

ARPAT

Agenzia regionale per la protezione ambientale della Toscana

DIPARTIMENTO PROVINCIALE DI LUCCA

55100 LUCCA Via A. Vallisneri, 6 - Tel. 0583 958711 Fax 0583 958720

P.I. e C.F.: 04686190481

Comune di Viareggio

Rilevamento della Qualità dell'aria

Periodo 1995-2003

**Il Responsabile
del Dipartimento Arpat di Lucca
Dott. Marco Pellegrini**



Qualità dell'aria nel Comune di Viareggio

Nel comune di Viareggio è attiva dal dicembre 1994 una stazione di monitoraggio della qualità dell'aria in Largo Risorgimento. Dal 1998 è in servizio una seconda stazione ubicata in via Maroncelli. I principali inquinanti monitorati nell'area urbana sono monossido di carbonio, ossidi di azoto, anidride solforosa, PM10 ed idrocarburi metanici, ozono e non metanici. Nel corso degli anni, i dati delle stazioni sono stati integrati in più occasioni con campagne di monitoraggio effettuate con il laboratorio mobile in altre aree cittadine ed i cui risultati sono riportati in specifiche relazioni.

Si riporta di seguito una breve descrizione introduttiva degli inquinanti e della strumentazione utilizzata accompagnata da alcune considerazioni, di carattere generale, sui risultati complessivi dei rilevamenti effettuati e sulla situazione emissiva a livello provinciale che saranno maggiormente dettagliate nella parte riservata alla valutazione dei dati ottenuti.

Monossido di Carbonio

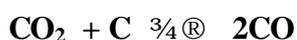
È un prodotto di ossidazione derivante normalmente da una combustione incompleta: è inodore, incolore ed insapore, di densità leggermente inferiore a quella dell'aria. Normalmente presenta una reattività piuttosto scarsa con gli altri costituenti dell'atmosfera. I meccanismi che permettono la sua formazione sono essenzialmente tre:

a) **Combustione di composti organici in carenza di O₂** che così non è presente in quantità sufficienti a garantire l'ossidazione completa del carbonio. In un processo di combustione di sostanze organiche la corrispondente ossidazione del carbonio presente avviene secondo le seguenti due reazioni consecutive:



La prima reazione è circa 10 volte più veloce della seconda: per questo motivo una eventuale carenza di ossigeno comporta la prevalenza della prima reazione rispetto alla seconda in modo tanto più accentuato quanto minore è la disponibilità dello stesso.

b) **Reazioni ad elevate temperature tra CO₂ e sostanze organiche** che avvengono tramite una serie di reazioni che schematicamente, ai fini di questa trattazione, possono essere condensate nella seguente :



La costante di equilibrio di questa reazione aumenta con la temperatura: a 450°C la percentuale di CO all'equilibrio è di circa il 2% mentre a 1000°C il tasso di CO si aggira intorno al 99%.

c) **Fenomeni di dissociazione ad alta temperatura della CO₂ :**



Questa reazione, inversa della 2a), è endotermica. In miscele in cui sia presente un eccesso di ossigeno si verifica, a titolo di esempio, che a 1750°C la percentuale di CO all'equilibrio è di circa l'1% mentre a 2000°C, ossia a temperature e condizioni simili a quelle che si creano in un motore a scoppio, sale al 5%. E' bene ricordare che la velocità di una reazione decresce esponenzialmente con il diminuire della temperatura: un brusco raffreddamento di una miscela CO/CO₂ creatasi in un processo di combustione ad elevate temperature comporta lunghi tempi di permanenza per il CO prima che essa subisca la conversione a CO₂. Si verifica così che le quantità di CO formatesi all'interno di un motore a scoppio o presenti nelle emissioni di una ciminiera, a causa del brusco raffreddamento subito dai gas di scarico al contatto con l'atmosfera esterna, permangono nell'atmosfera per lungo tempo prima di essere convertite a CO₂.

Effetti del CO sulla salute umana

Per le sue caratteristiche l'ossido di carbonio rappresenta un inquinante molto insidioso, soprattutto nei luoghi chiusi dove si può accumulare in concentrazioni letali.

Il processo di ossigenazione del corpo umano sfrutta una proteina contenuta nei globuli rossi del sangue: l'emoglobina. Normalmente nei polmoni tale molecola lega molecole di ossigeno formando l'ossiemoglobina in grado di cedere successivamente l'ossigeno così acquistato alle cellule del corpo. L'emoglobina ha però un'affinità chimica verso il CO circa 200 volte superiore a quella verso l'ossigeno. Se di conseguenza l'aria respirata contiene CO questo è in grado di fissarsi all'emoglobina (formando carbossiemoglobina) e riducendone la quantità disponibile per il trasporto dell'ossigeno in maniera tanto più accentuata quanto maggiore è la quantità di CO inspirata.

Il tasso normale di carbossiemoglobina (COHb) contenuto nel sangue dovrebbe aggirarsi intorno allo 0,5% ed è attribuibile al tasso di CO naturale dell'atmosfera derivante dai normali processi biologici naturali. Tale tasso aumenta notevolmente qualora le concentrazioni di CO atmosferico crescano, anche se occorre sottolineare che gli effetti negativi derivanti dall'inquinamento di questo particolare composto sono molto differenti se valutati su soggetti fumatori (in cui il tasso di COHb sono elevati già di per se stessi a causa del fumo inspirato) o su soggetti non fumatori.

A causa del traffico automobilistico la popolazione urbana è spesso soggetta a lunghe esposizioni a basse concentrazioni. La lenta intossicazione da ossido di carbonio prende il

nome di ossicarbonismo e si manifesta con sintomi nervosi e respiratori. Nel sangue è presente una percentuale di carbossiemoglobina che dipende dalla concentrazione di CO alla quale una persona è esposta: per ogni ppm di CO presente in aria, lo 0,16% di emoglobina viene trasformato in carbossiemoglobina; sono necessarie però alcune ore affinché si raggiunga la massima saturazione.

L'esposizione a monossido di carbonio comporta inoltre l'aggravamento delle malattie cardiovascolari, un peggioramento dello stato di salute nelle persone sane ed un aggravamento delle condizioni circolatorie in generale.

Strumentazione utilizzata

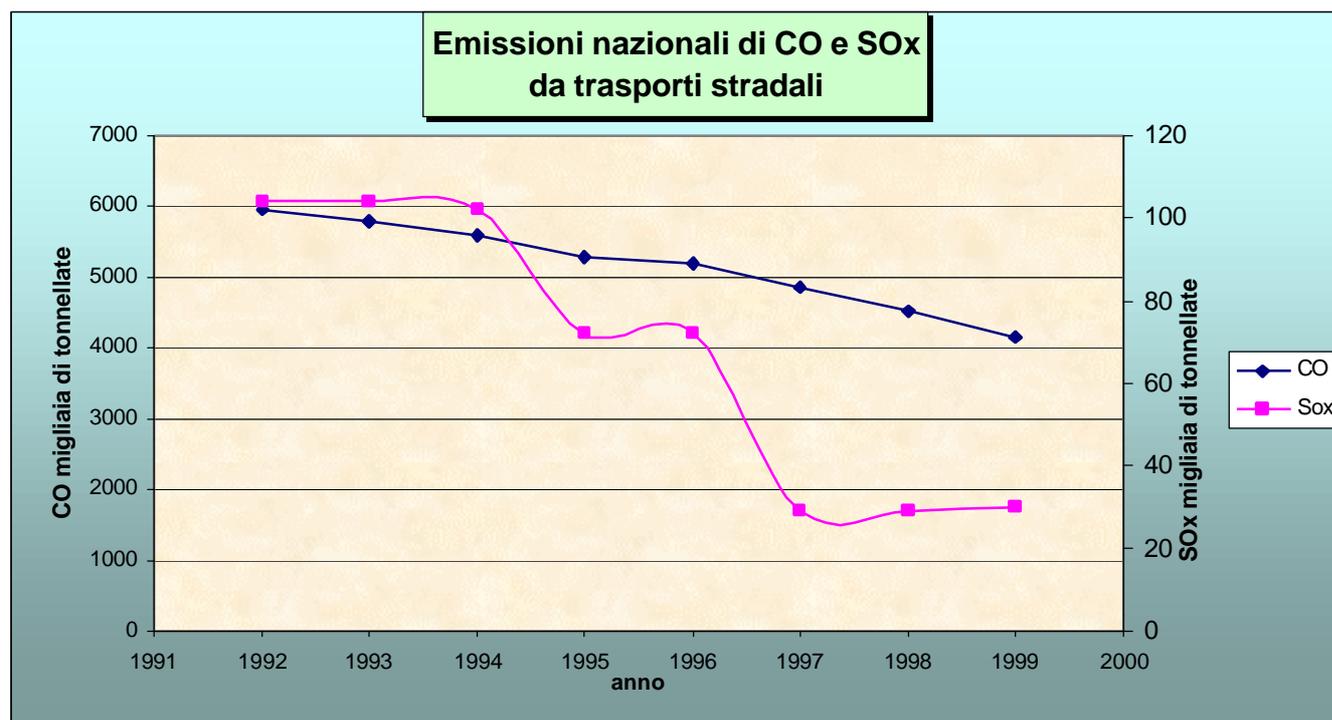
Per il monitoraggio del CO vengono utilizzati nella rete di monitoraggio analizzatori automatici MONITOR LABS mod. 9830. Si tratta di strumenti con cui si effettua la misura di tale inquinante con la tecnica di correlazione nell'infrarosso ad una lunghezza d'onda di 4,7 micron. Una emissione a larga banda emessa da una sorgente IR attraversa un disco rotante contenente due celle con funzione di filtri interferenziali gassosi. Una di queste è riempita con ossido di carbonio, l'altra con azoto. La prima è utilizzata per produrre un raggio di riferimento che non può ulteriormente essere attenuato in maniera apprezzabile dal CO presente nel campione, la seconda è invece trasparente alle radiazioni IR e quindi trasmette inalterato un raggio di misura che può essere invece assorbito dal CO presente nel campione introdotto nella cella.

Superato il disco rotante i due fasci alternati raggiungono la camera di misura dove fluisce il campione e, per mezzo di un sistema ottico di riflessione, l'attraversano più volte, per giungere infine ad un rilevatore a semiconduttore. Quest'ultimo correla gli spettri del fascio nei due casi misurandone la differenza energetica, proporzionale alla concentrazione dell'ossido di carbonio nel campione.

