

### 3.1.1 Lo smog fotochimico

---

#### Premessa

Con il termine "smog fotochimico" si intende la miscela di composti ossidanti presente nei bassi strati della troposfera, ove si forma a seguito di complessi meccanismi di reazione fotochimici che, in presenza di radiazione solare, coinvolgono quali precursori principali gli idrocarburi non metanici (NMCOV) e gli ossidi di azoto. Lo smog fotochimico contiene un'ampia varietà di sostanze di interesse ambientale: le principali sono costituite dall'ozono, dal biossido di azoto e da alcuni composti organici reattivi, tutti inquinanti in grado di determinare effetti nocivi sulla salute e sugli ecosistemi e di indurre danni ai materiali da costruzione.

#### I precursori

I meccanismi di interazione dei composti nella troposfera responsabili della formazione dello smog fotochimico sono di notevole complessità e, come tali, danno luogo ad un'ampia varietà di potenziali effetti sull'ambiente, riassunti nello schema semplificato di [tabella 3.1.1.1](#). Gli ossidi di azoto, insieme a quelli di zolfo ed all'ammoniaca, sono i principali responsabili dell'acidificazione delle precipitazioni, oltre che risultare particolarmente nocivi per la vegetazione; i composti organici volatili e gli ossidi di azoto agiscono, altresì, come precursori nella formazione e distruzione di ozono, mentre i metalli pesanti e i microinquinanti determinano fenomeni di bioaccumulo di sostanze nocive.

Agli effetti localizzati nelle immediate vicinanze delle emissioni primarie si vengono, inoltre, a sovrapporre quelli nelle zone non direttamente interessate dalle fonti, a seguito del trasporto atmosferico degli inquinanti su media e larga scala e delle trasformazioni fotochimiche durante il percorso delle masse d'aria. Questi fenomeni, insieme alle nuove immissioni lungo il percorso, possono modificare radicalmente la composizione delle masse d'aria, rendendo particolarmente complessa la definizione del ruolo delle sorgenti inquinanti. In linea generale, tuttavia, i fenomeni più critici di inquinamento fotochimico si verificano durante l'estate quando il cielo sereno, la maggior intensità della radiazione solare e la temperatura media più elevata favoriscono le reazioni che producono gli inquinanti di maggior interesse.

#### I carichi critici al suolo

La Convenzione Internazionale sull'Inquinamento Transfrontaliero a Lunga Distanza, stipulata nel 1979 a Ginevra, ha imposto delle soglie per le diverse sostanze: i "carichi critici". La definizione di carico critico, secondo UN – ECE, 1988 è: "stima quantitativa dell'esposizione a uno o più inquinanti, al di sotto della quale non avvengono significativi effetti dannosi sugli elementi sensibili dell'ambiente, in accordo con le attuali conoscenze". Ottimi indicatori per valutare l'impatto delle emissioni nocive al suolo sono i danni sulla vegetazione e l'acidificazione delle acque.

L'introduzione dei carichi critici ha il vantaggio di poter disporre di un indicatore semplice e immediato degli effetti degli inquinanti (e in particolare dell'ozono) sulle foreste, specificatamente durante la stagione della crescita. D'altra parte il legame tra le concentrazioni rilevate e gli effetti non è così stretto. Innanzi tutto un determinato carico critico esprime un'esposizione potenziale e non reale. Nella flora, per esempio, in condizioni molto calde e secche, quando le concentrazioni di ozono sono più alte, le piante si proteggono chiudendo gli stomi. In una situazione in teoria più dannosa per la vegetazione, quindi, il danno alle piante è minore. Inoltre la stagione di crescita non è la medesima per tutte le piante e la

definizione degli intervalli di sensibilità di una specie non è un carattere fisso, ma varia a seconda di parametri ambientali e fisiologici. Un altro problema è dato dal fatto che la sensibilità può essere specifica verso un determinato inquinante e non verso altri dove altre specie potrebbero essere più sensibili. Le osservazioni condotte in ambienti naturali o in esperimenti controllati e la località di osservazione (importante poiché il comportamento delle piante può differire da una località all'altra) possono fornire risultati differenti. Per questi motivi livelli critici differenziali sono stati definiti per le colture agricole, le foreste e la vegetazione spontanea e spesso anche i periodi di riferimento delle osservazioni vengono adattati alla specie di pianta utilizzata per le osservazioni e alla regione dove vengono condotte le indagini.

### Una valutazione sul medio- periodo

Il Piano Regionale per la Qualità dell'Aria relativo al quinquennio 1994-1998 riporta i diversi modelli di definizione dei carichi critici e la loro applicazione alla vegetazione della regione. In figura 3.1.1.2 sono rappresentati i livelli di esposizione al suolo dell'ozono atmosferico in ppb per ora relativi al periodo 1 Aprile - 30 Giugno. In figura 3.1.1.3 è indicato il numero di superamenti (giorni) della soglia media giornaliera di  $65 \text{ gm}^{-3}$  (DM 16/5/96) tra il 1 Aprile e il 30 Settembre, in figura 3.1.1.4 il numero di superamenti (ore) della soglia oraria di  $200 \text{ gm}^{-3}$  (DM 16/5/96) nello stesso periodo. La disaggregazione della superficie regionale in termini del numero di tali superamenti è sintetizzata in figura 3.1.1.5, con il maggior numero di eccedenze registrato nelle province di Lecco, Bergamo, Como, Milano, Varese e Sondrio. Si evidenziano inoltre due zone a regime differente: una prima, rappresentata dal varesotto, dove le concentrazioni estive di ozono si mantengono "cronicamente" al di sopra della soglia media giornaliera e dove raramente si osservano picchi di concentrazione oraria elevata. Una seconda, rappresentata dalle prealpi bergamasche e dall'area lariana, dove invece il numero di eccedenze della media giornaliera di ozono è inferiore ma più frequentemente si osservano fenomeni "acuti" per la concentrazione oraria.

### Riferimenti bibliografici e siti internet

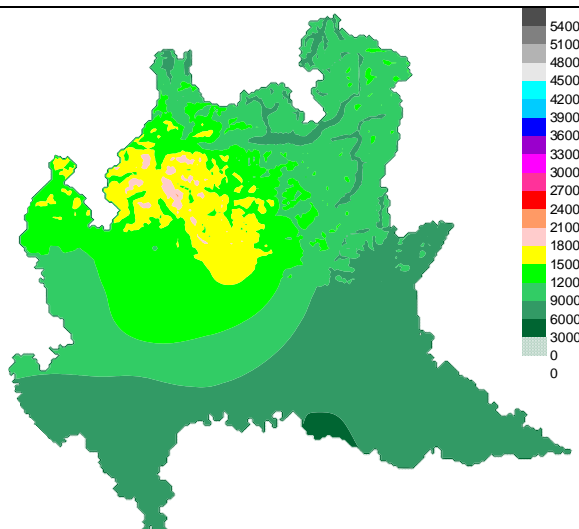
- ⌘ [www.eea.eu.org](http://www.eea.eu.org)
- ⌘ EEA. "Environmental signals 2000". Technical report nr 7/2000. Cap. 10: Air pollution.
- ⌘ EEA. "Emissions of atmospheric pollutants in Europe, 1980-96". Technical report nr 9/2000.
- ⌘ EEA. "Environment in the European Union at the turn of the Century". Cap. 3.4.: Transboundary air pollution. Pubblicato 01/01/1999.
- ⌘ EEA. "Dangerous substances in waste" Technical report nr 38. Pubblicato febbraio 2000.
- ⌘ Regione Lombardia, Fondazione Lombardia per l'Ambiente: "Piano regionale per la qualità dell'aria". 2000.



Impatto Ambientale	Causa
Acidificazione	Biossido di Zolfo Ossidi di Azoto Ammoniaca
Eutrofizzazione	Ossidi di Azoto Ammoniaca
Produzione di ozono	Ossidi di Azoto Composti organici volatili
Bioaccumulo di sostanze tossiche	Metalli pesanti Inquinanti organici

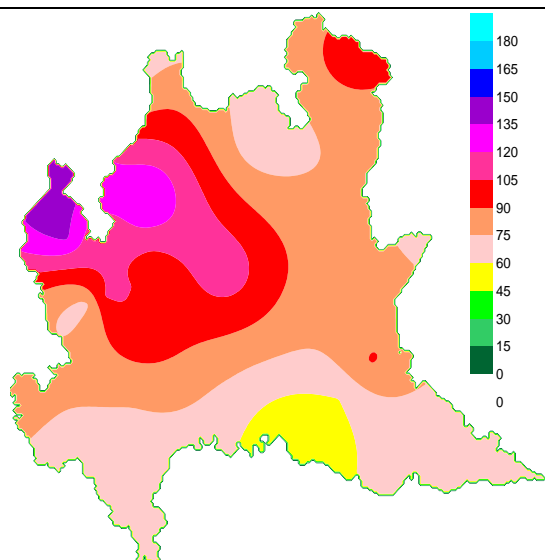
**Tabella 3.1.1.1**

Gli inquinanti atmosferici e il loro impatto ambientale



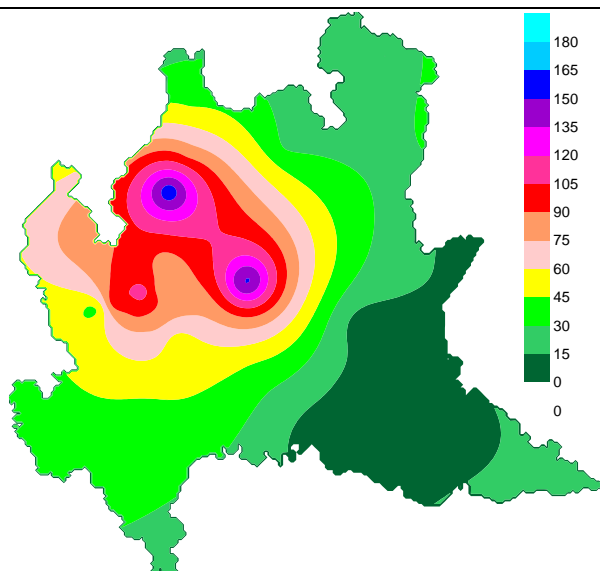
**Figura 3.1.1.2**

Livelli di esposizione al suolo all'ozono atmosferico (ppb\*h) nel quinquennio 1994-1998 (1 Aprile - 30 Giugno),



