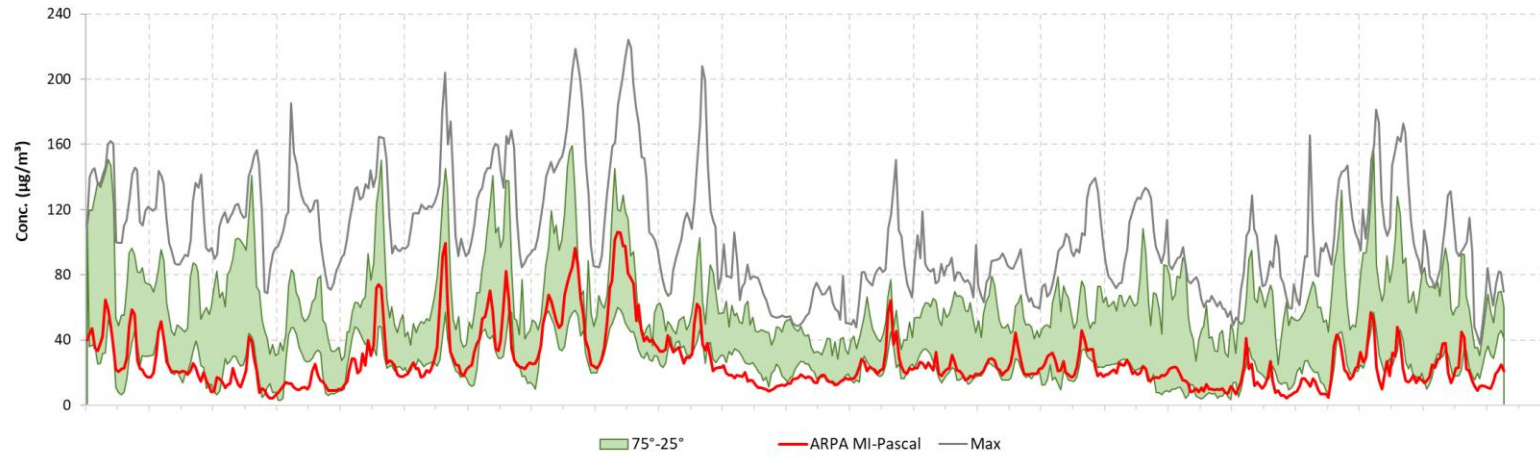


| $y = mx + q$ | Benzene MI-Pascal |      |      |            | Benzene MI-Marche |      |    |            |
|--------------|-------------------|------|------|------------|-------------------|------|----|------------|
|              | $R^2$             | m    | q    | $\eta$ (%) | $R^2$             | m    | q  | $\eta$ (%) |
| LCS1-Socio10 |                   |      |      |            | 0.71              | 0.45 | -1 | 47         |
| LCS7         | 0.49              | 0.34 | -1.5 | 100        | 0.71              | 0.31 | -2 | 100        |
| LCS8         | 0.51              | 0.34 | 0.1  | 100        |                   |      |    |            |
| LCS11        | 0.06              | 0.19 | 53.0 | 92         | 0.37              | 0.36 | 58 | 9          |

