

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 Capannori

Rilevamento della Qualità dell'aria

**Periodo
1998-2003**

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



QUALITÀ DELL'ARIA NEL COMUNE DI CAPANNORI

Risultati dei rilevamenti nel periodo 1998 - 2003

Presso questo comune è attiva dalla seconda metà del 1998 una stazione di monitoraggio la cui operatività ha subito una interruzione di circa sei mesi nella seconda metà del 1999.

I parametri monitorati sono PM10, SO₂, CO e ossidi di azoto.

I valori monitorati si sono in generale attestati su valori in genere inferiori di quelli registrati in aree urbane di maggiori dimensioni (es. Viareggio e Lucca) anche se si sono registrati in passato, per alcuni periodi di durata limitata, tassi di inquinanti sensibilmente superiori a quelli registrati normalmente. Costituisce parziale eccezione la presenza di polveri PM10 relativamente alle quali, in particolare nel corso del 2003, sono state riscontrate concentrazioni che hanno anche comportato il mancato rispetto dei limiti normativi vigenti.

Ad integrazione dei dati ottenuti dalla stazione di monitoraggio vi è da rilevare che è stato effettuato un approfondito studio di settore per valutare l'impatto ambientale di un settore industriale particolarmente sviluppato nell'area comunale (con una rilevante concentrazione di aziende nell'area del Segromigno) quale quello calzaturiero e che in varie occasioni, sono state effettuate specifiche campagne di monitoraggio con il laboratorio mobile.

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

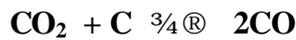
È un prodotto di ossidazione derivante normalmente da una combustione incompleta: è inodore, incolore ed insapore, di densità leggermente inferiore a quella dell'aria. Normalmente presenta una reattività piuttosto scarsa con gli altri costituenti dell'atmosfera. I meccanismi che permettono la sua formazione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