**Figura 3.1.1.3**

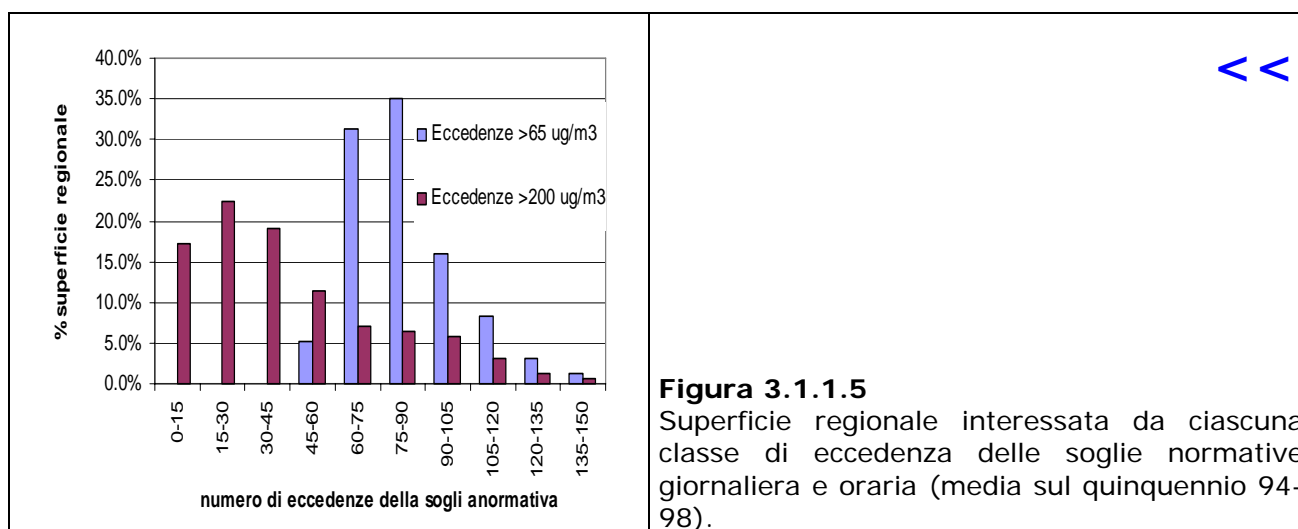
Numero di superamenti (giorni) della soglia media giornaliera di 65 µg/m³. Media sul quinquennio 1994-1998 (1 Aprile - 30 Settembre)



**Figura 3.1.1.4**

Numero di superamenti (ore) della soglia oraria di 200 µg/m³. Media sul quinquennio 1994-1998 (1 Aprile - 30 Settembre)



**Figura 3.1.1.5**

Superficie regionale interessata da ciascuna classe di eccedenza delle soglie normative giornaliera e oraria (media sul quinquennio 94-98).

### 3.1.2 L'acidificazione

#### Premessa

Per acidificazione si intende il processo tramite cui alcune sostanze in fase gassosa (principalmente biossido di zolfo, ossidi di azoto, ammoniaca e i loro inquinanti secondari) si trasformano in acidi che causano danni alle acque, al suolo delle foreste e all'ecosistema naturale di gran parte dell'Europa. Gli effetti sono molteplici: si nota una maggiore defoliazione (come si può vedere da [fig. 3.1.2.1.](#)), una minore vitalità delle piante e un cambiamento delle proprietà chimiche delle acque e dei terreni.

#### Le cause

Le deposizioni acide sono originate dalle emissioni antropiche e naturali di biossido di zolfo, ossidi di azoto e ammoniaca.

Le emissioni antropogeniche di biossido di zolfo sono dovute ai processi di produzione di energia (es. centrali termoelettriche) e ad alcune attività industriali (es. processi di raffinazione del petrolio). Le fonti sono quindi generalmente localizzate nelle zone industriali e non distribuite in modo uniforme sul territorio.

Le sorgenti principali di ossidi di azoto (il traffico veicolare e il riscaldamento) sono invece distribuite in modo più omogeneo.

La maggior parte dell'ammoniaca presente in atmosfera è di origine animale e agricola; pur essendo questo composto di natura basica, a contatto con il terreno viene trasformato in nitrato dai batteri con problemi di acidità.

Le sostanze acidificanti possono percorrere fino a 500 km prima di depositarsi a terra.

#### Effetti sulle acque: l'abbassamento del pH

E' difficile applicare il concetto di "carico critico" di acidità, definito come la più alta deposizione di specie acide che non provoca effetti nocivi a lungo termine, alle acque.

La composizione della roccia del bacino idrico, e più precisamente la quantità di cationi basici in esso contenuto, determina la capacità del sistema di neutralizzare l'acidità (capacità tampone) delle precipitazioni e quindi di non abbassare il pH del suolo. Si può avere quindi una neutralizzazione degli acidi in un primo intervallo di tempo più o meno lungo, ma quando la capacità tampone finisce il pH dell'acqua comincia ad abbassarsi. Le sostanze tampone contenute nell'humus e

l'alluminio reagiscono con gli ioni acidi presenti nell'acqua di percolazione, determinando un aumento di metalli pesanti nel bacino idrico e quindi il suo avvelenamento.

Le conseguenze su flora e fauna sono evidenti: si ha riduzione dei microrganismi e del plancton delle acque superficiali e questo permette alla luce del sole di penetrare a maggior profondità. L'acqua è quindi più trasparente, ma in questo caso la maggior limpidezza non è sinonimo di sistema idrico sano.

### **Effetti sul suolo**

In confronto alle acque superficiali il suolo e le falde acquifere hanno una maggiore capacità di tamponare l'acidificazione. Anche per il terreno questo dipende dalla sua composizione: una maggiore concentrazione di carbonato di calcio determina una più elevata resistenza all'aumento del pH del terreno e della falda.

In situazione di equilibrio, le foreste di conifere producono naturalmente sostanze acide, che vengono neutralizzate dal terreno. Un apporto antropogenico esterno, però, rompe tale stabilità portando all'acidificazione del suolo e al rilascio di sostanze tossiche (come l'alluminio).

I suoli acidificati, inoltre, perdono la capacità di trattenere i composti dello zolfo, che finiscono nelle falde e determinano l'acidificazione anche di queste ultime.

Per l'azoto, invece, il processo è più complicato: fino ad una determinata soglia questa sostanza nutre le piante. Oltre tale valore, essa non viene più assorbita e finisce nel suolo, determinando un abbassamento del pH.

### **Le emissioni in Italia**

Nelle tabelle 3.1.2.2., 3.1.2.3., 3.1.2.4. e 3.1.2.5. sono riportate le emissioni antropogeniche in Italia dal 1994 al 1999.

La [tabella 3.1.2.2.](#) riporta le emissioni totali in Italia: si può notare una riduzione della produzione di ossidi di zolfo e azoto e dei composti organici volatili, mentre c'è un costante incremento di ammoniaca. La fonte dei dati relativi agli anni 1994-1998 è l'EEA, la fonte per il 1999 è l'ANPA: questo spiega la non totale omogeneità tra i dati.

In [tabella 3.1.2.3.](#) sono indicati i contributi della produzione di energia nel settore pubblico: si nota una decrescita nelle emissioni di tutti gli inquinanti, con un brusco abbattimento del biossido di zolfo a partire dal 1995.

In [tabella 3.1.2.4.](#) sono evidenziate le emissioni nei processi di produzione: mentre tutti gli inquinanti si mantengono intorno ad un valore più o meno costante, c'è un lieve incremento dei composti organici volatili.

La [tabella 3.1.2.5.](#) riporta le emissioni dovute al traffico veicolare, dove si nota un netto abbattimento del biossido di zolfo, mentre tutti gli altri inquinanti rimangono intorno a concentrazioni costanti o in leggera diminuzione.

La [tabella 3.1.2.6.](#) riporta infine le emissioni totali di tutti i settori relative all'anno 1998 nei Paesi della Comunità Europea più vicini all'Italia.

## Riferimenti bibliografici e siti internet

- # www.eea.eu.org
- # EEA. "Environmental signals 2000". Technical report nr 7/2000. Cap. 10: Air pollution.
- # EEA. "Air qualità annual topics update 1999". Technical report 7/2000. Agosto 2000.
- # EEA. "Emissions of atmospheric pollutants in Europe, 1980-96". Technical report nr 9/2000.
- # EEA. "Environment in the European Union at the turn of the Century". Cap. 3.4.: Transboundary air pollution. Pubblicato 01/01/1999.
- # EEA. "Annual European Community CLRTAP emission inventory 1980-88". Technical report nr 32. Pubblicato 13/12/2000.
- # EEA. "Dangerous substances in waste" Technical report nr 38. Pubblicato febbraio 2000.
- # ANPA. "Comunicazione ufficiale emissioni di gas serra per UNFCC- anno 1999". 2001.



**Figura 3.1.2.1**  
L'effetto dell'acidificazione sulle piante

	1994	1995	1996	1997	1998	1999
<b>SOx (as SO<sub>2</sub>)</b>	3189	3322	2467	2395		923
<b>NOx (as NO<sub>2</sub>)</b>	1790	1769	1756	1686		1490
<b>NH<sub>3</sub></b>	458.9	460.6	461.2	467.1		
<b>NMVOC</b>	2352	2368	2296	2277		1673
<b>CO</b>	7572	7789	7341	7211		6071
<b>CH<sub>4</sub></b>	1883	1914	1922	1952	1970	1964
<b>CO<sub>2</sub></b>	415	440	436	438	459	456

**Tabella 3.1.2.2**

Emissioni antropogeniche in Italia totali. SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, NMVOCs, NH<sub>3</sub>, CO e CH<sub>4</sub> sono espressi in migliaia di tonnellate all'anno, CO<sub>2</sub> in milioni di tonnellate all'anno.

	1994	1995	1996	1997
<b>SOx (as SO<sub>2</sub>)</b>	776	823	73	70
<b>NOx (as NO<sub>2</sub>)</b>	347	346	329	293
<b>NH<sub>3</sub></b>	0	0	0	0
<b>NMVOC</b>	7	7	5	5
<b>CO</b>	30	30	32	33

**Tabella 3.1.2.3**

Emissioni in Italia dovute alla produzione di energia. SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, NMVOCs, NH<sub>3</sub> e CO sono espressi in migliaia di tonnellate all'anno.

	1994	1995	1996	1997
<b>SOx (as SO<sub>2</sub>)</b>	76	76	59	57
<b>NOx (as NO<sub>2</sub>)</b>	10	10	11	10
<b>NH<sub>3</sub></b>	11	11	11	11
<b>NMVOC</b>	93	94	101	101
<b>CO</b>	299	299	298	298

**Tabella 3.1.2.4**

Emissioni in Italia dovute ai processi di produzione. SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, NMVOCs, NH<sub>3</sub> e CO sono espressi in migliaia di tonnellate all'anno.



	1994	1995	1996	1997
<b>SOx (as SO2)</b>	102	102	61	29
<b>NOx (as NO2)</b>	947	917	980	930
<b>NH3</b>	4	4	7	8
<b>NMVOC</b>	1086	1115	1051	1045
<b>CO</b>	5507	5725	5318	5157

**Tabella 3.1.2.5**

Emissioni in Italia dovute al traffico veicolare. SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, NMVOCs, NH<sub>3</sub> e CO sono espressi in migliaia di tonnellate all'anno.

	SOx	NOx	NH <sub>3</sub>	VOC	CO	CH <sub>4</sub>	CO <sub>2</sub>
<b>Italia (1999)</b>	923	1490		167 3	6071	1964	456
<b>Austria</b>	46	171	73	378	999	459	67
<b>Francia</b>	837	1654	828	234 1	8013	2584	413
<b>Germania</b>	1292	1780	625	170 5	5425	3555	886
<b>Grecia</b>	540	382	74	397	1500	465	100
<b>Tutta la CE</b>						1748 9	3315

**Tabella 3.1.2.6**

Emissioni in tutti i settori in Paesi della Comunità Europea (1998). SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, VOCs, NH<sub>3</sub>, CO e CH<sub>4</sub> sono espressi in migliaia di tonnellate all'anno, CO<sub>2</sub> in milioni di tonnellate all'anno. I dati dell'Italia sono relativi all'anno 1999.



