
**BIOMONITORAGGIO
DELL'INQUINAMENTO DA GAS FITOTOSSICI
NEL COMUNE DI UDINE
TRAMITE LICHENI COME BIOINDICATORI**

**RELAZIONE FINALE
2006**

**Mario Treleani
Nicola Skert
Fernanda Marcuzzi**

1. PREMESSA.....	1
2. INTRODUZIONE.....	2
2.1. BIOMONITORAGGIO AMBIENTALE	2
2.2 BIOINDICATORI E BIOACCUMULATORI	4
2.3 SCALE DI INTERPRETAZIONE NEGLI STUDI DI BIOMONITORAGGIO	5
2.4 BIOMONITORAGGIO AMBIENTALE TRAMITE LICHENI	5
2.5 LICHENI COME BIOINDICATORI.....	6
3. AREA DI STUDIO	10
3.1 INQUADRAMENTO GEOGRAFICO	10
3.2 CARATTERISTICHE CLIMATICHE	11
4. MATERIALI E METODI.....	14
4.1 STAZIONI DI CAMPIONAMENTO	14
4.2 SCELTA DEGLI ALBERI DA CAMPIONARE	16
4.3 METODICA DI RILEVAMENTO	17
4.4 ELABORAZIONI STATISTICHE.....	18
4.4.1 Analisi multivariata	18
4.4.2 Cartografia	19
5. RISULTATI	20
5.1 ANALISI DELLA FLORA LICHENICA	20
5.2 DISTRIBUZIONE DELLE 6 SPECIE PIÙ FREQUENTI.....	23
5.3 ANALISI DELLA BIODIVERSITÀ LICHENICA DELLE STAZIONI	24
5.3.1 Analisi multivariata	24
5.3.1.1 Classificazioni	24
5.4 CARTE DI BIODIVERSITÀ LICHENICA (BL)	29
5.5 INTERPRETAZIONE DEI VALORI DI BL.....	32
6. CONCLUSIONI.....	34
7. BIBLIOGRAFIA	36

1. PREMESSA

Il presente lavoro è stato affidato dal Comune di Udine all'Agenzia Regionale per la Protezione dell'Ambiente del Friuli Venezia Giulia (ARPA FVG), Dipartimento di Udine, tramite apposita Convenzione. Essa prevede la realizzazione di uno studio di biomonitoraggio tramite licheni come bioindicatori di gas fitotossici. Questo studio di biomonitoraggio è basato sull'analisi di comunità licheniche e permette di rilevare la presenza di sostanze gassose fitotossiche, principalmente anidride solforosa e ossidi di azoto, grazie alla sensibilità dei licheni nei confronti di queste sostanze. La metodica si basa sulla valutazione della biodiversità di licheni epifiti, intesa come somma delle frequenze di tutte le specie licheniche presenti all'interno di un particolare reticolo di rilevamento posizionato sui tronchi degli alberi. Il valore di biodiversità lichenica così ottenuto viene interpretato in termini di alterazione ambientale, ovvero di deviazione da condizioni ritenute naturali.

La metodica di campionamento e di rilevamento della flora lichenica segue le linee guida del manuale operativo (ANPA, 2001) adottato dall'Agenzia per la Protezione dell'Ambiente e Servizi Tecnici (APAT). La metodica è sostanzialmente mutata rispetto a quella precedentemente utilizzata per studi analoghi. Si tratta del primo studio del genere eseguito sul territorio del Comune di Udine.

Il campionamento è stato eseguito tra aprile e settembre 2006.

2. INTRODUZIONE

2.1. Biomonitoraggio ambientale

La crescente produzione di sostanze tossiche ha reso necessaria la ricerca di strumenti sempre più sensibili per il controllo dell'inquinamento. L'inquinamento, ed in particolare quello atmosferico, è un fenomeno estremamente variabile nello spazio e nel tempo in dipendenza di numerosi fattori. La corretta mappatura dell'inquinamento di una certa area implica uno studio condotto su base statistica, basato su una rete di misura a densità elevata e sull'analisi di dati riferiti a prolungati periodi di tempo.

Il monitoraggio dell'inquinamento atmosferico effettuato mediante centraline automatiche di rilevamento, indispensabile nel caso di aree soggette costantemente ad alti tassi di inquinamento atmosferico, quali grandi centri urbani, risulta estremamente complesso per diversi motivi (Nimis 1999a):

- a) le concentrazioni di sostanze inquinanti nell'aria sono molto variabili nello spazio e nel tempo, in dipendenza di fattori come le condizioni atmosferiche, la direzione dei venti, l'orografia, il tipo di fonte inquinante, ecc.;
- b) una corretta mappatura dell'inquinamento implica studi condotti su base statistica, con un elevato numero di punti di misura, ma l'alto costo delle centraline di rilevamento rappresenta un limite per la densità dei punti di campionamento, sia nello spazio che nel tempo;
- c) i dati si riferiscono generalmente solo ad alcuni parametri (anidride solforosa, ossidi di azoto, monossido di carbonio, polveri), mentre scarseggiano le informazioni su molti inquinanti come ad esempio i metalli;
- d) la quantificazione delle concentrazioni di singoli inquinanti non è sufficiente a definire lo stato di degrado ambientale, poiché l'insieme delle sostanze presenti nell'ambiente può agire sinergicamente amplificando i danni sugli organismi viventi.

