

# Monitor s.r.l.

## Monitoraggio Qualità dell' Aria

Milano, 5 febbraio 2008

**Oggetto: Campagna di rilevamento della qualità dell'aria in seguito alla applicazione, in Via Marconi a Cesena, della Pavimentazione FOTOFUID della Società Global Engineering**

### Introduzione

Il lavoro presenta i risultati dei rilevamenti di qualità dell'aria effettuati nella città di Cesena dal 17 gennaio al 24 gennaio 2008, con l'obiettivo di misurare la capacità di contenimento degli inquinanti chimici dopo la posa della pavimentazione stradale fotocatalitica FOTOFUID contenente Biossido di Titanio (  $TiO_2$  ) della Società Global Engineering. L'applicazione è stata realizzata in un tratto di strada di Via Guglielmo Marconi. I lavori di posa sono iniziati il 20 novembre 2007 e sono stati ultimati il 4 dicembre

La pavimentazione stradale, oggetto dell'indagine, è composta da un supporto di conglomerato bituminoso con vuoti intergranulari di determinate dimensioni che vengono intasati dalla speciale malta cementizia a base di Biossido di Titanio (  $TiO_2$  ) preparata con il prodotto FOTOFUID

La fotocatalisi è quel fenomeno naturale per cui una sostanza definita fotocatalizzatore in presenza di aria e di luce, innesca la formazione di sostanze con forte azione ossidante che decompongono altre sostanze inorganiche e organiche, accelerando i processi fotochimici che normalmente avvengono nell'aria

La fotocatalisi applicata ai rivestimenti con Biossido di Titanio (  $TiO_2$  ) è conosciuta per la sua capacità di degradare differenti inquinanti, quali gli Ossidi di Azoto (  $NO_x$  ), Ossido di Azoto (  $NO$  ) e Biossido di Azoto (  $NO_2$  ) e gli Ossidi di Zolfo (  $SO_x$  ), Biossido di Zolfo o Anidride Solforosa (  $SO_2$  ) e l'Anidride Solforica (  $SO_3$  ) - ( *Atti International Symposium Photocatalysis, Environment ad Construction Materials Firenze 8-9 Ottobre 2007* ) - . Tali inquinanti vengono degradati e trasformati in altre sostanze innocue e in quantità infinitesimale. (Rif. Studio del CNR del Prof. Allegrini fornito da Global Engineering)

### Descrizione dei siti di rilevamento

La pavimentazione stradale FOTOFUID è stata posata per un tratto di strada di Via Marconi per una lunghezza di 900 m circa.

I rilevamenti sono stati eseguiti per mezzo di due centraline portatili in due punti precisi lungo la Via Oberdan e lungo la Via Marconi.

# Monitor s.r.l.

Monitoraggio Qualità dell' Aria

Due strumenti multiparametrici LAVOISIER® sono stati collocati all'interno di due esercizi commerciali identificati come idonei per la funzione di stazione fissa di monitoraggio, secondo lo schema di ubicazione illustrato nella figura 1.

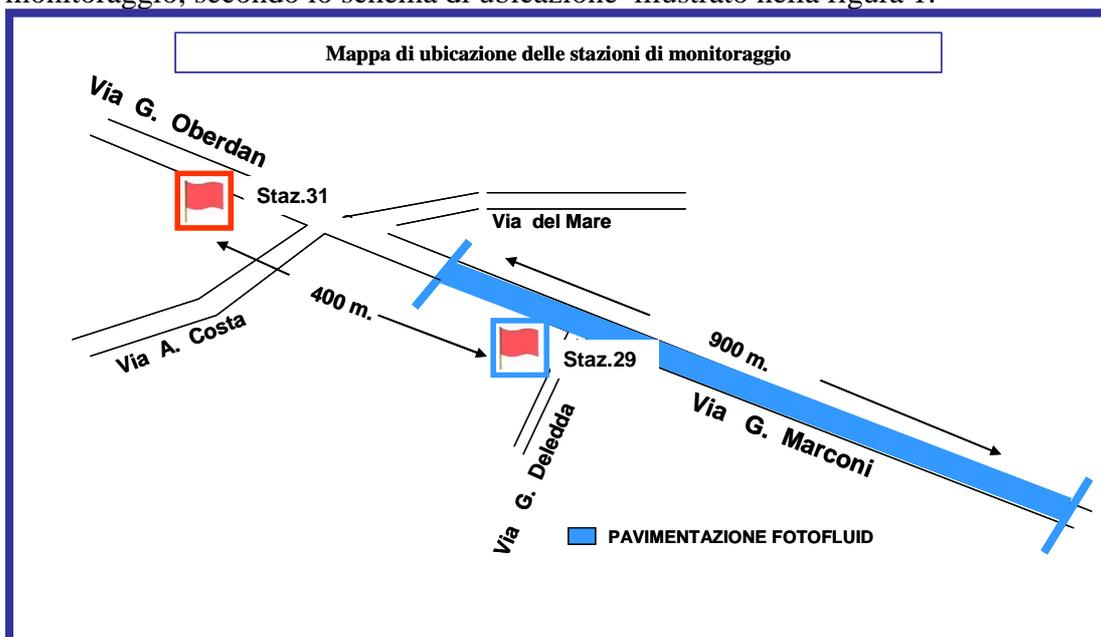


Figura 1. Disposizione del punto di misurazione nel tratto di strada con Fotofluid e di quello nel tratto di strada con asfalto tradizionale



# Monitor s.r.l.

## Monitoraggio Qualità dell' Aria

La disposizione delle due centraline di rilevamento è illustrata nella figura 2.

La centralina della Stazione 31 con la funzione di controllo è stata collocata dopo il tratto di pavimentazione fotocatalitica in Via Oberdan. La centralina della Stazione 29 è stata invece collocata in corrispondenza del tratto di strada rivestito con la Pavimentazione Fotofluid in Via Marconi, a 400 metri circa di distanza dalla Stazione 29, con la funzione di misurare l'effetto fotocatalitico.

I sensori di misurazione delle centraline LAVOISIER® sono stati fissati all'esterno dei locali ad un' "altezza pedone" dal suolo di 180 cm circa nelle posizioni indicate dai circoletti rossi della figura 2. e ad una distanza dalla sede stradale quanto la larghezza del marciapiede.

### Metodologia applicata

Analisi e sperimentazioni condotte sulla qualità dell'aria hanno dimostrato che nelle sedi stradali le concentrazioni più alte di inquinanti si verificano nello strato di aria più vicino all'asfalto. La causa di questa più elevata concentrazione dipende dal fatto che i fumi emessi dai tubi di scarico dei veicoli tendono a stagnare a pochi cm dal suolo e il fenomeno si accentua durante i mesi invernali caratterizzati anche da giornate con inversioni termiche. Risultati sperimentali condotti nel 2007 nell'ambito di applicazioni di pavimentazioni stradali fotocatalitiche, evidenziano concentrazioni inferiori del 10% a 180 cm dall'asfalto rispetto a quelle misurate all'altezza di 30 cm per gli Ossidi di Azoto (NO<sub>x</sub>). (*Atti International Symposium Photocatalysis, Environment ad Construction Materials Firenze 8-9 Ottobre 2007 pag .177*) - .

D'altra parte le misurazioni condotte a 30 cm dal suolo hanno provocato in passato errori nella misurazione per gli schizzi di fango ed acqua sollevati dal transito dei veicoli durante le giornate di pioggia. Sulla base di questi dati sperimentati in altri contesti applicativi, la scelta metodologica di misurare l'effetto fotocatalitico della Pavimentazione Fotofluid a 180 cm dalla sede stradale è stata orientata dall'esigenza di ottenere dei risultati che consentissero di determinare la concentrazione degli inquinanti negli strati d'aria che vengono in contatto con le vie respiratorie delle persone, dato che si tratta di rilevamenti che riguardano emissioni nocive prevalentemente emesse al suolo.

Gli inquinanti rilevati contemporaneamente sono quindi quelli che caratterizzano i problemi di qualità dell'aria nei centri urbani ed in particolare quelli derivanti da fonti mobili come il traffico veicolare. I parametri chimici sono: il Biossido di Azoto (NO<sub>2</sub>), il Biossido di Zolfo o Anidride Solforosa (SO<sub>2</sub>), l'Ossido di Carbonio (CO) e l'Ozono (O<sub>3</sub>).

Le unità di misura utilizzate dalle due centraline per rilevare le concentrazioni sono ppb (parti per miliardo) per gli inquinanti Biossido di Azoto (NO<sub>2</sub>), il Biossido di Zolfo o Anidride Solforosa (SO<sub>2</sub>) e l'Ozono (O<sub>3</sub>), ppm (parti per milione) per l'Ossido di Carbonio (CO)

La campagna di rilevamento è durata 8 giorni, dal 17 al 24 gennaio, ed è stata avviata a 44 giorni dalla fine dei lavori di posa della Pavimentazione Fotofluid in Via Marconi. I rilevamenti, con intervalli di 10 minuti, sono stati condotti ogni giorno per 24 ore e contemporaneamente nei due punti di misurazione, permettendo così di

# Monitor s.r.l.

## Monitoraggio Qualità dell' Aria

ottenere dati ambientali confrontabili perché rilevati in condizioni climatiche identiche.

### **Condizioni meteorologiche durante l'attività di monitoraggio**

Dal 17 gennaio al 24 gennaio il periodo è stato caratterizzato da un' alternanza di cielo coperto con cielo sereno. Dopo la pioggia del giorno 16 il giorno 17 il cielo si è mantenuto coperto. Nei giorni 18 e 19 si sono registrate giornate soleggiate mentre nei giorni 21 e 22 giornate c'è stata una tendenza al peggioramento per poi migliorare di nuovo con condizioni di sereno stabile il 23 e il 24. Le condizioni di luminosità nell'arco delle 8 ore diurne, dalle ore 9.00 alle 17.00 sono rimaste pressoché costanti nei giorni di sereno, mentre sono state ridotte nei giorni di cielo coperto e per la presenza di nebbia nel corso della mattinata

### **Caratteristiche degli inquinanti chimici, oggetto di indagine**

#### **Biossido di Azoto - NO<sub>2</sub>**

E' uno dei principali inquinanti secondari dato che deriva, per lo più, dall'ossidazione, in presenza di luce e Ossigeno (O<sub>2</sub>), del Monossido di Azoto (NO) emesso dal traffico veicolare. In ambiente aperto il rapporto tra NO e NO<sub>2</sub> tende ad essere a favore di quest'ultimo e varia per i fattori stagionali. In particolare con l'innalzarsi delle temperature il Biossido di Azoto (NO<sub>2</sub>) aumenta perché si genera una più efficiente ossidazione del Monossido di Azoto (NO). Il Biossido di Azoto (NO<sub>2</sub>) svolge un ruolo fondamentale nella formazione dello smog fotochimico in quanto precursore alla formazione dell'Ozono (O<sub>3</sub>). Inoltre si ipotizza che altre reazioni che portano alla riduzione di NO/NO<sub>2</sub> in presenza di umidità elevata formino l'Acido Nitrico e successivamente Nitrati che cadono al suolo insieme agli eventi piovosi o sottoforma di particolati

#### **Biossido di Zolfo o Anidride Solforosa – SO<sub>2</sub>**

L'inquinante è prodotto nelle reazioni di ossidazione durante la combustione di materiali con presenza di Zolfo utilizzati in grande maggioranza negli impianti industriali e per il funzionamento degli impianti di riscaldamento. Essendo più pesante dell'aria tende a stratificarsi negli strati più bassi

Il Biossido di Zolfo (SO<sub>2</sub>) permane nell'atmosfera per più giorni, subendo reazioni di ossidazione in presenza di acqua, allo stato liquido e di vapore, che lo trasformano in Acido Solforico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) che ricade al suolo sotto forma di nebbia o pioggia acida

#### **Ossido di Carbonio - CO**

E' prodotto dalla combustione in particolare dei motori a benzina e insieme al Monossido di Azoto (NO) è responsabile dell'inquinamento primario da parte del traffico veicolare. L'Ossido di Carbonio (CO) è un composto piuttosto stabile in grado di permanere nell'aria. Le reazioni fotochimiche più importanti che lo trasformano in Anidride Carbonica (CO<sub>2</sub>), avvengono a livello della troposfera, la fascia a contatto con la superficie terrestre e nella quale avvengono la grande parte dei fenomeni meteorologici. Le reazioni che lo convertono in Anidride Carbonica (CO<sub>2</sub>) sono indotte dalla presenza di radicali ossidrilici (OH), reagendo con i quali si forma anche Acqua (H<sub>2</sub>O) o dalla presenza di radicali perossidrilici (OOH)

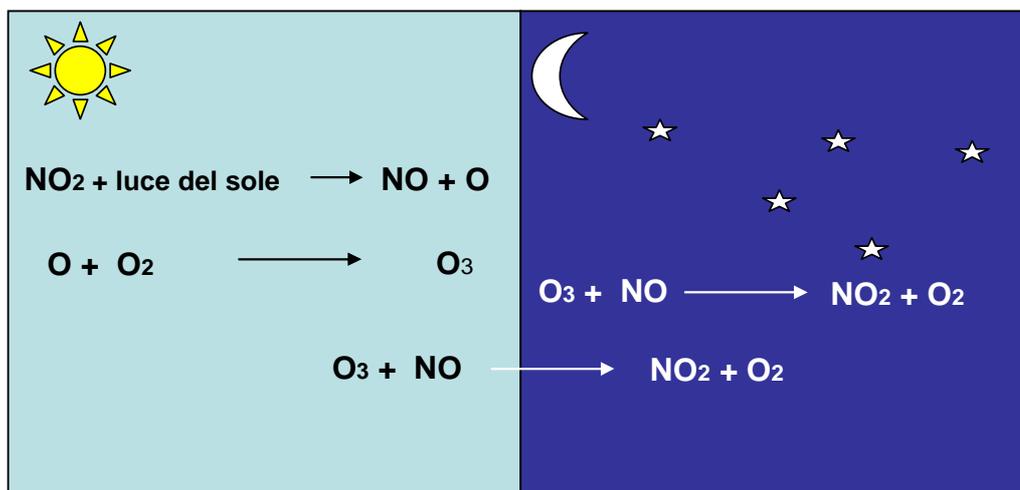
# Monitor s.r.l.