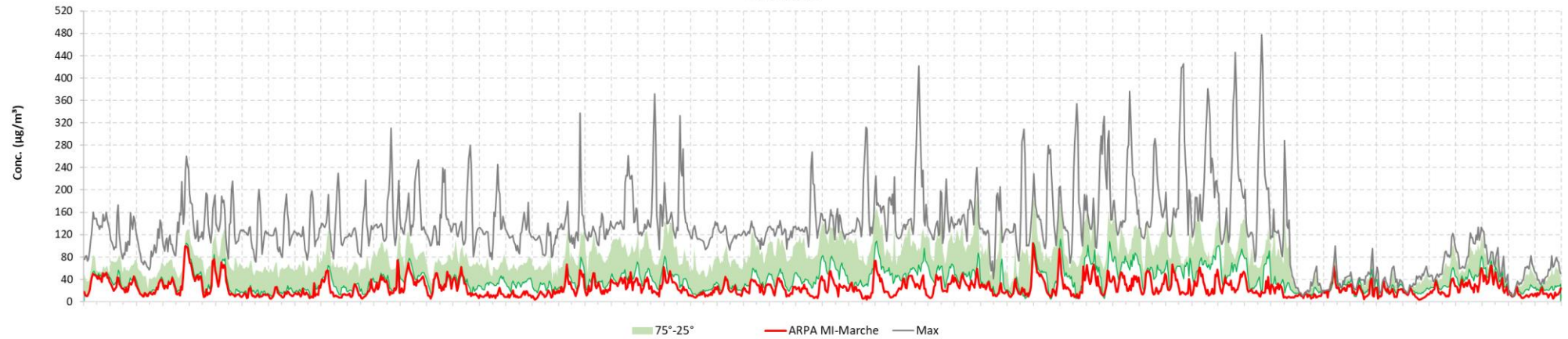


# NO2

LCS - NO2 - Concentrazioni orarie  
MI-Pascal



LCS - NO2 - Concentrazioni orarie  
MI-Marche

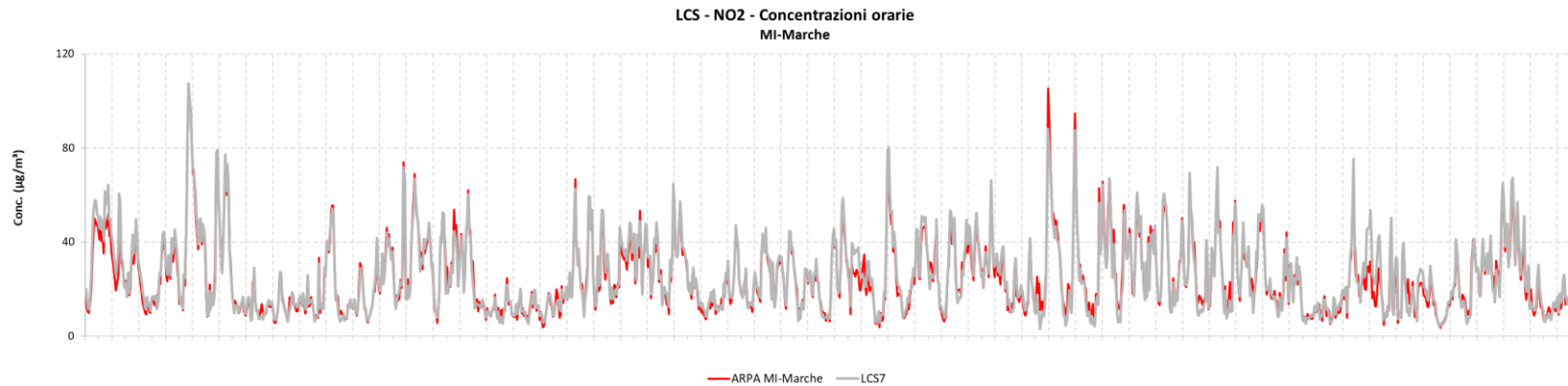


## NO2 – Analisi di regressione

|              | NO2 MI-Pascal  |      |      |       | NO2 MI-Marche  |      |        |       |
|--------------|----------------|------|------|-------|----------------|------|--------|-------|
|              | R <sup>2</sup> | m    | q    | η (%) | R <sup>2</sup> | m    | q      | η (%) |
| LCS1-Socio1  | 0.56           | 1.51 | 41.2 | 98    | 0.31           | 1.04 | 56     | 58    |
| LCS1-Socio10 |                |      |      |       | 0.48           | 1.09 | 14     | 47    |
| LCS3         | 0.41           | 0.77 | 84.6 | 40    | 0.40           | 1.04 | 86     | 73    |
| LCS5         | 0.56           | 2.90 | 78.9 | 98    | 0.03           | 0.82 | 109    | 82    |
| LCS6a        | 0.36           | 0.64 | 21.1 | 71    | 0.33           | 0.89 | 27     | 81    |
| LCS6b        | 0.43           | 0.64 | 18.3 | 71    |                |      |        |       |
| LCS7         | 0.87           | 0.74 | -9.5 | 98    | 0.95           | 1.03 | -0.002 | 100   |
| LCS10        | 0.49           | 0.69 | 5.1  | 95    | 0.23           | 0.73 | 27     | 100   |
| LCS11        | 0.32           | 0.50 | 14.1 | 92    | 0.10           | 0.37 | 20     | 37    |

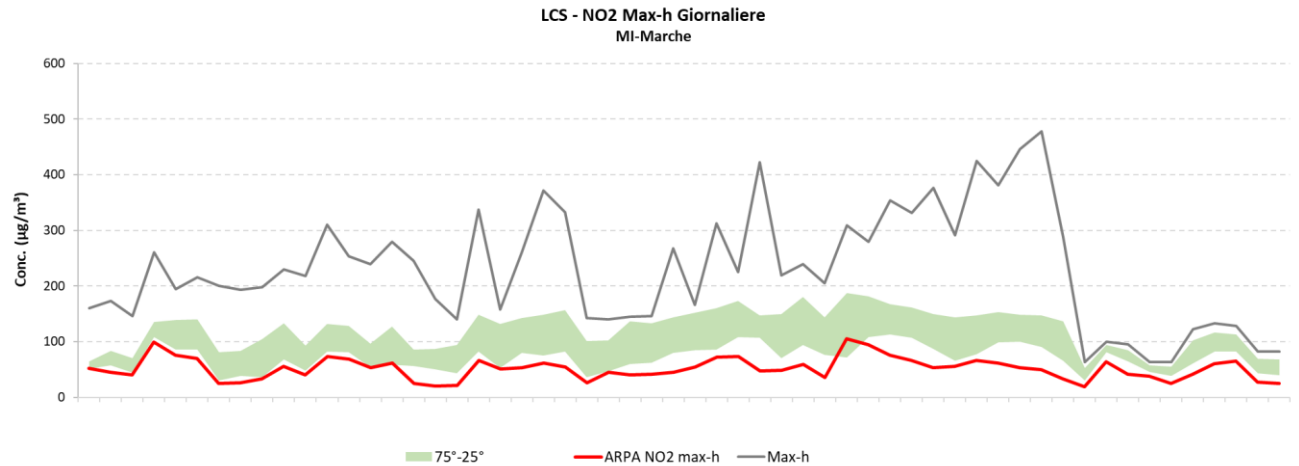
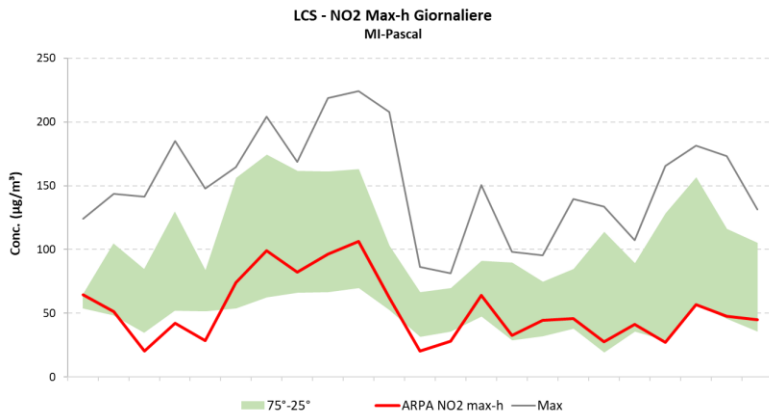
# NO2 – Analisi di regressione

