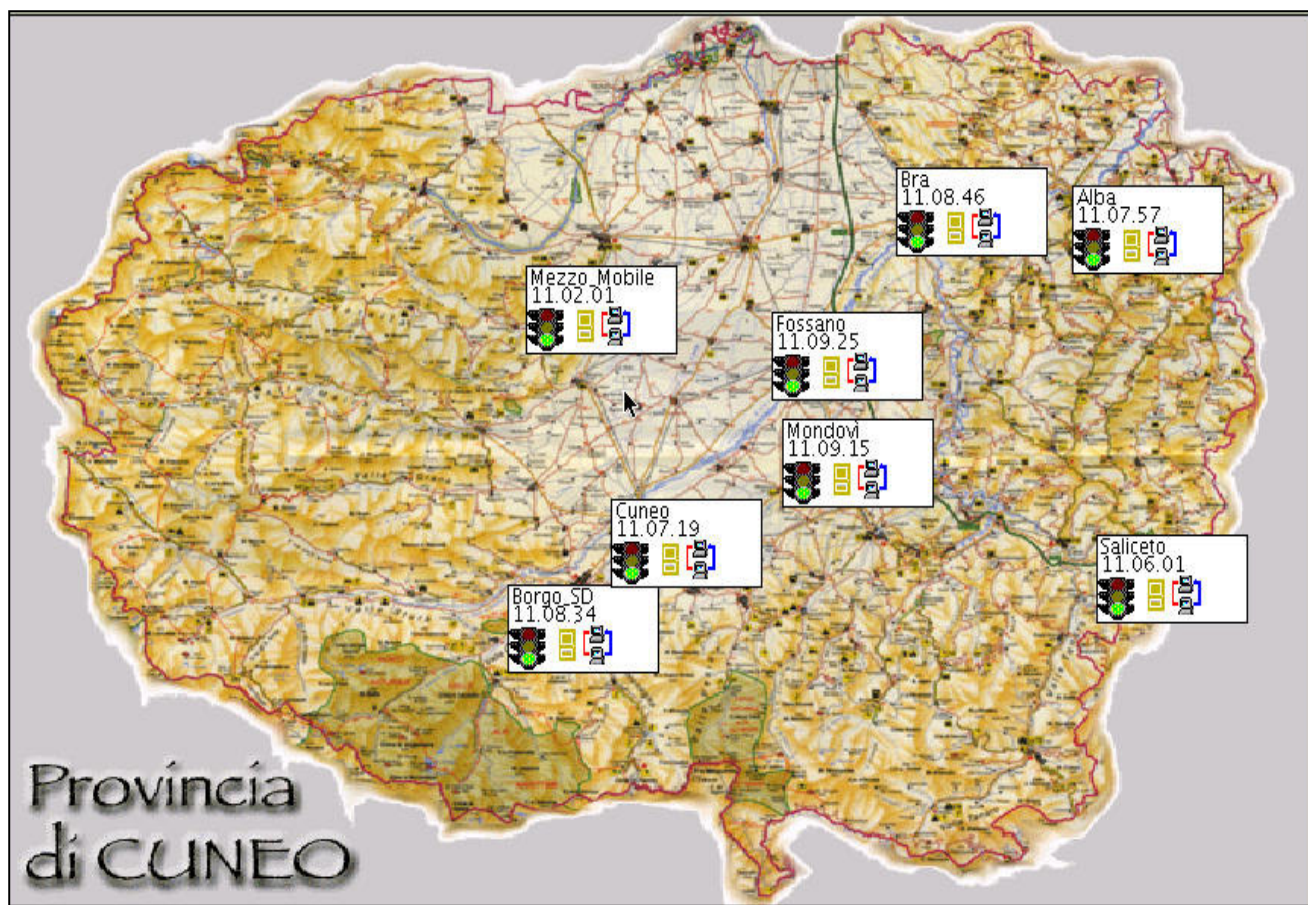


MONITORAGGIO DELLA QUALITA' DELL'ARIA

ANNO 2005



Prot. n° 83342/SC10

Cuneo, 11 luglio 2006

Ill.mo Sig. Presidente della PROVINCIA di _____ CUNEO

Ill.mi Sig.ri Sindaci dei Comuni di

ALBA
BORGO SAN DALMAZZO
BRA
CUNEO
FOSSANO
LESEGNO
MONDOVI'
ROBILANTE
SAN MICHELE MONDOVI'
SALICETO
CARAMAGNA PIEMONTE
CERVERE
GOVONE
GRINZANE CAVOUR
GUARENE
MORETTA
PIOBESI D'ALBA
SALMOUR
SANTA VITTORIA D'ALBA
SOMMARIVA DEL BOSCO
TORRE SAN GIORGIO
VERZUOLO
CENTALLO
ROCCAIONE
SALUZZO
SAVIGLIANO
CHERASCO
GENOLA

Spett.le Regione Piemonte Assessorato Ambiente
Settore Risanamento Atmosferico e Acustico _____ TORINO

Spett.le Dipartimenti di Prevenzione Aziende ASL N. 15, 16, 17, 18

Oggetto: Rete provinciale di rilevamento della qualità dell'aria. Resoconto di sintesi statistica dei dati rilevati nell'anno 2005.

La rete di monitoraggio della qualità dell'aria in Provincia di Cuneo è stata attivata nel suo assetto completo il 1 gennaio 2002, con il 31 Dicembre 2005 si è chiuso il quarto anno di monitoraggio e, come parte integrante della presente nota, si trasmette alle Amministrazioni interessate la quarta relazione annuale sulla qualità dell'aria in Provincia di Cuneo.

A partire dalla prima relazione annuale sono state fornite a tutta l'utenza indicazioni di sintesi sui dati rilevati, evidenziando ogni volta come sia **l'insieme dei dati raccolti a rappresentare la qualità dell'aria dell'intera provincia**. Lo scopo di questa sottolineatura è di importanza determinante sia per spiegare a tutti lo stato di effettiva "salute" dell'aria che respiriamo sia affinché non sia malinteso il confronto tra i vari punti di monitoraggio che, non ci si stancherà di ribadire, non rappresentano in modo esaustivo l'aria del comune nel quale sono fisicamente collocate le centraline.

A commento dei dati rilevati si osserva che anno dopo anno ci si arricchisce di un nuovo dato che rappresenta il valore medio annuo di ogni singolo parametro; con i quattro anni a disposizione dall'istogramma già si incominciano ad avere indicazioni interessanti. Volutamente in questa introduzione non si riprendono i concetti originali espressi nelle precedenti relazioni, alle quali si rimanda, ma si evidenziano le novità.

In primo luogo si osserva come i dati raccolti dimostrino quanto siano misurabili gli effetti di miglioramento delle concentrazioni di alcune sostanze inquinanti quando, grazie all'azione concordata di Enti territoriali ed organo di controllo, le maggiori realtà produttive investono nel controllo delle emissioni. Ciò è stato possibile grazie al progressivo adeguamento alla normativa per la autorizzazione ambientale integrata, per la quale le principali aziende dovranno prevedere il ricorso alle migliori tecnologie disponibili. Il netto miglioramento dei valori del biossido di zolfo nei siti di Cuneo e Borgo San Dalmazzo è infatti da mettere in diretta relazione a specifici interventi sulle emissioni industriali. Si hanno fondati motivi di ritenere che nel prossimo futuro l'analisi dei dati rilevati nel medio periodo confermi, anche per altri parametri, quali gli ossidi di azoto, il miglioramento intravisto.

Per tutte le stazioni di monitoraggio per il 2005 sono altresì forniti gli elaborati grafici che, suddivisi per trimestri, illustrano l'andamento settimanale e giornaliero delle principali sostanze inquinanti. La rappresentazione per trimestri aiuta l'immediata percezione delle evidenti differenze tra le varie stagioni dell'anno.

Dai grafici settimanali si ha conferma di situazioni note ed emergono curiosità: l'inquinamento tende a salire a partire dal lunedì per scendere nel fine settimana a causa della maggiore intensità di attività umane nei giorni feriali; le centraline riescono inoltre ad evidenziare situazioni "anomale", come quelle generate nei giorni di mercato. Ad Alba, nel 1° e 4° trimestre 2005, l'analisi dell'andamento settimanale del biossido di azoto (sostanza prodotta da tutti i processi di combustione) evidenzia la chiara diminuzione delle concentrazioni dal sabato (nel 1° trimestre già a partire dal venerdì), mentre per il benzene (parametro legato strettamente al traffico veicolare) il sabato si rileva il picco di massima concentrazione, segno evidente che anche in quel giorno le abitudini della popolazione prevedono un forte uso del mezzo privato di locomozione.

Dai grafici relativi all'andamento orario emergono invece chiari gli aumenti di concentrazione che si registrano nelle "ore di punta", più evidenti nei mesi freddi sia per le più difficoltose possibilità di diluizione degli inquinanti ma anche per il contributo specifico dei riscaldamenti domestici.

Un capitolo è dedicato al calcolo dell'indice di qualità dell'aria, metodica che consente di fornire alla popolazione una valutazione immediata dello stato di "salute" dell'aria con una semplice scala di toni di colore.

Il Dipartimento di Cuneo dell'Arpa ha esaminato con questa modalità il quadriennio 2002 ÷ 2005; emerge ad esempio che la qualità dell'aria può essere descritta nelle classi definite "buona" od "ottima" per circa il 52% dell'intero periodo, "discreta" per il 37% dei casi, "mediocre" per il 10%; resta un 1% dei casi nei quali l'aria poteva essere definita "poco salubre" mentre non sono stati rilevati casi di aria "insalubre" o "molto insalubre".

Osservazione altrettanto interessante è quella, riferita all'intero periodo 2002 ÷ 2005, da cui emerge che l'aria "peggiore" si respira nei mesi "freddi", come atteso dal comune buon senso che ne attribuisce la causa degli incrementi delle emissioni dovuti alla necessità di riscaldare gli ambienti. Apparentemente in controsenso, anche i periodi con maggior percentuale di aria "ottima" sono quelli invernali o meglio tardo autunnali. In realtà sono le condizioni meteorologiche generali che condizionano in modo primario la qualità dell'aria; in particolare episodi di aria "poco salubre" si verificano durante le situazioni anticicloniche persistenti che si presentano con maggiore frequenza nei primi mesi dell'anno mentre l'aria diventa "ottima" in concomitanza delle precipitazioni associate alle perturbazioni atmosferiche autunnali che "lavano" l'atmosfera.

L'ultimo capitolo è dedicato ad un approfondimento sulle possibilità di rispetto dei limiti delle polveri sottili, il parametro che desta maggiori preoccupazioni; l'evoluzione normativa proposta a livello comunitario probabilmente prenderà in considerazione la frazione più fine, il PM_{2.5} (particelle con diametro aerodinamico inferiore a 2.5 µm) e, nel caso, le reti di monitoraggio dovranno provvedere a sostituire le teste di prelievo dei campionatori di polveri che appunto provvedono alla separazione delle particelle presenti in aria su base della loro dimensione granulometrica. Oggi la rete regionale per il monitoraggio della qualità dell'aria conduce una sperimentazione su un paio di punti, nessuno dei quali in provincia di Cuneo.

Dai dati raccolti risulta chiaro come sia necessario proseguire in un percorso generale e condiviso finalizzato alla diminuzione della concentrazione di alcuni inquinanti in aria e si conclude la presentazione di questo lavoro ringraziando i redattori ed i collaboratori tutti.

Ci si augura che i dati rilevati, che evidenziano come azioni mirate accompagnate da adeguati investimenti possano portare ad un miglioramento oggettivo, assolvano alla funzione primaria della divulgazione del dato ambientale e siano utili all'Autorità competente nello svolgimento della funzione di indirizzo e di autorizzazione.

Dipartimento Provinciale di Cuneo
Il Dirigente Responsabile
Dr. Silyio CAGLIERO



Testi ed elaborazioni a cura di:

Luisella Bardi, Sara Martini

Hanno collaborato per la gestione tecnica della rete di monitoraggio:

Luisella Bardi, Cinzia Bianchi, Raffaello Bruno, Sara Martini, Luca Pascucci, Marco Tosco

*Struttura Semplice di Produzione 10.02 – Responsabile Maurizio Battezzore
ARPA Piemonte Dipartimento Provinciale di Cuneo - Responsabile Silvio Cagliero*

Le determinazioni gravimetriche sono state realizzate da:

*Laboratorio del Quadrante Sud-Ovest
Struttura 02.09 – Sede di Cuneo – Responsabile Marco Vincenzi*

Luglio 2006

INDICE

| | |
|--|------------|
| INTRODUZIONE | 1 |
| CONFRONTO DEI RISULTATI RISCOINTRATI NEL PERIODO 2002 ÷ 2005 | 2 |
| BIOSSIDO DI ZOLFO – SO ₂ | 2 |
| OZONO – O ₃ | 4 |
| BENZENE..... | 7 |
| MONOSSIDO DI CARBONIO – CO..... | 8 |
| BIOSSIDO DI AZOTO – NO ₂ | 9 |
| MATERIALE PARTICOLATO – PM ₁₀ | 11 |
| SUPERAMENTI NELL'ANNO 2005 | 13 |
| ANNO 2005 – ANDAMENTI SETTIMANALI E GIORNALIERI | 14 |
| OZONO E INFLUENZA DELLE CONDIZIONI METEOCLIMATICHE | 19 |
| L'INDICE DI QUALITÀ DELL'ARIA PER LA PROVINCIA DI CUNEO | 22 |
| APPROFONDIMENTO SUI LIMITI RELATIVI AL MATERIALE PARTICOLATO | 26 |
| CONCLUSIONI | 29 |
| ALLEGATO: REPORTISTICA ANNO 2005 - SISTEMA REGIONALE DI RILEVAMENTO DELLA QUALITÀ DELL'ARIA | 30 |
| CENTRALINA DI MONITORAGGIO DI ALBA | 30 |
| CENTRALINA DI MONITORAGGIO DI BORGO SAN DALMAZZO | 54 |
| CENTRALINA DI MONITORAGGIO DI BRA | 69 |
| CENTRALINA DI MONITORAGGIO DI CUNEO | 80 |
| CENTRALINA DI MONITORAGGIO DI FOSSANO | 104 |
| CENTRALINA DI MONITORAGGIO DI MONDOVI' | 113 |
| CENTRALINA DI MONITORAGGIO DI SALICETO | 122 |

Introduzione

Gli inquinanti atmosferici riportati nell'elenco sottostante, sono quelli per i quali esistono dei "valori limite per la protezione della salute umana" fissati dai riferimenti normativi (indicati in parentesi):

- **Biossido di zolfo** (D.M. 60/2002)
- **Monossido di carbonio** (D.M. 60/2002)
- **Biossido di azoto** (D.M. 60/2002)
- **Benzene** (D.M. 60/2002)
- **Materiale Particolato – PM₁₀** (D.M. 60/2002)
- **Ozono** (D.Lgs. 183/2004)

I parametri monitorati dalle differenti centraline della rete fissa provinciale della qualità dell'aria sono indicati nella seguente tabella:

| Centralina | Ozono O ₃ | Ossidi di azoto NO _x | Monossido di carbonio CO | Biossido di zolfo SO ₂ | Benzene/Toluene/Xileni BTX | Materiale particolato PM ₁₀ |
|-----------------------------|-------------------------|---------------------------------------|-----------------------------|---|-------------------------------|--|
| Alba | X | X | X | X | X | X (a) |
| Borgo S.Dalmazzo | - | X | X | X | - | X (a) |
| Bra | - | X | X | - | - | X (a) |
| Cuneo | X | X | X | X | X | X (b) |
| Fossano | - | X | X | - | - | - |
| Mondovì | - | X | X | - | - | - |
| Saliceto | X | X | X | X | - | X (a) |

(a) determinazione effettuata mediante tecnica gravimetrica

(b) determinazione effettuata mediante sorgente di raggi beta

Tabella 1) Rete fissa provinciale della qualità dell'aria: inquinanti campionati (indicati con X)

Le misure, ad eccezione del parametro materiale particolato (PM₁₀) determinato con tecnica gravimetrica, sono prodotte da strumentazioni a funzionamento continuo basate su principi chimico-fisici, con trasformazione della concentrazione in un segnale elettrico.