Considerazioni generali

I tassi di CO presenti sul territorio hanno evidenziato un chiaro trend discendente nel corso degli anni, particolarmente marcato a partire dal 1998 e diffuso su tutto il territorio provinciale in maniera sostanzialmente omogenea. Tale riduzione è interamente attribuibile al progressivo rinnovamento del parco veicolare con veicoli sottoposti a vincoli emissivi sempre più stringenti a partire in particolare dai veicoli immatricolati dal 1993. Le emissioni da CO, che hanno sempre trovato nel traffico la fonte emissiva di gran lunga preponderante nelle aree urbane, hanno subito una drastica riduzione man mano che per i veicoli di nuova immatricolazione hanno sono stati imposti limiti emissivi sempre più stringenti imposti dalle direttive europee in

materia. Il trend di riferimento a livello nazionale è quello descritto nel grafico seguente da cui si rileva una riduzione lineare nel corso degli ultimi anni delle emissioni di tale inquinante (ancora non è interrotta). A tale netta riduzione delle emissioni ha fatto seguito una riduzione altrettanto marcata delle concentrazioni rilevate nelle varie stazioni di rilevamento. Allo stato attuale, i tassi registrati sono tali da garantire il rispetto di tutti i limiti normativi di concentrazione attualmente vigenti.



Ossidi di azoto

Gli ossidi di azoto costituiscono un gruppo di 7 composti di cui rivestono particolare interesse dal punto di vista dell'inquinamento atmosferico il monossido ed il biossido (NO ed NO₂).

Il monossido di azoto è un gas incolore, inodore e poco solubile in acqua. Si produce principalmente tramite la reazione: $\text{N}_2 + \text{O}_2 \xrightarrow{3/4} 2 \text{NO}$ (in forma di N₂O₄).

Tale reazione alle basse temperature ha una costante di equilibrio talmente ridotta da non assumere alcun significato pratico, infatti pur essendo l'atmosfera composta essenzialmente di ossigeno ed azoto, le quantità di NO che si formano spontaneamente sono del tutto irrilevanti. Le quantità prodotte diventano invece sensibili a temperature superiori ai 1000°C: tale reazione assume quindi una certa rilevanza quando si viene a trattare con processi di combustione. In teoria, una volta espulsi i gas di scarico della combustione, il raffreddamento della miscela dovrebbe portare alla decomposizione del monossido in ossigeno ed azoto fino a ridurre la

concentrazione a quella, trascurabile, di equilibrio alla temperatura ambiente. In realtà, il brusco raffreddamento e la diluizione subita con l'aria rallentano la cinetica di decomposizione al punto da permetterne lunghi tempi di permanenza nell'atmosfera.

Il biossido di azoto ha invece colore rossastro ed odore pungente e soffocante e si forma principalmente per ossidazione di monossido di azoto secondo la reazione:



La quantità di NO₂ che si può formare da questa reazione aumenta al diminuire della temperatura ma è, evidentemente, proporzionale alle concentrazioni di ossigeno e monossido disponibili. Così, mentre la sua formazione è ostacolata in camera di combustione dalle alte temperature e dalla relativa scarsità di ossigeno in essa presente, dopo l'espulsione dei gas di scarico in atmosfera essa viene ostacolata dal brusco raffreddamento subito dalla miscela dei gas di scarico e dalla diluizione che questi subiscono una volta scaricati nell'atmosfera.

Il risultato di questi fattori è che, di norma, la quantità di NO₂ generata nei normali processi di combustione è di gran lunga inferiore a quella del monossido che parallelamente si produce. Tuttavia, a causa di processi fotochimici che si verificano in seguito, parte del monossido di azoto (in percentuale fortemente dipendente dalle condizioni meteorologiche) che si produce si trasforma in biossido. Giocando, in tale tipo di processi, un ruolo determinante l'intensità dell'irraggiamento solare e la temperatura, i rapporti NO/NO₂ sono pertanto significativamente più elevati nei periodi invernali piuttosto che nei periodi estivi, con notevoli escursioni anche tra le ore diurne e le ore notturne e con forti correlazioni con i tassi di ozono presenti.

A livello di tossicità vi è da dire che quella del biossido di azoto è notevolmente superiore a quella del monossido ed è probabilmente per questo motivo la normativa vigente prevede dei limiti solo per questa tipologia di inquinante.

Effetti degli ossidi di azoto sulla salute umana

L'azione sull'uomo dell'ossido di azoto è relativamente blanda; inoltre, a causa della rapida ossidazione a biossido di azoto, si fa spesso riferimento esclusivo solo a quest'ultimo inquinante, in quanto risulta molto più tossico del monossido.

Il biossido di azoto è un gas irritante per le mucose e può contribuire all'insorgere di varie alterazioni delle funzioni polmonari, bronchiti croniche, asma ed enfisema polmonare. Lunghe esposizioni anche a basse concentrazioni provocano una drastica diminuzione delle difese polmonari con conseguente aumento di rischio di affezioni alle vie respiratorie.

Gli effetti del biossido di azoto si manifestano generalmente parecchie ore dopo l'esposizione, così che spesso le persone normalmente non si rendono conto che il loro malessere è dovuto all'aria inquinata che hanno respirato.

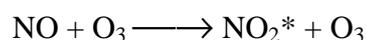
Effetti degli ossidi di azoto sull'ambiente

Nelle piante esposte per brevi periodi, a basse concentrazioni agli ossidi di azoto, si possono rilevare incrementi dei livelli di clorofilla; lunghi periodi causano invece la senescenza e la caduta delle foglie più giovani. Il meccanismo principale di aggressione comunque è costituito dall'acidificazione del suolo; gli inquinanti acidi causano, infatti, un impoverimento del terreno per la perdita di ioni calcio, magnesio, sodio e potassio e conducono alla liberazione di ioni metallici tossici per le piante. Da notare che l'abbassamento del pH compromette anche molti processi microbici del terreno, fra cui l'azotofissazione.

Gli ossidi di azoto e i loro derivati danneggiano anche edifici e monumenti, provocando un invecchiamento accelerato in molti casi irreversibile.

Strumentazione utilizzata

Gli analizzatori utilizzati sono stati in passato dei Monitor Labs mod. 9841 ora in corso di sostituzione progressiva con altri modelli di apparati rilevatori. Il principio di funzionamento di tutti gli analizzatori attualmente in commercio si basa sulla misura delle radiazioni emesse ("luminescenza") da molecole eccitate di NO₂, prodotte nella reazione fra NO e O₃ (prodotto da un apposito generatore interno) in una camera sottovuoto. Il meccanismo di reazione è il seguente :



Dove il simbolo * indica che la molecola formata si trova in uno stato energetico di eccitazione. La diseccitazione avviene tramite l'emissione di radiazioni la cui banda è compresa tra i 500 ed i 3000 nm con un'intensità massima alla lunghezza d'onda di circa 1100nm. Poiché è necessaria una molecola di NO per formarne una di NO₂ l'intensità della radiazione chemiluminescente è direttamente proporzionale alla concentrazione del campione. L'analisi avviene quindi in due stadi: il campione da analizzare viene diviso in due parti e sul primo viene analizzato direttamente l'NO presente mentre l'NO₂ del secondo viene convertito integralmente in NO mediante l'uso di un opportuno catalizzatore a base di ossidi di manganese e, di seguito, viene quantificato l'NO complessivo del campione, ottenendo così gli ossidi di

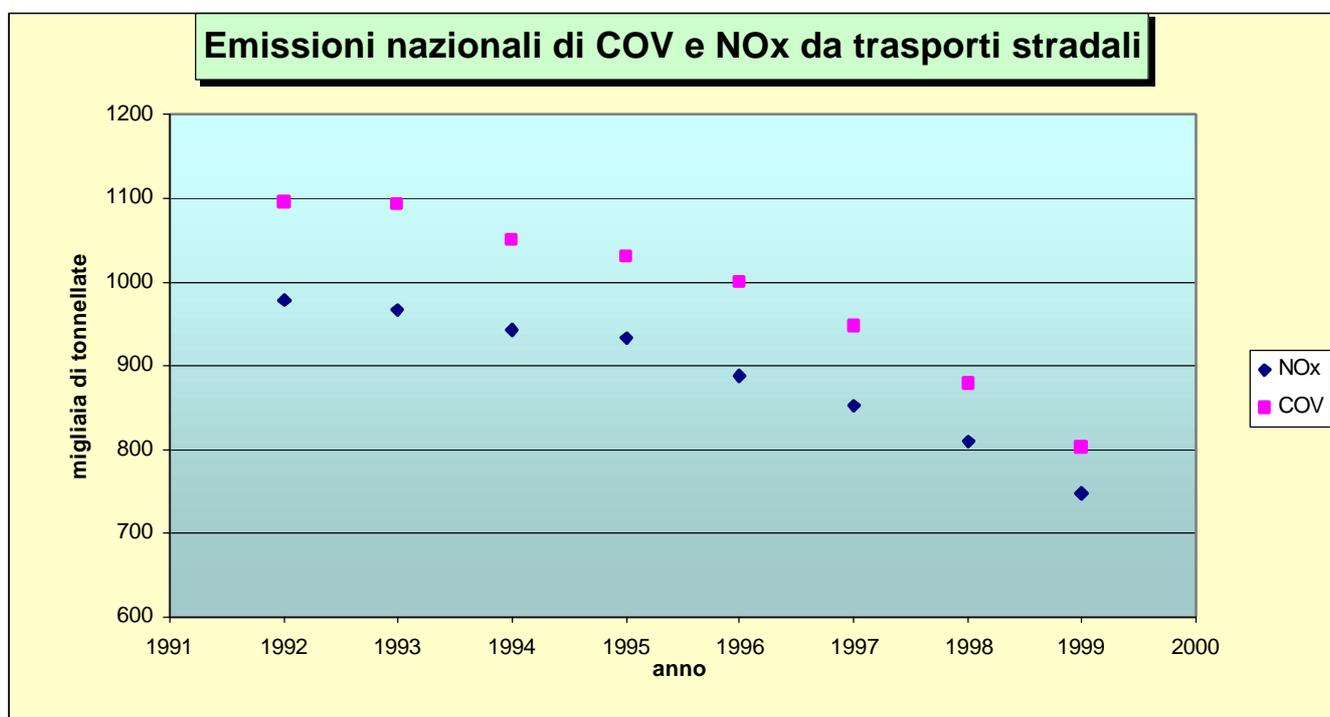
azoto totali in esso presenti. La differenza tra le due misure effettuate corrisponde al contenuto di biossido di azoto del campione stesso.

Si riportano di seguito le distribuzioni dei dati valutate negli anni di riferimento. Per questa tipologia di inquinanti non si sono mai verificati casi di mancato rispetto dei limiti prescritti. Anche per questi composti si evidenzia il fatto che le stazioni che hanno fatto comunque registrare i valori più elevati sono ancora quelle ubicate in aree soggette ai maggiori flussi di traffico.

Considerazioni generali

Sia pure con andamento differenziato rispetto al monossido di carbonio anche per questo inquinante, che comunque in passato non aveva presentato particolari problemi relativamente al rispetto dei valori fissati dalla normativa, si è assistito a una riduzione delle concentrazioni. Anche in questo caso il merito è da attribuirsi quasi esclusivamente al rinnovamento del parco veicoli circolante. L'impatto positivo sulla qualità dell'aria si è registrato meno accentuato e distribuito in maniera non del tutto uniforme sul territorio provinciali con riduzioni sensibili in talune aree, significativamente meno marcate in altre.

