

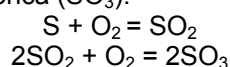
6 LA DIFFUSIONE DEGLI INQUINANTI – IL BIOSSIDO DI ZOLFO SO₂

6.1 Introduzione

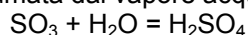
Il biossido di zolfo (SO₂) a temperatura ambiente si trova sotto forma di gas dall'odore acre e pungente.

Le fonti naturali sono rappresentate essenzialmente dalle eruzioni vulcaniche, quelle antropiche sono legate alla combustione di combustibili fossili contenenti zolfo: carbone, olio pesante. In particolare le fonti industriali sono rappresentate dalle centrali termoelettriche in cui si utilizza olio pesante o carbone come combustibile, da tutti i processi industriali che utilizzano combustibili contenenti zolfo. A livello urbano, in zone non industrializzate, la maggiore sorgente è rappresentata dal riscaldamento domestico non metanizzato, mentre il contributo dei mezzi di trasporto è trascurabile.

Dalla combustione di ogni materiale contenente zolfo si sviluppano il biossido di zolfo, chiamato anche anidride solforosa, (SO₂) e l'anidride solforica (SO₃):



La concentrazione di SO₃ è generalmente inferiore a quella di SO₂ in quanto la seconda reazione è molto lenta ed inoltre la SO₃ viene consumata dal vapore acqueo dando luogo ad acido solforico:



Gli effetti sull'ambiente sono molteplici: l'anidride solforosa provoca danni su alcuni materiali, aumentandone, ad esempio, la velocità di corrosione; il biossido di zolfo, combinandosi con il vapore acqueo, origina acido solforico (H₂SO₄), uno dei maggiori responsabili delle piogge acide. Gli ossidi di zolfo svolgono un'azione indiretta nei confronti della fascia di ozono stratosferico in quanto fungono da substrato per i clorofluorocarburi, principali responsabili del "buco" dell'ozono. Nel contempo si oppongono al fenomeno dell'effetto serra in quanto hanno la capacità di riflettere le radiazioni solari producendo un raffreddamento del pianeta. Sui metalli, sui materiali da costruzione e sulle vernici si riscontrano degli effetti corrosivi dovuti all'azione dell'acido solforico che trasforma i carbonati insolubili, presenti nei monumenti, in solfati solubili che quindi vengono trascinati via.

Le piante esposte ad alte concentrazioni, anche per tempi limitati, manifestano uno scolorimento ed un'atrofia delle foglie con conseguente necrosi.

6.2 La normativa

Il Decreto ministeriale n. 60 entrato in vigore il 28 aprile 2002, recepisce le disposizioni delle Direttive 99/30/CE e 00/69/CE e stabilisce per biossido di zolfo, i nuovi valori limite con i rispettivi margini di tolleranza. In particolare stabilisce le soglie d'allarme ed i valori limite di concentrazione per la protezione della salute umana e degli ecosistemi. Inoltre, sono ancora in vigore in via transitoria i limiti previsti dalla normativa precedente (DM 203/88 e seguenti). Nella Tabella 6-1 viene riportato un quadro riassuntivo dei valori di riferimento suddivisi per tipo di esposizione (acuta o cronica) ed in base all'oggetto della tutela (se salute umana o ecosistemi).

Tabella 6-1: limiti di concentrazione di biossido di zolfo stabiliti dalla normativa vigente.**Esposizione acuta**

| Inquinante | Tipologia | Valore | Riferimento legislativo | Scadenza |
|-----------------|---|--|-------------------------|----------|
| SO ₂ | Soglia di allarme* | 500 µg/m ³ | DM 60/02 | |
| SO ₂ | Limite orario da non superare più di 24 volte per anno civile | 1 gennaio 2002: 440 µg/m ³ 1 gennaio 2003: 410 µg/m ³ 1 gennaio 2004: 380 µg/m ³ 1 gennaio 2005: 350 µg/m ³ | DM 60/02 | |
| SO ₂ | Limite di 24 h da non superare più di 3 volte per anno civile | Dal 1 gennaio 2005: 125 µg/m ³ | DM 60/02 | |

Esposizione cronica

| | | | | |
|-----------------|--|-----------------------|---------------------------|-----------------|
| SO ₂ | Mediana delle medie giornaliere nell'arco di 1 anno (ecologico) | 80 µg/m ³ | DPCM 28/03/83 e succ.mod. | Fino 31/12/2004 |
| SO ₂ | 98° percentile delle medie giornaliere nell'arco di 1 anno (ecologico) | 250 µg/m ³ | DPCM 28/03/83 e succ.mod. | Fino 31/12/2004 |
| SO ₂ | Mediana delle medie giornaliere in inverno (01/10 – 31/03) | 130 µg/m ³ | DPCM 28/03/83 e succ.mod. | Fino 31/12/2004 |

Protezione degli ecosistemi

| | | | | |
|-----------------|--|--|----------|--|
| SO ₂ | Limite protezione ecosistemi Anno civile e inverno (01/10 – 31/03) | 20 µg/m ³ dal 19 luglio 2001 | DM 60/02 | |
|-----------------|--|--|----------|--|

6.3 Effetti sulla salute

Il biossido di zolfo è tossico per l'uomo: già alla concentrazione di 0,3 ppm (circa 0,8 mg/m³) l'SO₂ comincia a non essere più tollerabile.