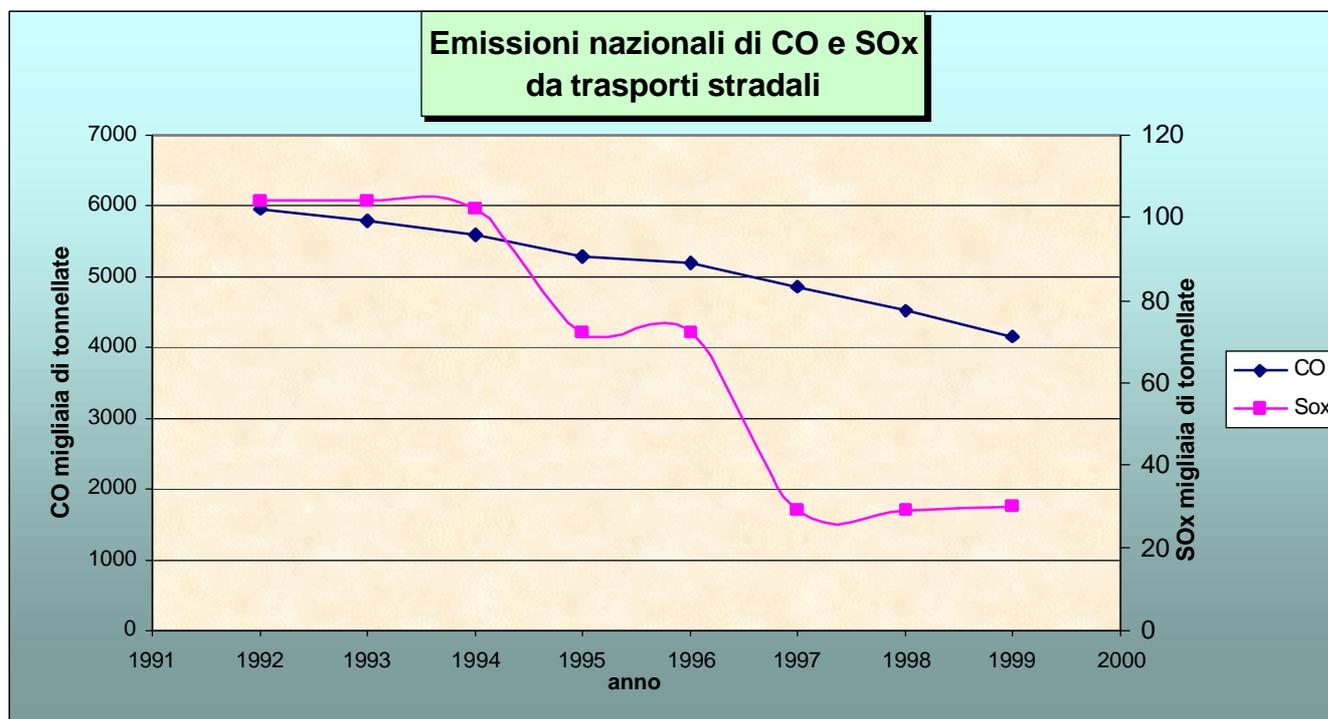
Strumentazione utilizzata

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 N_2O_4).

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 ridurne 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 NO_2 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 NO_2 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/NO_2 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.

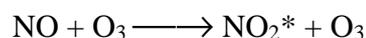
Effetti degli ossidi di azoto sull'ambiente

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.

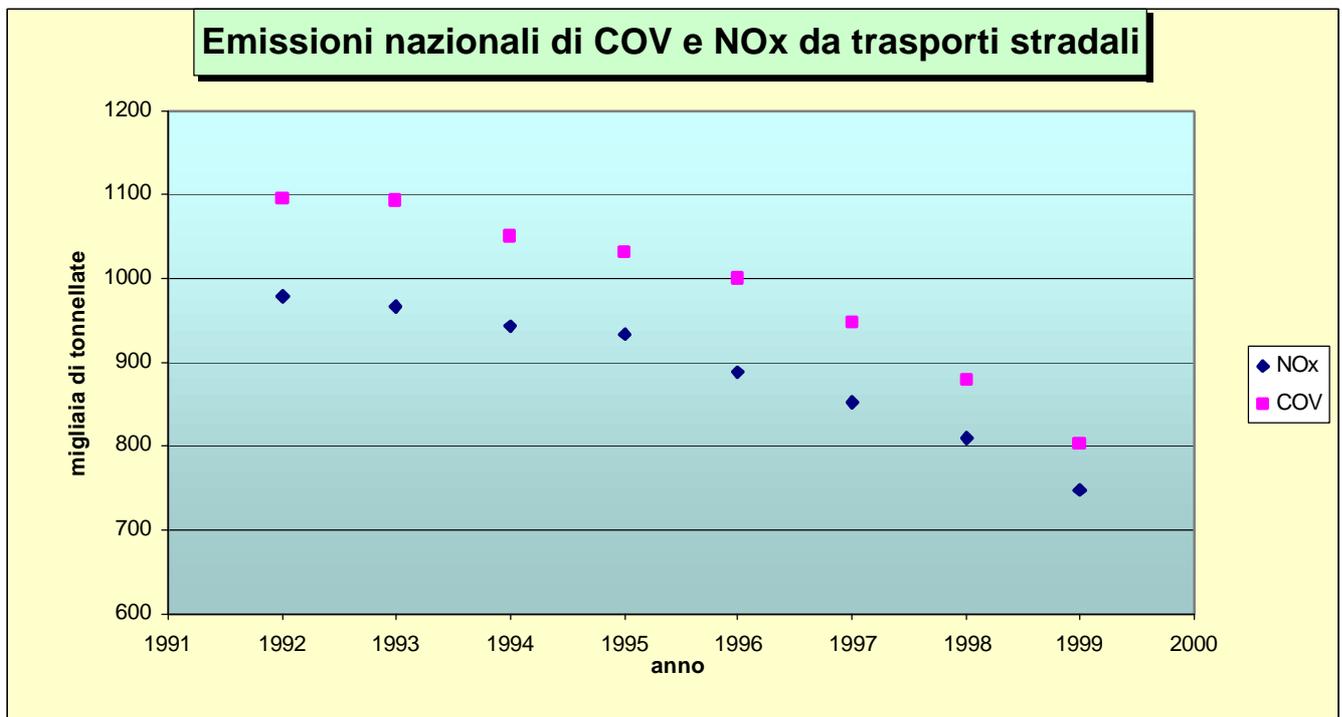
Gli ossidi di azoto e i loro derivati danneggiano anche edifici e monumenti, provocando un invecchiamento accelerato in molti casi irreversibile.

