

**Laboratorio Mobile**  
**Campagna di Misura Inquinamento Atmosferico**  
**COMUNE DI SONDRIO**

23/10/2006 – 13/02/2007



Agenzia Regionale  
per la Protezione dell'Ambiente  
della Lombardia



# **Campagna di Misura Inquinamento Atmosferico**

COMUNE DI SONDRIO

**Autore testo ed elaborazioni dati**  
dott. Claudio A. Belis

**Direttore del Dipartimento di Sondrio**  
dott.ssa Teresa Magnani

**Direttore Settore Aria**  
dott. Angelo Giudici

**Settore Aria**  
dott. Guido Lanzani e dott.ssa Orietta Cazzuli

**Dirigente U.O. Sistemi Ambientali – Dipartimento di Sondrio**  
dott. Maurizio Tagni

**Responsabile Rete di Rilevamento della Qualità dell’Aria – Dipartimento di Sondrio**  
dott. Claudio A. Belis

**Tecnico Rete di Rilevamento della Qualità dell’Aria – Dipartimento di Sondrio**  
T.I.C. Emanuela Sesana

## **Campagna di Misura Inquinamento Atmosferico**

**COMUNE DI SONDRIO**

Introduzione	
<b>Laboratorio Mobile</b> .....	pag. 3
<b>Principali Inquinanti atmosferici</b> .....	pag. 4
<b>Normativa</b> .....	pag. 7
Campagna di Misura	
<b>Sito di Misura</b> .....	pag. 9
<b>Emissioni sul territorio</b> .....	pag. 12
<b>Situazione meteorologica nel periodo di misura</b> .....	pag. 15
<b>Andamento inquinanti nel periodo di misura e confronto con altre postazioni</b> .....	pag. 17
<b>Conclusioni</b> .....	pag. 19
<b>Tabelle</b> .....	pag. 29

## Introduzione

### Laboratorio Mobile

La campagna di misura nel Comune di Sondrio è stata condotta dal Dipartimento Provinciale di Sondrio dell'ARPA Lombardia su richiesta dell'Amministrazione Comunale. La stessa rientra in uno studio volto ad individuare una postazione idonea per il posizionamento di una stazione fissa di rilevamento della qualità dell'aria di fondo urbano in un'area residenziale esterna al centro storico. La presente campagna di misura si è svolta in uno dei siti individuati come idonei in un'indagine preliminare (relazione tecnica del 16/2/06) a seguito dell'esito della campagna per il monitoraggio della qualità dell'aria realizzata in via Gianoli, quartiere "La Piastra" (relazione tecnica del 31/8/06).

Per la campagna di misura, condotta dall'ARPA Dipartimento di Sondrio, è stato utilizzato un Laboratorio Mobile.

La strumentazione presente sul laboratorio permette il rilevamento di:

- Biossido di Zolfo (SO<sub>2</sub>);
- Monossido di Carbonio (CO);
- Ossidi di Azoto (NO, NO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>);
- Ozono (O<sub>3</sub>);
- Particolato Fine (PM10).

La strumentazione di cui è dotato il laboratorio mobile risponde ai criteri definiti dalla legislazione vigente (DM 60/02 e D. Lgs. 183/04).

Nella seguente tabella sono riportati i principi di funzionamento della strumentazione utilizzata:

Inquinante	Principio di funzionamento
Monossido di carbonio	assorbimento IR
Ossidi di azoto	Chemiluminescenza
Biossido di zolfo	Fluorescenza UV
Ozono	Assorbimento UV
Particolato fine PM10	Assorbimento beta

Anche per le altezze dei prelievi sono rispettati i criteri definiti dalle suddette norme: la sonda per il prelievo degli inquinanti gassosi e del PM10 viene posta a 3 metri di quota; i sensori di direzione e velocità del vento, temperatura, umidità relativa e radiazione solare, sono posizionati all'altezza di circa 8 metri mentre il pluviometro è collocato ad una altezza di 3 m dal suolo.

La scelta del sito di campionamento viene effettuata seguendo i criteri per l'ubicazione dei punti di misura fissi riportati nell'Allegato VIII del D.M. 60/02 e nell'Allegato IV del D.Lgs 183/04. Inoltre sono state prese in considerazione le Linee Guida per la predisposizione di Reti di Monitoraggio in Italia redatte da APAT.

## Principali inquinanti atmosferici regolati da normative vigente

I principali inquinanti che si trovano nell'aria vengono comunemente classificati, in due categorie: inquinanti primari e secondari. I primi vengono 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, primarie o secondarie.

Si descrivono di seguito le caratteristiche degli inquinanti atmosferici misurati con il laboratorio mobile.

La presenza in aria di **biossido di zolfo (SO<sub>2</sub>)** è da ricondursi alla combustione di combustibili fossili contenenti zolfo. Dal 1970 ad oggi la tecnologia ha reso disponibili combustibili a basso tenore di zolfo, il cui utilizzo è stato imposto dalla normativa. Le concentrazioni di biossido di zolfo sono così rientrate nei limiti legislativi previsti. In particolare in questi ultimi anni grazie al passaggio al gas naturale le concentrazioni si sono ulteriormente ridotte.

Il **monossido di carbonio (CO)** ha origine da processi di combustione incompleta di composti contenenti carbonio. È un gas la cui origine, soprattutto nelle aree urbane, è da ricondursi prevalentemente al traffico autoveicolare, soprattutto ai veicoli a benzina. Le emissioni di CO dai veicoli sono maggiori in fase di decelerazione e di traffico congestionato. Le sue concentrazioni sono strettamente legate ai flussi di traffico locali, e gli andamenti giornalieri rispecchiano quelli del traffico, raggiungendo i massimi valori in concomitanza delle ore di punta a inizio e fine giornata, soprattutto nei giorni feriali. Durante le ore centrali della giornata i valori tendono a calare, grazie anche ad una migliore capacità dispersiva dell'atmosfera. In Lombardia, a partire dall'inizio degli anni '90 le concentrazioni di CO sono in calo, soprattutto grazie all'introduzione delle marmitte catalitiche sui veicoli e al miglioramento della tecnologia dei motori a combustione interna (introduzione di veicoli Euro 4).

Gli **ossidi di azoto (NO e NO<sub>2</sub>)** vengono emessi direttamente in atmosfera a seguito di tutti i processi di combustione ad alta temperatura (impianti di riscaldamento, motori dei veicoli, combustioni industriali, centrali di potenza, ecc.), per ossidazione dell'azoto atmosferico e, solo in piccola parte, per l'ossidazione dei composti dell'azoto contenuti nei combustibili utilizzati.

Nel caso del traffico autoveicolare, le quantità più elevate di questi inquinanti si rilevano quando i veicoli sono a regime di marcia sostenuta e in fase di accelerazione, poiché la produzione di NO<sub>x</sub> aumenta all'aumentare del rapporto aria/combustibile, cioè quando è maggiore la disponibilità di ossigeno per la combustione.

All'emissione, gran parte degli ossidi di azoto è in forma di NO, con un rapporto NO/NO<sub>2</sub> decisamente a favore del primo. Si stima che il contenuto di NO<sub>2</sub> nelle emissioni sia tra il 5 e il 10% del totale degli ossidi di azoto.

Il monossido di azoto non è soggetto a normativa, in quanto, alle concentrazioni tipiche misurate in aria ambiente, non provoca effetti dannosi sulla salute e sull'ambiente. Se ne misurano comunque i livelli in quanto è un componente degli ossidi di azoto (NO<sub>x</sub>) per i quali esiste un limite di legge. Inoltre attraverso la sua ossidazione in NO<sub>2</sub> e la sua partecipazione ad altri processi fotochimici, il NO contribuisce alla produzione di O<sub>3</sub> troposferico. Per il biossido di azoto e per gli ossidi di azoto sono previsti valori limite, riassunti in tabella 2.

L'**ozono (O<sub>3</sub>)** è un inquinante secondario, che non ha sorgenti emissive dirette di rilievo. La sua formazione avviene in seguito a reazioni chimiche in atmosfera tra i suoi precursori (soprattutto ossidi di azoto e composti organici volatili), reazioni che avvengono in presenza di alte temperature e forte irraggiamento solare e che causano la formazione di un insieme di diversi composti, tra i quali, oltre all'ozono, si trovano nitrati e solfati (costituenti del particolato fine), perossiacetilnitrato (PAN), acido nitrico e altro ancora, che nell'insieme costituiscono il tipico inquinamento estivo detto "smog fotochimico".

A differenza degli inquinanti primari, le cui concentrazioni dipendono direttamente dalle quantità dello stesso inquinante emesse dalle sorgenti presenti nell'area, la formazione di ozono è quindi più complessa.

La chimica dell'ozono ha come punto di partenza la presenza di ossidi di azoto, che vengono emessi in grandi quantità nelle aree urbane. Sotto l'effetto della radiazione solare (rappresentata di seguito con  $h\nu$ ), la formazione di ozono avviene in conseguenza della fotolisi del biossido di azoto:



L'ossigeno atomico,  $\text{O}^*$ , reagisce rapidamente con l'ossigeno molecolare dell'aria, in presenza di una terza molecola che non entra nella reazione vera e propria ma assorbe l'eccesso di energia vibrazionale e pertanto stabilizza la molecola di ozono che si è formata:



Una volta generato, l'ozono reagisce con l'NO, e rigenera  $\text{NO}_2$ :



Le tre reazioni descritte formano un ciclo chiuso che, da solo, non sarebbe sufficiente a causare gli alti livelli di ozono che possono essere misurati in condizioni favorevoli alla formazione di smog fotochimico. La presenza di altri inquinanti, quali ad esempio gli idrocarburi, fornisce una diversa via di ossidazione del monossido di azoto, che provoca una produzione di  $\text{NO}_2$  senza consumare ozono, di fatto spostando l'equilibrio del ciclo visto sopra e consentendo l'accumulo dell' $\text{O}_3$ .

Le concentrazioni di ozono raggiungono i valori più elevati nelle ore pomeridiane delle giornate estive soleggiate. Inoltre, dato che l'ozono si forma durante il trasporto delle masse d'aria contenenti i suoi precursori, emessi soprattutto nelle aree urbane, le concentrazioni più alte si osservano soprattutto nelle zone extraurbane sottovento rispetto ai centri urbani principali. Nelle città, inoltre, la presenza di NO tende a far calare le concentrazioni di ozono, soprattutto in vicinanza di strade con alti volumi di traffico.

Il **particolato atmosferico** aerodisperso è costituito da una miscela di particelle solide e liquide, di diverse caratteristiche chimico-fisiche e diverse forme e dimensioni. 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 di origine prevalentemente umana. Le principali sorgenti naturali sono erosione e risollevarimento del suolo, incendi, pollini, spray marino, eruzioni vulcaniche; le sorgenti antropiche si riconducono principalmente a processi di combustione (traffico autoveicolare, uso di combustibili, emissioni industriali).

L'insieme delle particelle sospese in atmosfera è chiamato PTS (Polveri Totali Sospese). Al fine di valutare l'impatto del particolato sulla salute umana si possono distinguere una frazione in grado di penetrare nelle prime vie respiratorie (naso, faringe, laringe) e una frazione in grado di giungere fino alle parti inferiori dell'apparato respiratorio (trachea, bronchi, alveoli polmonari). La prima corrisponde a particelle con diametro aerodinamico inferiore a  $10 \mu\text{m}$  (PM10), la seconda a particelle con diametro aerodinamico inferiore a  $2.5 \mu\text{m}$  (PM2.5).

In Tabella 1 sono riassunte, per ciascuno dei principali inquinanti atmosferici, le principali sorgenti di emissione.

Inquinanti	Principali sorgenti
Biossido di Zolfo* SO <sub>2</sub>	Impianti riscaldamento, centrali di potenza (combustione di prodotti organici di origine fossile, contenenti zolfo)
Biossido di Azoto** NO <sub>2</sub>	Impianti di riscaldamento, traffico autoveicolare (in particolare quello pesante), centrali di potenza, attività industriali (processi di combustione per la sintesi dell'ossigeno e dell'azoto atmosferici)
Monossido di Carbonio* CO	Traffico autoveicolare (processi di combustione incompleta dei combustibili fossili)
Ozono** O <sub>3</sub>	Non ci sono significative sorgenti di emissione antropiche in atmosfera
Particolato Fine*/** PM10	Insieme di particelle con diametro aerodinamico inferiore ai 10 µm, provenienti principalmente da processi di combustione e risollevarimento

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

\*\* = Inquinante Secondario = Inquinante prodotto in atmosfera attraverso reazioni chimiche.

Tabella 1. Principali sorgenti di emissione per gli inquinanti considerati nella presente relazione.

## Normativa

Per i principali inquinanti atmosferici, al fine di salvaguardare la salute e l'ambiente, la normativa stabilisce limiti di concentrazione, a lungo e a breve termine, a cui attenersi (D.P.C.M. 28/3/83 – D.P.R. 24/5/88 – D.M. 25/11/94 – D.M. 16/5/96 - D.M. 60/02 – D. Lgs. 183/04). Per quanto riguarda i limiti a lungo termine viene fatto riferimento agli standard di qualità e ai valori limite di protezione della salute umana, della vegetazione e degli ecosistemi allo scopo di prevenire esposizioni croniche. Per gestire episodi d'inquinamento acuto vengono invece considerate le soglie di allarme (D.M. 60/02 – D. Lgs. 183/04).

La Tabella 2 riassume i limiti previsti dalla normativa per i diversi inquinanti considerati. Sono inclusi sia i limiti a lungo termine che i livelli di allarme. Si fa notare che il DM n. 60/02 ha introdotto, oltre ad una serie di valori limite per biossido di zolfo, biossido di azoto, ossidi di azoto, PM10, piombo, benzene e monossido di carbonio, anche il termine temporale entro il quale tali valori limite devono essere raggiunti. Prevede inoltre un percorso nel tempo che porta ad un graduale raggiungimento dei limiti, stabilendo un margine di tolleranza che si riduce negli anni. Nella tabella i margini di tolleranza validi per l'anno 2007 sono indicati tra parentesi.