.



Anidride solforosa

L'anidride solforosa di origine antropogenica trova la sua origine principale nella combustione di combustibili contenenti zolfo. E' un gas incolore, più pesante dell'aria e di odore pungente e molto irritante. Fino a non molti anni fa le concentrazioni riscontrabili nelle aree urbanizzate (e nelle aree sede di grossi impianti di combustione alimentati a olio combustibile o gasolio) raggiungevano valori considerevoli, in particolare nei periodi invernali, in coincidenza con l'accensione degli impianti di riscaldamento. I tempi di permanenza di questo gas nell'atmosfera sono relativamente brevi essendo molte le reazioni chimiche in cui esso viene coinvolto. In particolare l'anidride solforosa viene facilmente ossidata ad anidride solforica dando successivamente origine, a contatto con il vapor acqueo atmosferico, alla formazione di acido solforico, uno dei principali costituenti delle cosiddette "piogge acide". Essendo inoltre la sua presenza legata direttamente alle quantità di combustibile utilizzato (e quindi indice delle attività antropogeniche) è stata considerata per molti anni un significativo parametro di valutazione della qualità dell'aria.

Con l'avvento dei combustibili liquidi a bassi tassi di zolfo e la sempre maggiore diffusione del metano in parziale sostituzione di questi, i tassi di anidride solforica sono drasticamente calati, raggiungendo in ampie zone valori del tutto trascurabili. Nella Provincia di Lucca, ad esempio, in tutte le zone monitorate le concentrazioni di SO₂ sono risultate, per tutto il periodo finora monitorato e con l'eccezione di qualche raro episodio isolato, talmente basse da essere ai limiti della rilevabilità strumentale per gran parte dell'anno.

Effetti di SO₂ sulla salute umana

Per l'elevata solubilità in acqua il biossido di zolfo viene facilmente assorbito dalle mucose del naso e del tratto superiore dell'apparato respiratorio (questo rappresenta una fortuna dato che solo quantità molto ridotte possono raggiungere gli alveoli polmonari). L'alta reattività lo rende un composto estremamente irritante. E' stato comunque notato un effetto sinergico con le polveri sospese per la capacità che queste hanno di veicolare gli inquinanti nelle zone più profonde dell'apparato respiratorio.

A basse concentrazioni gli effetti del biossido di zolfo sono principalmente legati a patologie dell'apparato respiratorio come bronchiti, asma e tracheiti e ad irritazioni della pelle, degli occhi e delle mucose.

Effetti di SO₂ sull'ambiente

L'azione principale operata ai danni dell'ambiente da parte degli ossidi di zolfo consiste nell'acidificazione delle precipitazioni meteorologiche, con la conseguente compromissione dell'equilibrio degli ecosistemi interessati. Gli effetti corrosivi dell'acido solforico si riscontrano anche sui materiali da costruzione, sui metalli e sulle vernici. L'acido solforico trasforma i carbonati insolubili dei monumenti e delle opere d'arte in solfati solubili che vengono dilavati per azione della pioggia.

Il biossido di zolfo a basse concentrazioni provoca un rallentamento nella crescita delle piante, mentre ad alte concentrazioni ne provoca la morte alterandone la fisiologia in modo irreparabile. Nelle foglie il biossido di zolfo viene trasformato in acido solforoso e solfiti, da questi, per ossidazione, si generano i solfati (la forma in cui lo zolfo viene metabolizzato nelle piante). Quando il livello di anidride solforosa nell'aria diviene insostenibile, nelle foglie si accumulano inutilizzati i solfiti che ad alta concentrazione causano la distruzione della clorofilla, il collasso delle cellule e la necrosi dei tessuti.

Strumentazione utilizzata

Gli analizzatori utilizzati sono dei MONITOR LABS 9850 il cui principio di funzionamento si basa sull'eccitazione delle molecole di SO₂ per mezzo di radiazioni nel lontano UV (190 - 230 nm) e sulla misura della fluorescenza risultante. Una radiazione UV interrotta ciclicamente attraversa la cella di misura nella quale fluisce il campione in esame mentre un rivelatore di riferimento è inserito nel percorso della radiazione ai fini di correggere automaticamente la risposta per le variazioni di intensità della sorgente UV. L'emissione secondaria (fluorescenza) viene misurata da un fotomoltiplicatore accordato otticamente nel campo della lunghezza d'onda della fluorescenza SO₂. Le operazioni di taratura dello strumento vengono effettuate sfruttando un campione a concentrazione nota generato grazie alla presenza di un tubo a permeazione interno allo strumento.

Ozono

L'ozono, di formula chimica O₃, è un gas di colore azzurrino presente in elevate concentrazioni nella stratosfera, in particolar modo ad altezze comprese tra i 15 ed i 40 Km. Qui si forma principalmente da reazioni che prendono il via dalla dissociazione dell'ossigeno atmosferico, causata dalle radiazioni ultraviolette solari. La presenza di ozono a queste quote è essenziale per la vita sulla terra in quanto le molecole di questa sostanza sono in grado di assorbire le radiazioni ultraviolette a maggior energia dello spettro solare. Tali radiazioni avrebbero, se non

assorbite, gravissimi effetti mutageni sui tessuti viventi di piante ed animali; basti ricordare che aumenti anche limitati della quantità di raggi UV che giungano sulla superficie del pianeta possono causare aumenti abnormi dei casi di cancro alla pelle. E' interessante notare che l'ordine di grandezza della concentrazione di ozono alla quota di 20 Km è di $400 \mu\text{g}/\text{m}^3$, che corrisponde alla concentrazione che viene definita di allarme nei centri urbani (ma l'ozono a basse quote viene inspirato e viene a contatto con gli alveoli polmonari, quello stratosferico evidentemente no...). Nella stratosfera quindi tale presenza, lungi dall'essere dannosa, è invece indispensabile per la vita umana, al punto che uno dei maggiori problemi ecologici attuali è legato all'immissione nell'atmosfera di sostanze (le più note sono i cosiddetti CFC) il cui effetto è quello di interagire con l'ozono stratosferico, distruggendolo e determinando un graduale assottigliamento della fascia protettiva di cui viene di conseguenza ridotto il potere filtrante. Questo fenomeno non si manifesta in modo uniforme in tutta la stratosfera, ma si presenta in modo particolare in determinate aree, soprattutto sopra la regione antartica.

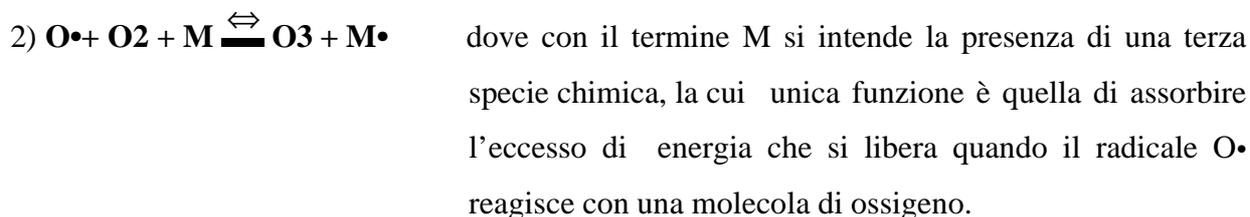
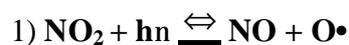
Questa sostanza ha effetti tossici sugli organismi viventi. Introdotto nel tratto respiratorio può infatti danneggiare i tessuti polmonari. La quantificazione dei danni causati sugli esseri umani non è ancora ben definita, è certo comunque che bambini, soggetti asmatici e persone sottoposte a sforzi fisici intensi possono soffrire di problemi respiratori in presenza di elevate concentrazioni di tali inquinante. Effetti negativi vengono esercitati pure sulla vegetazione, questa sostanza viene infatti assorbita dalle piante a livello fogliare, esercitando una azione dannosa sul loro metabolismo: secondo alcune stime la riduzione della produzione agricola europea dovuta alla presenza di ozono si aggira su valori prossimi al 10%. Effetti dannosi si esplicano pure su una ampia gamma di materiali, la cui durata viene sensibilmente ridotta dall'esposizione prolungata ad elevati tassi di questo inquinante.

La sua presenza nella troposfera è attribuibile a due meccanismi distinti ed indipendenti tra loro:

- a) Trasporto verso il basso di aria stratosferica ricca di ozono che si verifica in particolari situazioni meteorologiche.
- b) Produzione diretta per reazioni chimiche di altri composti, detti precursori, catalizzate generalmente dalle radiazioni solari.

Sul primo di questi fenomeni non hanno evidentemente influenza le attività umane, che influenzano invece notevolmente il secondo. La relativa produzione chimica, che già avviene per cause naturali, può essere infatti incrementata in larga misura dall'immissione in atmosfera di inquinanti antropici. Il meccanismo di produzione principale è costituito da una serie di reazioni in cui giocano un ruolo fondamentale gli ossidi di azoto. Gran parte della produzione

di ozono ha infatti inizio in genere dalla fotolisi del biossido di azoto secondo il ciclo di reazioni:



Il ciclo descritto è di per sé un ciclo chiuso che tenderebbe a stabilizzarsi portando nel complesso ad una concentrazione all'equilibrio di O₃ relativamente bassa, in quanto questa verrebbe limitata dalla reazione 3). Si è verificato infatti che, in assenza di sostanze interferenti col ciclo descritto, si raggiunge uno stato stazionario nel quale la concentrazione di equilibrio è determinata dal rapporto tra processi di produzione e di rimozione secondo l'equazione :

$$\underline{[O_3]} = K \times \frac{[NO_2]}{[NO]}$$

In realtà tale equilibrio può essere alterato dalla presenza di idrocarburi o di altre specie chimiche quali ad esempio il radicale OH \cdot , in grado di interagire con il monossido di azoto, inibendone così il ruolo di moderatore nei confronti dell'ozono.

L'inquinante prodotto nel corso di questi processi può essere rimosso, almeno parzialmente, grazie ad una serie abbastanza ampia di meccanismi che vanno da processi di deposizione al suolo, a processi di rimozione chimica, a meccanismi di trasporto verso gli strati alti dell'atmosfera. Di particolare importanza, essendo questa sostanza fortemente ossidante e quindi in grado di interagire con un gran numero di composti presenti nell'aria e nel suolo, sono i processi di rimozione chimica. A questo riguardo un ruolo notevole può essere giocato dalla vegetazione nelle aree più verdi. La vegetazione gioca infatti un duplice ruolo sul bilancio di ozono: può infatti contribuire alla sua formazione in quanto sorgente di idrocarburi (derivanti dai processi di decomposizione organica) oppure fungere da elemento limitante mediante processi di ossidazione al suolo derivanti dal contatto tra questo inquinante ed i tessuti vegetali. L'insieme dei processi di produzione e di rimozione è quindi estremamente variegato e complesso e per di più influenzato in modo determinante dalle variabili meteorologiche quali l'irraggiamento solare, la temperatura dell'aria, la direzione e velocità del vento, le condizioni di stabilità atmosferica e l'altezza dello strato di rimescolamento. In modo particolare, l'energia necessaria per attivare i processi fotochimici è fornita dall'irraggiamento solare mentre la

cinetica delle reazioni sopra descritte è strettamente correlata alla temperatura ambientale: per questi motivi l'inquinamento da ozono è un fenomeno che raggiunge i suoi apici nel periodo estivo.