I dati rilevati sul territorio confluiscono ad un centro informatico di raccolta, denominato Centro Operativo Provinciale (C.O.P.), avente sede presso il Dipartimento Provinciale A.R.P.A. di Cuneo, ove sono sottoposti a procedure di validazione di diverso livello. Vengono quindi inseriti in una base dati regionale dove confluiscono i risultati ottenuti da tutte le centraline fisse del Piemonte. L'accesso al pubblico di tali informazioni è possibile sul sito internet di indirizzo: <http://www.sistemapiemonte.it/ambiente/srqa/>

In questo documento sono presentati, nel primo capitolo, i risultati ottenuti dalla rete fissa nei quattro anni di monitoraggio confrontati con i limiti di legge. Seguono gli andamenti settimanali e giornalieri di alcuni inquinanti per l'anno 2005; un'analisi dell'influenza delle condizioni meteorologiche sulla concentrazione di ozono; la valutazione dell'Indice della Qualità dell'Aria per la provincia di Cuneo e un approfondimento relativo ai limiti normativi del materiale particolato. In allegato sono state inserite le elaborazioni statistiche di sintesi di ogni centralina per l'anno 2005, prodotte dal Sistema Regionale di Rilevamento della Qualità dell'Aria dell'Arpa Piemonte.

Confronto dei risultati riscontrati nel periodo 2002 ÷ 2005

Per ogni inquinante previsto dalla normativa della qualità dell'aria i valori degli indicatori di riferimento ottenuti nell'anno 2005 sono confrontati, nei paragrafi che seguono, con i risultati degli anni precedenti.

Biossido di zolfo – SO₂

Il biossido di zolfo fino agli ultimi decenni del novecento era ritenuto, nei paesi occidentali, il principale inquinante atmosferico; con il progressivo miglioramento della qualità dei combustibili dovuto al minor contenuto di zolfo nei prodotti di raffineria, ed il sempre più diffuso uso del gas metano, è diminuita sensibilmente la presenza di SO₂ nell'aria. A livello locale tuttavia negli ultimi anni permanevano ancora emissioni puntuali non completamente controllate. Pertanto nella stazione di Saliceto l'acquisizione di questo inquinante era stata sospesa a maggio 2003 per spostare l'analizzatore presso la centralina di Borgo San Dalmazzo. Nel gennaio 2005, l'inserimento di un nuovo analizzatore di SO₂, ha consentito di ripristinarne il monitoraggio anche a Saliceto.

Il D.M. 60/2002 prevede per il biossido di zolfo due tipologie di limiti per la protezione della salute umana: uno, relativo alla media oraria, pari a 350 µg/m³ da non superare più di 24 volte per anno civile e l'altro, per la media giornaliera, di 125 µg/m³ da non superare più di 3 volte per anno civile.

Nei due grafici seguenti sono rappresentati, per ogni anno di monitoraggio, i valori della massima concentrazione media giornaliera e oraria. Da essi si deduce, escludendo il sito di Borgo San Dalmazzo, il pieno e ampio rispetto di entrambi i limiti. La situazione riscontrata a Borgo San Dalmazzo nel 2003, (15 superamenti del limite orario dal 13 maggio a fine anno) è andata via via migliorando anche a seguito di interventi da parte delle industrie locali, che hanno determinato inoltre positive ripercussioni sulle concentrazioni rilevate presso la centralina di Cuneo. Con l'anno 2005 anche il limite orario è stato ampiamente rispettato nel sito di Borgo San Dalmazzo; si può pertanto affermare che la situazione si sia allineata con i valori riscontrati nelle altre centraline della provincia dove, come già anticipato, il biossido di zolfo da tempo non costituisce più un problema per la qualità dell'aria.

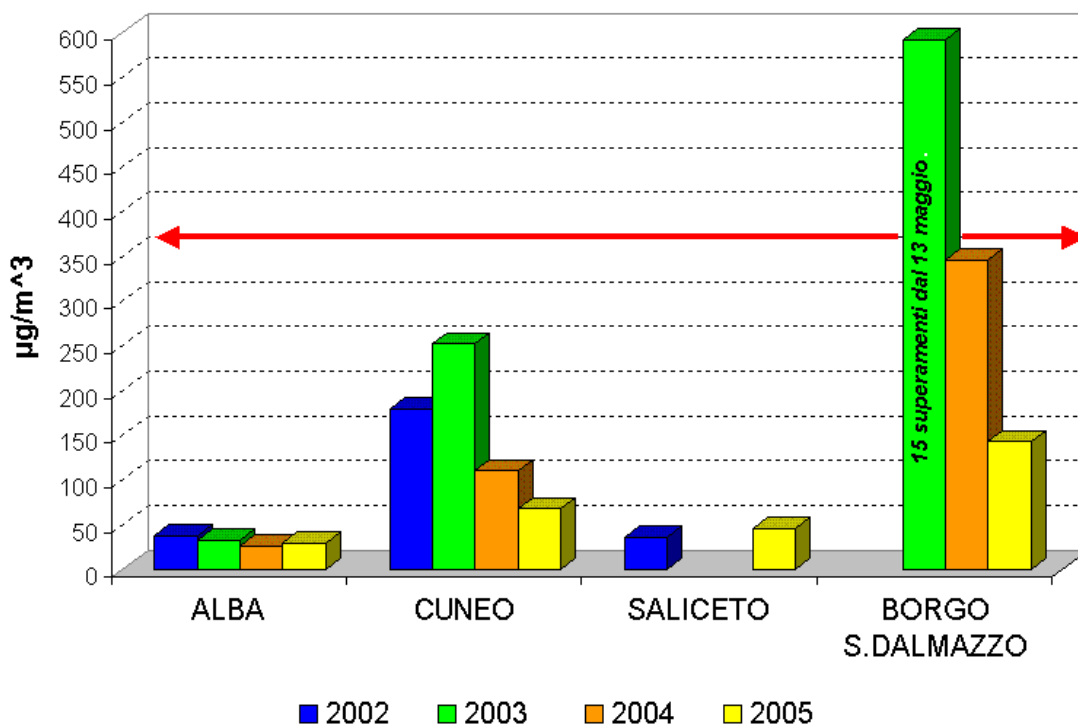


Figura 1) SO₂: valori della massima concentrazione media oraria di ogni anno di monitoraggio.

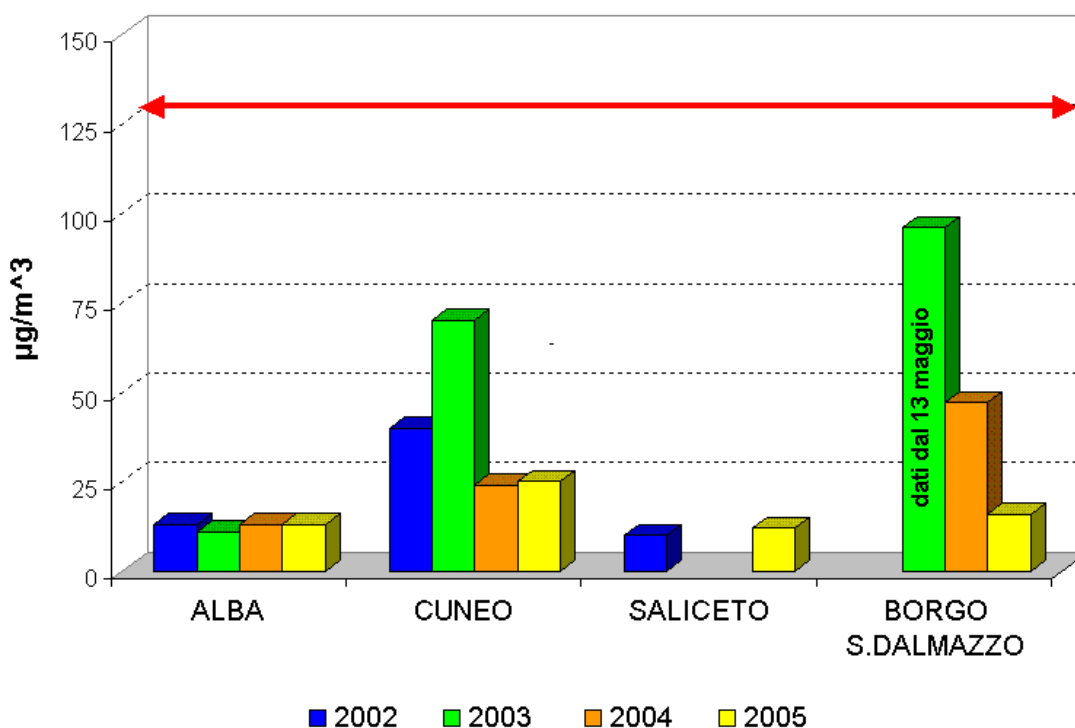


Figura 2) SO₂: valori della massima concentrazione media giornaliera di ogni anno di monitoraggio.

Ozono – O₃

L'ozono presente nella parte bassa dell'atmosfera è un inquinante secondario, ovvero la sua formazione è legata alla presenza di altri inquinanti (precursori), quali ossidi di azoto e composti organici volatili, che reagiscono catalizzati da fattori meteoroclimatici in particolare dalla radiazione solare e dalla temperatura dell'aria. Il complesso dei fenomeni che porta alla produzione di ozono viene denominato "smog fotochimico".

L'ozono è dotato di un elevato potere ossidante; alte concentrazioni risultano nocive per la salute dell'uomo, per la vita degli ecosistemi e per la conservazione dei materiali.

L'inquinamento fotochimico è un fenomeno anche transfrontaliero: è possibile infatti che, in particolari condizioni meteorologiche e di emissione, si formino inquinanti fotochimici che vengono trasportati a distanze di centinaia o migliaia di chilometri. Per controllare questo tipo di inquinamento sono stati messi a punto alcuni protocolli internazionali (Sofia 1988, Ginevra 1991, Goteborg 1999). Inoltre, il Consiglio dell'Unione europea e il governo italiano hanno adottato una normativa che indica le modalità di monitoraggio dell'ozono e ne fissa i limiti alle concentrazioni e gli standard di qualità dell'aria.

Il Decreto Legislativo 183/2004 prevede soglie di informazione e di allarme, per le concentrazioni medie orarie, pari a 180 µg/m³ e 240 µg/m³ rispettivamente. Stabilisce inoltre valori bersaglio per il 2010 e obiettivi a lungo termine per la protezione della salute umana. In particolare il valore bersaglio, che fa riferimento ad una media su 8 ore massima giornaliera, è di 120 µg/m³ da non superare per più di 25 giorni per anno civile come media su 3 anni. Analogamente sono stabiliti, per la protezione della vegetazione, un valore bersaglio e un obiettivo a lungo termine.

Dal grafico di figura 3 si può osservare che anche nel 2005 si sono verificati, nelle tre centraline nelle quali l'ozono è monitorato, superamenti della soglia di informazione. Occorre precisare però che, dall'inizio delle rilevazioni, non è mai stata superata la soglia di allarme.

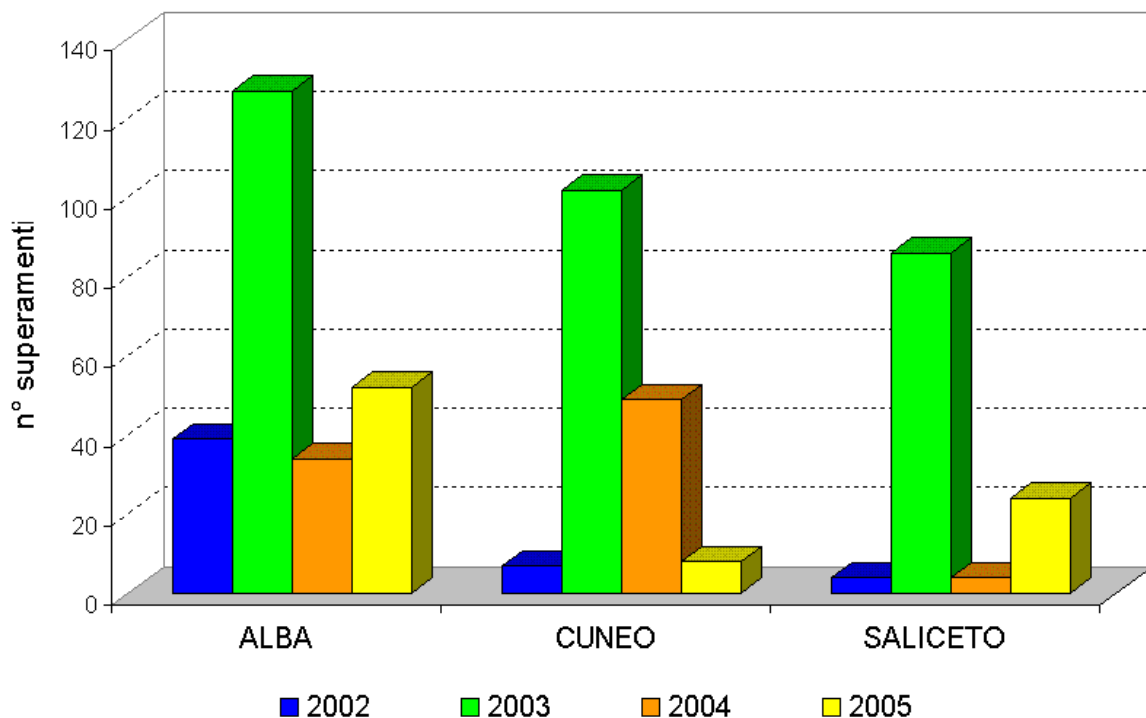


Figura 3) O₃: superamenti della soglia di informazione

Per la stretta dipendenza dell’ozono dalle condizioni meteorologiche, i superamenti della soglia di informazione sono sempre stati concentrati nel periodo compreso tra aprile e settembre. Le distribuzioni di tali eventi nei mesi interessati sono riportati, per ogni centralina, nei grafici successivi.

