

Zeitschrift: Bollettino della Società ticinese di scienze naturali
Herausgeber: Società ticinese di scienze naturali
Band: 84 (1996)

Artikel: Valutazione della qualità dell'aria nel canton Ticino, attraverso l'utilizzo di licheni epifiti : confronti transfrontalieri
Autor: Zocchi, Andrea / Peduzzi, Raffaele
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1003242>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 02.05.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Valutazione della qualità dell'aria nel Canton Ticino, attraverso l'utilizzo di licheni epifiti: confronti transfrontalieri

Andrea Zocchi & Raffaele Peduzzi

Laboratoire d'Ecologie Microbienne de l'Université de Genève
Istituto Batteriosierologico Cantonale, via Ospedale 6, CH 6904 Lugano

Riassunto

Dal maggio 1995 nel Canton Ticino é in corso un biomonitoraggio della qualità dell'aria mediante licheni epifiti. Il metodo di studio é basato sull' "Index of Atmospheric Purity" (I.A.P.). La peggior qualità dell'aria ($0 < \text{I.A.P.} < 30$) é stata individuata nei centri delle principali città e nelle aree circostanti, mentre i valori più alti di I.A.P. ($\text{I.A.P.} > 50$) sono stati osservati sulla fascia montana della parte occidentale del Cantone. Oltre a ciò si sono valutati gli Indici Ecologici di Wirth : attraverso un'analisi floristica é stato possibile controllare l'influenza del pH e dell'arricchimento di composti azotati sulla distribuzione dei licheni. Le osservazioni confermano che le forze che governano il pH sono un compromesso tra eutrofizzazione secondaria (aumenta il pH), piogge acide e blastocoline. Considerato ciò, per ora, il Canton Ticino non mostra alcuna differenza significativa con le zone italiane contigue. La ricerca é ancora in corso.

Parole chiave: licheni, biomonitoraggio, inquinamento atmosferico.

Abstract

Since May 1995 an air quality bio-assessment by epiphytic lichens has been carrying out within Canton Ticino. The research method is based on the "Index of Atmospheric Purity" (I.A.P.). The worst air quality ($0 < \text{I.A.P.} < 30$) was detected in the centre of the main towns and in the surrounding areas while the highest values of the I.A.P. ($\text{I.A.P.} > 50$) were observed in the Western part of the Canton, on mountain belt. Moreover, the Ecological Indices of Wirth have been evaluated: through a floristic analysis it has been possible to check the influence of pH and nitrogen enrichment of substrata on lichen distribution. Our observations confirm previously reported data: pH driving forces are a compromise among secondary substratum eutrophization (increasing pH), acid rains and tree trunk essudates. Considered this, till now, the Canton Ticino does not show any significant difference with the contiguous Italian zones. The research is still in progress.

Keywords: lichens, bio-assessment, air pollution.

Introduzione

Mediante l'utilizzo dei licheni come bioindicatori è possibile correlare l'intensità di perturbazioni antropiche con parametri floristici, vegetazionali, o morfofisiologici dei licheni stessi.

Nel corso degli anni 1992-1994 sono state studiate le popolazioni di licheni epifiti nelle province italiane di Varese e Novara allo scopo di ottenere una stima della qualità dell'aria, in termini semi-quantitativi, e di fornire dati complementari alle analisi chimico-fisiche effettuate da centraline analitiche. Attraverso una collaborazione transfrontaliera, nel maggio del 1995, si è cominciato un analogo studio, con le medesime metodiche, nel Canton Ticino, contiguo alle zone italiane menzionate ed omogeneo ad esse dal punto di vista territoriale, climatico, economico e culturale. Lo scopo finale è quello di avere una "fotografia" delle condizioni ecologiche e del grado di contaminazione antropica, di una vasta area prealpina, che presenta gli stessi problemi ambientali, indipendentemente da confini amministrativi o politici. Oltre a ciò questo studio è sicuramente una base per un futuro censimento delle specie licheniche presenti nell'area prealpina e alpina.

Nello studio di popolazioni naturali, per l'identificazione di inquinamento ambientale, è stato dimostrato che i licheni sono organismi particolarmente adatti a fornire utili informazioni sulla qualità dell'aria, in quanto il loro metabolismo dipende essenzialmente dall'atmosfera (NIMIS & CASTELLO, 1990).

La presenza della copertura lichenica, su piante di querce e tigli, registrata nelle diverse zone, è stata correlata, nei punti di maggior significato ecologico, alla presenza di vallate, alla direzione dei venti dominanti, alle zone a maggior densità di traffico e ricche di attività produttive ed alle aree agricole. In ogni stazione è stato calcolato l'indice I.A.P. (Index of Atmospheric Purity), per mezzo del quale è possibile risalire alla concentrazione media di SO₂ e NO_x (quali traccianti della combustione di composti derivati dal petrolio e possibili indicatori della direzione di diffusione di altri inquinanti).

Per valutare le modificazioni secondarie del substrato di crescita dei licheni, dovute ad attività antropiche, sono stati calcolati gli indici di Wirth, relativi a nitrofitismo e pH. Questa metodica permette di osservare le condizioni ecologiche prevalenti nell'area di studio.

Nel presente lavoro vengono valutati i primi risultati, poiché la ricerca in Ticino è ancora in corso e alcune zone di particolare interesse ecologico potrebbero essere ulteriormente evidenziate e approfondite.

Area di studio

L'area di studio totale comprende una vasta area prealpina di circa 8'130 Km², comprese le valli grigionesi Mesolcina e Calanca. Questo territorio corrisponde al bacino imbrifero del lago Maggiore, ed è rappresentato in fig. 1.

Canton Ticino

Il Canton Ticino si estende per 2'812 Km², ed ha una popolazione circa 300'000 abitanti. La popolazione non è ripartita in modo omogeneo, ma è concentrata nelle zone pianeggianti e collinose a ridosso del lago Maggiore e del lago di Lugano, oltre che attorno ai fulcri economici del Cantone (Lugano, Bellinzona, Chiasso).

Comune a tutta la regione dei grandi laghi prealpini del versante sudalpino è il clima insubrico: tale tipo di clima è caratterizzato da inverni normalmente secchi e soleggiati, con periodi di favonio da nord, ma con nevicate anche abbondanti, da precipitazioni soprattutto nelle stagioni di transizione e da estati soleggiate interrotte da acquazzoni anche violenti. Nel territorio ticinese, la fascia di massime precipitazioni è situata appena a nord del lago Maggiore e comprende le Centovalli e la valle Onsernone (precipitazioni medie di 2'200 mm/anno), che presentano un elevato gradiente orografico. La regione meno piovosa è, invece, la media valle di Blenio (precipitazioni medie di 1'200 mm/anno) che resta protetta da più catene montuose in tutte le direzioni, eccetto che a sud. Nel canton Ticino sono praticamente assenti fenomeni di