### 3.1.3 Gli effetti sugli ecosistemi

#### Premessa

L'impatto dell'acidificazione sulla flora dipende da molti fattori: dalla composizione della base rocciosa del terreno, dallo spessore dello strato di humus, dal numero e dal tipo delle specie di piante. I danni provocati da questo fenomeno si possono sommare agli effetti dello smog fotochimico.

#### Gli effetti sulla flora

L'impatto delle sostanze inquinanti sulla vegetazione e sulla produttività delle specie agricole è sempre stato nell'interesse scientifico ed economico, mirando a fissare valori di concentrazione per evidenziare le possibili soglie di danno. Per questo motivo gli effetti dell'acidificazione sulla flora sono definiti sotto differenti aspetti: si analizza *l'impatto*, cioè l'influenza totale (deleteria o benefica) degli inquinanti atmosferici in tutti i comparti dell'ecosistema; la *lesione*, intesa come il risultato di uno o più alterazioni negative dei normali processi fisiologici tali che la pianta non ha più la capacità di riparare o compensare i cambiamenti delle funzioni cellulari e delle strutture, e il *danno*, che è quantificabile in una perdita economica. Gli impatti dell'ozono a livello di singola pianta possono manifestarsi come riduzione della produttività, alterazioni delle attività biochimiche e metaboliche, effetti sfavorevoli sull'anatomia, alterazioni nella concentrazioni dei nutrienti causati da una riduzione dell'assorbimento e dei processi assimilativi.

Il danno può essere acuto o cronico: *acuto* se comprende l'espressione di sintomi clinici che portano alla morte delle cellule, tessuti, organi o dell'intera pianta o comunità. Può essere causato sia da esposizioni ad elevate dosi di inquinante sia da esposizioni prolungate a basse dosi.

Il danno *cronico* comprende tipi non letali di sintomi clinici espressione, per esempio, di riduzione della produzione di clorofilla e di altri pigmenti, o della diminuzione di accrescimento. Normalmente questo tipo di danno è causato da esposizioni ad inquinanti a concentrazioni ancora minori.

Il danno *funzionale* comprende la riduzione della crescita senza lo sviluppo di alcun altro sintomo clinico, vale a dire il danno è solamente di natura fisiologica e pre-clinico.

I sintomi fogliari visibili sono raggruppabili nei seguenti tipi:

*punteggiature*: è il segnale più comune per le specie arboree, gli arbusti e le specie erbacee ed appare principalmente sulla pagina superiore della foglia. Le lesioni sono chiaramente definite e con forma di piccoli punti o chiazze che sono il risultato della morte o della pigmentazione di gruppi di cellule.

*Sbiancamento*: si manifesta sulla superficie superiore di molte specie erbacee ed arboree.

*Clorosi*: si definisce così il processo che danneggia i cloroplasti determinando una riduzione della clorofilla. Le dimensioni del tessuto colpito variano da una a poche cellule a gruppi di circa 1 mm di diametro; quando le esposizioni si ripetono, le aree danneggiate si possono riunire dando alla foglia un aspetto punteggiato.

*Necrosi bifacciali*: si manifestano quando il tessuto tra l'epidermide superiore ed inferiore viene distrutto.

Il PRQA per la Regione Lombardia relativo al quinquennio 1994-1998 sui danni provocati sulla vegetazione ha evidenziato due zone critiche: Milano per quanto riguarda biossido di azoto, biossido di zolfo e idrocarburi non metanici, mentre i picchi più alti per l'ozono sono stati riscontrati a Bergamo.

## Gli effetti sulla fauna

L'acidificazione provoca un aumento di disponibilità di metalli pesanti negli ecosistemi. L'accumulo di queste sostanze nella parte superiore del suolo e nella vegetazione conduce anche a una maggiore concentrazione negli animali.

Si è attribuita la scoperta di piombo e cadmio negli animali, in particolare uccelli e mammiferi, che vivono in zone remote al trasporto a media e larga scala dei metalli tossici. Le concentrazioni rilevate non sono state giudicate letali, ma tali da poter provocare problemi nella coordinazione e nei movimenti del corpo.

## Il biomonitoraggio e l'indice di biodiversità lichenica

I dati forniti dalle centraline di rilevamento per tutte le tipologie di inquinanti forniscono informazioni istantanee e relative ad un lungo periodo di tempo, ma non possono dare indicazioni sul danno alla vegetazione esposta.

Negli ultimi anni si sta diffondendo un nuovo tipo di monitoraggio, basato sull'utilizzo dei licheni.

Questo tipo di misura fornisce dati integrati su un lungo periodo di tempo, che non possono essere confrontati con i valori di carattere puntuale indicati dalla legge.

I vantaggi sono comunque molteplici:

4# il territorio monitorato può avere dimensioni molto grandi, arrivando a raggiungere luoghi dove sarebbe impensabile ottenere dei dati con sistemi di misura strumentali,

4# l'analisi preliminare dei licheni in una determinata zona può inoltre fornire indicazioni utili sull'opportunità di condurre analisi in modo tradizionale, evitando sprechi di risorse in casi che non lo richiedono.

Una metodologia per il biomonitoraggio degli effetti dell'inquinamento da gas fitotossici (SO<sub>2</sub> e NO<sub>x</sub>), tramite l'uso di licheni epifiti, è basata su una misura di *biodiversità*, intesa come somma delle frequenze della specie in un reticolo di rilevamento, di dimensioni variabili in funzione del campione. Analizzando le reazioni delle comunità licheniche alla presenza degli inquinanti si osserva la diminuzione del numero di specie e della loro copertura/frequenza, quale indice della determinazione del danno/effetto.

## Riferimenti bibliografici e siti internet

- # [www.eea.eu.org](http://www.eea.eu.org)
- # [www.sinanet.anpa.it](http://www.sinanet.anpa.it)
- # EEA. "Environmental signals 2000". Technical report nr 7/2000. Cap. 10: Air pollution.
- # EEA. "Emissions of atmospheric pollutants in Europe, 1980-96". Technical report nr 9/2000.
- # EEA. "Environment in the European Union at the turn of the Century". Cap. 3.4.: Transboundary air pollution. Pubblicato 01/01/1999.
- # EEA. "Dangerous substances in waste" Technical report nr 38. Pubblicato febbraio 2000.
- # Regione Lombardia, Fondazione Lombardia per l'Ambiente: "Piano regionale per la qualità dell'aria". 2000.

### 3.1.4 Le alterazioni dei materiali

---

#### Premessa

Il clima e l'inquinamento atmosferico, interagendo fra loro, degradano il patrimonio artistico, architettonico ed archeologico. Ben noti sono gli effetti di disgregazione dei materiali lapidei, in particolare quelli a componente calcarea, causati dall'acidità delle deposizioni umide, determinata dalle emissioni atmosferiche di biossido di zolfo ed ossidi di azoto, ma anche, in misura minore, dalla presenza di anidride carbonica disciolta.

Altrettanto noti sono gli effetti di annerimento dei materiali lapidei causati dal particolato. Altre alterazioni a carico di dipinti, rivestimenti, vernici, pigmenti, tessuti, componenti organici quali gomme, elastomeri ecc. ma anche metalli, possono essere causate dall'azione degli ossidanti atmosferici e dalle specie radicaliche. I cambiamenti chimici possono essere prodotti anche dalla presenza di microinquinanti organici aerodispersi quali solventi, pesticidi, fitofarmaci, BTX, ecc. il cui monitoraggio atmosferico purtroppo è ancora sporadico.

Alterazioni fisiche sono infine dovute essenzialmente agli agenti climatici come la temperatura e la radiazione solare.

#### Distribuzione del patrimonio regionale

Il patrimonio culturale lombardo è nel complesso piuttosto consistente ([figura 3.1.4.1.](#)). Sono stati segnalati 7630 beni, in media 6-7 per comune. Solo per il 29% dei comuni (451) le fonti dei dati non segnalano beni culturali, anche se non si esclude che ve ne siano, pur di importanza minore.

Per quanto riguarda invece il patrimonio archeologico ([figura 3.4.1.2.](#)), a parte i 41 beni censiti a Milano, si osserva una distribuzione di "fondo" disomogeneamente diffusa su valori bassi, con pochi casi assegnabili alle classi superiori, a differenza di quanto avviene nelle città del centro e del sud Italia.

#### La valutazione del rischio di alterazione dei materiali

Il più importante sforzo di valutazione del rischio degli inquinanti atmosferici nei confronti del patrimonio artistico e architettonico d'Italia è stato condotto dall'Istituto Centrale del Restauro di Roma. Un modello appositamente sviluppato (ICR, 1996) ha consentito di produrre, tra l'altro, una Carta della Pericolosità Ambientale-Aria per i monumenti dei diversi comuni italiani a partire da un quadro conoscitivo di riferimento di tipo climatologico, dai dati relativi all'inquinamento atmosferico, dalle emissioni e dalle relative attività antropiche.

Sono stati valutati due diversi (e distinti) indici chimico-fisici di pericolosità atmosferica, non direttamente riconducibili l'uno all'altro: l'indice di erosione e l'indice di annerimento.

### L'erosione

Per valutare questo fenomeno si ricorre all'indice di erosione, definito dalla quantità la pioggia, dalle deposizioni di zolfo, dall'acido nitrico e dall'apporto di acidità. Si stima quindi la perdita annuale di materiale ( $\sigma\text{g}/\text{anno}$ ) lapideo di origine calcarea.

Le precipitazioni determinano in assoluto la maggioranza dell'erosione ([figura 3.1.4.3.](#)): oltre il 76% della perdita totale di materiale lapideo sul 95% dei comuni e circa l'85% in media. Il contributo dovuto alla deposizione di zolfo ha un'importanza relativamente inferiore, pari al 6% della perdita totale nel 95% dei comuni e al 13% in media. L'acidità determina il 3% di perdita del materiale totale nel 98% dei comuni, l'1% del materiale in media. Irrilevante è invece l'incidenza delle deposizioni di acido nitrico.

La regione risulta approssimativamente divisa in tre fasce a diversa intensità erosiva; quella ad intensità più elevata occupa la parte centrale della regione, rappresentata dall'alta pianura e dalla fascia prealpina.

I valori più elevati si registrano nell'area nord milanese e nella fascia pedemontana della Brianza e del varesotto.

### L'annerimento

Per valutare questo fenomeno si ricorre all'*indice di annerimento*, calcolato in funzione delle emissioni di particolato in atmosfera ed espresso come concentrazione media annuale di particolato a livello comunale in  $\sigma\text{g}/\text{m}^3$ . I risultati sono riportati in [figura 3.1.4.4.](#)

La zona più soggetta al pericolo di annerimento è ancora rappresentata dall'alta pianura ed in particolare dai comuni dove si localizzano le attività produttive. Valori elevati si osservano anche lungo le principali direttrici di traffico stradale ed autostradale.

