



Agenda 21 Laghi

**BIOINDICAZIONE  
DELLA QUALITA' DELL'ARIA  
MEDIANTE L'USO  
DI LICHENI EPIFITI**

*marzo 2005*

Dott.sa Paola Anderi

Dott. Davide Baldi

Dott. Davide Bortolas

## INDICE

1. Introduzione: i licheni come bioindicatori della qualità dell'aria.....	3
1.1 Cos'è la bioindicazione.....	3
1.2 I licheni come bioindicatori .....	4
2. Inquadramento dell'area di studio .....	7
2.1 Inquadramento geografico .....	7
2.2 Inquadramento climatico .....	9
3. Materiali e metodi .....	11
3.1 La biodiversità lichenica .....	12
4. Risultati.....	14
4.1 Flora lichenica .....	15
4.2 Indice di Biodiversità Lichenica .....	22
4.2.1 Analisi di regressione .....	23
4.2.2 Elaborazione cartografica .....	24
4.2.3 Analisi comparata con studi pregressi.....	24
5. Considerazioni conclusive .....	26
Bibliografia.....	27

## ALLEGATI

Allegato 1: Elenco delle stazioni di rilevamento

Allegato 2: Schede descrittive delle stazioni di rilevamento Zona Nord

Allegato 3: Schede descrittive delle stazioni di rilevamento Zona Sud

Allegato 4: Carta della Biodiversità Lichenica Zona Nord

Allegato 5: Carta della Biodiversità Lichenica Zona Sud

## **1. Introduzione: i licheni come bioindicatori della qualità dell'aria**

Il presente studio riguarda la bioindicazione della qualità dell'aria dei comuni coinvolti nel processo di Agenda 21 Locale dei Laghi, mediante il rilevamento dei licheni sulle cortecce degli alberi (licheni epifiti) e l'applicazione dell'Indice di Biodiversità Lichenica (I.B.L.).

Il metodo dell'I.B.L., proposto dall'Agenzia Nazionale per la Protezione dell'Ambiente (ANPA, 2001), consente di trarre indicazioni indirette circa la qualità dell'aria e si propone come complementare al metodo di rilevazione chimico-fisica, ordinariamente condotto con centraline di rilevamento automatiche.

I principali vantaggi dell'I.B.L. sono i bassi costi di realizzazione, la possibilità di valutare la qualità dell'aria su vaste aree e la capacità di registrare tutte le diverse forme di inquinamento atmosferico, anche su tempi lunghi. Inoltre è possibile realizzare cartografie di sintesi, in cui i dati ottenuti vengono visualizzati, e resi facilmente leggibili, tramite colori corrispondenti a fasce di qualità differenti.

La bioindicazione con l'I.B.L. appare dunque uno strumento particolarmente adatto alla fase del processo di Agenda 21 che comprende le indagini conoscitive della situazione ambientale del territorio.

### **1.1 *Cos'è la bioindicazione***

Il termine bioindicazione indica le tecniche di analisi indiretta dello stato di alcuni parametri ambientali, sulla base degli effetti da essi indotti su organismi sensibili. Vengono cioè sfruttate le variazioni indotte dall'inquinamento sugli organismi utilizzati come bioindicatori.

Le tecniche di bioindicazione prendono in considerazione le modificazioni morfo-strutturali sugli organismi e le variazioni della composizione faunistica e/o floristica di un dato ambiente (Nimis, 1999).

Il monitoraggio ambientale tramite bioindicatori possiede quindi degli evidenti vantaggi rispetto a quello, di tipo diretto, effettuato tramite centraline :

- manifesta gli effetti sinergici che più sostanze possono indurre su un organismo vivente;
- riflette la situazione generale relativa a lunghi periodi di esposizione alle sostanze inquinanti in modo quindi più fedele di quello derivante da poche misure dirette di tipo puntiforme nel tempo;
- consente di riconoscere un fenomeno e di seguirlo in aree molto vaste rispetto ad un singolo sito di rilevamento strumentale e con costi relativamente bassi.

Questo tipo di indagine, di contro, non permette di poter definire con precisione l'agente inquinante, ed è inadeguato per i casi acuti di inquinamento, dati i tempi di risposta relativamente lenti di molti organismi.

## **1.2 I licheni come bioindicatori**

I licheni sono organismi risultanti dalla simbiosi tra un'alga e un fungo che formano talli cosmopoliti sulle superfici rocciose, sulla corteccia degli alberi e sul terreno.

I licheni non costituiscono entità sistematiche nel senso classico, tuttavia mostrano una grande costanza di struttura, sia a livello morfologico che anatomico, ogni volta che risultano dalla convivenza di una determinata alga con un determinato fungo. Per questo motivo, oltre che per una ormai radicata tradizione, essi vengono ancora considerati come un gruppo vegetale a sé stante.

I licheni, quelli epifiti in particolare, sono in grado di fornire ottime indicazioni sulla qualità dell'aria. Essi presentano infatti tutte le caratteristiche che fanno di un organismo vivente un buon bioindicatore (Nimis e Castello 1990; ANPA, 2001):

- accertata sensibilità agli agenti inquinanti;
- assenza di strutture di protezione rispetto all'ambiente esterno. I licheni sono sprovvisti infatti di apparato radicale e per il loro metabolismo

dipendono in gran parte dalle deposizioni secche e umide dell'atmosfera. Mancando di strutture di protezione, tale scambio avviene su tutta la superficie del tallo, di giorno e di notte e con un assorbimento non selettivo: insieme agli elementi nutritivi, il lichene accumula anche i contaminanti atmosferici persistenti e presenti in basse concentrazioni, che normalmente non riescono ad essere rilevati con metodi strumentali;

- resistenza agli stress ambientali. In condizioni di stress idrico i licheni rallentano progressivamente le loro attività metaboliche, pur rimanendo vitali. Questo induce di conseguenza un aumento della loro resistenza agli inquinanti;
- differenti gradi di tolleranza rispetto alle sostanze inquinanti da parte delle diverse specie di licheni. Ciò ha permesso l'elaborazione di "scale di tolleranza" delle specie licheniche nei confronti dell'anidride solforosa, scale che permettono di stimare il grado di inquinamento a partire dalla flora lichenica;
- impossibilità di liberarsi delle parti vecchie o intossicate. I licheni non posseggono meccanismi attivi di escrezione od abscissione, che consentano loro di liberarsi delle sostanze accumulate;
- lento accrescimento e grande longevità. Questa proprietà permette di seguire l'evoluzione dell'inquinamento anche per tempi lunghi;
- Incapacità di movimento e ampia distribuzione sul territorio e durante tutto il corso dell'anno. I licheni resistono a temperature molto basse e sono attivi anche nel periodo invernale, quando il grado di inquinamento atmosferico è maggiore;

I licheni reagiscono inoltre con risposte ben precise nei confronti dell'inquinamento atmosferico:

- riduzione dell'attività di fotosintesi e respirazione ed alterazione del flusso di nutrienti tra l'alga ed il fungo;
- riduzione della vitalità, riconoscibile come una diminuzione del grado di copertura del substrato, e alterazione della forma e del colore del tallo, che si manifesta con lo scolorimento, con la comparsa di macchie marroni e

zone necrotiche, e col distacco di parti di tallo dal substrato (Nimis e Castello,1990);

- riduzione della fertilità in seguito alla riduzione della larghezza degli apoteci e della loro rarefazione.

Altri tipi di alterazioni (ecologiche) identificabili in seguito ad esposizione ad agenti inquinanti sono:

- diminuzione della copertura delle specie originarie ed alterazione della comunità lichenica.
- rarefazione complessiva delle specie nel tempo;
- riduzione del numero totale di specie nello spazio.

La sensibilità dei licheni all'inquinamento è accertata fin dalla metà del 1800, grazie a indagini che mettevano in evidenza la diminuzione di frequenza e infine la scomparsa dei licheni in aree fortemente industrializzate (Nylander, 1866).