Strumentazione utilizzata

Gli analizzatori utilizzati sono stati in passato dei Monitor Labs mod. 9841 ora in corso di sostituzione 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.



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 rilevatore 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 µg/m³, 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

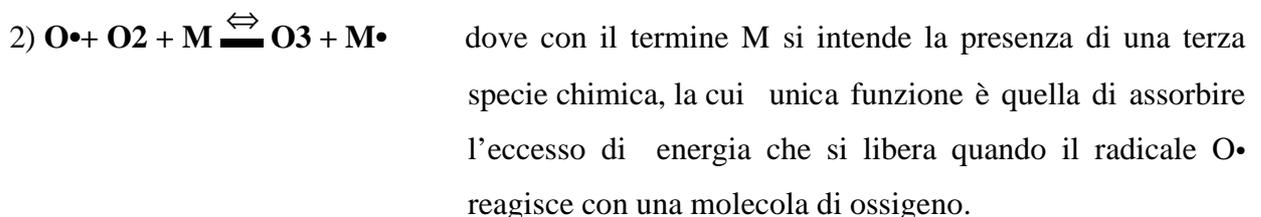
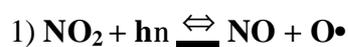
filtrante. Questo fenomeno non si manifesta in modo uniforme in tutta la stratosfera, ma si presenta in modo particolare in determinate aree, soprattutto sopra la regione antartica.

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 O $_3$ 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•, 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.

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 di Lucca sono del tipo ENVIRONNEMENT MP101.

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 C^{14} , 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 N_0 è il numero di conteggi effettuato sul "bianco" ed N_1 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 non ha evidenziato in generale precisi trends temporali.

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.

I dati rilevati

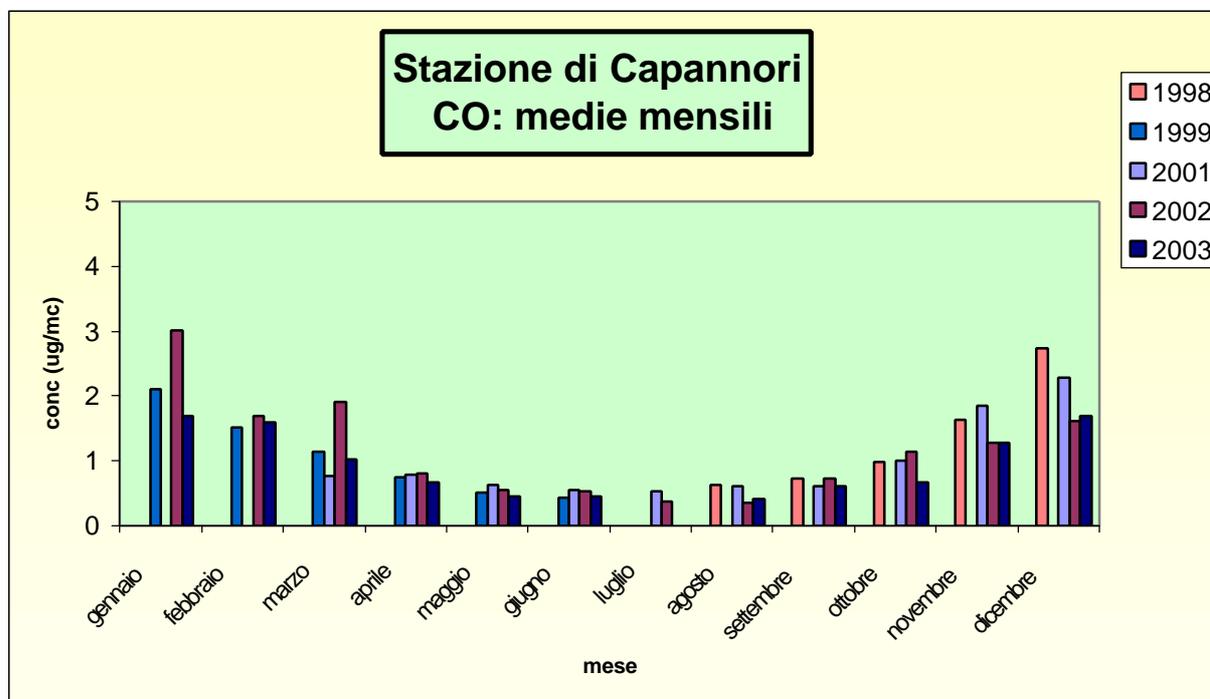
Si riportano di seguito i risultati dei rilevamenti effettuati nell'area cittadina nel corso degli anni di monitoraggio presso la stazione di rilevamento