Monitoraggio Qualità dell' Aria

## Ozono – O<sub>3</sub>

E' un gas che assume caratteristiche di inquinante per l'immissione nell'aria di sostanze che agiscono da precursore alla sua formazione come il Biossido di Azoto (NO<sub>2</sub>). Nelle aree urbane caratterizzate da traffico intenso il fenomeno che più caratterizza l'Ozono (O<sub>3</sub>) è la formazione dello smog fotochimico che si verifica in prevalenza in condizioni di alta pressione e forte insolazione e con temperature superiori ai 15-18°. L'Ozono (O<sub>3</sub>) si forma quindi attraverso una reazione chimica indotta dai raggi UV presenti nella luce solare.

In un centro urbano, nel corso di 24 ore, l'aumento del traffico sin dalle prime ore della mattina aumenta nell'aria la presenza di Ossidi di Azoto (NO<sub>x</sub>), NO e NO<sub>2</sub>. L'azione della luce del sole provoca la fotolisi del Biossido di Azoto (NO<sub>2</sub>) innescando un processo come illustrato nella figura 3



**Figura 3. Ciclo Fotostazionario dell'Ozono (O<sub>3</sub>)**

Gli atomi di ossigeno (O) che si formano possono reagire con le molecole di Ossigeno (O<sub>2</sub>) presenti nell'aria per produrre Ozono (O<sub>3</sub>). Con il calare della luce e durante la notte emissioni di Monossido di Azoto (NO) rimuovono l'Ozono dall'aria rigenerando il Biossido di Azoto (NO<sub>2</sub>) e Ossigeno (O<sub>2</sub>). Tali conversioni avvengono più volte nell'aria prima di esaurirsi e la loro ciclicità dipende dalla quantità di inquinanti primari che vengono emessi nell'aria. Tutte le reazioni illustrate costituiscono il Ciclo Fotostazionario dell'Ozono. Il livello di Ozono nell'aria presenta quindi una periodicità giornaliera che rispecchia in sostanza l'andamento della luce solare e del suo irraggiamento. Per questo il ciclo diventa particolarmente critico durante la stagione estiva quando si ha il massimo irraggiamento solare.

# Monitor s.r.l.

## Monitoraggio Qualità dell' Aria

### **Risultati dei rilevamenti**

Ultimata la campagna dei rilevamenti si è proceduto all'elaborazione dei valori registrati al fine di consentire un'analisi dei dati nei due punti di misurazione Stazione 31 (Controllo o asfalto tradizionale ) e Stazione 29 ( Fotofluid o Pavimentazione fotocatalitica ).

Per ogni giornata di rilevamento, sono state calcolate le concentrazioni medie orarie, quelle medie relative alla fascia oraria (dalle ore 9.00 alle 17.00 ) corrispondente al periodo di luce preso a riferimento per i mesi invernali, ai fini della misurazione dell'effetto di fotocatalisi e le concentrazioni medie giornaliere.

Nelle pagine successive sono riportate:

- le analisi dei dati dei rilevamenti, corredate da grafici e tabelle numeriche;
- I risultati del confronto tra i due punti di misurazione al fine di determinare la capacità di contenimento , espressa in percentuale di riduzione o di abbattimento, della Pavimentazione Fotofluid.

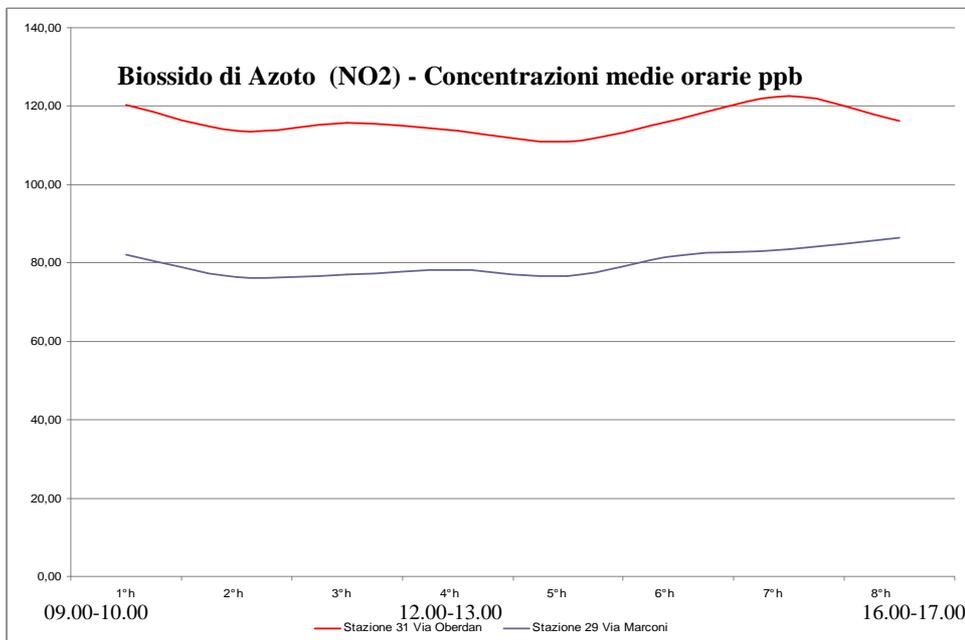
I grafici che seguono rappresentano, per ogni giornata di rilevamento (dal 17 al 24 gennaio) l'andamento delle concentrazioni medie orarie del Biossido di Azoto ( $\text{NO}_2$ ) e dell'Ossido di Carbonio ( $\text{CO}$ ) riferite al punto di misurazione Stazione 29 di Via Marconi (Pavimentazione Fotofluid TRATTO BLEU) e al punto di misurazione Stazione 31 di Via Oberdan (Controllo o asfalto tradizionale TRATTO ROSSO).

Le curve di concentrazione dei due punti di misurazione messi a confronto riguardano la fascia oraria di 8 ore (dalle ore 9.00 alle 17.00 ) corrispondente al periodo di luce giornaliera.

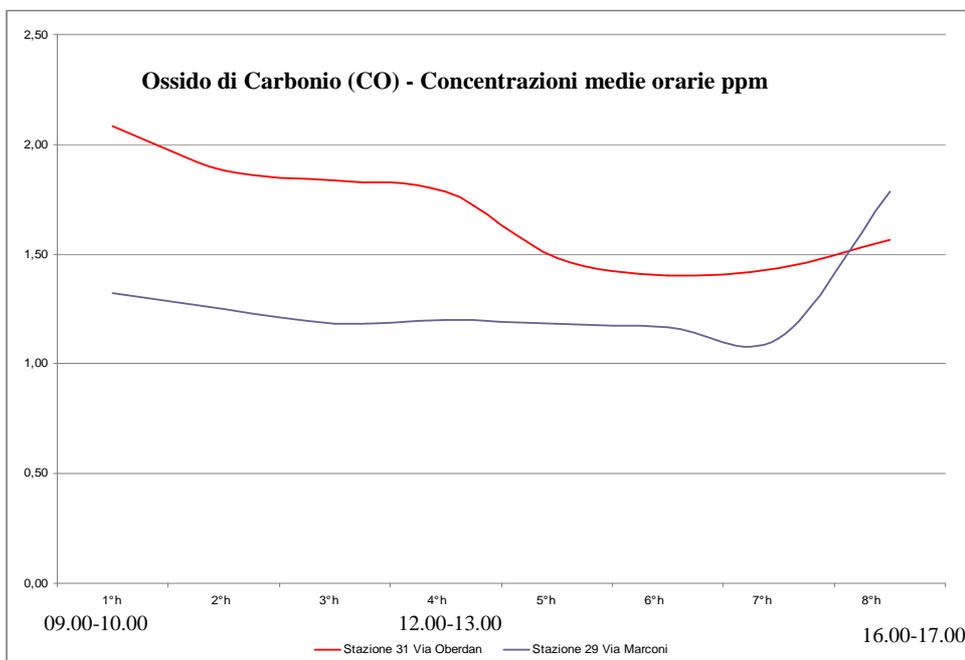
# Monitor s.r.l.

Monitoraggio Qualità dell' Aria

17/01/08



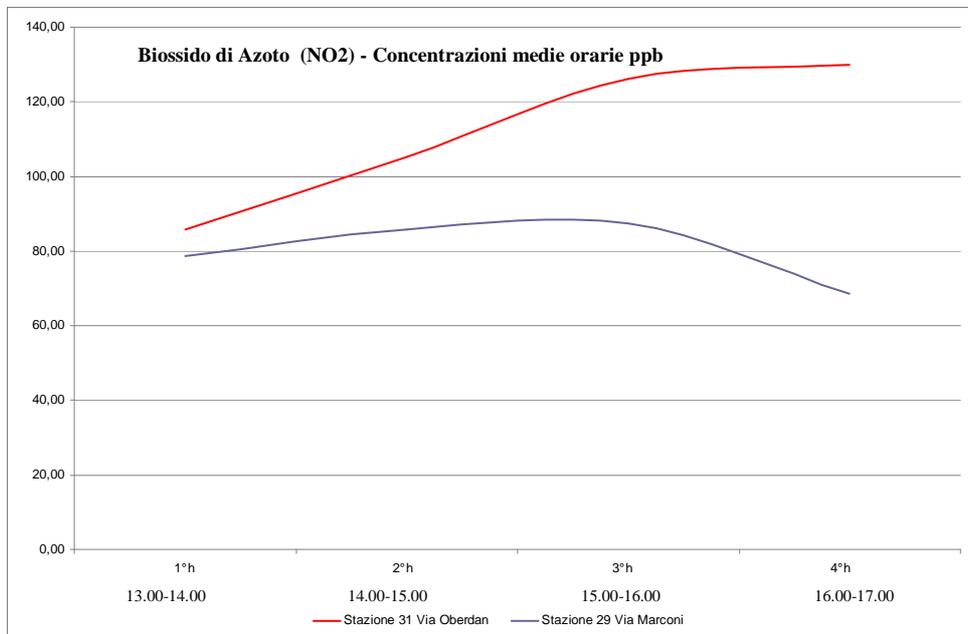
17/01/08



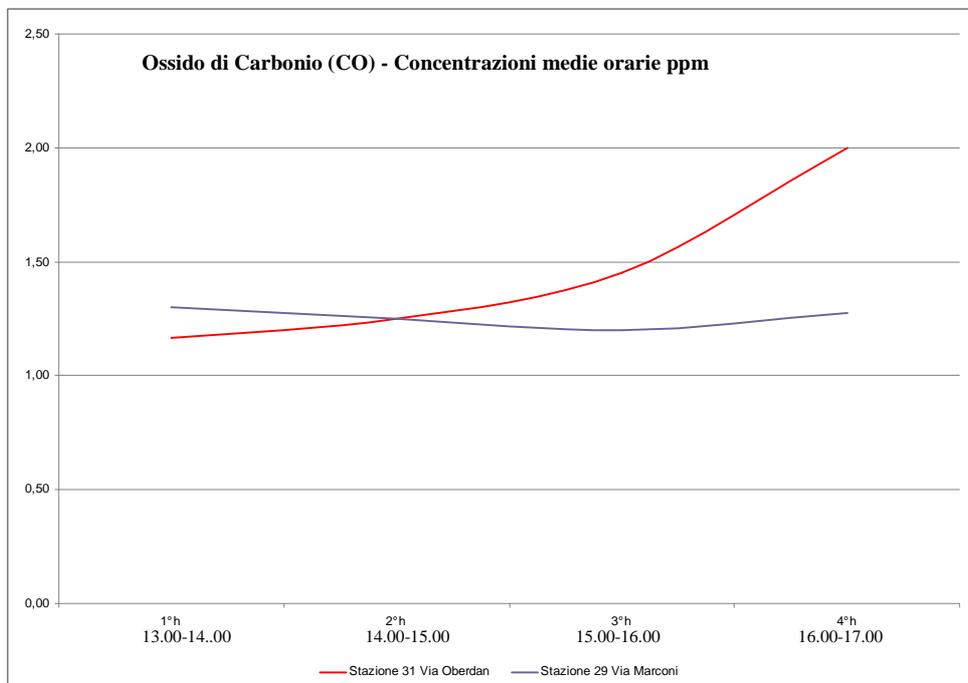
# Monitor s.r.l.

