

QUALITA' DELL' ARIA E AMBIENTI DELLA LOMBARDIA

La qualità dell'aria presenta notevole variabilità sul territorio regionale e ha significati differenti per le varie componenti sensibili all'inquinamento atmosferico. Ci sono zone della regione - è il caso delle grandi aree urbane caratterizzate da intenso traffico automobilistico e da diffuse emissioni da riscaldamento domestico - che determinano in gran parte la qualità della propria aria-ambiente e dove gli impatti riguardano maggiormente le persone e il patrimonio artistico esposti alle polveri fini. Ci sono altre zone che risentono di emissioni prodotte altrove e dove l'inquinante dominante è l'ozono e l'esposizione riguarda prevalentemente le persone e la vegetazione: è il caso delle aree suburbane o rurali dove i "precursori" (ossidi di azoto e idrocarburi) emessi nelle grandi aree metropolitane - "motore fotochimico" - sono trasportati dall'azione del vento e successivamente trasformati dalla radiazione solare.

La definizione delle politiche a tutela della qualità dell'aria richiede di conoscere le modalità di distribuzione delle sostanze inquinanti nel tempo e nello spazio. Sulla base del Piano Regionale della Qualità dell'Aria, in Lombardia è stata definita la *zonizzazione* del territorio regionale: sono perciò state individuate macroaree, con caratteristiche simili in termini di cause e di livelli di inquinamento, nelle quali le autorità competenti adottano provvedimenti coordinati - e quindi efficaci - a breve e lungo termine al fine di prevenire o ridurre l'inquinamento dell'aria.

Nel corso degli anni la tipologia di inquinamento è cambiata. In seguito alla radicale trasformazione degli impianti di riscaldamento domestico e alle innovazioni motoristiche e di abbattimento delle emissioni, si è registrata una vistosa riduzione nelle concentrazioni in aria degli inquinanti tradizionali. Negli ultimi anni i problemi di inquinamento atmosferico più critici sono riconducibili alle polveri fini e all'ozono; nonché, limitatamente alle *zone critiche*, al biossido di azoto e al benzene. Ozono e polveri fini si presentano comunque come gli inquinanti più difficili da combattere sia per le loro caratteristiche di inquinanti secondari, sia perché spesso il fattore meteorologico diven-

ta dominante: la Lombardia infatti è caratterizzata da un contesto meteo-climatico sfavorevole, tipico della valle Padana.

10.1 IL QUADRO NORMATIVO

Il recepimento delle direttive europee ha recentemente modificato l'assetto normativo italiano introducendo un nuovo approccio per la valutazione e la gestione della qualità dell'aria, basato su criteri armonizzati tra i Paesi dell'Unione Europea. In particolare il D.Lgs 351/99 e il DM 60/02, oltre a definire gli standard di qualità per la protezione della salute umana e degli ecosistemi, stabiliscono le modalità di misura e di valutazione dei vari inquinanti. Fissano inoltre i criteri fondamentali per la gestione della qualità dell'aria prescrivendo di attuare piani di risanamento laddove sono evidenziate delle criticità, e piani di mantenimento nelle zone in cui i limiti sono rispettati. La novità contenuta nella norma è quindi essenzialmente quella di focalizzare l'attenzione non più alla sola conoscenza dello stato di qualità dell'aria, ma anche alle politiche di risanamento e alla valutazione della loro efficacia nel

Tabella 1

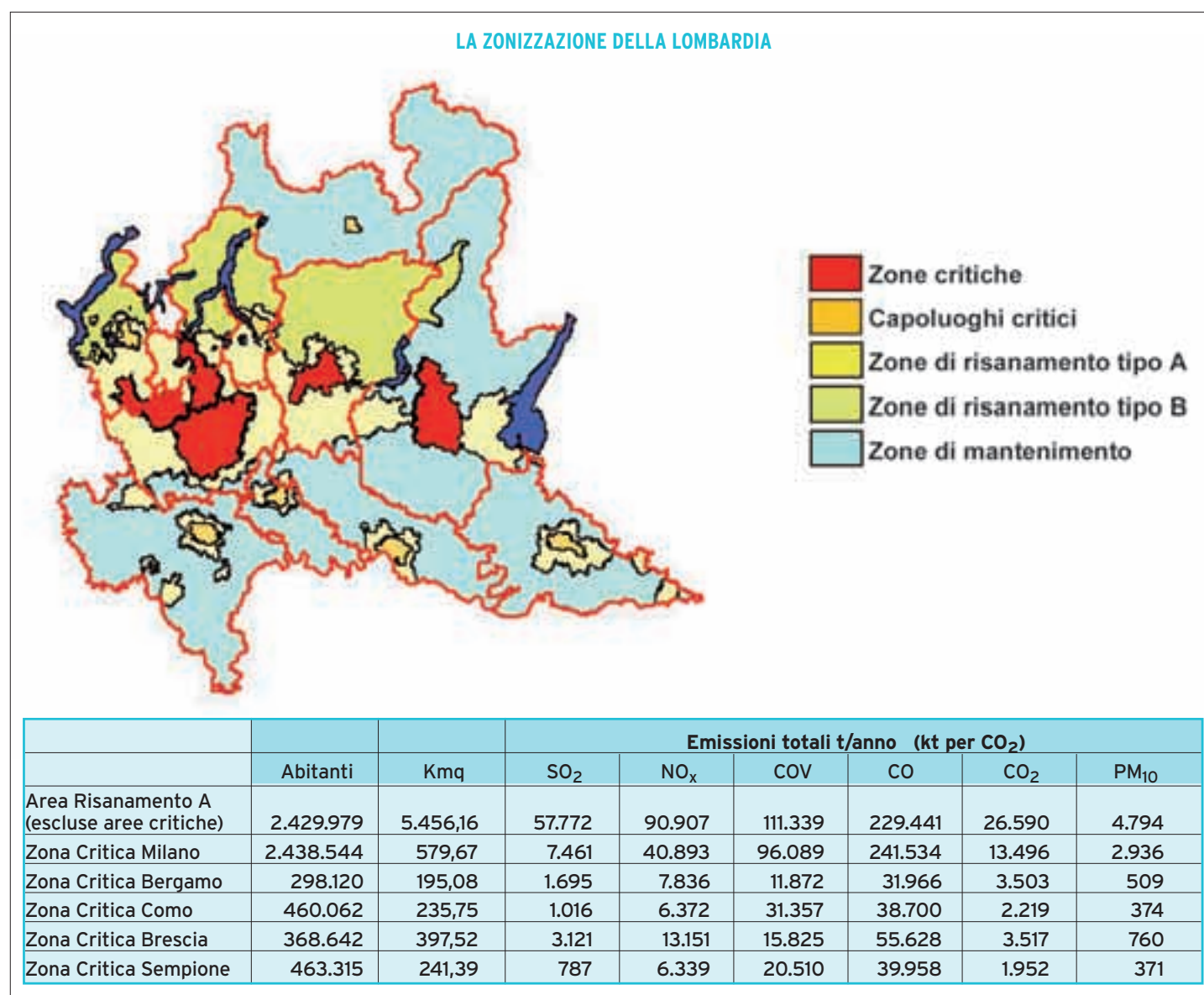
Limiti introdotti dal DM n.60 del 02/04/02 da conseguire a regime (2005-2010), e dal DM 16/05/96 per l'ozono.