L'esposizione prolungata può danneggiare la funzionalità respiratoria, soprattutto perché le fonti di SO₂ sono fonti anche di particolato aero-disperso, il quale è in grado di veicolare il biossido di zolfo fino alle vie respiratorie profonde.

Fra gli effetti acuti imputabili all'esposizione ad alti livelli di SO₂, tutti legati alla sua azione irritante, sono compresi l'aumento della resistenza al passaggio dell'aria a seguito dell'inturgidimento delle mucose delle vie aeree, l'aumento delle secrezioni mucose, bronchite, tracheite, spasmi bronchiali e/o difficoltà respiratoria negli asmatici. Fra gli effetti cronici vi sono le alterazioni della funzionalità polmonare e l'aggravamento delle bronchiti croniche, dell'asma e dell'enfisema. I gruppi più sensibili sono costituiti dagli asmatici e dai bronchitici.

6.4 Le campagne di monitoraggio

Il biossido di zolfo viene misurato dalle stazioni della rete urbana di monitoraggio della qualità dell'aria, posizionate a Piazza Bernardi, via San Giacomo, Corso Milano, Torricelle, via Roveggia e dalle stazioni della rete provinciale posizionate a Bovolone, Legnago, San Martino Buon Albergo, San Bonifacio, Villafranca.

Nel seguito la provincia verrà divisa in tre ambiti territoriali, Verona e l'area Ovest, l'area Sud, l'area Est, ed in ognuno di essi verranno analizzati gli andamenti della concentrazione di biossido di zolfo: i dati delle postazioni fisse verranno integrati con i risultati delle campagne di misura effettuate con l'unità mobile.

Nella Tabella 6-2 vengono riportate per ogni postazione fissa la mediana delle medie giornaliere ed il 98° percentile delle medie giornaliere calcolate sull'anno ecologico (1 aprile 2002 – 31 marzo 2003).

A seguito dei provvedimenti presi a livello internazionale e nazionale per diminuire le emissioni di questo inquinante al fine di ridurre le piogge acide e salvaguardare l'ambiente naturale, anche i livelli di concentrazione misurati nelle nostre zone urbane si sono molto ridotti, non si registrano superamenti dei limiti di esposizione.

In generale i livelli naturali di SO₂ sono inferiori a 5 µg/m³, mentre le concentrazioni medie annue nelle aree rurali europee sono comprese fra 5 e 25 µg/m³ (OMS 1987). Dal 1990 le medie annuali registrate nelle principali città europee sono inferiori a 50 µg/m³, mentre le medie giornaliere raramente

superano i $125 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (OMS 1999). Nelle grandi città industrializzate ed in via di sviluppo la concentrazione media annuale può variare da livelli molto bassi fino a $300 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (OMS 1998).

Tabella 6-2: mediana delle medie giornaliere e 98° percentile delle medie giornaliere delle concentrazioni di SO_2 in $\mu\text{g}/\text{m}^3$ rilevate presso le stazioni di misura della rete di qualità dell'aria di Verona e della provincia – periodo di rilevazione 1 aprile 2002 – 31 marzo 2003.

| Postazione | Mediana($\mu\text{g}/\text{m}^3$) | 98° percentile ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) |
|--------------------------|-------------------------------------|---|
| Torricelle – Verona | 3 | 12 |
| Piazza Bernardi – Verona | 4 | 13 |
| Corso Milano – Verona | 2 | 9 |
| Via San Giacomo – Verona | 5 | 14 |
| Via Roveggia – Verona | 3 | 11 |
| Villafranca | 6 | 15 |
| Bovolone | 3 | 8 |
| San Martino B.A. | 3 | 24 |
| San Bonifacio | 2 | 12 |
| Legnago | 6 | 21 |

6.4.1 La situazione a Verona, Castel d'Azzano e Villafranca

Dall'analisi dei dati medi giornalieri rilevati a Verona (Figura 6-1) si nota come la concentrazione media sia in genere al di sotto dei $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$. I valori più elevati si rilevano in via San Giacomo, via Roveggia ed in piazza Bernardi. Dall'analisi della settimana (Figura 6-2) tipo si nota un leggero aumento nei giorni centrali della settimana (mercoledì e giovedì) ed una diminuzione in corrispondenza della domenica, probabilmente legata al rallentamento delle attività produttive.