## Monitoraggio Qualità dell' Aria

18/01/08



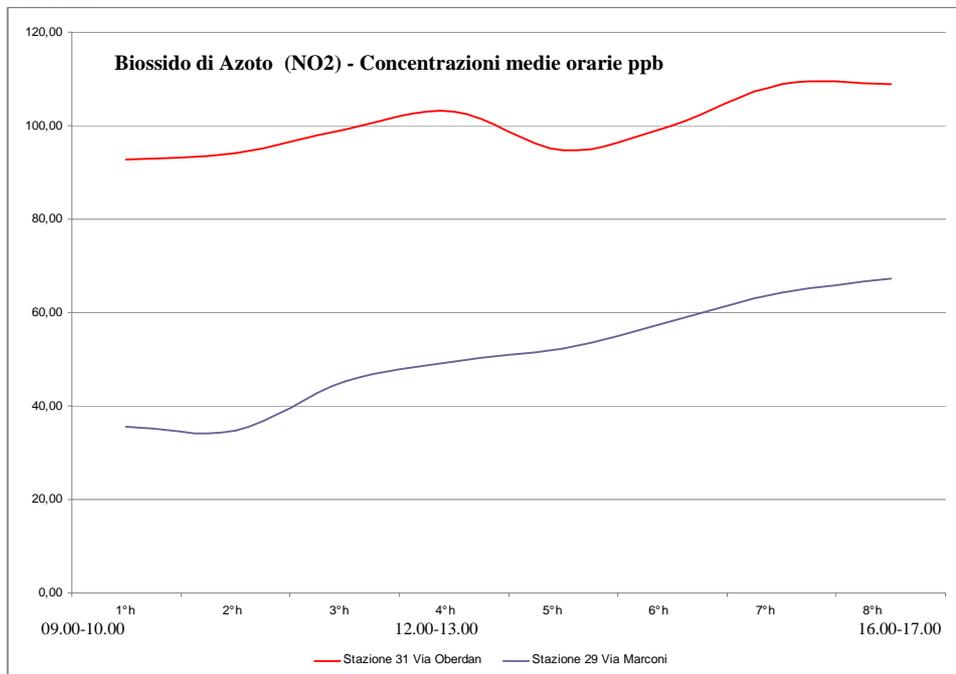
18/01/08



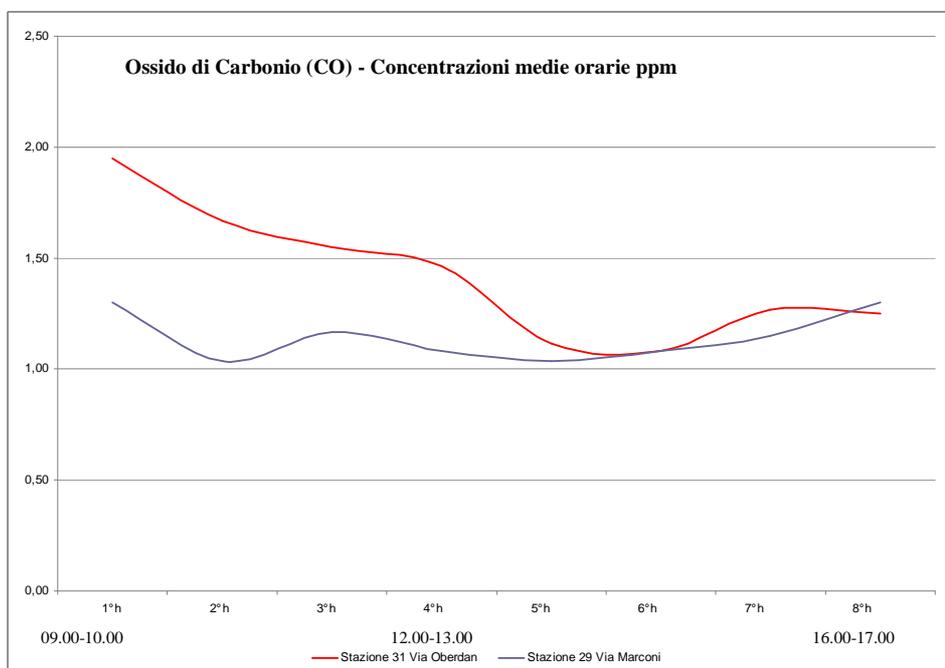
# Monitor s.r.l.

## Monitoraggio Qualità dell' Aria

19/01/08



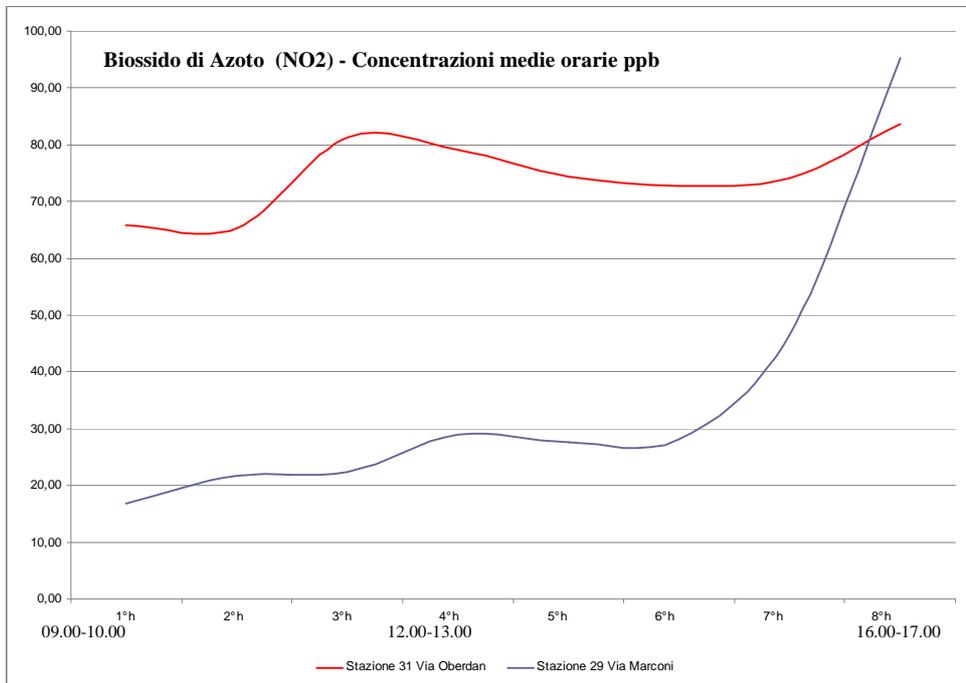
19/01/08



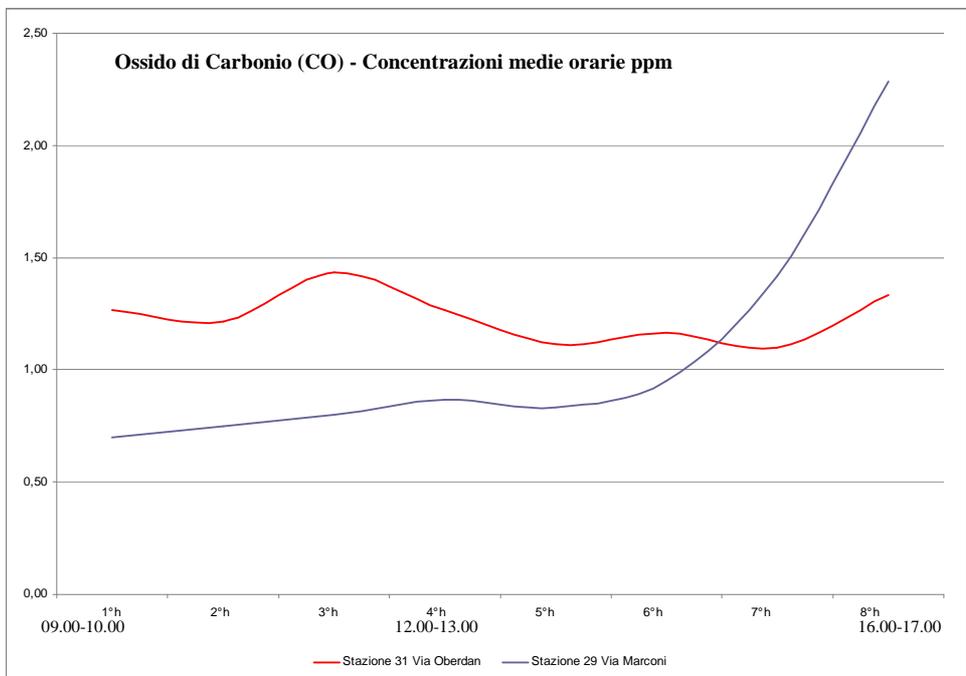
# Monitor s.r.l.

## Monitoraggio Qualità dell' Aria

20/01/08



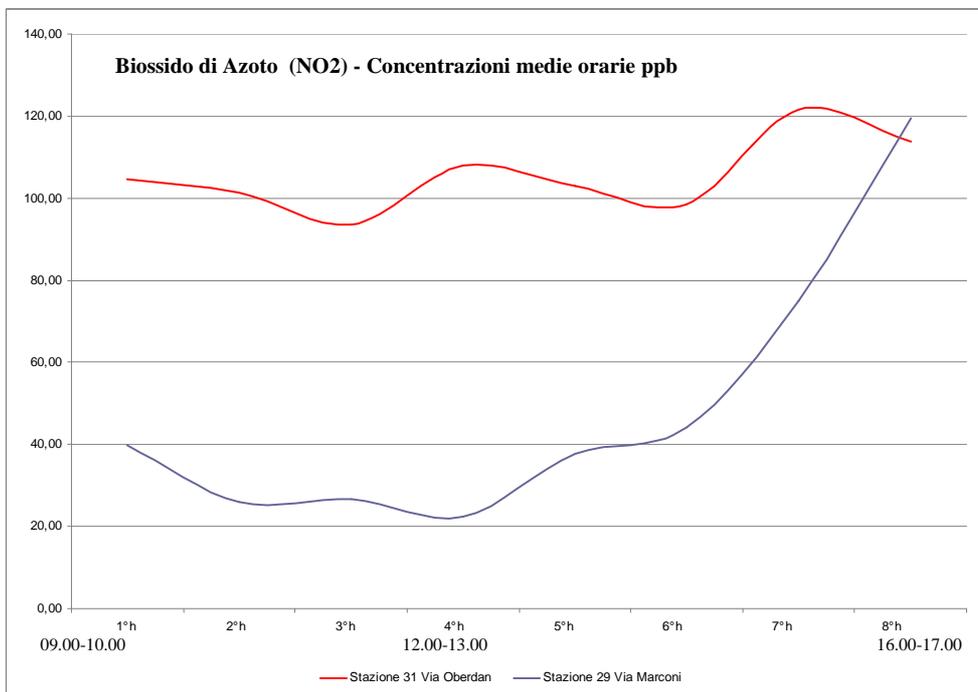
20/01/08



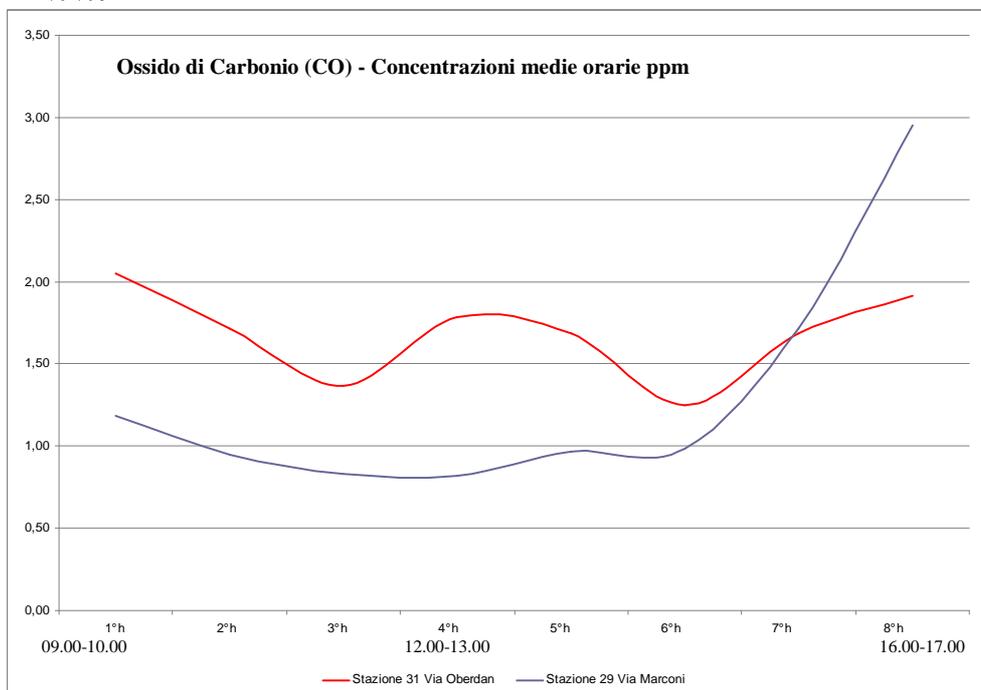
# Monitor s.r.l.