GLI STANDARD DI QUALITÀ DELL'ARIA	
SO ₂	protezione salute umana media oraria: 350 µg/m ³ da non superare più di 24 volte/anno media giornaliera: 125 µg/m ³ da non superare più di 3 volte/anno
	protezione ecosistemi media annuale: 20 µg/m ³ semestre invernale: 20 µg/m ³
NO ₂	protezione salute umana media oraria: 200 µg/m ³ da non superare più di 18 volte/anno media annuale: 40 µg/m ³
NO _x	protezione ecosistemi media annuale: 30 µg/m ³
PM ₁₀	protezione salute umana media giornaliera: 50 µg/m ³ da non superare più di 35 volte/anno media annuale: 40 µg/m ³
Pb	protezione salute umana media annuale: 0.5µg/m ³
CO	protezione salute umana media 8 ore: 10 mg/m ³
C ₆ H ₆	protezione salute umana media annuale: 5 µg/m ³
O ₃	protezione salute umana media 8 ore: 110 µg/m ³
	protezione vegetazione media giornaliera: 65 µg/m ³

tempo. La nuova normativa introduce il concetto di *margini di tolleranza* da intendersi come possibilità di raggiungere gli obiettivi di qualità gradualmente, entro un termine prefissato.

La Regione Lombardia ha predisposto il Piano Regionale della Qualità dell'Aria (PRQA), in modo tale da differenziarne l'attuazione in funzione delle caratteristiche territoriali: l'applicazione delle misure assume così maggiore razionalità, evitando prescrizioni generalizzate e quindi meno efficaci. Il processo di analisi delle diversità terri-

toriali si è concluso con la *Zonizzazione*: si tratta di un quadro d'insieme che caratterizza le aree della regione in funzione dei carichi di criticità ambientale. Ai fini della zonizzazione si sono considerate sia le pressioni sul territorio (sorgenti di emissione d'inquinanti, presenza di infrastrutture, uso del territorio, ecc.) sia le componenti di tutela della salute e dell'ambiente (esposizione dell'uomo, salvaguardia degli ecosistemi). Le *zone* così individuate rappresentano la dimensione territoriale alla quale si applicano le azioni previste nel Piano di risanamento.



Fonte: Regione Lombardia

Figura 1 e Tabella 2

La *Zonizzazione* rappresenta un quadro d'insieme che caratterizza le aree della regione in funzione dei carichi di criticità ambientale. Nella tabella si evidenziano la distribuzione della popolazione e la quantità di inquinanti emessa nelle *zone critiche* sovracomunali e nella *zona di risanamento A*, ossia nelle aree a maggiore densità abitativa.

MISURE DEL PIANO REGIONALE DI QUALITÀ DELL'ARIA LA ZONIZZAZIONE

La *Zonizzazione* si inserisce nel quadro generale di strategie che la Regione Lombardia, in conformità alla normativa comunitaria e nazionale, ha messo in atto per migliorare la qualità dell'aria. Allo scopo di favorire l'applicazione degli interventi, mirati sia al contenimento degli episodi acuti sia ad incidere nel medio-lungo periodo, il territorio lombardo è stato classificato in zone a differente carico di criticità ambientale.

Zone critiche

Parti del territorio regionale in cui i livelli di uno o più inquinanti comportano superamenti delle soglie di allarme o, in modo molto elevato, dei valori limite. Per queste zone la Regione definisce *piani d'azione* che contengono le misure da attuare nel breve periodo, affinché sia ridotto il rischio di superamento dei valori limite e delle soglie di allarme e *piani integrati* per il raggiungimento degli obiettivi di qualità entro i termini stabiliti dalla normativa.

Sono individuate *zone critiche sovracomunali* (Milano, Sempione, Como, Bergamo e Brescia) e *zone critiche comunali* (tutti i comuni capoluogo non compresi nelle predette zone).

Zone di risanamento

Parti del territorio regionale in cui i livelli di uno o più inquinanti sono compresi tra il valore limite e il valore limite aumentato del *marginale di tolleranza* temporaneo. Le zone di risanamento possono essere di due tipi:

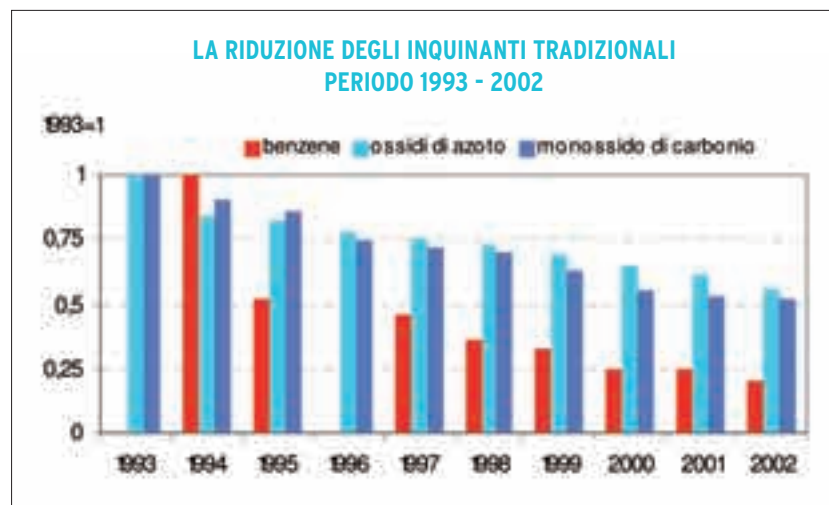
- A) Zona di risanamento per più inquinanti
- B) Zona di risanamento per inquinamento da ozono

Per queste zone la Regione predispone *piani integrati* per il raggiungimento degli obiettivi entro i termini stabiliti dalla normativa.

Zone di mantenimento

Parti del territorio regionale in cui i livelli degli inquinanti sono inferiori ai valori limite e tali da non comportare il rischio di superamento degli stessi. Per queste zone la Regione predispone *piani di mantenimento* della qualità dell'aria al fine di conservare le concentrazioni degli inquinanti al di sotto dei valori limite.

Sono compresi in zona di mantenimento tutti i Comuni non facenti parte delle Zone critiche e delle Zone di risanamento.



Fonte: ARPA Lombardia

Figura 2

L'andamento delle medie annuali nell'ultimo decennio per il monossido di carbonio, gli ossidi di azoto e il benzene, mostrano un'evidente tendenza alla diminuzione: il rinnovo del parco autoveicolare, l'adozione della marmitta catalitica e misure come il *Bollino blu* sono stati decisivi per la riduzione delle concentrazioni di questi inquinanti.

10.2 LA QUALITÀ DELL'ARIA NELLE ZONE CRITICHE DELLA LOMBARDIA

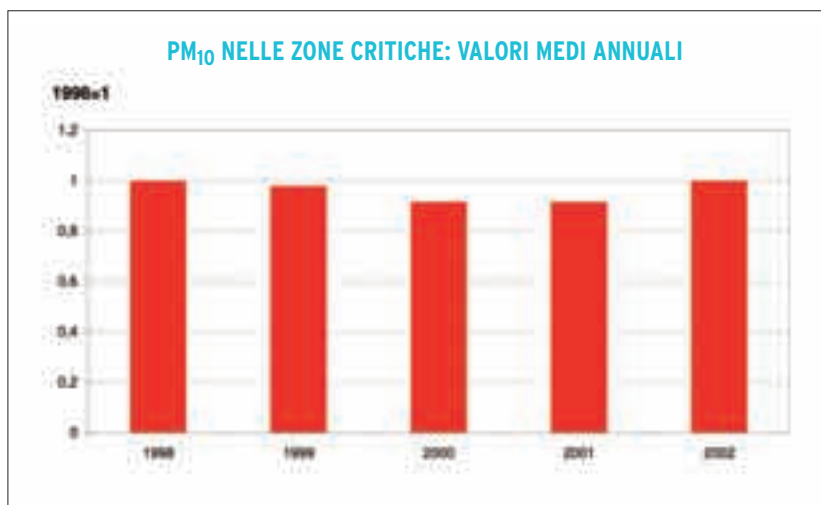
I livelli di concentrazione degli inquinanti in aria dipendono, oltre che dall'entità e dalla tipologia delle emissioni, dalle condizioni meteorologiche che influiscono direttamente sui meccanismi di diffusione, dispersione e rimozione. A parità di condizioni emissive, sono proprio alcune particolari situazioni meteorologiche che favoriscono l'accumulo degli inquinanti: gli episodi acuti infatti si manifestano soprattutto con i regimi di stabilità atmosferica, caratterizzati da calma di vento e inversione termica.