I tempi di formazione dell'inquinante oscillano in un intervallo variabile da poche ore ad alcuni giorni. In questo periodo i precursori vengono trasportati dalle correnti d'aria e si rimescolano con le masse d'aria (e quindi anche con i precursori in esse contenute) circostanti. Questi fenomeni di trasporto fanno sì che i precursori originati da sorgenti diverse possano rimescolarsi anche a grandi distanze dai loro punti di emissione, provocando la formazione di ozono in aree che, al limite, potrebbero non aver nulla a che fare con la loro formazione. Questo meccanismo spiega il motivo per cui spesso i picchi in concentrazione non si verificano nei pressi delle sorgenti di precursori, ma a distanze che possono giungere a decine, se non centinaia, di chilometri. Inoltre si deve tener conto che l'ozono che si forma nelle adiacenze dei punti di emissione dei precursori è in parte abbattuto dal monossido di azoto prodotto dai processi di combustione che generalmente si accompagnano alla loro formazione. Si è verificato a questo proposito che in vicinanza di estese sorgenti di NO, quali ad esempio strade trafficate, le differenze di concentrazioni di NO₂ e O₃ misurate sottovento e sopravvento sono all'incirca uguali come valore, ma opposte in segno, indicando che parte dell'ozono trasportato oltre la strada dal vento viene rimosso grazie alla presenza di NO a sua volta convertito ad NO₂. Questo insieme di fenomeni fa sì che spesso i relativi casi di inquinamento acuto non si verificano in generale nelle zone produttrici di inquinanti precursori ma a distanze, anche notevoli, poste sottovento delle stesse. Tale stato di fatto rende complessa la predisposizione di piani che possano ridurre questa tipologia di inquinamento. Non è infatti sufficiente predisporre interventi su scala cittadina o provinciale, ma è necessario intervenire prendendo come riferimento aree più ampie, la cui estensione è fortemente correlata dall'orografia del territorio in esame. Una parte non irrilevante della presenza di ozono, inoltre, è sicuramente rapportabile ad una scala transfrontaliera e per incidere su di essi risultano pertanto necessari interventi coordinati tra governi diversi.

I provvedimenti più efficaci che possono essere suggeriti a livello di autorità locale devono quindi orientarsi verso la tutela sanitaria della popolazione coinvolta raccomandando l'adozione degli accorgimenti necessari per ridurre al minimo l'esposizione delle persone maggiormente a rischio, tra i quali ad esempio la permanenza in ambienti chiusi nelle ore più calde della giornata (dove la concentrazione di ozono è di norma sensibilmente più bassa di quella esterna).

Strumentazione utilizzata

Gli analizzatori utilizzati sono MONITOR LABS mod. 9811. L'analizzatore rileva le concentrazioni di ozono misurando l'assorbimento di una radiazione ultravioletta a 254 nm. Ogni 10 secondi l'analizzatore effettua un ciclo analitico facendo fluire attraverso la camera di misura prima l'aria campione e successivamente aria esente da ozono (l'aria di "zero" viene ottenuta tramite l'uso di uno scrubber al biossido di manganese in grado di distruggere tutto l'ozono presente nel campione atmosferico). Un fotometro misura alternativamente l'assorbimento UV del campione atmosferico e quello dell'aria di zero, il microprocessore dell'analizzatore elabora poi i dati e, risolvendo l'equazione di Lambert-Beer, calcola il valore di concentrazione del campione. La taratura dello strumento viene effettuata normalmente utilizzando un generatore interno di ozono che fornisce un campione a concentrazione controllata.

Idrocarburi non metanici

Sono compresi sotto questo nome tutti i composti formati essenzialmente da idrogeno e carbonio. I composti organici che si possono ritrovare nell'atmosfera sono estremamente numerosi e ad alcuni di questi possono essere attribuiti effetti dannosi per la salute umana diretti (ad esempio ai composti aromatici); gli effetti negativi di altri sono invece da associarsi a possibili reazioni principalmente di tipo fotochimico, a causa delle quali possono innescarsi meccanismi in grado di portare alla produzione di composti molto più tossici di quelli originali. Poichè l'idrocarburo presente nelle quantità di gran lunga più rilevanti, il metano, non è coinvolto in modo significativo in reazioni fotochimiche e non è considerato un agente inquinante pericoloso, nella pratica comune gli analizzatori automatici utilizzati funzionano separando la componente metanica di questa classe di composti e valutando la concentrazione complessiva di tutti gli altri idrocarburi. La ricerca di specifici inquinanti è lasciata a campagne di monitoraggio mirate.

Per questa classe di composti, decaduti con l'entrata in vigore delle normative di recepimento delle direttive europee in materia di qualità dell'aria, non sono previsti specifici normativi che fanno invece riferimento a specifici composti organici (in particolare benzene). Non si sono finora evidenziati particolari trend in funzione del tempo. I valori di gran lunga più rilevanti, anche in questo caso, si sono riscontrati nelle stazioni situate nelle aree soggette ai maggiori flussi veicolari.

Strumentazione utilizzata

L'analizzatore utilizzato in questo caso è l'R-526-RANCON. Il principio di funzionamento si basa sulla tecnica della rilevazione a ionizzazione di fiamma (FID). Quello che viene rilevato in questo strumento è l'aumento di intensità della corrente ionica in una fiamma di idrogeno quando è introdotta aria contenente composti organici. La risposta ottenuta è approssimativamente proporzionale al numero di atomi di carbonio con legami organici, per cui il rilevatore funziona in un certo senso come contatore di atomi di carbonio. La separazione del metano dagli altri composti viene ottenuta utilizzando una colonna gascromatografica.

Il campione prelevato viene suddiviso in due, la prima aliquota ottenuta in questo modo passa attraverso la colonna gascromatografica e di essa si analizza la componente metanica, la seconda aliquota viene inviata direttamente al rilevatore per ottenere la misura della quantità di idrocarburi totali (THC). La differenza tra i due valori misurati permette la valutazione della quantità di idrocarburi non metanici (NMHC) presenti.

Ad ogni ciclo di misura l'analizzatore procede ad effettuare un azzeramento elettronico del segnale del rilevatore.

Al servizio dell'analizzatore vi sono un generatore di idrogeno destinato ad alimentare la fiamma ed un fornello utilizzato per produrre aria esente da idrocarburi.

Particolato sospeso (PM10)

Oltre agli inquinanti gassosi propriamente detti, nell'atmosfera sono presenti anche microscopiche goccioline liquide o piccole particelle solide a cui viene dato complessivamente il nome di particolato atmosferico. Con questo termine vengono quindi indicate tutte le particelle solide o liquide disperse nell'atmosfera quali, ad esempio, polvere, ceneri e pollini. La provenienza di questi inquinanti è da attribuirsi principalmente a trasporti, centrali termoelettriche, industrie e, nei periodi invernali agli impianti termici civili. Come fonte di emissione, negli ambienti urbani assume una grossa rilevanza, sia per gli aspetti quantitativi che per quelli sanitari, il traffico veicolare.

Le dimensioni del particolato sospeso sono molto variabili e vanno dal millesimo di micron a qualche millimetro; nelle aree urbane generalmente tali dimensioni spaziano tra gli 0,01 e i 100 μm di diametro. Ovviamente le dimensioni influenzano notevolmente i tempi di permanenza nell'atmosfera delle particelle, poiché le particelle di maggiori dimensioni tendono a ricadere al suolo più velocemente di quelle a dimensioni ridotte. I meccanismi di deposizione sono comunque molteplici e non riconducibili di norma a semplici considerazioni sulle dimensioni e

su di essi influiscono in maniera rilevante una serie di parametri meteorologici, quali la natura dei venti e la piovosità.

Il corpo umano ha una serie di difese, principalmente meccaniche, per impedire che queste sostanze penetrino nell'organismo: le particelle di dimensioni superiori ai 10 µm vengono bloccate nel naso, dal muco che riveste l'apparato respiratorio e dalle ciglia che lo ricoprono. Solo le particelle di dimensioni più ridotte riescono a giungere fino agli alveoli polmonari, in particolare le particelle di dimensioni inferiori ai 2,5 µm. Gli effetti sulla salute umana sono fortemente legati alle caratteristiche chimico-fisiche della polvere inalata, potendo questa agire sia direttamente (per effetto delle sostanze minerali che vengono ad accumularsi nei polmoni), sia fungendo da veicolo di sostanze aerodisperse in grado di associarsi alle particelle solide con meccanismi di assorbimento e/o adsorbimento che ne consentono la concentrazione ed il successivo contatto con gli strati più profondi dell'apparato respiratorio. In particolare l'associazione tra polveri ed ossidi di zolfo può provocare l'insorgere di fenomeni morbosi provocati da un effetto sinergico collegato all'abbinamento di queste due tipologie di sostanze.

Strumentazione utilizzata

Gli analizzatori utilizzati nelle stazioni del comune sono del tipo ELECOS APM1 (stazione di Largo Risorgimento) o Environnement MP101 (stazione di via Maroncelli). La valutazione delle polveri ambientali è basata sull'assorbimento di radiazioni β, emesse da una sorgente radioattiva costituita da un foglio di metil-metacrilato contenente in sospensione il radioisotopo C¹⁴, un emettitore puro di radiazioni β che attraversano la membrana su cui si raccoglie la polvere filtrata durante il campionamento (di durata 24h). La parte di radiazioni trasmessa viene letta da un rilevatore geiger a finestra sottile. La differenza tra la lettura effettuata, all'inizio di ciascun ciclo di campionamento, sulla membrana (senza ancora alcuna deposizione di particolato) e la lettura di fine ciclo è proporzionale alla quantità di polvere depositata.

La massa depositata sulla membrana viene calcolata come:

$$m = Km \times \ln \frac{N_0}{N_1}$$

dove N₀ è il numero di conteggi effettuato sul "bianco" ed N₁ il numero di conteggi effettuato sul campione al termine del ciclo di monitoraggio. K_m è un valore che può essere considerato con buona approssimazione una costante essenzialmente indipendente dalla natura chimica del particolato ma funzione della superficie di deposito del campione. L'assorbimento di radiazioni

β da parte della materia dipende infatti principalmente dal rapporto tra massa atomica e numero atomico; nella maggior parte dei casi, non si discosta molto dal valore 2.