I primi tentativi di definire una metodologia attendibile per correlare la frequenza lichenica con il tasso di inquinamento risalgono alla metà del '900 (De Sloover, 1964). Da allora sono stati elaborati numerosi metodi differenti, ognuno dei quali sviluppato per casi particolari, spesso con valenza esclusivamente locale.

Alla fine degli anni ottanta un'equipe di ricercatori svizzeri ha effettuato un'indagine per saggiare la validità di 20 diversi indici per il calcolo dell'IAP (Index of Air Purity), sulla base di dati concernenti i licheni, e di dati sulle concentrazioni in atmosfera di zolfo, nitrati, cloro, piombo, rame, zinco, cadmio e polveri (Amman et al., 1988). Il metodo più attendibile, con un grado di predittività superiore al 97%, era anche quello di maggiore semplicità, definito dalla frequenza numerica delle specie licheniche presenti all'interno di un apposito reticolo, senza la necessità di alcuna assunzione riguardo la sensibilità delle singole specie.

Questo metodo si è rapidamente diffuso in tutta Europa. Le centinaia di studi condotti hanno consentito la standardizzazione del metodo, sia in Germania (Wirth, 1995), sia in Italia (Nimis, 1999). L'Agenzia Nazionale per la Protezione dell'Ambiente ha pubblicato un manuale (ANPA, 2001) che raccoglie sia le esperienze tedesche sia quelle italiane, sulla base anche del confronto in atto per elaborare uno standard europeo (Asta et al., 2001).

## 2. Inquadramento dell'area di studio

### 2.1 Inquadramento geografico

L'area di studio comprende i territori dei nove comuni inizialmente aderenti ad Agenda 21 Laghi: Angera, Biandronno, Bregano, Monvalle, Sesto Calende, Taino, Travedona Monate, Varano Borghi e Vergiate.

Il territorio interessato ricade nei seguenti fogli della Carta Tecnica Regionale lombarda (scala 1:10.000): A4A5; A4B4; A4B5; A4C4; A4C5; A5A1; A5B1; A5B2; A5C1; A5C2.

La superficie totale della zona in esame è pari a 98 Km<sup>2</sup> per una popolazione di oltre 38.000 persone (tabella 2.1).

COMUNI	ABITANTI (anno 2000)	SUPERFICIE (Km <sup>2</sup> )
Angera	5.487	17,6
Biandronno	3.133	8,3
Bregano	707	2,3
Monvalle	1.756	4,1
Sesto Calende	9.793	23,9
Taino	3.147	7,8
Travedona Monate	3.390	9,1
Varano Borghi	2.215	3,3
Vergiate	8.507	21,6
<b>Totale</b>	<b>38.135</b>	<b>98,0</b>

Tabella 2.1: Abitanti e superficie dell'area di studio suddivisi per territorio comunale. Fonte: Dati censimenti e rilevazioni annuali ISTAT.

La zona si colloca tra il lago di Varese, a Nord-Est, e il lago Maggiore, ad Ovest. I limiti meridionali sono segnati dai confini comunali di Sesto Calende e Vergiate, quelli settentrionali dal comune di Monvalle.

Dalla figura 2.1 appare evidente come il territorio in esame sia spezzato in tre aree: un blocco principale a Sud, da cui si separa, più a Nord, un blocco di tre

comuni tra loro limitrofi (Biandronno, Bregano, Travedona Monate) e, isolato ancora più a settentrione, il comune di Monvalle.

Il territorio appare comunque sostanzialmente omogeneo, caratterizzato da una diffusa presenza di laghi e corsi d'acqua: di particolare rilievo i laghi Maggiore, di Varese, di Monate, di Comabbio e di Biandronno. La superficie di tali specchi d'acqua che rientra nei confini dell'area di studio è pari a circa 13 km<sup>2</sup>.

Oltre a due linee Ferroviarie (la Novara- Sesto Calende-Luino e la Milano-Gallarate-Luino-Bellinzona), l'area è interessata da un reticolo di infrastrutture viarie piuttosto fitto e molto frequentato. Due sono le Strade Statali: la S.S. n.33 del Sempione e la S.S. n.629 Sesto Calende-Laveno. Le Strade Provinciali sono 11: la S.P. n.4, la S.P. n.17, la S.P. n.18, la S.P. n.27, la S.P. n.32, la S.P. n.33, la S.P. n.36, la S.P. n.44, la S.P. n.49, la S.P. n.53 e, di particolare rilievo sia per dimensioni che per carico di traffico, la S.P. n.54 (superstrada Vergiate-Besozzo). A sud del territorio in esame è inoltre presente il tratto autostradale di raccordo tra l'A8 Milano-Laghi e l'A26 Genova-Gravellona Toce.

L'intenso traffico veicolare lungo tali arterie stradali, sia quello interno sia quello di transito, da e verso Milano da un lato e la Svizzera dall'altro, appare essere una delle principali cause di inquinamento atmosferico nell'area in esame.

Sotto questo aspetto è senza dubbio rilevante anche la presenza di numerose piccole e medie industrie diffuse su tutto il territorio, oltre ad alcuni insediamenti industriali di maggiori dimensioni. Significativa è inoltre la presenza di due degli elementi citati dal recente Rapporto sullo stato dell'ambiente in Provincia di Varese (ARPA Lombardia, 2003) quali "criticità" del territorio provinciale: il cementificio Holcim di Ternate e l'aeroporto internazionale di Malpensa, entrambi al di fuori dei confini dell'area di studio ma in posizione tale da poter influire sull'atmosfera in maniera significativa, seppure in modo differente.

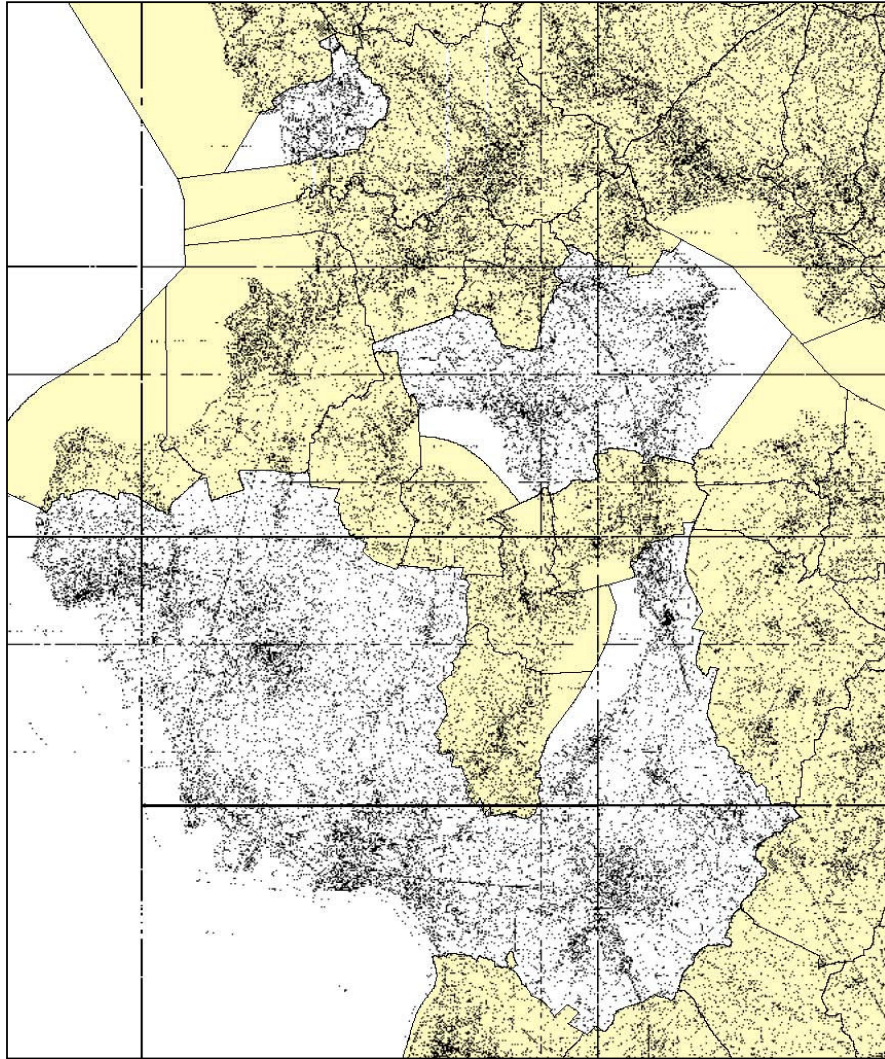


Figura 2.1: carta del territorio in esame. In bianco i comuni interessati, in giallo le aree escluse dallo studio.

