



Filippo Bernini
Guido Brusa
Giambattista Rivellini

BIOMONITORAGGIO DELL'INQUINAMENTO ATMOSFERICO MEDIANTE LA BIODIVERSITÀ LICHENICA IN UN'AREA PLANIZIALE FRIULANA: VARIAZIONI SU BREVE SCALA TEMPORALE

BIOMONITORING AIR POLLUTION USING LICHEN BIODIVERSITY
IN A FRIULIAN LOW PLAIN AREA: CHANGES ON SHORT TIME
SCALE

Riassunto breve - Il presente studio, realizzato nell'area planiziale friulana, espone i risultati di due campagne di biomonitoraggio dell'inquinamento dell'aria basato sull'impiego dei licheni come bioindicatori. A distanza di tre anni dal primo biomonitoraggio e in seguito alla messa in funzionamento di un impianto industriale, le differenze riscontrate nella composizione delle comunità licheniche tra le due campagne di monitoraggio non sono state nel complesso significative. Sono tuttavia emerse situazioni di incremento nella Biodiversità Lichenica nelle stazioni con Pioppo, ma non in quelle con Quercia e Tiglio. Le comunità epifite su Pioppo esibiscono un maggior carattere pioniere, presentando un'elevata presenza di specie di *Graphidion*; il valore di Biodiversità Lichenica è inoltre correlato positivamente al diametro del tronco. I risultati sembrano indicare che le variazioni possono essere ricondotte alla naturale evoluzione delle comunità licheniche su Pioppo, piuttosto che a mutamenti riguardanti i livelli di anidride solforosa e degli ossidi di azoto, peraltro entrambi in leggero decremento.

Parole chiave: Inquinamento dell'aria, Bioindicazione, Licheni corticicoli, Comunità epifite, Friuli Venezia Giulia, *Populus x canadensis*.

Abstract - *The study reports the results of two biomonitoring surveys on air pollution using lichens as bioindicators in the Friulian Low Plain. Three years after the first survey and after an industrial plant had started, compositional differences in lichen communities between the two surveys were not generally recognized. However an increase in Lichen Biodiversity was evident in Poplar sites but not in those with Oaks and Lindens. The epiphytic communities on Poplar usually revealed a pioneer character and a higher degree of Graphidion species; in addition, Lichen Biodiversity values were positively correlated to tree diameter. The results seem to indicate that the changes were related to the natural evolution of lichen communities on Poplar rather than to variations in the levels of sulphur dioxide and nitrogen oxides, both of which were slightly decreasing.*

Key words: Air pollution, Bioindication, Corticicolous lichens, Epiphytic community, Friuli Venezia Giulia, *Populus x canadensis*.

Introduzione

La biodiversità dei licheni epifiti ha dimostrato di essere un eccellente indicatore dell'inquinamento prodotto da sostanze gassose fitotossiche, in particolare da anidride solforosa e ossidi di azoto (HAWKSWORTH & ROSE 1970; FERRY et al. 1973; NASH & WIRTH 1988; RICHARDSON 1992; DOBBEN VAN et al. 2001; NIMIS et al. 2002). I licheni rispondono con relativa velocità alla diminuzione della qualità dell'aria e possono ricolonizzare in pochi anni ambienti urbani e industriali qualora si verifichino dei miglioramenti delle condizioni ambientali, come evidenziato in molte parti d'Europa (ROSE & HAWKSWORTH 1981; KANDLER & POELT 1984; SEAWARD & LETROUIT-GALINOU 1991; SEAWARD 1997) e d'Italia (FURLANETTO 2000; LOPPI et al. 2002; ISOCRONO et al. 2007; MUNZI et al. 2007). I

licheni sono inoltre sensibili ad altri tipi di alterazioni ambientali e tra queste l'eutrofizzazione rappresenta uno degli esempi più conosciuti (DOBBEN VAN & DE BAKKER 1996; HERK VAN 1999).

Dal 1987 sono stati realizzati centinaia di studi basati sull'utilizzo dei licheni come bioindicatori, consentendo di compiere un importante passo avanti verso la standardizzazione in Italia di questa metodologia (NIMIS 1999), che ha portato alla definizione di un protocollo di indagine (ANPA 2001) basato su un campionamento sistematico della Biodiversità Lichenica (BL). L'impiego dei licheni come bioindicatori è dunque considerato un valido strumento di biomonitoraggio ambientale della qualità dell'aria. La maggior parte degli studi sono stati tuttavia finalizzati alla valutazione di situazioni ambientalmente già compromesse, mentre sussiste una

scarsa propensione ad utilizzarli come strumento di prevenzione (CONTI & CECCHETTI 2001).

Il presente studio espone i risultati relativi a due campagne di monitoraggio dell'inquinamento dell'aria basati sull'uso dei licheni come bioindicatori. Le indagini sono state svolte in un'area planiziale friulana interessata da diverse attività industriali e in cui era prossima la messa in funzionamento di un nuovo impianto produttivo. Scopo dello studio è stato dunque la verifica nel breve periodo di eventuali cambiamenti nella BL e nella composizione floristica delle comunità di licheni epifiti.

Area di studio

L'area di studio (fig. 1) occupa circa 45 km² ed è centrata sul comune di Torviscosa (provincia di Udine), ad una quota di qualche metro sino a circa 10 m e a pochi chilometri dalle lagune di Marano e Grado. La funzione termoregolatrice del Mare Adriatico è comunque molto limitata, poiché la scarsa profondità delle acque le rende soggette a notevoli variazioni stagionali (bassa capacità termica) e a modeste capacità mitigatrici. Di conseguenza nella pianura friulana le temperature sono abbastanza costanti da est ad ovest, con valori medi intorno ai 13 °C; è infatti raro registrare valori inferiori ai -10 °C d'inverno e superiori ai 35 °C d'estate (ARPA 2001). L'altitudine non sembra incidere in modo rilevante sull'andamento della temperatura media annuale, mentre influenza l'umidità relativa e la distribuzione delle precipitazioni. Il mese meno piovoso è febbraio, con valori che variano tra 70-100 mm di pioggia; i mesi più piovosi sono giugno e novembre, quando si registrano mediamente 100-120

mm di pioggia, mentre i valori medi annui variano all'incirca tra 1.100 e 1.300 mm.

Nell'area di studio, contraddistinta da una morfologia trascurabile, si evidenzia una forte omogeneità nella distribuzione del regime anemologico, con una netta prevalenza dei venti provenienti dai quadranti Nord e Nord Est.