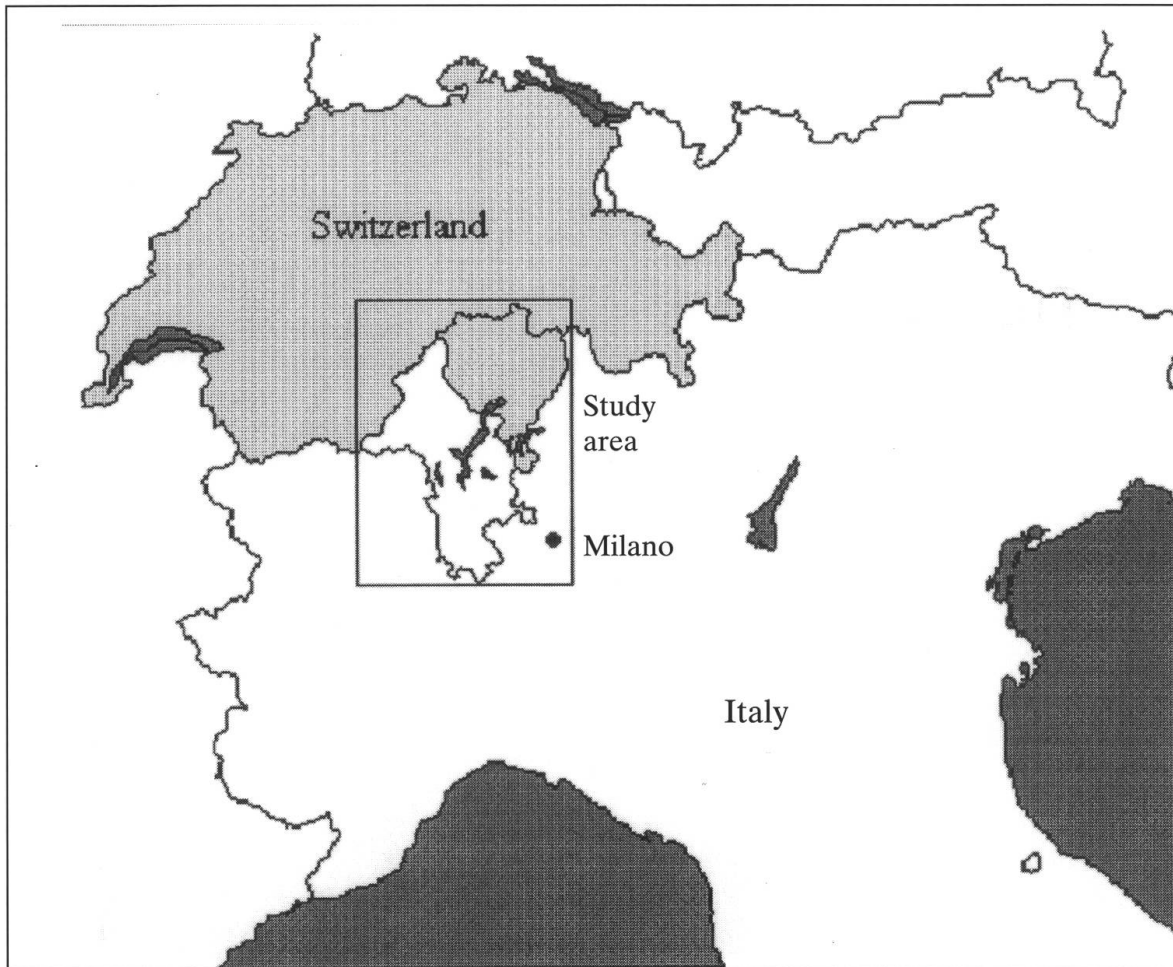


Figura 1: Area di studio. Scala 1: 6'600'000.

nebbia. Ovviamente, sopra i 1800 m, il clima si presenta boreale o polare (Osservatorio Ticinese Locarno-Monti, 1991).

Tra le vie di comunicazione che attraversano il canton Ticino l'autostrada N2 (Chiasso - Airolo) è senza dubbio l'arteria più importante, situata lungo l'asse Nord-Sud, sulla direttrice centro Europa-Mediterraneo ; non sono comunque da sottovalutare le numerose vie cantonali parallele e sussidiarie alla N2.

Nella parte meridionale del cantone sono presenti numerose piccole industrie impegnate nei settori del metalmeccanico, tessile e abbigliamento. Unica industria "pesante" del cantone era la Monteforno di Bodio (media val Leventina), che ha operato dal secondo dopoguerra ad alcuni anni addietro. La maggior parte dell'economia cantonale si basa, però, sul terziario (turismo e servizi, soprattutto bancari).

Dal punto di vista agricolo, anche se limitate, viticoltura e orticoltura forniscono una produzione pregiata, che viene esportata in gran parte verso i mercati d'oltralpe. Le attività agricole sono, comunque, limitate principalmente alle maggiori pianure del cantone (Piano di Magadino, Valle del Vedeggio e Mendrisiotto). (AMM. CANT. BELLINZONA, 1991).

Province italiane di Varese e Novara

La provincia di Varese si estende per 1'199 Km² ed ha una popolazione di circa 800'000 abitanti. È situata nella parte nord-occidentale della regione Lombardia, ed è delimitata ad Ovest dal lago Maggiore e dal fiume Ticino, a nord e nord-est dal Canton Ticino. Ad est si distingue dalla provincia di Como con una linea all'incirca parallela al corso del fiume Olona fino a Saronno. A sud il limite della provincia decorre orizzontalmente e si collega al fiume Ticino, a Lonate Pozzolo.

La parte nord della provincia è caratterizzata da zone collinari e montuose, con rilievi che raggiungono i 1'200 - 1'300 m; nell'area centro-sud, pur essendo presenti colline e qualche rilievo, domina la pianura. Quest'ultima è la parte più antropizzata ed industrializzata, anche per la vicinanza con Milano.

Il territorio provinciale è sede di numerose piccole e medie imprese, ubicate nelle zone centrali e meridionali. Le principali attività produttive sono: tessili cartiere, concerie, tintorie, pelletterie, industrie metallurgiche, siderurgiche, meccaniche, chimiche e alimentari.

Con una superficie territoriale di 3'594 Km² ed una popolazione residente che oltrepassa i 500'000 abitanti la provincia di Novara costituisce storicamente e culturalmente una cerniera tra il Piemonte e la Lombardia. Ad ovest confina con la provincia di Vercelli ed il Canton Vallese, a nord e a est con il Canton Ticino, le province di Varese e di Milano ed a sud con quella di Pavia. Il paesaggio della provincia è variegato, passando, come per il Canton Ticino, da alte montagne e profonde valli alla pianura: rispetto al Ticino, la porzione pianeggiante qui è maggiore.

Dal punto di vista economico, la provincia di Novara possiede un'agricoltura ben sviluppata (mais, orzo, riso, soia e avena in pianura, vite in collina, foraggiere in montagna dove prospera la zootecnia), così come il comparto industriale: centrali idroelettriche, industrie tessili, metalmeccaniche, dell'abbigliamento, elettroniche, chimiche, alimentari, cartiere ed editoria sono il motore della prosperità della zona, insieme a un turismo fiorente. Numerose piccole imprese sono sorte anche nella bassa val d'Ossola con l'apertura della superstrada del Sempione, Gravellona Toce-Gondo confine svizzero.

Le principali vie di comunicazione che attraversano la province di Varese e Novara, sono la continuazione delle numerose arterie ticinesi che arrivano al confine di Stato, in particolare si ricordano l'autostrada A8 (Milano - Gallarate - Varese), l'autostrada dir A8/A26 (Gallarate - Gattico), l'autostrada A26 (Genova Voltri -Gattico - Gravellona Toce), l'autostrada A4 (Torino-Milano) la superstrada n° 333 (Busto Arsizio-aeroporto intercontinentale Milano Malpensa) e la strada statale n°33 del Sempione (Castellanza - Gravellona Toce-Domodossola - Gondo confine svizzero) ; a queste vie di comunicazione si aggiungono altre numerose strade, sia di interesse statale che provinciale, che uniscono i vari capoluoghi tra loro e con la Svizzera.

Il clima delle 2 province gode delle stesse prerogative del clima del Canton Ticino, e cioè una spiccata insubricità, con precipitazioni medie annue che vanno da 1'100 a 2'000 mm, a seconda della località. Da questo inquadramento generale si discosta la pianura, situata nella zone meridionali della provincia di Novara, dove è riscontrabile un tipo di clima freddo e gelido con nebbie d'inverno, e caldo e afoso durante l'estate. (AMM. PROV. VARESE E NOVARA, 1991).

Metodi di indagine

Localizzazione delle stazioni

Le stazioni individuate, distribuite in modo omogeneo nelle porzioni di territorio pianeggiante e nei fondi valle per le zone più settentrionali di tutta l'area considerata (italiana e svizzera), sono complessivamente 343, di cui 66 nel territorio del Canton Ticino. Le stazioni di rilevamento sono rappresentate in fig. 3 con dei punti.

Per i rilievi di campioni lichenici sono stati individuati esemplari di tigli e/o querce, in quanto piante ampiamente diffuse nella zona considerata. I tigli presentano una scorza mesotrofica e subacida (valore medio del pH a 5.6 - BARKMAN, 1958) e dunque ideale per stimare variazioni di pH, o arricchimento in nitrati, indotte secondariamente dall'inquinamento; le querce hanno qualità analoghe, fatta eccezione per il pH della scorza, che è primariamente più acida (pH=4.8 - BARKMAN, 1958). Per la scelta delle piante, è stato utilizzato un protocollo che standardizza il più possibile i prelievi e garantisce una certa neutralità microambientale del substrato su cui si sviluppa il lichene (il microambiente del lichene epifita non deve né promuovere, né ostacolare la crescita lichenica):

- il fusto degli alberi adatti deve essere poco inclinato (meno di 35° rispetto alla verticale), per evitare zone preferenziali di percolamento di liquidi dall'alto.
- il tronco di questi vegetali deve avere una circonferenza minima di 70 cm per garantire



Figura 2: Reticolo di rilevamento.

un adeguato insediamento lichenico : tronchi minuti, appaiono lisci e sembra non promuovano lo sviluppo dei licheni altrettanto bene quanto gli alberi a scorza irregolare ;

- non si devono riscontrare evidenti fenomeni di disturbo come ferite da cancri, tumori, verniciature, ecc.