Biossido di Zolfo	Valore Limite ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Periodo di mediazione	Legislazione
Valore limite protezione salute umana (da non superare più di 24 volte per anno civile)	<b>350</b>	1 ora	D.M. n.60 del 2/4/02
Valore limite protezione salute umana (da non superare più di 3 volte per anno civile)	<b>125</b>	24 ore	D.M. n.60 del 2/4/02
Valore limite protezione ecosistemi	<b>20</b>	Anno civile e inverno (1 ott – 31 mar)	D.M. n.60 del 2/4/02
Soglia di allarme	<b>500</b>	1 ora (rilevati su 3 ore consecutive)	D.M. n.60 del 2/4/02

Biossido di Azoto	Valore Limite ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Periodo di mediazione	Legislazione
Standard di qualità (98° percentile rilevato durante l'anno civile)	<b>200</b>	1 ora	D.P.R. 203/88
Valore limite protezione salute umana (da non superare più di 18 volte per anno civile)	<b>200<sup>(+30)</sup></b>	1 ora	D.M. n.60 del 2/4/02
Valore limite protezione salute umana	<b>40<sup>(+6)</sup></b>	Anno civile	D.M. n.60 del 2/4/02
Soglia di allarme	<b>400</b>	1 ora (rilevati su 3 ore consecutive)	D.M. n.60 del 2/4/02

Ossidi di Azoto	Valore Limite ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Periodo di mediazione	Legislazione
Valore limite protezione vegetazione	<b>30</b>	Anno civile	D.M. n.60 del 2/4/02

Monossido di Carbonio	Valore Limite ( $\text{mg}/\text{m}^3$ )	Periodo di mediazione	Legislazione
Valore limite protezione salute umana	<b>10</b>	8 ore	D.M. n.60 del 2/4/02

<b>Ozono</b>	<b>Valore Limite (<math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math>)</b>	<b>Periodo di mediazione</b>	<b>Legislazione</b>
Valore bersaglio per la protezione della salute umana	<b>120</b>	8 ore	D.L.vo n. 183 21/5/04
Valore bersaglio per la protezione della vegetazione	<b>18000</b>	AOT40 (mag-lug) su 5 anni	D.L.vo n. 183 21/5/04
Soglia di informazione	<b>180</b>	1 ora	D.L.vo n. 183 21/5/04
Soglia di allarme	<b>240</b>	1 ora	D.L.vo n.183 21/5/04

<b>Particolato Fine PM10</b>	<b>Valore Obiettivo (<math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math>)</b>	<b>Periodo di mediazione</b>	<b>Legislazione</b>
Valore limite protezione salute umana (da non superare più di 35 volte per anno civile)	<b>50</b>	24 ore	D.M. n.60 del 2/4/02
Valore limite protezione salute umana	<b>40</b>	Anno civile	D.M. n.60 del 2/4/02

Tabella 2. Valori limite dei principali inquinanti atmosferici.

## Campagna di Misura

### Sito di Misura

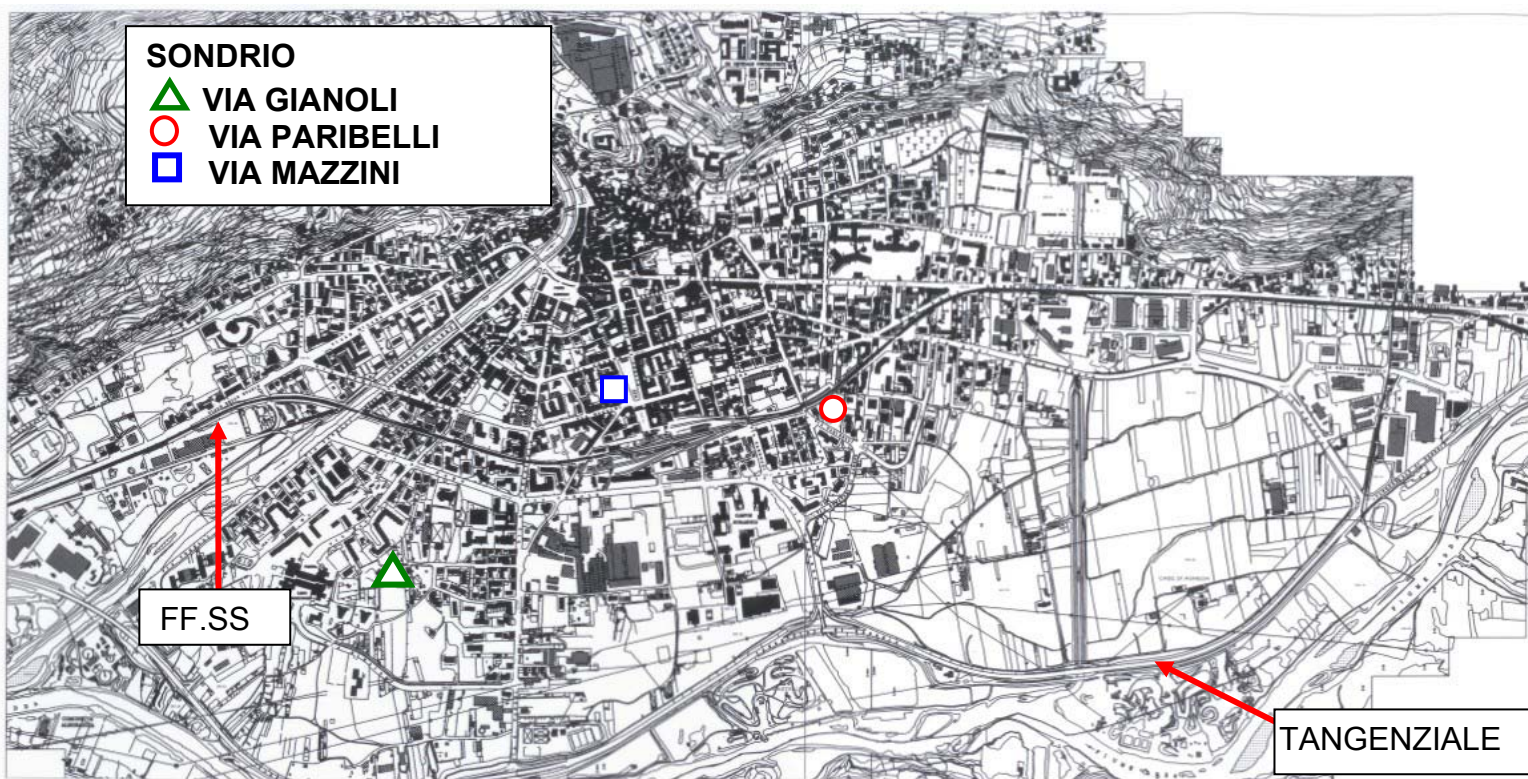


Figura 1. Localizzazione del sito di misura e della stazione fissa della città di Sondrio

**Periodi di Misura:** dal 23/12/2006 al 13/2/2007

**Sito di misura:** Comune di Sondrio - via Paribelli

**Principali sorgenti nell'area oggetto di studio:**

Assi Stradali principali: Strada Statale 38 (Tangenziale), via Fiume.

Insedimenti : Edifici ad uso residenziale.

A seguito di una richiesta dell'Amministrazione Comunale il Dipartimento di Sondrio di ARPA Lombardia ha avviato una istruttoria tecnica volta a verificare l'idoneità delle diverse aree del territorio comunale per il posizionamento di una stazione di rilevamento della qualità dell'aria di fondo. Come risulta da una apposita Relazione Tecnica curata dal Dip. di Sondrio (relazione tecnica del 16/2/06) sono state individuate in via preliminare 5 possibili aree, due delle quali ritenute maggiormente idonee: una in via Paribelli e una in Via Gianoli. Allo scopo di caratterizzare dal punto di vista atmosferico queste aree si è proceduto a realizzare una campagna di monitoraggio con Laboratorio Mobile in primo luogo nella postazione di via Gianoli (relazione tecnica del 31/8/06).

La presente relazione tecnica riporta i risultati ottenuti nella campagna di misura effettuata nella seconda delle aree ritenute preliminarmente idonee per l'installazione della postazione di fondo. Il sito di misura di via Paribelli si colloca all'interno di un'area ricreativa di verde urbano di circa 4000 m<sup>2</sup> con presenza di vegetazione arborea sparsa. L'area è inserita in una zona residenziale con un tessuto urbano continuo.

La postazione è localizzata tra la ferrovia e via Paribelli, una strada secondaria a basso volume di traffico, a una distanza di 60- 80 m dalla strada e 30 - 40 m dalle abitazioni più vicine.

Vista l'assenza di sorgenti puntuali nei dintorni e considerate le distanze da muri, alberi e altri ostacoli vi sono i presupposti per il rispetto dei criteri per il posizionamento su microscala delle postazioni fisse.

La postazione è distante 700 m dalla stazione fissa di via Mazzini, 600 m dalla tangenziale di Sondrio. La durata complessiva della campagna è stata di 114 giorni, coprendo per la maggior parte il periodo invernale 2006-2007.

### Inquadramento generale del sito di misura

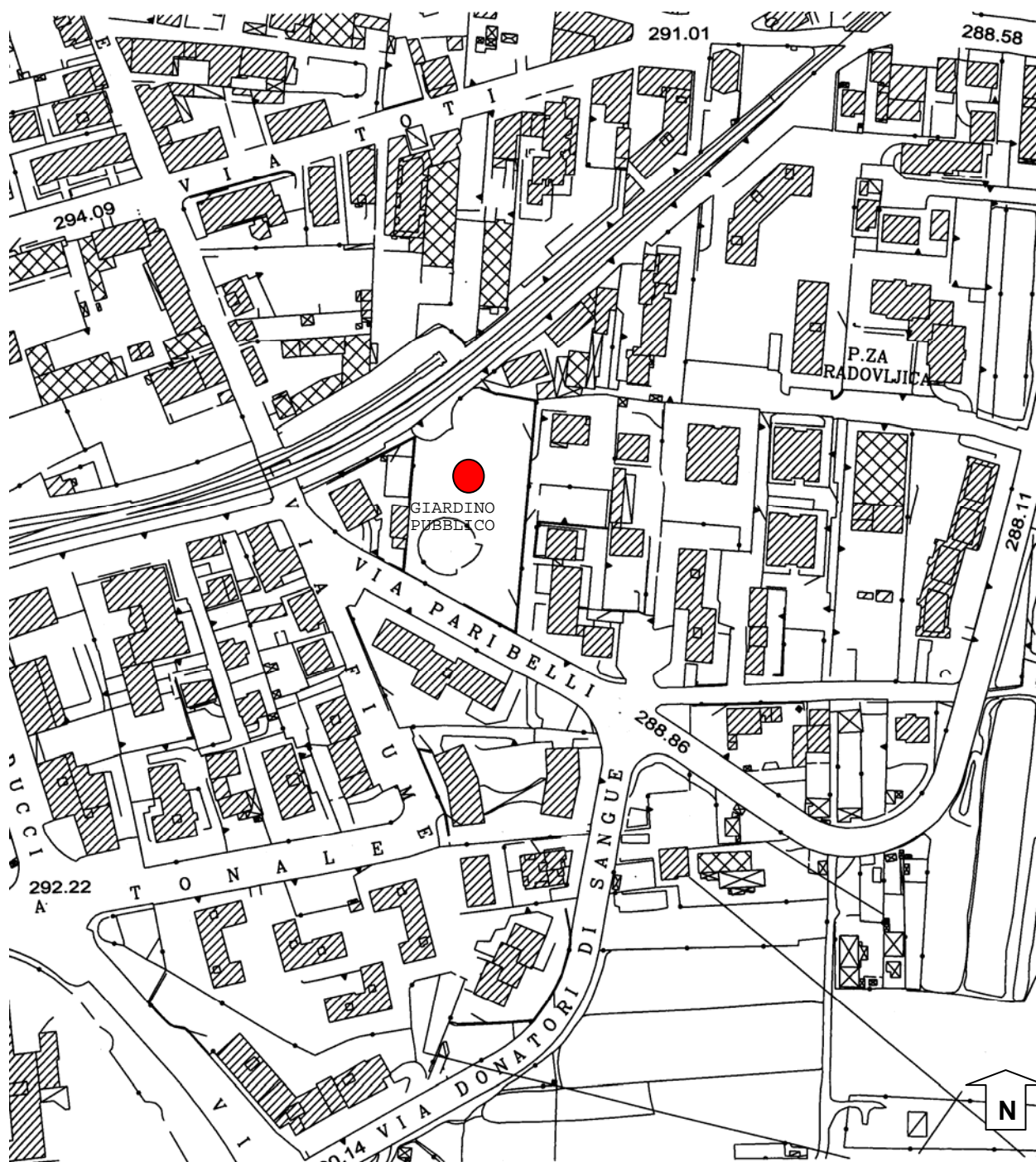


Figura 2. Planimetria con indicazione del punto di misura d: via Paribelli (●).

## Posizione del laboratorio mobile durante la campagna di misura



Figura 3. Vista dell'area dove è stato posizionato il laboratorio mobile.

## Emissioni sul territorio

Per la stima delle principali sorgenti emissive all'interno del territorio comunale di Sondrio è stato utilizzato l'inventario regionale, denominato INEMAR (Inventario Emissioni Aria). Nell'ambito di tale inventario la suddivisione delle sorgenti avviene per attività emissive: la classificazione utilizzata fa riferimento ai macrosettori relativi all'inventario delle emissioni in atmosfera dell'Agenzia Europea per l'Ambiente CORINAIR (Cordination Information Air).

- Combustione per produzione di energia e trasformazione dei combustibili
- Combustione non industriale
- Combustione nell'industria
- Processi produttivi
- Estrazione e distribuzione combustibili
- Uso di solventi
- Trasporto su strada
- Altre sorgenti mobili e macchinari
- Agricoltura
- Altre sorgenti e assorbimenti

Per ciascun macrosettore vengono presi in considerazione diversi inquinanti, sia quelli che fanno riferimento alla salute, sia quelli per i quali è posta particolare attenzione in quanto considerati gas ad effetto serra:

- Biossido di Zolfo ( $\text{SO}_2$ )
- Ossidi di Azoto ( $\text{NO}_x$ )
- Composti Organici Volatili non Metanici (NMCOV)
- Metano ( $\text{CH}_4$ )
- Monossido di Carbonio (CO)
- Biossido di Carbonio ( $\text{CO}_2$ )
- Ammoniaca ( $\text{NH}_3$ )
- Protossido di Azoto ( $\text{N}_2\text{O}$ )
- Polveri Totali Sospese (PTS) o polveri con diametro inferiore ai  $10 \mu\text{m}$  (PM10)

I dati sono stati elaborati al fine di definire i contributi delle singole sorgenti all'inquinamento atmosferico. Per i citati inquinanti sono state valutate le loro principali fonti emissive all'interno del Comune di Sondrio.