Figura 6-1: andamento delle concentrazioni medie giornaliere di SO_2 (in $\mu\text{g}/\text{m}^3$) rilevate nelle postazioni di misura situate nel comune di Verona – anno 2002.

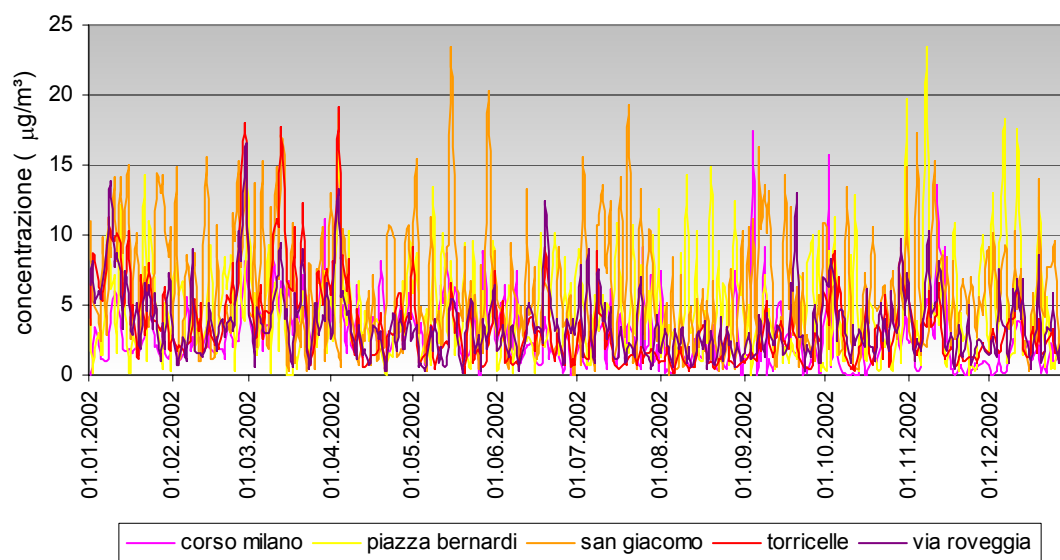
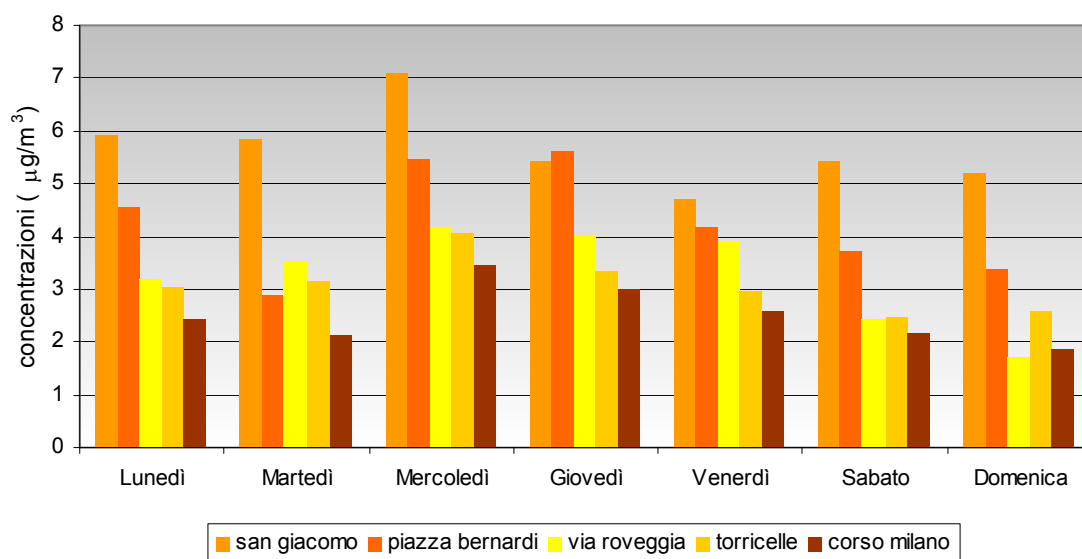
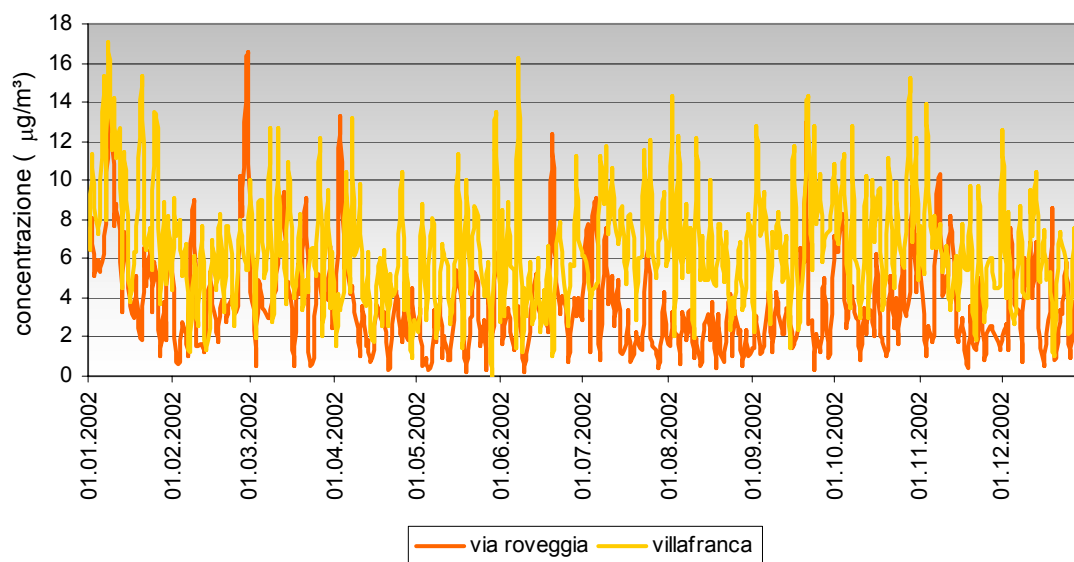