|              | NO2 MI-Pascal  |      |      |       | NO2 MI-Marche  |      |        |       |
|--------------|----------------|------|------|-------|----------------|------|--------|-------|
|              | R <sup>2</sup> | m    | q    | η (%) | R <sup>2</sup> | m    | q      | η (%) |
| LCS1-Socio1  | 0.56           | 1.51 | 41.2 | 98    | 0.31           | 1.04 | 56     | 58    |
| LCS1-Socio10 |                |      |      |       | 0.48           | 1.09 | 14     | 47    |
| LCS3         | 0.41           | 0.77 | 84.6 | 40    | 0.40           | 1.04 | 86     | 73    |
| LCS5         | 0.56           | 2.90 | 78.9 | 98    | 0.03           | 0.82 | 109    | 82    |
| LCS6a        | 0.36           | 0.64 | 21.1 | 71    | 0.33           | 0.89 | 27     | 81    |
| LCS6b        | 0.43           | 0.64 | 18.3 | 71    |                |      |        |       |
| LCS7         | 0.87           | 0.74 | -9.5 | 98    | 0.95           | 1.03 | -0.002 | 100   |
| LCS10        | 0.49           | 0.69 | 5.1  | 95    | 0.23           | 0.73 | 27     | 100   |
| LCS11        | 0.32           | 0.50 | 14.1 | 92    | 0.10           | 0.37 | 20     | 37    |



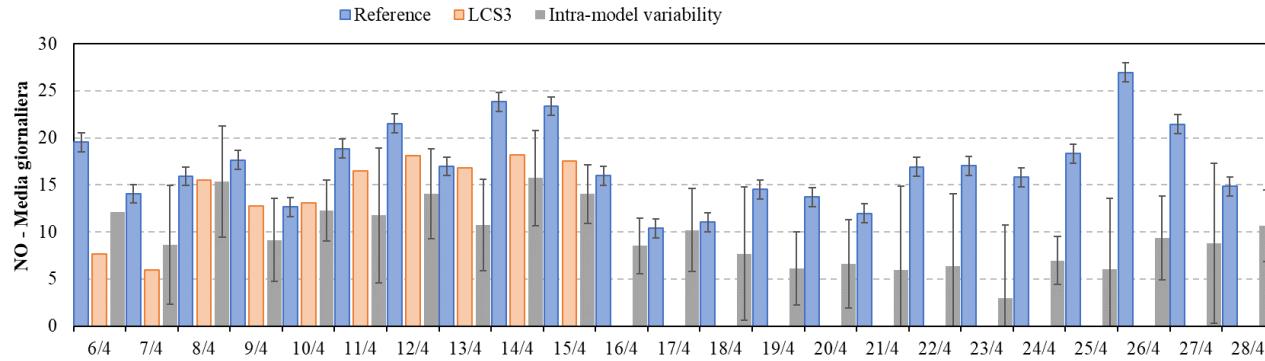
# NO2 – Analisi di regressione

|              | NO2 MI-Pascal  |      |      |       | NO2 MI-Marche  |      |        |       |
|--------------|----------------|------|------|-------|----------------|------|--------|-------|
|              | R <sup>2</sup> | m    | q    | η (%) | R <sup>2</sup> | m    | q      | η (%) |
| LCS1-Socio1  | 0.56           | 1.51 | 41.2 | 98    | 0.31           | 1.04 | 56     | 58    |
| LCS1-Socio10 |                |      |      |       | 0.48           | 1.09 | 14     | 47    |
| LCS3         | 0.41           | 0.77 | 84.6 | 40    | 0.40           | 1.04 | 86     | 73    |
| LCS5         | 0.56           | 2.90 | 78.9 | 98    | 0.03           | 0.82 | 109    | 82    |
| LCS6a        | 0.36           | 0.64 | 21.1 | 71    | 0.33           | 0.89 | 27     | 81    |
| LCS6b        | 0.43           | 0.64 | 18.3 | 71    |                |      |        |       |
| LCS7         | 0.87           | 0.74 | -9.5 | 98    | 0.95           | 1.03 | -0.002 | 100   |
| LCS10        | 0.49           | 0.69 | 5.1  | 95    | 0.23           | 0.73 | 27     | 100   |
| LCS11        | 0.32           | 0.50 | 14.1 | 92    | 0.10           | 0.37 | 20     | 37    |