Le emissioni di **biossido di zolfo** sono state quantificate in 37 t/anno e derivano per la maggior parte dai processi legati alla combustione non industriale e in secondo luogo alla combustione nell'industria.

Le emissioni complessive di **ossidi di azoto** nell'intero comune di Sondrio assommano a 192 t/anno, più del 80% delle quali derivanti dal trasporto su strada e in minore grado dalle combustioni non industriale ed industriale.

A differenza dei precedenti inquinanti, le 1234 t/anno di **monossido di carbonio** emesse in questo comune derivano prevalentemente dal trasporto su strada e dalla combustione non industriale.

I **composti organici volatili (COV)** con una emissione pari a 491 tn/anno si collocano al secondo posto, dopo il monossido di carbonio, per l'abbondanza in termini di massa. Le principali sorgenti per questi composti riguardano l'uso di solventi, il traffico veicolare e in terzo luogo le emissioni biogeniche e i processi produttivi.

Le emissioni di **particolato fine (PM10)** che ammontano a 34 t/anno, sono da attribuirsi per circa la metà al trasporto su strada e per quasi il 40% alla combustione non industriale (prevalentemente riscaldamento). In particolare, si stima che le principali sorgenti di questo inquinante siano la combustione non industriale di legna e simili (12,7 t/a) e i mezzi di trasporto alimentati a gasolio (10,7 t/a).

Si riportano in grafici (valori percentuali) e tabelle (valori assoluti) le stime relative ai principali inquinanti emessi dai diversi tipi di sorgente all'interno del Comune di Sondrio nell'anno 2003. Per un confronto si riportano anche le stime riferite all'intera Provincia di Sondrio.

### Comune di Sondrio

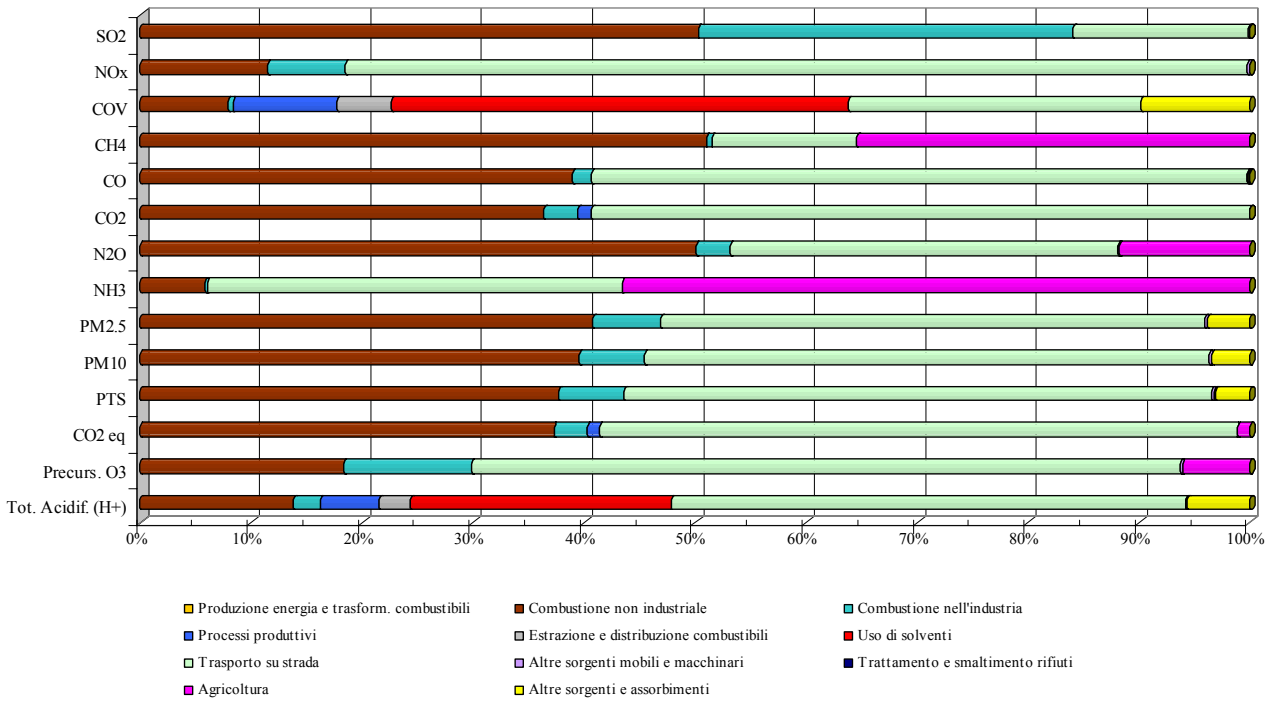
<b>DESCRIZIONE MACROSETTORE</b>	<b>SO<sub>2</sub></b>	<b>NO<sub>x</sub></b>	<b>COV</b>	<b>CO</b>	<b>PM<sub>10</sub></b>
	t/anno	t/anno	t/anno	t/anno	t/anno
Produzione energia e trasform. combustibili					
Combustione non industriale	19	22	22	481	13
Combustione nell'industria	13	13	0	20	2
Processi produttivi	0	0	0	0	0
Estrazione e distrib.di combustibili fossili	0	0	0	0	0
Uso di solventi	0	0	0	0	0
Trasporto su strada	6	156	6	730	17
Altre sorgenti mobili e macchinari	0	0	0	1	0
Trattamento e smaltimento rifiuti					
Agricoltura	0	0	15	0	0
Altre sorgenti e assorbimenti	0	0	0	2	1
<b>TOTALE</b>	<b>37</b>	<b>192</b>	<b>42</b>	<b>1.234</b>	<b>34</b>

### Provincia di Sondrio

<b>DESCRIZIONE MACROSETTORE</b>	<b>SO<sub>2</sub></b>	<b>NO<sub>x</sub></b>	<b>COV</b>	<b>CO</b>	<b>PM<sub>10</sub></b>
	t/anno	t/anno	t/anno	t/anno	t/anno
Produzione energia e trasform. combustibili					
Combustione non industriale	156	376	1.861	23.215	596
Combustione nell'industria	294	276	56	584	40
Processi produttivi			415		2
Estrazione e distrib.di combustibili fossili			160		
Uso di solventi			2.004		1
Trasporto su strada	67	1.617	1.079	6.297	184
Altre sorgenti mobili e macchinari	18	142	31	221	18
Trattamento e smaltimento rifiuti		16	2	8	
Agricoltura		2	2		11
Altre sorgenti e assorbimenti	3	11	5.033	333	26
<b>TOTALE</b>	<b>537</b>	<b>2.441</b>	<b>10.643</b>	<b>30.659</b>	<b>878</b>

Tabella 3. Emissioni distinte per macrosettori dei principali inquinanti atmosferici.

## COMUNE DI SONDRIO



## PROVINCIA DI SONDRIO

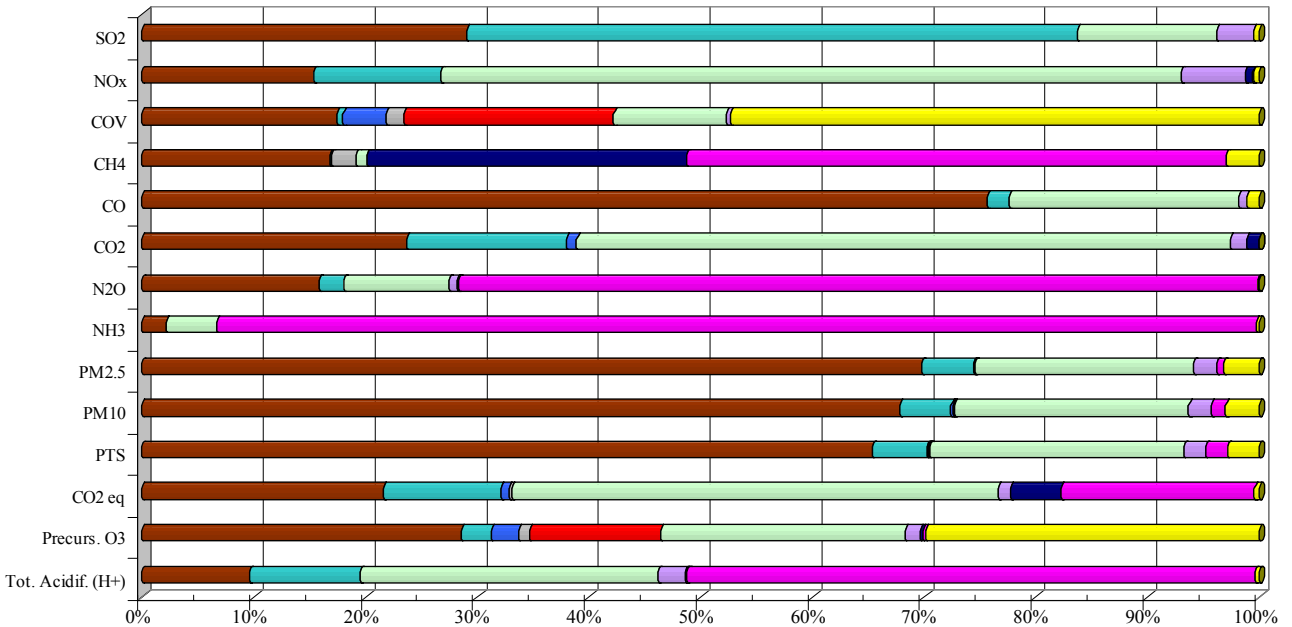


Figura 4. Contributo percentuale delle sorgenti suddivise per macrosettori ai diversi inquinanti atmosferici.

## Situazione meteorologica nel periodo di misura

La campagna per il monitoraggio della qualità dell'aria è stata condotta tra il 23 ottobre 2006 e il 13 febbraio 2007 comprendendo sostanzialmente la stagione invernale 2006-2007. Questo periodo dell'anno presenta normalmente temperature rigide e inversione termica al suolo la quale determina una marcata stabilità atmosferica.

In linee generali, l'inverno 2006-2007 è stato caratterizzato da temperature meno rigide rispetto alla media del periodo, in particolare per quanto riguarda le minime, e da scarsa circolazione.

A differenza della stazione di via Mazzini dove la direzione prevalente dei venti si orienta sulla direttrice E-O, nella postazione di via Paribelli le masse d'aria giungono prevalentemente da sud (Figura 5). Tale situazione è probabilmente legata alla conformazione degli edifici nelle vicinanze del punto di misura ma è comunque indicativa di una diversa circolazione a scala locale.

La velocità media giornaliera del vento è rimasta al di sotto di 2 m/s. L'episodio di vento più rilevante, ma comunque modesto, si è verificato il 1/11 a causa di un evento di tipo favonico. Nel complesso la circolazione atmosferica nel periodo in esame è da considerarsi scarsa (Figura 6).

Durante la campagna di misura le temperature medie giornaliere hanno oscillato tra -2 e 15 °C mostrando una escursione termica complessiva di circa 17 °C. Il periodo con temperature medie giornaliere inferiori a zero è piuttosto contenuto limitandosi all'ultima decade di dicembre. La temperatura oraria più bassa del periodo in esame, pari a -2 °C, è stata registrata il 28/12 mentre quella più elevata, pari a 24 °C, è stata osservata il 19/1. In generale, le temperature hanno seguito un andamento negativo durante la prima parte della campagna di misura con una inversione di tendenza già a partire dai primi giorni di gennaio.

Le precipitazioni sono state poco frequenti e di intensità medio bassa. Complessivamente, sono stati registrati 176 mm di pioggia di cui la maggior parte tra la seconda metà del mese di novembre e la prima metà del mese di dicembre. Gli eventi più rilevanti sono stati osservati i giorni 9/12 e 23/1.