Tutta la Pianura Padana, e la Lombardia in particolare, rappresentano una zona climatologicamente svantaggiata rispetto alla capacità dell'atmosfera di disperdere gli inquinanti: la presenza della barriera alpina, infatti, determina condizioni atmosferiche uniche rispetto alla situazione italiana ed europea.

Per quanto concerne la qualità dell'aria nelle zone critiche, l'andamento medio annuale degli

inquinanti si mostra sempre in diminuzione, come già evidenziato negli ultimi 10 anni: in particolare, la concentrazione di monossido di carbonio che rappresenta il 2002 è il 50% circa di quella del 1993; analogamente la concentrazione di ossidi di azoto è il 43% circa rispetto a quella del 1993, mentre per il benzene la riduzione è stata dell'80% rispetto al 1994. Le concentrazioni medie annuali di PM_{10} (la cui misura è stata introdotta in modo sistematico nella rete di monitoraggio negli ultimi 5 anni), non mostrano invece un'evidente tendenza: per il PM_{10} è la meteorologia il principale fattore modulante delle concentrazioni medie annuali rilevate. L'introduzione negli anni passati di nuovi combustibili (benzina verde e gasolio a basso tenore di zolfo) e il rinnovo del parco circolante (veicoli dotati di marmitta catalitica) hanno infatti favorito una drastica riduzione dei livelli degli inquinanti tradizionali (monossido di carbonio, ossidi di azoto, anidride solforosa e benzene), mentre è ancora limitata la penetrazione delle nuove tecnologie motoristiche che comportano una riduzione delle emissioni di particolato.

Nel corso del 2002, e rispetto ai limiti definiti per la salute umana, gli inquinanti che hanno presentato maggiore criticità sono stati il PM_{10} e l'ozono. Il maggior scostamento dal limite di legge si osserva per il PM_{10} , non solo nelle *zone critiche*



Fonte: ARPA Lombardia

Figura 3

Seppur su una serie storica limitata (il PM_{10} è un inquinante introdotto recentemente), non è evidente alcuna tendenza né in aumento né in diminuzione: questo inquinante presenta le maggiori criticità nelle aree metropolitane e, come l'ozono, si ritiene possa essere sensibile a misure applicate su vasta scala e per un lungo periodo.

ma anche nella *zona di risanamento di tipo A*, ossia nelle aree maggiormente antropizzate, mentre per l'ozono lo scostamento si rileva anche nella *zona di risanamento di tipo B* e nella *zona di mantenimento*. Il PM_{10} infatti è connesso principalmente all'attività antropica (in particolare al traffico veicolare) mentre l'ozono si ritrova principalmente nelle zone suburbane e periferiche sottovento alle aree urbane. I livelli di ozono

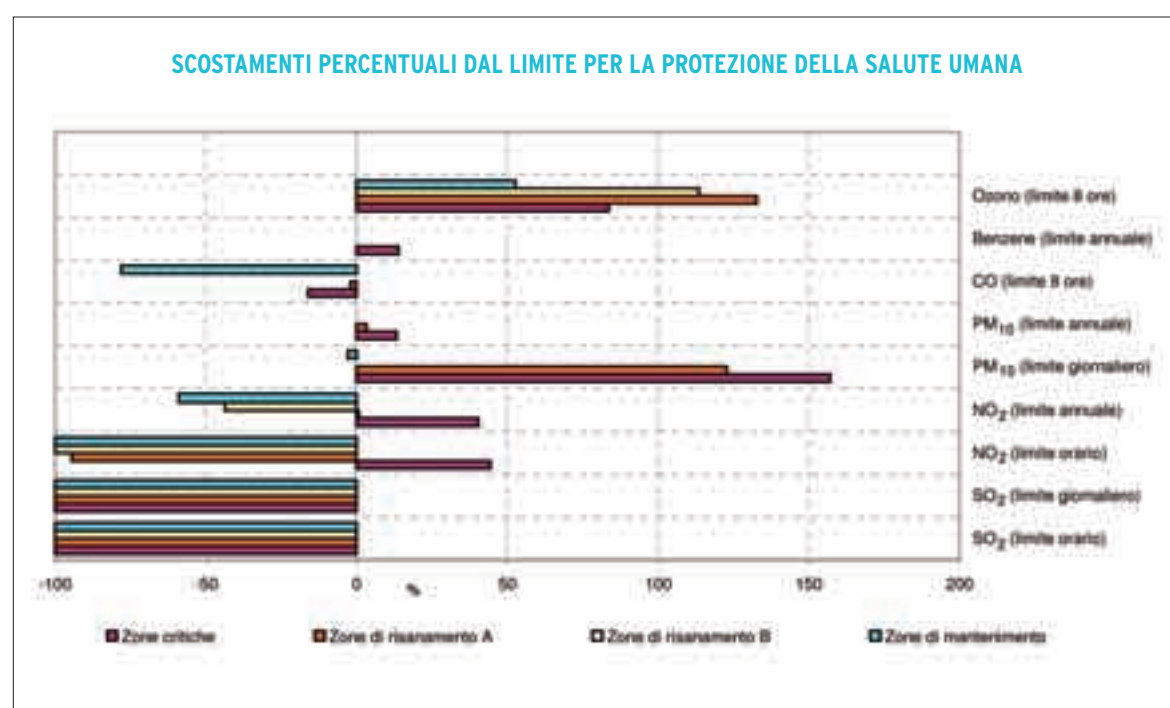
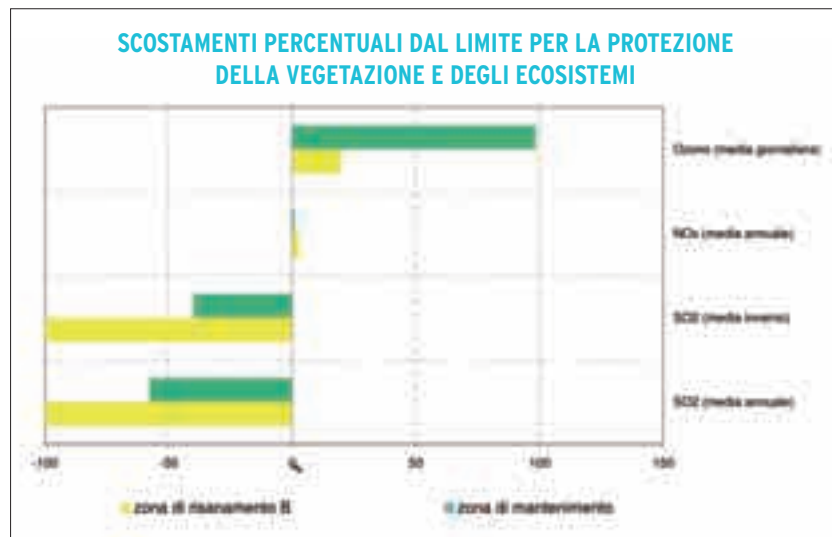


Figura 4

I limiti considerati entreranno a regime per il particolato fine (PM_{10}), biossido di zolfo (SO_2) e monossido di carbonio (CO) nel 2005, mentre per il biossido di azoto (NO_2) e per il benzene (C_6H_6) nel 2010. L'indicatore considerato (media annuale, giornaliera, oraria o di 8 ore) è calcolato rispetto ai dati rilevati nel 2002. Per l'ozono il limite è quello attualmente in vigore in Italia definito dal DM 16/05/96, in attesa del recepimento della Direttiva CE/02/03.