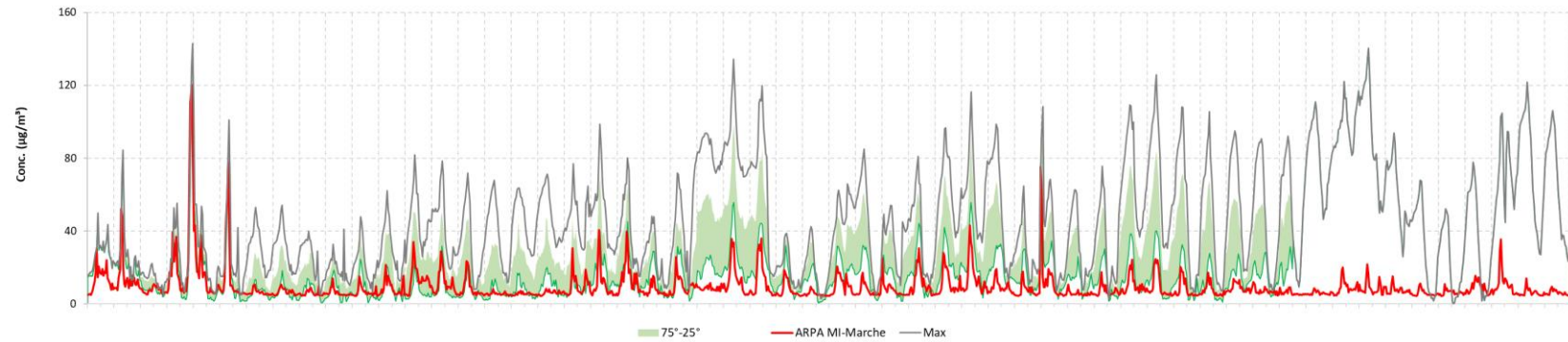


# NO – Analisi di regressione

|       | NO MI-Pascal   |      |     |       | NO2 MI-Marche  |      |    |       |
|-------|----------------|------|-----|-------|----------------|------|----|-------|
|       | R <sup>2</sup> | m    | q   | η (%) | R <sup>2</sup> | m    | q  | η (%) |
| LCS3  | 0.47           | 0.55 | 3.5 | 40    | 0.61           | 1.19 | 8  | 73    |
| LCS6a | 0.10           | 0.30 | 0.0 | 70    | 0.49           | 1.08 | 2  | 81    |
| LCS6b | 0.19           | 0.34 | 0.3 | 71    |                |      |    |       |
| LCS10 | 0.22           | 0.40 | 8.7 | 95    | 0.10           | 1.16 | 33 | 100   |
| LCS11 | 0.19           | 0.24 | 1.6 | 91    | 0.57           | 0.71 | 4  | 37    |



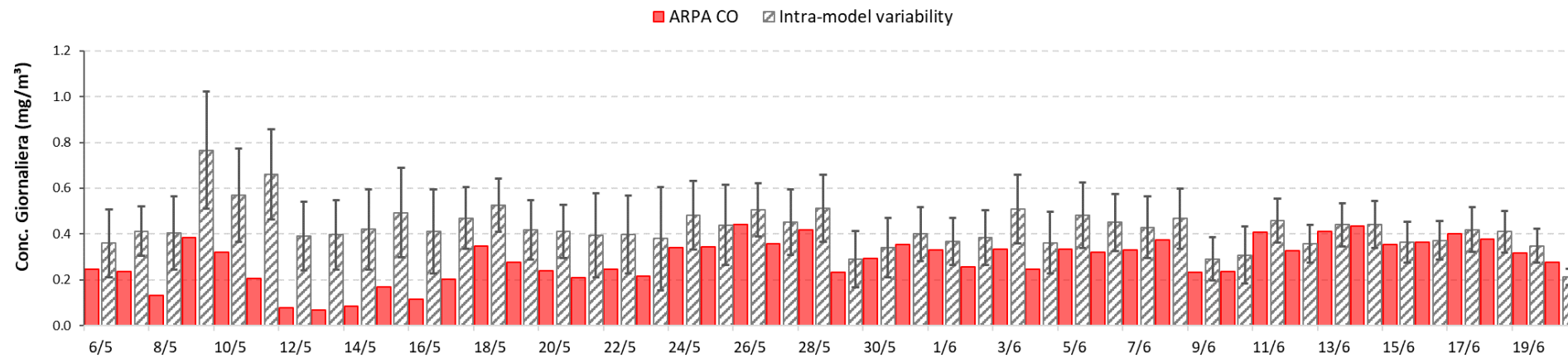
LCS - NO2 - Concentrazioni orarie MI-Marche