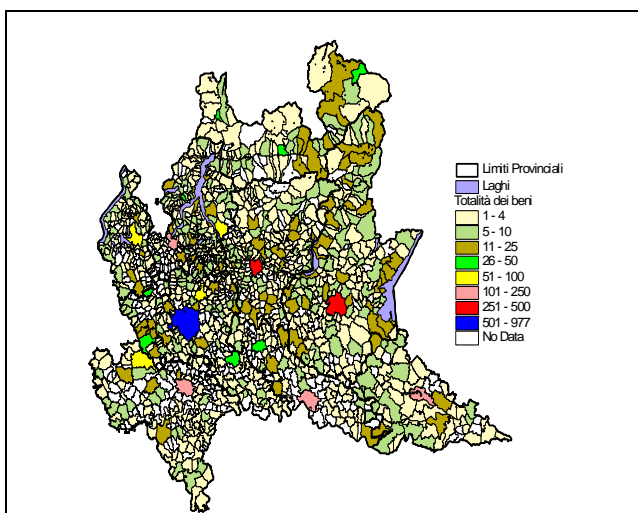
### La situazione in Lombardia

E' stata infine valutata l'azione composta dell'erosione e dell'annerimento, per ottenere un'unica valutazione della pericolosità atmosferica nei confronti del patrimonio culturale. La distribuzione dei rapporti tra i due indici ha rivelato che, l'annerimento pesa 2.5 volte più dell'erosione. L'indice di sintesi è stato quindi definito come la somma degli indici di annerimento e di erosione presi rispettivamente con peso 2.5 e 1. Le zone che occupano le classi di pericolosità più elevata sono situate nell'area a Nord di Milano e sono racchiuse nel triangolo produttivo Milano-Bergamo-Varese ad alta antropizzazione. Qualche punta si osserva anche attorno alla città di Brescia. Valori di pericolosità mediamente elevati si presentano anche nella fascia prealpina delle province di Bergamo, Lecco, Como e Varese.

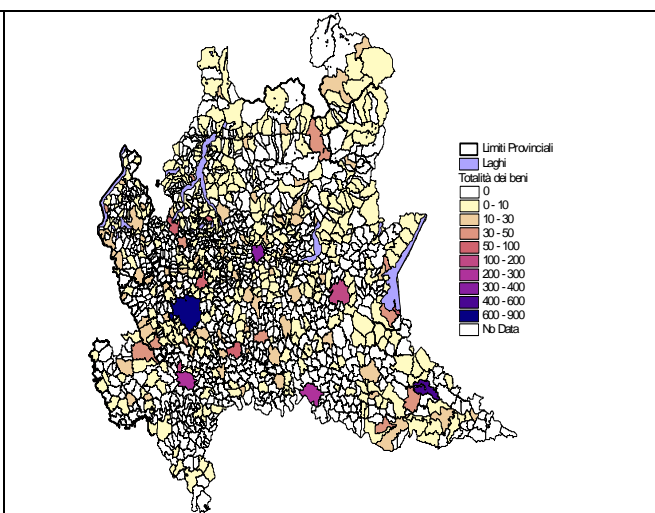
L'intersezione della pericolosità atmosferica con la presenza o meno di beni sul territorio è stata ottenuta per mezzo di un indice riassuntivo realizzato come prodotto dell'indice sintetico di pericolosità atmosferica per il numero dei beni. Il risultato è espresso in classi di *rischio territoriale* crescenti da 0 a 5 ed è visualizzato in [figura 3.1.4.5.](#)

**Riferimenti bibliografici e siti internet**

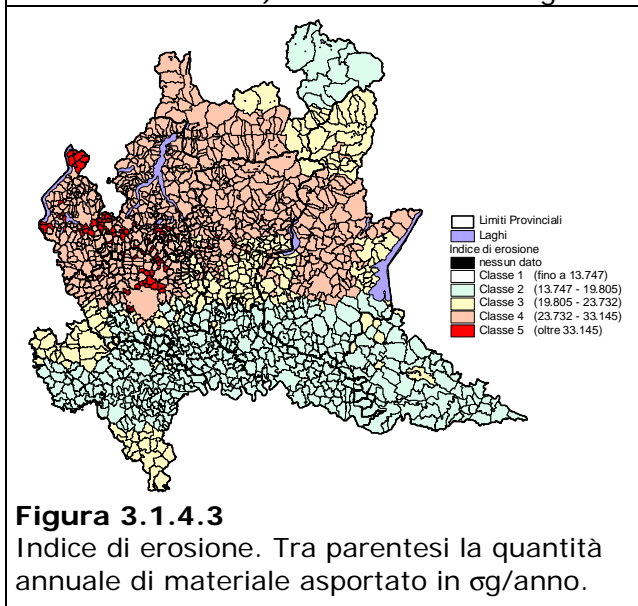
- # [www.eea.eu.org](http://www.eea.eu.org)
- # [www.sinanet.anpa.it](http://www.sinanet.anpa.it)
- # Regione Lombardia, Fondazione Lombardia per l'Ambiente: "Piano regionale per la qualità dell'aria". 2000.
- # Istituto Centrale del Restauro, 1996. "Carta del rischio del patrimonio culturale - La cartografia Tematica. Distribuzione del Patrimonio e dei fenomeni di pericolosità". Ministero per i Beni Culturali ed Ambientali, Roma.



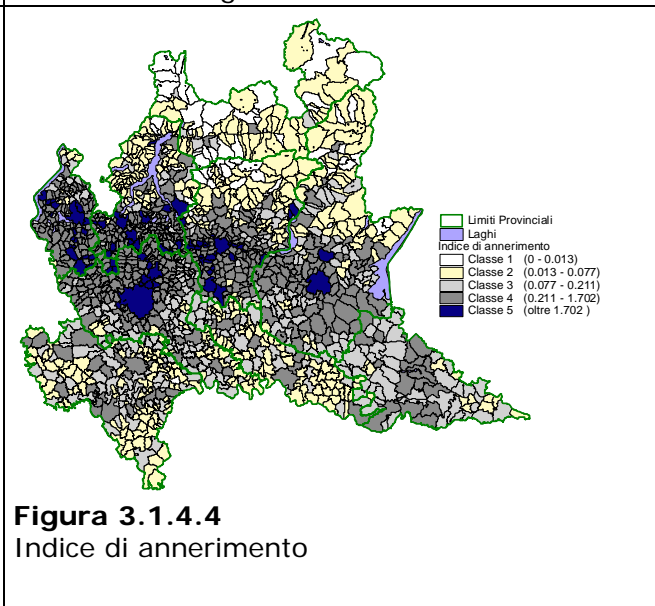
**Figura 3.1.4.1**  
Distribuzione della totalità del patrimonio culturale (Architettonico, Archeologico, Contenitori di beni) nei comuni della regione.



**Figura 3.1.4.2**  
Distribuzione del patrimonio archeologico nei comuni della regione.

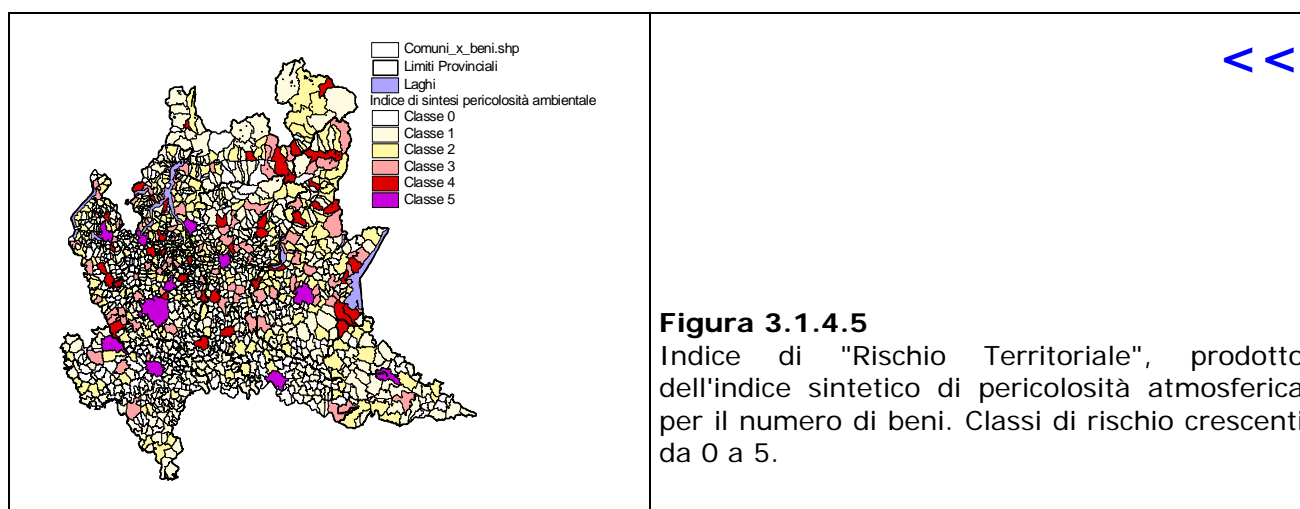


**Figura 3.1.4.3**  
Indice di erosione. Tra parentesi la quantità annuale di materiale asportato in  $\sigma$ /anno.



**Figura 3.1.4.4**  
Indice di annerimento



**Figura 3.1.4.5**

Indice di "Rischio Territoriale", prodotto dell'indice sintetico di pericolosità atmosferica per il numero di beni. Classi di rischio crescenti da 0 a 5.

### 3.2.1 Le emissioni di SO<sub>x</sub>

#### Premessa

Lo zolfo è presente in atmosfera sotto forma di diversi composti: il biossido di zolfo, inquinante primario, l'anidride solforica e i solfati. Il biossido di zolfo deriva dalla combustione delle sostanze contenenti zolfo.

Le emissioni antropiche principali di questo composto sono dovute alle centrali termoelettriche, alle industrie, al riscaldamento e al traffico veicolare. Questo inquinante ha un tempo di residenza in atmosfera abbastanza breve, da 12 ore a 7 giorni, poiché molto solubile in acqua.

Nel 2000 si è concluso il "Piano Regionale per la qualità dell'aria", uno studio svolto sulla qualità dell'aria che copre il quinquennio 1994-1998. Esso analizza i settori responsabili delle fonti principali di inquinamento e propone le misure cautelative per la riduzione significativa delle emissioni future.

#### La mappatura del biossido di zolfo

La mappatura delle esposizioni al biossido di zolfo della Lombardia è stata ottenuta interpolando spazialmente le medie quinquennali delle misure restituite dalle stazioni di monitoraggio di tipo "A" (situate in modo da monitorare l'aria non direttamente interessata dalle sorgenti di emissione urbana), "B" (situate in zona ad alta densità abitativa) e "D" (poste in zona periferica o suburbana) (figura 3.2.1.1.). Le figure 3.2.1.2. e 3.2.1.3. riportano la concentrazione media estiva e invernale al biossido di zolfo nel quinquennio di riferimento, calcolata anche con l'inclusione delle stazioni di tipo "C" (collocate in zona ad elevato traffico veicolare).

Complessivamente è possibile notare dalla figura 3.2.1.1. come la concentrazione limite (media annuale) di 50 g m<sup>-3</sup>, proposta dall'OMS, non sia mai superata. I valori più alti sono stati trovati in alcune aree del bresciano e della Valtellina centro-orientale.