## Monitoraggio Qualità dell' Aria

21/01/08



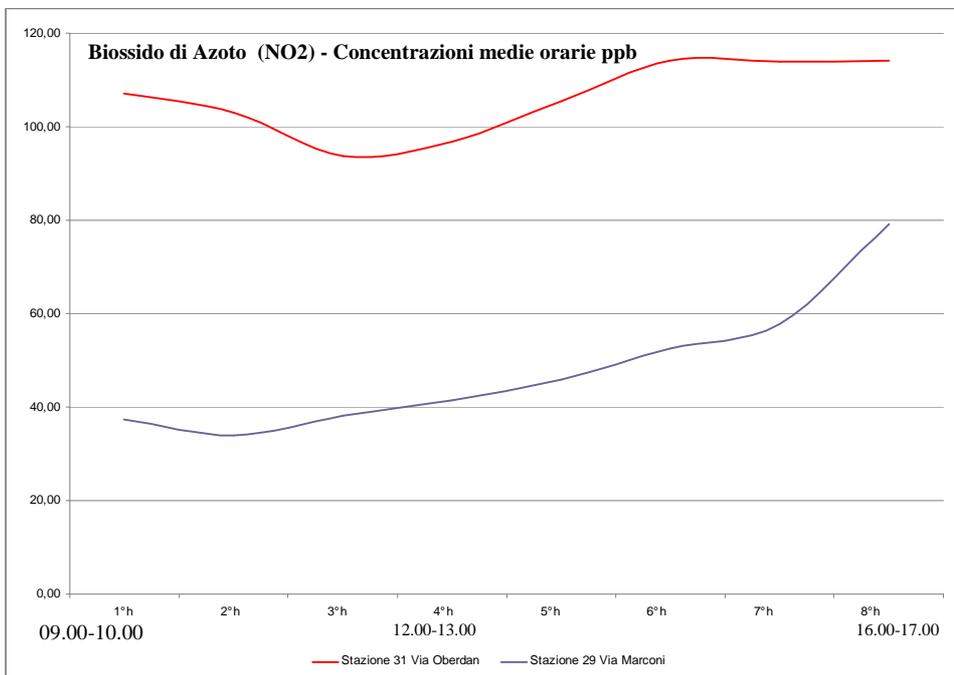
21/01/08



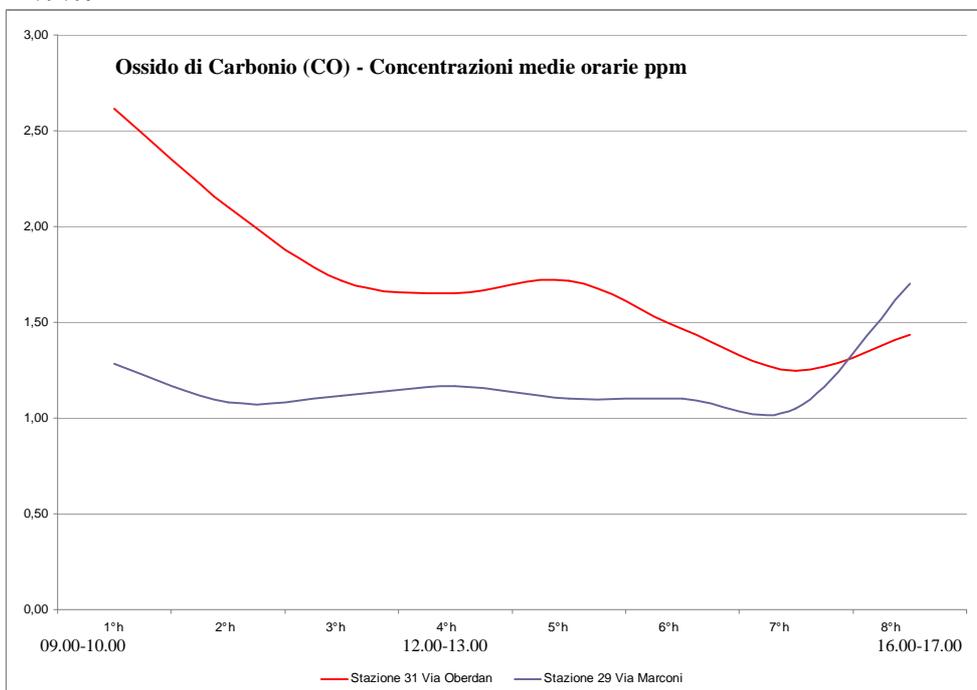
# Monitor s.r.l.

Monitoraggio Qualità dell' Aria

22/01/08



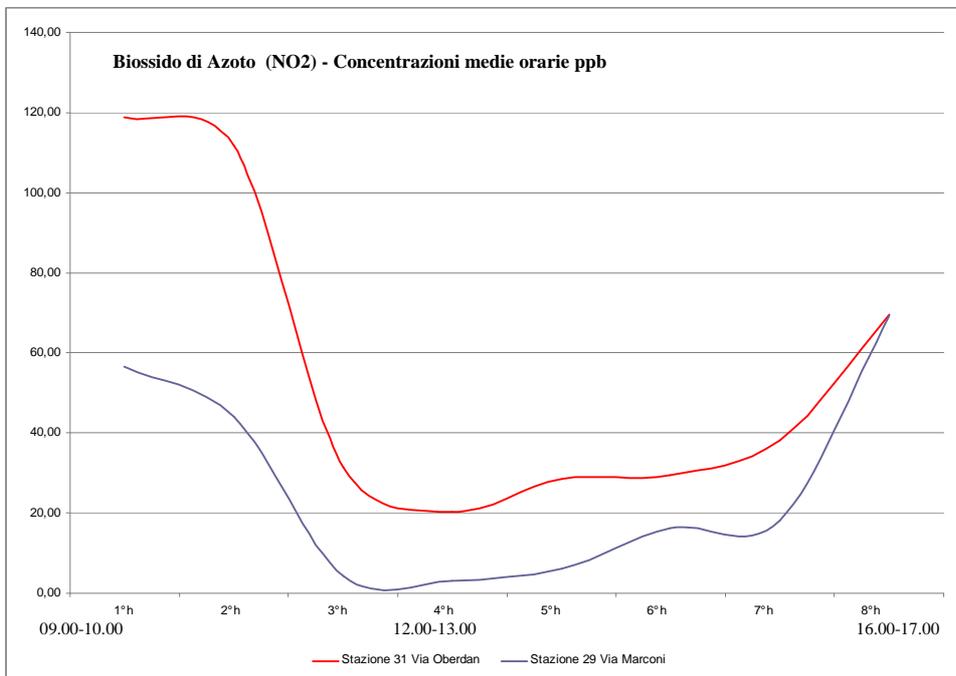
22/01/08



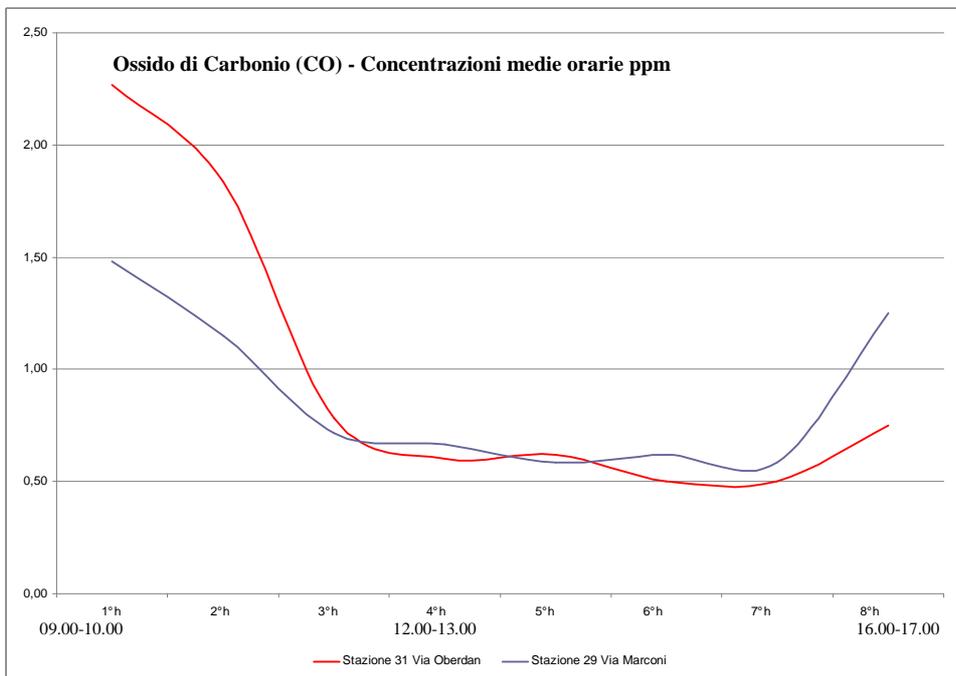
# Monitor s.r.l.

## Monitoraggio Qualità dell' Aria

23/01/08



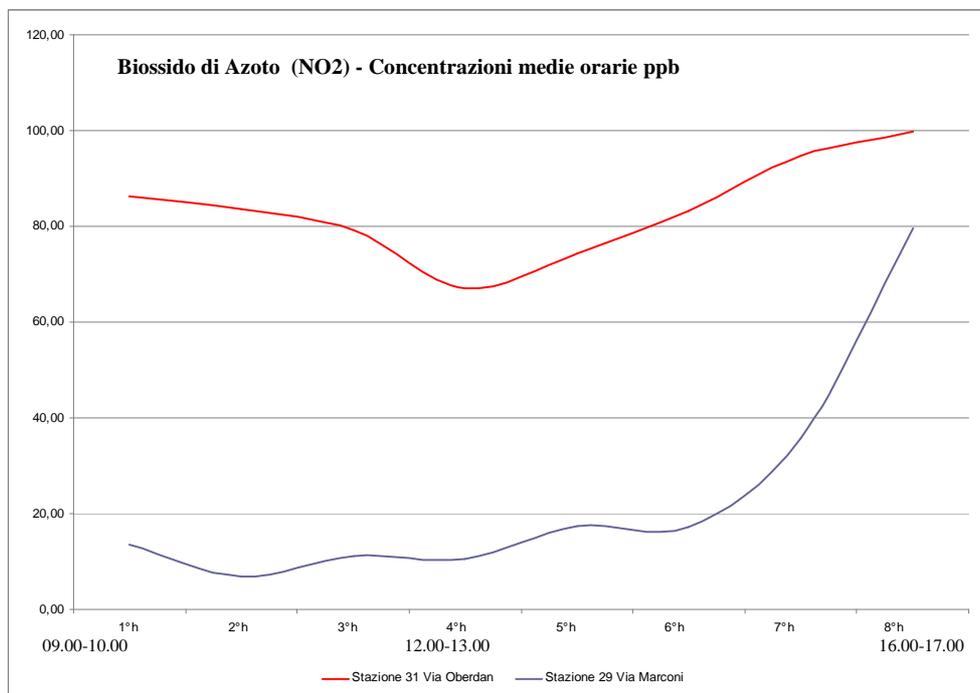
23/01/08



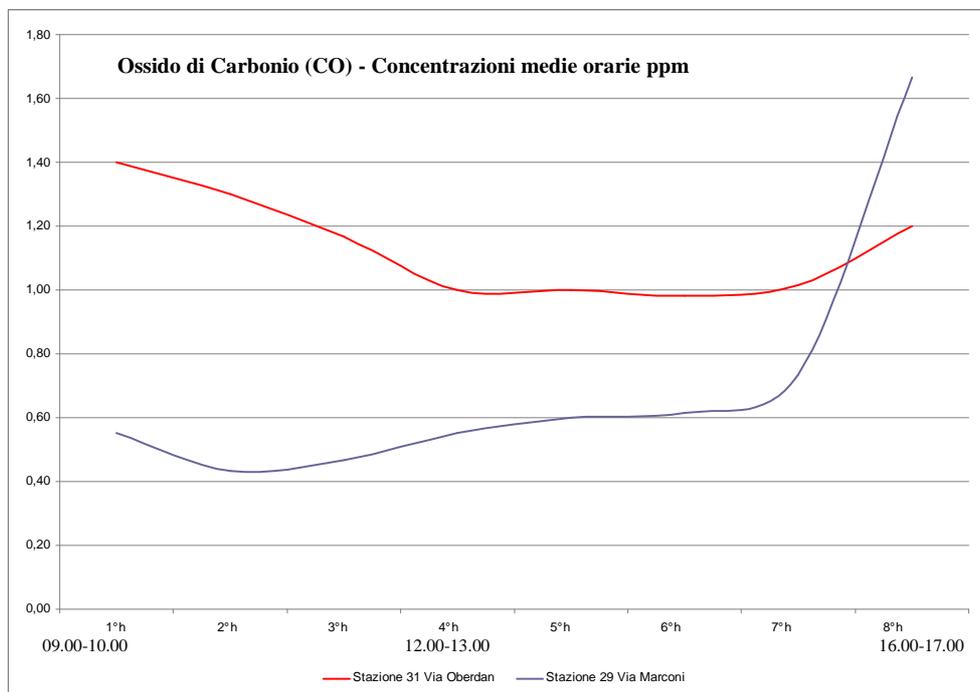
# Monitor s.r.l.