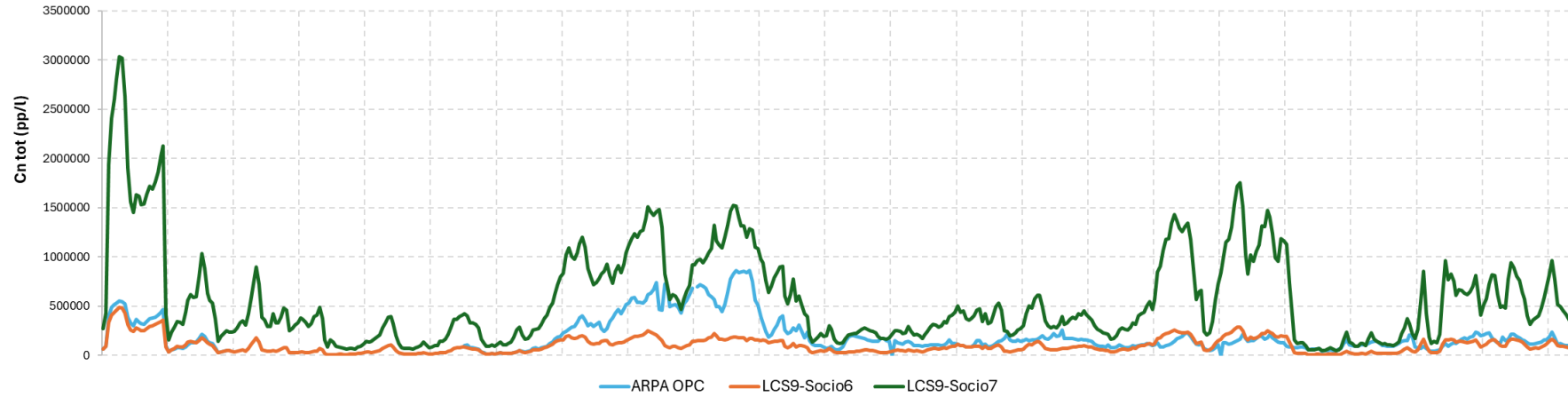


# CO – Analisi di regressione

|              | CO MI-Marche |      |      |            |
|--------------|--------------|------|------|------------|
|              | $R^2$        | m    | q    | $\eta$ (%) |
| LCS1-Socio10 | 0.36         | 0.51 | 0.22 | 57         |
| LCS3         | 0.43         | 0.85 | 0.28 | 89         |
| LCS5         | 0.42         | 0.93 | 0.20 | 100        |
| LCS6a        | 0.58         | 0.72 | 0.18 | 100        |
| LCS10        | 0.51         | 0.68 | 0.07 | 100        |
| LCS11        | 0.27         | 0.66 | 0.54 | 44         |