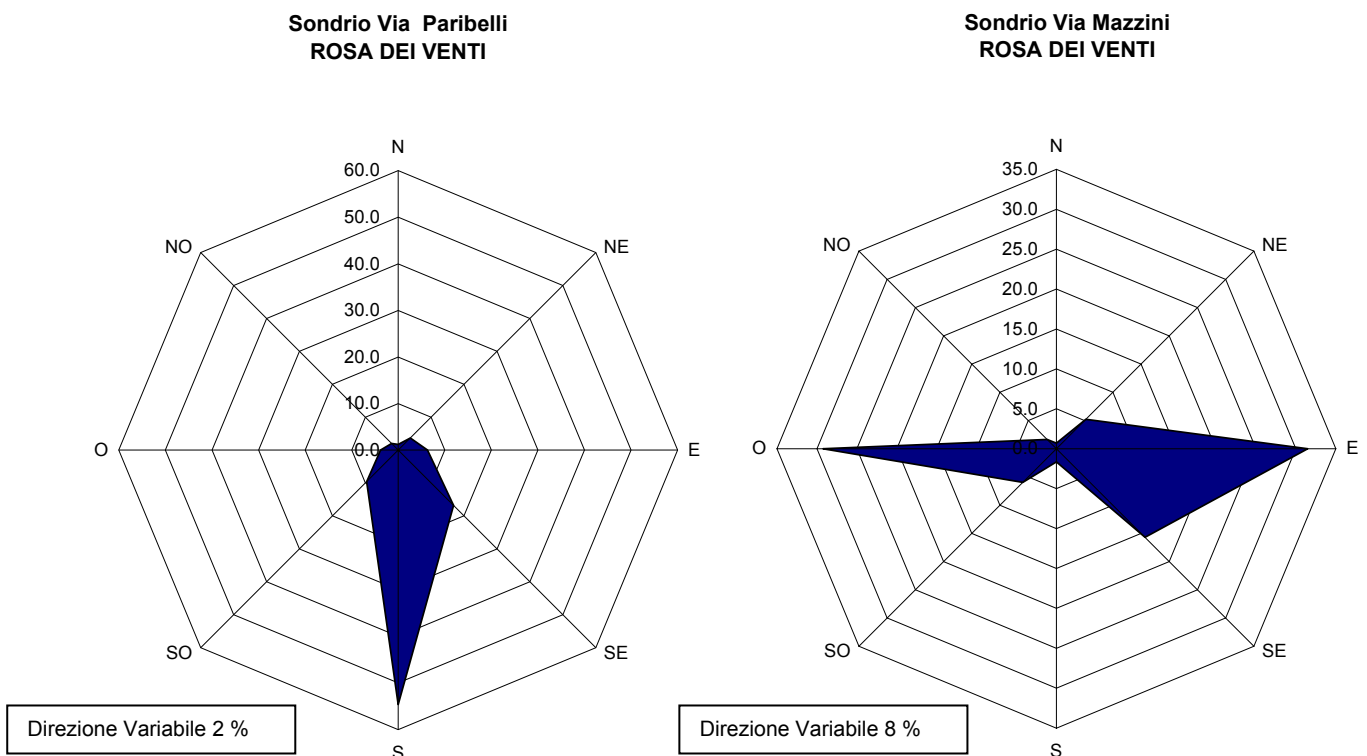


Figura 5. Rosa dei venti nei siti di via Paribelli e di via Mazzini del Comune di Sondrio

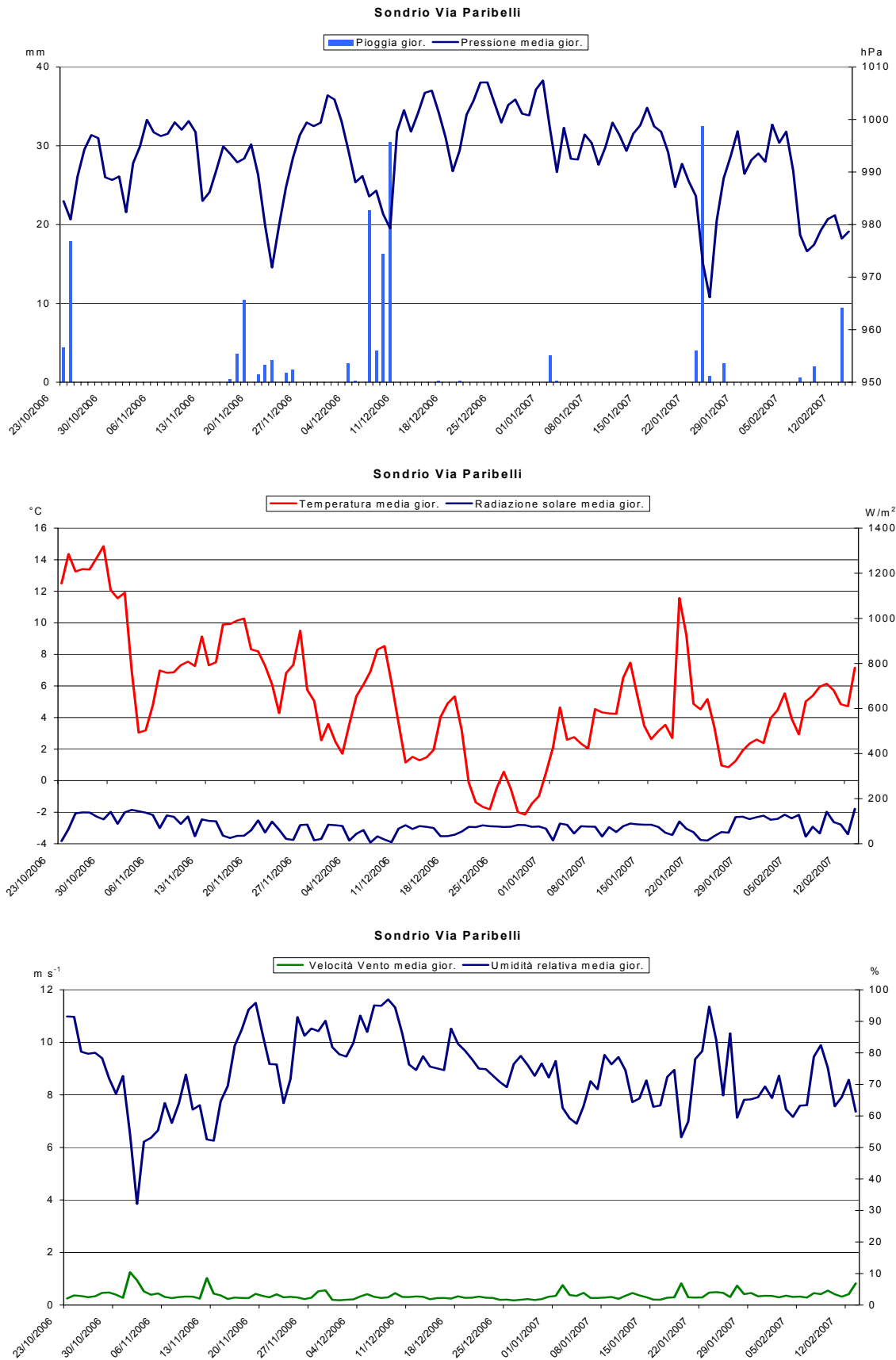


Figura 6. Andamento dei parametri meteorologici nel sito di via Paribelli.

## Andamento degli inquinanti nel periodo di misura e confronto con i dati rilevati in postazioni fisse

Di seguito si presentano i risultati della campagna di monitoraggio della qualità dell'aria realizzata nel Comune di Sondrio dal 23 ottobre 2006 al 13 febbraio 2007. Come indicato nella Sezione "Campagna di misura" (pag. 9), il Laboratorio mobile è stato posizionato nei giardini pubblici di via Paribelli. Quest'area ad uso prevalentemente residenziale era apparsa, dopo una valutazione preliminare, per il posizionamento di una stazione fissa di fondo urbano nella cerchia esterna al centro storico di Sondrio.

Durante il periodo di misura nella postazione di Sondrio via Paribelli le concentrazioni giornaliere di SO<sub>2</sub> hanno mostrato una media di 15 µg/m<sup>3</sup>, con concentrazioni giornaliere massime pari a 29 µg/m<sup>3</sup> osservate il 11/1. Questi valori si trovano al di sotto dello standard di qualità invernale (130 µg/m<sup>3</sup>) e del valore limite (125 µg/m<sup>3</sup>) rispettivamente. Analogamente, il massimo valore orario pari a 48 µg/m<sup>3</sup> è rimasto molto al di sotto del valore limite pari a 350 µg/m<sup>3</sup>. Altrettanto si può affermare per le medie di tre ore che sono risultate nettamente inferiori alla soglia di allarme pari a 500 µg/m<sup>3</sup>.

Dall'esame dell'andamento giornaliero di questo inquinante (Fig. 7) risulta che le contrazioni più elevate si raggiungono nella tarda mattinata (ore 11–12) mentre vi è un secondo picco più modesto nelle ore serali. I valori minimi si presentano durante le ore notturne. Le concentrazioni massime appaiono più elevate nei giorni feriali rispetto ai giorni festivi in particolare per quanto concerne i valori mattutini.

Le concentrazioni di SO<sub>2</sub> registrate in via Paribelli sono risultate mediamente inferiori di 4 µg/m<sup>3</sup> (27 % della media) rispetto a quelle registrate in via Mazzini (Fig. 13). L'andamento temporale di questo inquinante nelle due postazione in esame è stato confrontabile nelle tendenze più generali (coefficiente di correlazione = 0,64) ma si osservano differenze marcate in particolare nella prima e nell'ultima fase della campagna di misura.

Durante il periodo di misura nella postazione di Sondrio via Paribelli le concentrazioni di NO<sub>2</sub> hanno mostrato una media oraria pari a 39 µg/m<sup>3</sup> con un valore orario massimo di 83 µg/m<sup>3</sup> registrato il 16/12. Tali valori si collocano al di sotto del valore limite più margine di tolleranza per l'anno 2007 (230 µg/m<sup>3</sup>). Il massimo valore giornaliero del periodo è stato 53 µg/m<sup>3</sup>. Le concentrazioni medie di 3 ore sono sempre rimaste al di sotto della soglia di allarme pari a 400 µg/m<sup>3</sup>.

Il profilo giornaliero di questo inquinante indica che malgrado esista una somiglianza nell'andamento delle concentrazioni dei giorni festivi e nei giorni feriali, le concentrazioni in questi ultimi sono superiori (Fig. 8). Vi sono due massimi giornalieri di NO<sub>2</sub>, uno relativamente modesto intorno alle 10 del mattino e uno più rilevante tra le 17 e le 20. I valori minimi di questo inquinante si registrano nel primo pomeriggio e nelle ore notturne.

La media oraria di NO<sub>x</sub> (NO + NO<sub>2</sub>) nel periodo di misura è stata pari a 87 µg/m<sup>3</sup> con un massimo orario di 380 µg/m<sup>3</sup>. Viste le caratteristiche della postazione non è applicabile il valore limite per la protezione della vegetazione (30 µg/m<sup>3</sup>).

Le concentrazioni di NO<sub>2</sub> in via Paribelli quelle osservate in via Mazzini sono in media inferiori di 2 µg/m<sup>3</sup> (5% della media) rispetto alla stazione fissa (Fig. 13).

In genere i massimi e i minimi dei valori giornalieri nelle due serie di dati trovano una buona corrispondenza e le differenze nelle concentrazioni risultano poco rilevanti (coefficiente di correlazione = 0,95).

Per quanto riguarda l' NO<sub>x</sub> le differenze tra le concentrazioni misurate in via Paribelli e in via Mazzini sono più marcate (Fig. 13).

Durante il periodo di misura nella postazione di Sondrio via Paribelli le concentrazioni di CO hanno mostrato una media oraria complessiva di  $1,2 \text{ mg/m}^3$  con valori massimi orari di  $3,2 \text{ mg/m}^3$  (Fig. 10). I valori rientrano quindi ampiamente nello standard di qualità per i valori orari.

Il massimo valore delle medie di 8 ore pari a  $2,6 \text{ mg/m}^3$  è rimasto, anch'esso, molto al di sotto del valore limite e standard di qualità pari a  $10 \text{ mg/m}^3$ .

In analogia con gli ossidi di azoto le concentrazioni orarie di questo inquinante presentano due massimi giornalieri mentre le concentrazioni sono minime nelle ore pomeridiane (Fig. 10). I valori di questo inquinante non presentano differenze significative tra i giorni feriali e i giorni festivi.

La concentrazione media di CO in via Paribelli durante il periodo di misura è inferiore di solo  $0,1 \text{ mg/m}^3$  (8% della media) rispetto quella osservata in via Mazzini (Fig. 14). Gli andamenti temporali di questo inquinante nelle due postazioni sono abbastanza confrontabili malgrado alcune differenze puntuali nei valori minimi e massimi (coefficiente di correlazione = 0,79).

La campagna di misura a Sondrio via Paribelli si è svolta in una stagione nella quale le concentrazioni di ozono sono normalmente molto modeste.

La media oraria di  $\text{O}_3$  nel periodo di misura è stata pari a  $9 \text{ } \mu\text{g/m}^3$  con valori orari massimi di  $84 \text{ } \mu\text{g/m}^3$  registrati il 1/11 (Fig. 11).

Nel periodo in esame non vi sono stati superamenti della soglia di informazione, pari a  $180 \text{ } \mu\text{g/m}^3$ , né della soglia di allarme, pari a  $240 \text{ } \mu\text{g/m}^3$ . Analogamente, è stato rispettato il valore bersaglio per la protezione della salute umana, pari a  $120 \text{ } \mu\text{g/m}^3$ .

Il tipo di postazione e il periodo dell'anno, non consentono di verificare il rispetto del valore bersaglio per la protezione della vegetazione (AOT40).

Il profilo giornaliero di ozono (Fig. 11) mette in evidenza la presenza di una caratteristica curva a campana con massimi di concentrazione nel primo pomeriggio (ore 14-15) e di un minimo nelle ore notturne. A differenza degli inquinanti primari precedentemente descritti, le concentrazioni nei giorni festivi sono superiori a quelle dei giorni feriali.

Le concentrazioni di  $\text{O}_3$  nel sito di via Paribelli sono rimaste in media  $11 \text{ } \mu\text{g/m}^3$  (120 % della media) al di sotto di quelle osservate in una stazione con caratteristiche simili a Morbegno (Fig. 14). Gli andamenti temporali dei due siti sono confrontabili (coefficiente di correlazione = 0,77) ma le concentrazioni di Morbegno 2 sono costantemente superiori a quelle di via Paribelli. Le differenze tra i due siti sono più accentuate in corrispondenza di periodi con maggiore insolazione e temperature più elevate.

Durante il periodo in esame nel sito di Sondrio via Paribelli la media dei valori giornalieri di PM10 è stata pari a  $51 \text{ } \mu\text{g/m}^3$  con un valore massimo di  $97 \text{ } \mu\text{g/m}^3$  registrato il 17/12 (fig. 12). Nei 114 giorni di campagna il valore limite giornaliero per questo inquinante è stato superato 58 volte (sono ammessi 35 superamenti all'anno).

Come per gli altri inquinanti il profilo giornaliero del PM10 presenta due massimi giornalieri. Uno mattutino tra le 9 e le 12 seguito da un minimo pomeridiano e il secondo più consistente nelle ore serali tra le 17 e le 20. Nei giorni festivi l'andamento delle concentrazioni è simile a quello descritto in precedenza ma con valori più modesti nelle ore serali e valori più elevati rispetto ai giorni festivi durante le ore notturne (Fig. 12). Il profilo giornaliero di PM10 in via Paribelli è confrontabile con quello di via Mazzini.

Le concentrazioni medie di PM10 registrate in via Paribelli, nel periodo in esame sono mediamente inferiori di  $14 \text{ } \mu\text{g/m}^3$  (27% della media) rispetto a quelle di via Mazzini (fig.14). In genere, l'andamento temporale del PM10 nelle due postazioni è confrontabile (coefficiente di correlazione = 0,94) ma le concentrazioni risultano più elevate nella stazione fissa. Le maggiori differenze tra i due siti si osservano nel mese di dicembre e nella prima metà del mese di gennaio che corrispondono al periodo più freddo e con maggiore stratificazione atmosferica.