Il monitoraggio della qualità ambientale mediante l'uso di organismi viventi prende il nome di **biomonitoraggio**. Esso è basato sulla valutazione degli effetti biologici dell'inquinamento. Le tecniche di biomonitoraggio producono dati biologici: misure di biodiversità, di variazioni nell'assetto morfologico, fisiologico o genetico degli organismi, misure delle concentrazioni di sostanze negli organismi. Il biomonitoraggio si basa sulla misura di deviazioni da condizioni *normali* di componenti degli ecosistemi reattivi all'inquinamento (Nimis 1999a), utili per stimare gli effetti combinati di più inquinanti sulla componente biotica.

I principali limiti delle tecniche di biomonitoraggio sono essenzialmente dovuti al fatto che si tratta di tecniche basate sull'analisi di organismi viventi e possono venire così sintetizzati:

1. difficoltà, in molti casi, a stabilire una relazione univoca tra dati biologici e concentrazioni di specifici inquinanti, a causa degli effetti sinergici determinati dalla presenza di più sostanze tossiche sugli organismi;
2. difficoltà, soprattutto per tecniche che utilizzano organismi autoctoni, di applicazione nelle aree in cui le caratteristiche ambientali limitano o impediscono la presenza dei bioindicatori;
3. drastica diminuzione della sensibilità di alcune tecniche per valori estremi di concentrazione di determinati inquinanti;
4. impossibilità di elaborare un'unica scala di interpretazione dei dati biologici in termini di inquinamento valida per tutto il territorio nazionale, vista l'estrema variabilità climatica e geomorfologica che lo caratterizza.

I principali vantaggi delle tecniche di biomonitoraggio sono rappresentati da:
possibilità di ottenere rapidamente, a bassi costi e con un'elevata densità di campionamento, una stima degli effetti biologici indotti su organismi sensibili dovuta all'interazione di più sostanze nocive;
individuazione rapida di zone a rischio, con reale o potenziale superamento dei valori soglia stabiliti dalla legge per alcuni importanti inquinanti primari;
valutazione dell'efficacia delle misure adottate per la riduzione delle emissioni di inquinanti su lunghi periodi;
localizzazione di aree potenzialmente a rischio e conseguente ubicazione ottimale delle centraline automatiche di rilevamento;
validazione di modelli di trasporto a lunga distanza e deposizione di inquinanti a diverse scale territoriali.

La maggiore densità di campionamento degli studi di biomonitoraggio rispetto alle reti di rilevamento strumentale compensa l'inevitabile margine di errore dovuto alla variabilità dei dati biologici.

Data la sostanziale diversità delle informazioni, è evidente che il biomonitoraggio non può essere considerato alternativo al monitoraggio strumentale. Esso fornisce importanti informazioni per la valutazione globale dello stato ambientale di un'area, individuando possibili zone a rischio per la salute pubblica, evidenziando patterns diffusionali di inquinanti e ottimizzando la pianificazione e la realizzazione di reti di monitoraggio strumentale.

2.2 Bioindicatori e Bioaccumulatori

Le tecniche di biomonitoraggio permettono di identificare lo stato di alcuni parametri ambientali sulla base degli effetti da essi indotti su organismi sensibili, in grado di reagire in modo chiaro e quantificabile alla presenza degli inquinanti. Tali reazioni si manifestano in modo più o meno evidente essenzialmente su due livelli, che corrispondono a due categorie di tecniche (Nimis 1999a):

modificazioni morfologiche, fisiologiche e genetiche a livello di organismo, di popolazione o di comunità: **tecniche di bioindicazione**, basate sulla stima gli effetti di variazioni ambientali su componenti sensibili degli ecosistemi, chiamati bioindicatori.

accumulo di sostanze: **tecniche di bioaccumulo**, basate sulla misura delle concentrazioni di sostanze in organismi in grado di assorbirle e accumularle dall'ambiente, chiamati bioaccumulatori.

Un organismo adatto ad essere usato per uno studio di biomonitoraggio ambientale deve presentare le seguenti caratteristiche:

1. ampia diffusione nell'area di studio;
2. scarsa mobilità;
3. ciclo vitale lungo
4. uniformità genetica.

Un **bioindicatore** è un organismo che presenta variazioni dei parametri morfo-fisiologici o della presenza e frequenza (biodiversità delle comunità) correlabili all'intensità del disturbo ambientale. Un valido bioindicatore deve quindi possedere una accertata sensibilità agli agenti inquinanti considerati.

Un **bioaccumulatore** è un organismo che presenta la capacità di accumulare sostanze in maniera correlata alla loro presenza nell'ambiente, così che la misura delle concentrazioni di sostanze inquinanti all'interno dell'organismo viene utilizzata per ricostruire i patterns di deposizione nell'ambiente in cui il suddetto organismo vive. Un valido bioaccumulatore deve perciò presentare una elevata tolleranza ed una notevole capacità di accumulo degli agenti inquinanti considerati.

Non vi sono differenze sostanziali tra tecniche di bioindicazione e di bioaccumulo, anche se le prime si basano su dati biologici, mentre le seconde su analisi chimiche: entrambe sono comprese nella definizione del termine "biomonitoraggio", inteso come "analisi di componenti degli ecosistemi reattivi all'inquinamento, per la stima di deviazioni da situazioni normali" (Nimis 1999a).