Nell'area di studio sono presenti alcuni nuclei abitati relativamente estesi (S. Giorgio di Nogaro, Cervignano del Friuli e Torviscosa) accanto a frazioni sparse con piccoli insediamenti, cascine e singole abitazioni, casotti ed altre strutture distribuite nelle aree agricole. Lungo le direttive viarie principali si sono sviluppati e tuttora si stanno espandendo diverse attività produttive, principalmente di carattere industriale, definendo in tal modo un processo di conurbazione che tende ad unificare gli insediamenti produttivi e residenziali lungo le direttive stesse. Nel complesso il territorio in esame si identifica ancora come una vasta zona a vocazione agricola con un notevole sviluppo del reticolto idrografico superficiale, costituito da una densa rete drenante di canali irrigui e da due corsi d'acqua importanti, quali i fiumi Corno e Ausa. Le principali colture sono seminativi a rotazione (principalmente mais e soia, in subordine frumento ed erba medica) e colture specializzate, quali pioppiete, vigneti e più rari frutteti. In alcuni casi i confini degli appezzamenti agricoli sono delimitati da siepi o da alberature che costeggiano le carraeche o i canali. All'interno di queste zone agricole sono presenti tessere boscate. Le piante presenti sono specie mesofile e mesoigofile ascrivibili al Querco-Carpineteto, che rappresenta la vegetazione climacica della pianura padano-veneta (BERTOLANI MARCHETTI 1969-1970). L'area di studio è infatti collocabile nel Dominio Centro-Europeo e più precisamente nell'ambito del Distretto Padano (GIACOMINI & FENAROLI 1958) e quindi non rientra nella zona occupata dalla vegetazione potenziale di tipo mediterraneo (PEDROTTI 1996).

La qualità dell'aria nell'area di studio è stata stimata mediante analisi dei dati registrati dalle centraline di monitoraggio gestite dal Dipartimento Provinciale di Udine dell'ARPA Friuli Venezia Giulia. In particolare, sono state considerate le centraline di Torviscosa e di S. Giorgio di Nogaro per il periodo 2004-2007. Complessivamente per gli ossidi di azoto e l'anidride solforosa si è delineata una lieve diminuzione nelle concentrazioni; in antitesi si è riscontrato un aumento di quelle relative al Pm₁₀ e all'ozono. Per quanto concerne gli inquinanti atmosferici del nuovo impianto industriale, entrato in funzionamento nel 2005 e alimentato a gas, si prevedono emissioni prevalenti di ossidi di azoto con massime concentrazioni medie annue comprese tra 0,41-0,59 µg/m³. L'area di studio viene infine segnalata come zona soggetta ad un maggiore rischio-salute a livello regionale, in relazione alla contaminazione ambientale dovuta a metalli come cromo, cadmio, mercurio e nichel (NIMIS et al. 1999).



Fig. 1 - Localizzazione dell'area di studio (asterisco).
- Position of study area (star).

Materiali e metodi

La prima campagna di monitoraggio è stata effettuata nel 2004, mentre la seconda è stata invece completata nel 2007, dopo l'entrata in funzionamento dell'impianto industriale nel 2005.

La scelta degli alberi da campionare è ricaduta sulle seguenti specie:

- Tiglio (*Tilia spp.*): localizzato esclusivamente nelle aree urbane, dove è impiegato nelle alberature stradali e nei parchi; è stato soprattutto rinvenuto nella porzione orientale dell'area di studio;
- Pioppo (*Populus x canadensis*): presente nelle aree agricole, soprattutto in coltivazione e subordinatamente in alberature stradali; è stato rilevato in prevalenza nella parte occidentale dell'area di studio;
- Quercia (*Quercus spp.*): distribuita maggiormente nella parte settentrionale dell'area di studio, in corrispondenza delle zone urbanizzate.

Seguendo le linee guida ANPA (2001), nel 2004 sono state rilevate 60 stazioni (UCP, Unità di Campionamento Primarie), di cui 32 con Pioppo, 22 con Tiglio e le restanti 6 con Quercia. Nel 2007 il monitoraggio ha interessato tutte le stazioni individuate e censite nella prima campagna. Tuttavia, alcune delle stazioni corrispondenti a pioppete e/o a filari di pioppi erano state oggetto di taglio e per tale motivo non è stato possibile ripetere il campionamento in 6 stazioni. Ai fini

delle elaborazioni statistiche (test t di Student per dati appaiati e regressione lineare), sono state considerate unicamente le 54 stazioni campionate in entrambe le campagne di monitoraggio.

I principali gradienti floristici sono stati individuati applicando una tecnica di analisi statistica multivariata (DCA, Detrended Correspondence Analysis) ad una matrice formata da 22 specie x 416 rilievi. Questa matrice è stata ottenuta considerando come rilievo la frequenza delle specie licheniche rilevate in ciascuno dei quattro punti cardinali di un albero. Non sono state analizzate le specie con una frequenza assoluta minore di 10, nonché tutti i licheni non determinati oppure determinati soltanto sino al livello di genere (in totale 17 taxa). Infine, sono stati eliminati i rilievi che a questo punto risultavano privi di specie. L'elenco delle specie analizzate è riportato in tab. I. La DCA è una tecnica di ordinamento, che consente di definire i gradienti floristici elaborati dalla matrice specie x rilievi; nella DCA i valori riferiti ad una specie assumono una distribuzione normale, definendo così l'optimum della specie lungo gli assi rappresentanti indirettamente i gradienti ecologici (JONGMAM et al. 1987). L'interpretazione degli assi della DCA è stata effettuata analizzando statisticamente (coefficiente di Spearman e test ANOVA) la relazione tra gli score dei rilievi e alcuni indici ecologici (pH, luce, acqua e eutrofizzazione), desunti da NIMIS & MARTELLOS (2008) e calcolati secondo ANPA (2001), nonché tra gli score stessi e altre