Fonte: ARPA Lombardia



Fonte: ARPA Lombardia

Figura 5

Il limite considerato è già in vigore dal 2001 sia per biossido di zolfo (SO_2) che ossidi di azoto (NO_x). Per l'ozono il limite è quello attualmente in vigore in Italia definito dal DM 16/05/96, in attesa del recepimento della Direttiva 2002/03/CE.



Fonte: ARPA Lombardia

Figura 6

Il numero di superamenti del limite giornaliero del PM_{10} è fortemente stagionale e i mesi da novembre a febbraio sono quelli interessati dal maggior numero di situazioni critiche (nel grafico sono rappresentati i superamenti rilevati dal 1998 al 2002). Per ciascun mese la variazione da anno in anno è principalmente dovuta alle condizioni meteorologiche. L'anno 2002, ad esempio, ha mostrato un numero di superamenti maggiori alla media nel mese di marzo, quando si sono manifestate persistenti condizioni di stabilità atmosferica e scarsa piovosità.

rilevati nelle zone di *mantenimento* e di *risanamento di tipo B* - dove la copertura vegetativa è cospicua (parchi, boschi, colture) - a volte superano anche i limiti di protezione per la vegetazione. Altri parametri significativi per gli ecosistemi sono SO_2 e NO_x : sia nell'area di *risanamento B* che in quella di *mantenimento* si osserva il rispetto del limite per il biossido di zolfo (sia come concentrazione media invernale che annuale) ma non quello per gli ossidi di azoto (come concentrazione media annuale).

E' interessante osservare anche la distribuzione nel corso dell'anno dei superamenti del limite giornaliero del PM_{10} : il periodo più critico è l'inverno quando le condizioni meteorologiche maggiormente sfavorevoli alla dispersione degli inquinanti (stabilità atmosferica, calma di vento, assenza di precipitazioni), insieme con la presenza a pieno regime di tutte le possibili sorgenti di emissione (traffico, riscaldamento civile, impianti industriali), favoriscono il manifestarsi di situazioni di accumulo delle sostanze inquinanti. Anche nella stagione estiva si osservano comunque superamenti del limite giornaliero di PM_{10} , associati però alla componente secondaria del particolato ossia ai composti di natura fotochimica presenti in questo inquinante.

10.3 I RECETTORI SENSIBILI

I recettori sensibili all'inquinamento atmosferico sono le componenti di un territorio che subiscono effetti negativi a causa dell'esposizione ad inquinanti aerodispersi. In generale, sono considerati recettori sensibili la popolazione umana, gli ecosistemi e il patrimonio artistico.

L'esposizione delle persone

Per un essere vivente a respirazione polmonare l'esposizione ad un inquinante atmosferico rappresenta la quantità di inquinante inalata durante un determinato periodo di tempo. La valutazione dell'esposizione della popolazione umana residente in una certa zona viene effettuata a partire da mappe di concentrazione nell'area e da mappe di distribuzione della popolazione stessa. Si ottiene così una stima teorica del numero di persone esposte alle diverse concentrazioni, perché la vera esposizione dipende anche da abitudini di

REGIMI DI STABILITA' ATMOSFERICA E INQUINAMENTO ATMOSFERICO

I fattori più caratteristici sono rappresentati dalla debole intensità del vento al suolo (la media annua oscilla da 1 m/s nelle stazioni meno ventilate, fino a 1,8 m/s nelle stazioni più esposte) e da una circolazione dell'atmosfera nei bassi strati separata da quella degli strati superiori (a 250 m dal suolo la velocità del vento supera mediamente i 4,5 m/s): questa particolarità ostacola il ricambio delle masse d'aria e induce fenomeni di persistenza e accumulo degli inquinanti all'interno del bacino padano.

Le inversioni termiche sono la caratteristica climatica invernale più significativa della Pianura Lombarda e determinano, con il variare del loro spessore e della quota della loro base, condizioni più o meno favorevoli all'accumulo degli inquinanti al suolo.

In generale, il fenomeno dell'inversione termica si forma quando la temperatura dell'aria diminuisce avvicinandosi al suolo oppure aumenta con la quota invece di diminuire. In particolare, quando l'aumento di temperatura parte dal suolo - per irraggiamento notturno in condizioni di cielo sereno e di calma di vento - si ha l'inversione da irraggiamento *con base al suolo*; se l'aumento di temperatura parte da una certa quota si ha l'inversione *con base in quota*, come nel caso di *subsidenza anticiclonica*.

Nei mesi invernali si hanno spesso combinazioni d'inversione con base al suolo con inversioni da subsidenza: in questo caso lo spessore totale può essere assai superiore a quello della semplice inversione da irraggiamento con base al suolo, con conseguente peggioramento delle capacità di dispersione degli inquinanti in atmosfera.

Dopo l'alba - per effetto del riscaldamento del suolo da parte del sole - si creano dei moti turbolenti che tendono a distruggere l'inversione iniziando dalla sua parte inferiore e attraverso un iniziale fenomeno di fumigazione, si sviluppa uno strato rimescolato in cui si diluiscono gli inquinanti emessi presso il suolo: quanto maggiore è lo spessore dello strato rimescolato tanto più efficace è la dispersione degli inquinanti e la dispersione migliora ulteriormente se il vento subisce dei rinforzi.

vita quali gli spostamenti quotidiani o stagionali, il tempo passato all'esterno o all'interno di edifici, la frequenza e intensità di esercizio fisico all'aperto.

Ozono e PM₁₀ sono gli inquinanti considerati dalla normativa che attualmente destano maggiori preoccupazioni sanitarie in Lombardia a causa dei frequenti superamenti dei limiti previsti per la protezione della salute. Per le loro caratteristiche chimiche e fisiche, questi due inquinanti tendono a mantenere livelli piuttosto uniformi su vaste aree e quindi ad interessare ampie fasce di popolazione.

Gli effetti sanitari degli inquinanti possono essere dovuti ad esposizioni acute, cioè per brevi periodi a livelli elevati, o croniche e quindi a concentrazioni anche più basse per lunghi periodi. Il DM 60 e la direttiva 2002/03/CE prevedono alcuni limiti per la protezione della salute. I livelli di attenzione e di allarme sono fissati per proteggere la popolazione dagli episodi acuti di inquinamento, mentre per la protezione da effetti cronici sono adottate medie a più lungo termine.

Gli episodi acuti di inquinamento atmosferico sono governati dalle condizioni meteorologiche tipiche della Pianura Padana, che favoriscono in determinati periodo dell'anno l'accumulo degli inquinanti al suolo fino a concentrazioni preoccupanti per la salute delle persone.