Figura 6-2: settimana tipo delle concentrazioni di SO₂ in µg/m³ misurate nell'anno 2002 presso le postazioni del comune di Verona.



In Figura 6-3 è riportato l'andamento delle concentrazioni medie giornaliere misurate a Villafranca, in zona industriale, confrontate con le concentrazioni rilevate a Verona in via Roveggia: i livelli di SO₂ risultano superiori a Villafranca in quasi tutti i periodi dell'anno. Anche dall'analisi della Figura 6-4, dove è riportato l'andamento della settimana tipo, si riscontrano concentrazioni più elevate a Villafranca, rispetto ad altri siti della provincia con l'eccezione di San Pietro in Cariano, inoltre i diversi giorni della settimana non mostrano variazioni significative delle concentrazioni rilevate.

Figura 6-3: andamento delle concentrazioni medie giornaliere di SO₂ (in µg/m³ rilevate nell'anno 2002 dalla stazione di Villafranca e di via Roveggia a Verona).



Sono state effettuate due campagne di misura con l'unità mobile a San Pietro in Cariano dal 3 luglio al 8 agosto 2002, in via Ingelheim nei pressi della strada provinciale della Valpolicella, e a Castel d'Azzano, in via Scuderlando, dal 17 dicembre 2002 al 12 gennaio 2003.

Figura 6-4: settimana tipo delle concentrazioni di SO₂ (in µg/m³) misurate nell'anno 2002 presso le postazioni di via Roveggia e Villafranca.

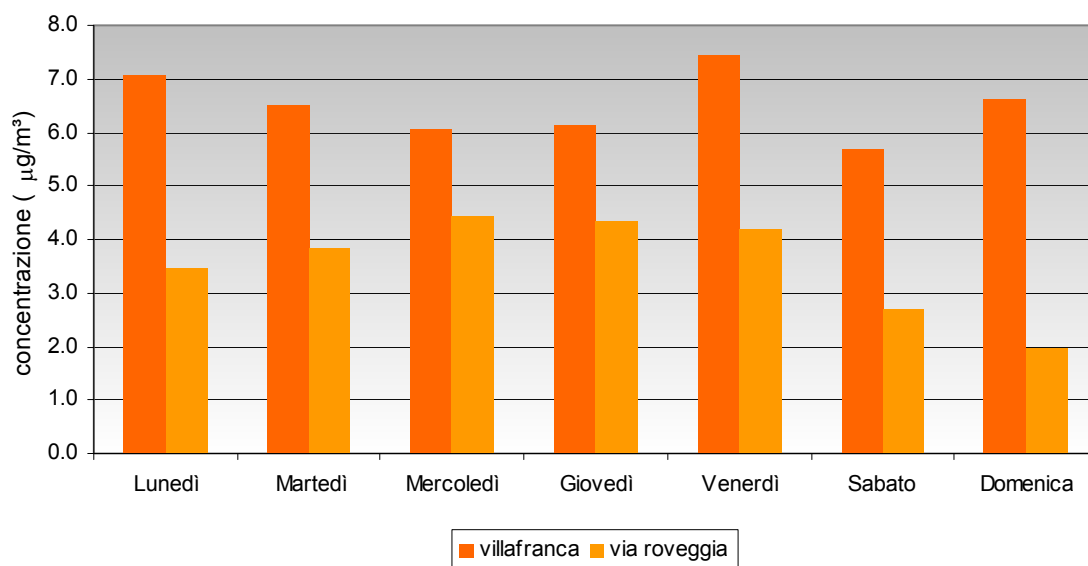
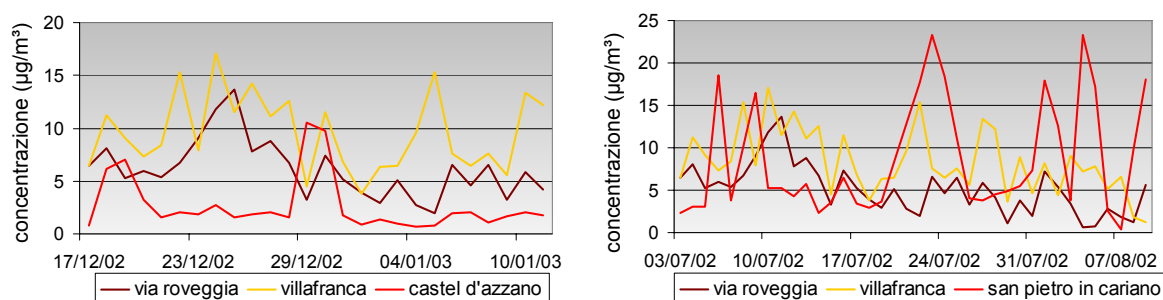