## 2.2 *Inquadramento climatico*

Per l'inquadramento climatico dell'area si è fatto riferimento alle stazioni meteorologiche di Brebbia e Varese. I climogrammi di entrambe le stazioni (fig. 1.1) rivelano un clima di tipo "sublitoraneo", caratterizzato da una totale assenza di periodo estivo arido o subarido, e da piovosità relativamente elevata (oltre i 1000 mm annui), con due massimi di precipitazioni equinoziali (primavera e

autunno) e due minimi: uno estivo e uno assoluto invernale. (BELLONI, 1975; OTTONE E ROSSETTI, 1980).

Sia pur con lievi discordanze, entrambi i grafici sono rappresentativi del clima insubrico, fortemente influenzato dall'azione mitigatrice dei laghi prealpini, con precipitazioni abbondanti e ben distribuite nell'arco dell'anno, escursione termica annua limitata e inverni miti.

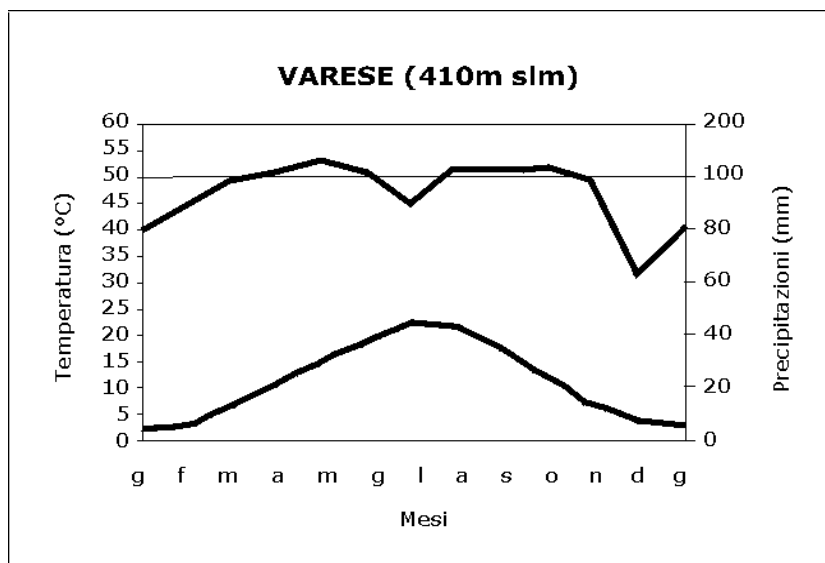
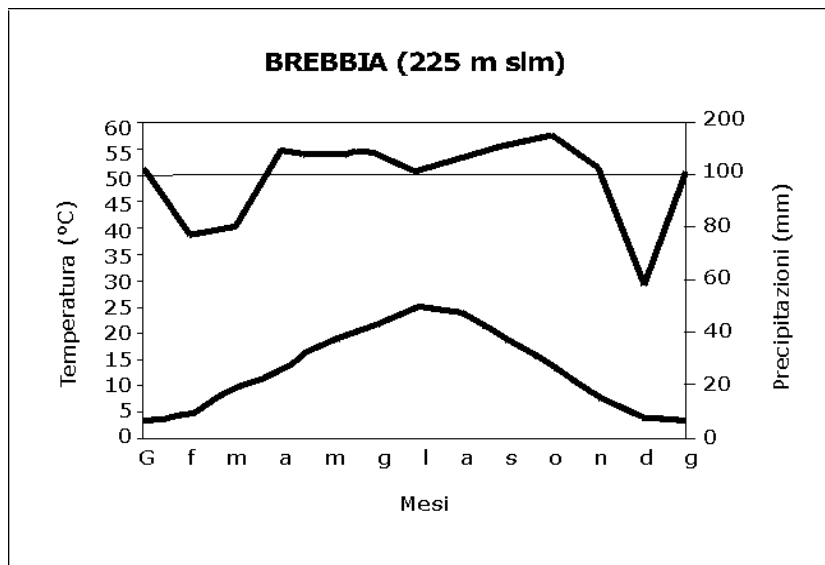


Figura 2.2: Climogrammi di Varese e Brebbia (da RAIMONDI ET AL., 1999 - modificati)

### 3. Materiali e metodi

Per l'indagine è stato utilizzato il metodo proposto dal manuale ANPA (2001) "I.B.L. Indice di Biodiversità Lichenica". Tale metodologia si basa sulle linee guida elaborate in Germania (Wirth, 1995) e in Italia (Nimis, 1999), le quali utilizzano la frequenza delle specie licheniche epifite per calcolare i valori di Biodiversità Lichenica.

Nell'area di indagine si è costruito, utilizzando come base la Cartografia Tecnica Regionale in scala 1:10.000, un reticolo con maglie di lato 1 Km.

I quadrati così delimitati erano indicativi per la scelta del posizionamento delle stazioni di biomonitoraggio a partire dal centro di ogni quadrante.

I campionamenti sono stati condotti su alberi di quercia (*Quercus* spp.) e tiglio (*Tilia* spp.). La scelta di queste specie arboree è dovuta alla loro frequenza nell'area di studio e alle caratteristiche chimico-fisiche della loro scorza.

Le piante sono state individuate in base alle seguenti caratteristiche standard:

- circonferenza minima di 60 cm per evitare situazioni con flora lichenica pioniera;
- inclinazione del tronco non superiore ai 10°, per evitare effetti dovuti all'eccessiva eutrofizzazione di superfici molto inclinate;
- assenza di fenomeni evidenti di disturbo quali, ad esempio, verniciature, puntine o gravi malattie della pianta.

Le stazioni scelte sono state 104 (allegato 1): in ciascuna sono stati rilevati in media 3 alberi per un totale di 315 campionamenti (cfr. pag. 13).

Per ognuno di essi è stato utilizzato un reticolo costituito da quattro subunità, ciascuna formata da una serie lineare di cinque quadrati di 10x10 cm, che devono essere disposte verticalmente sul tronco (figura 3.1). La parte inferiore di ciascuna unità viene disposta ad un metro dalla superficie del suolo.

Il posizionamento della griglia, e il rilievo, si ripete per quattro volte, in corrispondenza dei quattro punti cardinali. Una rotazione di 20° in senso orario è ammessa per evitare parti del tronco non idonee ad essere campionate. Nel

posizionare i quattro elementi della griglia sono state evitate, anche se con elevata copertura lichenica:

- parti del tronco danneggiate o decorticate;
- parti con presenza di evidenti nodosità;
- parti corrispondenti alle fasce di scolo con periodico scorrimento di acqua piovana;
- parti con copertura di briofite superiore al 25%.

Si sono, inoltre, evitati l'asporto e il danneggiamento dei licheni entro l'area del reticolo, per permettere un'eventuale ripetizione dello studio. Se necessario per il riconoscimento della specie, è stato prelevato un piccolo campione al di fuori del reticolo.

Per ciascun rilievo sono state riportate:

- data;
- località;
- altitudine sopra il livello del mare;
- esposizione ed esatta localizzazione dell'albero, utilizzando un sistema satellitare (G.P.S.);
- circonferenza dell'albero;
- altezza del reticolo dal suolo;
- specie licheniche rilevate e relativa frequenza, intesa come presenza nei quadrati del reticolo;
- eventuali note.