## Monitoraggio Qualità dell' Aria

24/01/08



24/01/08



# Monitor s.r.l.

## Monitoraggio Qualità dell' Aria

I grafici delle concentrazioni medie orarie degli inquinanti Biossido di Azoto (NO<sub>2</sub>) e Ossido di Carbonio (CO ) rappresentano, nella maggior parte dei giorni di monitoraggio un disegno complessivo “a forbice” per il differente comportamento delle due curve di concentrazione La curva del Biossido di Azoto (NO<sub>2</sub>), relativa ai valori medi del punto di misurazione Stazione 29 di Via Marconi si posiziona sempre al di sotto di quella relativa ai valori medi del punto di misurazione Stazione 31 di Via Oberdan, con una tendenza a convergere verso la stessa Stazione 31, salvo che ne giorno 18 gennaio, a partire dalle ore 16.00-16.30 sino ad incorocarsi come nei giorni 20,21,23 gennaio Tale andamento risulta essere più accentuato per le curve dell'Ossido di Carbonio (CO) Il comportamento evidenziato è strettamente connesso all'andamento dell'irraggiamento solare ed evidenzia l'effetto di abbattimento delle concentrazioni mediante fotocatalisi prodotto dalla Pavimentazione Fotofluid nel periodo di luce

### Analisi dei dati

L'analisi dei dati numerici ha l'obiettivo di mostrare le differenze di concentrazione medie tra i due punti di misurazione.

La tabella 1 riporta i dati relativi al calcolo della concentrazione media nella fascia oraria corrispondente al periodo di luce (dalle 9.00 alle 17.00 )

| Concentrazioni medie relative alle 8 h (dalle 9.00 alle 17.00 ) |           |            |            |           |                                  |            |            |           |
|---|-----------|------------|------------|-----------|----------------------------------|------------|------------|-----------|
| Staz 31 Controllo o asfalto tradizionale                        |           |            |            |           | Staz 29 Pavimentazione Fotofluid |            |            |           |
|   | CO<br>ppm | SO2<br>ppb | NO2<br>ppb | O3<br>ppb | CO<br>ppm                        | SO2<br>ppb | NO2<br>ppb | O3<br>ppb |
| 17-gen  | 1,68      | 34,42      | 116,21     | 0,97      | 1,28                             | 0,00       | 80,30      | 0,36      |
| 18-gen  | 1,47      | 32,75      | 111,79     | 9,60      | 1,26                             | 1,33       | 80,08      | 4,25      |
| 19-gen  | 1,42      | 26,50      | 100,15     | 3,77      | 1,14                             | 0,00       | 50,87      | 2,12      |
| 20-gen  | 1,24      | 17,54      | 74,57      | 8,76      | 1,08                             | 0,00       | 35,93      | 4,85      |
| 21-gen  | 1,68      | 24,22      | 105,55     | 5,73      | 1,30                             | 0,00       | 48,83      | 11,22     |
| 22-gen  | 1,74      | 17,64      | 106,06     | 0,12      | 1,20                             | 0,00       | 48,30      | 0,00      |
| 23-gen  | 0,98      | 17,27      | 55,98      | 58,69     | 0,88                             | 0,00       | 27,19      | 42,43     |
| 24-gen  | 1,13      | 19,70      | 83,51      | 17,30     | 0,70                             | 0,00       | 23,98      | 34,42     |

**Tabella 1 Concentrazioni medie di 8 ore ( dalle 9.00 alle 17.00 ) – Periodo di luce.**

# Monitor s.r.l.

## Monitoraggio Qualità dell' Aria

Per la fascia oraria dalle 9.00 alle 17.00 il giorno 18 gennaio per problemi tecnici alle centraline i rilevamenti sono stati effettuati dalle 13.00 alle 17.00 per un periodo di 4 ore anziché di 8 ore.. Per quel giorno i dati riportati si riferiscono a valori medi di concentrazione calcolati su 4 ore.

I dati evidenziano che per l'Anidride Solforosa, il Biossido di Azoto e l'Ossido di Carbonio ( rispettivamente SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub> e CO ) si sono registrati nel punto di misurazione della Stazione 29 valori medi di concentrazione più bassi, per tutti i giorni di rilevamento. Per SO<sub>2</sub> l'azzeramento dei valori medi, nella stessa fascia oraria, si spiega con l'azzeramento delle concentrazioni registrate ad intervalli di dieci minuti nel punto di misurazione della Stazione 29.

Nella fascia oraria dalle 9.00 alle 17.00, il valore medio di concentrazione per l'Ozono (O<sub>3</sub>) evidenzia un comportamento diverso rispetto agli altri inquinanti. Infatti nel punto di misurazione Stazione 31 i valori medi di concentrazione sono più bassi nei giorni 21 e 24 gennaio rispetto a quelli del punto di misurazione della Stazione 29, mentre nei giorni 17, 18,19, 20,22, 23 gennaio le i valori medi concentrazione sono risultati più bassi nel punto di misurazione Stazione 29.

La tabella 2 riporta il quadro sintetico coprente tutto il periodo dell'attività di monitoraggio e relativo ai due punti di misurazione. I dati evidenziano un quadro più favorevole per il punto di misurazione Stazione 29 e per tutti gli inquinanti rilevati

| Media delle concentrazioni - fascia oraria 9.00 - 17.00 (17-24 gennaio ) |           |            |            |           |                                  |            |            |           |
|--|-----------|------------|------------|-----------|----------------------------------|------------|------------|-----------|
| Staz 31 Controllo o asfalto tradizionale                                 |           |            |            |           | Staz 29 Pavimentazione Fotofluid |            |            |           |
|  | CO<br>ppm | SO2<br>ppb | NO2<br>ppb | O3<br>ppb | CO<br>ppm                        | SO2<br>ppb | NO2<br>ppb | O3<br>ppb |
|  | 1,42      | 23,76      | 94,23      | 13,12     | 1,10                             | 0,17       | 49,43      | 12,46     |

**Tabella 2 Media delle concentrazioni dal 17 al 24 gennaio – Periodo di luce**

# Monitor s.r.l.

## Monitoraggio Qualità dell' Aria

La tabella 3 riporta i dati relativi al calcolo della concentrazione media giornaliera (24 ore ).

| Concentrazioni medie giornaliere (24 h ) |           |            |            |           |                                  |            |            |           |
|--|-----------|------------|------------|-----------|----------------------------------|------------|------------|-----------|
| Staz 31 Controllo o asfalto tradizionale |           |            |            |           | Staz 29 Pavimentazione Fotofluid |            |            |           |
|  | CO<br>ppm | SO2<br>ppb | NO2<br>ppb | O3<br>ppb | CO<br>ppm                        | SO2<br>ppb | NO2<br>ppb | O3<br>ppb |
| 17-gen                                   | 1,63      | 34,36      | 108,75     | 2,14      | 2,11                             | 1,37       | 103,37     | 0,33      |
| 18-gen                                   | 2,28      | 36,89      | 127,01     | 4,59      | 2,43                             | 1,04       | 96,92      | 1,11      |
| 19-gen                                   | 1,57      | 27,74      | 90,68      | 4,05      | 1,31                             | 0,00       | 51,56      | 1,25      |
| 20-gen                                   | 1,19      | 20,43      | 74,40      | 8,44      | 1,78                             | 0,00       | 57,38      | 3,98      |
| 21-gen                                   | 1,45      | 22,81      | 89,75      | 8,91      | 1,88                             | 0,00       | 67,41      | 8,98      |
| 22-gen                                   | 1,43      | 19,29      | 94,99      | 2,76      | 1,80                             | 0,00       | 71,70      | 0,97      |
| 23-gen                                   | 1,31      | 23,69      | 82,32      | 22,75     | 1,69                             | 0,00       | 70,06      | 14,37     |
| 24-gen                                   | 1,21      | 16,74      | 71,30      | 17,61     | 1,54                             | 0,00       | 54,81      | 21,18     |

**Tabella 3 Concentrazioni medie giornaliere (24 h ).**

Il giorno 18 gennaio per problemi tecnici alle centraline i rilevamenti sono stati interrotti dalle ore 7.00 alle ore 13.00, cosicché il calcolo dei dati per quel giorno si riferisce alle 19 ore anziché alle 24 ore.

Nel calcolo delle medie giornaliere i risultati evidenziano valori di concentrazione più bassi nel punto di misurazione Stazione 29 per quanto riguarda il Biossido di Azoto (NO<sub>2</sub>), sia pur con differenze inferiori se confrontati a quelli calcolati nella fascia oraria corrispondente al periodo di luce ( 9.00 – 17.00 ). La media giornaliera non ha evidenziato cambiamenti di tendenza per il Biossido di Zolfo (SO<sub>2</sub> ), rispetto al periodo di luce di 8 ore, per l'azzeramento delle concentrazioni registrate ad intervalli di dieci minuti nel punto di misurazione della Stazione 29 nel corso dell'intera giornata e per tutto il periodo di monitoraggio.

Il calcolo della concentrazione media giornaliera per l'Ossido di Carbonio (CO) evidenzia nella tabella 2 un 'inversione di tendenza rispetto alla media calcolata nella fascia oraria corrispondente al periodo di luce ( 9.00 – 17.00 ). Infatti i valori medi

# Monitor s.r.l.

## Monitoraggio Qualità dell' Aria

giornalieri più bassi si osservano nel punto di misurazione Stazione 31 tranne che per il giorno 19 gennaio.

Il calcolo della concentrazione media giornaliera relativa all'Ozono (O<sub>3</sub>) non modifica quanto osservato per le medie nella fascia oraria 9.00-17.00. Infatti come per la fascia oraria 9.00 -17. 00 nel punto di misurazione Stazione 31 i valori medi di concentrazione sono più bassi nei giorni 21 e 24 gennaio rispetto a quelli del punto di misurazione della Stazione 29, mentre nei giorni 17, 18,19, 20,22, 23 gennaio le i valori medi concentrazione sono risultati più bassi nel punto di misurazione Stazione 29.