Specie	Sigla	% pres.	Sintaxon
<i>Caloplaca cerinella</i> (Nyl.) Flagey	CALcer	7,9	<i>Xanthorion</i>
<i>Candelaria concolor</i> (Dicks.) Stein	CANcon	63,0	<i>Xanthorion</i>
<i>Candelariella reflexa</i> (Nyl.) Lettau	CANref	17,3	<i>Xanthorion</i>
<i>Flavoparmelia caperata</i> (L.) Hale	FLAcap	13,0	<i>Parmelion</i>
<i>Hyperphyscia adglutinata</i> (Flörke) H. Mayrhofer e Poelt	HYPadg	25,7	<i>Xanthorion</i>
<i>Lecanora carpinea</i> (L.) Vain.	LECCar	3,4	<i>Lecanorion</i>
<i>Lecanora chlorotera</i> Nyl.	LECchl	21,9	<i>Lecanorion</i>
<i>Lecanora expallens</i> Ach.	LECexp	20,0	<i>Graphidion</i>
<i>Lecidella elaeochroma</i> (Ach.) M. Choisy	LECCela	64,2	<i>Lecanorion</i>
<i>Melanelia exasperata</i> (De Not.) Essl.	MELexa	3,4	<i>Lecanorion</i>
<i>Melanelia exasperatula</i> (Nyl.) Essl.	MELexu	1,9	<i>Xanthorion</i>
<i>Naetrocymbe punctiformis</i> (Pers.) R.C. Harris	NAEpun	25,2	<i>Graphidion</i>
<i>Opegrapha atra</i> Pers.	OPEatr	4,3	<i>Graphidion</i>
<i>Opegrapha varia</i> Pers.	OPEvar	7,5	<i>Graphidion</i>
<i>Parmelia sulcata</i> Taylor	PARsul	2,4	<i>Parmelion</i>
<i>Phaeophyscia chloantha</i> (Ach.) Moberg	PHAchl	3,4	<i>Xanthorion</i>
<i>Phaeophyscia orbicularis</i> (Neck.) Moberg	PHAorb	53,4	<i>Xanthorion</i>
<i>Physcia adscendens</i> (Fr.) H. Olivier	PHYads	32,7	<i>Xanthorion</i>
<i>Physcia tenella</i> (Scop.) DC.	PHYten	33,4	<i>Xanthorion</i>
<i>Physconia grisea</i> (Lam.) Poelt	PHYgri	8,9	<i>Xanthorion</i>
<i>Punctelia subrudecta</i> (Nyl.) Krog	PUNsub	21,2	<i>Xanthorion</i>
<i>Xanthoria parietina</i> (L.) Th. Fr.	XANpar	66,3	<i>Xanthorion</i>

Tab. I - Elenco delle specie di licheni considerate nell'analisi statistica multivariata (DCA); per ciascuna specie viene riportata l'abbreviazione utilizzata, la frequenza percentuale sul numero totale di rilevamenti analizzati (472) e il sintaxon della comunità lichenica di riferimento.

- List of the lichen species included in the multivariate statistical analysis (DCA); abbreviation, percentage on total number of relevés and lichen community are reported for each species.

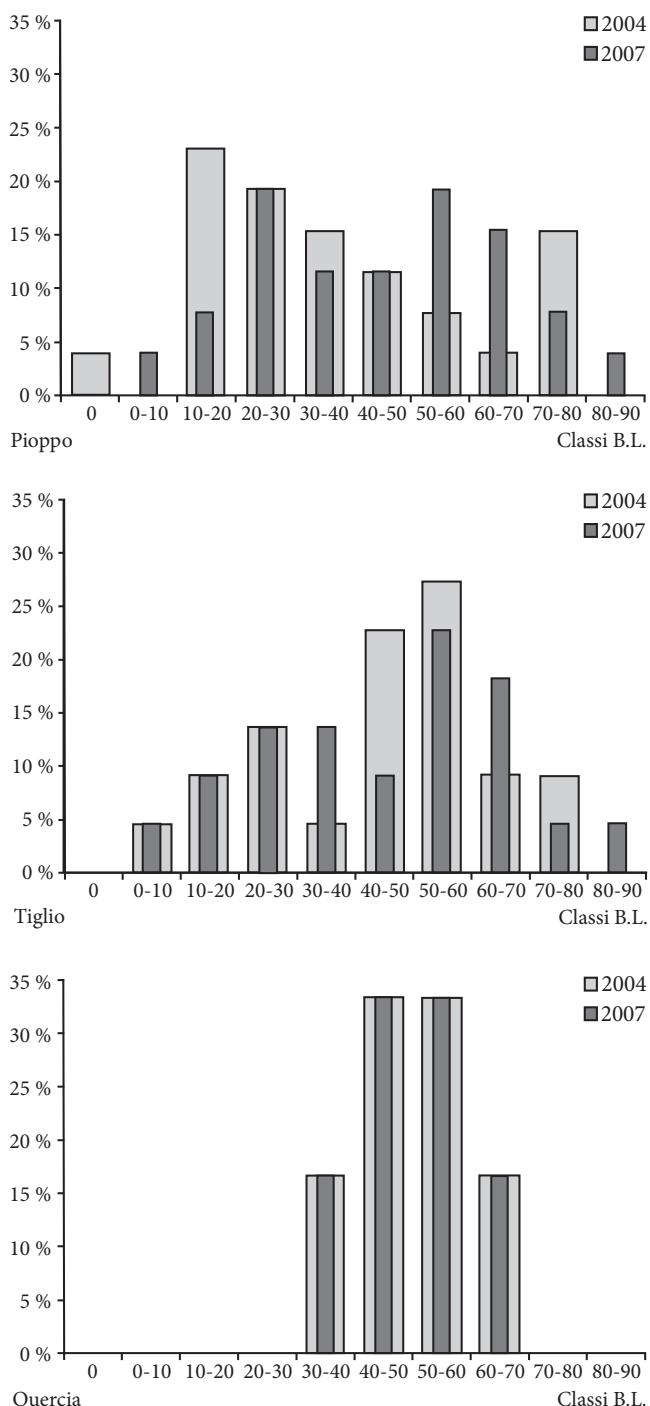


Fig. 2 - Distribuzione in termini percentuali dei valori di Biodiversità Lichenica (BLs), suddivisi per specie di albero (Pioppo, Tiglio e Quercia) e per anno di monitoraggio (2004 e 2007).

- Percentages of Lichen Biodiversity (BLs), grouped by tree species (Poplar, Linden and Oak) and survey year (2004 and 2007).

variabili, come la circonferenza del tronco, la frequenza percentuale di licheni con forma biologica crostosa, la Biodiversità Lichenica di un singolo albero (BLa), l'anno di monitoraggio e la specie di albero.

Tutte le analisi statistiche sono state effettuate impiegando diverse library nella piattaforma software R

(R DEVELOPMENT CORE TEAM 2008), una open source version di S-PLUS (IHAKA & GENTLEMAN 1996).