Dal punto di vista dei limiti di legge, nel sito di via Paribelli sono stati registrati 9 superamenti del valore limite in meno (15% della media) rispetto alla stazione fissa.

## Conclusioni

La campagna di rilevamento in via Paribelli ha avuto una durata di quasi 4 mesi che ha permesso di coprire quasi per intero il periodo invernale 2006-2007.

Dal punto di vista meteorologico il periodo invernale è stato, come di norma, caratterizzato da stabilità atmosferica e scarse precipitazioni. Le temperature sono risultate meno rigide rispetto alla media dell'ultimo quinquennio, in particolare per quanto riguarda le minime.

Le temperature più basse sono state registrate nella seconda metà del mese di dicembre.

Le citate condizioni meteorologiche hanno influito sulle concentrazioni degli inquinanti. Come noto, la stratificazione atmosferica e le scarse precipitazioni nei mesi invernali determinano l'accumulo degli inquinanti al suolo. Tuttavia le temperature meno rigide della stagione in esame avrebbero avuto un effetto positivo in relazione alle emissioni da parte degli impianti di riscaldamento.

Il periodo in esame è stato caratterizzato da condizioni sostanzialmente stabili, ad eccezione di un evento favonico all'inizio della campagna e di tre brevi perturbazioni atmosferiche accompagnate da precipitazioni.

Durante la campagna di misura sono stati rispettati tutti i limiti di legge per SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, CO e O<sub>3</sub>.

Diversamente vi sono stati 58 superamenti del valore limite giornaliero per il PM<sub>10</sub>, a fronte di una soglia di 35 superamenti annui fissati dalla normativa. La media di tutta la campagna per questo inquinante, pari a 51 µg/m<sup>3</sup>, rimane al di sopra del valore limite annuo di 40 µg/m<sup>3</sup>. Tuttavia, questi risultati devono essere interpretati con cautela in quanto il valore limite fa riferimento al ciclo annuale completo.

L'analisi dei profili giornalieri degli inquinanti mette in evidenza che, a parte il O<sub>3</sub>, tutti gli inquinanti presentano due massimi giornalieri, uno mattutino e uno serale. Questa dinamica è determinata prevalentemente dall'evoluzione giornaliera delle proprietà diffusive dell'atmosfera e dal ciclo giornaliero delle sorgenti come il traffico e gli impianti di riscaldamento che presentano massimi orari concentrati nelle ore del mattino e della sera.

Diversamente le concentrazioni di ozono sono determinate dalla radiazione solare e dalla presenza di inquinanti primari che reagendo con esso lo distruggono.

Le concentrazioni degli inquinanti nei giorni festivi sono in genere più modeste rispetto ai giorni feriali ma presentano lo stesso andamento giornaliero. Fa eccezione il PM<sub>10</sub>, il quale, come già accennato, presenta valori più elevati nelle ore notturne dei giorni festivi mentre le concentrazioni risultano significativamente minori rispetto ai giorni feriali nelle ore pomeridiane e serali.

D'altra parte, il O<sub>3</sub> presenta valori più consistenti durante il giorni festivi probabilmente dovuto alle minori concentrazioni di inquinanti primari come il NO.

Mettendo a confronto i dati raccolti nella stazione fissa di via Mazzini con quelli ottenuti in questa campagna di misura e quelli ricavati nella campagna svoltasi precedentemente in via Gianoli, risulta che:

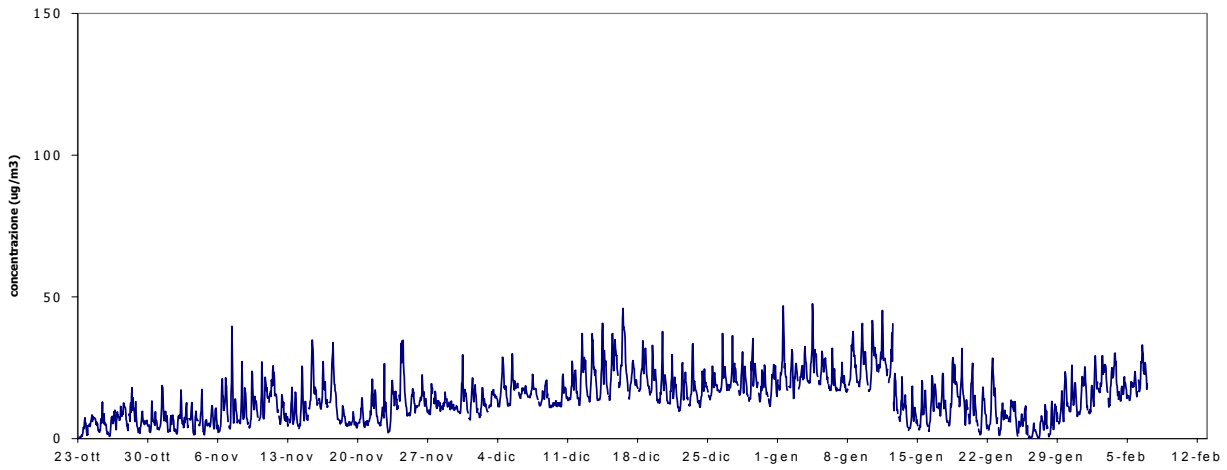
- per NO<sub>2</sub> e CO le differenze tra la postazione fissa e le postazioni temporanee risultano poco marcate;
- i valori di inquinanti primari SO<sub>2</sub> e NO sono più cospicui in via Mazzini rispetto alle postazioni temporanee, indicando una maggiore incidenza delle sorgenti;
- in analogia al punto precedente le concentrazioni di PM<sub>10</sub> nella zona centrale della città sono più elevate rispetto a quelle delle postazioni a sud della ferrovia, tuttavia, i livelli di via Gianoli risultano più confrontabili con quelli della stazione fissa mentre quelli di via Paribelli sono più contenuti;

- per entrambe le postazioni temporanee le concentrazioni di O<sub>3</sub> risultano inferiori rispetto a quelle osservate a Morbegno.

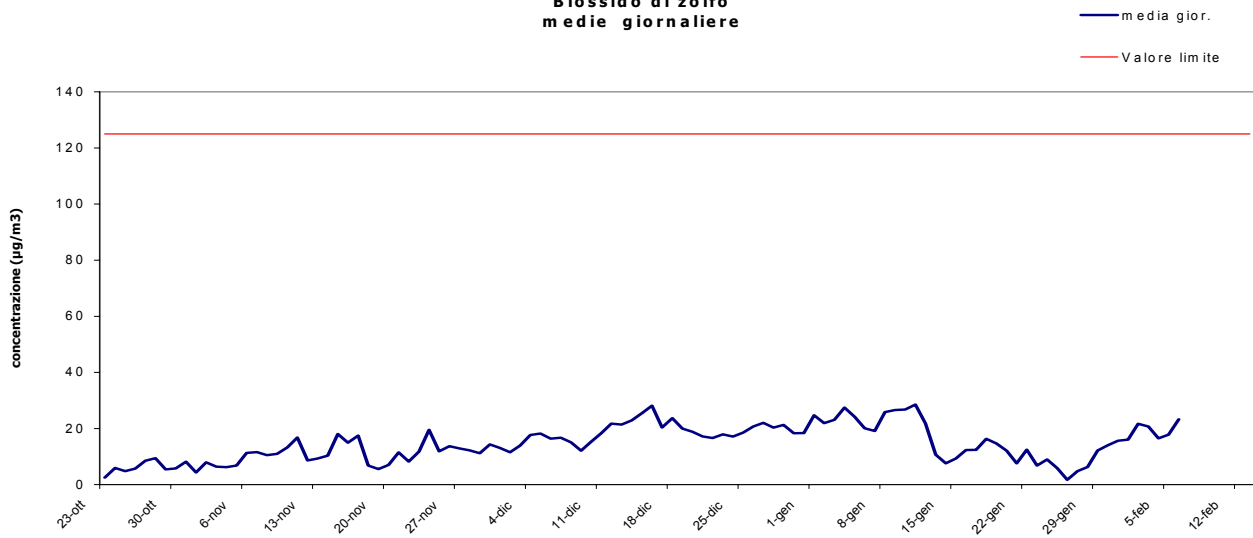
A differenza della stazione fissa di Via Mazzini dove si osserva una circolazione prevalentemente nella direzione est-ovest, la circolazione d'aria nel sito di via Paribelli è dominata da correnti provenienti dal quadrante sud. D'altra parte la circolazione nel sito di via Gianoli presenta una situazione intermedia con due direzioni prevalenti est e sud-ovest.

Sulla base delle informazioni finora disponibili la postazione di via Paribelli risulta essere quella con concentrazioni di inquinanti atmosferici più modeste rispetto alla postazione di via Mazzini. Tale situazione è da mettere in relazione all'assenza di insediamenti civili di grosse dimensioni nelle vicinanze della postazione e al traffico autoveicolare relativamente scarso. Inoltre, la circolazione atmosferica a scala locale che determina un afflusso prevalente d'aria proveniente dall'esterno dell'area urbana. Ciononostante, la soglia annua massima del numero di superamenti giornalieri del valore limite per il PM10 risulta superata in entrambe le postazioni.

**Anidride solforosa  
Concentrazioni orarie**



**Biossido di zolfo  
medie giornaliere**



**Anidride solforosa  
Giorno tipo**

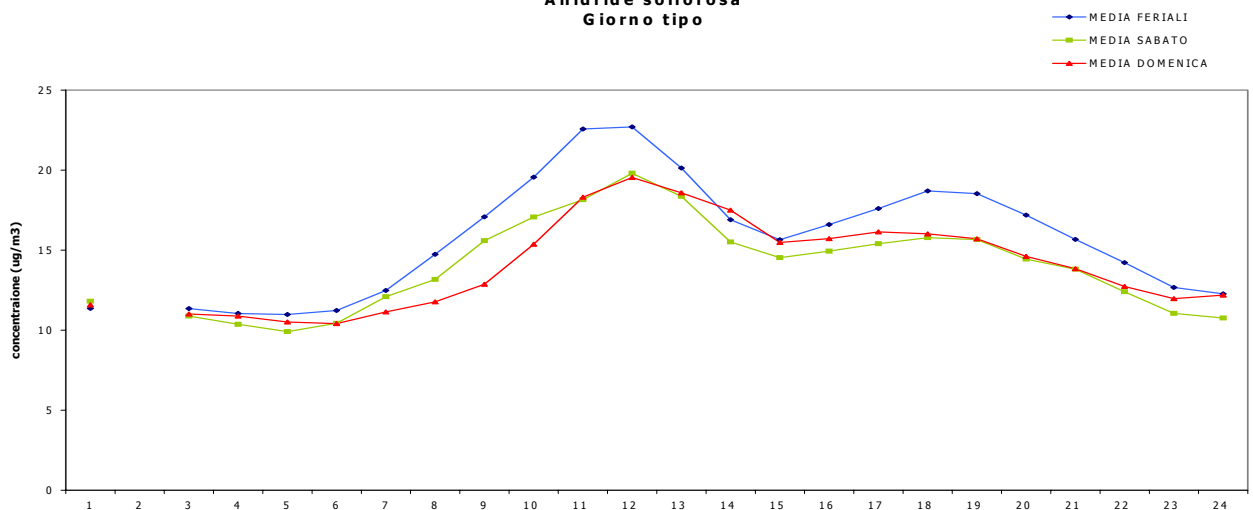


Figura 7. Concentrazioni orarie, medie giornaliere e giorni tipo per SO<sub>2</sub> a Sondrio via Paribelli nel periodo di misura.