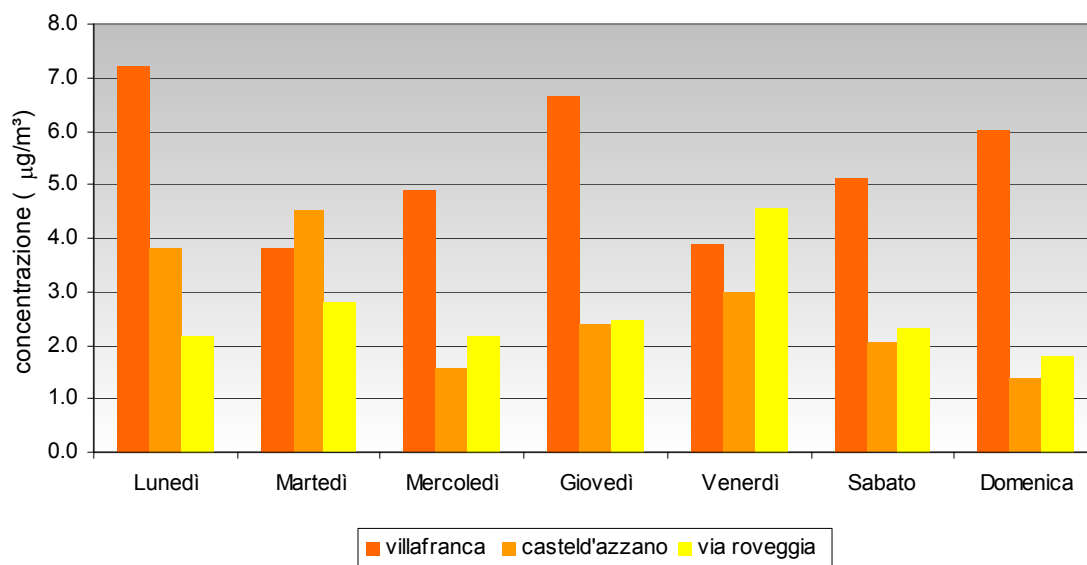
Figura 6-5: andamento delle concentrazioni medie giornaliere di SO₂ (in µg/m³) rilevate con l'unità mobile a Castel d'Azzano (grafico a sinistra) e a San Pietro in Cariano (grafico a destra), confronto con le concentrazioni rilevate nello stesso periodo dalle stazioni di misura fisse di Villafranca e di Verona via Roveggia.



Il confronto fra gli andamenti delle concentrazioni medie giornaliere (Figura 6-5) rivela dei picchi di concentrazione a San Pietro in Cariano superiori a quelli rilevati nelle altre postazioni fisse e mobili: tale andamento non può essere considerato rappresentativo di tutto l'anno, ma solo del periodo estivo.

L'unità mobile è stata in seguito posizionata nel comune di Castel d'Azzano, ai margini della zona industriale di Verona. La campagna di misura con l'unità mobile è stata condotta dal 17 dicembre 2002 al 12 gennaio 2003, quindi i dati non possono essere considerati rappresentativi di tutto l'anno, ma del solo periodo invernale. Le concentrazioni rilevate a Castel d'Azzano non sono significativamente differenti da quelle rilevate in via Roveggia (Figura 6-6) le concentrazioni medie giornaliere misurate sono riportate nei grafici di Figura 6-5 e confrontate con le concentrazioni rilevate nello stesso periodo dalle postazioni fisse.