Ogni stazione era costituita da 3 - 4 esemplari delle specie arboree menzionate, scelti, in raggio di circa 100 m, tra gli esemplari che mostravano la maggior copertura e la maggiore biodiversità lichenica. (NIMIS et al., 1991, 1994).

Metodica di rilevamento

Per il rilevamento dei campioni di licheni è stata utilizzata una griglia di dimensioni 30 cm x 50 cm, suddivisa in due colonne adiacenti di 5 rettangoli uniformi. Tale griglia è riportata in fig. 2.

Questo reticolo è stato posizionato sul tronco, ad una altezza mai inferiore ai 120 cm, sul lato dell'albero con la massima copertura e densità lichenica.

Per ogni rilievo sono stati raccolti i seguenti dati:

- 1) Località, altitudine, numero di identificazione della stazione, data del rilievo.
- 2) Coordinate geografiche ricavate da carta regionale 1:10'000.
- 3) Identificazione del genere di albero.
- 4) Circonferenza del tronco ed esposizione del lato utilizzato per il rilievo.
- 5) Frequenza delle singole specie licheniche presenti nel reticolo di rilevamento, calcolata come presenza nei rettangoli della griglia (valori da 1 a 10).
- 6) Particolarità della stazione (NIMIS et al., 1991, 1994).

Indice I.A.P.

Il biomonitoraggio della qualità dell'aria, mediante l'indice I.A.P. (Index of Atmospheric Purity) è solo una delle tecniche di monitoraggio ambientale basate sui licheni epifiti. Introdotta da DE SLOOVER nel 1964, la formula di calcolo di tale indice ha subito, nel corso degli anni, almeno 20 importanti modifiche, in relazione soprattutto alle realtà climatico-territoriali nelle

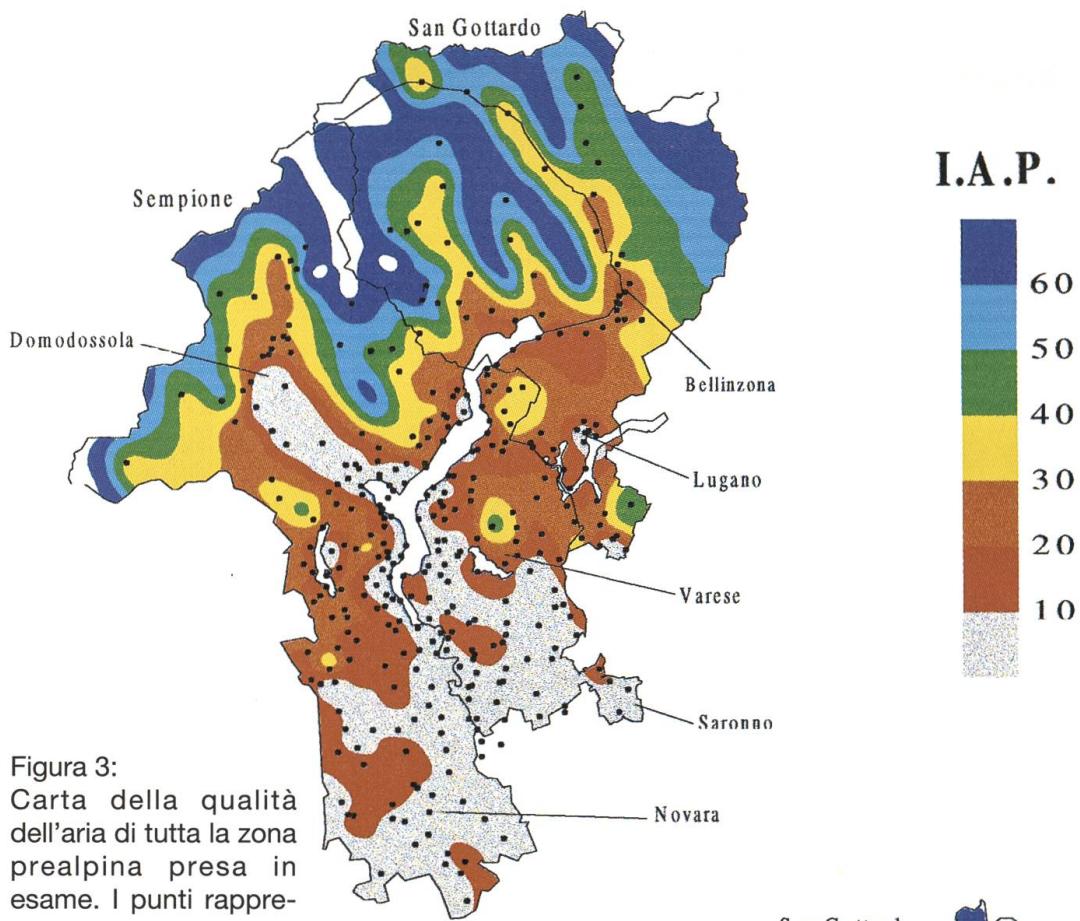


Figura 3:
Carta della qualità dell'aria di tutta la zona prealpina presa in esame. I punti rappresentano le stazioni di rilevamento. I diversi colori indicano diverse qualità dell'aria, secondo la scala cromatica in alto a destra.

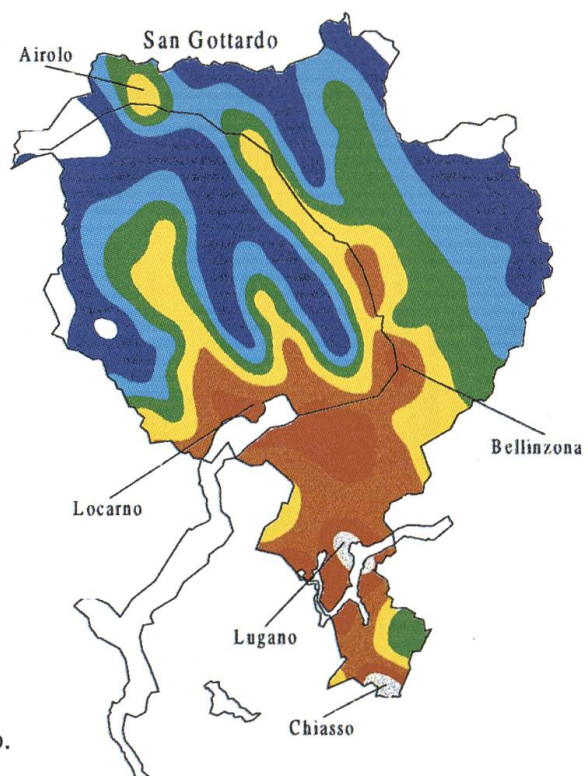


Figura 6: carta di qualità dell'aria nel Canton Ticino.

quali era applicata. Per questa ricerca è stata utilizzata l'espressione $I.A.P = 1/n \sum F$ dove **F** rappresenta la somma del numero di specie licheniche osservate all'interno di ogni rettangolo del reticolo di rilevamento ed **n** è il numero di alberi considerati per rilievo (NIMIS et al., 1985).

L'indice I.A.P. assume valori compresi tra 0 (deserto lichenico) e, teoricamente, infinito. Tradizionalmente, però, si considera che stazioni con I.A.P.>50 siano situate in zone non inquinate e che, a questi livelli, le differenze nel numero di specie licheniche siano dovute, in massima parte, alle condizioni climatiche. Viceversa in stazioni con I.A.P.<50 "l'effetto inquinamento" supererebbe "l'effetto ambientale".

Indici ecologici di Wirth

La valutazione indiretta dell'inquinamento atmosferico è stata completata mediante l'applicazione degli indici ecologici di Wirth (1980). Si tratta di una tecnica che rileva, soprattutto, la presenza di contaminanti ambientali che modificano secondariamente il substrato. Mediante tali indici si possono, contemporaneamente, caratterizzare alcuni parametri come deposizione di sostanze azotate, luminosità, pH, e umidità che, congiuntamente all'inquinamento, possono influenzare la distribuzione dei licheni.

Dopo aver identificato tutte le specie licheniche presenti nella stazione, alle singole entità sistematiche vengono associati i relativi indici proposti da Wirth, che quantificano in modo relativo, con un valore numerico, delle preferenze ecologiche, per i fattori sopra citati.

Tali indici sono espressi da valori numerici ai quali segue un breve commento:

Segue esempio per pH e nitrofitismo.