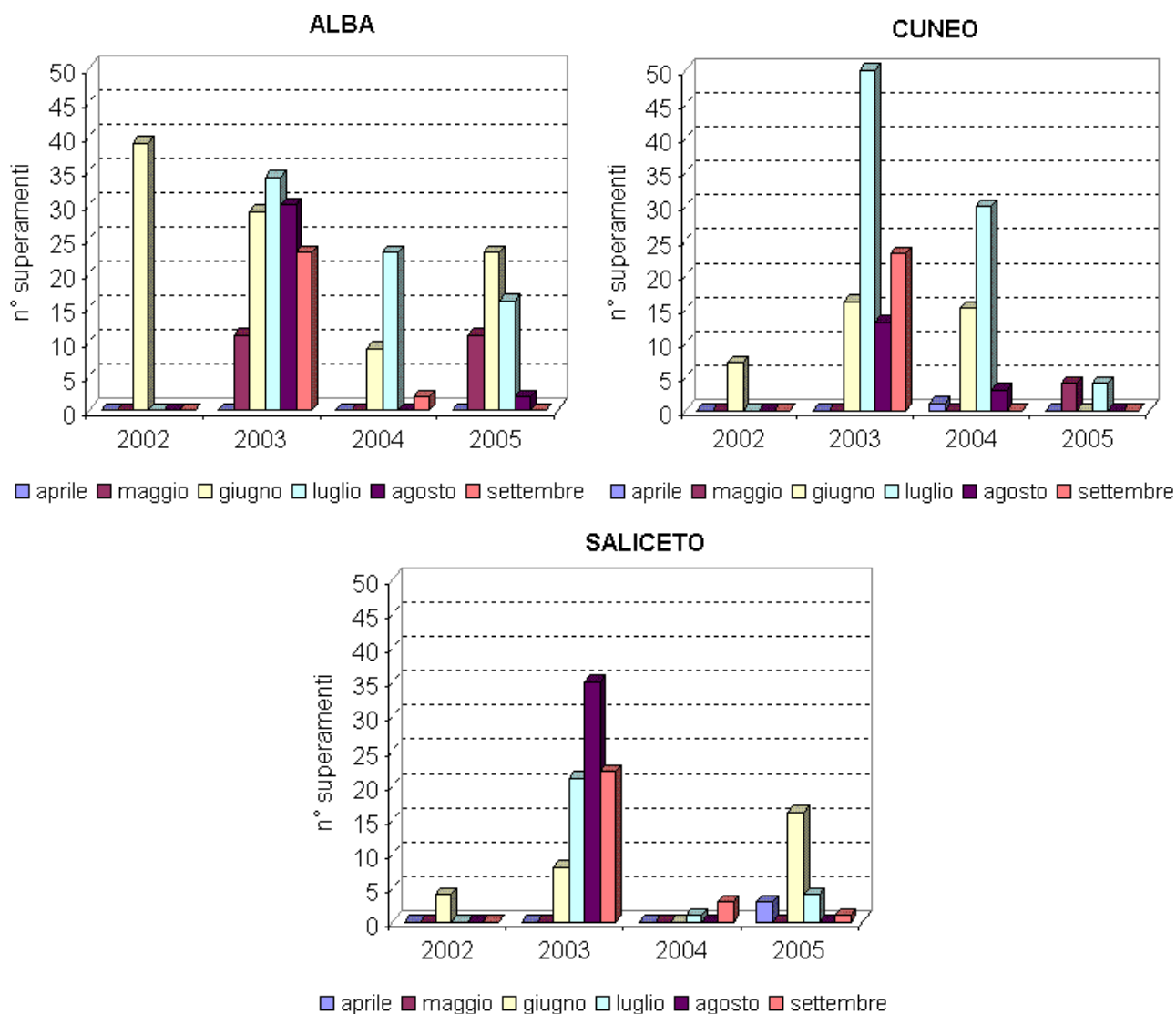


Figura 4) Numero di superamenti della soglia oraria di informazione suddivisi per anno e per mese nelle tre stazioni di monitoraggio

Per quanto riguarda il limite scelto come “obiettivo a lungo termine” (figura 5) i risultati per il 2005, sebbene non così alti come quelli dell’anno “record” 2003, sono quelli più elevati dal 2002 ad oggi.

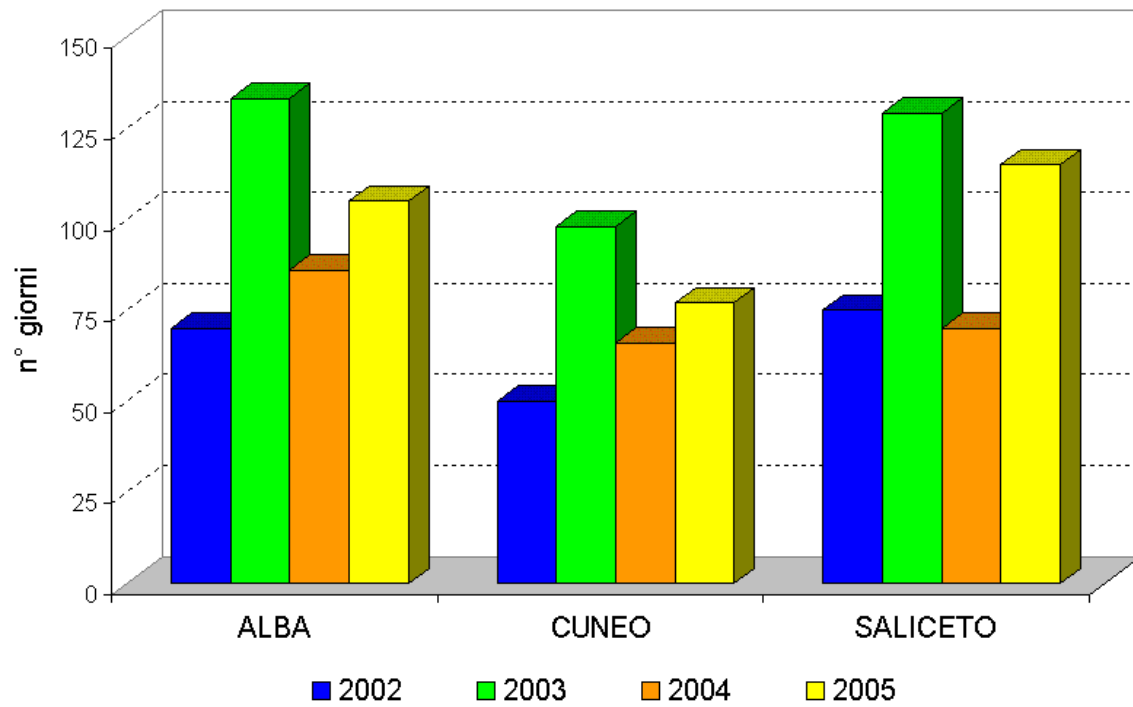


Figura 5) O₃: numero di giorni con almeno un superamento dell'obiettivo a lungo termine per la protezione della salute umana

Benzene

Le principali sorgenti di benzene sono gli autoveicoli che lo emettono prevalentemente attraverso i gas di scarico e, più limitatamente, tramite l'evaporazione della benzina nelle fasi di trasporto, stoccaggio e rifornimento nonché nei momenti di marcia e arresto, compresa la sosta prolungata in un parcheggio.

Questo inquinante è monitorato solamente in due centraline della rete fissa provinciale, ovvero nelle due città più densamente abitate: Alba e Cuneo.

I valori medi annuali ottenuti dall'attivazione della rete, riportati nel grafico di figura 6, sono confrontati con il limite normativo. I risultati del 2005 per entrambi i siti sono prossimi a quelli ottenuti negli anni precedenti e ampiamente inferiori al valore limite annuale per la protezione della salute umana di $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ stabilito dal D.M. 60/2002.

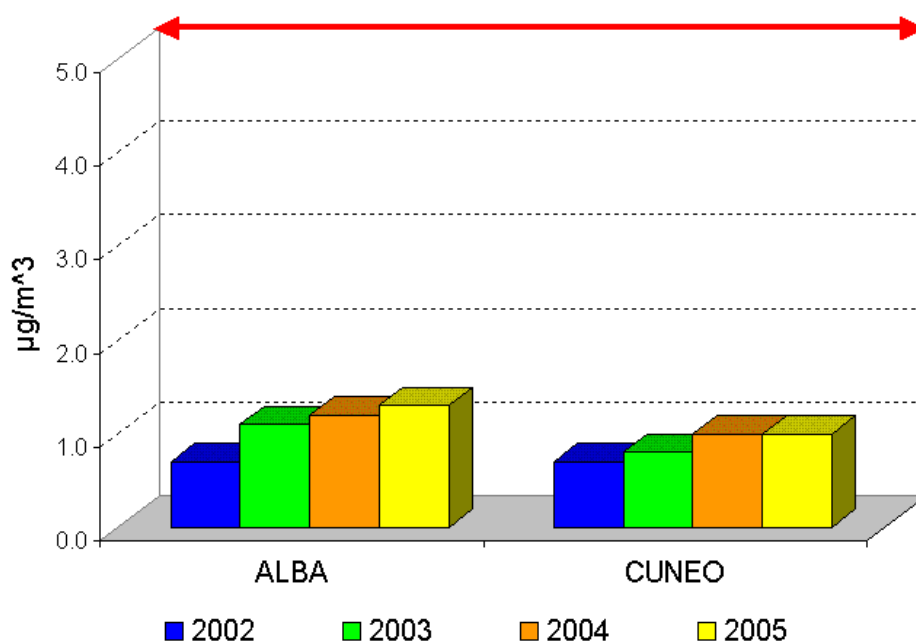


Figura 6) Benzene: medie annuali.

Monossido di carbonio – CO

Il monossido di carbonio è l'inquinante gassoso più abbondante in atmosfera, l'unico la cui concentrazione venga espressa in milligrammi al metro cubo (mg/m^3). Viene generato durante la combustione di materiali organici quando la quantità di ossigeno a disposizione è insufficiente. La principale sorgente di CO è rappresentata dal traffico veicolare, in particolare dai gas di scarico dei veicoli a benzina. La concentrazione di CO emessa dagli scarichi dei veicoli è strettamente connessa alle condizioni di funzionamento del motore: si registrano concentrazioni più elevate con motore al minimo, ed in fase di decelerazione, condizioni tipiche di traffico urbano intenso e rallentato. Altre fonti di emissione sono le centrali termoelettriche, gli impianti di riscaldamento, gli inceneritori e alcune attività industriali (impianti siderurgici e raffinerie).

Il D.M. 60/2002 prevede per il monossido di carbonio un valore limite per la protezione della salute umana di $10 \text{ mg}/\text{m}^3$ da confrontarsi con la media massima giornaliera su 8 ore.

Nel grafico di figura 7 è rappresentato il valore massimo raggiunto da questo indicatore in ogni anno di monitoraggio. Emerge chiaramente un ampio rispetto del limite normativo in ogni sito monitorato e non si evidenziano sostanziali variazioni nel corso degli anni.

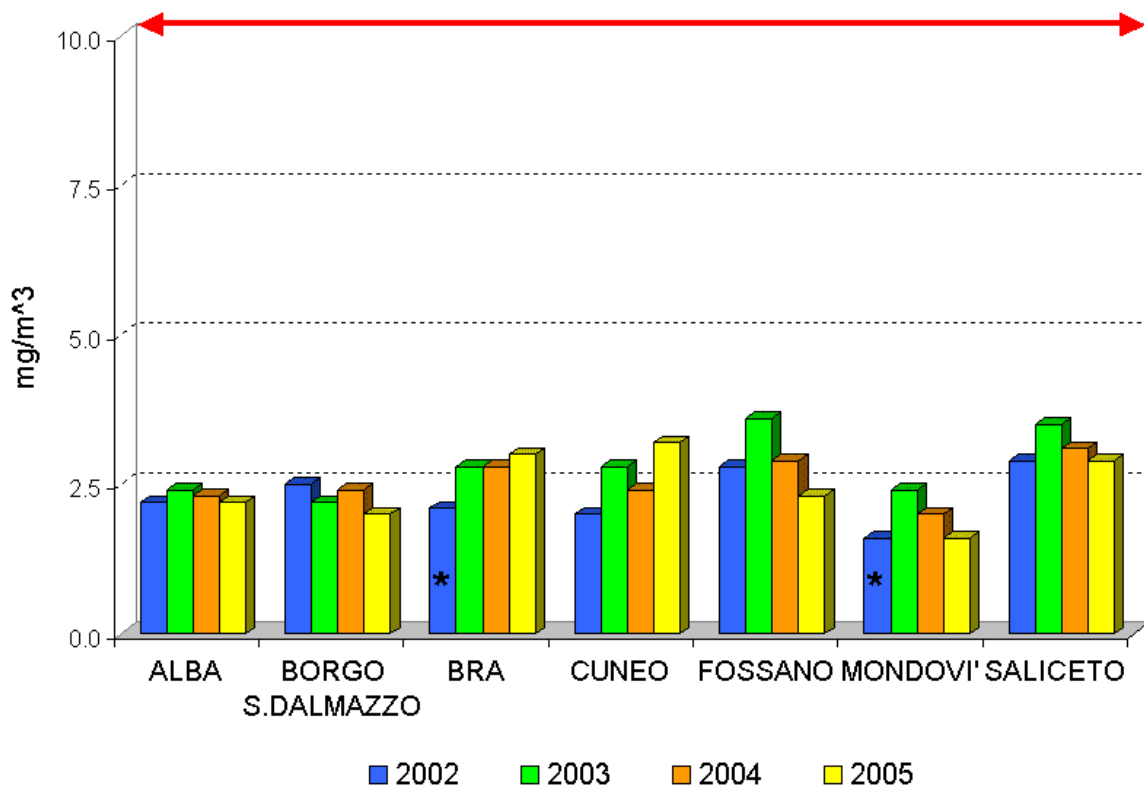


Figura 7) CO: media massima su 8 ore. (*dati rilevati nel periodo giugno ÷ dicembre)

Biossido di azoto – NO₂

Gli ossidi di azoto (NO, N₂O, NO₂ ed altri) vengono generati in tutti i processi di combustione che utilizzano l'aria come comburente, qualsiasi sia il tipo di combustibile utilizzato. Il biossido di azoto viene generato inoltre dall'ossidazione in atmosfera del monossido di azoto.

Il biossido di azoto si può ritenere uno degli inquinanti atmosferici più pericolosi, non solo per la sua natura irritante sull'uomo, ma anche perché, in presenza di forte irraggiamento solare, dà inizio ad una serie di reazioni secondarie che portano alla costituzione di sostanze inquinanti, quali l'ozono, complessivamente indicate con il termine di "smog fotochimico".