# Concentrazioni numeriche – MI-Pascal

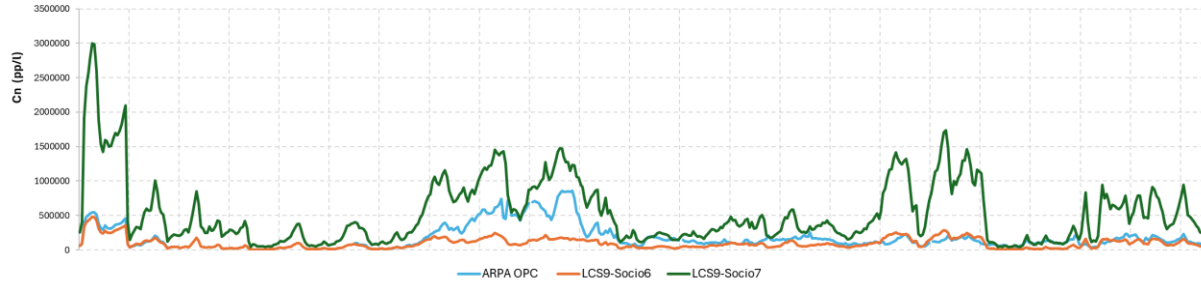


Torino, 28-31 maggio 2024

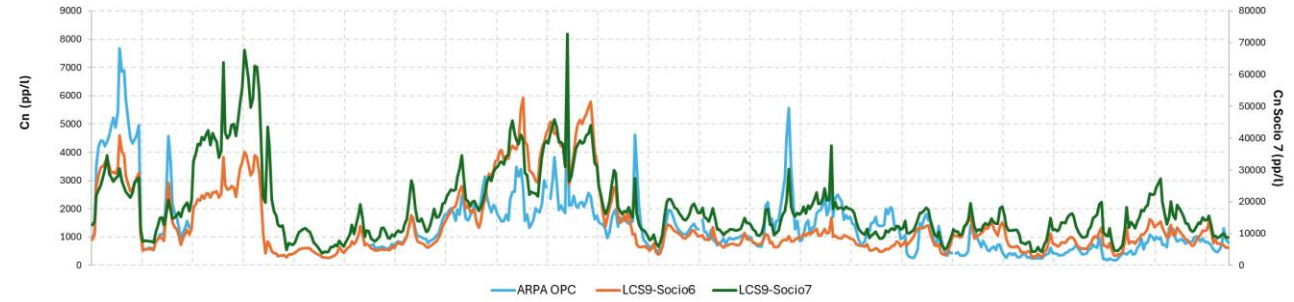


# Concentrazioni numeriche – MI-Pascal

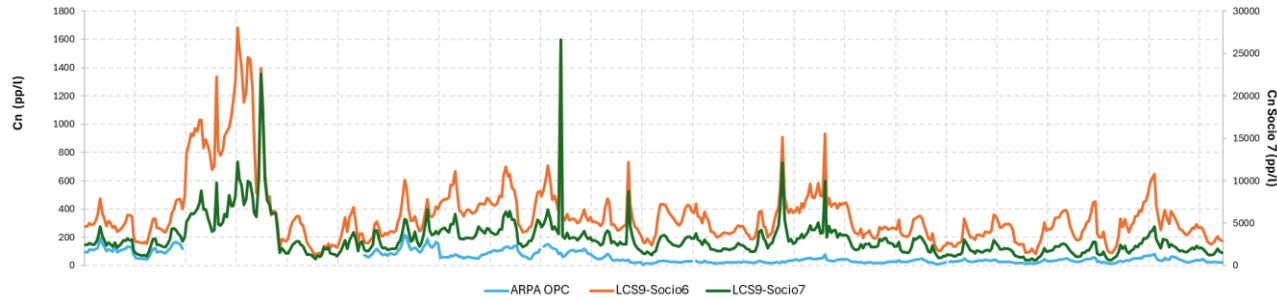
Cluster 0.28-0.7  $\mu\text{m}$



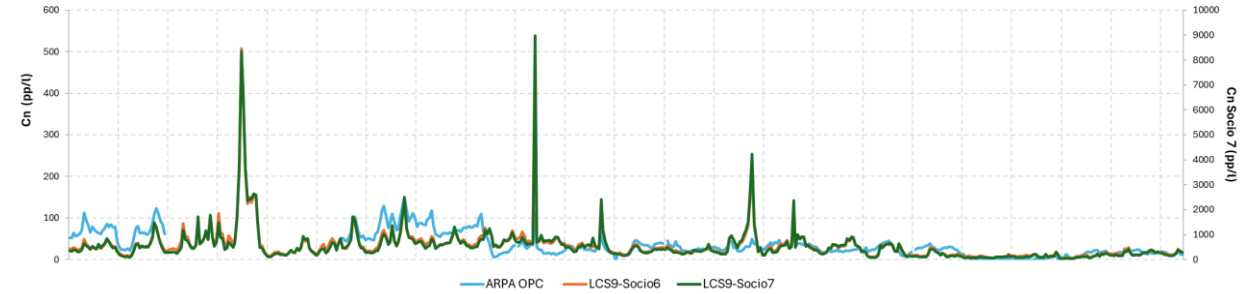
Cluster 0.7-2.0  $\mu\text{m}$



Cluster 2-5  $\mu\text{m}$

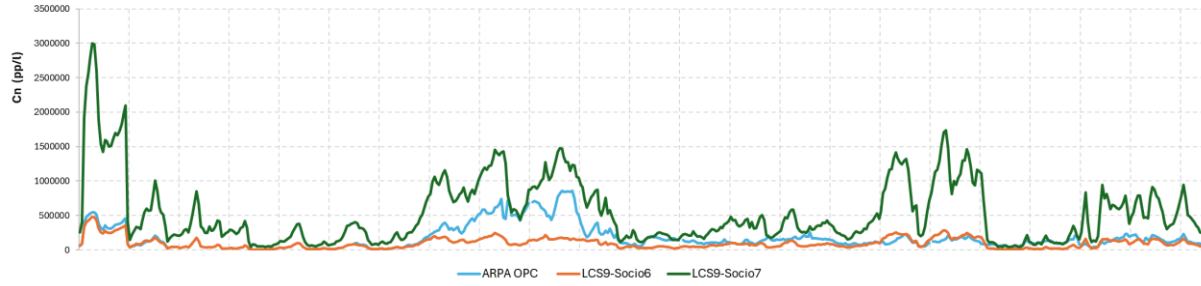


Cluster 5-10  $\mu\text{m}$