La nomenclatura delle specie licheniche segue NIMIS & MARTELLOS 2008.

Risultati e discussione

La fig. 2 mostra la ripartizione in classi dei valori di Biodiversità Lichenica di ciascuna stazione (BLs) riscontrati nelle due campagne di monitoraggio 2004 e 2007, ripartiti tra le tre specie di alberi campionati. In tab. II si riportano invece le medie e le deviazioni standard relative ai valori di BLs riscontrati nelle 54 stazioni.

Per quanto riguarda il Pioppo, si evidenzia una distribuzione unimodale per i valori relativi all'anno 2004, impegnata sulla classe 10-20 (23,1%); è comunque presente un seconda classe ben rappresentata (15,4%) su elevati valori di BLs (classe 70-80). La distribuzione relativa all'anno 2007 è invece bimodale, con le classi 20-30 e 50-60 aventi una frequenza identica (19,2%). Complessivamente si riscontra uno spostamento della distribuzione verso classi elevate, come si evidenzia anche dal valore medio, che nel 2007 è aumentato di 8,7 rispetto al 2004; infatti, i valori di BLs nelle due campagne di monitoraggio sono statisticamente differenti ($t = 4,575$; $df = 25$; $p < 0,001$).

La distribuzione dei valori di BLs per il Tiglio è nell'insieme simile per entrambe le campagne di monitoraggio. Si riscontra infatti una distribuzione unimodale, con la classe 50-60 maggiormente rappresentata (27,3% nel 2004 e 22,7% nel 2007). La distribuzione nel 2007 sembra essere tuttavia leggermente più appiattita, sebbene non si riscontrino differenze staticamente significative tra i due gruppi di valori di BLs ($t = 0,420$; $df = 21$; $p > 0,05$), come si evince anche dal valore medio del 2007 di poco superiore a quello del 2004.

Per la Quercia le due distribuzioni sono praticamente identiche e limitate alle quattro classi tra 30 e 70. Le classi più rappresentate (33,3%) sono due: 40-50 e 50-60. Anche per la Quercia, non si riscontrano variazioni statisticamente significative ($t = 0,467$; $df = 5$; $p > 0,05$) nei valori di BLs tra le due campagne di monitoraggio, quantunque nel 2007 si sia registrato un complessivo leggero incremento nei valori di BLs.

L'incremento nei valori di BLs riscontrato per i Pioppi, ma non per le altre due specie di alberi, è almeno parzialmente interpretabile dal grafico in fig. 3, che esplicita la relazione tra le circonferenze dei tronchi di Pioppo e i relativi valori di BLa. Si osserva l'assenza di bassi valori di BLa per elevati valori di circonferenza. La relazione tra circonferenze del Pioppo e valori di BLa è statisticamente significativa, come riportato dal modello in fig. 3.

I valori degli Eigenvalue per i primi tre assi della DCA

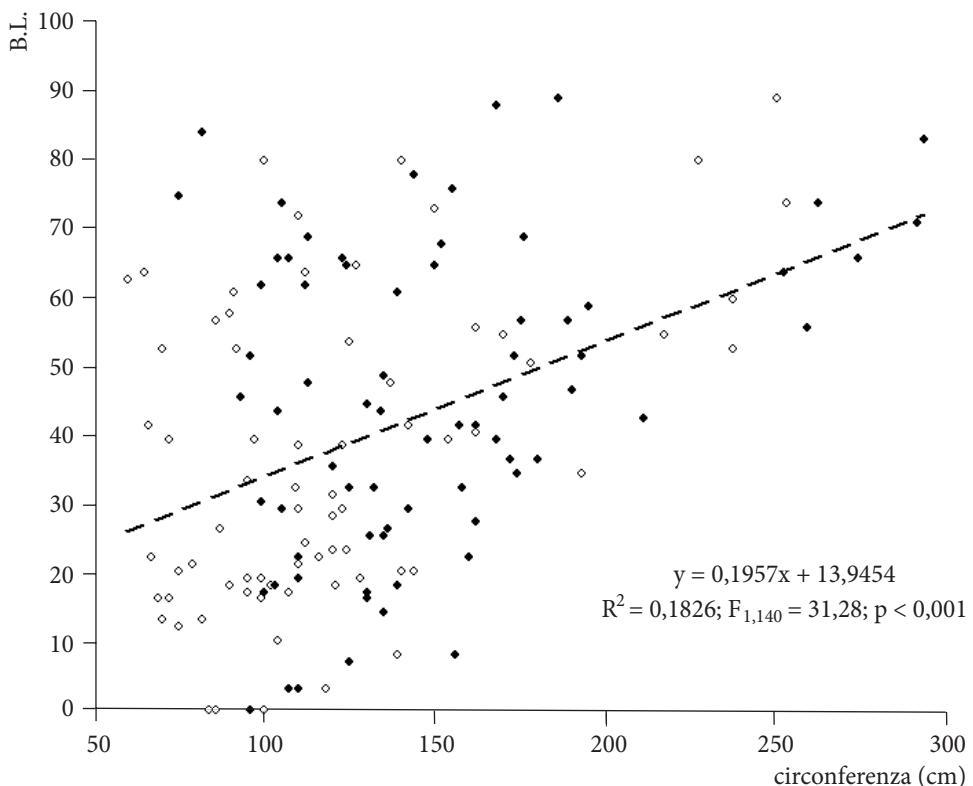


Fig. 3 - Relazione stimata tramite regressione lineare tra la circonferenza del tronco dei singoli alberi di Pioppo e i relativi valori di Biodiversità Lichenica (BLa), a prescindere dall'anno di monitoraggio; i rombi vuoti rappresentano i dati del 2004, quelli pieni i dati del 2007.

- Relationship estimated by means of linear regression between trunk circumference of each Poplar tree and Lichen Biodiversity (BLa), excluding survey year; white rhombus denote data in 2004, black rhombus in 2007.

sono rispettivamente 0,467, 0,342 e 0,287. JONGMANN et al. (1987) ritengono che gli assi con valori di Eigenvalue minori di 0,5 non debbano essere considerati, in quanto non esprimono un gradiente floristico rilevante. Di conseguenza il primo asse (DCA1) non solo può essere considerato rappresentativo del gradiente floristico principale, ma anche l'unico rilevante. Tuttavia, ai fini di una rappresentazione grafica dell'ordinamento e di una verifica dell'importanza ecologica, è stato considerato anche il secondo asse (DCA2). La fig. 3 mostra quindi l'ordinamento rispetto ai primi due assi della DCA per le 22 specie analizzate (tab. I). I valori più elevati su DCA1 sono raggiunti da specie di *Graphidion* e in particolare da *Opegrapha varia*; le specie di *Lecanorion*,

tranne *Melanelia exasperata*, si inseriscono su valori prossimi ma relativamente più bassi rispetto ai licheni di *Graphidion*. Meno chiara è la distribuzione delle specie per bassi valori dell'asse, con *Phaeophyscia chloantha* che esibisce comunque il valore minore. Il valore più elevato su DCA2 è raggiunto da *Flavoparmelia caperata*, mentre il più basso da *Physconia grisea*.