Monossido di Carbonio

Il monitoraggio di questo inquinante, iniziato ad agosto 1998 ha subito una interruzione relativamente al periodo fine 1998 – inizio 2000. I dati raccolti, anche se in relazione alla non completa comparabilità dei vari periodi annuali ed alla mancata funzionalità della stazione nel periodo agosto 1999 –aprile 2000 non è disponibile uno storico completo di lungo periodo, permettono di evidenziare, come per le altre stazioni di monitoraggio, una trend positivo per questo inquinante. Con parziale eccezione relativamente ai periodi cui si è accennato in premessa, le concentrazioni misurate si sono attestate sempre attestate su valori abbastanza ridotti .

Stazione di Capannori, inquinante CO, tempo di mediazione : 1 ora

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
1998 ¹	3213	Ns	9.8	15.3	2.2	0.4	0.0	0.0
1999 ²	4050	Ns	9.6	8.3	1.2	0.1	0.0	0.0
2001 ³	6638	Ns	6.8	6.7	0.8	0.0	0.0	0.0
2002	8051	1.0	4.6	9.8	0.0	0.0	0.0	0.0
2003	7350	0,9	5,9	6,9	0,1	0,0	0,0	0,0



¹ stazione entrata in servizio ad agosto 1998

² Periodo di riferimento: gennaio – luglio, media di periodo 1 mg/m³

³ Periodo di riferimento: marzo – dicembre, media di periodo 1 mg/m³

PM10

Questo parametro è stato rilevato nel periodo dicembre 1998 – giugno 1999. Il monitoraggio è stato poi ripreso a partire da gennaio 2000 per proseguire, sostanzialmente senza interruzioni, fino alla data attuale.

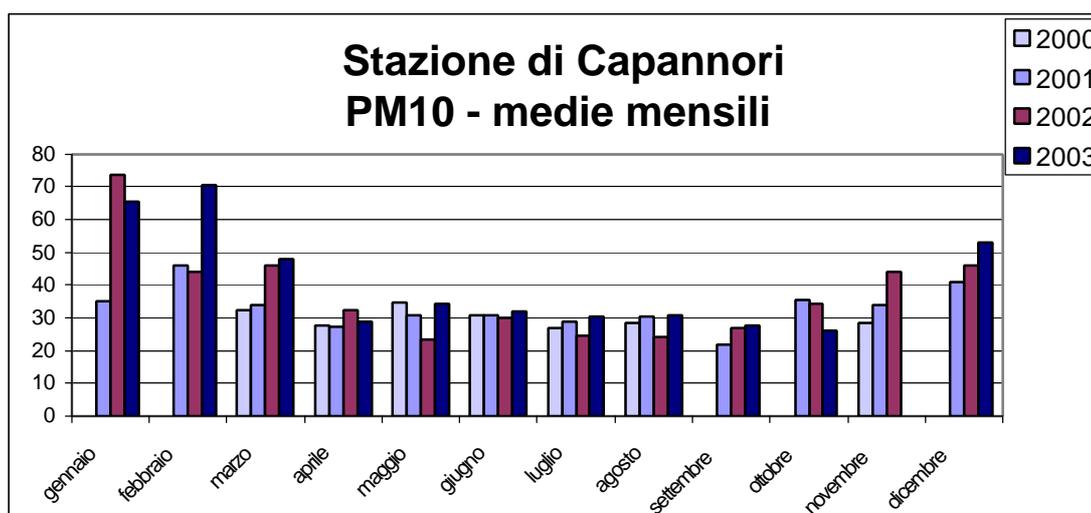
Nel 2003 il valore di concentrazione medio annuale si è attestato sul valore limite previsto dal D.M.A. 2 aprile 2002, n. 60 ($40 \mu\text{g}/\text{m}^3$). In considerazione della tolleranza ammessa per l'anno in questione (a scalare fino ad annullarsi al 2005) si può ritenere il limite come non superato.