2.3 Scale di interpretazione negli studi di biomonitoraggio

L'interpretazione dei dati biologici costituisce un aspetto fondamentale per gli studi di biomonitoraggio. La rappresentazione cartografica dei dati permette di evidenziare patterns geografici della presenza dei diversi inquinanti e i loro massimi locali, le scale di interpretazione permettono invece di valutare tali dati in termini di alterazione ambientale.

L'individuazione e la quantificazione di condizioni *normali* in situazioni ambientali diverse è cruciale per fornire i punti di riferimento delle scale di interpretazione dai dati biologici in termini di deviazioni da condizioni *normali*. Si possono seguire tre strategie principali: a) confronto dei dati con condizioni controllate (es. esperimenti di fumigazione), per quantificare la relazione tra concentrazione di inquinanti e reazioni degli organismi); b) confronto con dati strumentali di inquinamento o stime derivanti da modelli diffusionali; c) confronto "interno" all'universo dei dati biologici. Quest'ultima strategia spesso costituisce l'unica possibilità, a causa della carenza di dati strumentali (come nel caso dei metalli). Nel campo del monitoraggio ambientale tramite licheni sono state proposte diverse scale di interpretazione dei dati biologici: esse mostrano la magnitudo di eventuali deviazioni da situazioni normali permettendo una valutazione in termini di qualità ambientale (Nimis 1999a, b; Nimis & Bargagli 1999, Nimis et al. 1999, Loppi et al. 2002, Brunialti & Giordani 2002; Castello & Skert 2005). I valori estremi di queste scale sono i più importanti ai fini applicativi, rispettivamente per la conservazione ed il ripristino dell'ambiente.

2.4 Biomonitoraggio ambientale tramite licheni

Diversi organismi sono usati come bioindicatori e/o bioaccumulatori negli studi della qualità dell'aria: piante superiori, funghi, briofite, licheni. Per uno stato dell'arte ed una sintesi si rimanda alle *reviews* e monografie di Ferry et al. (1973), Manning & Feder (1980), Steubing & Jaeger (1982), Nimis (1990), Markert (1993), Lorenzini & Soldatini (1995), Bargagli (1998), Piccini & Salvati (1999).

I licheni sono organismi simbiotici, derivanti dall'associazione di un fungo e di un'alga fotosintetizzante, e sono tra gli organismi viventi più impiegati negli studi di biomonitoraggio dell'inquinamento atmosferico in quanto le loro caratteristiche morfo-anatomiche, fisiologiche ed ecologiche li rende particolarmente adatti a tale tipo di indagini.

I primi studi sulla sensibilità dei licheni all'inquinamento atmosferico risalgono al secolo scorso (Nylander 1866), ma solo da alcuni decenni questi organismi sono stati utilizzati come biomonitori su larga scala, grazie anche alla disponibilità di misure

dirette dell'inquinamento, indispensabili per verificare le relazioni tra concentrazione atmosferica di sostanze dannose e risposta biologica. Attualmente l'utilizzo dei licheni come bioindicatori e bioaccumulatori è diffuso in quasi tutte le principali città dell'Europa centro-settentrionale e in molti paesi tale tecnica è ormai diventata un'attività di routine. Dal 1987 sono stati realizzati centinaia di studi basati su questa metodica, consentendo di compiere un importante passo verso la standardizzazione delle metodiche sia in Germania (VDI Guideline; VDI, 1995) che in Italia (Nimis, 1999). Recentemente un gruppo di Autori (Asta et al., 2002) ha proposto una metodica di biomonitoraggio uniformata ed unica per l'Europa, che è stata adottata dall'APAT (ANPA, 2001).

Negli ultimi vent'anni anche in Italia si è andato sempre più affermando l'uso dei licheni come bioindicatori e/o bioaccumulatori dei contaminanti atmosferici. Le numerose indagini realizzate sinora riguardano centri urbani, territori comunali e provinciali, zone di interesse naturalistico e aree con presenza di attività antropiche di diverso tipo: Udine (Nimis 1986), Roma (Nimis & Tretiach 1987), regione Veneto (Nimis et al. 1989, 1991, 2000, Cislaghi & Nimis 1997), Macerata (Gasparo et al. 1989), Montalto di Castro (Nimis ined.), La Spezia (Nimis et al. 1990, 1993), Pescara (Recchia et al. 1993), Savona (Castello et al. 1994), Trieste (Castello et al. 1995), Treviso (Nimis et al. 1996), regione Friuli-Venezia Giulia (Nimis et al. 1999), Gorizia (Nimis et al. 2001), Trieste (Miani et al. 2003) ecc. Per uno stato dell'arte relativo all'Italia completo ed aggiornato al 1998 si veda Piervittori (1999) e Loppi (1999).

2.5 Licheni come bioindicatori

I licheni, in particolare quelli epifiti, sono in grado di fornire informazioni sull'inquinamento atmosferico in quanto il loro metabolismo dipende essenzialmente dall'atmosfera.

Le principali caratteristiche che fanno dei licheni degli ottimi bioindicatori ambientali sono:

1. *Elevata capacità di assorbimento e di accumulo di sostanze prelevate dall'atmosfera.* A causa della mancanza di un apparato radicale il metabolismo del lichene dipende dalle deposizioni secche ed umide dell'atmosfera; a causa della mancanza di aperture stomatiche e di cuticola, i licheni attuano gli scambi gassosi attraverso tutta la loro superficie, assorbendo gli elementi nutritivi e i contaminanti atmosferici sotto forma gassosa, in soluzione e associati al particolato. Queste caratteristiche spiegano perché i licheni siano tra i primi organismi a risentire della presenza di sostanze fitotossiche e riescano ad accumulare a livelli facilmente apprezzabili quei contaminanti atmosferici persistenti (metalli, radionuclidi, idrocarburi clorurati, fluoruri, ecc.) difficilmente misurabili in campioni di aria.