La tab. III pone in evidenza una correlazione altamente significativa di DCA1 con tutte le variabili impiegate per l'interpretazione ecologica dell'ordinamento. In particolare, occorre sottolineare la correlazione negativa

Specie	Anno				n
	2004		2007		
	media	dev. st.	media	dev. st.	
Pioppo	36,8	21,3	45,5	21,4	26
Tiglio	45,2	19,0	45,7	21,1	22
Quercia	50,3	9,2	51,0	10,2	6

Tab. II - Medie e deviazioni standard relative ai valori di Biodiversità Lichenica (BLs) riscontrati nelle 54 stazioni campionate, ripartite per specie di albero (Pioppo, Tiglio e Quercia) e per anno di monitoraggio (2004 e 2007).

- Average and standard deviation of Lichen Biodiversity (BLs) in the 54 sites, grouped by tree species (Poplar, Linden and Oak) and by survey years (2004 and 2007).

Variabili	DCA1	DCA2
Circonferenza	-0,404***	-0,082
Indici ecologici		
pH	-0,637***	-0,149**
luce	-0,490***	-0,324***
acqua	-0,195***	-0,366***
eutrofizzazione	-0,679***	-0,560***
% spp. crostose	+0,673***	+0,671***
BLa	-0,293***	+0,060

Tab. III - Coefficienti di regressione di Spearman tra gli score dei due assi della DCA e alcune variabili impiegate per l'interpretazione ecologica; in grassetto sono riportati i coefficienti il cui valore assoluto è maggiore di 0.5 (***, p < 0,001; **, p < 0,01; *, p < 0,05).

- Spearman regression coefficients among scores of the two DCA axes and variables used in the ecological interpretation; coefficients greater than 0.5 in absolute value are reported in bold (***, p < 0.001; **, p < 0.01; *, p < 0.05).

con gli indici ecologici per la reazione e il grado di eutrofizzazione della corteccia, nonché quella positiva con la frequenza dei licheni crostosi. Numericamente apprezzabile è anche la relazione con l'indice per la luce e quella con la circonferenza del tronco; la relazione con quest'ultima variabile è ancora maggiore in termini assoluti (coefficiente di Spearman = -0,628), se consideriamo soltanto gli score per i Pioppi. In antitesi, un basso valore assoluto del coefficiente di correlazione si riscontra tra BLA e l'indice ecologico relativo al grado di umidità. I coefficienti di correlazione

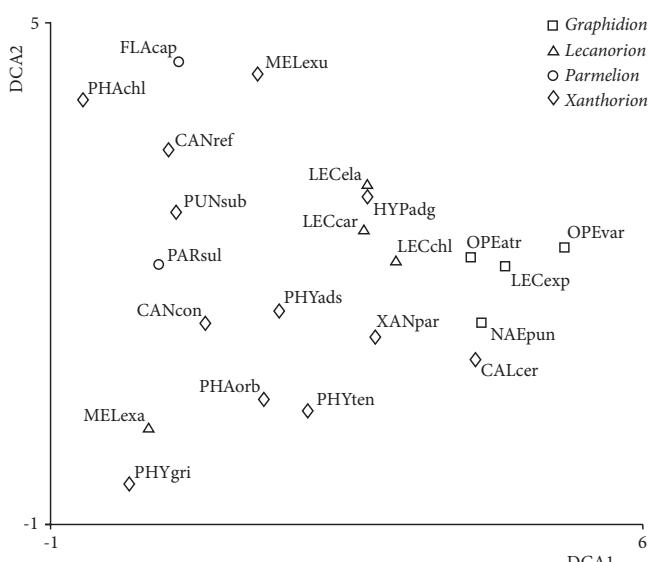


Fig. 4 - Ordinamento rispetto ai primi due assi della DCA delle 22 specie, suddivise per comunità lichenica.

- *Ordination of the first two DCA axes among the 22 species, grouped by lichen community.*

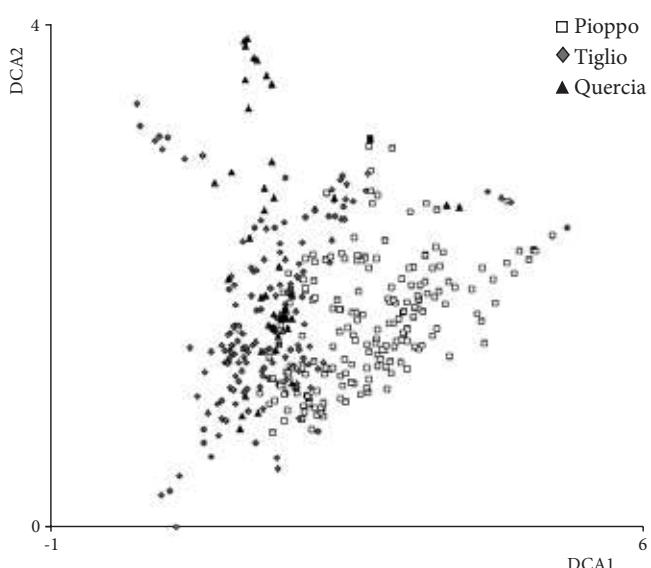


Fig. 5 - Ordinamento rispetto ai primi due assi della DCA dei 416 rilievi, suddivisi per specie di albero.

- *Ordination of the first two DCA axes among the 416 relevés, grouped by tree species.*

per DCA2 sono, seppur ancora statisticamente significativi, complessivamente più bassi in valore assoluto rispetto ai corrispettivi di DCA1, tranne che per due variabili (percentuale di licheni crostosi e grado di eutrofizzazione).