Considerazioni generali

La presenza di polveri sul territorio non ha evidenziato precisi trends temporali. I valori riscontrati si sono sempre attestati su valori mediamente elevati, in più occasioni superiori ai valori di riferimento normativi.

Per questo inquinante non sembra si siano registrati particolari benefici dal rinnovamento per parco veicoli e le variazioni registrate sono attribuibili essenzialmente alle variazioni delle condizioni metereologiche (in particolare, oltre alla stagionalità, venti e piogge).

Attualmente la presenza di polveri costituisce a livello generale la problematica di maggior rilievo a livello di qualità dell'aria sia a livello provinciale che a livello regionale, in particolare nelle aree a maggior tasso di urbanizzazione.

Si riportano di seguito i risultati dei rilevamenti effettuati nell'area cittadina nel corso degli anni.

Monossido di carbonio

In passato questo inquinante ha evidenziato notevoli problematiche per quanto riguarda il rispetto dei valori di riferimento della qualità dell'aria. Nel periodo di attività della rete di monitoraggio si sono verificati in più occasioni i superamenti dei limite previsti nella stazione di Largo Risorgimento, situata in un'area soggetta ad elevatissimi flussi veicolari in quanto costituisce una delle principali vie d'accesso alla città.

Si riportano di seguito le distribuzioni dei valori registrati, per ciascun anno, nelle stazioni della rete ubicate sul territorio cittadino. Le frequenze indicate corrispondono alle percentuali dei dati che superano i valori di riferimento riportati. Nel corso degli anni il monitoraggio della qualità dell'aria è stato integrato in più occasioni con campagne di monitoraggio nell'area urbana effettuate con il laboratorio mobile o altre metodiche. Si riportano, i risultati sintetici di due di tali campagne, ritenute significative anche ai fini di un confronto con le aree monitorate con le stazioni fisse..

Stazione di L.rgo Risorgimento: Monossido di Carbonio

ANNO	n° dati	Media annuale (mg/m ³)	massimo annuale (mg/m ³)	Frequenza di superamento dei valori di riferimento (mg/m ³)				
				2.5	5	7.5	10	15
1995	8115	3.0	28.8	51.5	13.8	5.7	2.4	0.5
1996	8164	2.7	29.1	43.8	11.3	4.4	1.8	0.3
1997	7366	2.9	23.8	46.5	13.4	5.6	2.4	0.3
1998	7774	2.6	28.4	39.3	11.4	4.4	1.7	0.4
1999	7248	2.2	18.3	32.0	7.4	2.6	1.0	0.1
2000	1438	Ns	15.9	Ns	Ns	Ns	Ns	Ns
2001	6943	1.7	11.5	18.1	2.5	0.02	0.01	0.0
2002	6787	2.1	12.7	26.9	5.0	0.7	0.1	0.0
2003	7638	2.0	13,3	25,9	3,6	0,6	0,12	0,00

Stazione di via Maroncelli: Monossido di Carbonio

ANNO	n° dati	Media annuale (mg/m ³)	massimo annuale (mg/m ³)	Frequenza di superamento dei valori di riferimento (mg/m ³)				
				2.5	5	7.5	10	15
1999 ¹	2032	ns	8.1	10.0	1.0	0.1	0.0	0.0
2000 ²	5441	0.8	7.1	2.4	0.1	0.0	0.0	0.0
2001	7705	0.8	6.2	2.4	0.1	0.0	0.0	0.0
2002	6098	0.8	5.9	4.2	0.1	0.0	0.0	0.0
2003	6829	0,6	6,4	3,1	0,1	0,0	0,00	0,00

Rilevamento del Laboratorio Mobile del periodo 9/2/98 - 27/2/98, via Pistoia c/o scuola elementare, inquinante CO

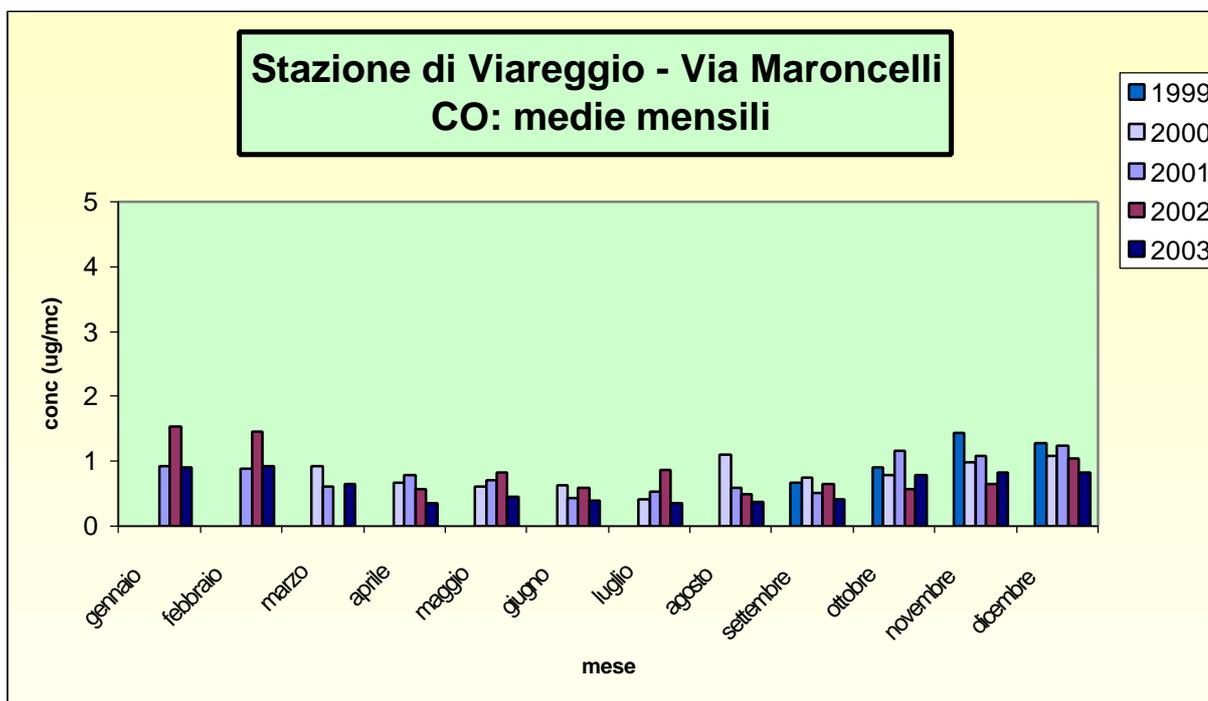
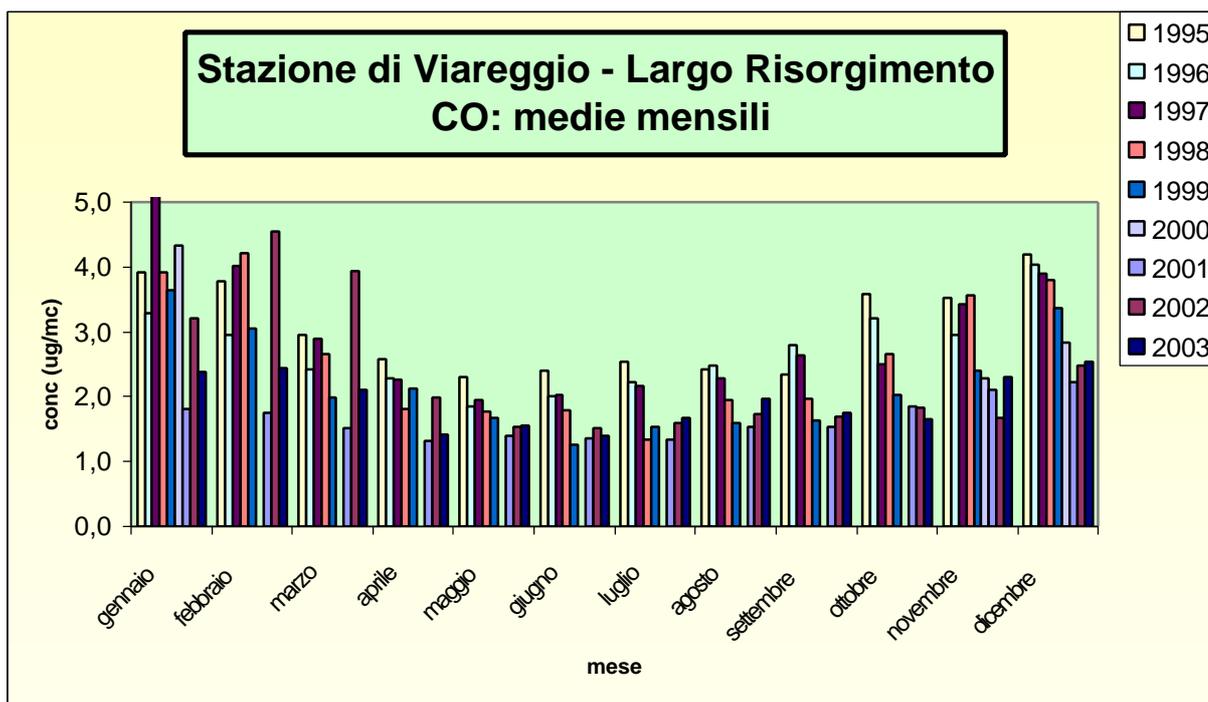
Giorno	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27
Media giornaliera	1.9	2.9	2.9	2.4	2.2	1.5	1.8	1.7	1.5	2.0	2.2	2.2	2.5	1.2	2.0	2.1	2.4	1.9	2.1
Max giornaliero	3.8	7.8	6.7	6.2	6.7	3.7	5.4	4.7	3.9	7.3	6.9	7.6	6.2	2.7	3.9	5.7	7.4	3.7	3.4

Rilevamento presso la stazione di Largo Risorgimento del periodo 9/2/98 - 27/2/98 inquinante CO

Giorno	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27
Media giornaliera	4.6	Nd	7.1	4.8	5.0	3.5	3.0	3.7	3.6	5.1	5.5	4.7	5.7	3.4	3.7	2.5	2.5	3.0	4.9
Max giornaliero	15.6	Nd	20.8	10.9	14.2	6.9	7.0	7.2	10.2	20.2	15.2	10.0	10.6	6.0	10.2	8.0	8.7	7.7	14.5

¹ Periodo settembre - dicembre

² Periodo marzo - dicembre



Gli andamenti registrati nel corso degli anni nella stazione di Largo Risorgimento, per cui esiste un ampio riferimento temporale, evidenziano una significativa riduzione nel tempo, al di là di episodi occasionali correlabili a condizioni meteorologiche particolarmente sfavorevoli. Tale riduzione è attribuibile, come già accennato in precedenza, alla progressiva sostituzione del parco veicolare circolante con mezzi a minor impatto ambientale.