2. *Resistenza agli stress ambientali.* I licheni sono fotosinteticamente attivi solo in condizioni di idratazione, che dipende in massima parte dal tasso di umidità atmosferica, ma in situazioni di stress idrico essi rallentano le attività metaboliche per cui aumenta la loro resistenza ai contaminanti atmosferici. La resistenza a basse temperature permette un'attività continua, durante tutto l'anno; per questo i licheni possono subire danni anche durante il periodo invernale, quando i livelli di inquinamento atmosferico sono generalmente più elevati (Farrar 1973).

3. *Impossibilità di liberarsi periodicamente delle parti vecchie o intossicate.* I licheni non hanno la possibilità di liberarsi delle sostanze contaminanti accumulate nel tallo tramite meccanismi di escrezione attiva, come avviene nelle piante superiori.

4. *Sensibilità diversa agli inquinanti.* Le singole specie licheniche presentano diversi gradi di tolleranza rispetto alle sostanze inquinanti. Talvolta i licheni possono contenere concentrazioni elevate di contaminanti senza mostrare danni fisiologici o morfologici; ciò è dovuto al fatto che molti contaminanti non sono tossici per i licheni o per particolari specie licheniche, oppure si trovano in forma particellata ed insolubile negli spazi intercellulari della medulla.

I principali tipi di risposta a situazioni di inquinamento si possono manifestare a tre livelli distinti:

a) *fisiologico*: una generale riduzione dell'attività della fotosintesi e respirazione cellulare è stata dimostrata, sulla base di esperimenti di fumigazione ed esposizione controllata, per anidride solforosa, ossidi di azoto, ozono, fluoruri, idrocarburi, nitrato di peracetile, piombo, cadmio, zinco. Studi ecologici condotti in campo e ricerche di laboratorio hanno dimostrato che l'anidride solforosa è il principale inquinante che interessa i licheni su larga scala. I processi più colpiti sono la fotosintesi, a causa di un danneggiamento della clorofilla delle cellule algali, la respirazione e il flusso dei nutrienti sotto forma di carboidrati tra l'alga e il fungo.

b) *morfologico*: alterazione del colore e della forma del tallo, con scolorimento, comparsa di macchie marroni e di zone necrotiche e distacco di parti del tallo dal substrato. Avvicinandosi alle sorgenti inquinanti si assiste ad un progressivo peggioramento delle condizioni di vitalità del lichene e a modificazioni dei talli.

c) *ecologico*: generale diminuzione della copertura di specie ed alterazione delle comunità licheniche. In zone fortemente antropizzate si registra spesso una modificazione della biodiversità delle comunità licheniche, legata alla diminuzione del numero di individui appartenenti a ciascuna specie e alla riduzione del numero totale di specie.

La biodiversità dei licheni epifiti è un eccellente indicatore dell'inquinamento prodotto da sostanze gassose fitotossiche, principalmente anidride solforosa ed ossidi

di azoto (Hawksworth & Rose 1970; Ferry et al. 1973; Cislaghi & Nimis 1997; Purvis 2000; van Dobben et al. 2001). I licheni rispondono con relativa velocità alla diminuzione della qualità dell'aria e possono ricolonizzare in pochi anni ambienti urbani e industriali qualora si verificano dei miglioramenti delle condizioni ambientali, come evidenziato in molte parti d'Europa (Rose & Hawksworth 1981, Seaward & Letrouit-Galinou 1991, Seaward 1996). I licheni sono anche sensibili ad altri tipi di alterazione ambientale: tra questi, l'eutrofizzazione rappresenta uno degli esempi più conosciuti (van Dobben & De Bakker 1996).

L'utilizzo dei licheni come bioindicatori si basa sulle modificazioni delle comunità licheniche sui tronchi degli alberi indotte dalla presenza di sostanze gassose ed in particolare di anidride solforosa. Importanti passi avanti nello sviluppo di una metodica riproducibile sono stati avviati a partire dalla metà degli anni sessanta.

De Sloover (1964), De Sloover & Le Blanc (1968), Le Blanc & De Sloover (1970) hanno tentato di quantificare l'informazione fornita dai bioindicatori introducendo un indice per valutare il livello di inquinamento atmosferico, basato sul numero, la frequenza e la tolleranza delle specie licheniche presenti in una data area (I.A.P. o Index of Atmospheric Purity):

$$I.A.P. = (n/100) \sum Q_i * f_i$$

Dove n = numero di specie presenti nel rilievo; Q = fattore di tossitolleranza; f = frequenza della specie i-esima.

La tappa successiva è stata quella, raggiunta da un'equipe di studiosi svizzeri coordinati da K. Ammann (Herzig et al. 1987, Liebendorfer et al. 1988) di introdurre una modifica al criterio di calcolo dell'indice di I.A.P. ($I.A.P. = \sum f$), basandolo sulla semplice somma delle frequenze di tutte le specie ($\sum f$) presenti all'interno di un reticolo di rilevamento a dimensioni variabili composto di 10 unità, posizionato sul tronco di un certo numero di alberi della stessa specie, ad una determinata altezza dal suolo, in corrispondenza del punto di massima densità lichenica, indipendentemente dall'esposizione.