INDICE REALTIVO AL pH

- 1 Estremamente acidofitico, pH < 3.3
- 2 Molto acidofitico, pH da 3.4 a 4
- 3 Piuttosto acidofitico, pH da 4.1 a 4.8
- 4 Moderatamente acidofitico, pH da 4.9 a 5.6
- 5 Subneutrofitico, pH da 5.7 a 7.0
- 6 Neutrofitico pH = 7.0
- 7 Moderatamente basofitico, pH da 7.1 a 8.5

INDICE RELATIVO AL NITROFITISMO

- 1 Anitrofitico
- 2 Moderatamente nitrofitico
- 3 Piuttosto nitrofitico
- 4 Molto nitrofitico
- 5 Estremamente nitrofitico

Successivamente si calcola la somma della frequenza di rilevamento delle specie licheniche, per ciascun gruppo di rilievi e tale risultato viene moltiplicato per l'indice di Wirth corrispondente all'entità sistematica considerata. La sommatoria dei prodotti ottenuti per tutti i taxa presenti, rapportata alla frequenza totale di rilevamento di tutte le specie licheniche, rappresenta l'indice di Wirth relativo alla stazione considerata. Queste operazioni si ripetono per ogni parametro ambientale, fino a giungere ad avere il rilievo caratterizzato da valori numerici, che lo classificano quantitativamente per il pH e qualitativamente per le altre variabili ambientali (WIRTH, 1987, 1995; PALMIERI, 1990).

Elaborazione dei dati

Elaborazione cartografica

Tutte le elaborazioni cartografiche sono state effettuate mediante il package di programmi SURFER (ver. 5.02, Golden Software, Inc., Golden, Colorado), che comprende software per la cartografia bi e tridimensionale. Lo scopo era, infatti, creare, su un diagramma sovrapponibile alla mappa geografica, un gradiente di "I.A.P." generato a partire da punti (stazioni) discreti disposti più o meno regolarmente nell'area di studio.

In ambienti d'alta quota l'antropizzazione è praticamente nulla, sono frequenti fenomeni di ventosità, e praticamente assenti le cappe di inversione termica che non permettono ricambi di masse d'aria : questa supposizione ci permette di speculare che in tali aree siano assenti fenomeni importanti di inquinamento atmosferico. A causa di limitazioni del software in dotazione

nel considerare la planimetria, si è stati costretti ad inserire punti fittizi sulla cime di alcune catene montuose ticinesi. Questo accorgimento si è reso necessario per evitare un'eccessiva reciproca influenza di dati raccolti in vallate contigue, ma separate da rilievi orografici di altezze anche rilevanti. In questi punti, anche in virtù della suddetta ipotesi, si è considerata una qualità dell'aria ottima.

Lo stesso tipo di elaborazione è stato effettuato per i risultati ottenuti applicando gli Indici ecologici di Wirth. (NIMIS et al., 1991, 1994).

RISULTATI E DISCUSSIONE

Carta di qualità dell'aria della "Regio Insubrica"

A seguito di elaborazione cartografica computerizzata, si è suddiviso il territorio di indagine in 7 fasce a differente qualità dell'aria, corrispondenti ad intervalli di I.A.P. (fig. 3). Gli intervalli di ogni fascia non sono standardizzati in valori assoluti, ma vengono proposti nell'area oggetto di indagine a seconda della realtà territoriale. Per zone dell'ampiezza regionale, come nel nostro caso, si utilizzano, per convenzione, intervalli di 10 unità di I.A.P. ciascuno.

Nella prima fascia, corrispondente a circa 1'065 Km² dell'area di studio (14%), sono compresi valori di I.A.P. da 0 (deserto lichenico) a 10.

Tale zona, a qualità dell'aria **pessima**, comprende la parte più meridionale dell'area di studio (i cui centri principali sono Saronno (VA), Busto Arsizio (VA), Gallarate (VA), Besozzo (VA), Novara e sobborghi), la valle del fiume Toce (NO), la zona di Orta (NO), il centro di Varese, Laveno (VA), Verbania (NO), Baveno (NO), Lugano e sobborghi (TI), Chiasso (TI). Tali aree sono ad alta densità economica, industriale ed abitativa e sottoposte, quindi, ad intenso traffico veicolare.

La seconda fascia ($10 < \text{I.A.P.} \leq 20$ - qualità dell'aria : **bassa**) corrisponde pure a circa 1'065 Km² (14% del territorio) e per la maggior parte circostante alla precedente, ad eccezione di alcune piccole isole nelle zone meridionali delle province italiane, del corridoio che incornicia il lago Maggiore, del locarnese e del corridoio del fiume Tresa. Tra i centri di maggior rilievo sono compresi la parte sud e nord-est di Varese, le zone circostanti il lago di Varese, il luganese (TI), il locarnese (TI), il piano di Magadino (TI), Borgomanero (NO), Cannobio (NO), Domodossola (NO) e Bellinzona (TI).

La terza fascia ($20 < \text{I.A.P.} \leq 30$ - qualità dell'aria : **mediocre**) occupa un'area di 1'065 Km² (14% del territorio) e mostra una distribuzione meno uniforme. Le zone più estese sono situate nella zona centrale dell'area di studio e comprendono parte della val Formazza (NO), la zona del Cusio (NO), la zona tra Varese e Mendrisio (TI), la Riviera (TI) e l'imbocco di tutte le vallate alpine sia ticinesi che italiane.

La quarta fascia ($30 < \text{I.A.P.} \leq 40$ - qualità dell'aria : **discreta**) è localizzata, essenzialmente, nella parte Nord del territorio dove, in generale, segue l'andamento della fascia precedente e si insinua profondamente nelle valli alpine principali, che, anche se poco urbanizzate, sono soggette a flussi turistici. È questo il caso della valle Anzasca (NO), valle Antrona (NO), inizio val Divedro (NO) e Formazza (NO), val Cannobina (NO), val Maggia (TI), val Verzasca (TI), val Leventina fino a Faido (TI) e val Morobbia (TI). Sono, inoltre presenti alcune isole nella zona centrale del territorio in esame: malcantone/luinese (TI/VA), monte tre croci nella vicinanze di Varese, bassa valle di Muggio (TI), val Strona (NO), monte Mottarone, alcune frazioni isolate di Borgomanero (NO), zone a nord di Stabio (TI). Anche il comune di Airolo (TI), nell'estremo Nord è incluso in questa fascia.

Complessivamente queste zone hanno una superficie di circa 1'065 Km² e rappresentano il 14% del territorio analizzato.

La quinta fascia ($40 < \text{I.A.P.} \leq 50$ - qualità dell'aria : **buona**) evidente solo a Nord segue e segna il margine alla fascia precedente, ad eccezione che nella valle di Blenio (TI), interamente compresa in questa classe di qualità dell'aria, sulla cima del monte tre croci a Varese, alcune zone montuose in val Strona (NO) e l'alta valle di Muggio (TI). Tutta questa zona occupa 1'141 Km² (15%) del comprensorio preso in esame.

La sesta fascia ($50 < \text{I.A.P.} \leq 60$ - qualità dell'aria : **molto buona**), immediatamente a Nord della precedente, comprende essenzialmente la fine delle valli e i fianchi di queste ultime, ad

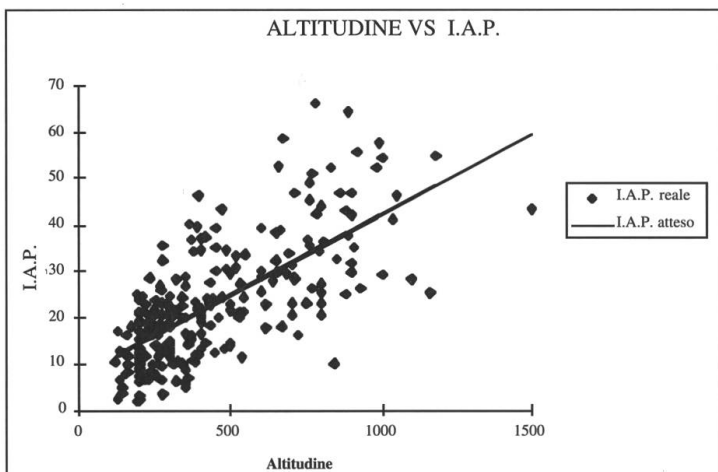
altezze superiori rispetto al fondovalle. In queste zone sono da sottolineare la val Grande (NO) e la zona del Piottino (TI) e di Quinto (TI). L'area di questa fascia è 1'293 Km² e corrisponde al 17% dell'area di studio.

La settima fascia (I.A.P. > 60 - qualità dell'aria : **ottima**), corrisponde alle vette alpine oltre che all'alta val Formazza (NO), alla val Onsernone (TI) ed alla valle di Campo (TI): in essa si riscontra la miglior qualità dell'aria di tutto il territorio di studio (608 Km², 8%).