I valori evidenziati dalla stazione di via Maroncelli, ubicata in zona residenziale interessata da flussi veicolari piuttosto ridotti e dalla campagna del laboratorio mobile effettuata nel 1998, pur non evidenziando un trend in discesa meno accentuato (ma caratterizzato da valori molto meno accentuati di quelli registrati nella stazione di Largo Risorgimento), hanno evidenziato stati della qualità dell'aria ben al di sotto dei limiti previsti dalla normativa vigente.

Per entrambe le stazioni di monitoraggio risultano nel 2003 rispettati i limiti previsti dal D.M.A. 2 aprile 2002, n. 60.

PARTICOLATO SOSPESO PM10

Nelle stazioni cittadine il particolato sospeso viene monitorato come PM10 (la frazione inalabile) in tutte le stazioni. Purtroppo negli anni 2000 - 2001 si sono verificate una serie di problematiche, non dipendenti dalla volontà dei gestori, in conseguenza delle quali l'efficienza del monitoraggio è risultata limitata e tale da non permettere un monitoraggio significativo per il 2000. Il monitoraggio è ripreso in maniera sistematica nella seconda metà del 2001 nella stazione di Largo Risorgimento mentre, solo successivamente a seguito dell'installazione di un nuovo analizzatore, è ripreso agli inizi del 2002 nella stazione di via Maroncelli per essere temporaneamente sospeso nel mese di settembre.

Le concentrazioni del PM10 nel corso degli anni non hanno evidenziato trend definiti. I valori di norma registrati si sono attestati su valori relativamente elevati che in varie occasioni hanno superato gli obiettivi di qualità ($40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ a partire dall'anno 1999) all'epoca vigenti o si sono attestati su valori a ridosso di tale limite.

Il confronto con i limiti attualmente previsti (dettati dal D. Lgs. 351/99 e dal D.M 2/04/2002, n.60) dei dati evidenzia per questo inquinante una situazione di criticità destinata presumibilmente ad accentuarsi in considerazione che le tolleranze ammesse ai limiti vengono ridotte di anno in anno.

Nel 2003 sono stati superati presso la stazione di Largo Risorgimento i limiti previsti sia per la media annuale sia per il numero di superamenti ammessi del valore limite giornaliero di riferimento anche conteggiando la tolleranza ammessa per l'anno in questione.

I dati raccolti mostrano in generale l'esistenza di una situazione di criticità (peraltro condivisa con molte aree urbane della Toscana) relativamente alla presenza di polveri che dovrà pertanto essere monitorato con particolare attenzione.

Stazione di L.rgo Risorgimento

ANNO	n° dati	Media annuale ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Frequenza di superamento dei valori di riferimento ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)				
			25	50	75	100	150
1995	268	57	97.8	56.0	17.0	2.0	0.4
1996	273	47	96.3	35.7	6.2	0.0	0.0
1997	292	44	88.7	21.2	9.2	4.4	0.3
1998	174	50	97.7	33.9	8.0	2.9	0.0
1999	230	43	84.3	27.4	9.1	2.2	0.0
2000	25	ns	ns	ns	ns	ns	ns
2001 ³	130	ns	70.8	11.5	1.5	0.0	0.0
2002	288	56	96,9	53,8	14,9	4,9	0.3
2003	258	71	98,8	78,3	36,0	13,2	1,2

Stazione di via Maroncelli

ANNO	n° dati	Media annuale ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Frequenza di superamento dei valori di riferimento ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)				
			25	50	75	100	150
1998 ⁴	100	ns	49.0	6.0	1.0	0.0	0.0
1999	203	41	81.3	28.1	0.5	0.0	0.0
2000 ⁵	12	ns	ns	ns	ns	ns	ns
2002	148	ns	93.2	11.5	0.7	0.0	0.0
2003	238	35	75,6	16,4	0,0	0,0	0,0

Concentrazioni medie di 24 ore: superamenti registrati del valore limite= 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ da non superarsi più di 35 volte l'anno

n° complessivo superamenti: stazione Viareggio-Lrgo Risorgimento			n° complessivo superamenti: stazione Viareggio-via Maroncelli		
Anno	1995	150	Anno	1995	//
	1996	97		1996	//
	1997	62		1997	//
	1998	58		1998	6
	1999	63		1999	57

³ Periodo di riferimento: luglio – agosto 2001

⁴ Periodo di riferimento agosto – dicembre 1998

⁵ Analizzatore dimesso per guasto a gennaio 2000 e sostituito con un nuovo apparato nel febbraio 2002

	2000	19		2000	//
	2001	15		2001	//
	2002	155		2002	17
	2003	202		2003	39

**Anno 2002, concentrazioni medie di 24 ore.
Superamenti del V.L. = 65 µg/m³ (n. max consentito 35)**

	Largo Risorgimento	Via Maroncelli
n. superamenti	78	2
n. dati validi	288	148

**Anno 2003, concentrazioni medie di 24 ore.
Superamenti del V.L. = 60 µg/m³ (n. max consentito 35)**

	Largo Risorgimento	Via Maroncelli
n. superamenti	159	10
n. dati validi	258	238

OZONO

Nel corso del 2002 e del 2003 il monitoraggio è stato effettuato solo per brevi periodi legati comunque a campagne di rilevamento ad ampio raggio effettuata con metodiche di biomonitoraggio.

Il monitoraggio in continuo sull'area cittadina di questo inquinante è previsto venga ripreso regolarmente a partire dal periodo estivo del 2004 con l'acquisto di un nuovo analizzatore da installare presso la stazione di via Maroncelli. I valori acquisiti con la campagna di controllo (effettuata come supporto ad uno studio su ampia scala di questo inquinante) del 2003 non sono sufficienti per una comparazione con i limiti normativi.

Si riportano di seguito i valori registrati nel corso degli anni passati presso le stazioni cittadine.

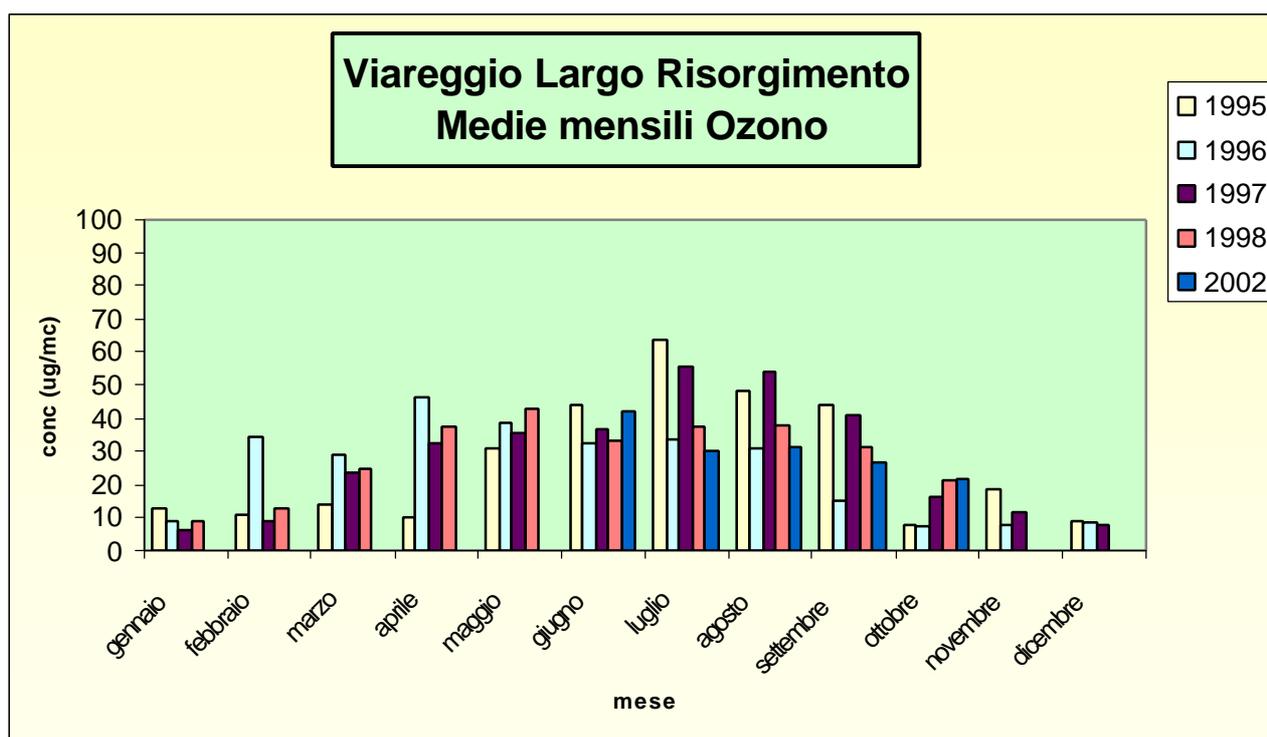
**Stazione di Viareggio – Largo Risorgimento inquinante Ozono
tempo di mediazione: 1 ora**

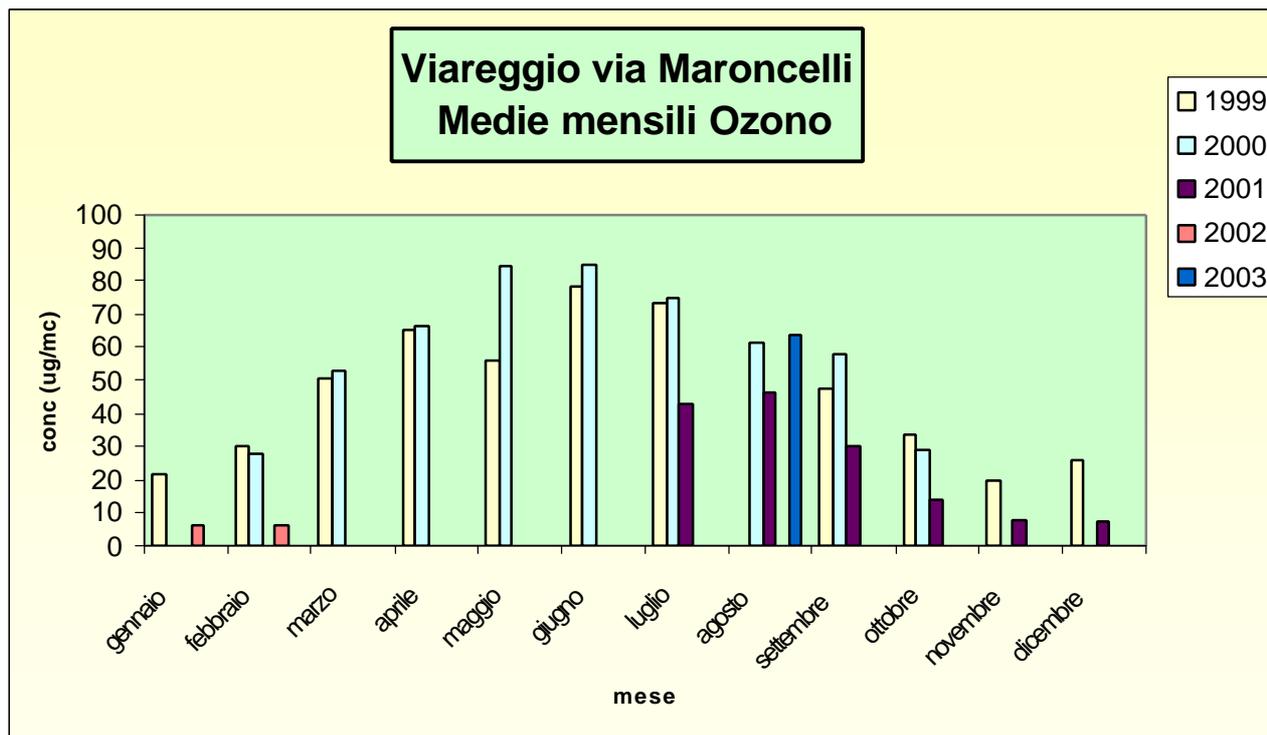
Anno	n° dati	Media annuale (µg/m ³)	Frequenza percentuale di superamento dei valori di riferimento				
			50	100	150	180	200
1995	5903	26.7	19.1	3.0	0.5	0.3	0.1