La normativa italiana per la qualità dell'aria (D.M. 60/2002) stabilisce dei limiti di concentrazione che, per gli ossidi di azoto, riguardano il biossido. Per la protezione della salute umana sono specificati due valori di riferimento, uno relativo alla media su un'ora e l'altro alla media annuale. Sebbene la normativa preveda attualmente un margine di tolleranza ai limiti, nel seguito considereremo i valori "ufficialmente" in vigore a partire dal 2010: rispettivamente pari a 200 µg/m³ da non superare più di 18 volte per anno civile, e a 40 µg/m³.

Come si può osservare dal grafico di figura 8, dove sono rappresentati per i differenti anni di monitoraggio le massime concentrazioni medie orarie, il valore di 200 µg/m³ è stato raggiunto presso la centralina di Borgo San Dalmazzo nel 2005, ma, essendosi verificato per una sola ora, il limite normativo è stato rispettato.

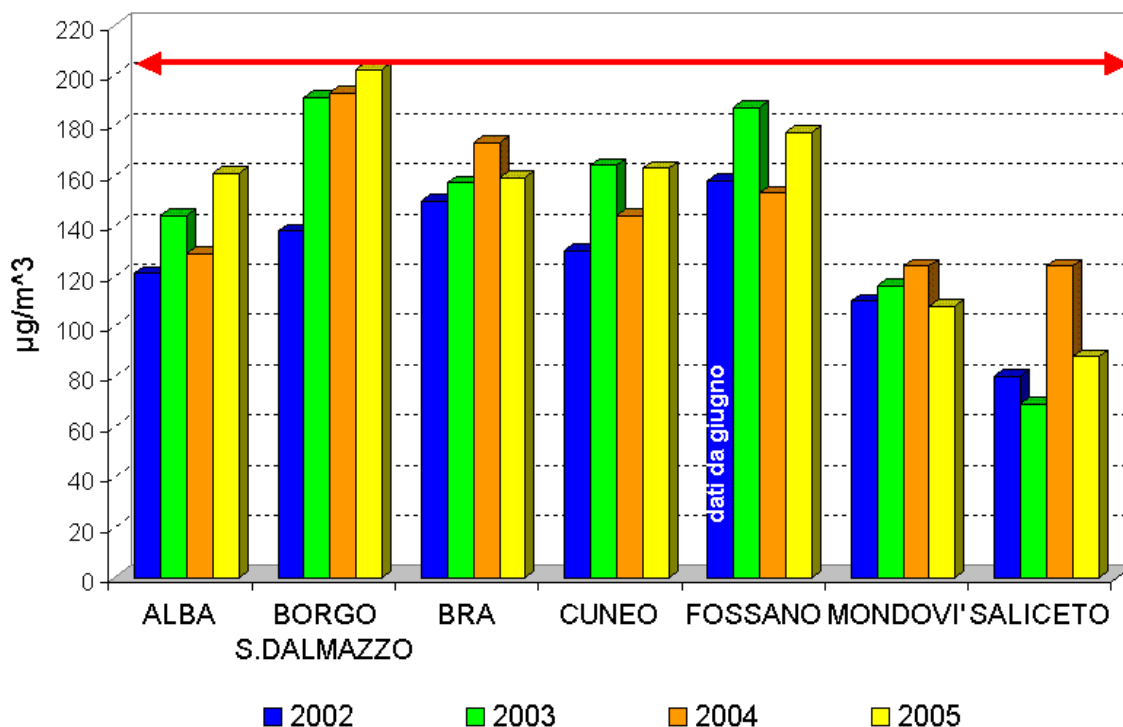


Figura 8) NO₂: massima concentrazione media oraria

Relativamente al "valore medio annuo" – figura 9 – si può osservare che anche nel 2005 il limite è stato superato presso la centralina di Borgo San Dalmazzo; quello di quest'ultimo anno tuttavia è il valore più basso dall'inizio dell'attivazione. Una situazione opposta si verifica per la centralina di Saliceto in cui si registrano valori crescenti dal 2002 al 2005. Per quanto riguarda le altre postazioni fisse i valori medi riscontrati nei diversi anni di monitoraggio non presentano tendenze particolari né all'aumento né alla diminuzione.

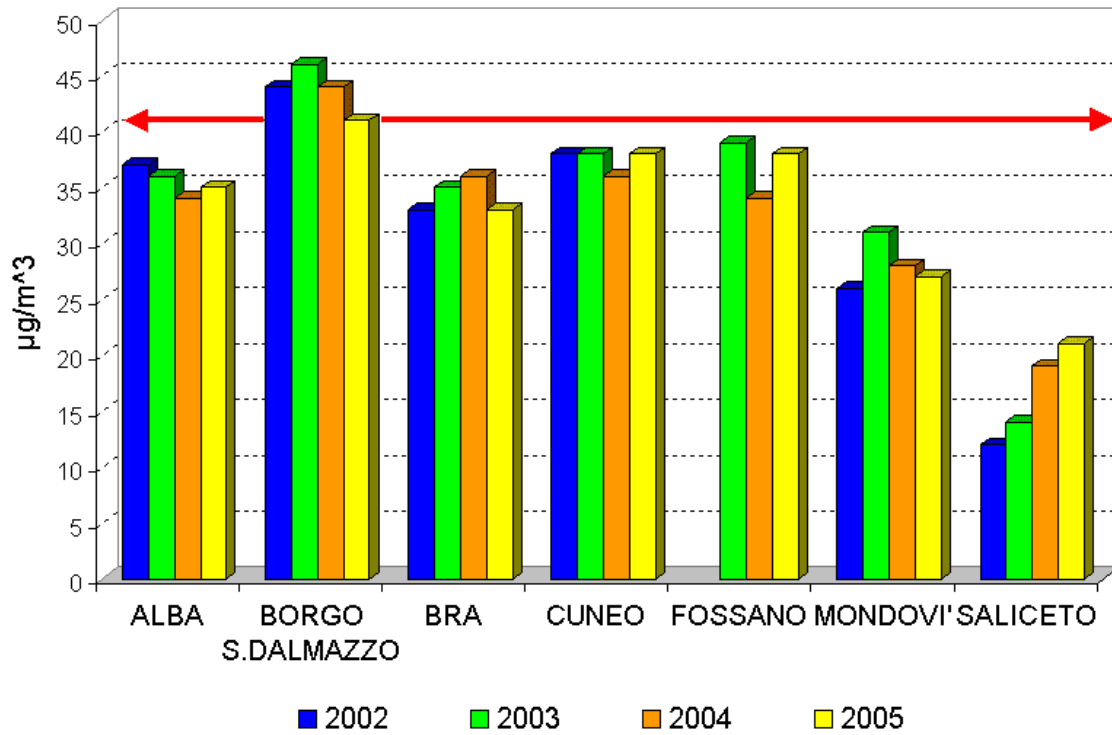


Figura 9) NO₂: concentrazione media annua

Materiale particolato – PM₁₀

Il materiale particolato presente nell'aria viene generato da processi naturali (azione del vento sulla polvere e sul terreno, incendi boschivi...) ma è principalmente prodotto dall'attività dell'uomo (industrie e traffico veicolare - gas di scarico, usura di pneumatici e componenti meccanici, risollevarimento delle polveri depositate sulle strade).

Il particolato atmosferico è formato da particelle di diametro compreso tra pochi millesimi e qualche centinaia di micron (μm). L'attenzione legislativa e scientifica per gli effetti sulla salute umana si è concentrata in particolare sulla classe PM₁₀, che comprende le particelle di diametro inferiore a 10 μm .

Il PM₁₀ è in parte di tipo primario, immesso direttamente in atmosfera ed in parte di tipo secondario, prodotto cioè da trasformazioni chimico-fisiche che coinvolgono diverse sostanze quali SO₂, NO_x, COVs, NH₃.

Il PM₁₀, analogamente a quanto accade per l'ozono nel periodo estivo, risulta ubiquitario su vasta scala a causa del lungo tempo di permanenza nell'aria (da giorni a settimane) che ne consente il trasporto su grandi distanze. Questo fa sì che le variazioni nel tempo delle concentrazioni siano principalmente condizionate da fattori meteorologici. In particolare, inverni con lunghi periodi di situazioni anticicloniche persistenti e precipitazioni limitate, sono caratterizzati da concentrazioni di polveri atmosferiche elevate.

Il Decreto Ministeriale 60 del 2002 impone, per la protezione della salute umana, un limite sulla concentrazione media annua pari a 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ed un limite giornaliero di 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, da non superare più di 35 volte nell'anno civile.

Dal grafico di figura 10 si può notare che i valori medi dei diversi anni di monitoraggio non presentano differenze sostanziali. Si può osservare infatti che, solamente per la centralina di Alba la media annua dell'ultimo anno è la più bassa dal 2002, mentre per le centraline di Bra, Cuneo e Saliceto i valori del 2005 sono aumentati rispetto a quelli del 2004, mantenendosi però inferiori o invariati rispetto agli anni precedenti.

Dal confronto con il limite normativo annuale si evidenzia, anche per il 2005 come per gli anni precedenti, il superamento presso la centralina di Bra, al contrario nelle altre stazioni fisse, fatta eccezione per l'anno 2003 ad Alba, tale limite è sempre stato rispettato.

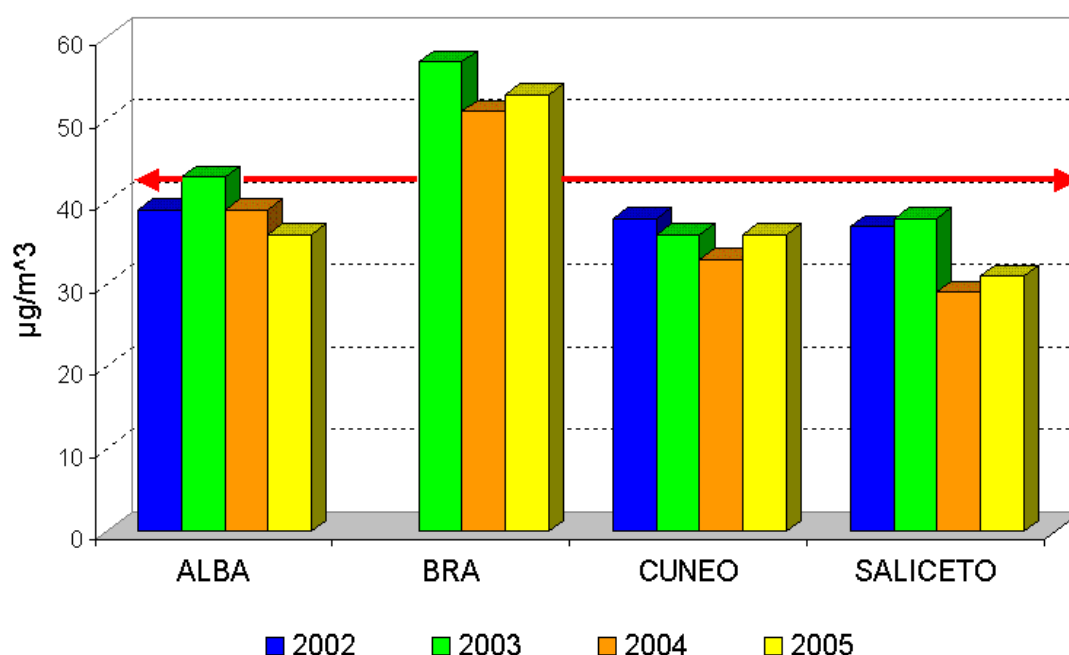


Figura 10) PM₁₀: confronto media annua

Più critica risulta la situazione del PM₁₀ in riferimento al valore limite giornaliero (figura 11) il cui numero massimo di superamenti consentiti dalla normativa per anno civile non è mai stato rispettato in nessuna centralina.

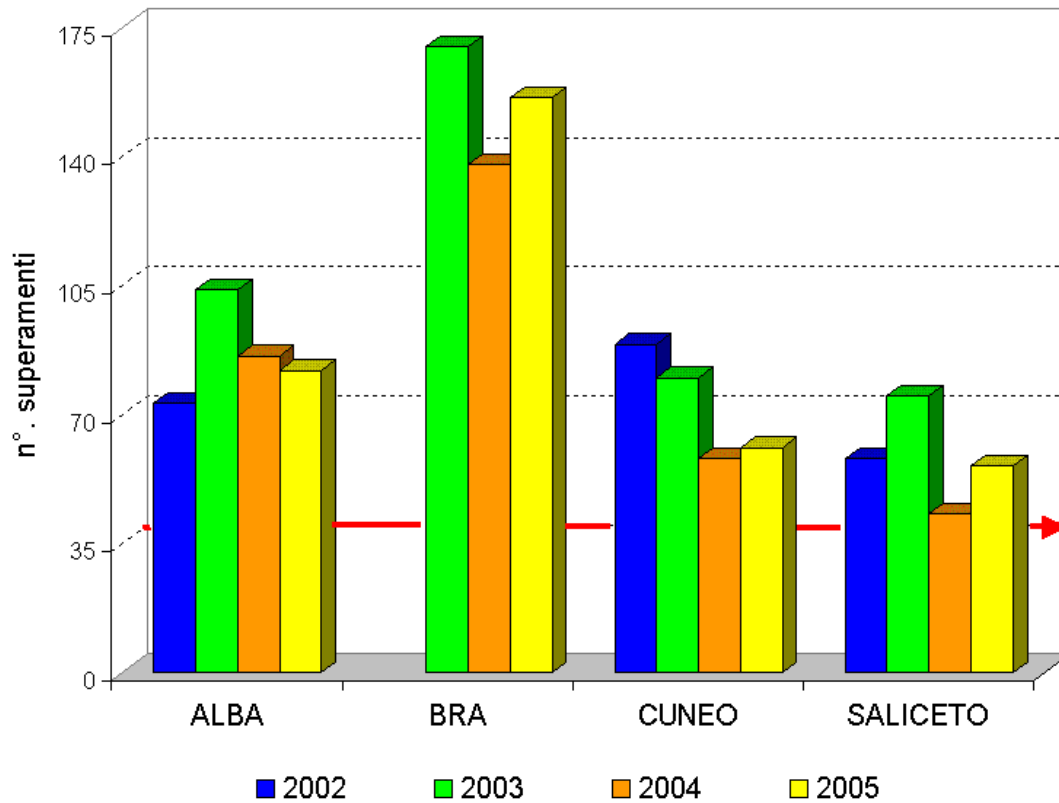


Figura 11) PM₁₀: superamenti valore medio giornaliero

Superamenti nell'anno 2005

Nella tabella seguente si riassumono i superamenti dei limiti normativi per la protezione della salute umana registrati nell'anno 2005.

| INQUINANTE | NORMATIVA DI RIFERIMENTO | VALORE LIMITE E INDICATORE STATISTICO | SUPERAMENTI CONCESSI | 2005: NUMERO DI SUPERAMENTI RILEVATI | | | | | | |
|------------------|--------------------------|--|--------------------------|--------------------------------------|-------------------|-----|-------|---------|---------|----------|
| | | | | Alba | Borgo S. Dalmazzo | Bra | Cuneo | Fossano | Mondovì | Saliceto |
| SO ₂ | D.M. 60/2002 | 350 µg/m ³ media oraria | 24 volte / anno civile | 0 | 0 | - | 0 | - | - | 0 |
| | D.M. 60/2002 | 125 µg/m ³ media 24 ore | 3 volte / anno civile | 0 | 0 | - | 0 | - | - | 0 |
| NO ₂ | D.M. 60/2002 | 200 µg/m ³ media oraria | 18 volte / anno civile | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | D.M. 60/2002 | 40 µg/m ³ media annuale | - | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| PM ₁₀ | D.M. 60/2002 | 40 µg/m ³ media annuale | - | 0 | 0 | 1 | 0 | - | - | 0 |
| | D.M. 60/2002 | 50 µg/m ³ media 24 ore | 35 volte / anno civile | 82 | 35* | 156 | 61 | - | - | 56 |
| CO | D.M. 60/2002 | 10 mg/m ³ media mobile su 8 ore | - | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| O ₃ | D.Lgs. 183/2004 | 120 µg/m ³ media mobile su 8 ore (valore bersaglio) | 25 giorni / anno civile | 105 gg | | | 77 gg | | | 115 gg |
| | D.Lgs. 183/2004 | 180 µg/m ³ media oraria (soglia di informazione) | - | 52 | | | 8 | | | 24 |
| | D.Lgs. 183/2004 | 240 µg/m ³ media oraria (soglia di allarme) | Fino a 2 ore consecutive | 0 | | | 0 | | | 0 |

*Acquisizione a partire dal mese di luglio 2005.