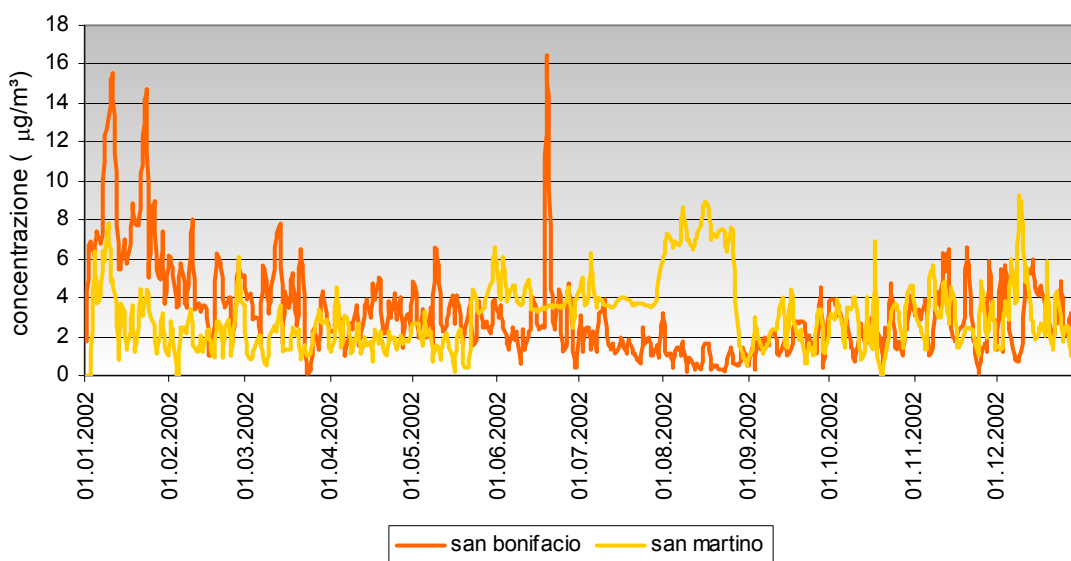
Figura 6-6: settimana tipo delle concentrazioni di SO₂ (in µg/m³) misurate nell'anno 2002 presso le postazioni fisse di via Roveggia, Villafranca e mobile di castel d'azzano (medie effettuate sul periodo 17/12/02 - 13/1/03).



La situazione ad Est – San Martino Buon Albergo, San Bonifacio, Caldiero

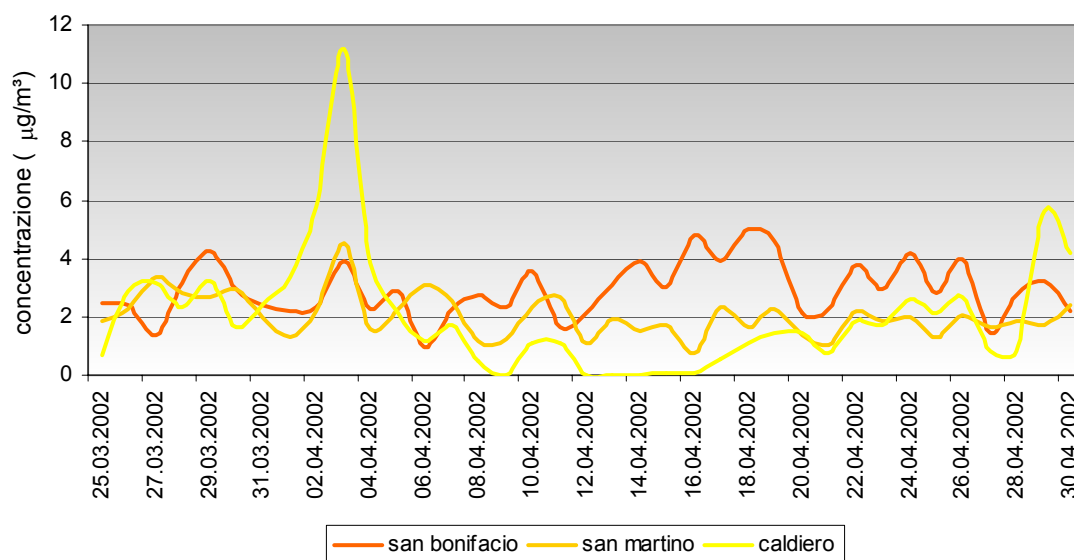
La stazione di misura di San Martino Buon Albergo si trova in località Case Nuove, non lontana dall'autostrada e dalla zona industriale di Verona Est e San Martino, quella di San Bonifacio si trova in zona residenziale, ad alta densità abitativa: i valori rilevati nel corso dell'anno 2002 non mostrano differenze significative fra le due centraline (Figura 6-7) se si eccettuano dei picchi di concentrazione più elevata rispetto alla media misurati a San Bonifacio

Figura 6-7: andamento delle concentrazioni medie giornaliere di SO₂ (in µg/m³) rilevate nell'anno 2002 dalle stazioni di San Bonifacio e San Martino Buon Albergo.