Non è stato però rispettato il limite previsto come valore giornaliero da non superare più di 35 volte in un anno ($50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ che, in considerazione delle tolleranze ammesse diviene $60 \mu\text{g}/\text{m}^3$ per il 2003).

Si riportano di seguito le sintesi dei dati rilevati nei periodi di monitoraggio effettuati.

Stazione di Capannori: inquinante PM10, distribuzione delle medie giornaliere

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
1999 ⁴	184	ns	68.5	19.0	5.4	2.7	0.0
2000 ⁵	175	ns	67.4	2.9	0.0	0.0	0.0
2001	288	31.6	71.9	5.9	0.3	0.0	0.0
2002	325	34	67,4	15,7	1,5	0,0	0,0
2003	325	40	74,8	23,7	8,9	3,1	0,3



I valori della concentrazione delle polveri sono espresse in mg/m^3

⁴ Periodo di riferimento gennaio – giugno: media periodo = $36 \mu\text{g}/\text{m}^3$

**Anno 2002, concentrazioni medie di 24 ore.
Superamenti del V.L. = 65 µg/m³**

	Capannori
n. superamenti	14
n. dati validi	347

**Anno 2003, concentrazioni medie di 24 ore.
Superamenti del V.L. = 60 µg/m³**

	Capannori
n. superamenti	48
n. dati validi	325

Biossido di Azoto

Il rilevamento di questo inquinante è stato condotto con regolarità nel periodo agosto 1998 – giugno 1999.

Nel corso del 2002 è stato effettuato un monitoraggio integrativo di qualche mese senza che venissero riscontrate differenze sostanziali rispetto ai periodi precedenti.

Non essendo i dati rilevati nel periodo 1998 – 1999 sufficienti per effettuare una elaborazione statistica conforme a quanto previsto con le normative sugli standards di qualità dell'aria che fanno riferimento a ciascun anno solare si riporta, oltre alle distribuzioni di ciascun anno, la distribuzione dei dati relativa all'intero periodo (11 mesi consecutivi) per permettere un confronto indicativo sia con le altre aree monitorate sia con i riferimenti normativi.