Considerando nell'ordinamento la distribuzione dei rilievi rispetto all'esposizione del tronco, non si riscontrano differenze statisticamente significative al test ANOVA per entrambi gli assi (DCA1: $F_{3,412} = 0,81$, $p > 0,05$; DCA2: $F_{3,412} = 1,50$, $p > 0,05$). Valutazioni analoghe possono essere espresse considerando i test ANOVA per l'anno di monitoraggio (DCA1: $F_{1,414} = 1,74$, $p > 0,05$; DCA2: $F_{1,414} = 0,07$, $p > 0,05$). In antitesi la specie di albero influenza la posizione nell'ambito dei due gradienti floristici individuati dall'ordinamento (DCA1: $F_{2,413} = 114,14$, $p < 0,001$; DCA2: $F_{2,413} = 16,81$, $p < 0,001$). Infatti, come si riscontra dal grafico in fig. 5, i rilievi su Pioppo occupano la parte superiore di DCA1, mentre quelli su Quercia e Tiglio occupano bassi valori su questo asse e a loro volta tendono a segregarsi su DCA2. Considerando infine i test ANOVA a due fattori con interazione tra le variabili anno di monitoraggio e specie di albero, si ricavano i risultati riportati in tab. IV. Per entrambi gli assi della DCA l'interazione non risulta significativa, ma viene di nuovo ribadita la significatività della specie di albero nella distribuzione lungo i gradienti floristici.

Non è stato dunque possibile evidenziare cambiamenti significativi nella composizione floristica delle comunità licheniche durante il breve arco temporale analizzato. Il gradiente floristico è infatti influenzato primariamente dalla specie di albero, tanto da confermare quanto riportato da ANPA (2001) ovvero sia che nell'ambito di studi locali occorrerebbe tenere conto della comparabilità tra le diverse specie rilevate. Non è stato tuttavia possibile esaminare nel presente studio questo aspetto, in quanto si è riscontrato un esiguo numero di stazioni con più di due specie di albero (soltanto 2 tra Pioppo e Quercia e altrettante tra Pioppo e Tiglio).

Nel complesso dominano le specie di *Xanthorion*, alleanza fitosociologica che comprende comunità licheniche relativamente eliofile, xerofile, neutro-basifile e nitrofile comuni in habitat antropizzati, situazioni ambientali prevalenti nell'area di studio. La preminente presenza di alberi con scorza non acida (Pioppo e in subordine Tiglio), forse anche arricchita da nutrienti derivanti dalle deposizioni delle attività agricole così ampiamente diffuse in tutta l'area, ancorché localizzati in ambienti con scarso o nullo ombreggiamento (di fatto gli impianti di Pioppo non esibiscono mai una densa copertura delle chiome), trova un riscontro ecologico alla proliferazione di specie licheniche di *Xanthorion*. Le pratiche agricole vengono infatti indicate come fonte di nutrienti che favoriscono la presenza di licheni nitrofili (LOPPI et al. 1997).

Ben rappresentate, anche se subordinatamente alle

precedenti, sono le specie caratteristiche di *Lecanorion*; queste comunità, rappresentate da licheni crostosi pionieri su alberi isolati e con scorza liscia, spesso precedono o si mescolano comunemente a specie di *Xanthorion* e sono relativamente frequenti in ambienti antropizzati. La presenza di specie di *Lecanorion* si ricollega quindi alle dinamiche di colonizzazione della scorza e in particolare di quella degli alberi nei pioppi, la cui turnazione è generalmente piuttosto breve (in genere non supera i 15 anni).

Scarsamente rappresentate le specie di *Parmelion* (comunità di licheni mesofili, subacidofili e poco nitrofili, in genere di tipo foglioso o fruticoso), mentre quelle di *Graphidion* (comunità di licheni crostosi pionieri, che spesso precedono o si mescolano con specie di *Parmelion* su scorza liscia e in ambienti con maggiori esigenze igriche rispetto a quelle di *Lecanorion*) sono relativamente più frequenti. Entrambe queste comunità dovrebbero rinvenirsi cospicuamente su Quercia, ma le condizioni ambientali in cui si rinviene questo albero sembrano essere poco favorevoli ai licheni di queste due comunità. Paradossalmente le specie di *Graphidion* sono più frequenti su Pioppo. Le comunità su Tiglio e Quercia presentano nel complesso un minor carattere pioniero rispetto a quelle su Pioppo.

Il risultato più evidente è il deciso e repentino aumento nei valori di BLs su Pioppo, ma non su Quercia e Tiglio. Pur considerando la disomogenea distribuzione nell'area di studio e le differenze nelle caratteristiche chimico-fisiche tra i due gruppi di alberi e quindi nelle comunità che essi possono ospitare (BARKMAN 1958), l'interpretazione di questa variazione nella BLs appare legata, almeno parzialmente, al ciclo del Pioppo. Gli esemplari di *Populus x canadensis* sono in prevalenza presenti in coltivazioni (pioppi razionali) e quindi destinati, secondo il normale ciclo agronomico, ad essere tagliati entro 12-15 anni dall'impianto.

È quindi plausibile che il monitoraggio sia almeno

parzialmente influenzato dal processo di colonizzazione del tronco, come evidenziato anche dalla relazione positiva del primo asse dell'ordinamento (DCA1) con la frequenza di specie crostose, ascrivibili in massima parte a comunità pioniere (*Lecanorion* e *Graphidion*), e da quella negativa con i valori di BL e circonferenza del tronco (in particolare del Pioppo). Il monitoraggio ha dunque registrato l'accrescimento dei Pioppi (aumento della circonferenza del tronco) associato all'evoluzione delle comunità licheniche (incremento del numero di frequenze licheniche nel reticolo). Plausibilmente si è sovrapposta anche una modificazione delle caratteristiche di rugosità della corteccia, fattore che potenzialmente influenza sulle comunità licheniche (BARKMAN 1958; BOUDREAUET et al. 2008).

Aspetto secondario, ma certamente non trascurabile nel caso di monitoraggio della BL a medio-lungo termine, è anche la perdita delle stazioni di Pioppo, a cui si va incontro per il taglio culturale. Tale perdita si protrarrà, infatti, sino a quando gli alberi di nuovo impianto non avranno raggiunto una dimensione "campionabile" di almeno 60 cm di circonferenza. Di fatto sono ancora pochi gli studi di bioindicazione che hanno utilizzato come albero il Pioppo (BARTOLI et al. 1997) e comunque in situazioni ambientali differenti da quelle riscontrate nel presente studio. Una ricerca mirata a valutare come si evolvono le comunità licheniche su Pioppo coltivato in pioppi razionali, a partire dagli astoni sino agli esemplari maturi presenti al termine della coltivazione, potrebbe consentire una più precisa interpretazione dei valori di BL registrati su questo albero.