### **3.1 *La biodiversità lichenica***

Il valore di biodiversità lichenica della stazione di campionamento è stimato statisticamente sulla base dei valori rilevati nella stazione stessa.

Inizialmente vengono sommate le frequenze delle specie rilevate su ciascun albero. Poiché è prevedibile una sostanziale differenza di crescita sui diversi lati del tronco, le frequenze vanno tenute separate per ciascun punto cardinale.

Per ciascun albero si ottengono pertanto quattro somme di frequenze (BLjN, BLjE, BLjS, BLjW). In ciascuna stazione vanno effettuate le seguenti operazioni:

- somma, per ciascun rilievo, delle frequenze di tutte le specie (BL del rilievo)
- somma delle BL di tutti i rilievi realizzati nello stesso punto cardinale e divisione per il loro numero (BL del punto cardinale).
- somma delle BL dei 4 punti cardinali (BL della stazione).

Poiché i rilievi sono stati eseguiti su alberi di tiglio e di quercia, è stato necessario sottoporre il numero di specie licheniche e i valori di BLs ad analisi di regressione per verificare la possibilità di confrontare i dati raccolti su specie arboree diverse (cfr. § 4.2.1).

## 4. Risultati

Il territorio è stato suddiviso secondo una maglia di 1 km<sup>2</sup>, ottenendo 109 quadrati chilometrici. In 104 di essi sono stati effettuati rilievi della biodiversità lichenica epifita. Cinque quadrati sono risultati non rilevabili in quanto non è stato possibile rinvenire alberature adeguate.

In ciascuna delle 104 stazioni relative ai quadrati chilometrici rilevati (allegato 1) sono stati analizzati tre alberi, per un totale di 315<sup>(1)</sup> piante: 280 querce (*Quercus* spp.) e 35 tigli (*Tilia* spp.). Su ogni albero la rilevazione è stata ripetuta 4 volte, una per ciascun punto cardinale. Il totale delle rilevazioni effettuate ammonta pertanto a  $315 \times 4 = 1260$ .

Per ciascuna stazione è stata realizzata una scheda descrittiva (allegato 2).

---

<sup>1</sup> In un quadrato chilometrico sono state individuate due stazioni (n° 95a e 95b). Per tal quadrato sono pertanto stati rilevati due valori di BL: uno su querce e uno su tigli.

#### 4.1 *Flora lichenica*

La flora lichenica rilevata è costituita da 24 *taxa*, elencati di seguito. A causa della scarsità di materiale lichenico utile all'identificazione, in alcuni casi non è stato possibile raggiungere il livello di specie, pertanto è stato determinato solo il genere.

1. *Arthopyrenia analepta* (Ach.) A.Massal.
2. *Candelaria concolor* (Dicks.) Stein
3. *Candelariella xanthostigma* (Ach.) Lettau
4. *Cladonia fimbriata* (L.) Fr.
5. *Cladonia s.p.*
6. *Flavoparmelia caperata* (L.) Hale
7. *Hyperphyscia adglutinata* (Flörke) H. Mayrhofer & Poelt
8. *Hypogymnia physodes* (L.) Nyl.
9. *Lecanora chlarotera* Nyl.
10. *Melanelia exasperatula* (Nyl.) Essl.
11. *Opegrapha atra* Pers.
12. *Parmelia s.p.*
13. *Parmelia sulcata* Taylor
14. *Parmelina tiliacea* (Hoffm.) Hale
15. *Phaeophyscia chloantha* (Ach.) Moberg
16. *Phaeophyscia orbicularis* (Neck.) Moberg
17. *Phaeophyscia s.p.*
18. *Physcia adscendens* (Fr.) H. Olivier
19. *Physcia dubia* (Hoffm.) Lettau
20. *Physcia s.p.*
21. *Physcia tenella* (Scop.) DC.
22. *Pleurosticta acetabulum* (Neck.) Elix & Lumbsch
23. *Punctelia subrudecta* (Nyl.) Krog
24. *Xanthoria parietina* (L.) Th. Fr.

Per le specie di maggiore diffusione è stata calcolata la frequenza, sia sul totale delle stazioni (figura 4.1) sia sul numero complessivo di rilievi (figura 4.2). Da entrambi i grafici così ottenuti risulta evidente che la specie più frequente è stata *Candelariella xanthostigma*, osservata in 71 stazioni (pari al 22,76% del totale) e in 427 rilievi (pari al 31,77% del totale).

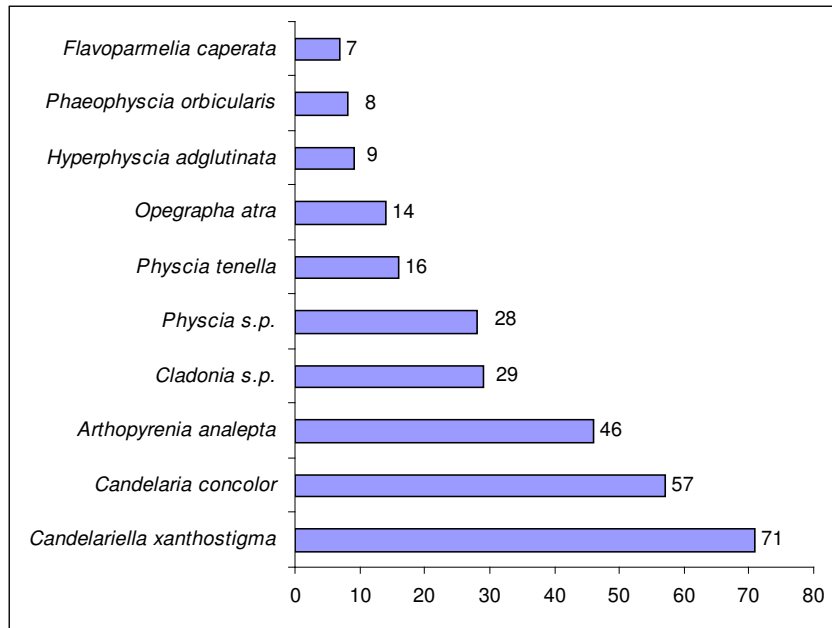


Figura 4.1: frequenza delle specie licheniche riferita al numero complessivo di stazioni.

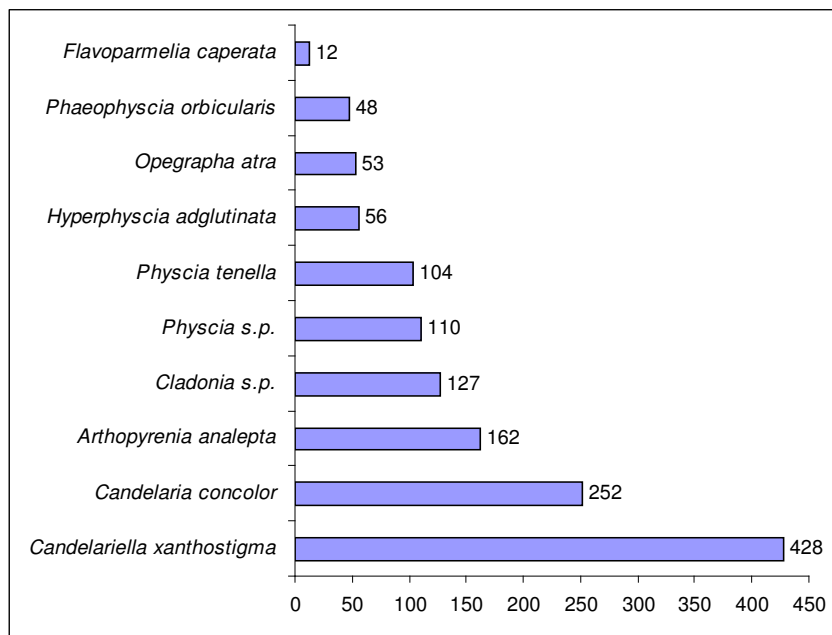


Figura 4.2: frequenza delle specie licheniche riferita al numero complessivo di rilievi.