La tabella 4 riporta il quadro sintetico coprente tutto il periodo dell'attività di monitoraggio e relativo ai due punti di misurazione. I dati evidenziano un quadro più favorevole per il punto di misurazione Stazione 29 per gli inquinanti Biossido di Azoto (NO<sub>2</sub>), sia pur con differenze inferiori a quelle calcolate nella fascia oraria corrispondente al periodo di luce ( 9.00 – 17.00 ), per il Biossido di Zolfo (SO<sub>2</sub>) e per l'Ozono (O<sub>3</sub>), mentre per l'Ossido di Carbonio (CO) lo stesso punto di misurazione fa registrare una concentrazione media di periodo leggermente superiore a quella del punto di misurazione della Stazione 31

| Media delle concentrazioni giornaliere ( 17-24 gennaio ) |           |            |            |           |                                  |            |            |           |
|--|-----------|------------|------------|-----------|----------------------------------|------------|------------|-----------|
| Staz 31 Controllo o asfalto tradizionale                 |           |            |            |           | Staz 29 Pavimentazione Fotofluid |            |            |           |
|  | CO<br>ppm | SO2<br>ppb | NO2<br>ppb | O3<br>ppb | CO<br>ppm                        | SO2<br>ppb | NO2<br>ppb | O3<br>ppb |
|  | 1,51      | 25,24      | 92,40      | 8,91      | 1,82                             | 0,30       | 71,65      | 6,52      |

**Tabella 4. Media delle concentrazioni dal 17 al 24 gennaio - 24 ore**

La tabella 5 riporta il confronto tra i dati della tabella 1 ( medie di fascia oraria 9.00-17.00 ) e i dati della tabella 3 ( medie giornaliere )

# Monitor s.r.l.

## Monitoraggio Qualità dell' Aria

| Confronto tra concentrazioni medie       |      |           |            |            |                                  |           |            |            |           |
|--|------|-----------|------------|------------|----------------------------------|-----------|------------|------------|-----------|
| Staz 31 Controllo o asfalto tradizionale |      |           |            |            | Staz 29 Pavimentazione Fotofluid |           |            |            |           |
|  |      | CO<br>ppm | SO2<br>ppb | NO2<br>ppb | O3<br>ppb                        | CO<br>ppm | SO2<br>ppb | NO2<br>ppb | O3<br>ppb |
| 17-gen                                   | 24 h | 1,63      | 34,36      | 108,75     | 2,14                             | 2,11      | 1,37       | 103,37     | 0,33      |
|  | 8 h  | 1,68      | 34,42      | 116,21     | 0,97                             | 1,28      | 0,00       | 80,30      | 0,36      |
| 18-gen                                   | 19 h | 2,28      | 36,89      | 127,01     | 4,59                             | 2,43      | 1,04       | 96,92      | 1,11      |
|  | 4 h  | 1,47      | 32,75      | 111,79     | 9,60                             | 1,26      | 1,33       | 80,08      | 4,25      |
| 19-gen                                   | 24 h | 1,57      | 27,74      | 90,68      | 4,05                             | 1,31      | 0,00       | 51,56      | 1,25      |
|  | 8 h  | 1,42      | 26,50      | 100,15     | 3,77                             | 1,14      | 0,00       | 50,87      | 2,12      |
| 20-gen                                   | 24 h | 1,19      | 20,43      | 74,40      | 8,44                             | 1,78      | 0,00       | 57,38      | 3,98      |
|  | 8 h  | 1,24      | 17,54      | 74,57      | 8,76                             | 1,08      | 0,00       | 35,93      | 4,85      |
| 21-gen                                   | 24 h | 1,45      | 22,81      | 89,75      | 8,91                             | 1,88      | 0,00       | 67,41      | 8,98      |
|  | 8 h  | 1,68      | 24,22      | 105,55     | 5,73                             | 1,30      | 0,00       | 48,83      | 11,22     |
| 22-gen                                   | 24 h | 1,43      | 19,29      | 94,99      | 2,76                             | 1,80      | 0,00       | 71,70      | 0,97      |
|  | 8 h  | 1,74      | 17,64      | 106,06     | 0,12                             | 1,20      | 0,00       | 48,30      | 0,00      |
| 23-gen                                   | 24 h | 1,31      | 23,69      | 82,32      | 22,75                            | 1,69      | 0,00       | 70,06      | 14,37     |
|  | 8 h  | 0,98      | 17,27      | 55,98      | 58,69                            | 0,88      | 0,00       | 27,19      | 42,43     |
| 24-gen                                   | 24 h | 1,21      | 16,74      | 71,30      | 17,61                            | 1,54      | 0,00       | 54,81      | 21,18     |
|  | 8 h  | 1,13      | 19,70      | 83,51      | 17,30                            | 0,70      | 0,00       | 23,98      | 34,42     |

**Tabella 5. Confronto tra le concentrazioni medie**

Nel confronto tra le concentrazioni medie riportate nella tabella 5 si rilevano per la Stazione 31 differenze tra i due periodi di monitoraggio e tra i giorni di rilevamento, soprattutto per gli inquinanti Biossido di Azoto (NO<sub>2</sub>) e Ozono (O<sub>3</sub>), mentre si osserva un quadro sostanzialmente identico per il Biossido di Zolfo (SO<sub>2</sub>) tra le 8 h e le 24 h

il quadro complessivo del punto di misurazione Stazione 29 presenta per l'Ossido di Carbonio (CO) un innalzamento dei valori medi per tutti i giorni di rilevamento, passando dalla fascia oraria di 8 h, corrispondente al periodo di luce, alle 24 h.. Inoltre si individua in più giorni una correlazione tra i valori medi del Biossido di Azoto (NO<sub>2</sub>) e quelli dell'Ozono (O<sub>3</sub>). Si può notare che nello stesso giorno, passando dalla fascia oraria corrispondente al periodo di luce all'intera giornata di 24 h, i valori medi di concentrazione del Biossido di Azoto (NO<sub>2</sub>) aumentano mentre i valori medi di concentrazione dell'Ozono (O<sub>3</sub>) diminuiscono. In tale comportamento si può individuare che l'evento fotochimico Ciclo Fotostazionario dell'Ozono (O<sub>3</sub>) sia stato sovrapposto dall'effetto fotocatalitico della Pavimentazione Fotofluid. Infatti, i dati sembrano indicare che l'effetto fotocatalitico della Pavimentazione

# Monitor s.r.l.

## Monitoraggio Qualità dell' Aria

Fotofluid abbia interferito nelle ore di irraggiamento solare sul Ciclo Fotostazionario dell'Ozono, descritto in precedenza. inibendo la formazione dello stesso Ozono attraverso la degradazione del Biossido di Azoto con un processo fotochimico differente dalla fotolisi.

Tale interpretazione può essere avvalorata dalla documentazione tecnica scientifica della società Global Engineering detentrica del brevetto Fotofluid, la quale riporta che *" La pavimentazione Fotofluid venendo a contatto con gli strati d'aria contenenti Biossido di Azoto ( $NO_2$ ), grazie alla presenza di uno speciale fotocatalizzatore a base di Biossido di Titanio ( $TiO_2$ ), contenuto nella pavimentazione stessa, aggredisce il Biossido di Azoto ( $NO_2$ ) che è degradato e trasformato in altre sostanze innocue. Il Prof. Allegrini del CNR nei suoi studi sul meccanismo d'azione della pavimentazione fotocatalitica che porta alla degradazione del Biossido di Azoto ( $NO_2$ ) per via diverse da quelle della fotolisi, riferisce che il fotocatalizzatore a base di Biossido di Titanio ( $TiO_2$ ), contenuto nella Pavimentazione Fotofluid impedisce all'Ozono di formarsi perché in pratica cattura con una velocità di reazione superiore il Biossido di Azoto ( $NO_2$ ), facendolo reagire con il substrato alcalino contenuto nella stessa Pavimentazione Fotofluid e prima che subisca una degradazione per fotolisi Il risultato di tale variazione del processo fotochimico è che il Biossido di Azoto ( $NO_2$ ) perde la sua capacità di avviare la generazione dell'Ozono ( $O_3$ ) perché dà vita a nuove sostanze innocue che vengono poi disperse, insieme alla polvere che si forma a contatto del suolo, o dilavate con le acque piovane.*

Ne consegue che il meccanismo d'azione della pavimentazione Fotofluid limita la rigenerazione dell'Ozono per quanto riguarda le reazioni fotochimiche prodotte da immissioni nell'aria di Monossido di Azoto (NO) e Biossido di Azoto ( $NO_2$ ) La comprensione approfondita dell'evento fotochimico è necessaria per interpretare correttamente i risultati ottenuti durante la campagna di monitoraggio.

Riferendoci sempre al punto di misurazione Stazione 29 si può inoltre osservare che al di fuori della fascia oraria con irraggiamento solare, con l'aumento dei valori medi di concentrazione del Biossido di Azoto ( $NO_2$ ), si verifica un incremento dei valori medi di concentrazione dell'Ossido di Carbonio (CO), a dimostrazione che l'attività di fotocatalisi in ambiente aperto si riduce gradualmente con il calare dell'attività di irraggiamento solare, permettendo di conseguenza un aumento dell'accumulo delle emissioni nelle ore notturne provocate soprattutto dal traffico veicolare.

### Capacità di riduzione degli inquinanti per effetto della fotocatalisi prodotta dalla Pavimentazione Fotofluid

La capacità di riduzione effettiva degli inquinanti per mezzo della Pavimentazione Fotofluid, posata nel tratto di strada in Via Marconi, in base al fenomeno naturale della fotocatalisi, può essere misurata esclusivamente nelle ore di attività di irraggiamento solare, non escludendo tuttavia che il suo effetto positivo possa estendersi all'intera giornata per l'azione complessiva di mitigazione dimostrata durante tutto il periodo di osservazione nel punto di misurazione Stazione 29 in Via Marconi, come dimostrano i dati precedentemente illustrati e riferiti alle concentrazioni medie giornaliere in confronto a quelle calcolate nel punto di misurazione Stazione 31 in Via Oberdan.

# Monitor s.r.l.

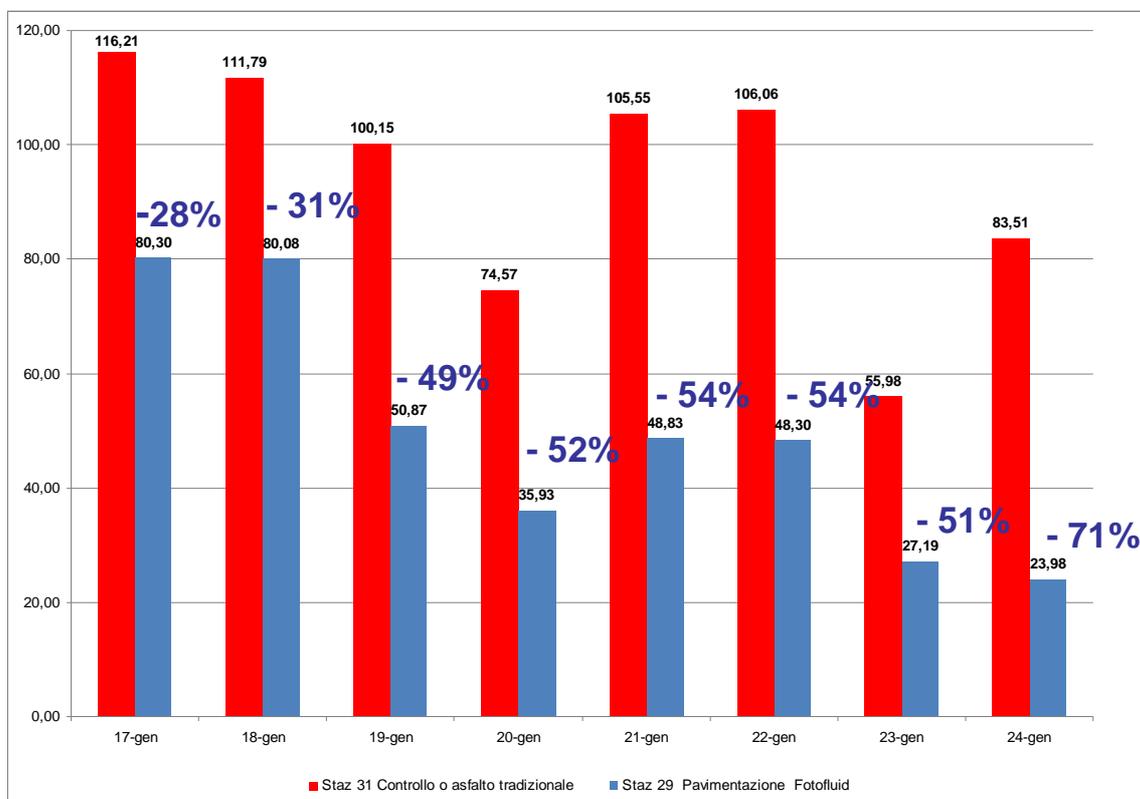
## Monitoraggio Qualità dell' Aria

I grafici che seguono si riferiscono alla fascia oraria di attività solare dalle 9.00 alle 17.00. Si riferiscono ai dati rappresentati nella tabella 1 e mostrano le differenze in percentuale tra il punto di misurazione Stazione 31 di Via Oberdan in corrispondenza dell'asfalto tradizionale e il punto di misurazione Stazione 29 di Via Marconi in corrispondenza della pavimentazione fotocatalitica Fotofluid

### Biossido di Azoto - NO<sub>2</sub>

Si evidenzia per il Biossido di Azoto, per tutti i giorni di rilevamento, una riduzione delle concentrazioni nel tratto di strada fotocatalizzato con la Pavimentazione Fotofluid (Stazione 29 Via Marconi ) rispetto a quelle del tratto di strada con asfalto tradizionale ( Stazione 31 Via Oberdan.) I valori in percentuale oscillano da un minimo del 28% ad un massimo del 71% e con una percentuale media del 48% se ci riferisce all'intero periodo di rilevamento La variabilità di efficacia dimostrata dalla pavimentazione Fotofluid nel corso del periodo di rilevamento può essere spiegata con la differente attività solare e le condizioni meteorologiche che hanno caratterizzato i singoli giorni.( Grafici 1 e 2 ). Inoltre la variabilità dei risultati di contenimento della pavimentazione Fotofluid, può dipendere dalla differente dinamica d'accumulo delle emissioni che sono strettamente legate alla variazione di intensità del traffico veicolare durante la giornata.