Su alcuni alberi di Tiglio sono stati rilevati valori di BL in lieve regresso rispetto a quelli del 2004. Tale situazione sembra imputabile ad un maggior sviluppo delle colonie di briofite a discapito dei licheni, piuttosto che ad un effettivo peggioramento della qualità dell'aria. In effetti nel monitoraggio della BL non si considerano le possibili interazioni ecologiche tra questi due gruppi di organismi, a dispetto della loro stretta associazione nelle comunità corticicole in zone agricole (BRUSA 2002) e la loro complessiva suscettibilità ad essere impiegate come bioindicatori (BRUSA & ROELLA 2001; LARSEN et al. 2007). Inoltre, i Tigli presenti in ambiente urbano possono presentare problemi di aduggiamento corticale, dovuto alla forte presenza di pollonatura alla base del tronco, nonché la presenza di "rain-track" dovuti alla forma di potatura (BRUSA & ROELLA 2001). Il tipo di manutenzione dovrebbe quindi essere un'altra variabile da considerare nel monitoraggio della BL.

Si evince pertanto una complessiva dipendenza della BL e della composizione della comunità lichenica dalla specie di albero e da fattori ecologici non direttamente dipendenti unicamente dalla qualità dell'aria. Tale constatazione è di fatto emersa in altri studi (GOMBERT et al. 2004), anche se generalmente in aree a maggior eterogeneità ambientale (GIORDANI 2006; CRISTOFOLINI

	Gradi di libertà numeratore	Gradi di libertà denominatore	F	p
DCA1				
Anno	1	410	2,72	> 0,050
Specie	2	410	116,90	< 0,001
Anno * Specie	2	410	1,14	> 0,050
DCA2				
Anno	1	410	0,08	> 0,050
Specie	2	410	16,69	< 0,001
Anno * Specie	2	410	0,02	> 0,050

Tab.IV - Risultati dei test ANOVA a due fattori con interazione tra le variabili anno di monitoraggio e specie di albero rispetto agli score dei rilievi lungo i primi due assi della DCA.
- *Results of two-way ANOVA tests with interaction between survey year and tree species on the relevés scores of the first two DCA axes.*

et al. 2008). Di conseguenza negli studi di monitoraggio della BL si dovrebbero considerare il maggior numero possibile di variabili ambientali che potenzialmente influenzano le comunità licheniche, ai fini di una corretta interpretazione dei risultati.

Conclusioni

Nell'area di studio non si è rilevato alcun peggioramento nella BL dopo tre anni dal primo monitoraggio, ma al contrario sono emerse situazioni di incremento. Ciò sembra essere in accordo con quanto rilevato dalle centraline di monitoraggio della qualità dell'aria, che hanno registrato un lieve trend migliorativo per anidride solforosa e ossidi di azoto. L'incremento nella BL ha però riguardato in modo significativo soltanto le stazioni con Pioppo. I risultati delle analisi statistiche sembrano indicare che le variazioni registrate possono essere ricondotte al naturale sviluppo delle comunità licheniche, che sono in evoluzione ecologica verso comunità più ricche sia quantitativamente (BL) che qualitativamente (specie). Naturalmente queste comunità non potranno raggiungere un grado di diversità elevato, in relazione all'abbattimento a cui il Pioppo degli impianti è destinato nel medio periodo.

Per contro il monitoraggio su Tigli e Querce ha rilevato valori di BL nel complesso stabili. Tale situazione sembra confermare l'ormai raggiunta relativa maturità delle comunità licheniche nelle particolari condizioni ambientali dell'area di studio.

In definitiva, le variazioni intercorse nel breve periodo analizzato sembrano ricollegarsi in maggior misura a fattori ecologici non direttamente connessi ai fenomeni di inquinamento atmosferico (Pm_{10} e ozono) in atto nell'area.

Manoscritto pervenuto il 17.II.2009 e approvato il 02.X.2009.