L'istogramma riportato in figura 4.3 indica, in valori percentuali, l'incidenza delle diverse forme di crescita, cui appartengono le specie osservate durante i campionamenti, sul totale dei rilievi effettuati.

Si nota la netta prevalenza dei talli foliosi (75%) suddivisi in forme foliose con lobi stretti (41.7%) e forme foliose con lobi larghi (33.3%).

Una buona percentuale è rappresentata dalle forme crostose (16.7%), che presentano minore superficie di scambio con l'atmosfera e quindi risultano favorite in ambienti con cattiva qualità dell'aria.

Le meno rappresentate sono le forme fruticose (8.3%), che prediligono ambienti con una discreta quantità di umidità atmosferica e sono particolarmente esposte all'azione delle sostanze contaminanti trattenute nel vapore acqueo (Nimis, 1988).

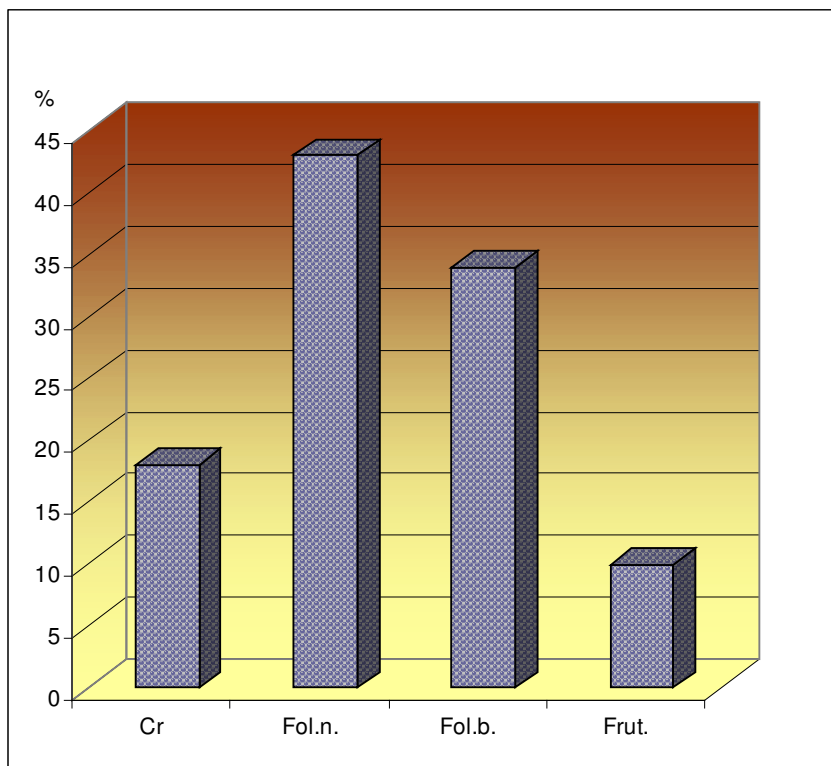


Figura 4.3: Incidenza percentuale delle diverse forme di crescita dei licheni.

Il grafico di figura 4.4 descrive come le specie, osservate durante l'esecuzione dei rilievi, sono distribuite nelle zone latitudinali d'Europa: appartengono soprattutto all'elemento temperato e presentano una prevalente gravitazione centromeridionale.

La florula lichenica presenta caratteristiche fitogeografiche che concordano con il clima del territorio studiato.

Nell'ambito della distribuzione dei taxa è possibile individuare alcuni gruppi:

*Candelariella xanthostigma*, *Cladonia fimbriata*, *Hypogymnia physodes*, *Parmelia sulcata*, *Phycia tenella*

il cui areale si estende dalla zona mediterranea fino a quella artica;

*Phycia dubia*

che si sviluppa dalla zona submediterranea fino a quella artica;

*Lecanora chlorotera*, *Melanelia exasperatula*, *Phaeophyscia orbicularis*, *Phycia adscendens*, *Xanthoria parietina*

presenti dall'Europa mediterranea fino a quella boreale;

*Candelaria concolor*, *Opegrapha atra*, *Parmelina tiliacea*, *Pleurosticta acetabulum*

reperibili dalla zona mediterranea a quella sud boreale;

*Arthopyrenia analepta*

che è presente dalla zona submediterranea a quella boreale;

*Flavoparmelia caperata*, *Hyperphyscia adglutinata*, *Punctelia subrudecta*

il cui areale si estende dalla zona mediterranea a quella centro europea;

*Phaeophyscia chloantha*

che si sviluppa dalla zona mediterranea a quella sud medioeuropea.

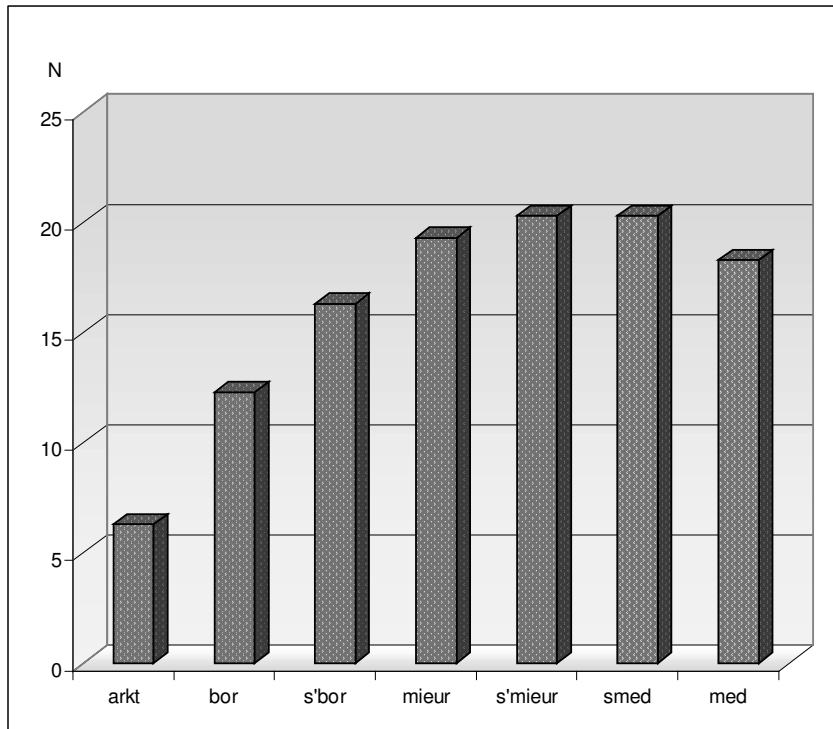


Figura 4.4: ampiezza corologica dei taxa.

## **4.2 Indici Ecologici**

I dati ottenuti mediante i rilievi floristici sono stati elaborati utilizzando gli Indici Ecologici di Wirth (1980) che consentono di valutare l'influenza sulla distribuzione delle specie licheniche di alcuni fattori come l'acidità del substrato, la deposizione di sostanze azotate, il grado di umidità e la luminosità.

Le condizioni ecologiche di ogni stazione sono state individuate calcolando i valori degli indici ecologici per ognuna di esse.