La metodologia svizzera è stata introdotta in Italia con alcuni adeguamenti e saggiata in un'area della provincia di Vicenza, Schio-Thiene-Breganze (Nimis et al. 1992). La principale modificazione consisteva nell'utilizzo di un reticolo a maglie di dimensioni fisse (30x50 cm), suddiviso in 10 rettangoli, che permetteva di considerare la misura delle frequenze licheniche come una vera e propria misura di biodiversità, inizialmente indicata come I.A.P. (Index of Atmospheric Purity), e successivamente come I.B.L. (Indice di Biodiversità Lichenica, v. Badin & Nimis 1996) per abbandonare il riferimento a non ben specificati livelli di "purezza dell'aria". Il protocollo sperimentale per la bioindicazione mediante questa metodica di rilevamento, comprensivo delle strategie da adottare nella scelta delle stazioni è stato proposto da Nimis (1999b) e sperimentato nel corso di diverse campagne di

biomonitoraggio promosse dall'ANPA e da diverse ARPA, sia a scala comunale e provinciale sia a scala regionale.

I limiti applicativi e teorici di tale protocollo sono stati individuati nella soggettività insita in alcune fasi del metodo; in particolare i principali problemi sono la strategia di campionamento adottata, la scelta dei forofiti da campionare e il posizionamento del reticolo sul tronco.

Nel corso di un incontro fra gli operatori del settore, svoltosi a Roma (novembre 2000), con lo scopo di formare un gruppo di lavoro per procedere alla stesura di un metodo di biomonitoraggio mediante licheni uniformato, è stato proposto un nuovo metodo di analisi della biodiversità lichenica, basato sull'utilizzo di un reticolo di campionamento costituito da quattro subunità da posizionare in corrispondenza dei punti cardinali (Asta et al. 2002). In questo modo viene superato il problema della soggettività nell'individuazione della massima densità lichenica, in corrispondenza della quale era posizionato il reticolo di campionamento secondo le linee guida ANPA (Nimis 1999b). In Italia la metodica di rilevamento è stata adottata dall'APAT e pubblicata nel manuale operativo "I.B.L. Indice di Biodiversità Lichenica" (ANPA 2001). Il manuale si differenzia dalle linee guida proposte da Asta per la strategia di campionamento delle stazioni, che nel nostro caso segue la procedura proposta da Ferretti (Ferretti et al. 2000).

3. AREA DI STUDIO

3.1 Inquadramento geografico

L'area di studio è interamente compresa nel Comune di Udine per un'estensione di 56,65 km². Il comune è situato a una quota media di 110 metri s.l.m., al centro di una pianura alluvionale. Oltre alla città di Udine, che è il Capoluogo della omonima Provincia, il Comune conta le seguenti località e frazioni: Baldasseria Bassa, Beivars, Cormor Alto, Cormor Basso, Cussignacco, Godia, Laipacco, Rizzi, San Gottardo. La popolazione residente conta 96.758 persone, con una densità di 1677 abitanti per Km².

Udine, posta in posizione strategica presso l'intersezione delle direttrici europee est-ovest (Corridoio 5) e nord-sud (Via Iulia Augusta), sulla via che porta verso l'Austria e verso l'est europeo, riveste un ruolo importante come nodo ferroviario e stradale. In seno alla sua posizione strategica, Udine ha sviluppato numerose attività commerciali e industriali quali sistemi della manifattura leggera, fabbricazione di prodotti in metallo, il mobilio, l'abbigliamento, il cuoio, le calzature, prodotti alimentari. Al 2002 si contano 53.761 occupati in queste attività, contro i 6701 impiegati in attività legate alla agricoltura, selvicoltura e pesca.

In generale Udine si presenta come un Comune a medio-alto grado di antropizzazione, sviluppando un tessuto urbano piuttosto omogeneo e relativamente lasso. In esso si intercalano, oltre alle attività produttive precedentemente accennate, aree verdi più o meno attrezzate, piccoli incolti e arativi che spezzano la continuità urbana e produttiva tra il Capoluogo e le località limitrofe.

In Fig. 1 è riportata la localizzazione delle 25 stazioni di campionamento in cui è stata eseguita l'analisi della Biodiversità Lichenica.