Anno	n° dati	Media annuale	Frequenza percentuale di superamento dei valori di riferimento				
			16.3	2.1	0.1	0.0	0.0
1996	7332	24.2	16.3	2.1	0.1	0.0	0.0
1997	7196	27.3	21.3	4.3	0.5	0.0	0.0
1998	6474	30.3	22	1.4	0.1	0.0	0.0
2002	2070	ns	16.7	0.2	0.0	0.0	0.0

**Stazione di Viareggio – via Maroncelli inquinante Ozono
tempo di mediazione : 1 ora**

Anno	n° dati	Media annuale ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Frequenza percentuale di superamento dei valori di riferimento				
			50	100	150	180	200
1999	7182	46	42.2	13.2	1.3	0.2	0.06
2000	4956	62	55.4	24.2	3.0	0.7	0.0
2001	3533	ns	12.8	1.6	0.0	0.0	0.0
2002	432	ns	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2003	745	ns	66,8	11,4	0,0	0,00	0,0





Come in molte aree regionali numerosi sono risultati negli anni passati i superamenti del livello di protezione della salute previsto dal D.M..A.16 maggio 1996. I dati disponibili per il 2003, come già accennato relativi ad una breve campagna di studio e controllo, non sono sufficienti per permettere un confronto con la normativa vigente.

IDROCARBURI

I rilevamenti di tale tipologia di inquinanti hanno evidenziato concentrazioni superiori a quelle medie provinciali presso la stazione di Largo Risorgimento. Valori ben inferiori e del tutto analoghi a quelli individuati in altre aree della provincia di caratteristiche simili sono invece stati rilevati presso la stazione di via Maroncelli. I rilevamenti di idrocarburi non metanici sono stati sospesi in entrambe le stazioni a verso la fine del 1999 in quanto guastatosi in maniera irreparabile l'analizzatore di Largo Risorgimento e ridislocato presso il laboratorio mobile della qualità dell'aria quello di via Passaglia. La sostituzione degli apparati non è prevista in quanto con il passare del tempo ha perso di importanza il significato attribuito a questi inquinanti visti come classe indifferenziata di composti preferendosi focalizzare l'attenzione a livello nazionale su inquinanti organici specifici (in particolare il benzene).

Oltre ai rilevamenti di idrocarburi non metanici effettuati presso le stazioni di monitoraggio e con il laboratorio mobile sono disponibili i risultati di alcune brevi campagne di rilevamento di benzene, toluene e xilene condotte o tramite l'uso di fiale o di campionatori passivi. Pur trattandosi di campagne di durata limitata, i cui risultati non possono quindi considerarsi come sufficientemente rappresentativi, i dati raccolti evidenziano valori che, anche se possono essere ipotizzati da allora dei miglioramenti, si attestano su condizioni ai limiti dell'accettabilità presso la stazione di largo Risorgimento. Non appaiono di particolare rilievo invece i valori invece riscontrati nella zona residenziale di via Maroncelli.

I valori comunque riscontrati suggeriscono che su tali inquinanti vengano effettuate specifiche campagne di monitoraggio mirate a definire la distribuzione spaziale di tali sostanze nell'area urbana, con particolare attenzione, ovviamente, a quelle sottoposte a flussi veicolari più significativi.

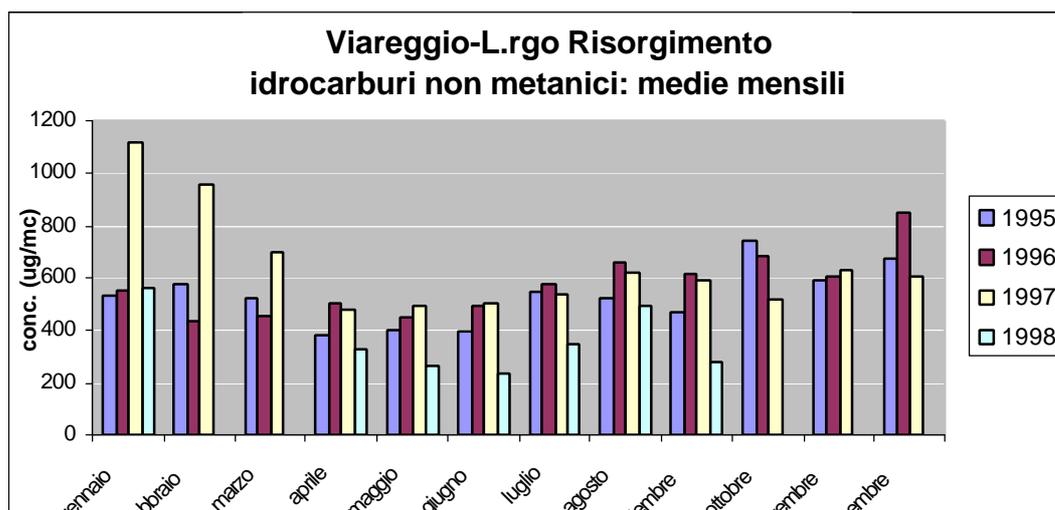
Stazione di L.rgo Risorgimento, inquinante idrocarburi non metanici, tempo di mediazione: 1 ora

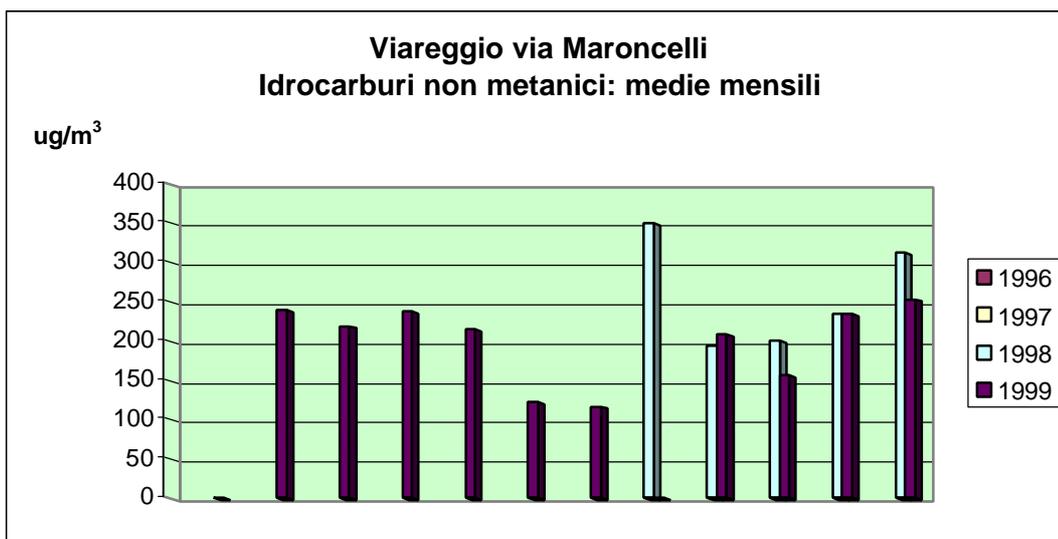
Stazione	n° dati	Media annuale ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	98° pc ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Frequenza percentuale di superamento dei valori di riferimento				
				300	600	900	1200	1500
1995	6155	554	1604	75.0	31.0	13.8	6.9	3.3
1996	7821	573	1694	79.6	34.8	13.9	6.9	3.4
1997	7294	645	2108	84.1	40.2	19.0	10.1	5.8
1998	3339	355	979	54.0	8.3	2.3	1.2	0.5
1999	232	ns	ns	ns	ns	Ns	ns	ns

Stazione di Via Maroncelli, inquinante idrocarburi non metanici, tempo di mediazione: 1 ora

Stazione	N° dati	Media annuale ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	98° pc ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Frequenza percentuale di superamento dei valori di riferimento				
				300	600	900	1200	1500
1998*	3394	257	735	27.6	4.2	0.7	0.2	0.0
1999	5550	192	554	14.0	1.3	0.2	0.0	0.0

- La distribuzione dei valori fa riferimento al periodo agosto-dicembre 1998





Di seguito si riportano i risultati ottenuti utilizzando campionatori passivi per i rilievi di questo tipo tra il 1999 ed 2001. Data l'esiguità dei dati disponibili non è ovviamente possibile avere indicazioni sufficientemente dettagliate sulla presenza di benzene nell'area comunale anche se dal confronto tra i dati di seguito riportati ed i risultati di altri rilievi effettuati in precedenza si possono ricavare indicazioni (da confermare con campagne successive ma comunque in linea con quanto rilevato altrove) riguardo ad una possibile tendenza alla riduzione nel tempo. Stante i limiti previsti alla presenza di tale sostanza dalle Direttive Comunitarie (attualmente $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ come media annua da ridursi in futuro a $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$) si renderà necessaria l'attivazione di campagne di monitoraggio su scala sufficientemente ampia per permettere la corretta valutazione di una situazione potenzialmente problematica.

BTX – Stazione di Viareggio Largo Risorgimento ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

Periodo	5 luglio99	13 agosto 99	25 ottobre 99
	13 agosto 99	25 ottobre 99	29 dicembre 99
Benzene	11.7	13.8	8.2
Toluene	66.5	67.4	41.8
Xilene	49.8	38.7	24.9

BTX

Inquinante	Stazione di via Maroncelli	Rilevamento di via Coppino
	25 ottobre 99 29 dicembre 99	11 settembre 2000 3 ottobre 2000
Benzene	3.8	4.3
Toluene	10.5	31.6
Xilene	5.1	17.2

OSSIDI DI AZOTO

Per questa tipologia di inquinanti non si sono mai verificati casi di mancato rispetto dei limiti prescritti. Anche in questo caso, come per il monossido di carbonio ma in maniera meno accentuata, si è osservato un trend discendente presso la stazione di Largo Risorgimento nel periodo monitorato (1995 – gennaio 2000). Tale trend non è altrettanto evidente anche presso la stazione di via Maroncelli dove, stante le caratteristiche dell'area, le concentrazioni di inquinante rilevati sono significativamente inferiori.