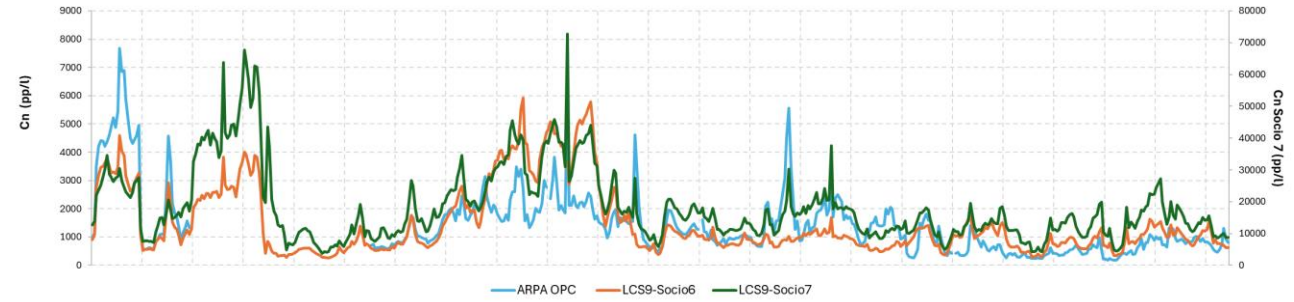


# Concentrazioni numeriche – MI-Pascal

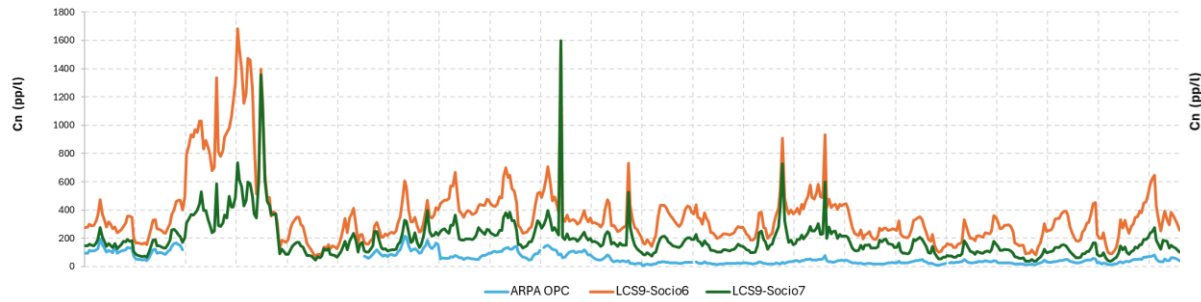
Cluster 0.28-0.7  $\mu\text{m}$



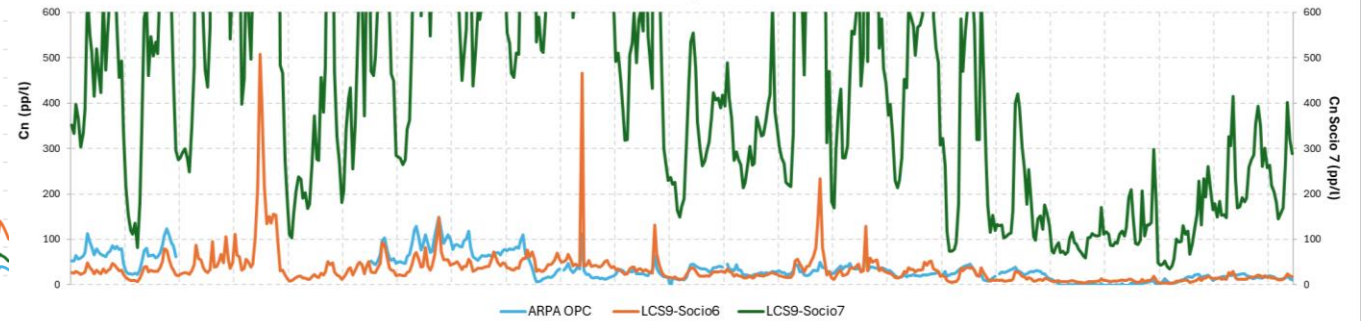
Cluster 0.7-2.0  $\mu\text{m}$



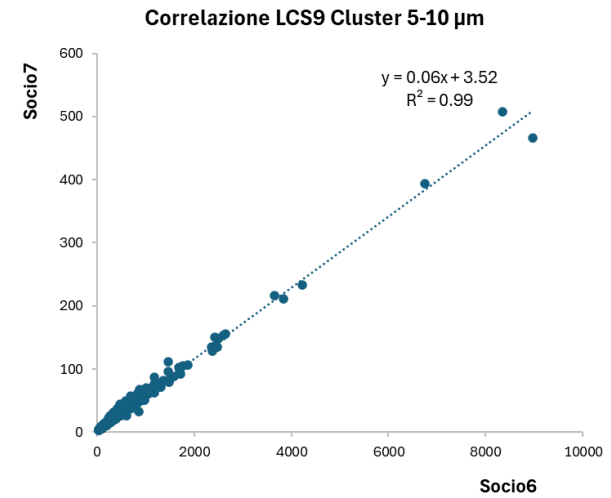
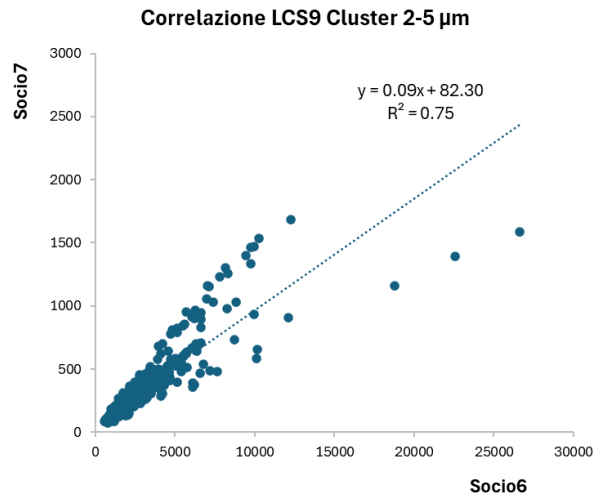
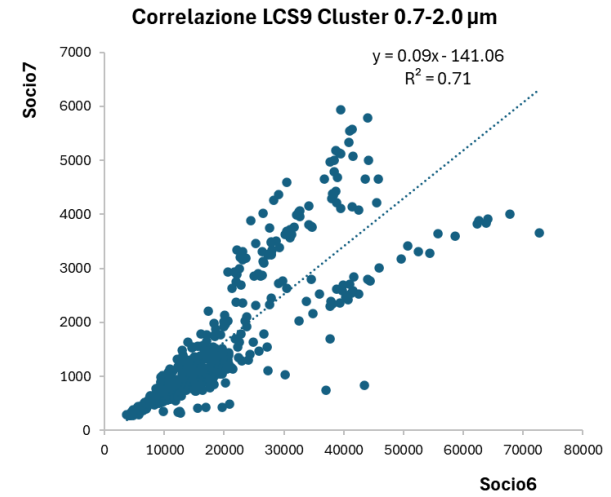
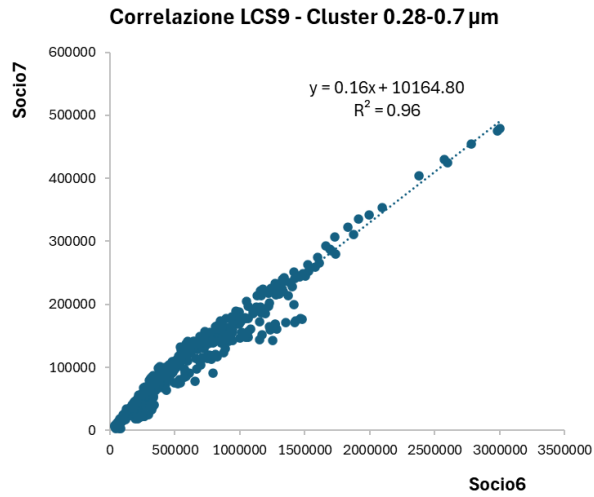
Cluster 2-5  $\mu\text{m}$