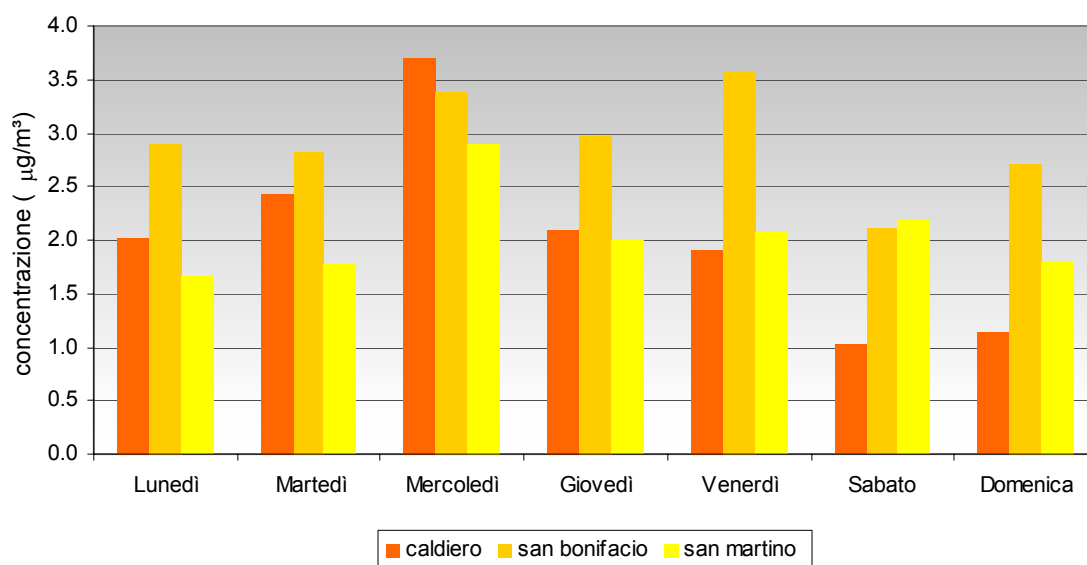
È stata effettuata una campagna di misura a Caldiero, lungo la statale 11 per la misura degli inquinanti da traffico. I risultati sono riportati in Figura 6-8: l'andamento delle concentrazioni medie giornaliere di SO₂ è simile a quello rilevato a San Bonifacio e a San Martino nello stesso periodo.

Figura 6-8: andamento delle concentrazioni medie giornaliere di SO₂ (in $\mu\text{g}/\text{m}^3$) rilevate dall'unità mobile posizionata a Caldiero dal 25 marzo al 30 aprile 2002 e dalle stazioni fisse di San Bonifacio e San Martino Buon Albergo nello stesso periodo dell'anno.



In (Figura 6-9) sono riportate le settimane tipo delle concentrazioni di SO₂ a San Martino, San Bonifacio e Caldiero: le concentrazioni sono confrontabili con quelle rilevate a Verona, più elevate durante la settimana si riducono leggermente nei giorni di sabato e domenica.

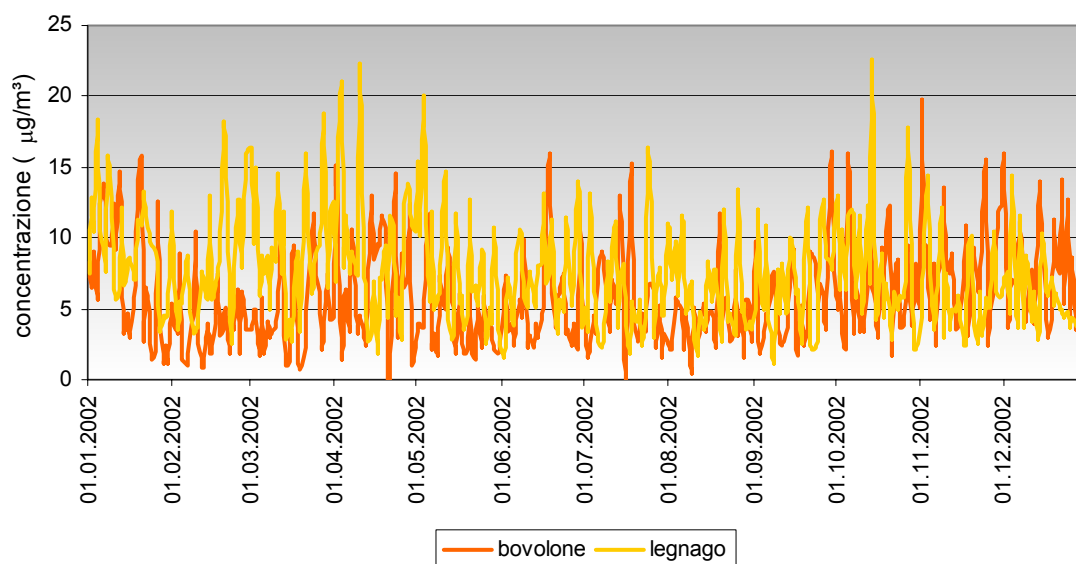
Figura 6-9: settimana tipo delle concentrazioni di SO₂ (in $\mu\text{g}/\text{m}^3$) misurate nell'anno 2002 presso le postazioni di San Bonifacio, San Martino Buon Albergo e dall'unità mobile posizionata a Caldiero in via Strà (25 marzo – 30 aprile 2002).