#### Una valutazione sul medio-periodo

Le emissioni provinciali di SO<sub>x</sub> nel 1997 sono presentate nella tabella 3.2.1.4. Delle 62.231 t/anno di SO<sub>x</sub> emesse a livello regionale nel 1997, il 78% è legato alla produzione energetica, il 9% deriva dal riscaldamento civile, il 6% è causato dal traffico, il 5% dalle attività produttive e meno dell'1% è imputabile alla termodistruzione dei rifiuti urbani. Il territorio di Mantova, da solo, è responsabile

del 63% delle emissioni regionali. La situazione varia molto da provincia a provincia:

4# il *riscaldamento* rappresenta la principale sorgente di ossidi di zolfo a Sondrio (83% del totale) e una fonte significativa a Varese (53%), Como (52%), Lecco (47%) e Bergamo (38%);

4# la *produzione di energia* è preponderante a Mantova (99%), Lodi (88%) e Cremona (82%) ed è rilevante a Milano (51%);

4# i *processi produttivi* sono determinanti a Pavia (74%);

4# il *traffico* ha un'incidenza significativa a Varese (45%), Pavia (40%), Lecco (39%) e Bergamo (36%).

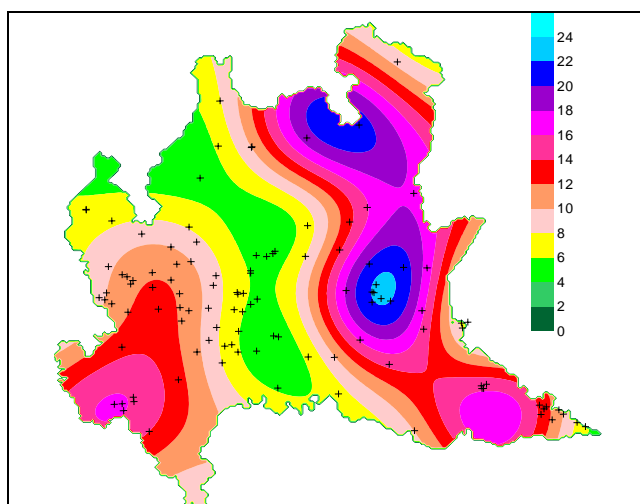
### Gli scenari futuri

Gli scenari delle emissioni relativi a ciascuno dei quattro macrosettori di attività sono stati variamente combinati, al fine di individuare le possibili evoluzioni del carico emissivo globale derivanti dall'adozione di diverse strategie di intervento nei singoli comparti, che possono sommarsi o controbilanciarsi negli effetti. Nella scelta e combinazione di scenari non si sono operate considerazioni sui costi di intervento e sugli strumenti politici o infrastrutture da attivare, informazioni in gran parte non disponibili; ci si è limitati a valutazioni sulle sole emissioni e a indicazioni fornite dall'analisi circa le attuali tendenze di sviluppo. L'adozione di diverse strategie d'intervento comporta in tutti i casi una diminuzione significativa delle emissioni nel primo decennio del 2000. L'adozione delle diverse strategie comporta a livello regionale una diminuzione dell'ordine del 61% nel 2005 del biossido di zolfo emesso complessivamente nei quattro comparti d'interesse. Un'ulteriore modesta riduzione dell'1% è ottenibile nel 2010. Le differenze tra scenari compositi sono inferiori all'1%, a causa della medesima efficacia degli interventi relativi al traffico e alla produzione di energia. In [tabella 3.2.1.5](#) è riportata la riduzione delle emissioni di ossidi di zolfo nel 2005 e nel 2010 rispetto al 1997 nelle province lombarde in funzione di diverse tipologie di intervento: gli scenari compositi presentano un'efficacia molto simile nelle singole province.

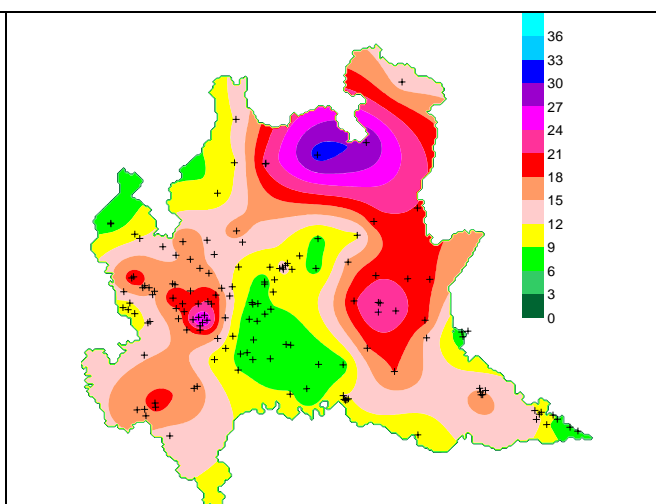
Gli interventi più incisivi per la riduzione degli SO<sub>x</sub> emessi sono quelli legati alla produzione di energia: a Mantova e Lodi risultano decisivi gli interventi sugli impianti (centrali, raffinerie) che portano riduzioni delle emissioni nel comparto superiori al 70% nel 2005. Le misure sul riscaldamento sono responsabili di una diminuzione di circa il 2% nel 2005 e il 3% nel 2010 sulla media regionale relativa al settore, con punte massime nelle province di Milano (-10% al 2005 e -21% al 2010), Brescia (-13% nel 2005 e -15% nel 2010) e Mantova (-8% nel 2005 e -20% nel 2010). Una riduzione obiquitaria degli SO<sub>x</sub> emessi è legata agli interventi sulla mobilità, che già nel 2005 comportano un abbattimento delle emissioni da traffico del 98% rispetto al 1997. Tali politiche comprendono l'evoluzione naturale del parco macchine, l'introduzione di carburanti alternativi, l'adozione di nuove tecnologie, le misure di gestione e contenimento del traffico privato urbano, le politiche di tariffazione del parcheggio e di vigilanza sulle soste in ambito urbano e gli interventi sulla velocità di percorrenza.

**Riferimenti bibliografici e siti internet**

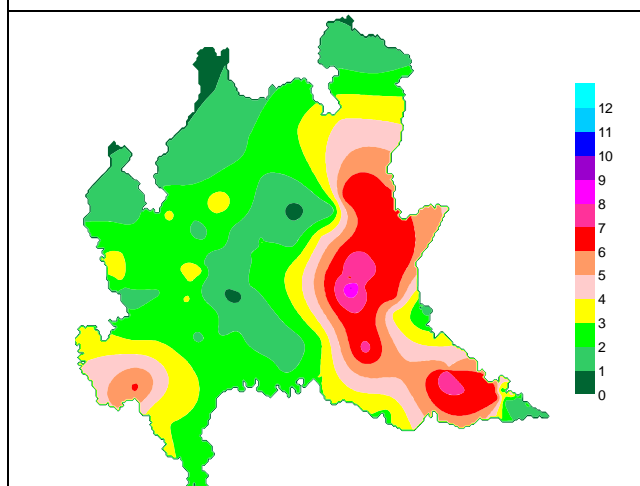
- # www.eea.eu.org
- # EEA. "Environmental signals 2000". Technical report nr 7/2000. Cap. 10: Air pollution.
- # EEA. "Annual European Community CLRTAP emission inventory 1980-88". Technical report nr 32. Pubblicato 13/12/2000.
- # Regione Lombardia, Fondazione Lombardia per l'Ambiente: "Piano regionale per la qualità dell'aria". 2000.
- # Regione Lombardia, D.G. Qualità dell'Ambiente U.O. Protezione ambientale e sicurezza industriale. Dati preliminari marzo 2000.



**Figura 3.2.1.1**  
Concentrazione media annuale di SO<sub>2</sub> ( g m<sup>-3</sup>) nel quinquennio 1994-1998.



**Figura 3.2.1.2**  
Concentrazione media invernale di SO<sub>2</sub> ( g m<sup>-3</sup>) nel quinquennio 1994-1998.



**Figura 3.2.1.3**  
Concentrazione media di SO<sub>2</sub> (ppb) sul semestre estivo, anni 1994-1998.

Provincia	2005	2010
Varese	-42% ÷ -43%	-37% ÷ -39%
Como	-28% ÷ -32%	-38% ÷ -41%
Sondrio	-14%	-33% ÷ -53%
Milano	-23%	-31%
Bergamo	-47% ÷ -48%	-21% ÷ -22%
Brescia	-26% ÷ -29%	-8% ÷ -12%
Pavia	-38%	-87%
Cremona	-10%	-17%
Mantova	-74%	-74%
Lecco	-46%	-62% ÷ -63%
Lodi	-98%	-98%

**Tabella 3.2.1.4**  
Riduzione delle emissioni di ossidi di zolfo nel 2005 e nel 2010 rispetto al 1997 nelle province lombarde in funzione di diverse tipologie di intervento.



t/a	Regione	VA	CO	SO	MI	BG	BS	PV	CR	MN	LC	LO
E	48 877	-	118	-	5 266	-	979	290	1 125	39 037	-	2 063
R	5 887	414	358	268	3 317	378	426	171	109	256	146	43
I	239	3	25	-	178	21	-	-	1	-	11	-
T	3 924	349	180	56	1 456	357	530	307	141	189	122	236
P	3 304	6	2	1	63	235	737	2 202	15	10	30	3

E=produzione di energia, R=riscaldamento commerciale istituzionale residenziale, I=inceneritori, T=traffico, P=processi produttivi, - tipologia non presente

**Tabella 3.2.1.5.** Emissioni provinciali di ossidi di zolfo nel 1997



### 3.2.2 Le emissioni di NO<sub>x</sub> e di NH<sub>3</sub>

#### Premessa

L'azoto costituisce il 78% dell'atmosfera e ad alte temperature reagisce con l'ossigeno dando luogo all'ossido e al biossido di azoto. Le emissioni di NO<sub>x</sub> sono dovute al traffico veicolare, alle fonti di riscaldamento, alle attività industriali e alla produzione termoelettrica. Il biossido di azoto è responsabile, insieme agli idrocarburi, dello smog fotochimico. L'origine dell'NH<sub>3</sub> antropica è legata all'agricoltura, in particolare all'uso dei fertilizzanti.

#### La mappatura degli ossidi di azoto

La mappatura delle esposizioni agli ossidi di azoto totali (NO<sub>x</sub>) del PRQA della Lombardia è stata ottenuta interpolando spazialmente le medie quinquennali delle misure restituite dalle stazioni di monitoraggio, eccetto quelle a media quinquennale nulla (figura 3.2.2.1.). La figura 3.2.2.2. e la figura 3.2.2.3. riportano la concentrazione media estiva degli ossidi di azoto totali e del biossido d'azoto nel quinquennio di riferimento. L'OMS ha proposto per il biossido di azoto un valore guida medio annuale di 40  $\mu\text{g m}^{-3}$  adottato anche dalla Direttiva del Consiglio d'Europa 1999/30/CE del 22 Aprile 1999 che ne dispone il rispetto entro il 2010. Complessivamente è possibile notare come tale valore sia superato in tutta la regione ad eccezione della Valtellina. L'area dove le esposizioni sono maggiori comprende tutte le attuali aree omogenee descritte dal quadrilatero ad alta densità urbana e produttiva Milano-Bergamo-Lecco-Varese con l'aggiunta di Brescia.