### **pH**

In base a questo indice si riconoscono:

26 stazioni con comunità molto acidofitiche (27.4%)

40 stazioni con comunità piuttosto acidofitiche (42.1%)

28 stazioni con comunità subneutrofite (29.5%)

1 stazione con comunità piuttosto basifitiche (1%)

### **L (luminosità)**

Per quanto concerne il livello di fotofitismo si osservano:

24 stazioni con comunità molto sciofitiche (25.3%)

12 stazioni con comunità moderatamente sciofitiche (12.6%)

21 stazioni con comunità moderatamente fotofitiche (22.1%)

38 stazioni con comunità piuttosto fotofitiche (40%)

### **H (umidità)**

Per quanto riguarda l'igrofitismo si individuano:

25 stazioni con comunità igrofitiche (26.3%)

25 stazioni con comunità piuttosto igrofitiche (26.3%)

44 stazioni con comunità mesofitiche (46.3%)

1 stazione con comunità xerofitiche (1.1%)

### **N (sostanze azotate)**

In relazione al grado di nitrofitismo si distinguono:

- 36 stazioni con comunità anitrofittiche (37.9%)
- 34 stazioni con comunità moderatamente nitrofittiche (35.8%)
- 20 stazioni con comunità piuttosto nitrofittiche (21%)
- 5 stazioni con comunità molto nitrofittiche (5.3%)

In sintesi si può quindi affermare che le condizioni ecologiche prevalenti nelle stazioni considerate sono: pH piuttosto acido, fotofitismo accentuato, igrofitismo moderato e una condizione di nitrofitismo che va dall'anitrofitismo ad una eutrofizzazione molto debole.

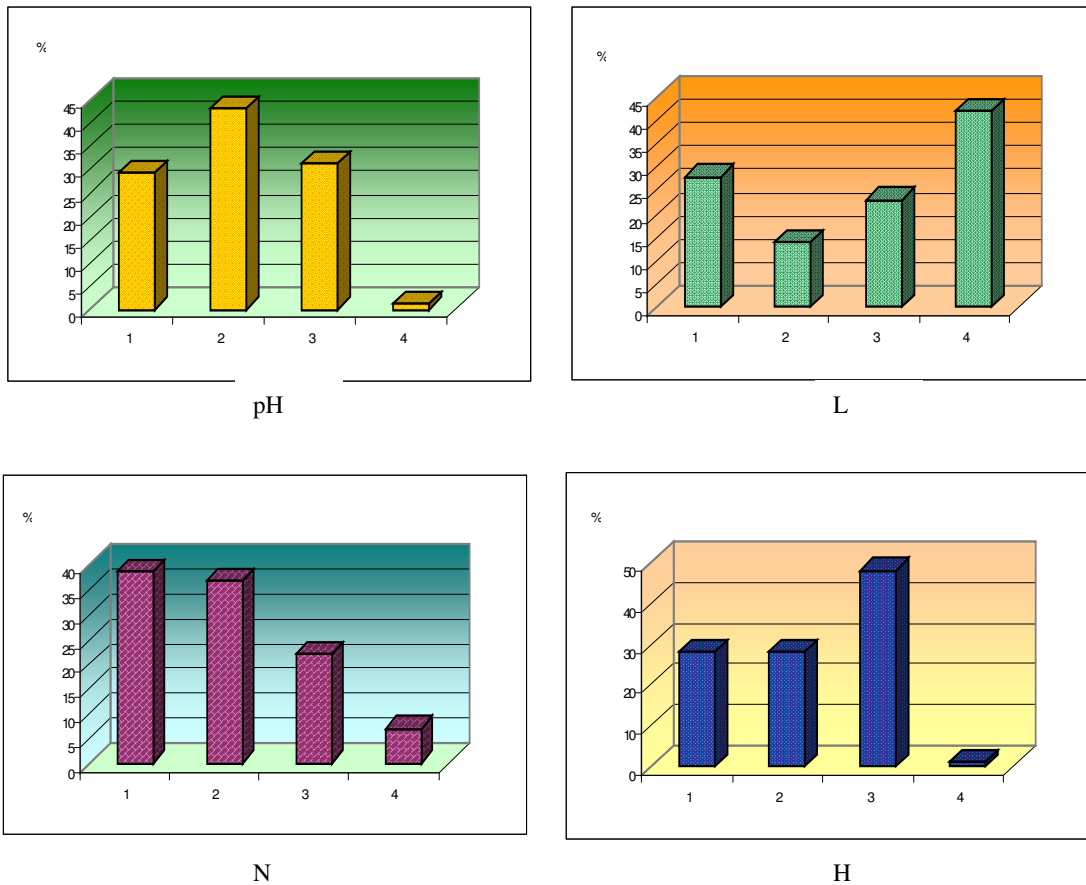


Figura 4.5: grafici relativi agli indici ecologici delle stazioni.

### 4.3 *Indice di Biodiversità Lichenica*

I dati di ciascun rilievo e i rispettivi valori di Biodiversità Lichenica sono riportati nelle schede relative alle singole stazioni di rilevamento (allegato 2).

La media dei valori di BL, calcolata sul totale dei 315 rilievi, è pari a 4,47, corrispondenti a un alto grado di alterazione della comunità lichenica (cfr. § 4.3.2).

Se si distinguono i rilievi in base alla loro esposizione, risulta che i quadranti Nord, Est e Ovest mostrano una Biodiversità Lichenica simile, attestata su valori pari a circa 4,5 (figura 4.3). I rilievi dei quadranti meridionali, invece, raggiungono in media valori leggermente inferiori (circa 4,4).

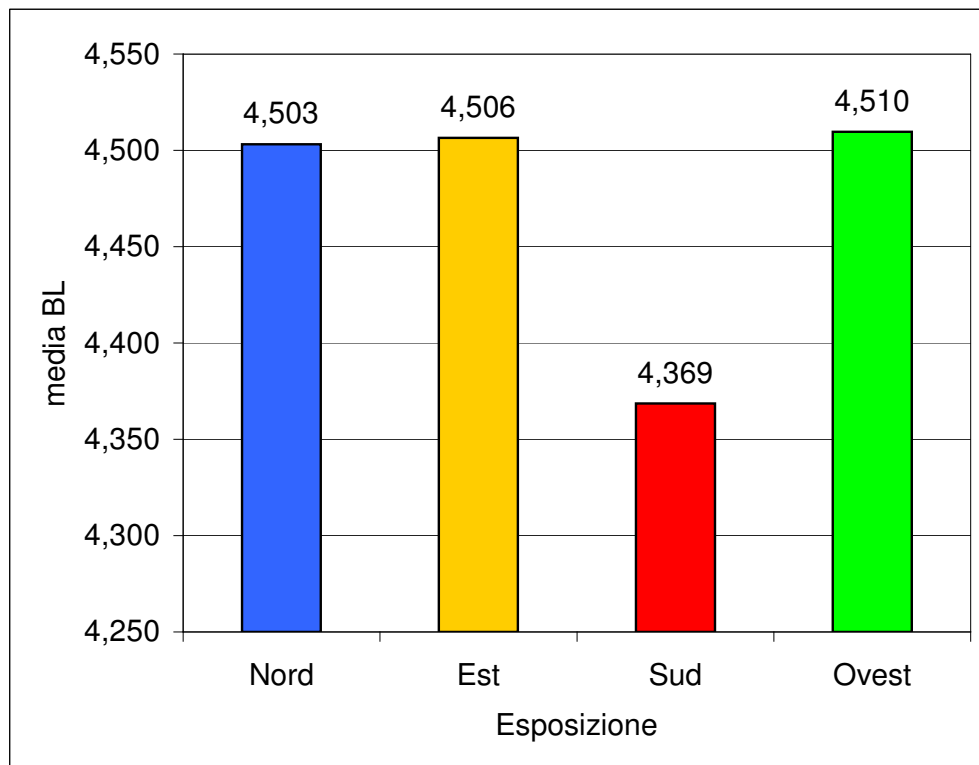


Figura 4.3: valori medi di BL calcolati sul totale dei rilievi e distinti per esposizione.

#### 4.2.1 Analisi di regressione

Dal momento che è stato necessario eseguire rilievi su alberi di due generi diversi (*Quercus* e *Tilia*), si è dovuto verificare la confrontabilità dei dati raccolti, tramite analisi di regressione dei valori di BL sul numero di specie licheniche (FOWLER E COHEN, 1993): pur avendo caratteristiche simili infatti i due tipi di piante hanno cortecce con differente grado di acidità (mediamente pH 4,5 per le querce e pH 5,6 per i tigli) e diversa rugosità (maggiore nelle querce).