Le condizioni più critiche per l'inquinamento da PM₁₀ avvengono normalmente nei mesi autunnali

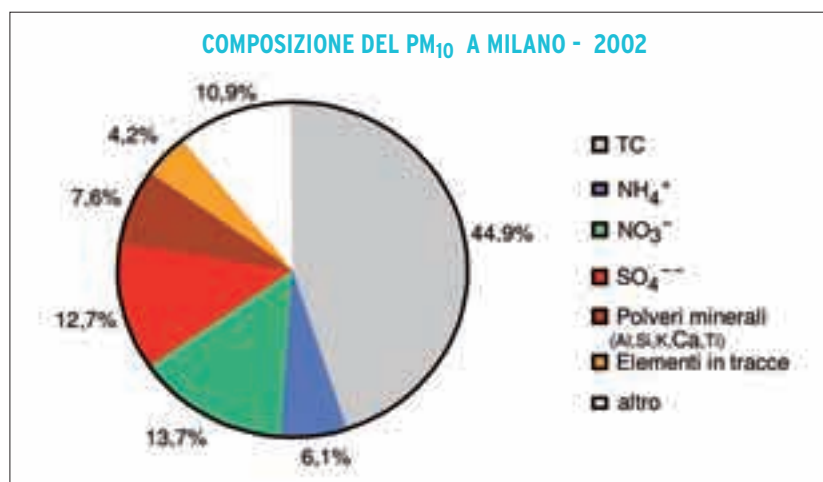


Figura 7

Quasi la metà della massa di PM₁₀ è costituita da composti del carbonio (che comprendono anche gli idrocarburi policiclici aromatici), circa un terzo è costituita da composti di origine secondaria, mentre una piccola parte (circa il 7%) da composti di origine naturale (tipicamente polvere del suolo)

Nota

Elementi in traccia: P, Cl, V, Cr, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, Br, Pb.

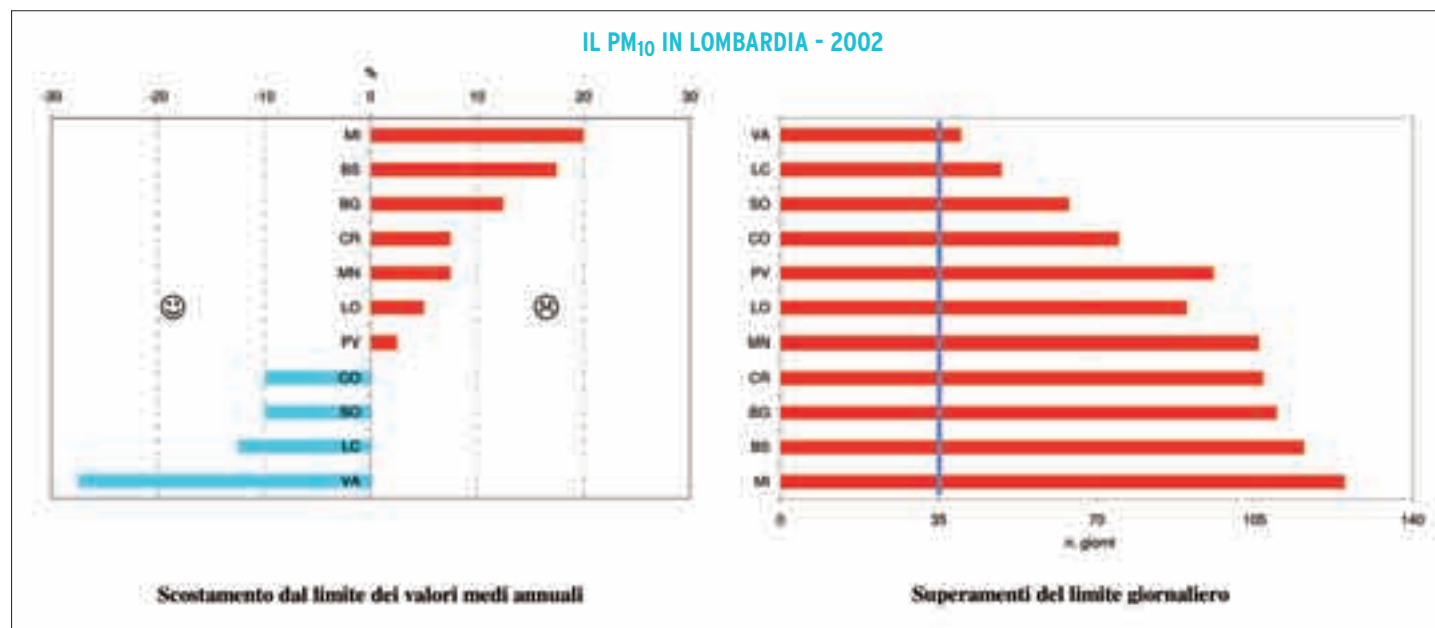
TC: carbonio totale (carbonio organico+ carbonio elementare).

Elementi di origine terrigena (mineral dust): Al, Si, K, Ca, Ti.

Altro: frazione non conosciuta. Probabilmente legata alla presenza di acqua o agli ossidi degli elementi.

La caratterizzazione chimica del particolato atmosferico urbano milanese è stata ottenuta dall'analisi di alcuni dei filtri campionati con strumenti gravimetrici. I diversi campioni analizzati sono relativi al periodo 2001-2002.

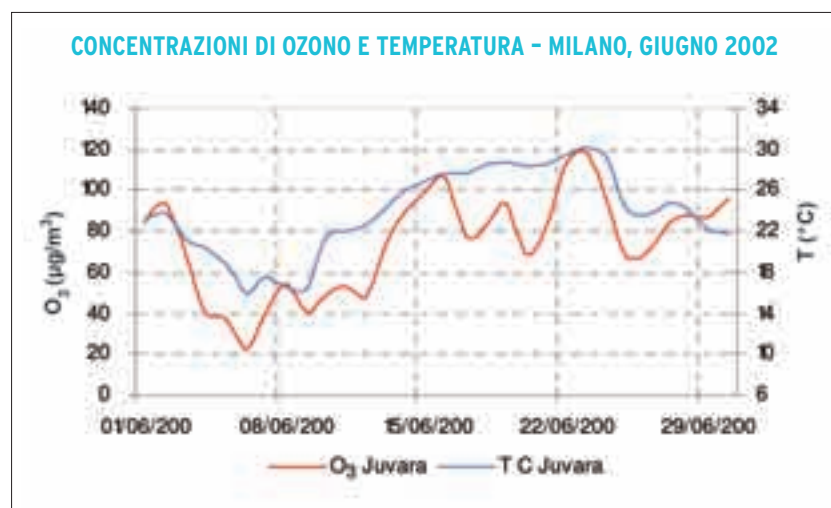
Le misure di nitrati (NO₃⁻)/solfati(SO₄⁻⁻) ed ammonio (NH₄⁺) sono state eseguite mediante cromatografia ionica. L'analisi del carbonio totale (TC) è stata fatta con analizzatore termogravimetrico combinato con spettrofotometro ad infrarosso. Per le misure degli elementi è stata utilizzata la fluorescenza x.



Fonte: ARPA Lombardia

Figura 8

Il problema del PM₁₀ coinvolge tutti gli ambienti della Lombardia, in particolare rispetto al superamento del limite giornaliero. Il limite annuale, invece, è rispettato solo nella fascia pedemontana della Lombardia, ossia quella zona che gode di un regime anemologico, e di conseguenza di condizioni di rimescolamento, maggiormente favorevoli alla dispersione degli inquinanti.



Fonte: ARPA Lombardia

Figura 9

La formazione dell'ozono è strettamente legata alla presenza dei suoi precursori, che sono inquinanti primari, cioè emessi direttamente in atmosfera dalle sorgenti di inquinamento, e al verificarsi di condizioni meteorologiche caratterizzate da elevata radiazione solare e temperatura. Poiché nelle aree urbane vengono emesse grandi quantità di ossidi di azoto e di idrocarburi, e l'ozono si forma in atmosfera durante il trasporto di masse d'aria che contengono questi inquinanti (precursori), le concentrazioni più elevate di ozono si ritrovano nelle zone suburbane e sottovento rispetto alle aree di emissione degli inquinanti primari.

e invernali caratterizzati da condizioni di tempo stabile, talvolta molto nebbioso, e con frequenti calme di vento; eccezionalmente queste condizioni si ritrovano anche nei mesi primaverili.