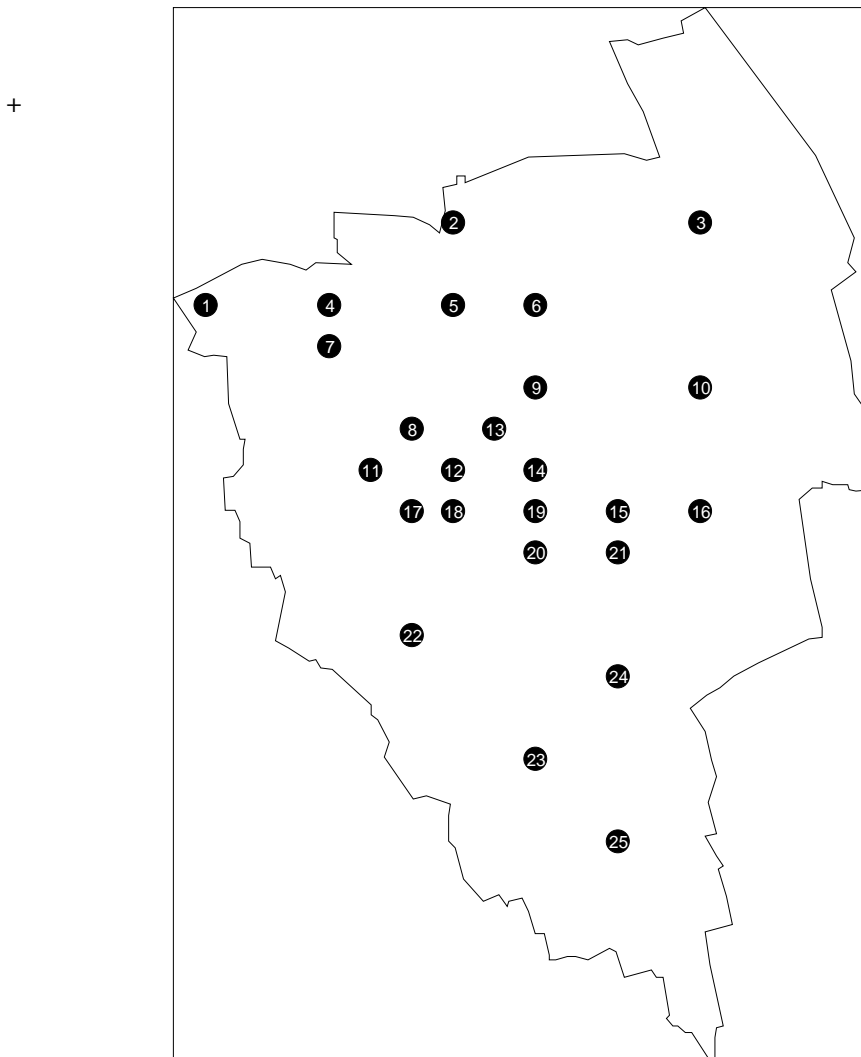


Fig. 1. Localizzazione delle stazioni di campionamento della Biodiversità Lichenica (UCP) nel Comune di Udine

3.2 Caratteristiche climatiche

Dal punto di vista climatico l'area di studio si caratterizza per un clima di transizione tra il tipo mediterraneo e quello continentale – prealpino, caratterizzato da inverni piovosi, da estati relativamente secche e da un'estrema fugacità delle stagioni di trapasso (primavera – autunno).

I dati climatici di seguito riportati sono stati forniti dall'Osservatorio Meteorologico Regionale dell'ARPA FVG. Questi dati hanno chiavi di lettura diverse. Infatti se da un lato la temperatura, le precipitazioni e l'umidità relativa influiscono notevolmente la composizione della flora lichenica, i venti sono invece determinanti per quanto riguarda la diffusione degli inquinanti e lo studio dei loro

effetti sugli organismi bioindicatori. La Fig. 2 riporta il diagramma climatico della stazione OSMER di Udine. Esso consente di mettere in evidenza un eventuale periodo di siccità estiva rilevante per la vegetazione. Il diagramma evidenzia due picchi di piovosità, a maggio e a settembre, corrispondenti a due periodi stagionali (inizio primavera ed autunno). Le temperature seguono un andamento annuale più regolare, facendo segnare un progressivo aumento dei valori medi durante la stagione primaverile, per toccare i valori massimi in agosto, coincidente con il minimo stagionale di piovosità. Il valore medio dell'umidità relativa nel triennio in esame è stata del 69,0 %.

Le Fig. 3 e Fig. 4 si riferiscono alle velocità medie del vento a 10 m dal suolo e le frequenze prevalenti del regime di venti per il triennio considerato. Si evidenzia una predominanza dei venti da NE, seppur di intensità piuttosto moderata (2,3 m/s). I venti che spirano con maggiore veemenza, ad una velocità media di 3 m/s, provengono da E e raggiungono il loro massimo grado di intensità nel periodo autunnale e invernale.

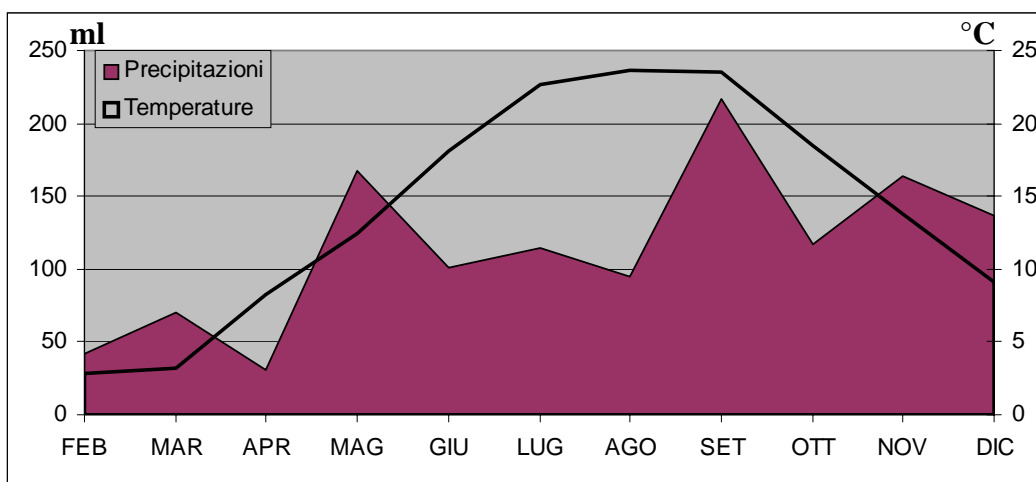


Figura . 2 Diagrammi climatici del triennio 2003-2005. Stazione meteorologica di Udine (centro)