Tabella 2) Superamenti dei limiti normativi nell'anno 2005

Anno 2005 – andamenti settimanali e giornalieri

Per i differenti inquinanti monitorati nel 2005 sono state eseguite delle elaborazioni per ottenere gli andamenti settimanali e giornalieri delle concentrazioni. In particolare sono state ricavate la “settimana tipo”, mediando i dati rilevati negli stessi giorni della settimana, e il “giorno tipo” mediando i dati rilevati alle stesse ore del giorno. Per alcuni inquinanti la presenza ricorrente di picchi di concentrazione in taluni giorni e/o ore è tale da evidenziarsi anche in queste rappresentazioni medie settimanali e giornaliere. Gli andamenti più significativi, che si sono ottenuti per il biossido di azoto, il benzene ed il monossido di carbonio, vengono riportati nel seguito per ogni centralina e suddivisi per trimestre.

Per questi inquinanti, legati direttamente alle attività antropiche, si sono evidenziati generalmente dei valori minimi nei giorni di inizio e fine settimana e nelle ore notturne; tali variazioni sono state particolarmente marcate nei trimestri freddi (primo e quarto). Le concentrazioni dei due trimestri più caldi oltre ad essere inferiori a quelle invernali sono tra loro maggiormente sovrapponibili.

L’influenza delle attività antropiche si può osservare, ad esempio, dalla settimana tipo per l’NO₂ di Cuneo, da cui emerge, in particolare per il trimestre invernale, la tendenza ad una crescita delle concentrazioni nei giorni in cui in città si svolge il mercato, evento che inevitabilmente condiziona il flusso del traffico.

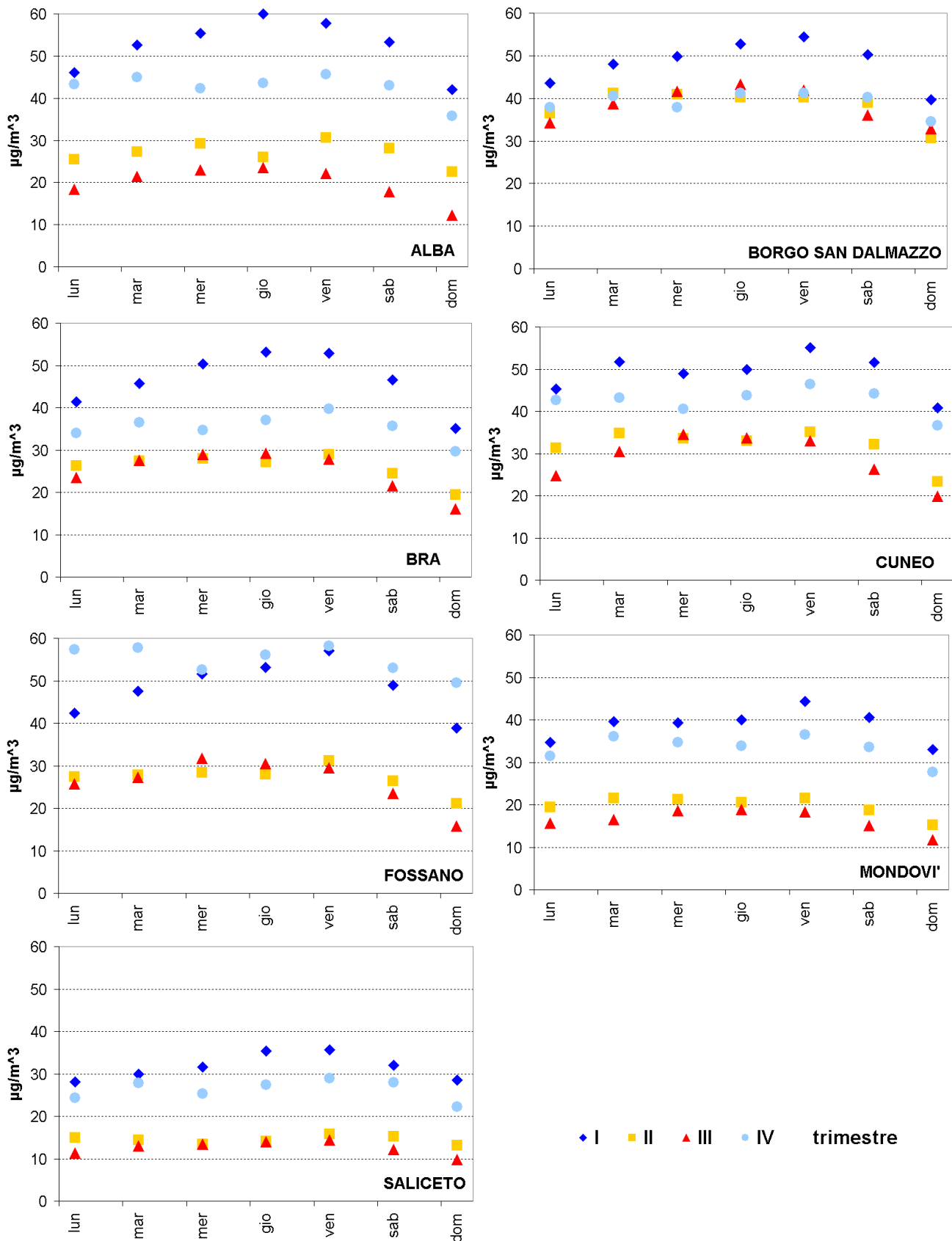


Figura 12) NO₂: settimana tipo del 2005 per ogni centralina di monitoraggio.

Il dettaglio orario riportato nei grafici dei giorni tipo consente di illustrare come i picchi più evidenti coincidano con le ore di punta, concentrate generalmente intorno alle ore 8-9 del mattino e 19-20 di sera, ed in taluni casi anche intorno alle ore 12-13.

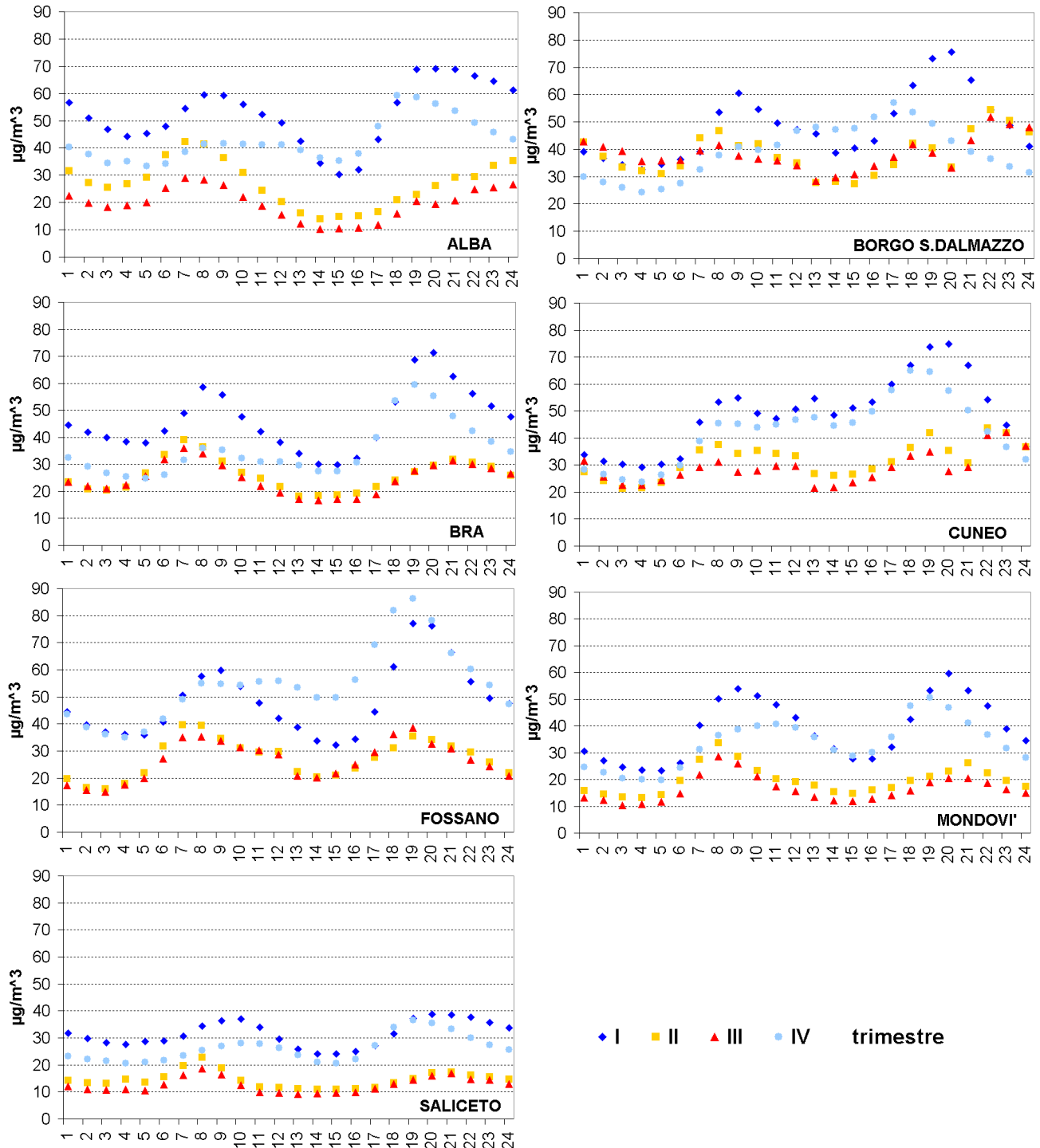


Figura 13) NO₂: giorno tipo del 2005 per ogni centralina di monitoraggio.

Mentre l'NO₂ è prodotto da differenti tipologie di sorgenti (combustioni in genere), il benzene può essere considerato un indicatore specifico del traffico veicolare che, come si può osservare dalle figure 14 e 15, determina, soprattutto nei trimestri invernali, il verificarsi di picchi di concentrazione in determinati giorni della settimana ed ore del giorno.

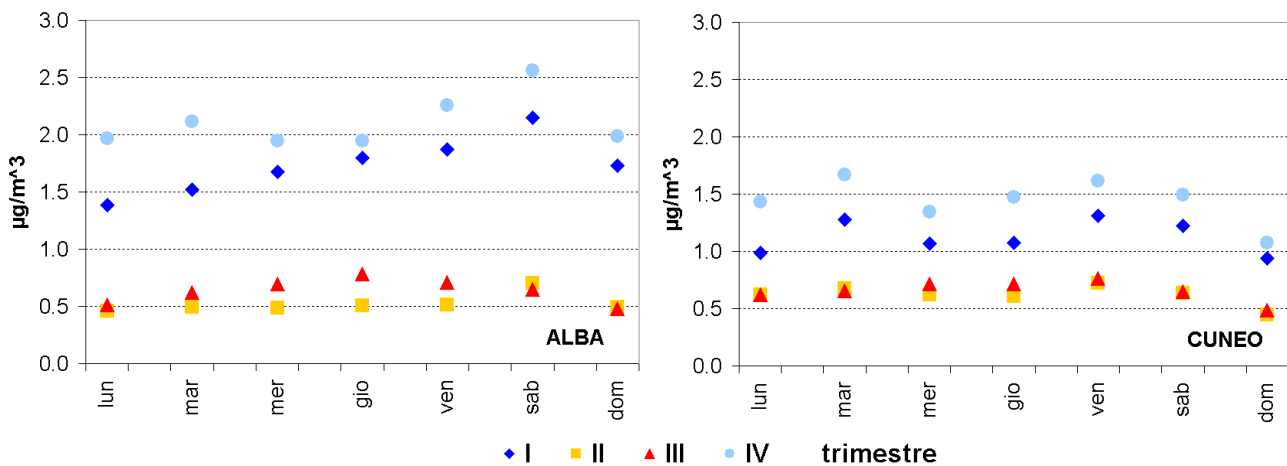


Figura 14) Benzene: settimana tipo del 2005 per ogni centralina di monitoraggio.

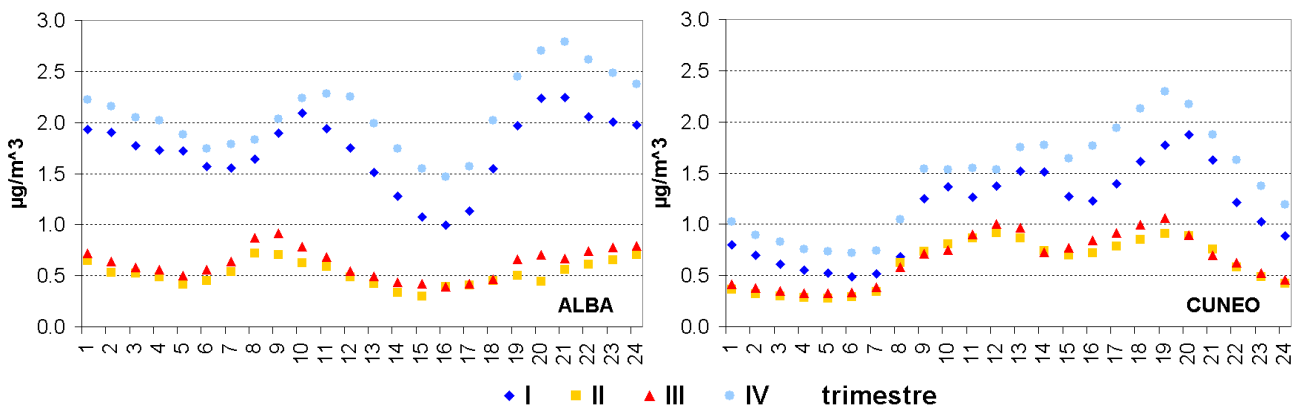


Figura 15) Benzene: giorno tipo del 2005 per ogni centralina di monitoraggio.