6.4.2 La situazione a Sud – Bovolone, Legnago, Isola della Scala, Gazzo

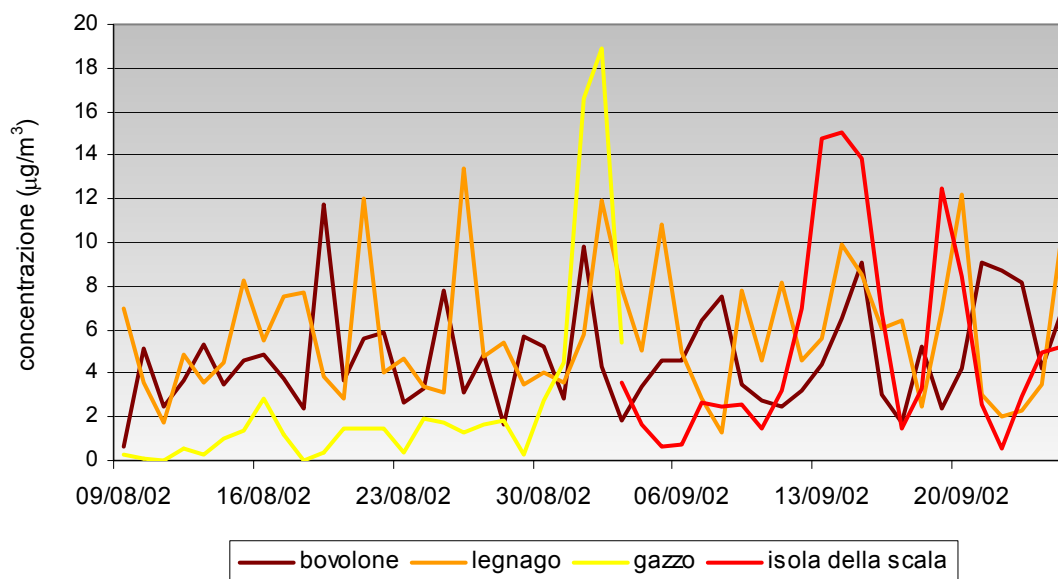
A Bovolone e a Legnago sono posizionate due centraline fisse, ambedue in zona residenziale, suburbana. Nella Figura 6-10 è riportato l'andamento delle concentrazioni medie giornaliere rilevate nell'anno 2002: a Legnago le concentrazioni sono mediamente più alte, rispetto a Bovolone, confrontabili con quelle rilevate a Villafranca ed in alcune zone di Verona.

Figura 6-10: andamento delle concentrazioni medie giornaliere di SO₂ (in µg/m³) rilevate nell'anno 2002 dalle stazioni di Bovolone e Legnago.



Sono, inoltre, state effettuate delle campagne con l'unità mobile a Gazzo Veronese e a Isola della Scala: gli andamenti giornalieri di concentrazione sono riportati in Figura 6-11. A Gazzo il mezzo mobile era posizionato in una zona rurale-artigianale ed il periodo di misura è stato caratterizzato da alcune precipitazioni: i valori di concentrazione sono in genere bassi se si eccettua un picco superiore alla media agli inizi di settembre.

Figura 6-11: andamento delle concentrazioni medie giornaliere di SO₂ (in µg/m³) rilevate dall'unità mobile posizionata a Gazzo dal 9 agosto al 3 settembre 2002 e a Isola della Scala dal 3 al 25 settembre 2002, e dalle stazioni fisse di Bovolone e Legnago nello stesso periodo dell'anno.



I valori rilevati ad Isola della Scala, in via Cavour sono confrontabili con quelli rilevati dalle postazioni fisse di Legnago e Bovolone, analogamente per quanto riguarda l'andamento della settimana tipo (Figura 6-12).

Figura 6-12: settimana tipo delle concentrazioni di SO₂ (in µg/m³) misurate nell'anno 2002 presso le postazioni di Bovolone, Legnago e dall'unità mobile posizionata a Gazzo in via Strà (9 agosto - 3 settembre 2002) e a Isola della Scala (3 - 25 settembre 2002).