Bibliografia

- ANPA. 2001. *I.B.L. Indice di Biodiversità Lichenica. Manuali e Linee Guida 2/2001.* Roma: Agenzia Nazionale per la Protezione dell'Ambiente, Dipartimento Stato dell'Ambiente, Controlli e Sistemi Informativi.
- ARPA. 2001. *Rapporto sullo Stato dell'Ambiente. Anno 2001.* Agenzia Regionale per la Protezione dell'Ambiente del Friuli Venezia Giulia.
- BARKMAN, J.J. 1958. *Phytosociology and ecology of cryptogamic epiphytes.* Assen: Van Gorcum.
- BARTOLI, A., E. CARDARELLI, M. ACHILLI, L. CAMPANELLA, S. RAVERA & G. MASSARI. 1997. Valutazione della qualità dell'aria della Maremma laziale con licheni epifiti. *Allionia* 35: 69-85.
- BERTOLANI MARCHETTI, D. 1969-1970. Climax e paleoclimax della pianura padano-veneta. *Mem. Biogeogr. Adriatica* 8: 69-77.
- BOUDREAU, C., D.S. COXSON, E. VINCENT, Y. BERGERON & J. MARSH. 2008. Variation in epiphytic lichen and bryophyte composition and diversity along a gradient of productivity in *Populus tremuloides* stands of northeastern British Columbia, Canada. *Ecoscience* 15: 101-12.
- BRUSA, G. 2002. Aspetti ecologici di briofite e licheni nelle comunità corticicole su *Quercus robur*. *Boll. Soc. Ticin. Sci. Nat.* 90: 103-11.
- BRUSA, G., & V. ROELLA. 2001. Esperienze di bioindicazione della qualità dell'aria tramite la biodiversità di briofite e licheni epifiti nella provincia di Varese. In *L'utilizzo delle briofite nel monitoraggio ambientale: stato della ricerca in Italia*, di R.M. CENCI & M. ALEFFI, 46-55. Centro Comune di Ricerca, Commissione Europea, EUR 19817 IT.
- CONTI, M.E., & G. CECCHETTI. 2001. Biological Monitoring: lichens as bioindicators of air pollution assessment - a review. *Environ. Pollut.* 114: 471-92.
- CRISTOFOLINI, F., P. GIORDANI, E. GOTTARDINI & P. MODENESI. 2008. The response of epiphytic lichens to air pollution and subsets of ecological predictors: a case study from the Italian Prealps. *Environ. Pollut.* 151: 308-17.
- DOBBEN VAN, H.F., & A.J. DE BAKKER. 1996. Re-mapping epiphytic lichen biodiversity in the Netherlands: effects of decreasing SO_2 and increasing NH_3 . *Acta Bot. Neerl.* 45: 55-71.
- DOBBEN VAN, H.F., H.T. WOLTERBEEK, G.W.W. WAMELINK & C.J.F. BRAAK TER. 2001. Relationships between epiphytic lichens, trace elements and gaseous atmospheric pollution. *Environ. Pollut.* 112: 163-69.
- FERRY, B.W., M.S. BADDELEY & D.L. HAWKSWORTH. 1973. *Lichens and Air Pollution.* Toronto: University of Toronto Press.
- FURLANETTO, D. 2000. *Monitoraggio della qualità dell'aria mediante licheni nella Valle del Ticino.* Parco Lombardo della Valle del Ticino.
- GIACOMINI, V., & L. FENAROLI. 1958. *La Flora.* Vol. 2 della Collana "Conosci l'Italia". Touring Club Italiano.
- GIORDANI, P. 2006. Variables influencing the distribution of epiphytic lichens in heterogeneous areas: a case study for Liguria, NW Italy. *J. Veg. Sci.* 17: 195-206.
- GOMBERT, S., J. ASTA & M.R.D. SEWARD. 2004. Assessment of lichen diversity by index of atmospheric purity (IAP), index of human impact (IHI) and other environmental factors in an urban area (Grenoble, southeast France). *Sci. Total Environ.* 324: 183-99.
- HAWKSWORTH, D.L., & L. ROSE. 1970. Qualitative scale for estimating sulphur dioxide air pollution in England and Wales using epiphytic lichens. *Nature* 227: 145-48.
- HERK VAN, C.M. 1999. Mapping of ammonia pollution with epiphytic lichens in the Netherlands. *Lichenologist* 31: 9-20.
- IHAKA, R., & GENTLEMAN R. 1996. R: a language for data analysis and graphics. *J. Comput. Graph. Stat.* 5: 229-314.
- ISOCRONO, D., E. MATTEUCCI, A. FERRARESE, E. PENSI & R. PIERVITTORI. 2007. Lichen colonization in the city of Turin (N Italy) based on current and historical data. *Environ. Pollut.* 145: 258-65.
- JONGMAN, R.H.G., C.J.F. BRAAK TER & O.F.R. TONGEREN VAN. 1987. *Data analysis in community and landscape ecology.* Wageningen: Pudoc.
- KANDLER, O., & J. POELT. 1984. Wiederbesiedlung der Innenstadt von München durch Flechten. *Naturwissenschaftliche Rundschau* 37: 90-5.
- LARSEN, R.S., J.N.B. BELL, P.W. JAMES, P.J. CHIMONIDES, F.J.

- RUMSEY, A. TREMPER & O.W. PURVIS. 2007. Lichen and bryophyte distribution on oak in London in relation to air pollution and bark acidity. *Environ. Pollut.* 146: 332-40.
- LOPPI, S., D. IVANOV & R. BOCCARDI. 2002. Biodiversity of epiphytic lichens and air pollution in the town of Siena (central Italy). *Environ. Pollut.* 116: 123-28.
- LOPPI, S., S.A. PIRINTSOS & V. DE DOMINICIS. 1997. Analysis of the distribution of epiphytic lichens on *Quercus pubescens* along an altitudinal gradient in a Mediterranean area (Tuscany, central Italy). *Israel J. Plant Sci.* 45: 53-8.
- MUNZI, S., S. RAVERA & G. CANEVA. 2007. Epiphytic lichens as indicators of environmental quality in Rome. *Environ. Pollut.* 146: 350-8.
- NASH III, T.H., & V. WIRTH. 1988. *Lichens, Bryophytes and Air Quality*. Stuttgart: Cramer.
- NIMIS, P.L. 1999. Linee guida per la bioindicazione degli effetti dell'inquinamento tramite la biodiversità dei licheni epifiti. In *Atti Workshop, Roma 26-27 novembre 1998*. Roma: Agenzia Nazionale per la Protezione dell'Ambiente.
- NIMIS, P.L., & S. MARTELLOS. 2008. *ITALIC. The Information System on Italian Lichens*. Version 4.0. University of Trieste, Dept. of Biol. IN4.0/1. URL: <http://dbiodbs.univ.trieste.it/>.
- NIMIS, P.L., C. SCHEIDECKER & P.A. WOLSELEY. 2002. *Monitoring with lichens, Monitoring lichens*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishing.
- NIMIS, P.L., N. SKERT & M. CASTELLO. 1999. Biomonitoraggio di metalli in traccia mediante licheni in aree a rischio del Friuli Venezia Giulia. *Stud. Geobot.* 18: 3-49.
- PEDROTTI, F. 1996. Suddivisioni botaniche dell'Italia. *Giorn. Bot. Ital.* 130: 214-25.
- R DEVELOPMENT CORE TEAM. 2008. *R: A language and environment for statistical computing*. Vienna: R Foundation for Statistical Computing. URL: <http://www.R-project.org>.
- RICHARDSON, D.H.S. 1992. *Pollution monitoring with lichens*. Slough: The Richmond Publishing.
- ROSE, C.I., & D.L. HAWKSWORTH. 1981. Lichen recolonization in London's cleaner air. *Nature* 289: 289-92.
- SEWARD, M.R.D. 1997. Urban deserts bloom: a lichen renaissance. *Bibl. Lichenol.* 67: 297-309.
- SEWARD, M.R.D., & M.A. LETROUIT-GALINOU. 1991. Lichen recolonization of the trees in the Jardin du Luxembourg, Paris. *Lichenologist* 23: 181-86.

Indirizzi degli Autori - Authors' addresses:

- Filippo BERNINI
Via Vittorio Emanuele II 21, I-20090 BUCCINASCO MI
e-mail: filippo.bernini@iol.it
- Guido BRUSA
Dipartimento di Biologia Strutturale e Funzionale
dell'Università degli Studi dell'Insubria
Via H.J. Dunant 3, I-21100 VARESE
e-mail: guido.brusa@uninsubria.it, guido.brusa@libero.it
- Giambattista RIVELLINI
Via Palate 12, I-24060 ENDINE GAIANO BG
e-mail: giambiri@inbergamo.net