Un altro parametro strettamente influenzato dal traffico veicolare è il monossido di carbonio, che pertanto presenta generalmente andamenti molto simili a quelli del benzene. Per consentire un'analisi non limitata solamente alle città di Alba e Cuneo si riportano nel seguito i giorni tipo relativi a tale parametro monitorato in tutte le centraline della rete fissa.

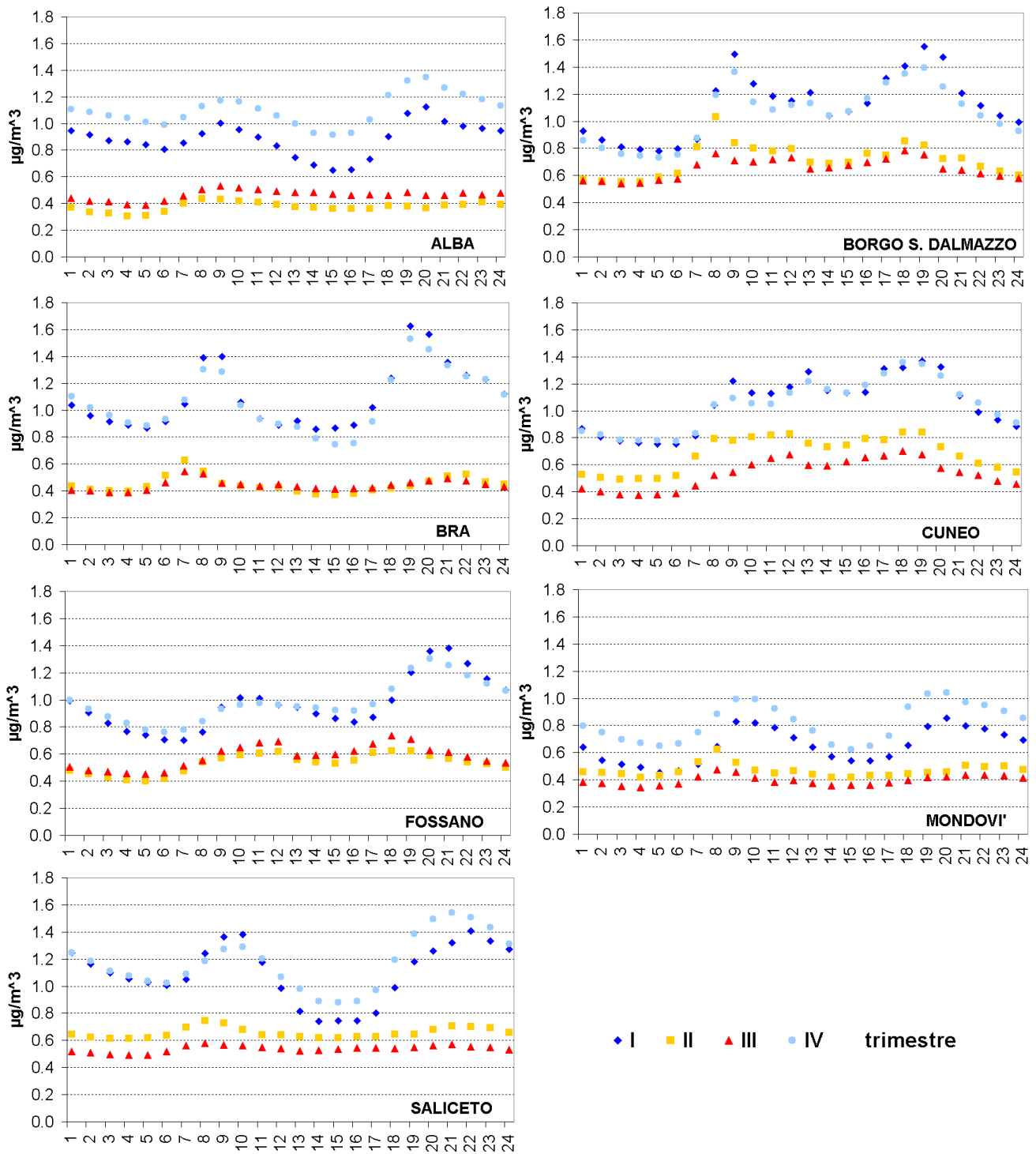


Figura 16) CO: giorno tipo del 2005 per ogni centralina di monitoraggio.

Ozono e influenza delle condizioni meteorologiche

La stretta dipendenza dell'ozono da fattori meteorologici, dovuta alla sua origine fotochimica, determina innanzitutto un andamento caratteristico delle concentrazioni nell'arco della giornata: valori più bassi nelle ore notturne e nelle prime ore del mattino, che crescono nelle ore di maggiore insolazione e all'aumentare della temperatura.

Questo è uno degli aspetti che si possono evidenziare nei grafici di figura 17. Essi rappresentano con una scala di colori le concentrazioni medie orarie di ozono rilevate dalle tre stazioni di monitoraggio in ciascun giorno del 2005: sulle ordinate sono indicati i giorni, sulle ascisse le ore del giorno; i diversi colori rappresentano differenti intervalli di concentrazione (il colore blu è stato attribuito ai valori più bassi, il verde ai valori intermedi e il rosso ai livelli massimi rilevati).

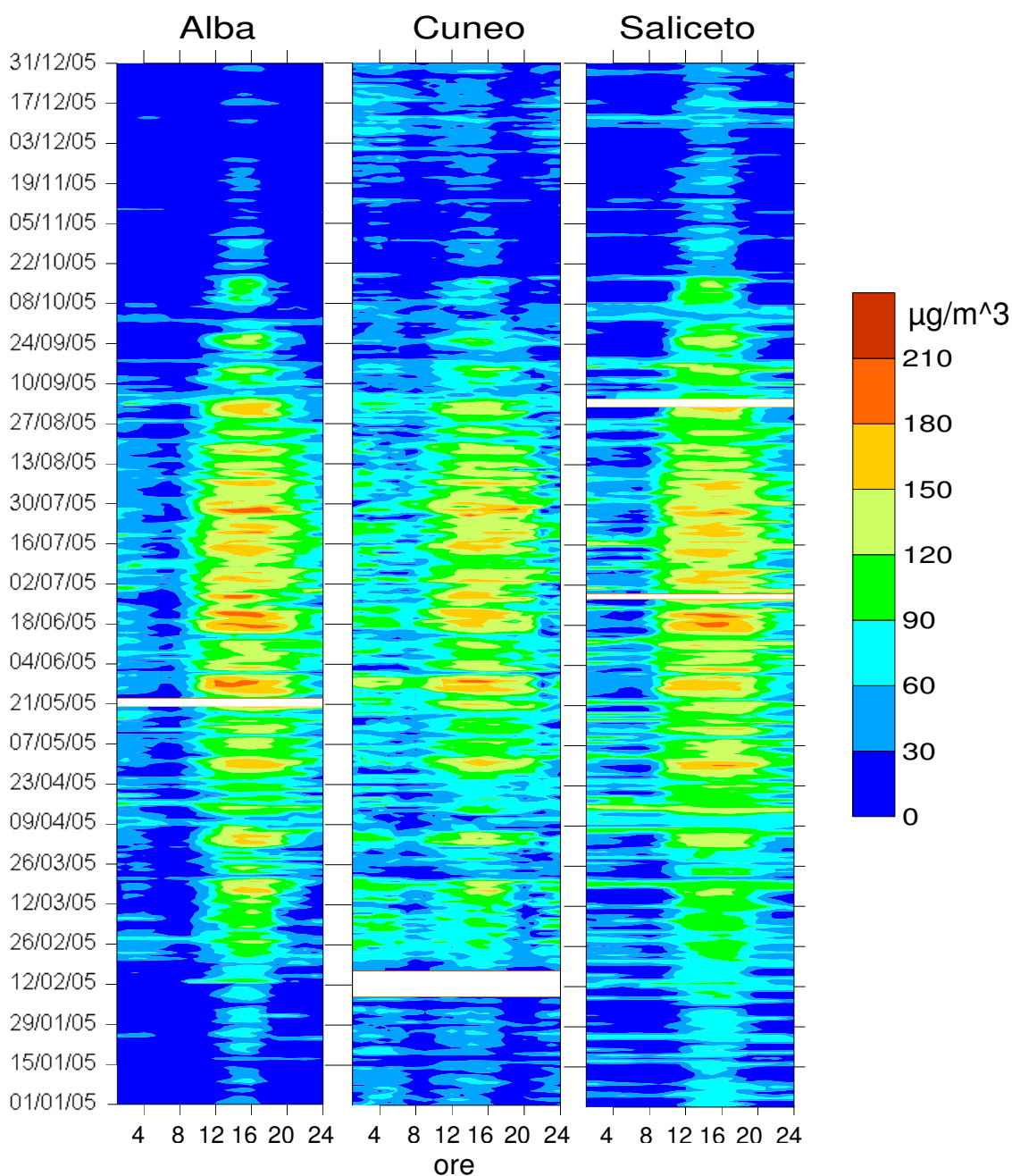


Figura 17) O_3 : Concentrazioni medie orarie di ozono nell'anno 2005.

Dal confronto tra gli andamenti giornalieri delle tre stazioni si possono osservare, per le ore notturne, concentrazioni più elevate nel sito di Cuneo, presumibilmente attribuibili ai precursori emessi dalle industrie locali che vanno ad influire sull'equilibrio delle complesse reazioni dello "smog fotochimico".

L'altro tipico andamento temporale delle concentrazioni di ozono che emerge dalla stessa figura 17 è quello stagionale dovuto alla stretta dipendenza tra ozono e radiazione solare meglio evidenziata dal grafico sottostante: la variazione stagionale della radiazione determina il tipico andamento annuale delle concentrazioni, con valori minimi in inverno e massimi nel periodo tardo-primaverile ed estivo.

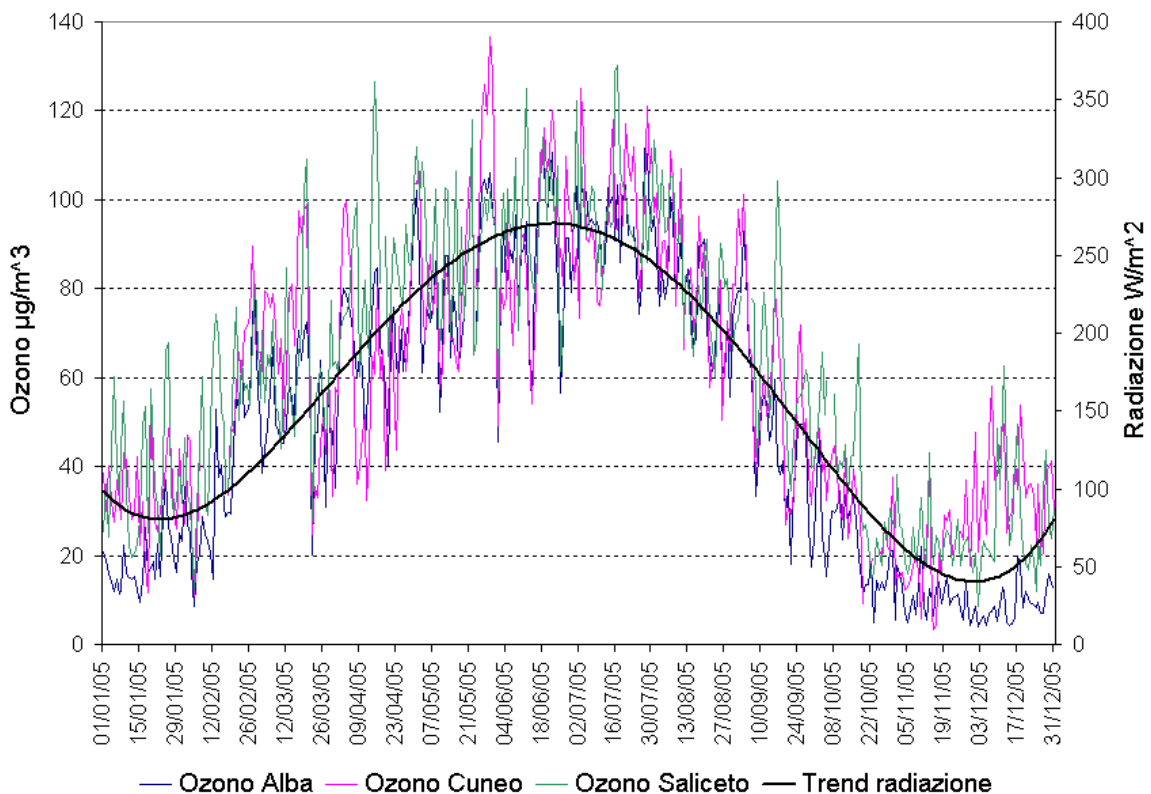


Figura 18) O₃: Concentrazioni medie giornaliere di ozono e trend della radiazione solare

Scendendo nel dettaglio di periodi di tempo più limitati si osserva che, durante gli episodi con elevate concentrazioni di ozono, le condizioni meteorologiche sono caratterizzate da situazioni anticicloniche persistenti che favoriscono la stagnazione delle masse d'aria su gran parte dell'Europa e l'aumento delle temperature.

L'Agenzia Europea per l'Ambiente¹ ha rilevato a livello europeo, per l'estate 2005, tre principali episodi di inquinamento da ozono avvenuti nei periodi: 25 ÷ 28 maggio, 21 ÷ 24 giugno e 14 ÷ 17 luglio. Il bollettino di analisi emesso dal Settore Meteorografico e Reti di Monitoraggio dell'Arpa Piemonte, evidenziava, ad esempio nei giorni del primo dei tre eventi citati, la seguente situazione meteorologica generale: "un'area di alta pressione persiste sull'europa centro meridionale favorendo condizioni di tempo stabile e **temperature sopra la media stagionale.**" Periodo che si concludeva il 30 maggio quando la situazione generale riferiva: "il lento cedimento della vasta area anticiclonica che ha mantenuto condizioni di tempo stabile nei giorni scorsi permette il passaggio di un debole fronte, che causa un aumento della nuvolosità, deboli piovvaschi e il **calo delle temperature massime.**".