Nell'area esaminata esistono ancora 304 Km² in cui non si è riusciti ad effettuare rilevamenti: essendo queste zone lontane da aree analizzate è anche difficile azzardare ipotesi basate sui dati circostanti. Nella figura queste zone sono in bianco.

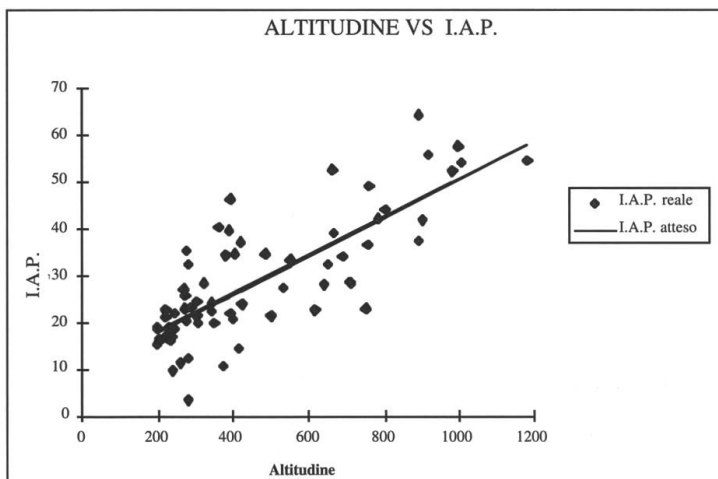
Complessivamente si osserva un miglioramento notevole della qualità dell'aria nelle zone più alte del territorio analizzato; questo fenomeno può avere tre tipi di spiegazione: (i) la zona montana è in genere meno abitata e meno soggetta a traffico veicolare rispetto alla pianura e quindi vi sono meno sorgenti inquinanti, (ii) la pianura industrializzata si trova, in inverno, sottoposta a frequenti fenomeni di inversione termica che provoca la formazione di strati di aria ferma e mantiene gli inquinanti nei pressi dell'area di immissione in atmosfera, non permettendo la loro migrazione e diluizione e (iii) zone circondate da massicci montuosi sono protette da eventuali fenomeni di trasporto di inquinanti a distanza (val Onsernone, valle di Campo, valle di Blenio)

Ciò è dimostrabile attraverso la verifica dell'esistenza di una relazione lineare tra I.A.P. e altitudine sul livello del mare della stazione di rilevamento: in condizioni non influenzate dall'uomo, con l'aumentare dell'altitudine del rilievo dovrebbero cambiare solo i tipi di specie licheniche presenti, ma non, o poco, il loro numero complessivo.(Fig. 4 e fig. 5)



Caratteristiche della retta:	
Coeff. angolare	= 0.035
Dev. st. c. ang.	= 0.002
Termine noto	= 7.156
Dev. st. T. noto	= 1.143
Dev. st. compless.	= 8.999
Coeff. di regres.	= 0.71
Gradi di libertà	= 243

Figura 4: Retta di correlazione tra I.A.P. e altitudine della stazione di rilevamento in tutta l'area di studio.



Caratteristiche della retta:	
Coeff. angolare	= 0.044
Dev. st. c. ang.	= 0.004
Termine noto	= 8.481
Dev. st. T. noto	= 2.092
Dev. st. compless.	= 7.883
Coeff. di regres.	= 0.83
Gradi di libertà	= 59

Figura 5: Retta di correlazione tra I.A.P. e altitudine della stazione di rilevamento nel canton Ticino.

Il deterioramento della purezza atmosferica sembra essere imputabile, principalmente, al traffico veicolare.

Si nota infatti:

1 - in generale, un peggioramento anche notevole della qualità dell'aria non solo nelle aree molto industrializzate, ma anche nelle zone a maggior traffico autoveicolare, anche se queste sono prive di attività produttive rilevanti (piano di Magadino, Riviera, bassa val Leventina, valle del Tresa, sponde del lago Maggiore). La situazione leventinese e di Airolo, può essere in parte giustificata anche dalla dislocazione dei camini di aereazione del tunnel autostradale del S. Gottardo e dalla presenza, nella zona di Bodio (bassa Leventina), della Monteforno, unica industria "pesante" del cantone, attiva fino a due anni fa.

2 - che le aziende potenzialmente inquinanti hanno dei limiti di legge per le emissioni in atmosfera, consone alla salvaguardia della salute umana e dell'ambiente, che si presume rispettino: queste sono però centri di attrazione per il traffico pendolare motorizzato;

3 - che il sistema di riscaldamento delle abitazioni dell'area di studio, almeno nella parte italiana, ha subito una metanizzazione pressochè completa e quindi non può essere considerato come sorgente importante di SO₂ e NO_x (gas fitotossici), ciononostante è proprio la zona italiana che risulta più compromessa a livello ambientale.

Malgrado quanto appena esposto, se consideriamo il canton Ticino singolarmente si nota che solo il 18% della sua superficie presenta una qualità dell'aria scadente (fasce 1, 2 e 3 a qualità dell'aria pessima, bassa e mediocre) con punte di inquinamento veramente elevato unicamente a Lugano e Chiasso, il 17% mostra una qualità dell'aria discreta (fascia 4 a qualità dell'aria discreta - fondo delle valli, Malcantone), mentre il restante 60% (fasce 5, 6 e 7 a qualità dell'aria buona, molto buona e ottima) possiede un'atmosfera poco o non inquinata. Questa favorevole situazione è dovuta principalmente al fatto che il cantone è relativamente più montuoso rispetto alle corrispondenti entità amministrative italiane e che i fenomeni di inversione termica con la formazione di nebbie sono assai rari e comunque localizzati in aree ben precise, come la zona di Chiasso, od il piano di Magadino. Ciò, non giova, comunque, alla maggior parte dei residenti che si dislocano principalmente in pianura e nelle vicinanze dei centri economici maggiori. (Fig. 6)

Correlazione tra valori di I.A.P. e concentrazione di SO₂

L'indice I.A.P. si è dimostrato altamente correlabile con i valori di SO₂ e/o ad altri gas fitotossici (NIMIS et al., 1990, 1992). Nell'area di La Spezia, sono stati correlati la concentrazione di SO₂ rilevata da 8 centraline automatiche con i valori di I.A.P. calcolati nelle vicinanze di queste: i risultati hanno permesso la verifica del valore predittivo degli indici I.A.P. rispetto alle medie annue delle concentrazioni di anidride solforosa espresse come 98° percentili (NIMIS et al., 1990).

La retta di correlazione lineare ($r = 0.886$) ottenuta da tali autori è riportata di seguito:

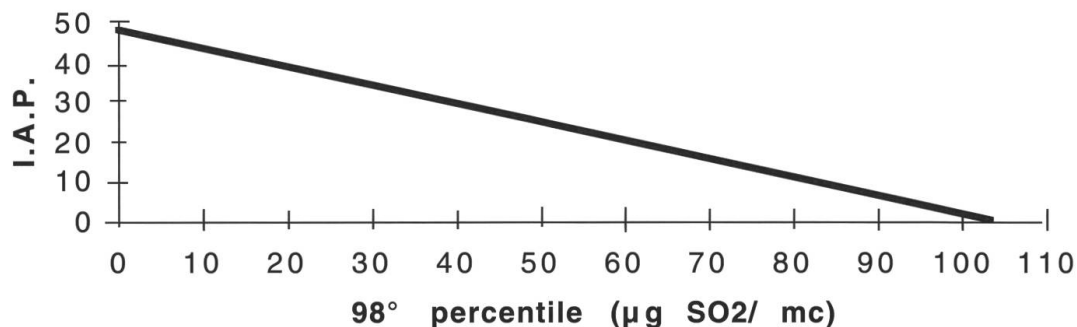


Figura 7: Correlazione tra valori di I.A.P. e concentrazioni di SO₂ (8 centraline) nella città di La Spezia (NIMIS et al., 1990).

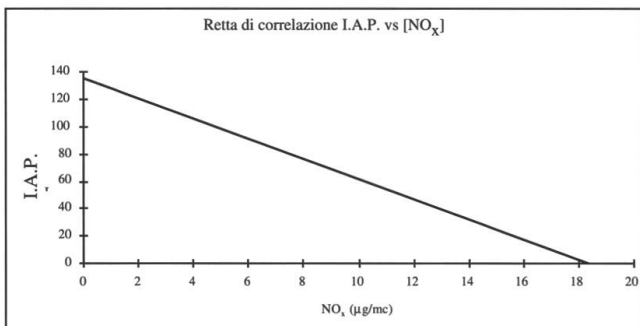
Nell'area di studio non è stato possibile effettuare tale correlazione a partire da dati diretti, ancora in acquisizione. Tuttavia, avendo la retta sopra riportata dimostrato una certa validità anche in realtà climatiche e territoriali diverse dalla città di La Spezia, come la provincia di Trieste, la regione Veneto e la città di Varese (NIMIS et al., 1985, 1986, 1991; ZOCCHI et al., 1996), si sono ugualmente estrapolati, anche per il Ticino, i valori di SO₂ espressi come 98ⁱ percentili della media annuale : i risultati sono riportati in tab.1.