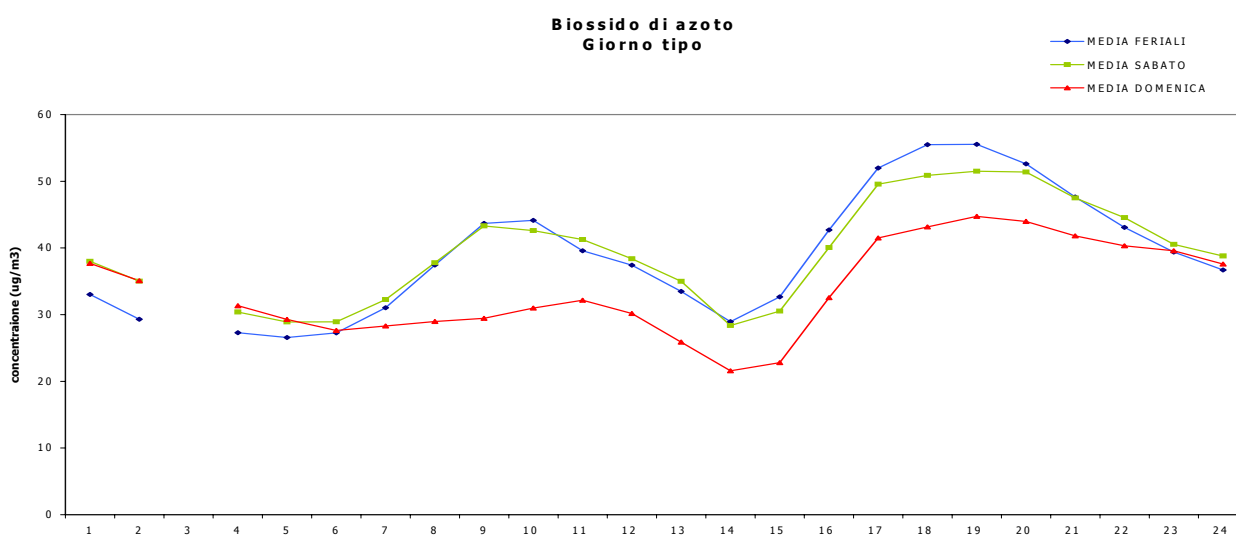
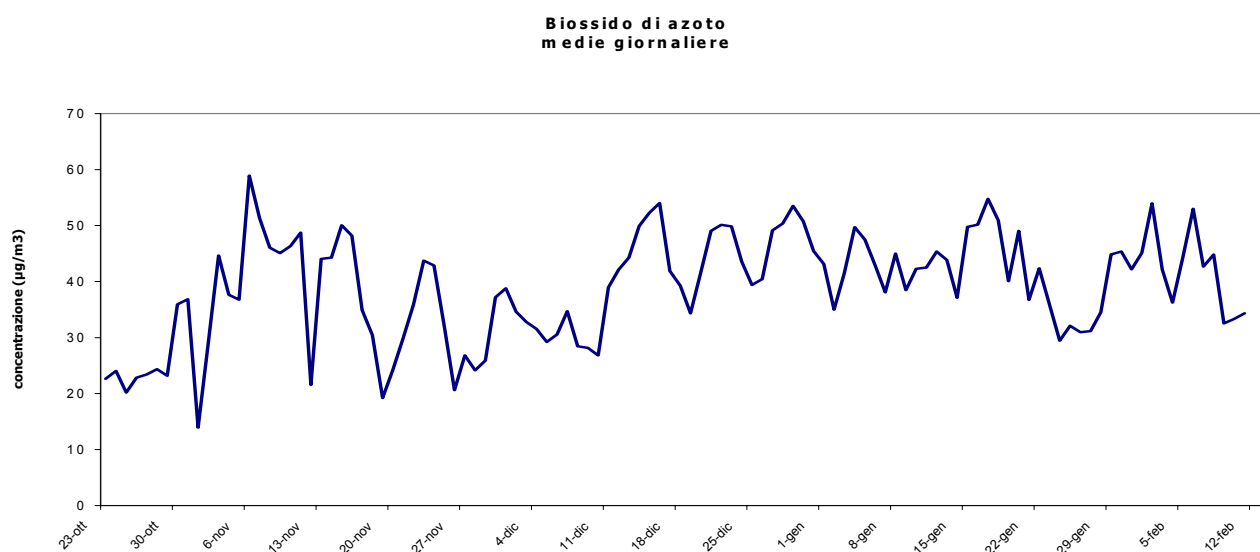
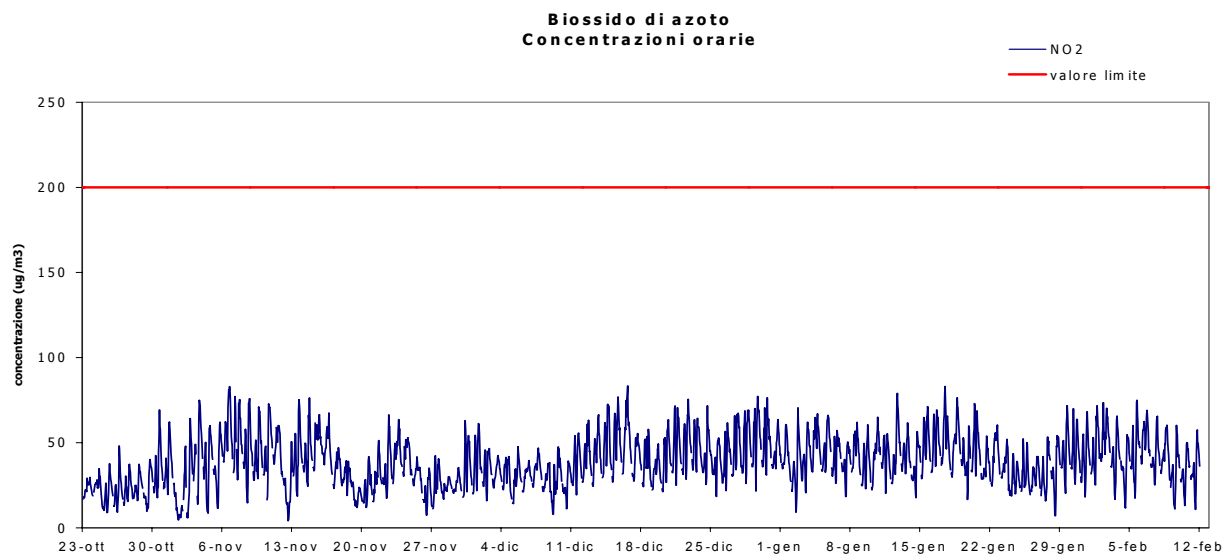
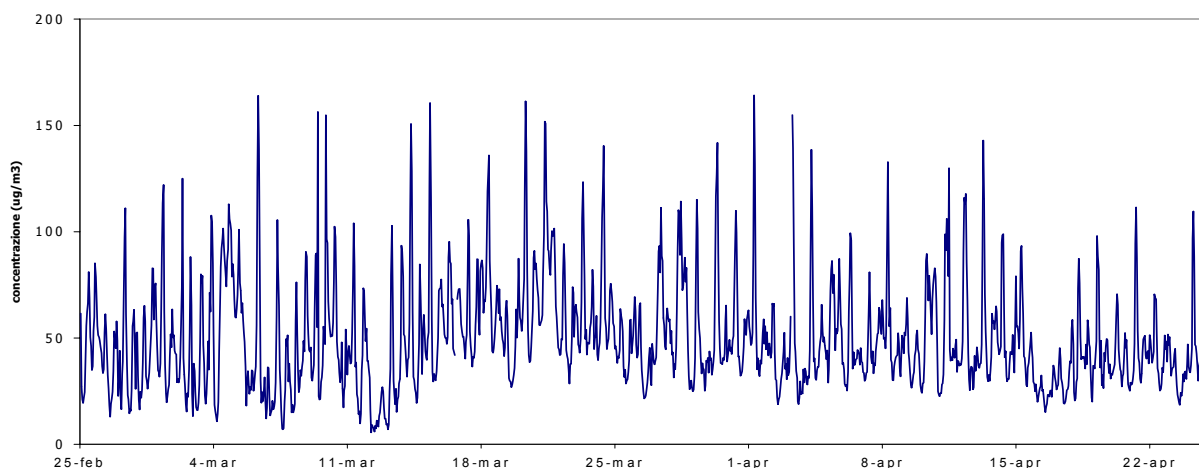
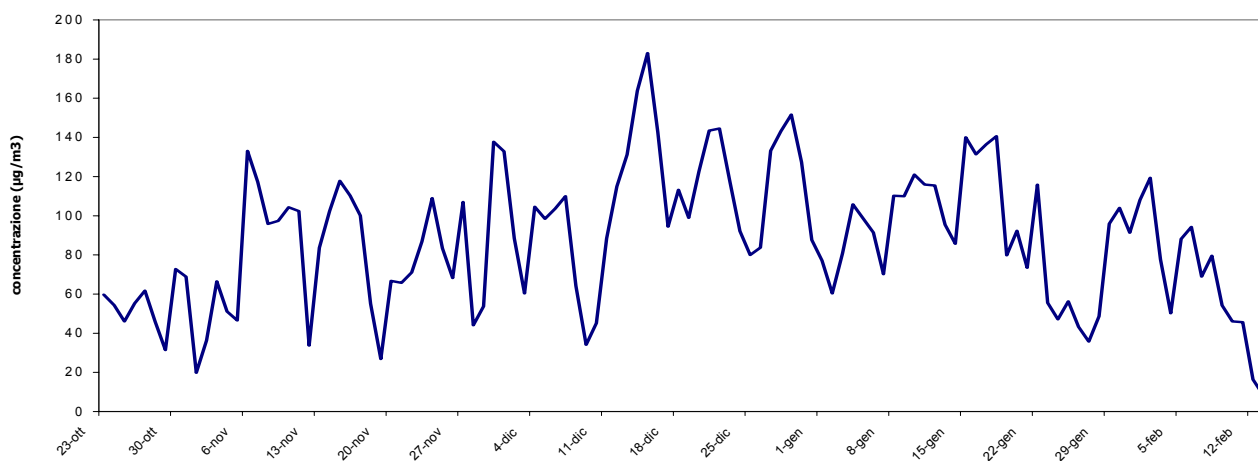


Figura 8. Concentrazioni orarie, medie giornaliere e giorni tipo per NO<sub>2</sub> a Sondrio via Paribelli nel periodo di misura.

**Ossidi di azoto  
Concentrazioni orarie**



**Ossidi di azoto  
medie giornaliere**



**Ossidi di azoto  
Giorno tipo**

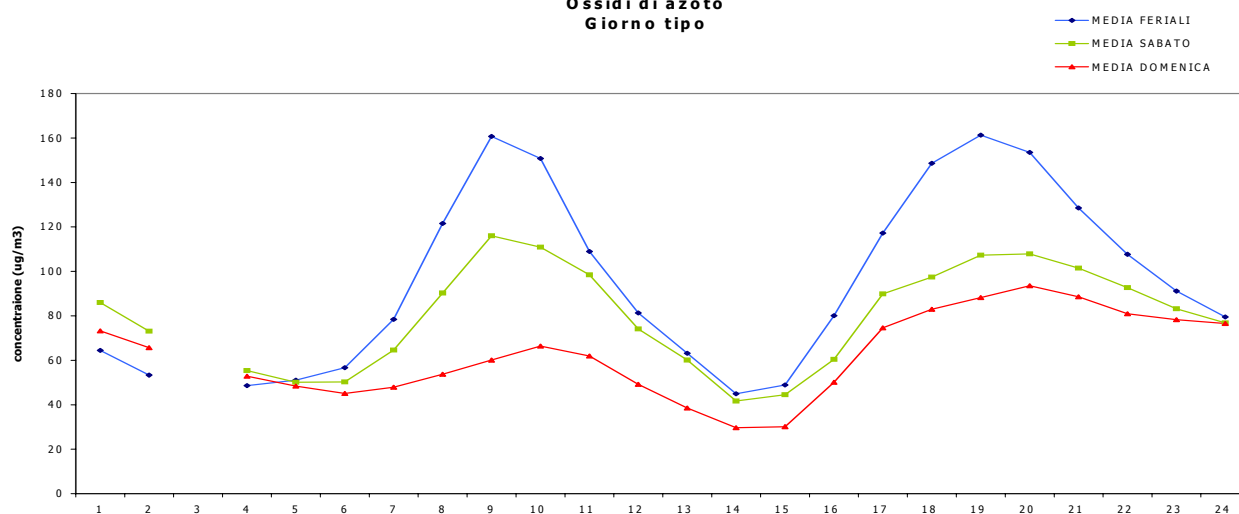
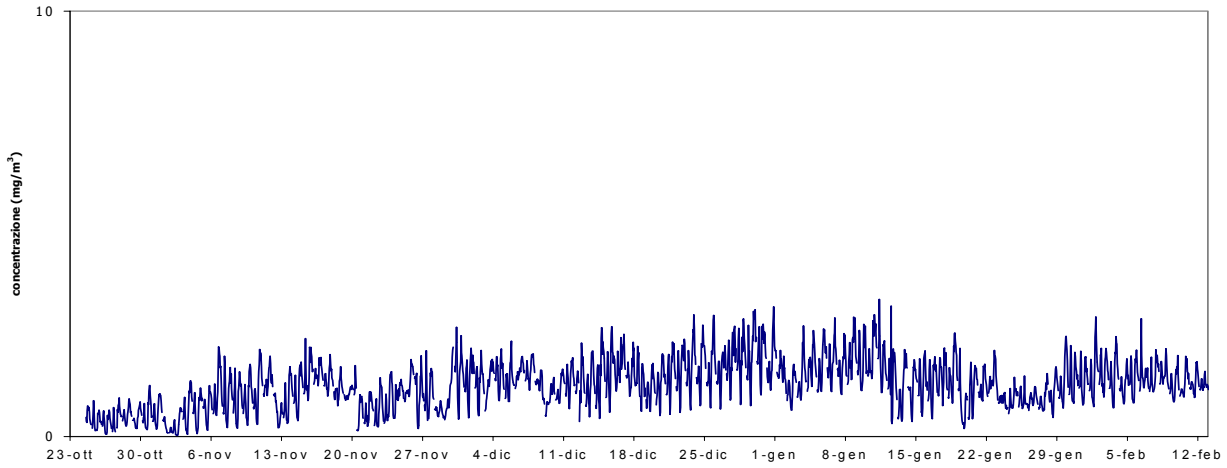


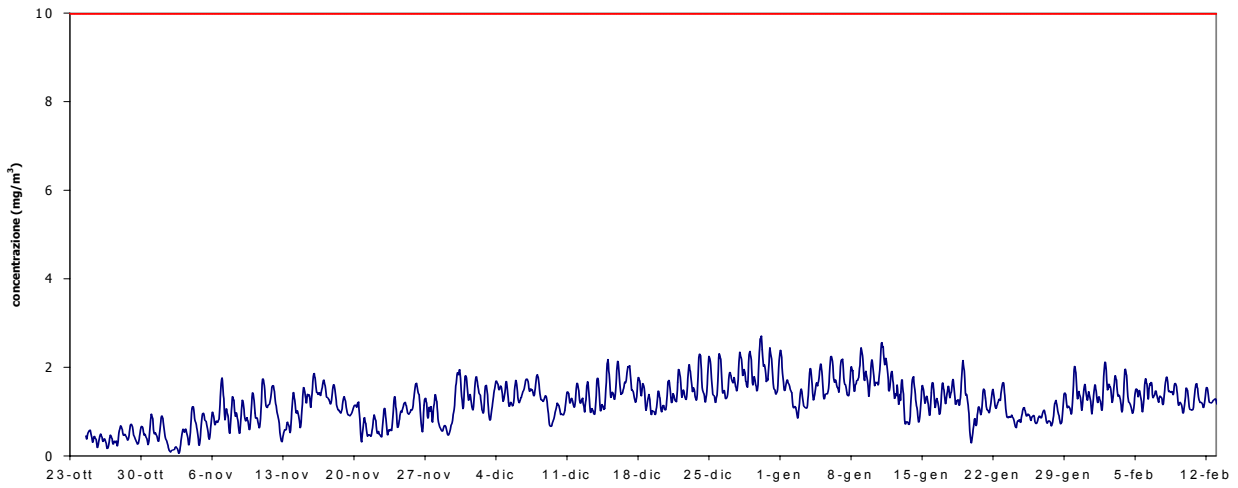
Figura 9. Concentrazioni orarie, medie giornaliere e giorni tipo per NO<sub>x</sub> a Sondrio via Paribelli nel periodo di misura.