#### Una valutazione sul medio-periodo

In tabella 3.2.2.4. sono riassunte le emissioni provinciali di NO<sub>x</sub> nel 1997 per i principali comparti d'interesse. Il traffico risulta ovunque la fonte principale di NO<sub>x</sub>, rappresentando dal 76% (Cremona) al 87% (Lecco e Varese) delle emissioni totali. Fa eccezione la provincia di Mantova ove il 72% delle emissioni derivano dalla produzione di energia (centrali e raffinerie) e "solo" il 25% è imputabile al traffico. Il riscaldamento civile è mediamente responsabile del 10% degli NO<sub>x</sub> emessi, variando dal 3% di Mantova e Lodi al 17% di Sondrio; le attività produttive arrivano fino al 6% delle emissioni (Brescia e Pavia) e l'incenerimento rifiuti, ove presente, conta per l'1-2% del totale.

## Gli scenari futuri

Gli scenari emissivi relativi a ciascun macrosettore di attività sono stati variamente combinati, al fine di individuare le possibili evoluzioni del carico emissivo globale derivanti dall'adozione di diverse strategie di intervento nei singoli comparti. Nella scelta e combinazione di scenari non si sono operate considerazioni sui costi di intervento e sugli strumenti politici o infrastrutture da attivare, informazioni in gran parte non disponibili. Ci si è limitati invece a valutazioni sulle sole emissioni e a indicazioni fornite dai gruppi propositivi circa le attuali tendenze di sviluppo. L'adozione di diverse strategie d'intervento comporta in tutti i casi una diminuzione significativa delle emissioni nel primo decennio del 2000:

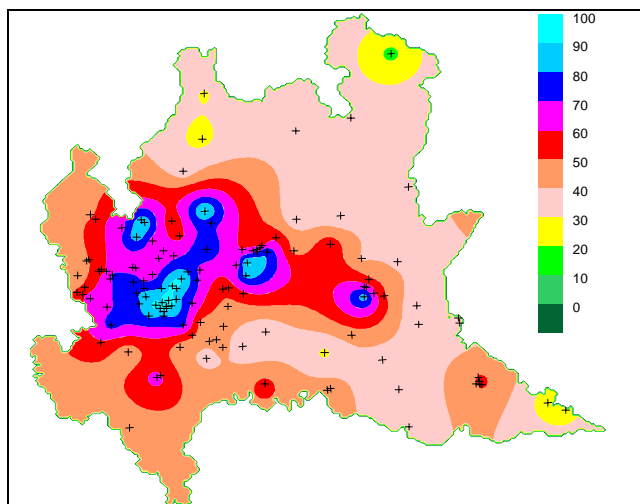
- 4# riduzione del 17% nel 2005 e del 33% nel 2010 in caso di evoluzione ritenuta più probabile in tutti i comparti emissivi. Questo comprende il massimo potenziamento degli impianti di produzione energetica e il probabile sfruttamento del potenziale energetico, l'evoluzione naturale secondo la normativa vigente del parco macchine, l'innovazione tecnologica e la riformulazione dei combustibili per gli impianti di combustione commerciali, residenziali e istituzionali, e l'adozione per ogni impianto d'incenerimento rifiuti della tecnologia di depurazione attualmente adottata;
- 4# riduzione del 18% nel 2005 e del 33-34% nel 2010 per gli scenari che al precedente sommano provvedimenti sulla velocità autoveicolare e su soste/parcheggi;
- 4# riduzione del 19% nel 2005 e del 34-35% nel 2010 per gli scenari che oltre alla prima ipotesi prevedono misure sulla velocità del traffico e sui sistemi di abbattimento degli inceneritori;
- 4# riduzione del 18% nel 2005 e del 38-39% nel 2010 per gli scenari che contemplano anche interventi sul traffico merci e sui sistemi di abbattimento degli inceneritori;
- 4# riduzione del 32-33% nel 2005 e del 50-53% nel 2010 per gli scenari che stimano gli effetti dell'adozione della miglior tecnologia disponibile e del massimo potenziamento, in particolare energetico, in tutti i settori.

Per la gran parte delle province sono gli interventi sul traffico ad incidere maggiormente sulle variazioni delle emissioni negli anni target. Tali interventi prevedono, infatti, sul totale regionale, secondo la politica attuata, riduzioni varianti dal 17% al 36% nel 2005 e dal 38% al 62% nel 2010 rispetto alle emissioni da traffico del 1997. Per la provincia di Mantova l'intervento più incidente è il dimezzamento delle emissioni nel comparto energetico previsto per il 2005; un'ulteriore diminuzione degli NO<sub>x</sub> è raggiungibile nel 2010 relativamente al traffico. Il pacchetto di interventi previsti per il riscaldamento comporta ovunque un riduzione delle emissioni rispetto a quelle dell'anno base: da -3% di Sondrio a -26% di Brescia nel 2005 (-15% tutta la regione); da -10% di Sondrio a -41% di Brescia nel 2010 (-30% tutta la regione). A livello di singole province, le riduzioni delle emissioni di NO<sub>x</sub> rispecchiano la situazione regionale nella maggioranza dei casi: Si discostano dai valori regionali le province di Pavia e Mantova e la provincia di Lodi che, per alcuni scenari relativi al 2005 mostrano stazionarietà o leggero aumento delle emissioni rispetto al 1997.

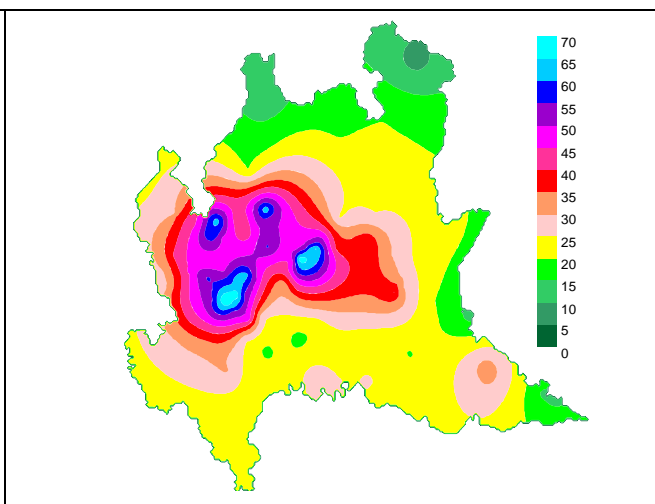
Per quanto riguarda l'ammoniaca, il traffico contribuisce alle emissioni regionali di NH<sub>3</sub> solo per l'1%, mentre la fonte predominante è il macrosettore agricoltura che conta per il 97%; irrilevante è la produzione energetica.

**Riferimenti bibliografici e siti internet**

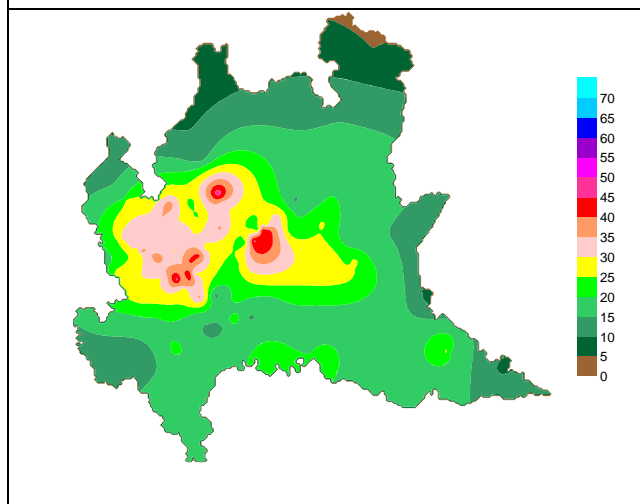
- # EEA. "Annual European Community CLRTAP emission inventory 1980-88". Technical report nr 32. Pubblicato 13/12/2000.
- # Regione Lombardia, D.G. Qualità dell'Ambiente U.O. Protezione ambientale e sicurezza industriale. Dati preliminari marzo 2000.
- # Regione Lombardia, Fondazione Lombardia per l'Ambiente: "Piano regionale per la qualità dell'aria". 2000.



**Figura 3.2.2.1**  
 Concentrazione media annuale di NOx ( gm<sup>-3</sup>), espressa come NO<sub>2</sub> equivalente, in tutte le stazioni nelle stazioni di monitoraggio disponibili, escluse quelle con media nulla. Anni 1994-1998.



**Figura 3.2.2.2**  
 Concentrazione media di NO<sub>x</sub> (ppb) sul semestre estivo, anni 1994-1998. Tutte le stazioni.



**Figura 3.2.2.3**  
 Concentrazione media di NO<sub>2</sub> (ppb) sul semestre estivo, anni 1994-1998. Tutte le stazioni.



t/a	Regione	VA	CO	SO	MI	BG	BS	PV	CR	MN	LC	LO
E	29 140	232	204	-	4 326	-	914	2 907	808	18 569	-	1 179
	15 739	1 422	1 012	457	7 025	1 450	1 615	838	509	702	452	257
I	740	35	128	-	383	73	-	-	32	-	90	-
T	130 844	11 976	6 916	2 175	45 155	13 140	18 276	10 059	4 868	6 623	4 026	7 631
P	3 365	127	3	1	107	484	1451	669	205	18	50	12

E=produzione di energia, R=riscaldamento commerciale istituzionale residenziale, I=inceneritori, T=traffico, P=processi di produzione, - tipologia non presente

**Tabella 3.2.2.4** Emissioni provinciali di ossidi di azoto nel 1997



### 3.2.3 Le emissioni di VOC

#### Premessa

I composti organici volatili hanno origine da combustioni incomplete (industrie, traffico, raffinazione del petrolio, riscaldamento), dalle evaporazioni dai serbatoi e dalle attività industriali. Al contrario di altri inquinanti, i VOC sono emessi anche in processi naturali, in concentrazioni fortemente dipendenti dalla temperatura.

Le emissioni biogeniche possono arrivare, su base annua, al 40% delle emissioni totali sull'Europa, con punte del 60% durante gli episodi di smog fotochimico.

#### La situazione attuale

Le emissioni provinciali di VOC del 1997 sono riassunte separatamente per i comparti d'interesse nella [tabella 3.2.3.1](#). A tali valori fanno riferimento gli scenari futuri previsti per il 2005 e il 2010.

Per questa classe di inquinanti si hanno a disposizione solo gli scenari relativi al riscaldamento civile e al traffico. Le emissioni da produzione di energia, termodistruzione di RSU e attività produttive vengono in questa trattazione ipotizzate stazionarie nel corso del primo decennio del 2000 e per esse si assume il valore relativo all'anno base.

Le *attività produttive* rappresentano dal 16% (Lodi) al 53% (Cremona) delle emissioni totali.

I *flussi autoveicolari* risultano la fonte preponderante di VOC nel 1997: dal 80% della provincia di Milano al 39% del territorio di Mantova e Sondrio.

Il *riscaldamento* conta per il 46% a Sondrio ed è sorgente significativa a Milano (23%).

La *produzione energetica* rappresenta una quota del 6% nel Mantovano.