¹ Air pollution by ozone in Europe in summer 2005. EEA Technical report N° 3/2006

Passando da una scala spaziale molto vasta come quella europea alla scala locale, si può osservare, nella figura 19, che anche nella nostra zona per questo inquinante sono stati registrati valori elevati nei periodi citati. Dal grafico si può notare inoltre l'influenza della temperatura dell'aria sulla concentrazione di ozono. In particolare a massimi relativi della temperatura corrispondono massimi relativi della concentrazione. Tornando all'esempio dell'episodio verificato a livello europeo a fine maggio si può osservare infatti che, successivamente al picco di temperature centrato intorno al giorno 28 ed al corrispondente picco di ozono, anche localmente il cedimento dell'area anticiclonica segnalato ha avuto come effetto il calo di entrambe le grandezze.

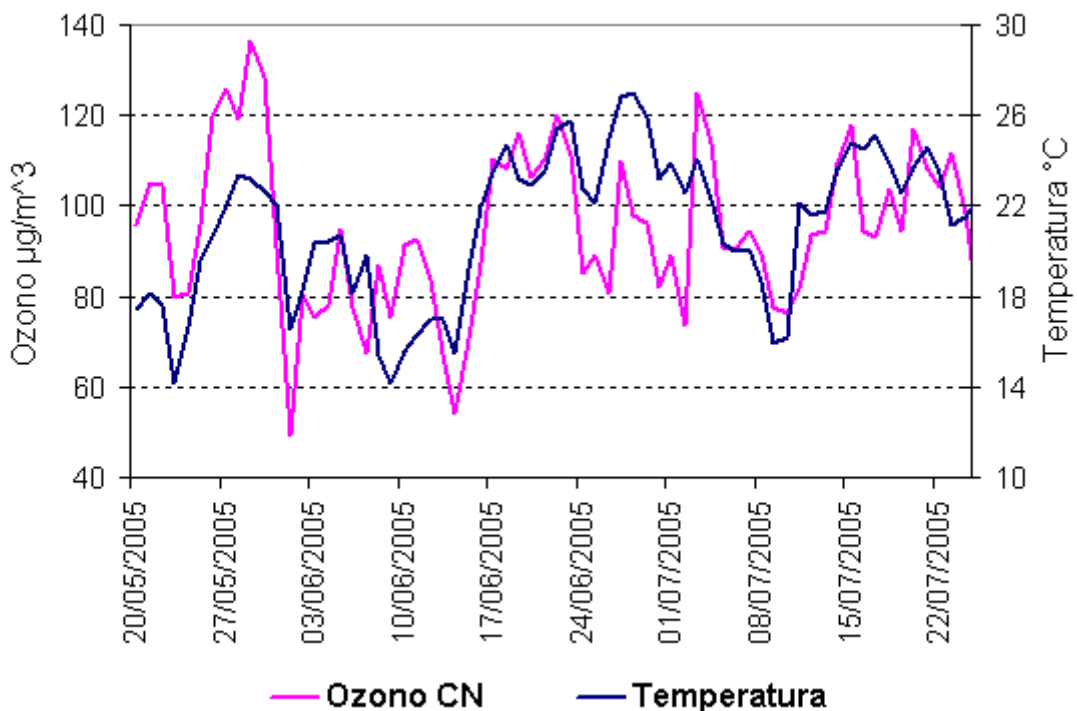


Figura 19) Confronto tra concentrazione giornaliera di ozono rilevata presso la centralina di Cuneo nel periodo 20 maggio ÷ 24 luglio 2005 e temperatura dell'aria.

L'Indice di Qualità dell'Aria^{2, 3} per la provincia di Cuneo

Per supportare l'azione di riduzione dell'inquinamento atmosferico risulta necessaria l'informazione della popolazione attraverso la comunicazione del rischio cui è sottoposta. A tal fine in diversi Paesi viene utilizzato un sistema di indicatori in grado di esplicitare alla popolazione, in modo semplice ed immediato, il livello qualitativo dell'aria che si respira. Tale sistema, proposto originariamente dall'Agenzia per la protezione dell'ambiente americana (E.P.A.), prende il nome di Air Quality Index (AQI); anche in Europa molti Stati applicano un indice paragonabile a quello americano come strumento per sensibilizzare l'opinione pubblica alla qualità dell'aria. Qualsiasi sia la metodologia di calcolo utilizzata, un simile indice non descrive la misura di un inquinante rilevato dalla singola stazione di monitoraggio, ma permette di informare il cittadino in merito allo "stato" della qualità dell'aria per zone estese, in cui le concentrazioni di inquinanti e quindi i livelli di rischio per la salute sono confrontabili.

Come già indicato in numerose occasioni, sono i circa 350 mila dati che ogni anno vengono rilevati dall'insieme delle centraline fisse, ognuna delle quali rappresentativa di una specifica realtà (fondo, urbana, industriale ecc...), a descrivere la qualità dell'aria media incidente sul territorio provinciale. Ogni centralina infatti fornisce concentrazioni puntuali caratteristiche del sito di campionamento e soltanto un'analisi complessiva dei valori ottenuti da tutta la rete consente di estendere le informazioni ad una scala spaziale più ampia.

Pertanto, per poter fornire indicazioni tendenziali anche per il territorio cuneese riguardo "a quanto pulita o inquinata" possa essere l'aria che respiriamo e quanto sia a rischio la salute delle varie categorie di cittadini ai livelli di inquinamento rilevati, è stato calcolato l'Indice di Qualità dell'Aria (IQA) con i dati dei quattro anni di monitoraggio della rete fissa provinciale.

I calcoli sono stati eseguiti con gli algoritmi utilizzati a livello regionale, che prendono in considerazione le sostanze inquinanti maggiormente critiche nel nostro territorio nei diversi periodi dell'anno e i cui effetti sono rappresentativi dell'impatto dell'inquinamento atmosferico sulla salute umana: ozono (O₃), PM₁₀ e biossido d'azoto (NO₂).

Per ogni giorno di monitoraggio è stato calcolato l'IQA ed espresso con un indice numerico che può variare da 1 a 7 (tabella 3): più alto è il valore, più elevato è il livello di inquinamento atmosferico e maggiore è il rischio per la salute.

Ai fini di questo lavoro l'IQA giornaliero è stato poi elaborato per ottenere informazioni mensili e annuali.

| INDICE NUMERICO | QUALITÀ DELL'ARIA |
|-----------------|------------------------|
| 1 | Ottima |
| 2 | Buona |
| 3 | Discreta |
| 4 | Mediocre |
| 5 | Poco salubre |
| 6 | Insalubre |
| 7 | Molto insalubre |








Tabella 3) Livelli dell'Indice di Qualità dell'Aria (IQA)

² L'indice di qualità dell'aria (IQA) nell'area metropolitana torinese.

<http://www.provincia.torino.it/ambiente/inquinamento/aria/qualita/indiceiqa>

³ Qualità dell'aria in Piemonte. <http://www.sistemapiemonte.it/ambiente/srqa/conoscidati.shtml>

Ai sette livelli dell'IQA, oltre che i diversi colori, si associano giudizi in merito alla qualità dell'aria ed alcune raccomandazioni utili alla popolazione:

1.  **Ottima:** La qualità dell'aria è considerata eccellente.
2.  **Buona:** La qualità dell'aria è considerata molto soddisfacente con nessun rischio per la popolazione.
3.  **Discreta:** La qualità dell'aria è soddisfacente con nessun rischio per la popolazione.
4.  **Mediocre:** La popolazione non è a rischio. Le persone asmatiche, bronchitiche croniche o cardiopatiche potrebbero avvertire lievi sintomi respiratori solo durante un'attività fisica intensa; si consiglia pertanto a questa categoria di limitare l'esercizio fisico all'aperto, specialmente nelle ore centrali della giornata durante i mesi estivi.
5.  **Poco salubre:** Le persone con complicazioni cardiache, gli anziani e i bambini potrebbero essere a rischio, si consiglia pertanto a queste categorie di persone di limitare l'attività fisica e la permanenza prolungata all'aria aperta specialmente nelle ore centrali della giornata durante i mesi estivi.
6.  **Insalubre:** Molti cittadini potrebbero avvertire lievi sintomi negativi sulla salute, comunque reversibili, pertanto si consiglia di limitare la permanenza all'aria aperta, specialmente nelle ore centrali della giornata durante i mesi estivi. I membri dei gruppi sensibili potrebbero invece avvertire sintomi più seri, è quindi conveniente esporsi il meno possibile all'aria aperta.
7.  **Molto insalubre:** Tutti i cittadini potrebbero avvertire lievi effetti negativi sulla salute. Gli anziani e le persone con complicazioni respiratorie dovrebbero evitare di uscire, mentre gli altri, specialmente i bambini, dovrebbero evitare l'attività fisica e limitare la permanenza all'aria aperta, specialmente nelle ore centrali della giornata durante i mesi estivi.

Nel grafico di figura 20 sono rappresentate le frequenze con cui, nei diversi anni di monitoraggio, si sono verificate, sul territorio provinciale, le classi di qualità dell'aria corrispondenti all'IQA.

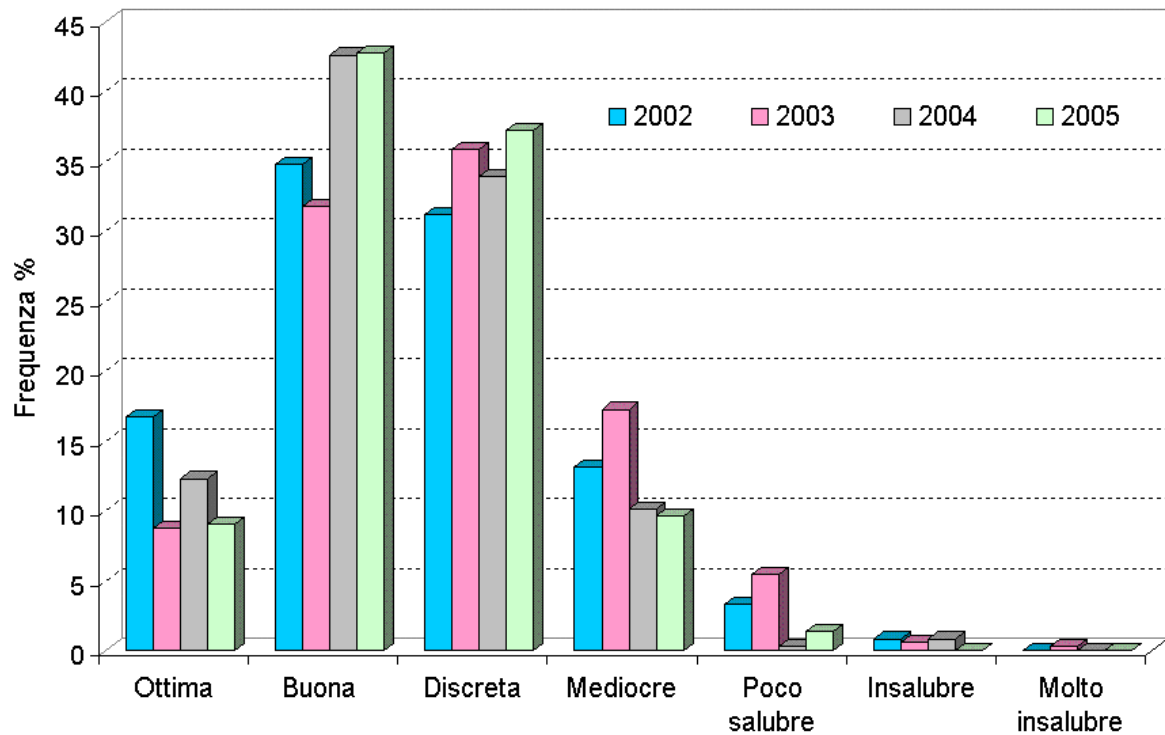


Figura 20) Frequenze di accadimento delle classi IQA nei quattro anni di monitoraggio.

Nella maggior parte delle giornate dei diversi anni considerati i livelli di IQA sono stati corrispondenti a classi di qualità dell'aria compresi tra la ottima e la discreta, cioè "con nessun rischio per la popolazione". Queste tre classi migliori si sono verificate, infatti, complessivamente con percentuali pari a: 83 % nel 2002, 76 % nel 2003 e 89 % negli ultimi due anni.

I grafici della figura seguente consentono di aumentare il dettaglio ed osservare, per ogni anno, in quali mesi si sono verificate le diverse classi IQA.

E' possibile osservare che gli episodi con i livelli peggiori si sono verificati principalmente nei mesi freddi, in particolare nei primi mesi dell'anno, a causa delle elevate concentrazioni di PM₁₀. L'ozono, in alcuni anni, ha determinato occorrenze di livelli di IQA "poco salubre" nei mesi di giugno, luglio e settembre e, in particolare nell'estate 2003, frequenze non trascurabili di IQA "mediocre".

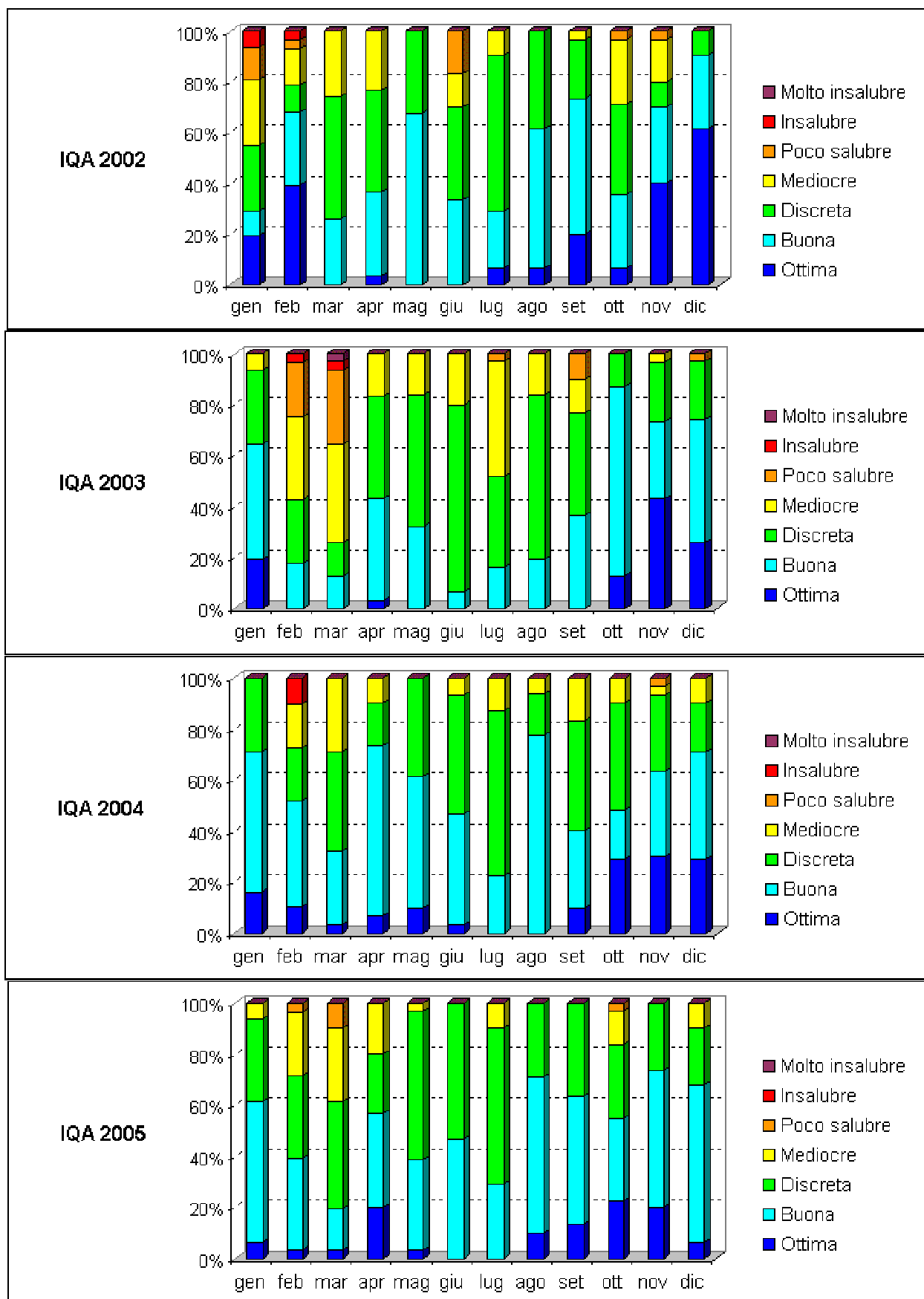


Figura 21) Distribuzione mensile delle frequenze di accadimento delle classi IQA nei quattro anni di monitoraggio.