Δ %

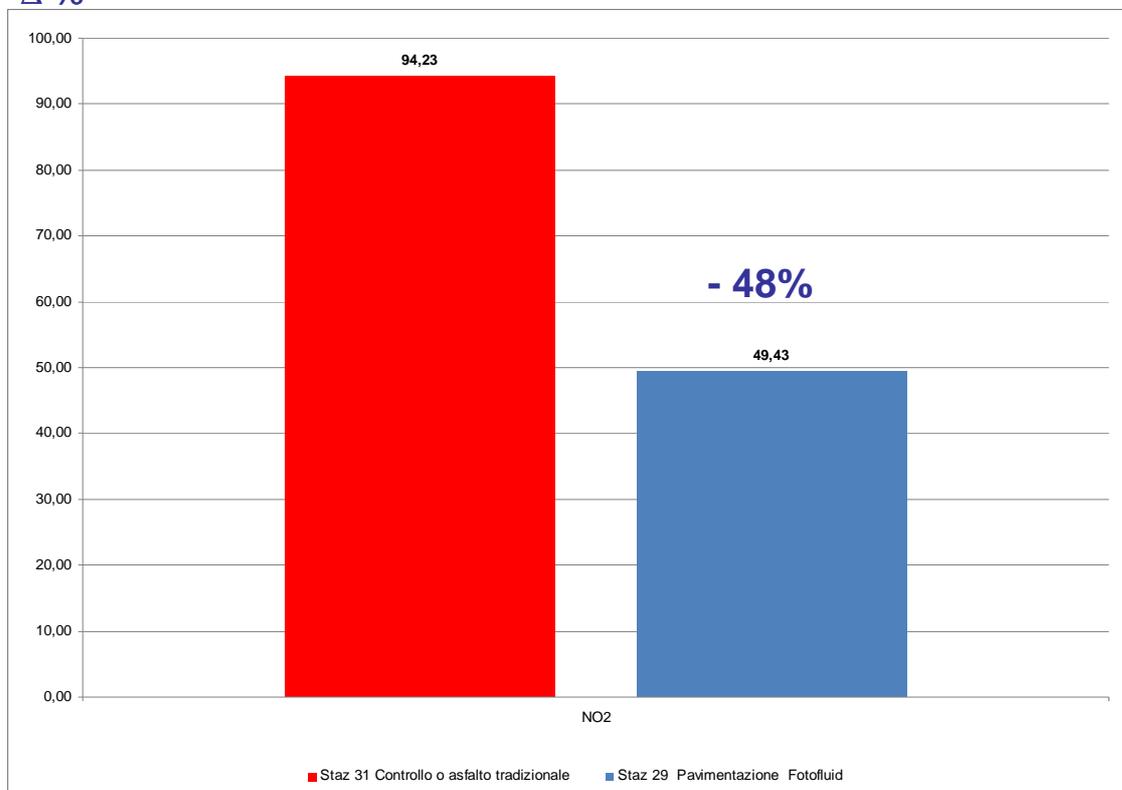


**Graf. 1 NO<sub>2</sub> (ppb) Media di 8 ore ( dalle 09.00 alle 17.00 )**

# Monitor s.r.l.

Monitoraggio Qualità dell' Aria

Δ %



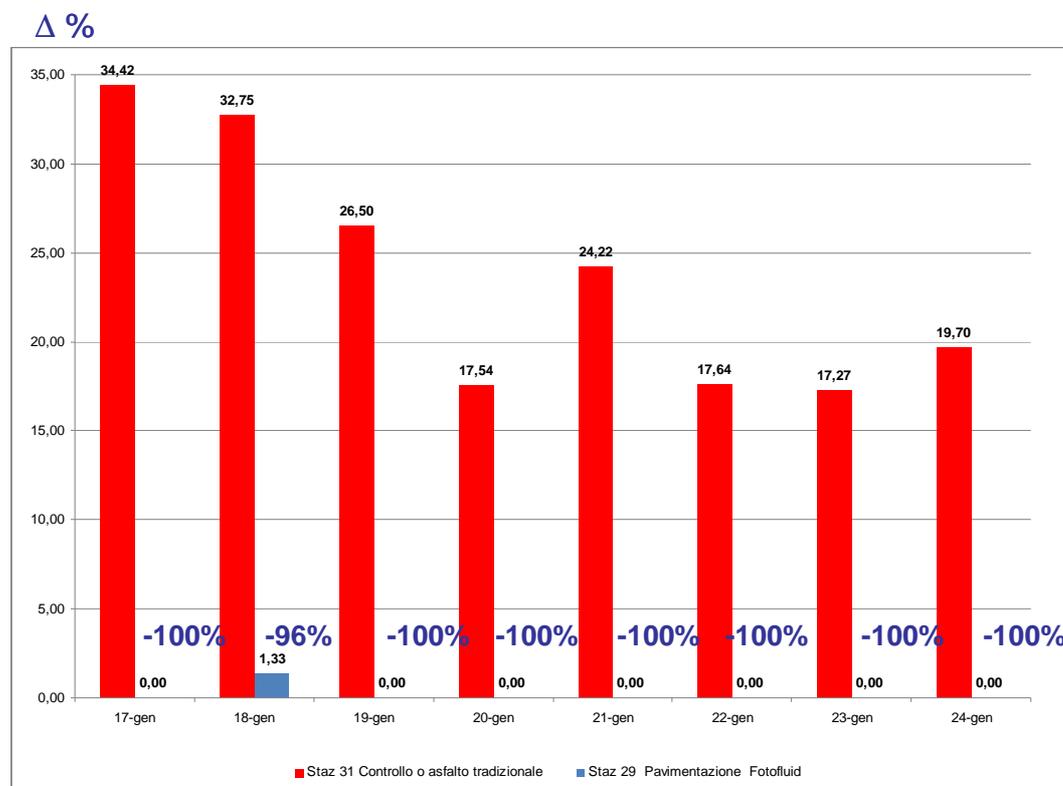
**Graf. 2 NO2 (ppb) Media dal 17 al 24 gennaio ( rilevamenti dalle 09.00 alle 17.00 )**

## **Biossido di Zolfo o Anidride Solforosa – SO<sub>2</sub>**

Nel confronto tra i due punti di misurazione, la pavimentazione fotocatalitica Fotofluid evidenzia una capacità di contenimento totale ( dal 96 al 100% ) per tutti i giorni di rilevamento. (Grafico 3). Le caratteristiche chimiche fisiche dell'inquinante e una dinamica d'accumulo delle emissioni probabilmente più concentrata in determinate ore della giornata, insieme a fenomeni di inversione termica, possono aver favorito una stagnazione dell'inquinante negli strati più bassi dell'aria favorendo l'azione di fotocatalisi per adsorbimento del substrato alcalino contenuto nella Pavimentazione Fotofluid.

# Monitor s.r.l.

Monitoraggio Qualità dell' Aria



**Graf. 3 SO2 (ppb) Media di 8 ore ( dalle 09.00 alle 17.00 )**

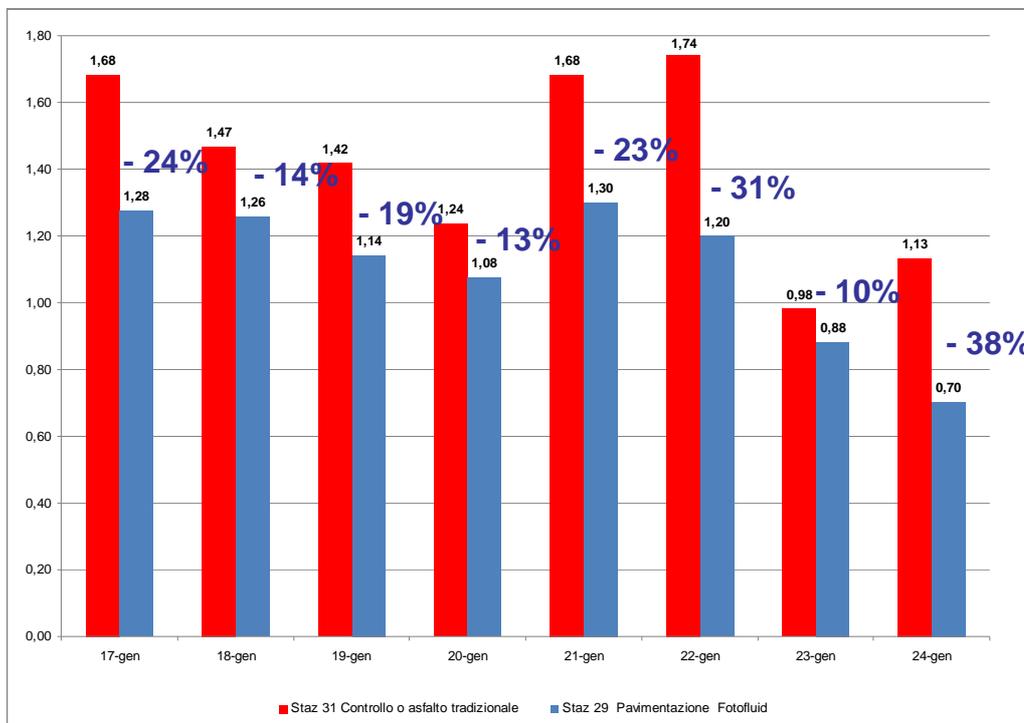
## Ossido di Carbonio - CO

Si evidenzia per l'Ossido di Carbonio (CO) per tutti i giorni di rilevamento una riduzione delle concentrazioni nel tratto di strada fotocatalizzato con la pavimentazione Fotofluid (Stazione 29 Via Marconi ) rispetto a quelle del tratto di strada con asfalto tradizionale ( Stazione 31 Via Oberdan.) I valori in percentuale oscillano da un minimo del 14% ad un massimo del 38% e con una percentuale media del 22% se ci riferisce all'intero periodo di rilevamento (Grafici 4 e 5 ) Come per il Biossido di Azoto (NO<sub>2</sub>) la Pavimentazione Fotofluid ha dimostrato una variabilità di efficacia nel corso del periodo di rilevamento. La dinamica delle emissioni di questo inquinante può essere correlata a quella del Biossido di Azoto (NO<sub>2</sub> ), dipendendo anch'essa dalla variabilità di intensità di traffico veicolare durante la giornata, mentre la sua maggiore stabilità nell'aria rallenta la curva di degradazione mediante fotocatalisi

# Monitor s.r.l.

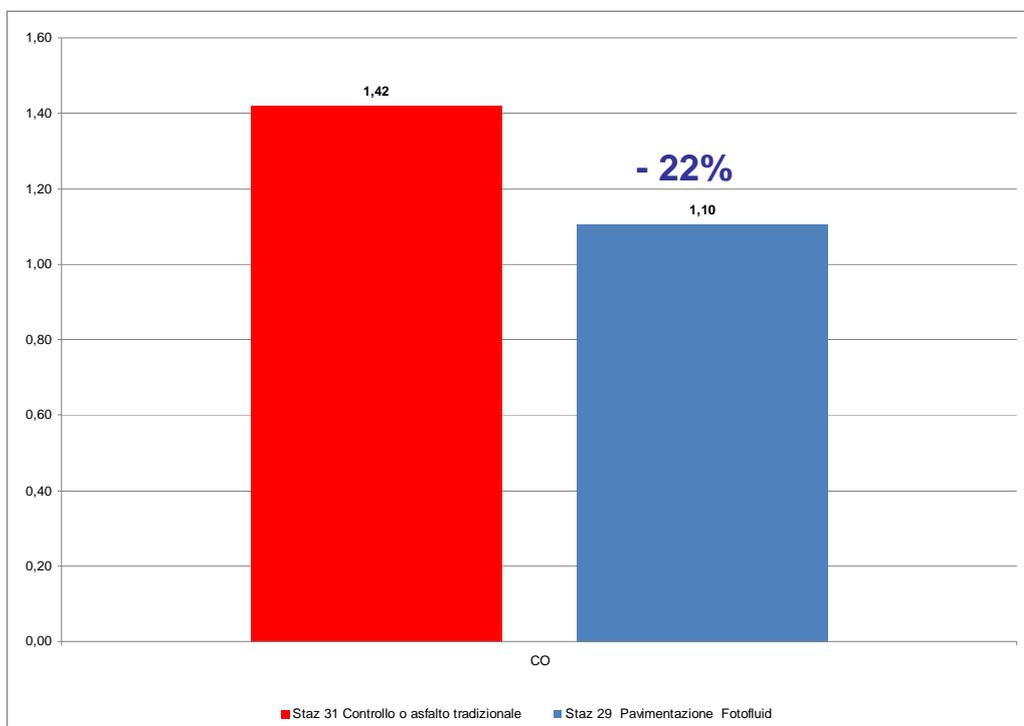
Monitoraggio Qualità dell' Aria

Δ %



Graf. 4 CO (ppm) Media di 8 ore ( dalle 09.00 alle 17.00 )

Δ %



Graf. 5 CO (ppm) Media dal 17 al 24 gennaio ( rilevamenti dalle 09.00 alle 17.00 )