L'analisi, come risulta dal grafico di dispersione di figura 4.4, ha evidenziato una relazione di tipo lineare fra numero di specie epifite e i valori di Biodiversità Lichenica delle stazioni. Le due rette non sono sovrapponibili; inoltre, dal confronto tra il numero di specie rilevate su quercia e tiglio, risulta che i tigli presentano in media 0,22 specie licheniche in più rispetto alle querce: ne consegue che, a parità di qualità dell'aria, le stazioni con tigli

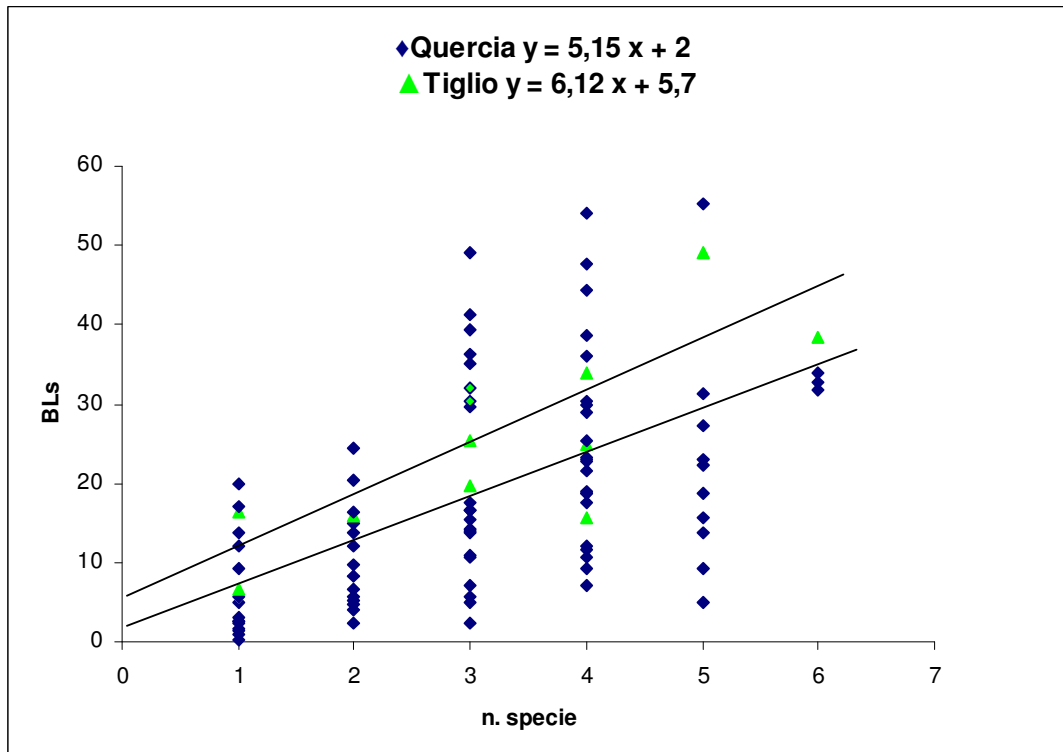


Figura 4.4: correlazione tra numero di specie e valori di BLs su Tiglio e Quercia

### 4.2.2 Elaborazione cartografica

La realizzazione di una cartografia tematica ha lo scopo di consentire una più agevole interpretazione dei dati.

A tal fine i valori di B.L. delle singole stazioni sono stati ricondotti a classi di qualità, a ciascuna delle quali corrisponde un colore che è stato poi riportato sulla cartografia (tabella 4.2).

La cartografia è stata redatta suddividendo l'area di studio secondo la griglia di riferimento i cui quadranti sono stati colorati secondo i valori di B.L. rilevati.

CLASSI	VALORI BL	COLORI
1. naturalità molto alta	> 50	Blu
2. naturalità alta	41 – 50	Verde scuro
3. naturalità media	31 – 40	Verde chiaro
4. naturalità bassa/alterazione bassa	21 – 30	Giallo pallido
5. alterazione media	11 – 20	Arancione
6. alterazione alta	1 – 10	Rosso
7. alterazione molto alta (deserto lichenico)	0	Cremisi

Tabella 4.2: classi di qualità al variare del valore di BL e relativi colori riportati in cartografia.

### 4.2.3 Analisi comparata con studi pregressi

Il territorio in esame è stato interessato da due lavori di bioindicazione tramite licheni epifiti: uno riguardante le province di Novara e Varese (Roella et al., 1995), l'altro relativo al territorio del Parco Regionale del Ticino (Casarini et al., 1995). Entrambi gli studi citati sono stati effettuati con un metodo che, essendo antecedente le linee guida ANPA, si discosta leggermente da quello qui utilizzato. Oltre a ciò vanno rilevate differenze di scala di rilevazione. Nel caso dello studio del Parco del Ticino, inoltre, il territorio rilevato si sovrappone solo in minima parte al territorio oggetto del presente lavoro.

Tali considerazioni rendono i dati difficilmente comparabili.

In linea generale è possibile evidenziare alcune differenze: il numero di specie risulta sensibilmente inferiore rispetto agli studi precedenti: 24 specie su circa 100 Km<sup>2</sup> nel caso del presente studio, 90 specie su circa 4800 Km<sup>2</sup> per le province di Varese e Novara, 50 specie su un circa 91 Km<sup>2</sup> per il Parco del Ticino.

È inoltre possibile comparare i valori medi di I.A.P. (Indice di Purezza Atmosferica) rilevati dai precedenti studi con i valori di BL del presente lavoro. Considerando solo i territori comunali in cui gli studi si sovrappongono risulta che il valore medio di I.A.P. rilevato dallo studio sulla Provincia è pari a 8,67, mentre quello rilevato dallo studio del Parco del Ticino (comuni di Vergiate e Sesto Calende) è pari a 10,30, a fronte di un valore di BL medio pari a 4,47 rilevato nel presente studio.

Da tali considerazioni di massima, pur tenendo presente le differenze di metodo sopra citate, si dovrebbe evincere un sensibile peggioramento delle condizioni di biodiversità lichenica.

## 5. Considerazioni conclusive

Dai risultati illustrati si possono trarre le seguenti conclusioni:

- la flora lichenica rilevata appare costituita da un numero piuttosto limitato di specie.
- I valori medi di BL sono inferiori a 5 e indicano elevati livelli di alterazione. La qualità dell'aria appare pertanto mediamente bassa e il confronto con gli studi pregressi indica un sensibile peggioramento della situazione.
- Le condizioni ecologiche prevalenti rivelano una scarsa eutrofizzazione, condizione che indica che l'attività agricola non influenza in maniera significativa la qualità dell'aria. Per contro si rileva un'elevata acidità, probabilmente imputabile all'elevato impatto di traffico veicolare e attività industriali.
- L'area di studio presenta due zone particolarmente critiche: la zona meridionale, in corrispondenza del comune di Vergiate e Sesto Calende, e una fascia a Ovest che va da Osmate al Lago Maggiore e comprende i comuni di Taino e Angera. Nel resto del territorio, nonostante l'aria sia mediamente di qualità molto bassa, si possono individuare zone di limitata estensione con qualità accettabile.

La zona di bassa qualità a Sud appare correlata alla presenza di strade ad elevato traffico veicolare (nello specifico Autostrada e S.S. 33 del Sempione) e alla vicinanza con l'Aeroporto della Malpensa.

La zona a Ovest è di più difficile interpretazione, soprattutto in considerazione della mancanza di rilevazioni nelle aree limitrofe, esterne i confini del presente lavoro.

Appare necessario completare il quadro con le aree non rilevate, in particolar modo la zona centrale e un'ampia area a Nord-Ovest, per ottenere ulteriori e più precise indicazioni.