Le condizioni più critiche per le concentrazioni di ozono si verificano nei mesi estivi in concomitanza con situazioni di stabilità atmosferica e intenso irraggiamento solare.

I disturbi principali che possono essere causati dall'ozono vanno dall'irritazione e infiammazione degli occhi e delle prime vie respiratorie, fino ad attacchi d'asma nei soggetti predisposti, all'aggravamento di bronchiti croniche e alla compromissione della capacità dell'organismo di combattere infezioni dell'apparato respiratorio. I bambini, gli anziani e coloro che soffrono di malattie dell'apparato respiratorio sono i soggetti più sensibili, mentre un'intensa attività fisica all'aperto comporta una maggiore esposizione a questo inquinante, con conseguenti rischi sanitari anche per le persone sane.

L'esposizione all'ozono può essere ridotta evitando di stare all'aperto durante le ore più calde delle giornate estive, quando i livelli sono più elevati.

Anche per quanto riguarda il PM₁₀, i bambini, gli

anziani e le persone affette da malattie dell'apparato respiratorio e cardiovascolare rappresentano le fasce più sensibili della popolazione. Nel breve termine, è stato osservato un aumento di ricoveri per malattie acute dell'apparato respiratorio e una diminuzione della capacità polmonare nei bambini, oltre ad un aumento dell'uso di farmaci nei bambini e nei soggetti asmatici.

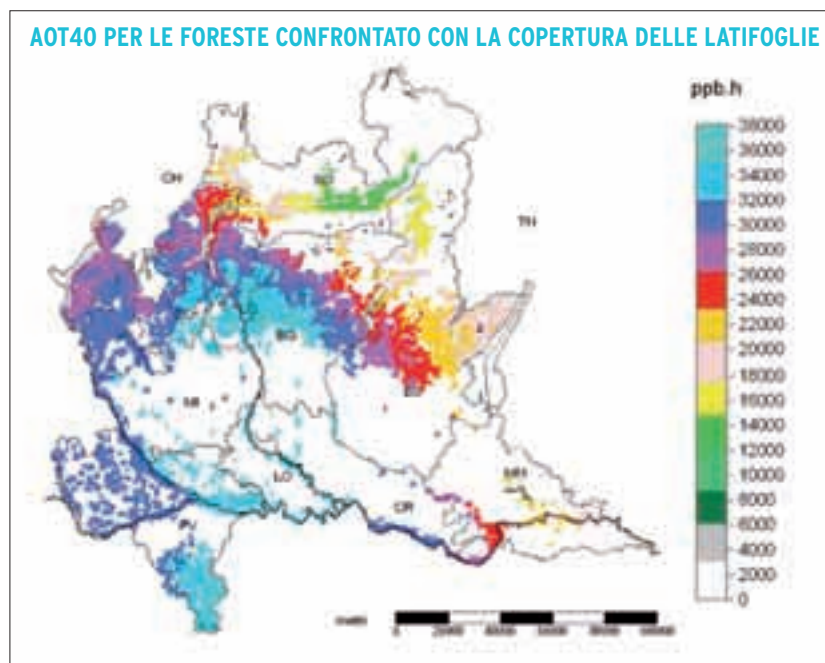
I sistemi agro-forestali

Alcuni inquinanti atmosferici possono provocare danni alla vegetazione. Per la stima dei potenziali effetti dei contaminanti atmosferici sugli ecosistemi è fondamentale il concetto di *carico critico*. Il *carico critico* di un dato contaminante rappresenta il limite sotto al quale non sono da attendersi effetti dannosi sugli ecosistemi.

Negli ultimi anni l'attenzione si è focalizzata sull'ozono in quanto i suoi effetti, oltre ad interessare l'ambiente più prossimo alle stazioni di misura, si possono estendere su vaste aree sia agricole che forestali.

Gli effetti sulla vegetazione - che si determinano per esposizioni a concentrazioni che differiscono a seconda della specie - si manifestano sotto forma di danni fogliari e prematura caduta delle foglie degli alberi, e di una riduzione della resa delle coltivazioni agricole tra le quali zucchine, angurie, pomodori, uva, grano, patate, trifoglio, fagioli e carciofi.

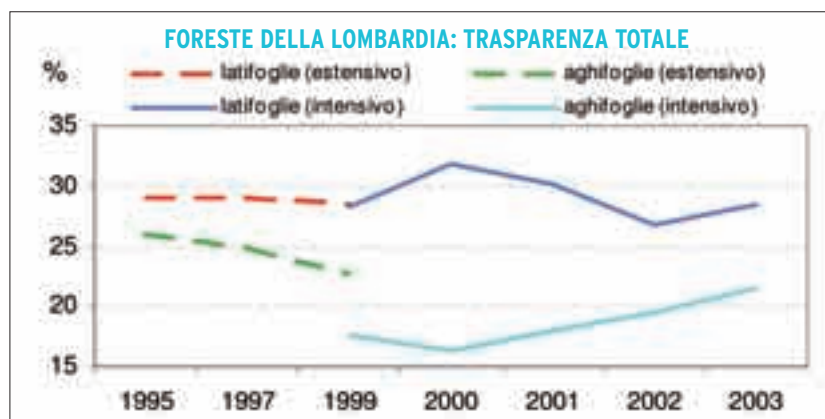
Gli effetti nocivi dell'ozono sulla vegetazione possono essere rilevanti sia in termini economici che di impatto sugli ecosistemi. Per ridurre tali effetti, la Direttiva comunitaria 2002/03/CE stabilisce limiti per la protezione della vegetazione utilizzando l'indicatore AOT40 (Accumulated exposure Over a Threshold of 40 ppb) calcolato sul periodo maggio-luglio sommando le concentrazioni orarie eccedenti i 40 ppb ($80 \mu\text{g}/\text{m}^3$) utilizzando solo i valori rilevati tra le 8 e le 20. Il valore di AOT40 così calcolato non deve superare il limite di $18.000 \mu\text{g}/\text{m}^3 \cdot \text{h}$ come valore mediato su cinque anni. È bene precisare che il grado di esposizione alla radiazione solare presenta valori molto diversi in Europa - e anche all'interno di un medesimo Stato membro - in funzione della diversa latitudine. La Direttiva, pur cercando di mediare tra queste differenze, ha fissato un limite che appare un obiettivo difficilmente raggiungibile nel medio periodo, specialmente nei paesi del sud



Fonte: Gerosa G., Finco A., Ballarin Denti A.

Figura 10

AOT40 - ottenuto come somma delle differenze tra le concentrazioni orarie superiori a 40 ppb e 40 ppb, in un dato periodo - è utilizzato come indicatore di esposizione della vegetazione all'ozono: la mappa ne rappresenta i valori medi per gli anni 2001/2002 confrontati con la copertura delle latifoglie. In questo caso, il periodo di calcolo cumulato va da aprile a settembre: in questi mesi dell'anno infatti, le piante possono risentire maggiormente degli effetti negativi prodotti da prolungata esposizione a concentrazioni elevate di ozono; i valori più alti di AOT40 si osservano nelle fasce pedemontane e nelle aree rurali della pianura. Nel corso di questi ultimi anni, inoltre, è in atto un cambiamento nella distribuzione delle esposizioni in Lombardia: si alza il livello di fondo e si allargano le aree con eccedenze mediamente elevate, mentre si riducono i picchi più elevati.



Fonte: ERSAF

Figura 11

Con linee tratteggiate sono rappresentati i valori relativi a un periodo di *monitoraggio estensivo* (concluso nel 1999), mentre i valori su linee continue riportano i risultati per le *aree di saggio permanente di livello II* della Lombardia: su queste ultime, dal 1998 si effettua un *monitoraggio intensivo* e in conformità ai protocolli del programma CON.ECO.FOR., consentendo confronti su scala europea.