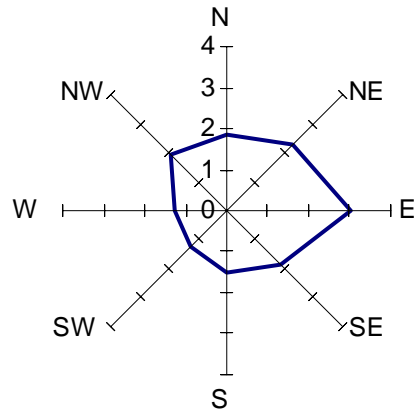


Fig. 3. Velocità medie del vento a 10 m dal suolo nel triennio 2003-2005. Stazione meteorologica di Udine (centro).

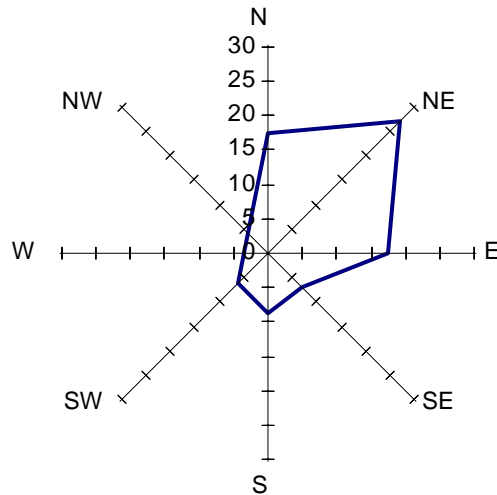


Fig. 4 Frequenze prevalenti del regime di venti nel treennio 2003-2005. Stazione meteorologica di Udine (centro)

4. MATERIALI E METODI

Lo studio di bioindicazione si basa sulla valutazione della biodiversità lichenica, intesa come somma delle frequenze di tutte le specie licheniche presenti all'interno di un particolare reticolo di rilevamento posizionato sui tronchi degli alberi. Il valore di biodiversità lichenica così ottenuto viene interpretato in termini di alterazione ambientale, ovvero di deviazione da condizioni ritenute naturali.

Il questo studio è stata utilizzata la metodica di campionamento e di rilevamento ufficialmente adottata dall'APAT (ANPA, 2001). I dati di diversità lichenica ottenuti con questa metodica sono indicati come valori di *BL* (*Biodiversità Lichenica*). La nomenclatura delle specie licheniche segue Nimis & Martellos (ITALIC, 2005).

4.1 Stazioni di campionamento

Per lo studio di bioindicazione tramite licheni sono state individuate 25 stazioni di campionamento; la loro distribuzione nell'area di studio è mostrata in Fig. 1. La localizzazione delle stazioni è avvenuta attraverso un campionamento di tipo prevalentemente sistematico, seguendo la metodica ANPA (2001). Essa prevede la progettazione di reti locali in base alla Rete Nazionale di biomonitoraggio, costruita su una griglia geografica a maglie di 18 km di lato. Per studi che richiedono una maggiore densità di campionamento si utilizza un passo di griglia sottomultiplo di 18. Per il presente studio si è applicato un reticolo geografico con maglia di 1 km.

Il sistema di campionamento si basa su un insieme di stazioni di campionamento, ovvero celle territoriali definite UCP (Unità di Campionamento Primarie), centrate nei punti di intersezione della griglia geografica, e di UCS (Unità di Campionamento Secondarie), le quali costituiscono un sottocampione di ciascuna UCP. Le Unità di Campionamento Primarie sono porzioni di territorio quadrate, con lato lungo 1 km, all'interno delle quali, seguendo procedure standard, vanno individuate le UCS, consistenti in aree circolari di 250 m di diametro disposte nei quadranti in cui è divisa l'UCP, come rappresentato in fig. 5. Per studi di maggiore dettaglio, come nel presente caso, è possibile ridurre le UCP a 500 metri. Gli alberi per il rilevamento della Biodiversità Lichenica. in ciascuna UCP vengono selezionati all'interno delle UCS, in numero di 3 per ognuna delle 4 UCS più vicine al centro dell'UCP. Se in una UCS non si rinviene almeno un forofita rilevabile, questa viene sostituita con un'altra UCS nella sequenza indicata in fig. 5.