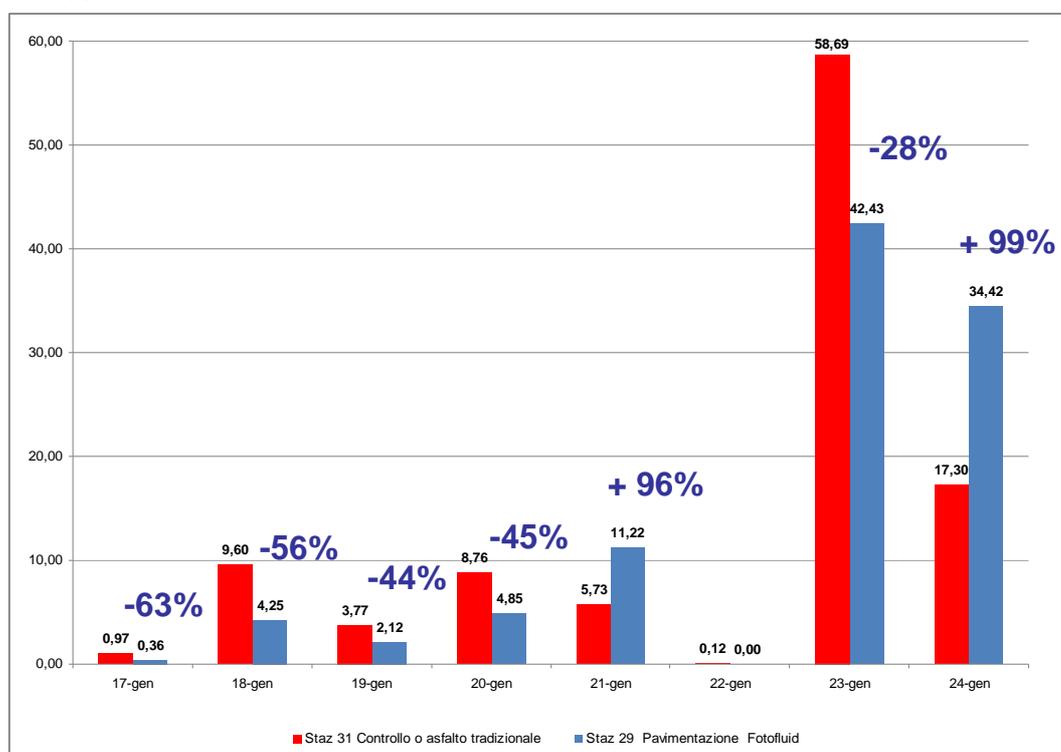
# Monitor s.r.l.

Monitoraggio Qualità dell' Aria

## Ozono – O<sub>3</sub>

Le concentrazioni medie calcolate per l'Ozono (O<sub>3</sub>) e mostrate in precedenza nella tabella 1, evidenziano la necessità di considerare la sovrapposizione tra l'evento fotochimico derivato dalla fotocatalisi mediante il rivestimento Fotofluid e l'evento fotochimico legato al Ciclo Fotostazionario dell'Ozono che avviene normalmente negli strati d'aria che interessano i centri urbani. Se si considera quindi che la Pavimentazione Fotofluid agisce prevalentemente in modo indiretto sul contenimento dell'Ozono, inibendo il Ciclo Fotostazionario, non è escluso quindi che altri radicali chimici presenti nell'aria possano aver generato Ozono (O<sub>3</sub>) per vie fotochimiche differenti in corrispondenza del punto di misurazione Stazione 29.

Δ %



**Graf. 6 O<sub>3</sub> (ppb) Media di 8 ore ( dalle 09.00 alle 17.00 )**

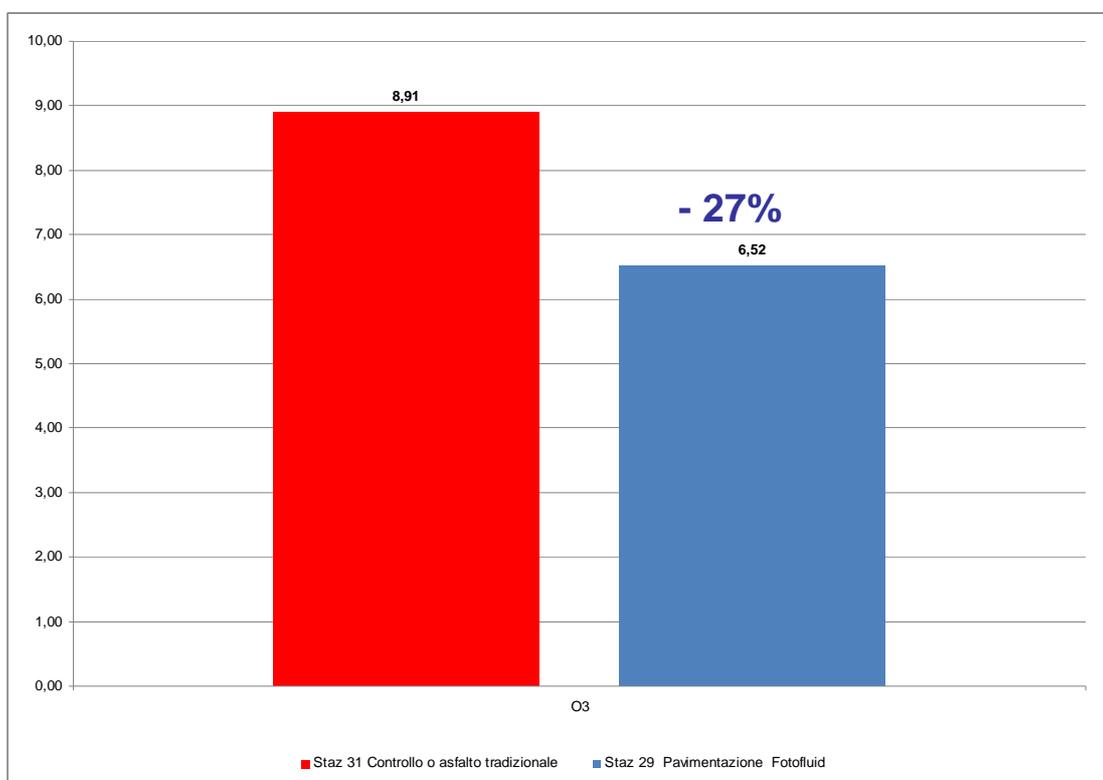
Questi eventi fotochimici possono spiegare le concentrazioni medie superiori del punto di misurazione Stazione 29 di Via Marconi rispetto a quelle del punto di misurazione Stazione 31 di Via Oberdan nei giorni 21 e 24 gennaio (Grafico 6)

# Monitor s.r.l.

## Monitoraggio Qualità dell' Aria

Nel bilancio complessivo delle 24 ore, l'Ozono (O<sub>3</sub>), nel punto di misurazione Stazione 29 di Via Marconi, fa rilevare una riduzione della concentrazione media del 27 % rispetto a quella della Stazione 31 di Via Oberdan (Grafico 7), a dimostrazione dell'effettiva azione mitigante da parte della Pavimentazione Fotofluid verso il gas specifico

Δ %



**Graf. 7 O<sub>3</sub> (ppb) Media dal 17 al 24 gennaio ( rilevamenti di 24 ore )**

# Monitor s.r.l.

## Monitoraggio Qualità dell' Aria

### CONCLUSIONI

L'analisi dei risultati di qualità dell'aria, nel confronto tra il punto di misurazione Stazione 31 di Via Oberdan (asfalto tradizionale) e il punto di misurazione Stazione 29 di Via Marconi (pavimentazione Fotofluid) evidenzia che

- La pavimentazione Fotofluid di Via Marconi ha dimostrato di essere una soluzione efficace per ridurre in quel microclima urbano l'accumulo giornaliero delle emissioni di Ossidi di Azoto ( $\text{NO}_x$ ) prodotti dal traffico veicolare nel corso delle 24 ore. Infatti, grazie all'attività fotocatalitica svolta nelle ore di attività di irraggiamento solare l'azione di contenimento giornaliera riferita all'intero periodo di monitoraggio è risultata in media del 22%.
- La pavimentazione Fotofluid nel periodo di attività di irraggiamento solare (dalle 9.00 alle 17.00) ha mostrato per tutto il periodo di monitoraggio dell'aria, relativamente al tratto di strada interessato dal rivestimento fotocatalitico, una capacità di contenimento delle concentrazioni per gli inquinanti Biossido di Azoto ( $\text{NO}_2$ ), Ossido di Carbonio (CO), Biossido di Zolfo ( $\text{SO}_2$ ). In particolare:
  - la capacità media di contenimento del Biossido di Azoto ( $\text{NO}_2$ ), riferita al periodo di monitoraggio, è risultata del 48%, con picchi di contenimento sino al 71% e con valori superiori al 50% in 5 giorni su 8 rilevati;
  - la capacità media di contenimento dell'Ossido di Carbonio (CO), riferita al periodo di monitoraggio, è risultata del 22% con picchi di contenimento sino al 38% e con valori superiori al 20% in 4 giorni su 8 rilevati;
  - la capacità media di contenimento del Biossido di Zolfo ( $\text{SO}_2$ ), riferita al periodo di monitoraggio è risultata del 99%, con picchi di contenimento sino al 100% su 7 giorni su 8 rilevati.
- Le speciali caratteristiche strutturali della pavimentazione Fotofluid hanno dimostrato di poter interferire sul Ciclo Fotostazionario dell'Ozono ( $\text{O}_3$ ), inibendo nel processo l'attività di generazione del gas anche nella stagione invernale. La soluzione tecnologica Fotofluid presenta il vantaggio di poter contenere l'accumulo dell'Ozono ( $\text{O}_3$ ) soprattutto nei periodi primaverili – estivi, quando le temperature favoriscono la formazione dello smog fotochimico.

Infine la Pavimentazione Fotofluid ha evidenziato un'elevata flessibilità per quanto riguarda la risposta in efficienza fotocatalitica nel periodo invernale e specialmente nel mese di gennaio, in cui è stata effettuata la campagna di monitoraggio con attività

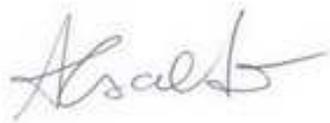
# Monitor s.r.l.

## Monitoraggio Qualità dell' Aria

di irraggiamento solare ridotta. L'efficacia esplicata dalla Pavimentazione Fotofluid, nelle condizioni di stagione particolarmente difficile, lascia presupporre che la soluzione possa esprimere ulteriori potenzialità di contenimento degli inquinanti con il crescere dell'attività di irraggiamento solare nei prossimi mesi e di conseguenza fornire un contributo per migliorare la qualità dell'aria giornaliera nel microclima fotocatalizzato di Via Marconi.

*Monitor s.r.l.*

*Dott. Alessandro Ciscato*



Allegato: scheda tecnica **LAVOISIER**™

# Monitor s.r.l.

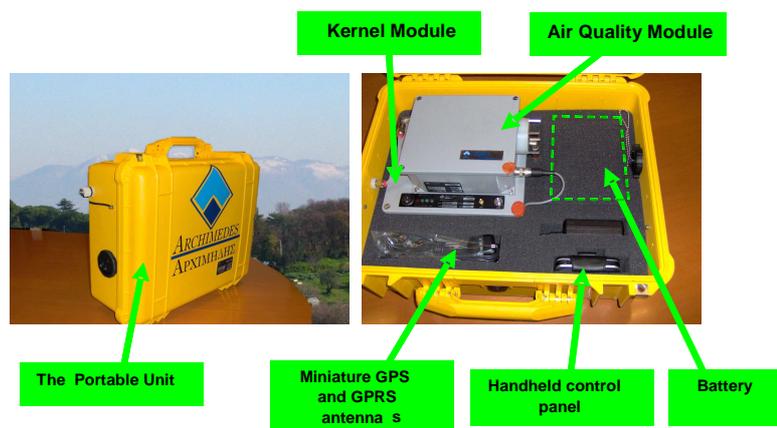
## Monitoraggio Qualità dell' Aria

Allegato alle relazione tecnica del 5 febbraio

Campagna di rilevamento della qualità dell'aria in seguito ad applicazione in Via Marconi a Cesena della Pavimentazione FOTOFLUID a base di Biossido di Titanio (TiO<sub>2</sub>) della Società Global Engineering

Apparecchiatura utilizzata per i rilevamenti: LAVOISIER™

L'unità Lavoisier è uno strumento multiparametrico comprendente i sensori per CO, NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> e O<sub>3</sub> e la relativa elettronica di controllo. L'unità è integrata all'interno di una robusta valigia per applicazioni di campo, che ospita il software di misura e le periferiche GPS (posizionamento satellitare) e GPRS (trasmissione dati in tempo reale).



E' una tecnologia miniaturizzata, di basso consumo e manutenzione semplificata, ma in grado di superare i severi test imposti dal Laboratorio Nazionale di Riferimento (CNR-IIA), a seguito dei quali ha ottenuto la certificazione quale strumento "idoneo alla misura di CO, NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> e O<sub>3</sub> in atmosfera secondo quanto previsto dalla vigente legislazione" (Cert. N° 976 del 28.4.2005)