La sostanziale stabilità della trasparenza della chioma degli alberi a latifoglie e il discreto miglioramento della trasparenza della chioma delle conifere testimonia a favore degli ecosistemi forestali lombardi, in condizioni migliori rispetto a quelli di altre realtà europee.

INQUINAMENTO ATMOSFERICO E DEPERIMENTO DEL BOSCO

Negli anni '70 iniziò una forma di deperimento di conifere e latifoglie delle foreste centro-europee e nordamericane la cui ampiezza e diffusione portò a considerare l'inquinamento atmosferico quale causa - o concausa - del deperimento degli ecosistemi forestali.

La distribuzione spaziale dei danni risultava infatti relazionabile con quella dell'inquinamento atmosferico ed anche l'evoluzione temporale sembrava aggravarsi con l'aumento delle concentrazioni di inquinanti presenti in atmosfera.

Da allora, nella valutazione del deperimento forestale, si è diffuso l'approccio che distingue i danni *di origine nota* (ad esempio l'azione dei patogeni, la carenza di nutrienti, lo stress idrico o climatico, ecc.) da quelli *di origine ignota*, una delle cui cause potrebbe essere rappresentata dall'inquinamento atmosferico. Al di fuori della sperimentazione di laboratorio, però, è spesso difficile dimostrare con certezza il rapporto causa-effetto fra deperimento forestale ed inquinamento atmosferico ed è perciò importante valutare la coincidenza spaziale fra i due fenomeni, affiancando alle indagini sul deperimento forestale quelle sulla qualità dell'aria e delle deposizioni atmosferiche.

In Europa, il monitoraggio delle foreste si basa su un sistema permanente di controllo dello stato degli ecosistemi forestali che comprende il *monitoraggio estensivo* - che implica il rilievo di pochi parametri su un elevato numero di punti di campionamento - ed il *monitoraggio intensivo*, che implica il rilievo di molti dati su un numero limitato di punti di campionamento.

La struttura del sistema integrato di monitoraggio delle foreste lombarde è coerente con quello adottato a livello internazionale ed è rappresentabile con una struttura piramidale alla cui base sono poste *le aree di saggio di livello I* - ove vengono ad esempio effettuate osservazioni visive sullo stato delle chiome di alberi campione - seguita da un livello intermedio costituito da un minor numero di *aree di saggio permanenti di livello II*, ove aumenta l'intensità del monitoraggio e l'approfondimento analitico (ad esempio, viene effettuata la caratterizzazione floristica, l'analisi del suolo, il monitoraggio dell'ozono, ecc.); all'apice della piramide si collocano le *aree di monitoraggio permanenti di livello III* in cui sono attivate anche ricerche patologiche specifiche, la caratterizzazione lichenica, ecc. La rete di monitoraggio considera le specie arboree più diffuse in Lombardia, sia latifoglie che aghifoglie.

A partire dal 1998, conformemente ai protocolli del programma CON.ECO.FOR. (Allavena et al., 1999) in cui sono state inserite le aree d'osservazione permanente di livello II della Lombardia e nell'ottica d'implementazione dei risultati su scala europea, le metodologie di rilevamento delle condizioni degli alberi si sono adeguate agli standard previsti dai protocolli ICP - Forest.

Tra i diversi parametri che vengono utilizzati nel monitoraggio degli ecosistemi forestali, la stima della defogliazione della chioma degli alberi riveste un ruolo importante grazie alla significatività delle informazioni che fornisce.

La stima della defogliazione tramite l'analisi della trasparenza della chioma può essere considerata un buon indicatore della condizione degli alberi in quanto le foglie sono la diretta espressione dello stato fisiologico dell'albero e reagiscono in tempi piuttosto brevi alle eventuali variazioni chimico-ambientali.

dell'Europa. In queste regioni infatti - così come nelle aree extraurbane e rurali della Lombardia - tale limite viene abbondantemente superato.

Il patrimonio artistico

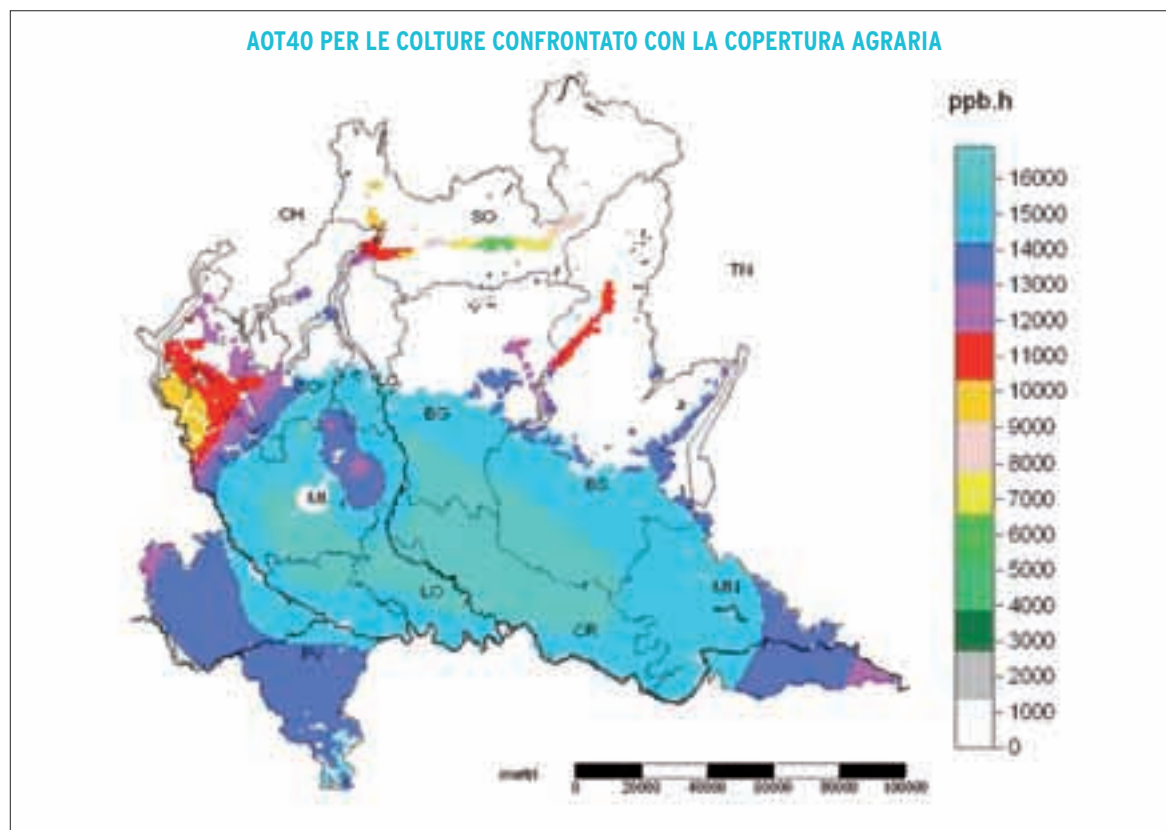
La tematica dell'impatto dell'inquinamento atmosferico sui beni di interesse storico-artistico è di grande interesse in Lombardia, regione ricca di monumenti e opere d'arte. Gli inquinanti aerodispersi causano infatti il deterioramento del patrimonio monumentale e i loro effetti sono principalmente di due tipi: l'erosione e l'annerimento.