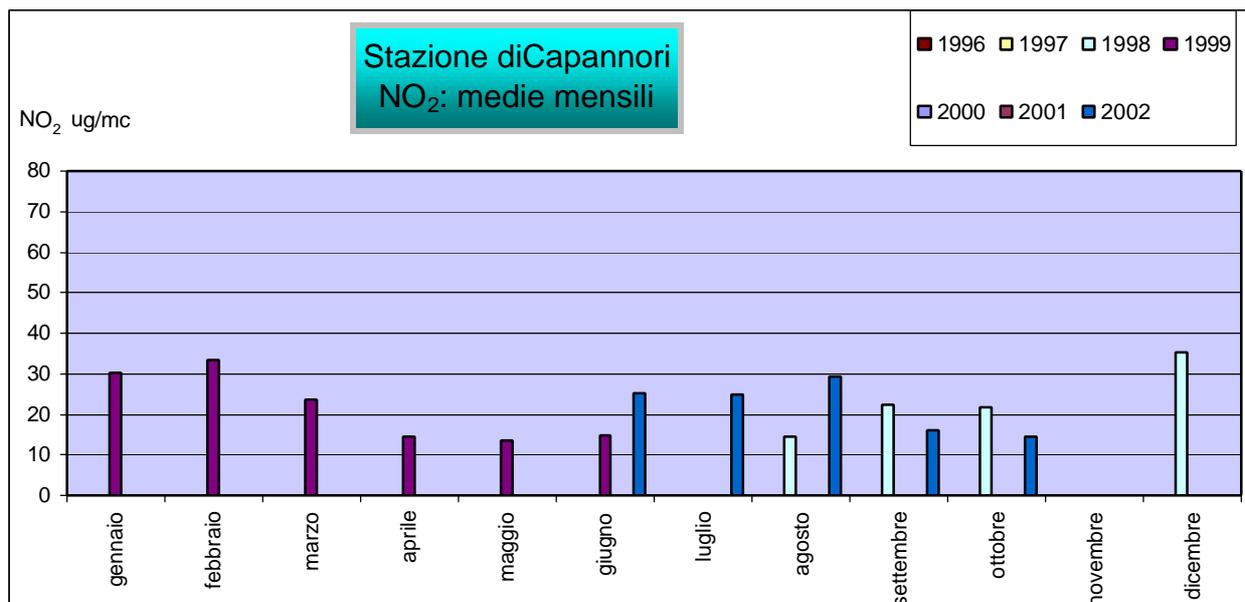
Per quanto attiene la presenza di questo inquinante i dati raccolti sono tali da non evidenziare situazioni di particolare criticità.

Il monitoraggio di questo inquinante è stato ripreso sistematicamente nel 2004 in concomitanza con l'installazione di un nuovo analizzatore presso la stazione.

⁵ Media dati disponibili: 30 µg/m³

Stazione di Capannori, inquinante NO₂, tempo di mediazione : 1 ora

Anno	N° dati	Media annuale (µg/m ³)	98° pc (µg/m ³)	Frequenza di superamento dei valori di riferimento (µg/m ³)				
				25	50	75	100	150
1998 ⁶	2366	ns	68.0	44.5	8.4	1.2	0.3	0.0
1999 ⁷	3774	ns	62.0	35.6	6.0	0.5	0.1	0.0
Agosto 1998 – luglio 1999	6140	22.5	64.0	39.2	6.9	0.8	0.2	0.0
2002	2054	21.0	43.0	38.0	0.0	0.0	0.0	0.0



Anidride solforosa

La presenza di questo inquinante nel comune si è rilevata anche qui molto limitata e ben al di sotto dei limiti posti dalla normativa vigente. Anche in tale stazione nei periodi estivi spesso i valori rilevati si sono aggirati ai limiti della sensibilità della strumentazione disponibile. Si riporta di seguito una sintesi dei dati rilevati.

Anche il confronto con i futuri limiti che prevedibilmente verranno adottati in seguito all'applicazione del D.lgs. 351/99 evidenzia valori abbondantemente inferiori ai limiti imposti.

⁶ Periodo di monitoraggio: luglio-dicembre

⁷ Periodo di monitoraggio: gennaio-giugno

Inquinante : **Biossido di Zolfo** in $\mu\text{g}/\text{m}^3$; Tempo di mediazione: **24 ore**;
 Periodo osservazione: anno; periodo di rilevamento: da 1° aprile a 31 marzo;

Anno	Elaborazione annuale					Semestre invernale			
	N. dati	Mediana	98° pc	Media	S	N. dati	Mediana	Media	S
1998 - 1999	205	1	3	1	1.0	161	1	1	0.3
1999 - 2000	ns	Ns	Ns	Ns	ns	ns	Ns	Ns	ns
2000 - 2001	190	1	5	1	1.9	64	1	3	3.3
2001 - 2002	322	0	3	1	0.8	158.0	1	1	1.2
2002 - 2003	354	1	4	1	0.8	175	1	2	1.1
2003 -2004	360	0	1	0	0	180	0	1	1