#### Gli scenari futuri

Gli scenari sul traffico sono dunque decisivi nell'incidere sulle variazioni delle emissioni negli anni target. Tali interventi prevedono in tutto il territorio regionale riduzioni varianti dal 50% (in caso di evoluzione naturale del parco macchine secondo la normativa vigente, carburanti alternativi, migliore tecnologia, contenimento del traffico urbano, interventi sulla velocità di percorrenza) al 57%

(oltre alle precedenti, migliore tecnologia disponibile, politiche di gestione del traffico urbano e del trasporto merci) nel 2005 e dal 68% al 77% nel 2010 rispetto alle emissioni da traffico del 1997.

Più contenute ed estese solo ad alcune province sono le diminuzioni di VOC da impianti di riscaldamento (rispetto al medesimo comparto nel 1997): – 12% nel 2005 e – 15% nel 2010 a Brescia, – 7% e – 15% nei due anni target a Mantova, – 5% e – 10% a Como, – 4% e – 8% a Milano. Nel restante territorio regionale le emissioni aumentano, rispetto all'anno base, del 3 - 4% nel 2005 e 6÷7% nel 2010. La provincia di Lecco si mantiene stazionaria.

Le emissioni provinciali di VOC derivanti dagli scenari compositi al 2005 e 2010, non tengono conto degli interventi su Energia e Inceneritori, a causa dell'indisponibilità dei dati.

Nel 1997 le emissioni di VOC a livello regionale ammontano a 116.046 t/anno complessivamente nei cinque comparti.

L'adozione delle diverse strategie d'intervento comporta in tutti i casi una diminuzione significativa delle emissioni negli anni target:

4# riduzione del 38% nel 2005 e del 56% nel 2010 per lo scenario ritenuto più probabile in tutti i comparti emissivi, che comprende il massimo potenziamento degli impianti di produzione energetica e il probabile sfruttamento del potenziale energetico, l'evoluzione naturale secondo la normativa vigente del parco macchine, l'innovazione tecnologica e la riformulazione dei combustibili per gli impianti di combustione commerciali, residenziali e istituzionali, e l'adozione per ogni impianto d'incenerimento rifiuti della tecnologia di depurazione attualmente adottata. Lo stesso dato si ha per misure aggiuntive sul traffico merci e sulla velocità veicolare.

4# Riduzione del 39% nel 2005 e del 59% nel 2010 per lo scenario che implementa la miglior tecnologia disponibile sugli autoveicoli.

4# Riduzione del 43% nel 2005 e del 59% nel 2010 per lo scenario che considera gli effetti di misure di tariffazione dei parcheggi e vigilanza delle soste nei comuni oltre 30000 abitanti.

4# Riduzione del 44% nel 2005 e del 65% nel 2010 per gli scenari che stimano gli effetti dell'adozione di politiche di gestione della mobilità urbana e del traffico merci.

A livello provinciale, per gli scenari composti previsti per il 2005 e il 2010 si ottengono le riduzioni delle emissioni di VOC riportate in [tabella 3.2.3.2](#).

Riduzioni superiori alla media regionale riguardano ancora i territori di Milano e Lodi. Le province in cui gli effetti degli interventi si manifestano in misura minore sono Bergamo, Mantova e, soprattutto, Sondrio.

**Riferimenti bibliografici e siti internet**

- # www.eea.eu.org
- # EEA. "Environmental signals 2000". Technical report nr 7/2000. Cap. 10: Air pollution.
- # EEA. "Annual European Community CLRTAP emission inventory 1980-88". Technical report nr 32. Pubblicato 13/12/2000.
- # EEA. "Emissions of atmospheric pollutants in Europe, 1980-96". Technical report nr 9/2000.
- # Regione Lombardia, Fondazione Lombardia per l'Ambiente: "Piano regionale per la qualità dell'aria". 2000.
- # Reg.Lombardia, D.G. Qualità dell'Ambiente U.O. Protezione ambientale e sicurezza industriale. Dati preliminari marzo 2000.

&lt;&lt;

t/a	regione	VA	CO	SO	MI	BG	BS	PV	CR	MN	LC	LO
E	579	1	-	-	152	-	12	-	3	325	-	86
R	10 243	758	893	1 140	1 106	1 689	2 347	715	379	682	384	150
I	3	-	-	-	-	1	-	-	-	-	2	-
T	75 458	6 154	3 582	917	38 895	5 383	7 236	4 091	2 360	2 319	1 749	2 773
P	29 763	2 480	1243	402	8730	3 069	3 281	3 583	3 096	2 583	708	588

E=produzione di energia, R=riscaldamento commerciale istituzionale residenziale,  
I=inceneritori, T=traffico, P=processi produttivi

- tipologia non presente

**Tabella 3.2.3.1** Emissioni provinciali di VOC nel 1997.

&lt;&lt;

Provincia	2005	2010
Varese	-38%÷ -44%	-56%÷ -65%
Como	-35%÷ -41%	-53%÷ -61%
Sondrio	-17%÷ -18%	-24%÷ -27%
Milano	-42%÷ -50%	-62%÷ -72%
Bergamo	-32%÷ -36%	-47%÷ -54%
Brescia	-35%÷ -40%	-51%÷ -58%
Pavia	-36%÷ -43%	-53%÷ -62%
Cremona	-37%÷ -43%	-54%÷ -63%
Mantova	-31%÷ -36%	-47%÷ -54%
Lecco	-35%÷ -40%	-52%÷ -59%
Lodi	-40%÷ -43%	-58%÷ -65%

**Tabella 3.2.3.2**

Riduzione delle emissioni di VOC nel 2005 e nel 2010 rispetto al 1997 nelle province lombarde in funzione di diverse tipologie di intervento.

### 3.3.1 Protocolli e azioni internazionali

#### ***Convention on Long-range Transboundary Pollution e i protocolli attuativi***

La prima convenzione che rileva l'importanza dell'inquinamento transfrontaliero è la *Convention on Long-range Transboundary Pollution* (Ginevra, 13/11/1979), che ha l'obiettivo di proteggere l'uomo e l'ambiente dalle sostanze nocive disperse in atmosfera.

La Convenzione contiene indicazioni di carattere generale, relative soprattutto:

4# alla ricerca e allo sviluppo tecnologico,

4# alla strumentazione e alle tecniche per il monitoraggio e la misura delle emissioni e concentrazioni di inquinanti,

4# ai modelli per una migliore comprensione della trasmissione dell'inquinamento atmosferico transfrontaliero a lungo raggio;

4# alle conoscenze sugli effetti degli inquinanti atmosferici sulla salute umana e l'ambiente;

4# ai programmi di educazione e formazione riguardanti l'inquinamento atmosferico.

C'è inoltre la proposta di costituire un Organismo esecutivo per la definizione e gestione delle iniziative suggerite dalla convenzione, della diffusione delle conoscenze e delle innovazioni rilevanti, dell'educazione e dell'informazione dei cittadini, dei principi per l'adozione di politiche e strategie di riduzione delle emissioni.

I sette successivi protocolli di attuazione sono stati stabiliti tra il 1984 e il 1998. Essi introducono gli obiettivi di riduzione (alcuni quantificati, altri no) per una serie di inquinanti (SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, VOC, metalli pesanti, inquinanti organici persistenti).

Particolarmente importanti sono: il *protocollo di Ginevra* del 1984 per la realizzazione del Cooperative Programme for the Monitoring and Evaluation of the Long-range Transmission of Air Pollutants in Europe (EMEP), il *protocollo di Helsinki* (1985), che si propone di ridurre del 30% le emissioni transfrontaliere di emissioni solforose entro il 1993, il *protocollo di Sofia* (1985) che ha come obiettivo il controllo della riduzione degli ossidi di azoto e dei loro flussi transfrontalieri e dispone il controllo o la riduzione delle emissioni di ossidi di azoto e dei loro flussi transfrontalieri entro il 14 dicembre 1994, l'applicazione di standard nazionali di emissioni per fonti fisse e mobili, l'introduzione di interventi di controllo dell'inquinamento per le più rilevanti fonti fisse esistenti e la necessità di rendere sufficientemente disponibile il carburante senza piombo entro due anni dall'entrata in vigore del protocollo. Il *protocollo di Oslo* (1994) infine dispone il riorientamento delle misure per l'abbattimento delle emissioni solforose sulla base dei concetti di carico critico, miglior tecnologia disponibile, risparmio energetico, nonché sull'applicazione degli strumenti economici. Esso è entrato in vigore il 5 agosto 1998.

#### **Le direttive CEE 96/61 e 99/32**

La *direttiva 96/61/CE* riguarda la prevenzione e la riduzione integrate dell'inquinamento (IPPC).

La direttiva ha per oggetto la prevenzione e la riduzione integrate dell'inquinamento proveniente da una serie di attività. A tal fine prevede misure intese a evitare o ridurre le emissioni nell'aria, nell'acqua e nel terreno, comprese le misure relative ai rifiuti, per conseguire un elevato livello di protezione ambientale nel suo complesso. Le principali attività considerate dalla direttiva riguardano l'industria energetica, di produzione e trasformazione dei metalli, l'industria dei prodotti minerali, chimici e simili. L'approccio integrato espresso dalla direttiva indica la necessità che gli Stati membri adottino le misure necessarie affinché si realizzi il pieno coordinamento della procedura e delle condizioni di autorizzazione quando sono coinvolte più autorità competenti; in termini più semplici la direttiva richiede che la pluralità delle autorizzazioni sia ridotta ad unità. Gli allegati a tale direttiva contengono le categorie

di attività industriali oggetto della direttiva, l'elenco indicativo delle principali sostanze inquinanti di cui è obbligatorio tenere conto, per stabilire i valori limite di emissione, la determinazione delle migliori tecniche disponibili.

La *direttiva 99/32/CE* modifica la direttiva 93/12 e stabilisce la riduzione del tenore di zolfo di alcuni combustibili liquidi. I paesi comunitari dovranno (dal 1° gennaio 2003) prevedere una serie di misure per evitare l'utilizzo di oli combustibili pesanti con tenore di zolfo superiore all'1% in massa. Il termine di adeguamento alle disposizioni della direttiva è indicato per il 1° luglio 2000.

### **La normativa italiana**

Le principali leggi italiane che hanno recepito le direttive europee sono la Legge n° 289 del 27 aprile 1982, la n° 488 del 27 ottobre 1988, la n° 146 del 12 aprile 1995 e il DLgs. n° 372 del 4 agosto 1999.

La Legge 289/82 definisce i principi fondamentali della Convenzione, la gestione dell'atmosfera, l'attività di ricerca e sviluppo, lo scambio di informazioni, l'attuazione del monitoraggio continuo di inquinanti e l'istituzione di un Organo esecutivo della Convenzione.

La Legge 488/88 ratifica ad esecuzione il protocollo del 1984 di Ginevra e stabilisce i contributi e la ripartizione delle spese dell'EMEP.

La Legge 146/95 riguarda la misura, lo scambio di tecnologia, l'attività di controllo e i programmi futuri per i VOC.

Il DLgs. 372/99 è un'attuazione della norma 96/61/CE e disciplina la prevenzione e la riduzione integrate dell'inquinamento proveniente dalle attività energetiche, di produzione e trasformazione di metalli, delle industrie di prodotti minerali e dell'industria chimica. Esso indica inoltre l'adeguamento di impianti esistenti e propone un inventario delle fonti inquinanti.