## Bibliografia

- AMMAN K., HERZIG R., LIEBENDORFER L. E URECH M., 1987 – ***Multivariate correlation of deposition data of 8 different air pollutants to lichen data in a small town in Switzerland.*** In: *Advances of Aerobiology*, Birkhäuser, Basel, 401-406.
- ANPA, 2001 - ***I.B.L. Indice di Biodiversità Lichenica. Manuali e Linee Guida 2/2001.*** ANPA, Dipartimento Stato dell’Ambiente, Controlli e Sistemi Informativi, Roma
- ARPA LOMBARDIA, 2003 – ***Rapporto sullo stato dell’ambiente in Provincia di Varese.*** ARPA Lombardia, Milano.
- ASTA J., ERHARDT W., FERRETTI M., FORNASIER F., KIRSCHBAUM U., NIMIS P.L., PURVIS O.W., PIRINSTOS S., SCHEIDEGGER C., VAN HALUWYN C E WIRTH V., 2001 – ***Mapping lichen biodiversity as an indicator of environmental quality.*** In: Nimis P.L., Scheidegger C. e Wolseley P.A. – *Monitoring with lichens – Monitoring Lichens.* Kluwer Academic Publishers, The Netherlands, 273-279.
- BELLONI S., 1975 - ***Il clima delle province di Como e Varese in relazione allo studio dei dissesti idrogeologici.*** CNR, Fond. Probl. Mont. Arco Alpino, n. 99.
- CASARINI P., FURLANETTO D., GENONI P., GUIDETTI L., ROELLA V., 2000 - ***Monitoraggio della qualità dell’aria mediante licheni nella Valle del Ticino.*** Nodo, Como, 101 pp.
- CASARINI P., FURLANETTO D., GENONI P., ROELLA V., BARBAREWICZ C., BRUSA G., DELUCCHI C., PARCO V., 2000 - ***Monitoraggio della biodiversità lichenica nel***

- Parco del Ticino: confronto con i dati pregressi.** In: Adamo P. e Aprile G., *Riassunti del Convegno annuale della Società Lichenologica Italiana La lichenologia in Italia Bilancio di fine secolo* (Napoli, 22-24 ottobre 1999). Notiziario della Società Lichenologica Italiana 13: 35-36.
- CASARINI P., FURLANETTO D., GENONI P., GUIDETTI L., ROELLA V., 2001 - **Monitoraggio della qualità dell'aria mediante licheni nella valle del Ticino. Riassunti del Convegno annuale della Società Lichenologica Italiana (Magenta, 10-12 Novembre 2000).** Notiziario della Società Lichenologica Italiana, 14: 53-54.
  - CASARINI P., GENONI P. E ROELLA V., 1995 – **La qualità dell'aria nel Parco Regionale Lombardo della Valle del Ticino. Monitoraggio mediante licheni.** Parco Ticino. Regione Lombardia.
  - CLAUZADE G., ROUX C., 1985. **Likenoj de Okcidenta Europo. Ilustrita Determinlibor.** Boll. Soc. Bot. Centre-Ouest, n.s., num.spec.: 7-1985, 893 pagg.
  - FOWLER J., COHEN L., 1993 – **Statistica per ornitologi e naturalisti.** F. Muzzio Editore, Padova.
  - GUIDETTI L., STEFANETTI M., 1996. **Biomonitoraggio della deposizione atmosferica di elementi in tracce tramite il lichene *Parmelia caperata* nell'area circostante il lago d'Orta.** Acqua Aria,5:489-497
  - MASSARA M. E SCARSELLI S., 1997 – **Licheni e inquinamento atmosferico.** Regione Piemonte.
  - NASCIBENE J., CANIGLIA G., 2003. **Licheni del Parco Naturale Paneveggio Pale di San Martino.** 97 pagg.

- NIMIS P.L., 1987 – ***I macrolicheni d'Italia. Chiavi analitiche per la determinazione.*** Gortania, 8: 101-220.
  
- NIMIS P.L., 1988 – ***I licheni dei boschi di conifere delle Alpi.*** Convengo Val Malenco Natura, 2: 43-51.
  
- NIMIS P.L., 1999 - ***Linee-guida per la bioindicazione degli effetti dell'inquinamento tramite la biodiversità dei licheni epifiti.*** In: C. Piccini C. e Salvati S. (eds.), Atti del Workshop "*Biomonitoraggio della qualità dell'aria sul territorio nazionale*" (Roma, 26-27 novembre 1998). ANPA., Roma, serie Atti 2: 267-277.
  
- NIMIS P.L., 2000. ***Checklist of the Lichens of Italy 2.0*** University of Trieste, Dept. of Biology, IN2.0/2
  
- NIMIS P.L. E CASTELLO M., 1990 – ***L'uso dei licheni nel biomonitoraggio dell'inquinamento atmosferico.*** Biologia ambientale, 2: 5-25.
  
- NYLANDER, 1866 – ***Addenda novam ad Lichenographiam Europaeam.*** Flora, 49: 369-374.
  
- ORLOCI L., 1978. ***Multivariate analysis in vegetation research.*** 2<sup>nd</sup> edition, Junk, Den Haag.
  
- OZENDA P., CLAUZADE G., 1970. ***Les Lichens. Etude Biologique et Flore Illustree.*** Masson & Cie Editeurs; pag.745-747.
  
- OTTONE C. E ROSSETTI R., 1980 - ***Condizioni termo-pluviometriche della Lombardia.*** Atti Ist. Geol. Univ. Pavia, 29: 27-48.

- 
- PIERVITTORI R., 1998 – ***Licheni. Conoscerli e utilizzarli.*** Minerva, Aosta.
  
  - PICCIN C. E SALVATI S., 1999 – ***Atti del workshop “Biomonitoraggio della qualità dell’aria sul territorio nazionale”*** (Roma, 26-27 novembre 1998). ANPA., Roma, serie Atti 2.
  
  - PIERVITTORI R., VALCUVIA-PASSADORE M., NOLA P., 1990/91. ***Italian Lichenological Bibliography: 1568-1989.*** Allionia, 30: 99-169.
  
  - PIERVITTORI R., VALCUVIA-PASSADORE M., LACCISAGLIA A., 1995. ***Italian Lichenological Bibliography: First update (1989-1994) and addenda.*** Allionia, 33: 153-179.
  
  - RAIMONDI B., BRUSA G. E CERABOLINI B., 1999 - ***Riserva Naturale Orientata “Lago di Biandronno”, studio floristico-vegetazionale.*** Rel. tec. non pubb.
  
  - ROELLA V., GUIDETTI L. E BATTIOLI M.T., 1995 – ***Bioindicazione della qualità dell’aria nelle provincie di Novara e Varese.*** Nicolini Editore, Gavirate (VA).
  
  - VALCUVIA PASSADORE M. G. E MALAVASI C., 2002 - ***Relazioni simbiotiche: dai licheni all’Agenda 21 locale.*** Regione Lombardia.
  
  - ZOCCHI A., PEDUZZI R., 1999 - ***Bioindicazione della qualità dell’aria nel territorio del Canton Ticino (Svizzera) tramite licheni epifiti: confronti transfrontalieri.*** - In Guidetti L., *Workshop Licheni e Ambiente* (Orta San Giulio, 24 ottobre 1997). Notiziario della Società Lichenologica Italiana, 12: 45-60.
  
  - ZOCCHI A., ROELLA V. E CALAMARI D., 1996 – ***Valutazione della qualità dell’aria nel comune di Varese attraverso l’utilizzo di licheni epifiti.*** Ingegneria Ambientale, 25 (3): 78-87.

- WIRTH V., 1980 – ***Flechtenflora***. Eugene Ulmer, Stuttgart.
- WIRTH V., 1995 – ***Ermittlung und Beurteilung phytotoxischer Wirkungen von Immissionen mit Flechten. Flechtenkartierung zur Ermittlung des Luftwertes (LGW)***. VDI-Richtlinien 3799 Blatt I.