Il monitoraggio degli ossidi di azoto è stato interrotto presso la stazione di Largo Risorgimento nel febbraio 2000. I dati rilevati evidenziano comunque un significativo decremento della presenza di tale inquinante nel periodo precedente sia per quanto attiene i valori medi riscontrati che relativamente alla distribuzione degli stessi in classi di distribuzione. I tassi rilevati presso la stazione di via Maroncelli in maniera discontinua e per un periodo di tempo più limitato i tassi di inquinanti presenti sono tali da non evidenziare finora particolari problematiche legate alla presenza di questa classe di inquinanti.

Stazione di L.rgo Risorgimento, inquinante NO₂, tempo di mediazione: 1 ora

Anno	n° dati	Media annuale (µg/m³)	98° pc (µg/m³)	Frequenza percentuale di superamento dei valori di riferimento				
				25	50	75	100	150
1995	7162	66	135	94.9	72.1	31.5	10.2	0.9
1996	7937	70	155	95.7	73.1	36.8	14.5	2.4
1997	7531	53	114	88.7	50.5	17.1	4.5	0.3
1998	6419	45	105	77.8	36.8	10.6	2.5	0.1
1999	5199	32	82	60.8	17.7	3.0	0.7	0.0

Stazione di via Maroncelli, inquinante NO₂, tempo di mediazione: 1 ora

Anno	N° dati	Media annuale (µg/m ³)	98° pc (µg/m ³)	Frequenza percentuale di superamento dei valori di riferimento				
				25	50	75	100	150
1998*	2323	ns	83	68.5	23.6	4.4	0.3	0.1
1999	5968	36	86	59.9	23.7	5.3	0.4	0.0
2000	4138	ns	85	58.4	26.1	4.8	0.4	0.0
2001	1983	ns	ns	43.8	9.0	0.1	0.0	0.0
2002	5810	26	65	43.4	4.3	0.6	0.0	0.0
2003	4653 ⁶	ns	59,0	37,3	4,9	0,0	0,0	0,0

· La distribuzione dei valori fa riferimento al periodo agosto-dicembre 1998

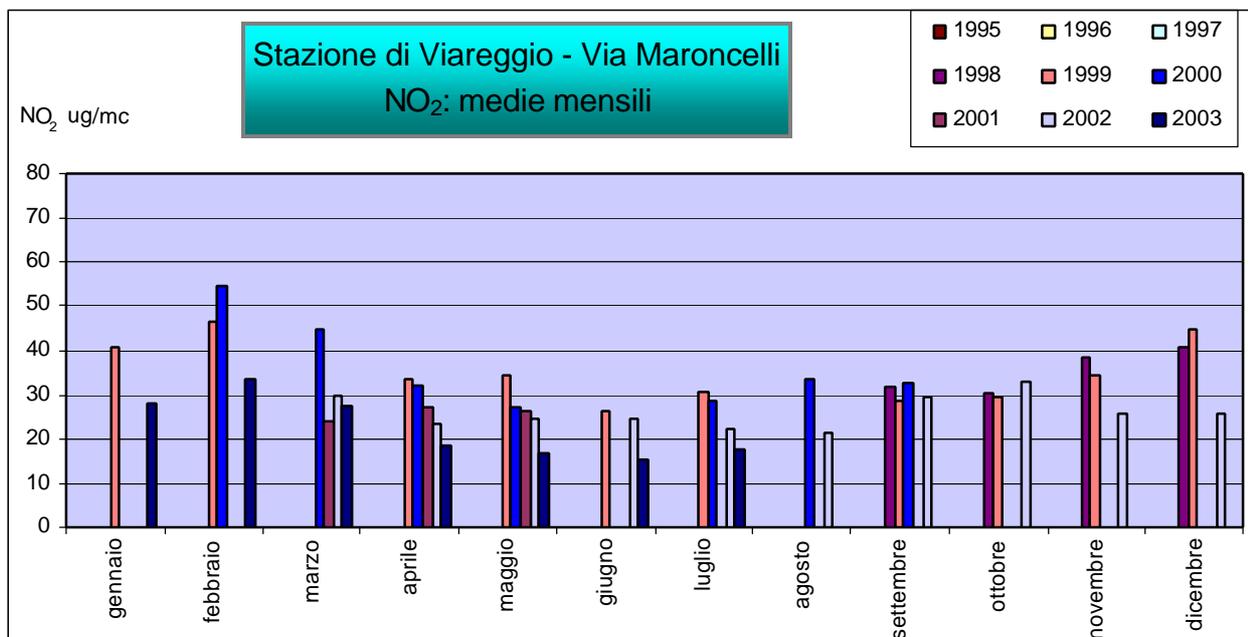
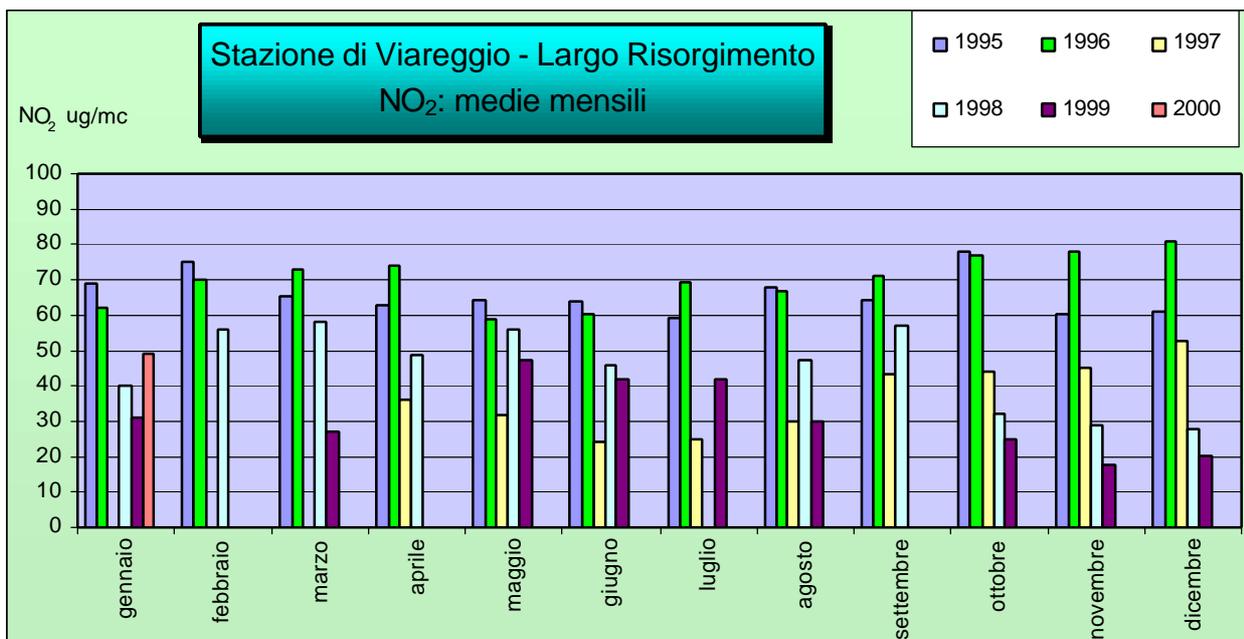
Rilevamento del Laboratorio Mobile del periodo 9/2/98 - 28/2/98, via Pistoia c/o scuola elementare, inquinante NO₂

Giorno	9	10	11	12	13	14	13	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
Media giorno	44	52	54	48	43	35	36	34	37	45	43	38	37	28	33	34	37	31	28	30
Max giorno	66	89	87	87	79	50	66	51	65	72	76	68	63	49	52	59	56	56	80	65

Rilevamento presso la stazione di Largo Risorgimento del periodo 9/2/98 - 28/2/98 inquinante NO₂

Giorno	9	10	11	12	13	14	13	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
Media giorno	68	ns	79	76	62	53	53	59	64	76	80	60	51	42	43	ns	54	45	ns	60
Max giorno	134	ns	144	133	95	76	110	84	124	127	127	108	79	77	70	ns	99	82	ns	89

⁶ Periodo di rilevamento: 1 gennaio – 29 luglio



Relativamente al 2003 i dati disponibili non sono sufficienti per una comparazione completa con i limiti normativi. Stante la quantità e la distribuzione temporale dei dati raccolti e lo storico disponibile non è comunque possibile ritenere che siano rispettati i limiti normativi relativi alla tutela della salute umana.

ANIDRIDE SOLFOROSA

Non essendo in dotazione alla stazione di Largo Risorgimento un analizzatore di SO₂ i dati disponibili sono quelli reperiti dal 1998 presso la stazione di via Maroncelli e quelli facenti riferimento alla campagna del laboratorio mobile. Nel Comune di Viareggio, come del resto in tutta

la Provincia, la presenza di tale inquinante è talmente ridotta da raggiungere spesso i limiti di rilevabilità strumentale. Esso pertanto, come sarà poi evidenziato nel capitolo dedicato alle emissioni di inquinanti aeriformi del comune, è presente in concentrazioni tali da non costituire sicuramente un problema di tipo sanitario per la popolazione residente.

Si riportano di seguito le elaborazioni effettuate relativamente ai dati acquisiti presso la stazione di via Maroncelli. I valori rilevati si sono attestati su valori molto ridotti, spesso al limite della sensibilità strumentale.

Inquinante : **Biossido di Zolfo** in $\mu\text{g}/\text{m}^3$; Tempo di mediazione: 24 ore;
 Periodo osservazione: anno; Periodo di rilevamento: da 01.04 a 31.03 di ciascun periodo;

Anno	Elaborazione su base annua					Semestre invernale			
	N. dati	Mediana	98° pc	Media	S	N. dati	Mediana	Media	S
1998 - 1999	73	1	11	3	1,8	36	0	1	2,4
1999 - 2000	245	0	12	1	2,9	109	0	2	3,7
2000 - 2001	305	2	9	2	2,5	153	2	3	2,4
2001 - 2002	347	2	10	3	2,7	178	4	3	2,7
2001 - 2003	334	1	5	1	1,3	175	1	2	1,5

Rilevamento del Laboratorio Mobile del periodo 9/2/98 - 28/2/98, via Pistoia c/o scuola elementare, inquinante SO₂

Giorno	9	10	11	12	13	14	13	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
Media giorno	11	14	15	11	9	8	5	9	5	11	11	8	7	7	3	5	10	6	4	14
Max giorno	15	44	31	24	19	15	14	18	11	29	31	33	14	18	9	13	27	11	13	24