### **Riferimenti bibliografici e siti internet**

☞ [www.econet.it](http://www.econet.it)

☞ [www.eea.eu.org](http://www.eea.eu.org)

☞ EEA. Europe's Environment: the Dobris Assesment. Ch.31-Acidification. Pubblicato 01/01/1999.

☞ EEA. "Emissions of atmospheric pollutants in Europe, 1980-96". Technical report nr 9/2000.

☞ Regione Lombardia, Fondazione Lombardia per l'Ambiente: "Piano regionale per la qualità dell'aria". 2000.

### 3.3.2 Il trend futuro

#### Premessa

La fase propositiva del Piano Regionale per la Qualità dell'Aria (PRQA), istituito con D.G.R. n. 35196 del 20.3.98, prevede l'individuazione di interventi miranti alla riduzione delle emissioni atmosferiche a medio-lungo periodo. L'attività è stata affrontata da gruppi specialistici che hanno focalizzato l'attenzione su alcuni dei comparti emissivi più significativi in regione Lombardia: il traffico autoveicolare, gli impianti di combustione non industriale, la produzione di energia e l'incenerimento di rifiuti solidi urbani. L'anno base considerato è il 1997, anno cui si riferisce l'inventario regionale delle emissioni atmosferiche. Gli scenari emissivi futuri sono stati elaborati separatamente con riferimento agli anni 2005 e 2010, anni target per i valori limite di qualità dell'aria nelle direttive comunitarie secondo la Direttiva 99/30/CEE del 22.4.99 e per gli obiettivi dei protocolli internazionali stabiliti secondo il CLRTAP Convenzione delle Nazioni Unite sull'inquinamento atmosferico transfrontaliero a grande distanza – UNECE Ginevra 1979.

#### La classificazione delle emissioni

L'inventario permette di quantificare su base comunale gli inquinanti emessi dalle diverse tipologie di sorgenti stazionarie e mobili, raggruppate in 11 macrosettori: centrali elettriche pubbliche, teleriscaldamento e cogenerazione; impianti di combustione non industriale (impianti commerciali, residenziali ed agricoli); combustione nell'industria (caldaie, forni, combustioni con contatto); processi produttivi (industrie petrolifere, chimiche, del legno, ...); estrazione e distribuzione di combustibili fossili; uso di solventi; trasporto su strada; trasporto off-road (ferrovie, aerei, macchine agricole, ...); trattamento e smaltimento rifiuti; agricoltura; natura (boschi, incendi, acque, ...). Le *sorgenti stazionarie*, presenti in tutti i macrosettori ad eccezione di quelli relativi ai trasporti, comprendono due categorie principali: le *sorgenti puntuali* - grossi impianti localizzati le cui emissioni sono misurate analiticamente in situ; le *sorgenti diffuse* - piccole fonti distribuite sul territorio le cui emissioni sono calcolate sulla base di dati statistici (indicatori socioeconomici correlati con le quantità emesse) e coefficienti tecnologici (fattori di emissione) dell'attività di appartenenza. Le emissioni da *sorgenti mobili*, sono stimate come *emissioni lineari*, provenienti dalle principali arterie stradali statali e provinciali ed *emissioni diffuse*, causate dal traffico urbano e attribuite al comune di appartenenza. Nella [tabella 3.3.2.1](#), sono sintetizzate per ciascun macrosettore le emissioni regionali degli inquinanti considerati dall'Inventario: ossidi di azoto (NO<sub>x</sub>), ossidi di zolfo (SO<sub>x</sub>), polveri totali sospese (PTS), monossido di carbonio (CO), anidride carbonica (CO<sub>2</sub>), composti organici volatili non metanici (NMCOV), protossido di azoto (N<sub>2</sub>O) e ammoniacca (NH<sub>3</sub>). In [tabella 3.3.2.2](#) sono evidenziati i contributi di ciascuna provincia alle emissioni di ogni inquinante.

#### I possibili scenari nel 2010

Sono state analizzate le diverse politiche attuabili e i settori dove le emissioni sono più rilevanti.

Per la *produzione di energia* sono state proposte due tipologie di intervento: il miglioramento degli impianti per un minore impatto ambientale e l'utilizzo di fonti energetiche alternative. Nel primo caso uno scenario nel 2010 vedrebbe una riduzione di SO<sub>2</sub> pari al 66%, di 28% di NO<sub>x</sub> e di 35% di PTS; l'aumento di CO<sub>2</sub> sarebbe pari al 22%.

Per il *traffico* sono state analizzate diverse politiche: l'evoluzione naturale delle emissioni in assenza di nuovi interventi regionali (basata sull'evoluzione tecnologica dei veicoli e dei carburanti sul rinnovo del parco macchine come previsto dall'attuale

normativa europea) vedrebbe nel 2010 una riduzione percentuale di SO<sub>2</sub> pari al 96%, di NO<sub>x</sub> di 38% e di PTS di 98%; l'aumento di CO<sub>2</sub> sarebbe del 106%. Una politica più avanzata propone anche la variazione di percorrenze su gomma, l'implemento di trasporti pubblici e il potenziamento delle linee ferroviarie che porterebbe nel 2010 a una riduzione di SO<sub>2</sub> pari al 96%, di NO<sub>x</sub> di 46% e di PTS di 98%; l'aumento di CO<sub>2</sub> sarebbe del 17%. L'adozione di carburanti alternativi porterebbe a una limitazione di SO<sub>2</sub> pari al 96%, di NO<sub>x</sub> di 70% e di PTS di 98%; l'aumento di CO<sub>2</sub> sarebbe del 33%. Una politica più incisiva sulla differente tariffazione del parcheggio urbano porterebbe a un calo di SO<sub>2</sub> pari al 98%, di NO<sub>x</sub> di 44% e di PTS di 65%; l'aumento di CO<sub>2</sub> sarebbe del 2%. Una limitazione della velocità di percorrenza vedrebbe nel 2010 a una riduzione di SO<sub>2</sub> pari al 98%, di NO<sub>x</sub> di 39% e di PTS di 55%; l'aumento di CO<sub>2</sub> sarebbe del 29%. Per il *riscaldamento civile* le tipologie di intervento sono differenti: da una diversa tecnologia di combustione, al miglioramento delle caratteristiche dei combustibili, al miglioramento dell'efficienza di riscaldamento, all'introduzione di tecnologie innovative. Nella migliore delle ipotesi si avrebbe una diminuzione delle emissioni per i seguenti inquinanti pari al 16% per gli NO<sub>x</sub>, al 7% per l'SO<sub>2</sub>, al 3% per il PTS e per il CO, al 2% per i VOC al 2005. Nel 2010 si vedrebbe una diminuzione del 30% per gli NO<sub>x</sub>, del 12% per l'SO<sub>2</sub>, del 5% per le PTS, del 4% per il CO, del 3% per i VOC. Anche in questo caso si ha un aumento della CO<sub>2</sub>, seppure contenuta pari al 2% nel 2010. L'adozione delle migliori tecnologie ad ogni impianto di *trattamento dei rifiuti* porterebbe nel 2010 a una diminuzione di NO<sub>x</sub> pari al 70% rispetto ai valori che si avrebbero attuando unicamente le norme in vigore. Nel 2005 si avrebbe comunque un aumento di quasi il 200% degli NO<sub>x</sub> secondo lo scenario più probabile, pari al 28% secondo un ragionevole grado di adozione della miglior tecnologia disponibile (MTD), una diminuzione pari al 9% applicando la MTD a tutti gli impianti. Sempre nel 2005 si avrebbe un aumento del 300% per il CO nel caso più realistico, incremento dal 83% al 96% nei diversi gradi di adozione della MTD; diminuzioni dell'SO<sub>2</sub> dal 24% al 86% e delle PTS dal 1% al 84%. Nel successivo quinquennio l'ulteriore variazione delle emissioni ammonta a qualche punto percentuale.

### Riferimenti bibliografici e siti internet

- €# [www.econet.it](http://www.econet.it)
- €# [www.eea.eu.org](http://www.eea.eu.org)
- €# EEA. Europe's Environment: the Dobbris Assesment. Ch.31-Acidification. Pubblicato 01/01/1999.
- €# EEA. "Emissions of atmospheric pollutants in Europe, 1980-96". Technical report nr 9/2000.
- €# Regione Lombardia, Fondazione Lombardia per l'Ambiente: "Piano regionale per la qualità dell'aria". 2000.

Regione	NOx t/anno	SOx t/anno	PTS t/anno	CO t/anno	CO2 kt/anno	NMCOV t/anno	N2O t/anno	NH3 t/anno
1. produzione di elettricità	23 574	41 486	4 521	1 898	13 513	579	1 667	2
2. combustioni commerciali, istituzionali, residenziali	15 760	5 979	25 503	119 546	16 622	9 952	1 644	
3. combustioni industriali	47 176	21 152	16 791	36 407	13 053	2 681	1 097	7
4. processi industriali	7 163	14 978	95	53 529	251	57 431	24	875
5. estrazione, distribuzione combustibili						12 362		
6. uso solventi	132			37		175 559		0.3
7. trasporti stradali	130 844	3 924		320 309	14 282	75 458	1 494	1 328
8. altre sorgenti mobili	16 791	1 772	1 668	6 988	899	2 489	370	2
9. trattamento rifiuti	979	294	32	399	598	58		
10. agricoltura	1 123					161	5 922	101 788
11. natura	1 947	443		55 976		29 963	62	443
totale	245 489	90 029	48 609	595 090	59 218	366 692	12 279	104 445

**Tabella 3.3.2.1**

Emissioni atmosferiche regionali per inquinante e macrosettore di attività (maggio 2000)

tutte le fonti	NOx t/anno	SOx t/anno	PTS t/anno	CO t/anno	CO2 kt/anno	NMCOV t/anno	N2O t/anno	NH3 t/anno
Bergamo	26 925	3 370	13 114	59 281	5 487	32 794	783	5 287
Brescia	32 092	7 277	8 879	126 875	6 730	39 705	2 142	28 034
Como	12 710	1 910	3 476	38 282	2 987	26 492	378	1 217
Cremona	9 695	3 799	1 508	16 011	1 754	23 131	1 215	19 531
Lecco	7 438	1 185	1 297	25 770	1 278	11 029	187	674
Lodi	9 456	2 462	743	14 822	3 262	6 268	687	6 227
Milano	64 982	14 746	7 677	201 456	19 843	127 522	2 493	8 284
Mantova	30 967	40 372	4 384	19 842	9 667	22 591	2 751	24 382
Pavia	24 796	11 771	2 228	31 303	2 755	40 375	943	8 466
Sondrio	3 405	1 044	3 010	20 015	727	8 901	175	1 282
Varese	23 023	2 093	2 293	41 434	4 728	27 885	525	1 060
Regione	245 489	90 029	48 609	595 090	59 218	366 692	12 279	104 445

**Tabella 3.3.2.2** Emissioni atmosferiche provinciali per inquinante (maggio 2000)

Il capitolo è stato redatto dalla Fondazione Lombardia per l'Ambiente  
[www.flanet.org](http://www.flanet.org)