Cluster 5-10  $\mu\text{m}$

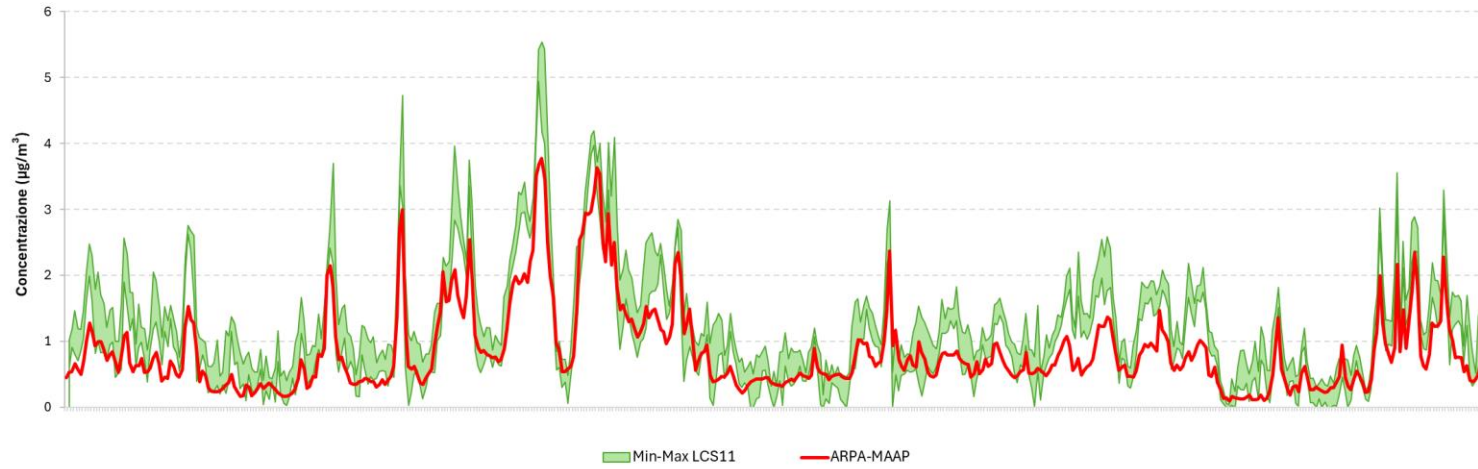


# Concentrazioni numeriche – MI-Pascal

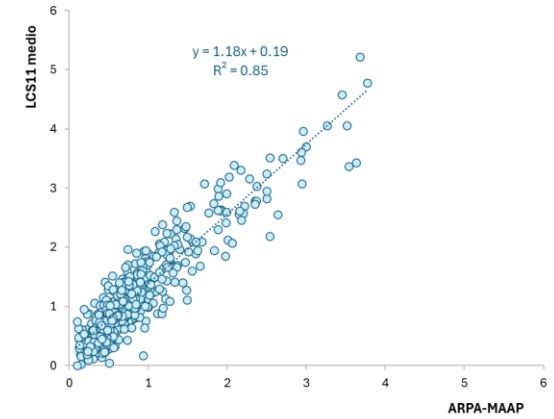


# Black Carbon

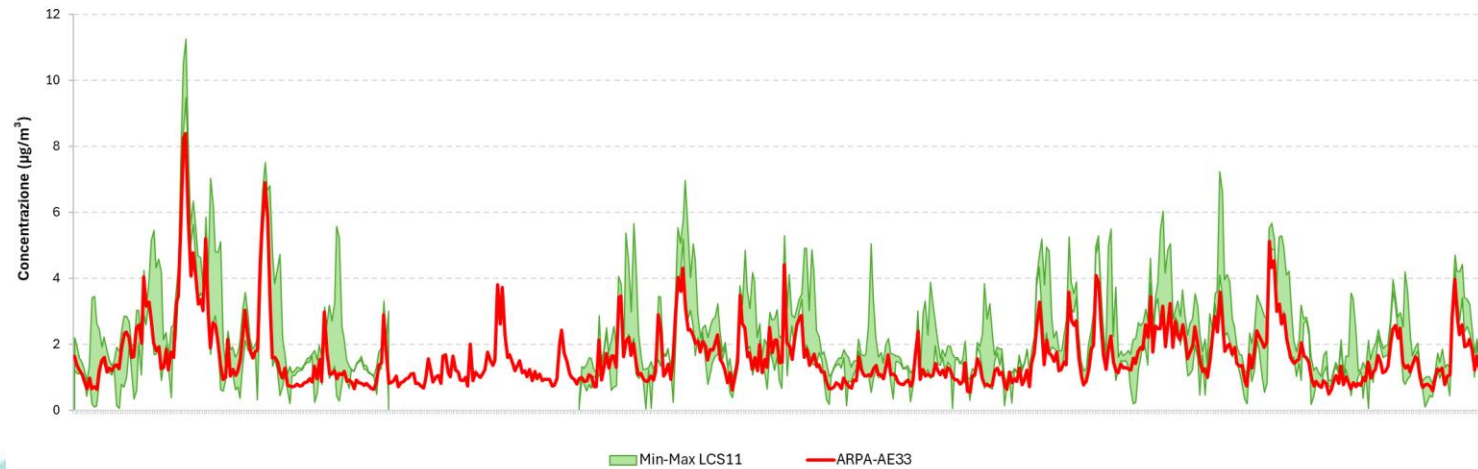
### MI-Pascal - Concentrazioni orarie BC



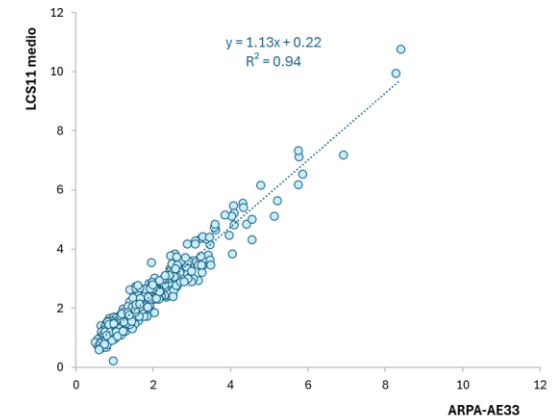
### MI-Pascal Correlazione BC



### MI-Marche - Concentrazioni orarie BC



### MI-Marche Correlazione BC



To be continued....