Tabella 1 - Valori calcolati e attesi della concentrazione di SO₂ (98ⁱ percentili).

Valori attesi

FASCIA	I.A.P.	µgSO ₂ /m ³
		valori medi annui (98 ⁱ percent.)
5-6-7	> 40	< 17
4	30 - 40	17 - 39
3	20 - 30	39 - 60
2	10 - 20	60 - 82
1	0 - 10	> 82

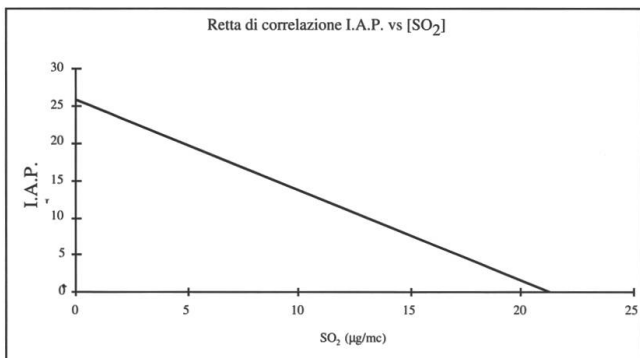
La relazione tra I.A.P. e gas fitotossici (NO_x e SO₂) è stata, comunque, verificata nella provincia di Varese, parte dell'area di studio del presente lavoro. Il confronto tra valori di I.A.P. e concentrazioni di tali inquinanti, è stato possibile per il periodo 1992-1994 nelle zone di Varese città, Gallarate, Saronno e Busto Arsizio. In tutti i casi si è ottenuta una buona correlazione evidenziata dalle figg. 8 e 9. In base a queste considerazioni la fig. 10 rappresenta la possibile zonazione dei vari inquinanti rilevabili con questo metodo.



Caratteristiche della retta:

Coeff. angolare	= -0.135
Dev. st. c. ang.	= 0.028
Termine noto	= 18.38
Dev. st. T. noto	= 2.297
Dev. st. comples.	= 1.727
Coeff. di regres.	= 0.94
Gradi di libertà	= 3

Figura 8: Retta di correlazione tra I.A.P. e concentrazione degli ossidi di azoto (media annua) rilevata con centraline analitiche nella provincia di Varese.



Caratteristiche della retta:

Coeff. angolare	= -0.82
Dev. st. c. ang.	= 0.224
Termine noto	= 21.25
Dev. st. T. noto	= 4.105
Dev. st. comples.	= 3.528
Coeff. di regres.	= 0.88
Gradi di libertà	= 4

Figura 9: Retta di correlazione tra I.A.P. e concentrazione dell'anidride solforosa (media annua) rilevata con centraline analitiche nella provincia di Varese.

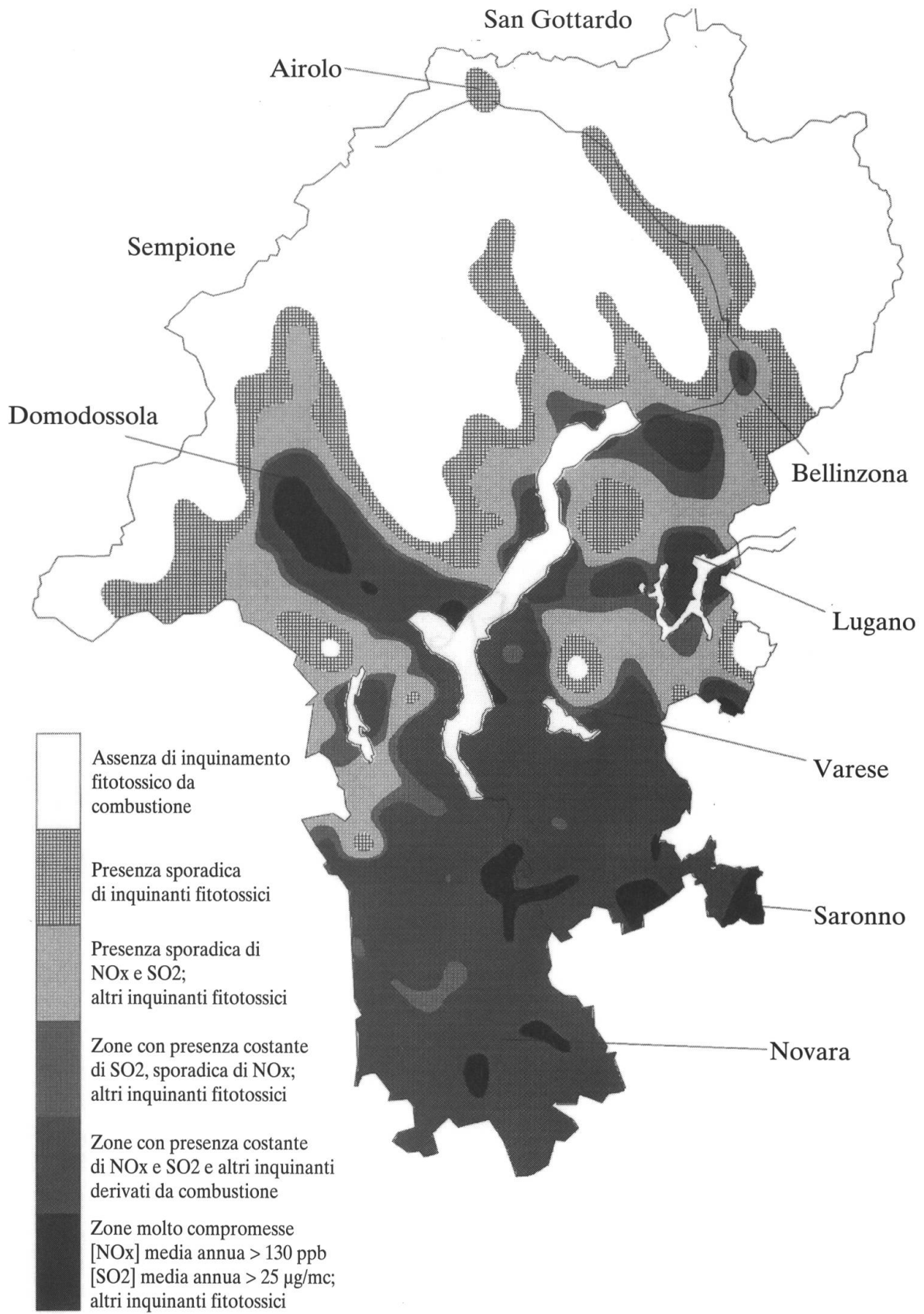


Figura 10: Probabile distribuzione degli inquinanti atmosferici nell'area prealpina.

Lista floristica e indici di Wirth in Ticino

Complessivamente, nell'area di studio "insubrica", sono state identificate **94** specie licheniche; nel solo territorio del canton Ticino si sono individuate **51** specie differenti, le cui frequenze, per numero di stazioni sono riportate nella tab. 2. La maggior parte di queste specie sono presenti anche nelle zone italiane attigue, mentre **6** sembrano peculiari del cantone.

L'analisi della lista floristica ticinese mediante l'utilizzo degli indici ecologici di Wirth relativi a pH e nitrofitismo ha messo in evidenza i risultati mostrati in fig. 11.

Per quanto riguarda gli indici relativi al pH, si osserva che il 60% delle stazioni mostra valori di pH compresi tra 4.9 e 5.6 (IV classe di Wirth) e il 40% valori di pH compresi tra 5.7 e 6.9 (V classe). Tale distribuzione, approssimativamente gaussiana, conferma quanto riportato in letteratura in studi analoghi (NIMIS et al., 1989; NIMIS et al., 1991) e quanto appare nelle zone italiane dove la maggior parte delle stazioni manifesta carattere da moderatamente acidofitico (IV classe) a subneutrofitico (classe V).

Gli indici di Wirth, relativi alla presenza di nitrati, mostrano che il 53% delle stazioni ha caratteristiche di moderato nitrofitismo (II classe) e che il 45 % di queste è compreso in III classe (stazioni abbastanza nitrofitiche). Anche questo risultato è in accordo a quanto ottenuto in Italia (NIMIS et al., 1985, 1986, 1991; ROELLA et al., 1995, ZOCCHI et al., 1996).