Approfondimento sui limiti relativi al materiale particolato

Il Decreto Ministeriale 60 del 2002, che recepisce la direttiva europea 1999/30/CE, stabilisce per il materiale particolato valori limiti annuali e giornalieri, che a partire dal 1° gennaio 2005 sono pari rispettivamente a $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ e $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ da non superare più di 35 volte nell'anno civile. Tali valori, già citati in precedenza, riguardano però quella che viene denominata dalla normativa "fase 1", e che il decreto prevede di sostituire nel 2010 con la "fase 2" che comporterebbe il dimezzamento del limite annuale e la riduzione, da 35 a 7, del numero di superamenti consentiti del limite giornaliero di $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Anche se oggi si ha notizia di nuove proposte normative che potrebbero variare i limiti attraverso uno spostamento dell'attenzione sulla frazione più fine del particolato (PM_{2.5}), si ritiene opportuno un approfondimento basato su quanto attualmente in vigore.

Considerando la "fase 1" del D.M. 60, affinché in un sito siano rispettati entrambi i limiti per il PM₁₀, il valore medio annuale dovrebbe essere inferiore a $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ e contemporaneamente il 36° valore più elevato dovrebbe essere inferiore a $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Per ogni centralina della provincia e per ogni anno di monitoraggio, nel grafico seguente è rappresentato un punto la cui coordinata orizzontale indica la concentrazione media annuale di PM₁₀, mentre l'ordinata corrisponde al 36° valore più elevato misurato nell'anno.

Punti che ricadono alla destra della linea verticale rossa corrispondono quindi a superamenti del limite annuale di $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$, mentre la posizione al di sopra della linea orizzontale rossa indica il superamento, per più di 35 volte in un anno, del limite giornaliero.

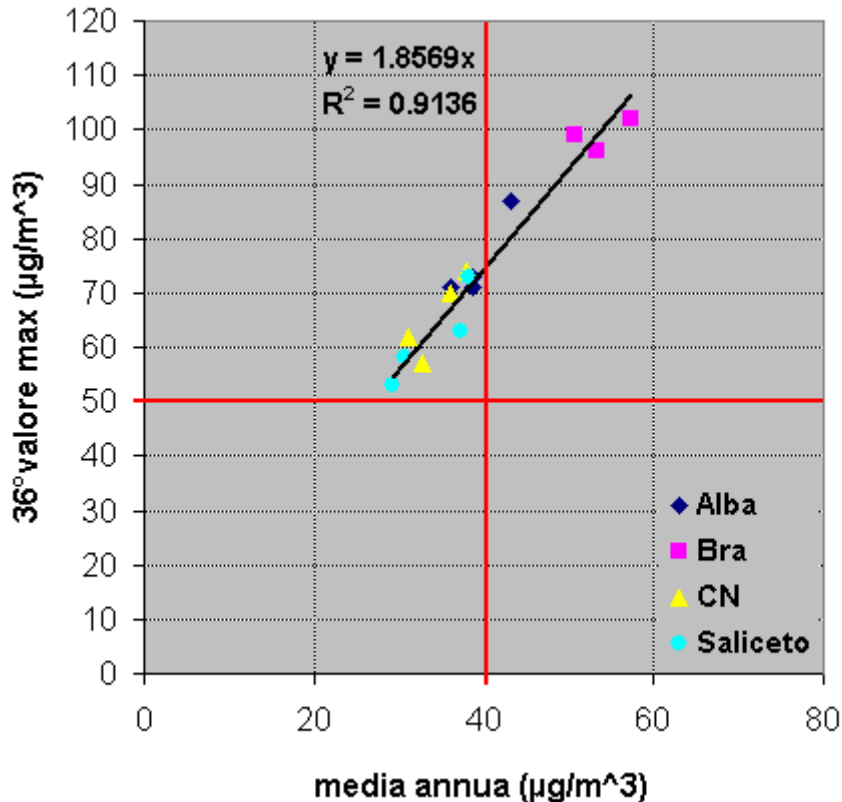


Figura 22) Media annuale e 36° valore più elevato di PM₁₀ per ogni anno del periodo 2002÷2005 in ogni centralina della rete. Limiti "fase 1".

Come già evidenziato nel primo capitolo, attualmente il rispetto del valore limite sulle 24 ore è più critico di quello annuale e dall'attivazione della rete provinciale è sempre stato superato. Questa difficoltà rispecchia quanto accade a livello europeo⁴ e, come suggerisce il CAFE Working Group on Particulate Matter, può essere causata da una non corrispondenza tra i due limiti e viene spiegata valutando il coefficiente angolare della linea di regressione che approssima i punti del grafico. Nel nostro caso (linea nera) esso ha un valore di circa 1.9 ed indica che i valori osservati dei rapporti tra i due limiti sono considerevolmente più elevati del rapporto ottenuto tra i valori dei limiti stessi pari a 1.25 (rappresentato nel grafico con la linea rossa tratteggiata). Detto più semplicemente, se ci fosse corrispondenza tra i limiti, i punti sarebbero distribuiti intorno alla linea rossa tratteggiata.

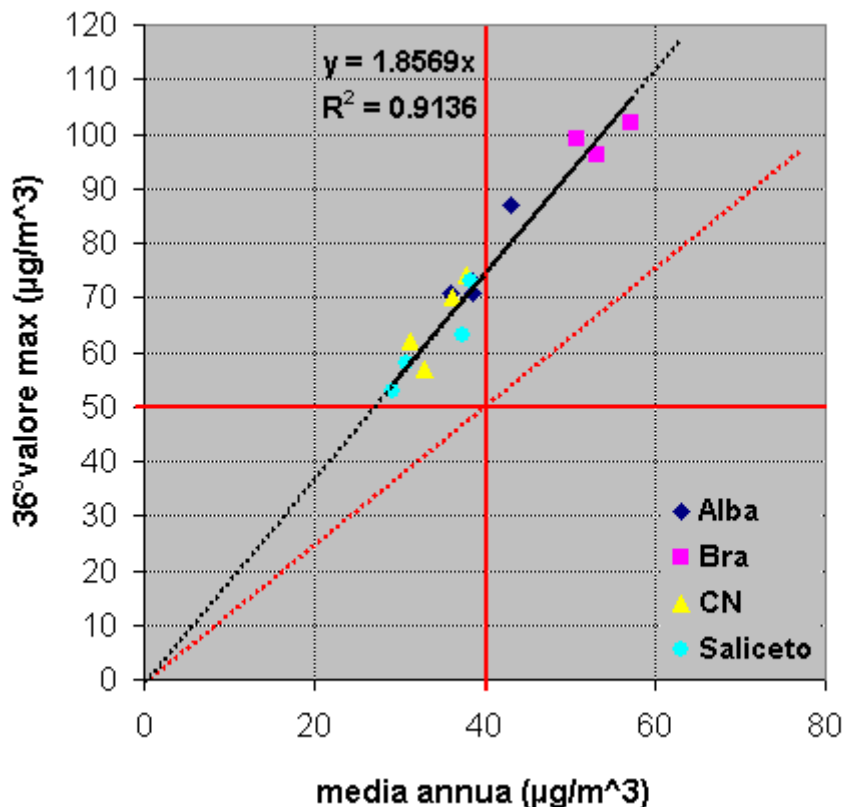


Figura 23) Media annuale e 36° valore più elevato di PM_{10} per ogni anno del periodo 2002÷2005 in ogni centralina della rete. Limiti "fase 1".

Ciò dimostra che l'attuale limite giornaliero è più restrittivo di quello annuale e pertanto, interventi sulle emissioni tali da riuscire a garantire il rispetto di quest'ultimo, potrebbero non essere sufficienti ad assicurare il rispetto del limite sulle 24 ore, tanto più se si considera che gli episodi acuti, cui si rivolge il limite sul breve periodo, sono indotti da fattori non controllabili quali le condizioni meteorologiche.

Elaborando i dati del periodo 2002 ÷ 2005 con i criteri imposti dalla "fase 2" della normativa si ottiene il grafico di figura 24 dove l'ordinata corrisponde all'8° valore più elevato misurato nell'anno.

Dal confronto dei rapporti tra i valori sperimentali dei limiti (~2.6) e quelli teorici (2.5) si deduce un'equivalenza nettamente migliore tra i valori di riferimento imposti per la seconda fase. Tuttavia essi sono molto più restrittivi e con le concentrazioni misurate sinora, oltre al

⁴ Second Position Paper on Particulate Matter. CAFE Working Group on Particulate Matter. December 20th, 2004.

limite sul breve periodo, anche quello annuale risulterebbe superato costantemente presso tutte le centraline.

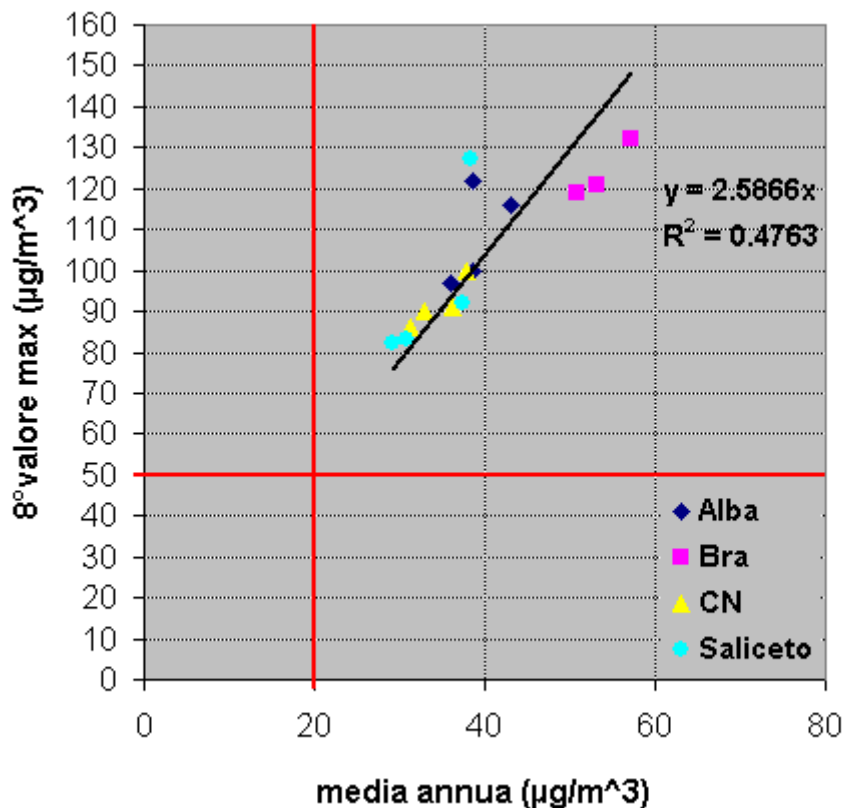


Figura 24) Media annuale e 8° valore più elevato di PM_{10} per ogni anno del periodo 2002÷2005 in ogni centralina della rete. Limiti “fase 2”.

Occorre a questo punto precisare che la “fase 2” potrebbe non essere applicata. Infatti la Commissione Europea nel settembre 2005 ha elaborato una proposta di Direttiva “relativa alla qualità dell’aria ambiente e per un’aria più pulita in Europa” con la quale prende atto dell’esistenza di prove evidenti della maggior pericolosità delle particelle sottili ($PM_{2.5}$) rispetto a quelle più pesanti. Stabilisce pertanto la necessità di un nuovo approccio al controllo del $PM_{2.5}$ che deve integrare i controlli già in atto sul PM_{10} . Propone, oltre all’introduzione di un obiettivo di riduzione dell’esposizione per il $PM_{2.5}$, la sostituzione dei valori limite della “fase 2” dell’attuale D.M. 60 con un livello massimo di concentrazione della media annuale di $PM_{2.5}$ pari a $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ da raggiungere entro il 2010.

Attualmente la rete provinciale della qualità dell’aria non è dotata della strumentazione per il monitoraggio di questa frazione del particolato e non è quindi possibile fare considerazioni sulla possibilità locale di rispetto del nuovo limite e sulla sua ristrettezza.

Conclusioni

A conclusione di questo lavoro è necessario considerare che, sebbene l'Indice di Qualità dell'Aria evidenzi nel complesso una qualità media dell'aria della provincia di Cuneo non particolarmente critica, è importante non dimenticare che, nel corso del 2005, il numero di superamenti del limite giornaliero per i PM_{10} è stato ovunque di gran lunga maggiore al massimo consentito; si sono verificati inoltre superamenti del valore bersaglio e della soglia di informazione per l'ozono in tutti e tre i siti di monitoraggio. Si reputa quindi importante tendere progressivamente alla riduzione, con piccoli e grandi interventi, delle emissioni nell'atmosfera, in particolare quelle che possono determinare direttamente o indirettamente episodi di inquinamento da particolato atmosferico e ozono, senza trascurare gli ossidi di azoto che, sebbene se ne sia verificato il superamento del limite annuo in una sola postazione, intervengono, in quanto precursori, nella formazione di entrambi.