**Monossido di carbonio  
Concentrazioni orarie**



**Monossido di carbonio  
Concentrazioni medie di 8 h**

— CO  
— valore limite



**Monossido di carbonio  
Giorno tipo**

— MEDIA FERIALI  
— MEDIA SABATO  
— MEDIA DOMENICA

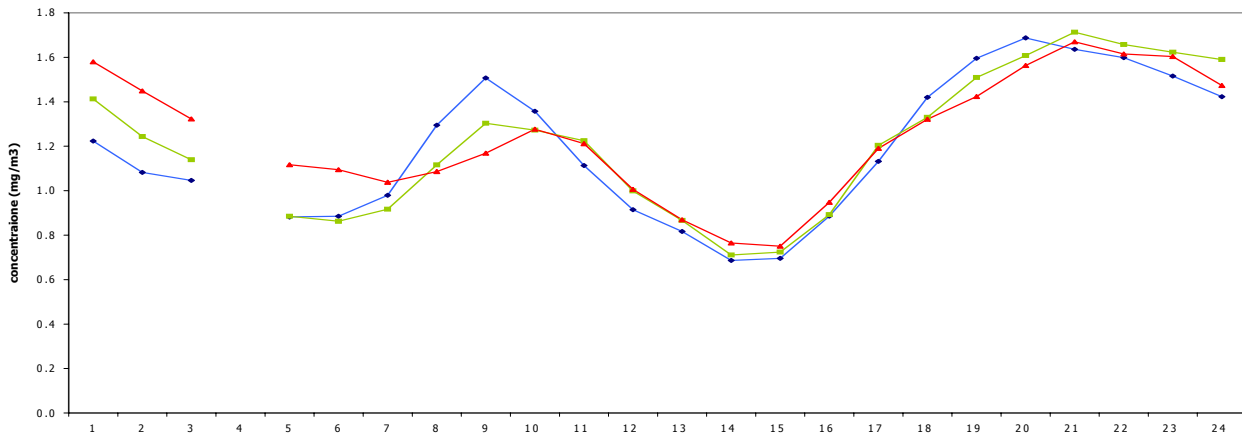


Figura 10. Concentrazioni orarie e medie giornaliere per CO a Sondrio via Paribelli nel periodo di misura.

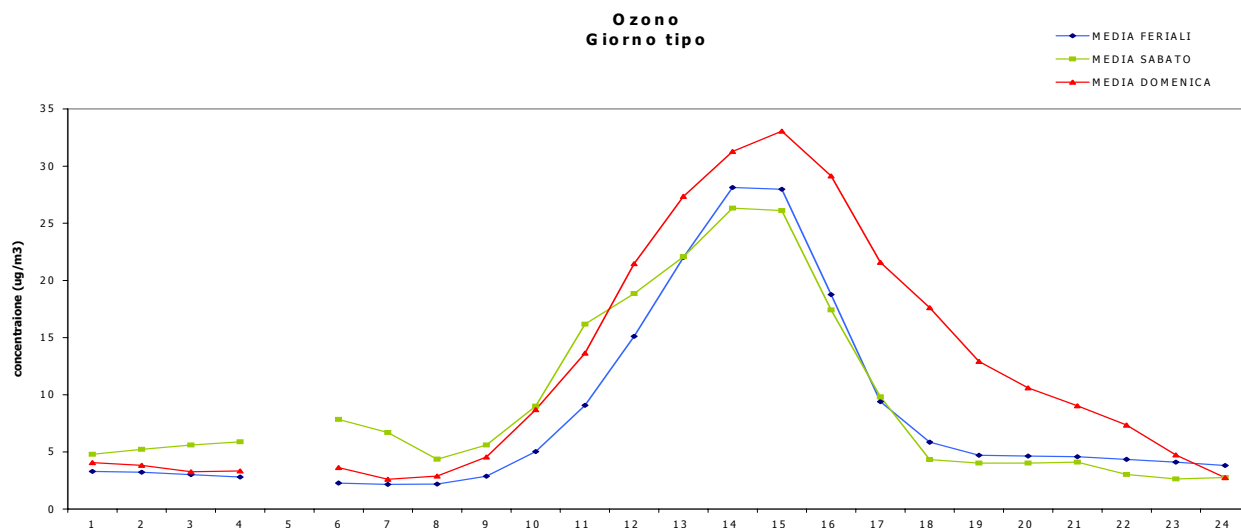
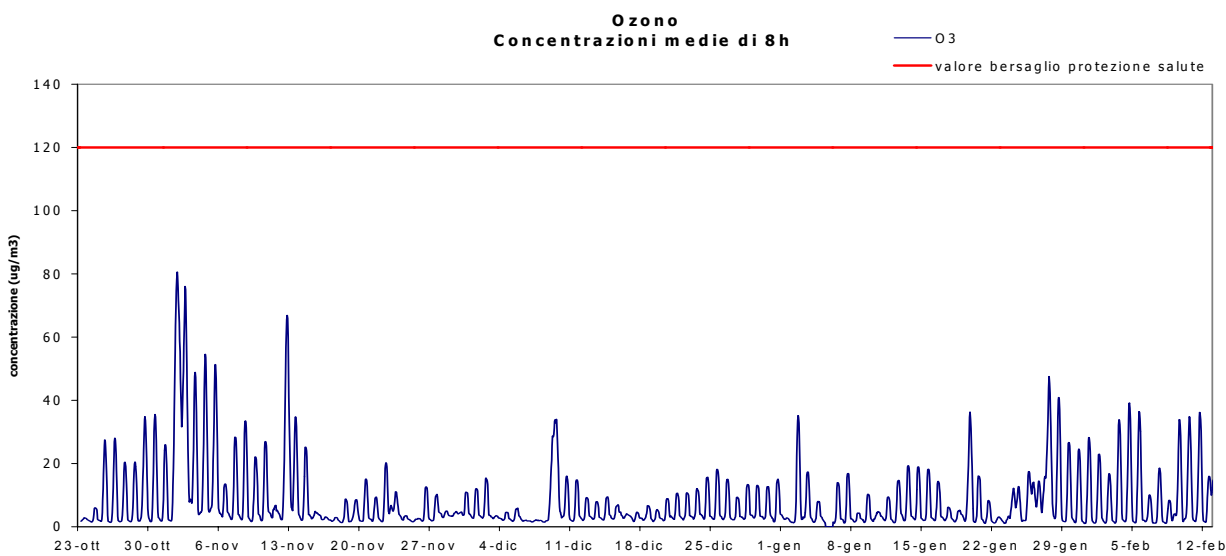
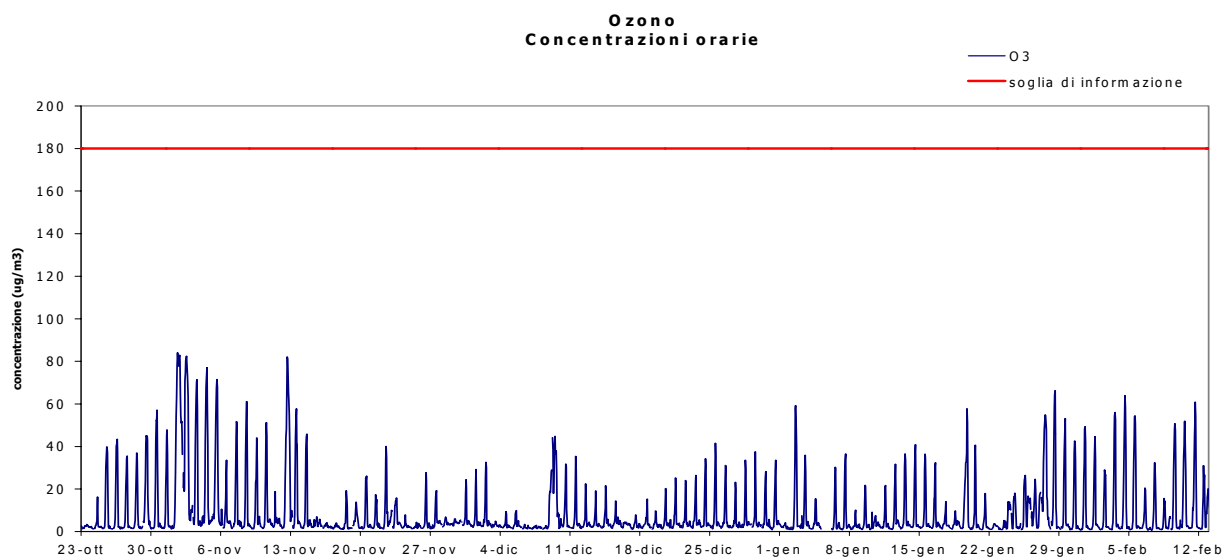


Figura 11. Concentrazioni orarie e medie giornaliere per O<sub>3</sub> a Sondrio via Paribelli nel periodo di misura.

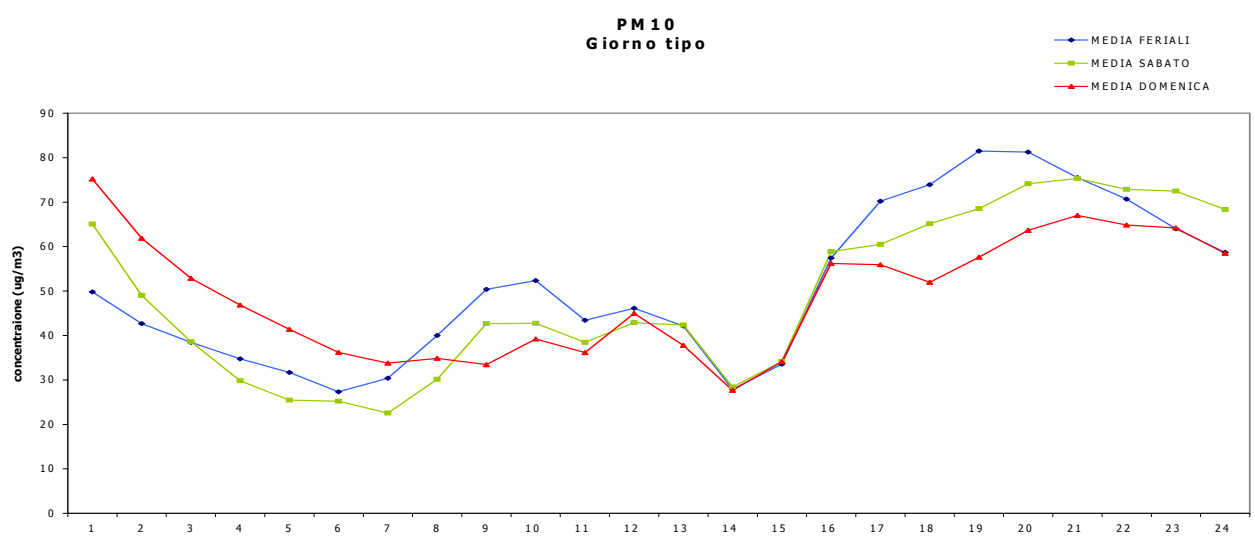
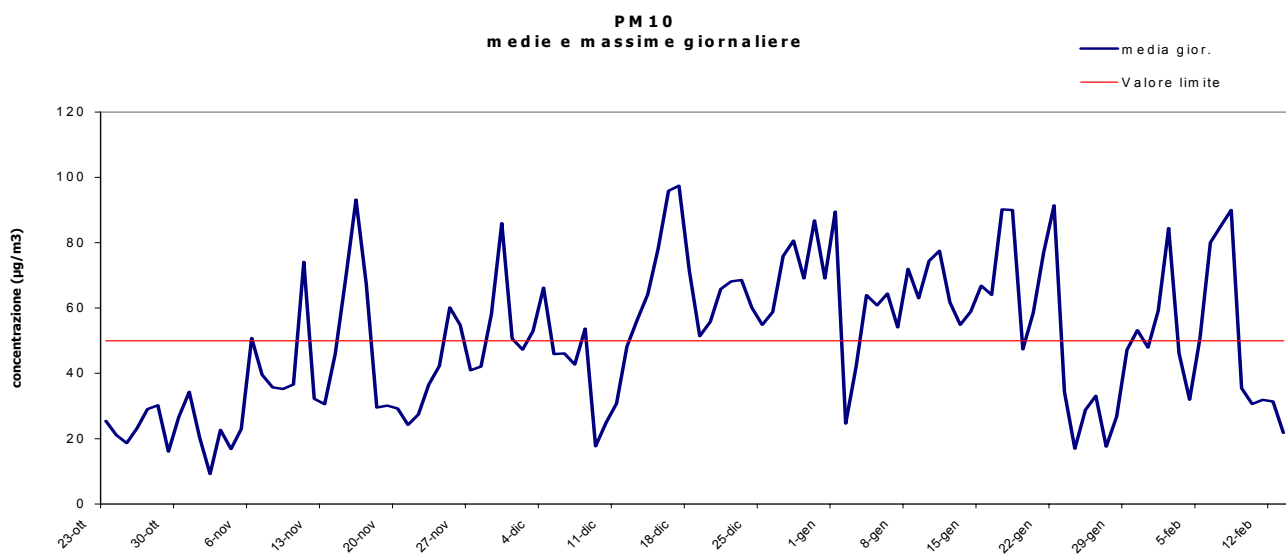


Figura 12. Concentrazioni medie giornaliere di PM10 e giorno medio a Sondrio via Paribelli nel periodo di misura