Considerando l'acidità si osserva che gli indici ottenuti, relativi alle stazioni di rilevamento, sono, leggermente superiori rispetto a quelli attesi in zone non inquinate, in quanto i rilievi sono stati effettuati su alberi le cui scorze dovrebbero mostrare un pH compreso tra 4.5 e 5.5 (quindi i rilievi dovrebbero cadere in classe III o IV di Wirth per il pH). Tale aumento di pH può essere dovuto ad una eutrofizzazione secondaria del substrato, dovuta alla composizione del terreno circostante la stazione di rilevamento, attività agricole o a polveri ricche di nutrienti sollevate da attività industriali o da traffico veicolare.

In Ticino, dalla localizzazione delle stazioni, per le quali si è calcolato l'indice, si possono ricavare alcune ipotesi sulle driving forces che governano l'instaurarsi delle varie comunità licheniche. Si nota, infatti che le stazioni tendenzialmente più acide (e quindi con comunità licheniche acidofile) sono ubicate o nelle immediate vicinanze dei maggiori centri urbani, o in zone isolate e scarsamente antropizzate della zona occidentale del cantone (fig. 12). Un andamento analogo è riscontrabile osservando la cartina relativa al nitrofitismo (fig. 13) dove, nell'insieme, la zona meno eutrofizzata del cantone coincide, con quella più acida e viceversa.

In generale, tale andamento sembra correlato con la quantità di precipitazioni che negli ultimi anni hanno mostrato un pH medio attorno a 4.5. La zona a maggior acidità e minor nitrofitismo, sembra coincidere con le aree a piovosità media superiore a 1700 mm/anno e potrebbe essere causata da un'acidificazione secondaria del substrato con contemporaneo e dilavamento degli eventuali nutrienti da parte delle piogge. Nei centri urbani un ulteriore contributo all'acidificazione potrebbe essere portato dall'inquinamento.

Le aree a piovosità inferiore a 1700 mm/anno risulterebbero, viceversa, coincidenti con le zone tendenzialmente più basiche e più eutrofizzate: con poche precipitazioni è possibile un accumulo dei nutrienti, probabilmente sollevati e dispersi dal traffico veicolare.

L'agricoltura, tuttavia, non è completamente da escludere come fonte di nitrati: le isole con stazioni abbastanza nitrofitiche nel Mendrisiotto, sul piano di Magadino e nella valle del Vedeggio potrebbero esse dovute all'utilizzo di fertilizzanti necessario per questa attività.

Conclusioni

Nel presente studio è stata realizzata una mappa di qualità dell'aria del territorio del canton Ticino e delle zone prealpine lombardo-piemontesi. In tali aree è stato evidenziato che:

1) mediante lo I.A.P. (Index of Atmospheric Purity) è stato possibile suddividere la zona d'indagine in sette fasce a qualità d'aria crescente, a partire da I.A.P. = 0 fino a I.A.P. = 66;

2) la zona maggiormente inquinata comprende con il centro cittadino di Varese, Lugano e Chiasso e tutta la parte meridionale dell'area insubrica, mentre quella a miglior qualità dell'aria è situata a Nord;

LISTA FLORISTICA	n° stazioni
<i>Candelariella xanthostigma</i>	51
<i>Candelaria concolor</i>	43
<i>Parmelia caperata</i>	35
<i>Phaeophyscia orbicularis</i>	34
<i>Lecidella elaeochroma</i>	32
<i>Physcia tenella</i>	27
<i>Hyperphyscia adglutinata</i>	26
<i>Parmelia sulcata</i>	20
<i>Physcia adscendens</i>	19
<i>Lecanora chlarotera</i>	18
<i>Parmelia glabratula</i>	17
<i>Parmelia tiliacea</i>	16
<i>Physcia stellaris</i>	14
<i>Graphis scripta</i>	12
<i>Parmelia elegantula</i>	12
<i>Parmelia subrudecta</i>	12
<i>Cladonia parasitica</i>	11
<i>Xanthoria fallax</i>	11
<i>Parmelia quercina</i>	10
<i>Parmelia exasperatula</i>	9
<i>Physcia dubia</i>	9
<i>Normandina pulchella</i>	8
<i>Candelariella reflexa</i>	7
* <i>Caloplaca holocarpa</i>	6
<i>Pertusaria albescens</i>	6
<i>Parmelia glabra</i>	5
<i>Usnea sp.</i>	5

LISTA FLORISTICA	n° stazioni
<i>Xanthoria parietina</i>	5
* <i>Rinodina pyrina</i>	4
<i>Hypogymnia tubulosa</i>	4
<i>Opegrapha atra</i>	4
<i>Evernia prunastri</i>	3
<i>Hypogymnia physodes</i>	3
<i>Lecanora symmicta</i>	3
<i>Phaeophyscia cloantha</i>	3
<i>Physcia semipinnata</i>	3
<i>Physconia distorta</i>	3
* <i>Opegrapha varia</i>	2
<i>Hypogymnia bitteriana</i>	2
<i>Parmelia pastillifera</i>	2
<i>Physconia grisea</i>	2
<i>Pseudevernia furfuracea</i>	2
* <i>Cetraria pinastri</i>	1
* <i>Collema subflaccidum</i>	1
* <i>Xanthoria polycarpa</i>	1
* <i>Ochrolechia arborea</i>	1
<i>Buellia punctata</i>	1
<i>Cladonia coniocraea</i>	1
<i>Cladonia squamosa</i>	1
<i>Lecania cyrtella</i>	1
<i>Lecanora allophana</i>	1
<i>Lecanora carpinea</i>	1
<i>Lecanora intumescens</i>	1
<i>Phaeophyscia insignis</i>	1

Tabella 2: Lista floristica con frequenza di rilevamento. Le specie asteriscate sono state trovate solo in Ticino.

3) la principale causa di inquinamento sembra essere il traffico veicolare, mentre le emissioni industriali si presume non influenzino in modo determinante la qualità dell'aria. Questa ipotesi è suffragata anche dal fatto che i licheni tendono a scomparire secondo un gradiente che segue l'asse di traffico, più che la distribuzione delle attività produttive potenzialmente inquinanti;

4) il fenomeno di inversione termica, associato alle alte pressioni invernali, crea strati d'aria immobile a basse quote e non permette trasporto o diluizione di inquinanti: questo è particolarmente evidente nella parte meridionale dell'area di studio;

5) l'orografia sembra influenzare i valori di I.A.P. Alle quote altimetriche più elevate la qualità dell'aria è risultata migliore;

6) anche i venti sicuramente intervengono nelle condizioni che favoriscono l'accumularsi di inquinanti o la loro diluizione, trasportandone una parte. Essendo, però, l'area in esame non regolare sarebbe difficile correlare i dati ottenuti con la direzione delle innumerevoli brezze locali, come il Föhn, generate dalla presenza di rilievi e vallate.

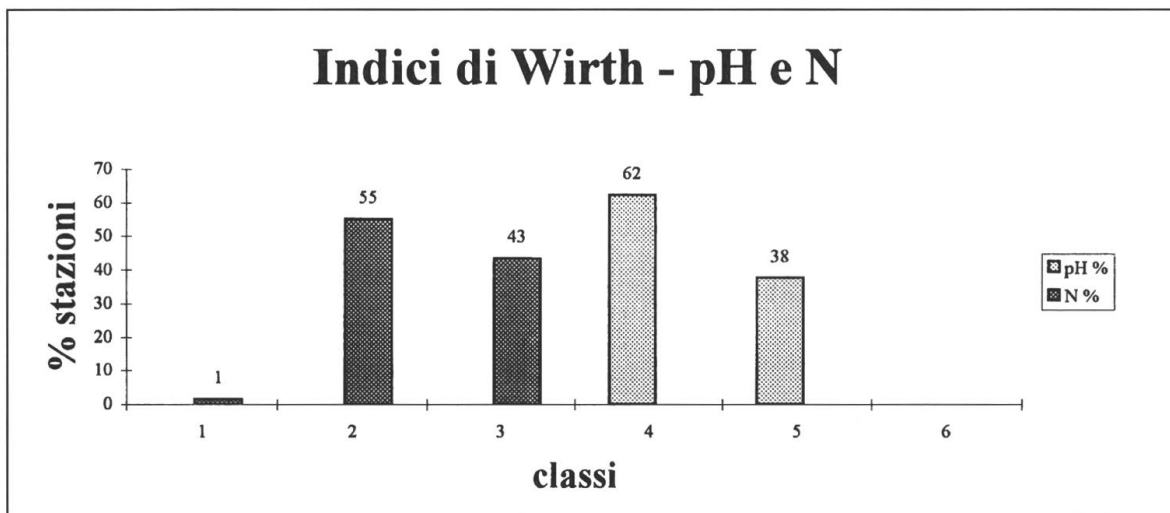


Figura 11: Distribuzione degli Indici Ecologici di Wirth relativi al pH e al nitrofitismo nel Canton Ticino.