Tra gli inquinanti che hanno effetti corrosivi soprattutto sui materiali calcarei si ricordano i composti dello zolfo e dell'azoto per il loro contributo all'acidificazione delle piogge. Le piogge acide causano ingenti danni ai monumenti, poiché il marmo, costituito da carbonato di calcio, viene trasformato in solfato di calcio; il solfato (gesso) è molto più solubile del carbonato in acqua e viene quindi facilmente sciolto dalle piogge successive. Anche i metalli sono sottopo-

sti ad un processo di corrosione che, ad esempio, si manifesta con una tipica patina verdastra nel caso del rame.

L'ozono - alle concentrazioni spesso trovate all'interno di molti musei - può danneggiare i pigmenti utilizzati nelle opere d'arte, facendone sbiadire i colori.

L'attuale normativa, sia italiana che europea, non prevede valori limite degli inquinanti a protezione delle opere d'arte.

**Figura 12**

L'ozono può avere effetti negativi sulla resa delle colture agricole. La mappa rappresenta i valori medi di AOT40 degli anni 2001/2002 per il periodo aprile-giugno: questi mesi dell'anno sono quelli in cui l'esposizione all'ozono può influire negativamente sulla qualità e quantità dei raccolti. In questo caso i valori assoluti di AOT40 non sono direttamente comparabili con quelli osservati per le piante forestali: le scale cromatiche utilizzate nelle due mappe sono però rappresentative di livelli omogenei di danno potenziale.

Fonte: Gerosa G., Finco A., Ballarin Dentì A.

LA PROTEZIONE DEI BENI CULTURALI E L'INQUINAMENTO ATMOSFERICO. LA CARTA REGIONALE DEL RISCHIO

In considerazione dello stretto legame che intercorre tra lo stato di conservazione dei beni artistici e architettonici e alcune matrici ambientali la Regione Lombardia ha costituito il Polo Lombardo della Carta del Rischio del Patrimonio Culturale. Si tratta di un sistema informativo territoriale che ha l'obiettivo di approfondire la conoscenza sulla localizzazione e sullo stato di conservazione degli edifici storico-architettonici presenti sul proprio territorio e di valutarne la vulnerabilità e l'esposizione ai pericoli ambientali.

L'attenzione è stata finora posta, per quanto riguarda gli aspetti di **vulnerabilità** degli edifici, sia alla componente statico-strutturale degli stessi sia alla loro suscettibilità a subire danni derivanti dall'inquinamento dell'aria, danni cioè ai materiali che ne costituiscono le superfici o ad elementi decorativi su di esse presenti. A questo fine sono state effettuate campagne di rilevazioni delle condizioni di circa 1.300 beni culturali presenti sul territorio, per ognuno dei quali sono state espresse circa 200 valutazioni analitiche riferite a varie tipologie di danni già in atto.

Per quanto riguarda invece l'indagine sulla pericolosità ambientale si è operato in maniera sistematica per oltre 10.000 edifici relativamente ai fenomeni in grado di produrre danni di carattere statico-strutturale (terremoti, valanghe, frane ed esondazioni) ed in maniera sperimentale per i fenomeni di **inquinamento atmosferico**.

La sperimentazione è consistita in una campagna di monitoraggio - tramite *campionatori diffusivi* collocati presso 100 siti della Provincia di Lodi e della Valle Camonica - degli inquinanti biossido di azoto, anidride solforosa, benzene e altri idrocarburi aromatici, ozono e ammoniaca: in alcuni siti è stata inoltre misurata la concentrazione di polvere sedimentabile.

Le analisi hanno messo in evidenza elevate concentrazioni di ozono sia per i siti della provincia di Lodi che per quelli in Valle Camonica. A differenza di quest'ultima nel Lodigiano si sono riscontrati elevati livelli di ammoniaca dovuti a una maggiore vocazione agricola presente in questo territorio e al conseguente utilizzo di fertilizzanti azotati. Inoltre, in entrambi i casi, non sono trascurabili le concentrazioni di biossido di azoto che, oltre ad essere tra i responsabili delle piogge acide è un precursore dell'ozono.

Le concentrazioni di quest'ultimo possono rivelarsi dannose ad opere particolarmente sensibili quali pitture murali, affreschi, tele a olio, opere lignee, libri, manoscritti.

E' ora intento della Regione procedere in modo sistematico alla realizzazione di procedure per la definizione e il calcolo di indicatori di pericolosità da inquinamento-aria per i monumenti; a tale scopo dovrà essere realizzato un modello operativo che, tenendo conto della sperimentazione e di quanto rilevato presso le centraline posizionate in aree urbanizzate, possa essere posto in relazione con il modello sviluppato a fini analoghi dall'Istituto Centrale per il Restauro (1).

(1) Ministero per i Beni Culturali ed Ambientali - Istituto Centrale per il Restauro (1996), *Carta del Rischio del Patrimonio Culturale*, A.T.I. MARIS, Roma

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI E DI APPROFONDIMENTO

- Allavena S., Isopi R., Petriccione B., Pompei E. *Programma nazionale integrato per il controllo degli ecosistemi forestali. Primo rapporto - 1999*. 167 pp.
- Angelino, E.; Cazzuli, O.; Gianelle, V.; Giudici, A.; Lanzani, G. *L'evoluzione nella conoscenza e nel controllo del particolato atmosferico: integrazione tra reti di monitoraggio e altri metodi di valutazione*. Atti Settima Conferenza delle Agenzie. Milano 24, 25 e 26 novembre 2003.
- ARPA Lombardia. *Il Particolato fine nell'area urbana milanese*. Relazione finale. Milano, 2002.
- Azienda Regionale delle Foreste della Lombardia (AA.VV.). *Lo stato delle foreste lombarde. Un panorama sulle condizioni dei boschi in Lombardia attraverso i risultati di 10 anni di indagini*. Edizioni ARF. Milano, 2002.
- Balestrini, R.; Carovigno R.; Gubertini A.; Tagliaferri A.. *Le ricerche sulle condizioni dei boschi nelle aree di monitoraggio intensivo della Lombardia*. ERSAF, 2003
- G. Gerosa; A. Ballarin Denti. *La valutazione del rischio ozono per la vegetazione in Lombardia. Livello I: mappatura delle esposizioni*. Acqua & Aria, 2: 55-59, 2002
- G. Gerosa; A. Ballarin Denti. *Ozono e foreste in Lombardia: verso una valutazione di II Livello*. Informatore Fitopatologico, 3: 41-45, 2002.
- Gerosa G.; Finco A.; Ballarin Denti A. *Report intermedio U.O.2 Progetto OZONIT ("Effetti degli stress ambientali con particolare riguardo all'ozono troposferico sulla vegetazione naturale e in area mediterranea")*, Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio, Ottobre 2003.
- Ministero per i Beni Culturali ed Ambientali - Istituto Centrale per il Restauro. *Carta del Rischio del Patrimonio Culturale*. A.T.I. MARIS, Roma, 1996
- WHO. *Health Aspects of Air Pollution with Particulate Matter, Ozone and Nitrogen Dioxide*. 2003.
- UN-ECE e EC. *Forest Condition in Europe. 2001 Executive report*. UN-ECE, Geneva, Brussels, 2001.
- Parlamento Europeo e Consiglio delle Comunità. *Direttiva 2002/3/CE del 12 febbraio 2002 relativa all'ozono*.
- Regione Lombardia. DGR 6501/01: *Nuova zonizzazione del territorio regionale per il conseguimento degli obiettivi di qualità dell'aria ambiente, ottimizzazione e razionalizzazione della rete di monitoraggio, relativamente al controllo dell'inquinamento da PM10, fissazione dei limiti di emissione degli impianti di produzione energia e piano d'azione per il contenimento e la prevenzione degli episodi acuti di inquinamento atmosferico*.

<http://www.ambiente.regione.lombardia.it/inemar/inemarhome.htm>