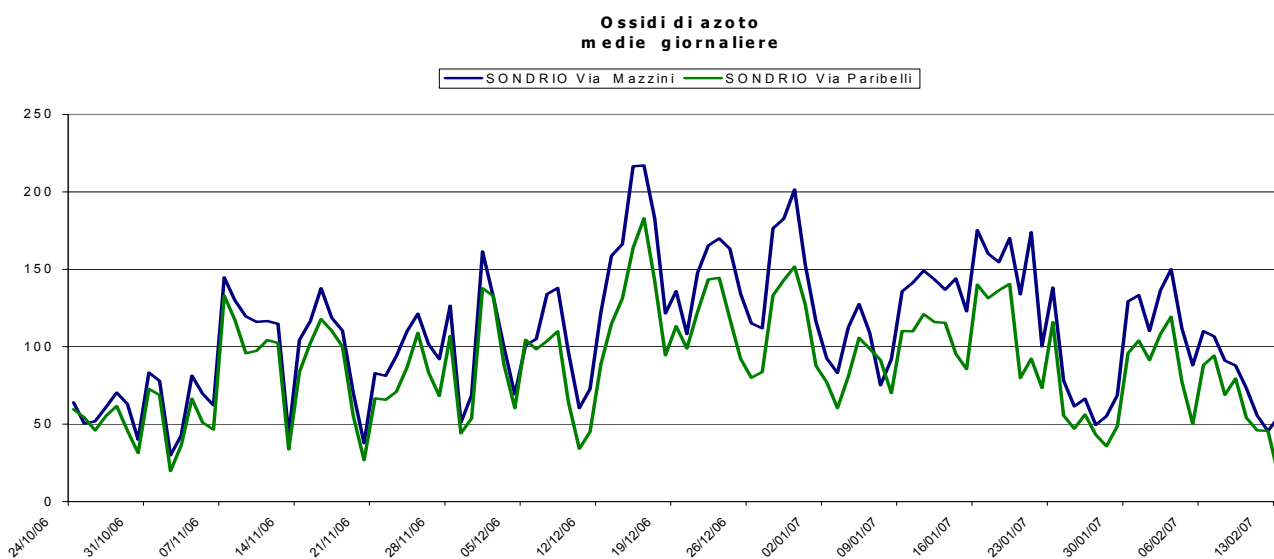
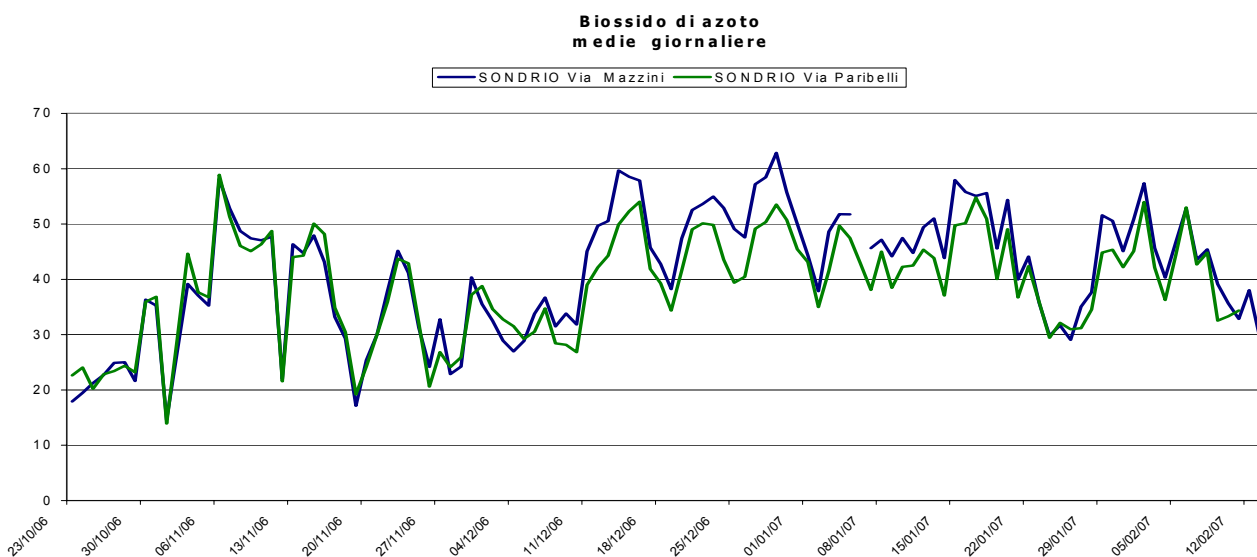
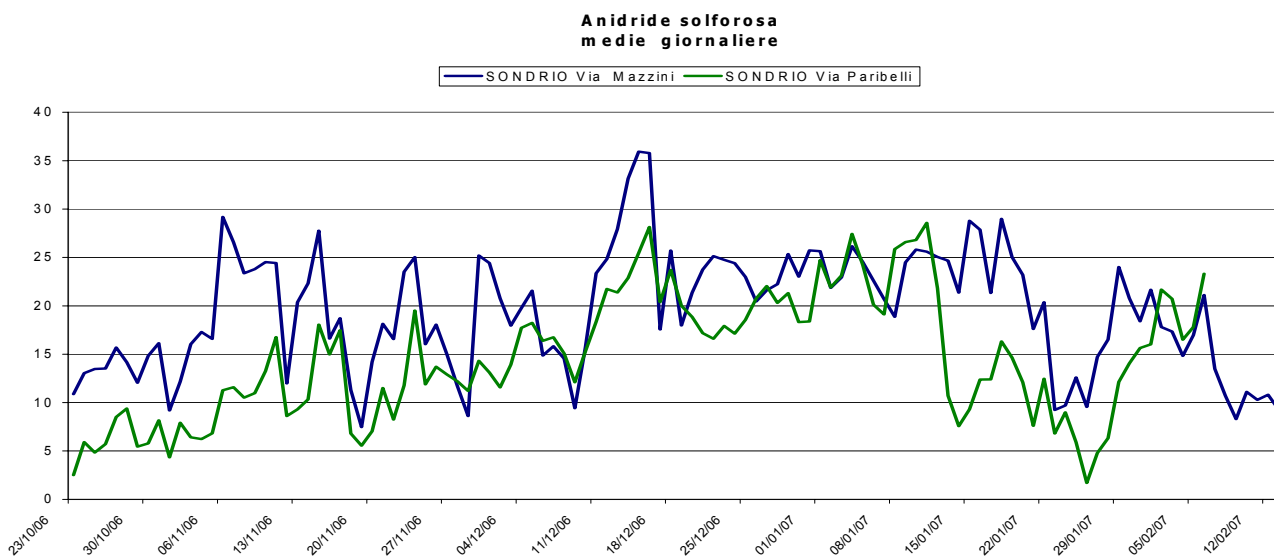


Figura 13. Confronto tra le Concentrazioni medie giornaliere di SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub> e NOx a Sondrio in via Paribelli e in via Mazzini

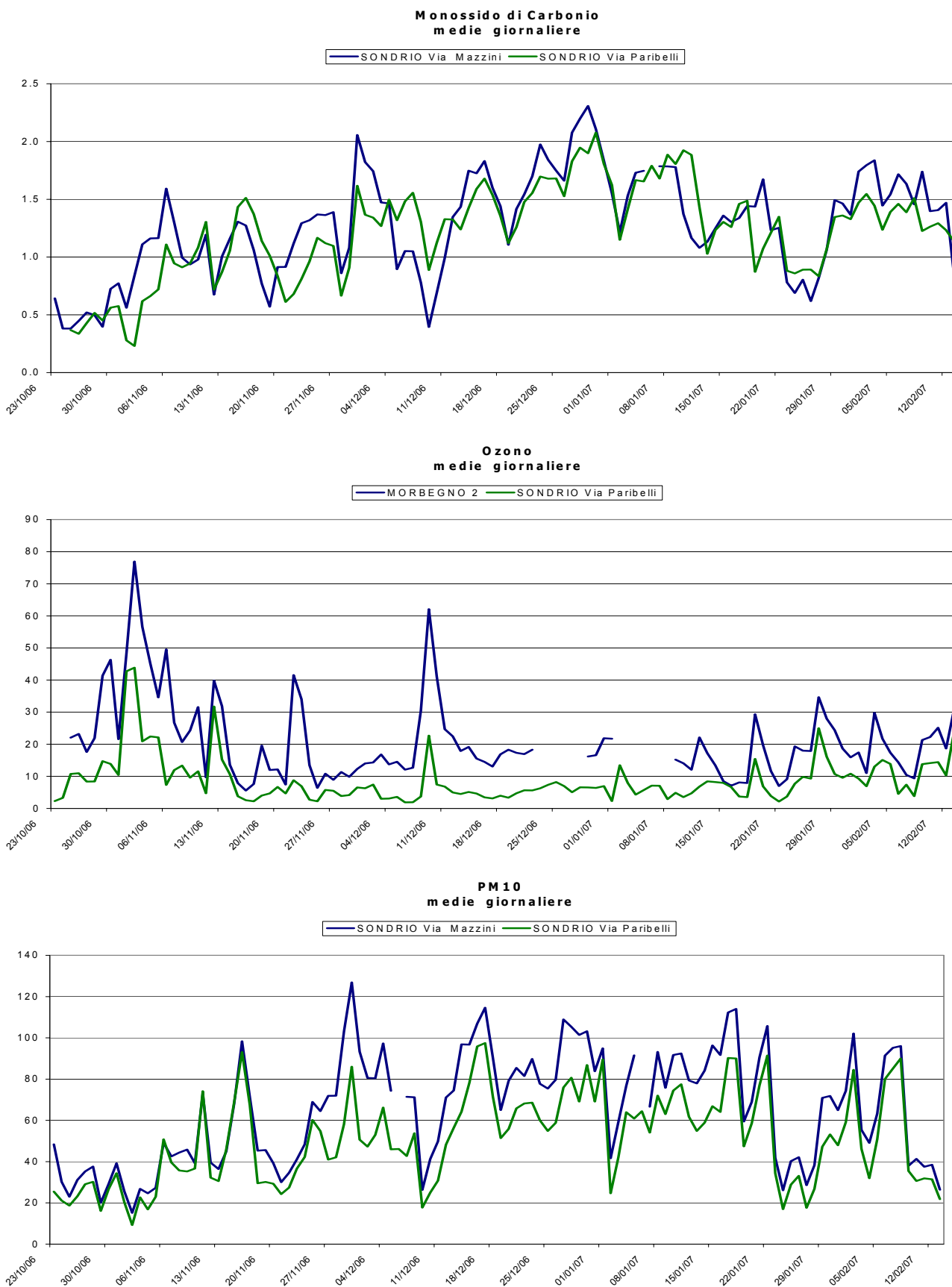


Figura 14. Confronto tra le concentrazioni medie giornaliere di CO, O<sub>3</sub> e PM10 a Sondrio in via Paribelli e in via Mazzini

	rete	Tipo zona Dec. 2001/752/CE	Tipo stazione Decisione 2001/752/CE	Quota s.l.m. (metri)	Periodo di misura
<b>Sondrio via Paribelli</b>	PUB	URBANA	FONDO	307	23/10/06 – 13/02/07
<b>Sondrio via Mazzini</b>	PUB	URBANA	FONDO	307	Stazione Fissa

Tabella 4. Caratteristiche del sito di campionamento e delle centraline fisse di confronto.

**rete:** PUB = pubblica, PRIV = privata

**tipo zona Decisione 2001/752/CE:**

- **URBANA:** centro urbano di consistenza rilevante per le emissioni atmosferiche, con più di 3000-5000 abitanti
- **SUBURBANA:** periferia di una città o area urbanizzata residenziale posta fuori dall'area urbana principale)
- **RURALE:** all'esterno di una città, ad una distanza di almeno 3 km; un piccolo centro urbano con meno di 3000-5000 abitanti è da ritenersi tale
- **NON NOTA:** sconosciuta o altro

**tipo stazione Decisione 2001/752/CE:**

- **TRAFFICO:** se la fonte principale di inquinamento è costituita dal traffico (se si trova all'interno di Zone a Traffico Limitato, è indicato tra parentesi ZTL)
- **INDUSTRIALE:** se la fonte principale di inquinamento è costituita dall'industria
- **FONDO:** misura il livello di inquinamento determinato dall'insieme delle sorgenti di emissione non localizzate nelle immediate vicinanze della stazione; può essere localizzata indifferentemente in area urbana, suburbana o rurale
- **NON NOTA:** sconosciuta o altro

## Biossido di Zolfo

	% Rend.	Media ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Dev St.	Max Media 24 h ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Nr. giorni superamento Liv. Attenzione
<i>Sondrio via Paribelli</i>	94	15	7	29	<b>0</b>
<i>Sondrio via Mazzini</i>	99	19	6	36	<b>0</b>

## Biossido di Azoto

	% Rend.	Media ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Dev St.	Max Media 1 h ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Nr. giorni superamento Valore limite
<i>Sondrio via Paribelli</i>	94	39	15	83	<b>0</b>
<i>Sondrio via Mazzini</i>	99	41	16	106	<b>0</b>

## Monossido di Carbonio

	% Rend.	Media ( $\text{mg}/\text{m}^3$ )	Dev St.	Max Media 1 h ( $\text{mg}/\text{m}^3$ )	Max Media 8 h ( $\text{mg}/\text{m}^3$ )	Nr. giorni superamento Val. lim. Prot. salute
<i>Sondrio via Paribelli</i>	94	1,2	0,6	3,2	2,6	<b>0</b>
<i>Sondrio via Mazzini</i>	97	1,3	0,6	4,1	2,1	<b>0</b>

Tabella 5. Confronto dei parametri statistici tra il sito di misura e la stazione fissa di via Mazzini per  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_2$  e  $\text{CO}$ .

Tabelle (cont.)

Ozono

	% Rend.	Media ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Dev St.	Max Media 1 h ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Nr. giorni superamento Liv. Informazione		Max Media 8 h ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Nr. giorni superamento Liv. Protezione per la Salute	
<i>Sondrio via Paribelli</i>	95	9	14	84	<b>0</b>		81	<b>0</b>	
<i>Morbegno 2</i>	85	21	16	99	<b>0</b>		87	<b>0</b>	

PM10

	% Rend.	Media ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Dev St.	Max Media 24 h ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Nr. giorni superamento Valore limite	
<i>Sondrio via Paribelli</i>	100	51	22	97	<b>58</b>	6/11; 15-17/11; 25-26/11; 29/11-1/12; 3-4/12; 8/12; 13/12-1/1; 4/1-18/1; 20-22/1; 30/1; 1-2/2; 5-8/2
<i>Sondrio via Mazzini</i>	98	65	27	127	<b>67</b>	11/11; 15-17/11; 25/11-8/12; 12/12-1/1; 3/1-22/1; 29/1-3/2; 5-8/2

Tabella 6. Confronto dei parametri statistici tra il sito di misura e la stazione fissa di via Mazzini per il PM10 e quella di Morbegno per il O<sub>3</sub>.