I licheni, utilizzati come bioindicatori, hanno permesso di fornire un'immagine complessiva e facilmente visualizzabile, su cartografia, dell'inquinamento atmosferico che, integrata dai dati chimico-fisici ottenuti dalle centraline presenti, già localizzate in punti adeguati, potrà essere un utile strumento per la programmazione di interventi di risanamento su tale territorio. Inoltre, la carta di qualità mette in evidenza le zone più a rischio, che necessiterebbero di un controllo più approfondito.

E' da notare, comunque, che nell'area ticinese i dati raccolti sono ancora incompleti: in un prossimo futuro potrebbero essere messe in evidenza nuove zone con particolarità ecologiche o di inquinamento non ancora focalizzate; per questo motivo alcune delle considerazioni e ipotesi appena esposte potrebbero essere soggette a modifiche.

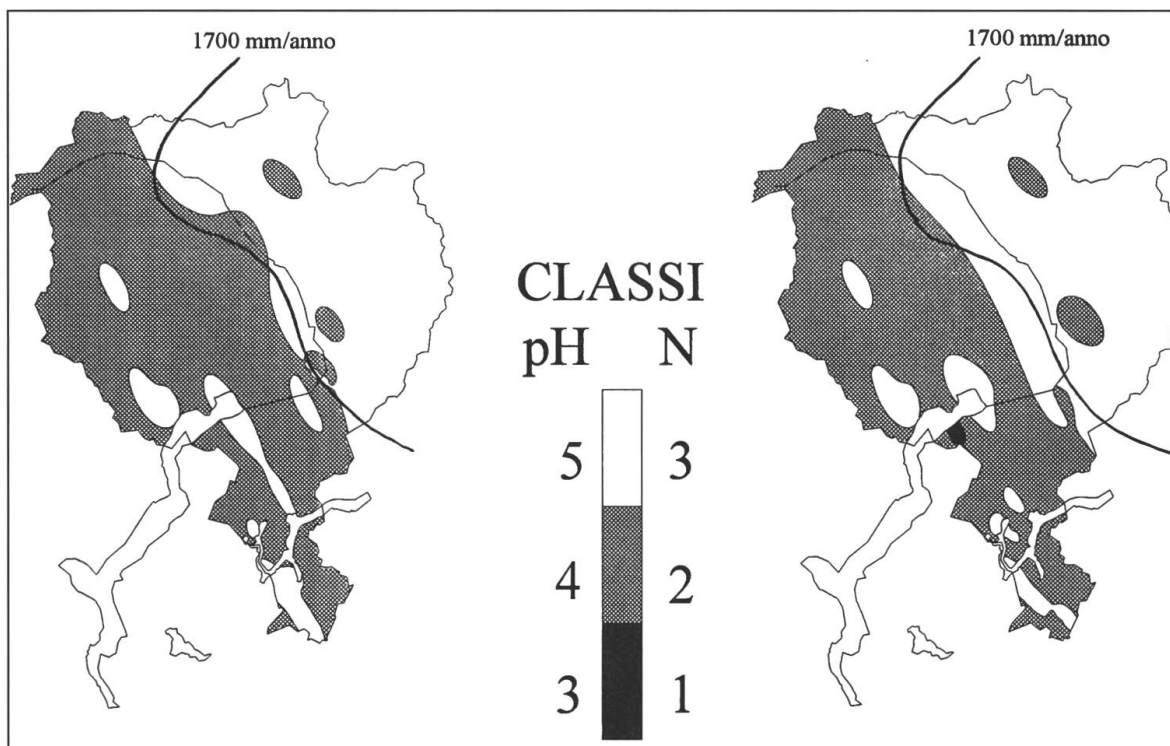


Figura 12: Zonazione del Ticino in base alla nitrofilia delle comunità licheniche.

Figura 13: Zonazione del Ticino in base al pH preferito dalle comunità licheniche.

Si ringraziano il Prof. P.L. Nimis ed i suoi collaboratori della Sezione di geobotanica del Dipartimento di Biologia dell'Università di Trieste, la Dr.ssa Valeria Roella del Presidio Multizonale di Igiene e Prevenzione USSL 1 di Varese, e il Dr Luigi Guidetti del Laboratorio di Sanità Pubblica USSL 13 di Novara che hanno fornito una preziosa consulenza, il Centro Geofisico Prealpino di Varese e l'Osservatorio ticinese di Locarno Monti che hanno fornito i dati meteorologici, l'Ing. Fulvio Giudici dell'Istituto Federale Foreste, Neve e Paesaggio di Bellinzona e tutti i forestali ticinesi per la collaborazione e la disponibilità dimostrata.

Bibliografia

- DE SLOVER J. 1964 - Vegetaux epiphytes et pollution de l'air. - *Revue Quest. Scient.*, **25**:531-561.
- NIMIS P. L. 1994 - Tecniche di biomonitoraggio dell'inquinamento atmosferico basate sull'utilizzo di licheni come bioindicatori e bioaccumulatori. - *Biologi italiani*, **8**:27-31.
- NIMIS P. L., CASTELLO M. & PEROTTI M. 1992 - Lichens as bioindicators of Heavy Metal Pollution: a case study at La Spezia (N Italy). - VCH Publishers. pagg. 265-284.
- NIMIS P.L. 1985 - Urban Lichens Studies in Italy. I: the town of Trieste. - *Studia Geobot.*, **5**:49-74.
- NIMIS P.L. 1986 - Urban Lichens Studies in Italy. II: the town of Udine. *Gortania*, **7**:147-172.
- NIMIS P.L., CASTELLO M. 1990 - L'uso dei licheni nel biomonitoraggio dell'inquinamento atmosferico. - *Biologia Ambientale*, **2**:5-25.
- NIMIS P.L., LAZZARIN A. & G., GASPARO D. 1991 - Lichens as bioindicators of air pollution by SO₂ in the Veneto region (NE Italy). - Edizioni Co.Ge.V. s.r.l., Verona, Ecothema s.r.l., Trieste.
- PALMIERI F. 1990 - I licheni come indicatori alternativi di inquinamento atmosferico. - *Analysis*, **2**: 80-106.
- ROELLA V., GUIDETTI L., BATTIOLI M. T. 1995 - Bioindicazione della qualità dell'aria nelle province di Varese e Novara. - Nicolini editore. Varese.
- WIRTH V. 1987, 1995 - Die Flechten. Baden-Württemberg. Eugen Ulmer. Stuttgart.
- ZOCCHI A., ROELLA V., CALAMARI D. 1996 - Valutazione della qualità dell'aria nel comune di Varese, attraverso l'utilizzo di licheni epifiti. - *Ingegneria ambientale*, in stampa.

Per approfondimenti

- HAWKSWORTH D.L., ROSE L. 1970 - Qualitative scale for estimating sulfur dioxide air pollution in England and Wales using epiphytic lichens. - *Nature*, **227**:145-148.
- HERZIG R., LIEBENDORFER L., URECH H., AMMANN K., CUECHEVA M., LANDOLT W. 1989 - Passive biomonitoring with lichens as a part of an integrated biological measuring system for monitoring air pollution in Switzerland. - *Intern. J. Environ. Anal. Chem.*, **35**:43-57.
- NIMIS P. L. 1993 - The lichens of Italy: an annotated catalogue. - *Mus. Reg. Scie. Nat.*, Torino. Monografia XII.
- NIMIS P.L. 1987 - I macrolicheni d'Italia. Chiavi analitiche per la determinazione. - *Gortania*, **8**:101-220.
- OZENDA P., CLAUZADE G. 1970 - Les lichens. Etude biologique et flore illustrée. - Masson, Paris.
- ROELLA V., BATTIOLI M. T., GERVASINI E., GUIDETTI L. 1992 - Lichens as bioindicators of air quality in the area surrounding lake Maggiore. - *Habitat e Salute, Atti, Montecatini T.* pagg. 381-388.
- TURIAN G., DESBAUMES P. 1975 - Cartographie de quelques lichens indicateurs de la pollution atmosphérique à Genève. - *Saussurea* **6**:317-324.
- TURIAN G. 1985 - Lichens as indicators of air pollution (zone scales of Geneva). - *Experientia* vol. 41 n°4 :354-355.
- WORLD HEALTH ORGANIZATION 1987 - Air quality guidelines for Europe. - WHO regional publications, European series n°23. Copenhagen.