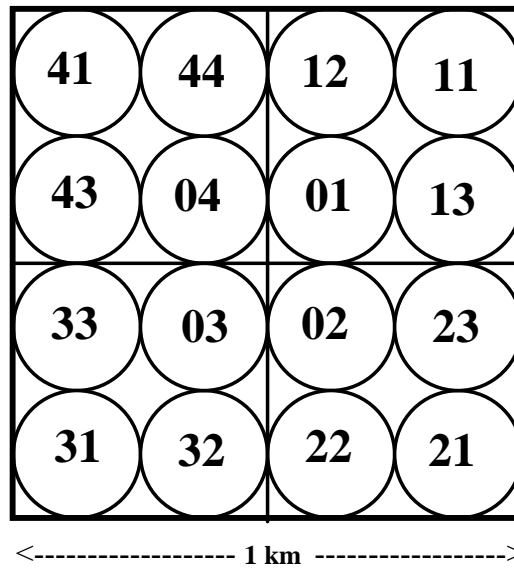


Fig. 5 UCS possibili in una UCP e schema di sostituzione

Per ogni UCP il rilevamento deve essere eseguito su un numero di alberi non inferiore a 3. Se una UCP non soddisfa tali condizioni, viene a sua volta sostituita con una adiacente nell'ordine indicato in fig. 6. Non appena si incontrano le condizioni di rilevabilità, la cella può venire utilizzata come nuova UCP. Se ciò non risultasse possibile in nessuna cella, la cella territoriale risulterà non campionabile e non avrà nessuna attribuzione diretta di BL.

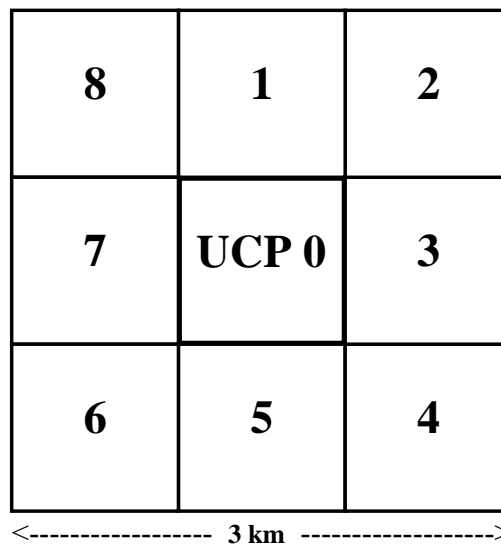


Fig. 6 Schema di sostituzione di una UCP

Nel presente studio sono state utilizzate UCP di 500 m di lato. Per ciascuna UCP è stata redatta una scheda monografica che riporta:

- a) localizzazione della UCP su carta a 1:10.000;
- b) ortofoto;
- c) periodo di campionamento;
- d) dati stazionali: località, coordinate geografiche nel sistema UTM (fuso 32 Nord WGS 84), descrizione del sito.

Per ogni UCS rilevata all'interno della UCP una scheda monografica che riporta:

- a) localizzazione di ogni UCS e forofiti rilevati su ortofoto 1:5000;
- b) data di campionamento;
- c) dati stazionali come al punto d) della UCP;
- d) coordinate geografiche e fotografia degli alberi rilevati;
- e) dati dei rilievi di BL effettuati: tipo di albero, circonferenza del tronco, esposizione, lista delle specie e loro frequenza, valori di BL dei rilievi, dei punti cardinali e della stazione.

4.2 Scelta degli alberi da campionare

Gli alberi prescelti per il rilevamento della biodiversità lichenica devono soddisfare i seguenti requisiti:

1. inclinazione dell'asse del tronco non superiore ai 10° rispetto alla normale al suolo, per eliminare variazioni microclimatiche ed eccessiva eutrofizzazione (accumulo di nutrienti) dovute a zone di scolo preferenziale dell'acqua;
2. circonferenza del tronco superiore a 60 cm, per evitare situazioni con flora lichenica pioniera, visto che alberi giovani possono presentare condizioni ecologiche diverse rispetto ad individui adulti;
3. assenza di fenomeni evidenti di disturbo quali verniciature, patologie della pianta, applicazioni di anticrittogamici, ecc.;
4. localizzazione degli alberi in posizioni aperte, evitando aree troppo ombreggiate: sono stati esclusi alberi all'interno di formazioni boschive chiuse, in cui la carenza di luce può determinare alterazioni delle comunità licheniche. Le aree forestali sono campionabili, escludendo però alberi in vegetazione boschiva chiusa, e scegliendo quelli siti in radure, margini di formazioni forestali, e margini di strade.

Considerati quali forofiti, gli alberi si ripartiscono in tre gruppi, distinti in primo luogo dal pH della scorza, ma anche da altri parametri (ritenzione idrica, durezza, tipo di scorza, ecc.), come segue.

Gruppo 1) pH neutro-basico: *Acer platanoides*, *Ceratonia siliqua*, *Ficus carica*, *Fraxinus excelsior*, *Fraxinus ornus*, *Juglans spp.*, *Populus x canadensis*, *Sambucus nigra*, *Ulmus spp.*, ecc.

Gruppo 2) pH subacido: *Acer pseudoplatanus*, *Fagus sylvatica*, *Olea europea*, *Quercus cerris*, *Quercus ilex*, *Quercus petraea*, *Quercus pubescens*, *Tilia cordata*, *Tilia platyphyllos*, ecc.

Gruppo 3) pH acido: *Betulla spp.*, tutte le conifere.

A fini di monitoraggio possono essere utilizzate solo specie dei gruppi 1) e 2), escludendo alberi con scorza facilmente esfoliabile (es. *Aesculus*, *Platanus*); si sconsiglia l'uso di *Sambucus* e *Robinia pseudoacacia*, con elevata capacità idrica della scorza, e di specie di *Celtis* e *Populus alba*, che mantengono a lungo una scorza liscia scarsamente colonizzabile da licheni; l'utilizzo di *Fagus* è permesso soltanto nella fascia montana e ai di fuori dei centri urbani.

Per ottenere risultati comparabili ed omogenei, preferibilmente va utilizzata una sola specie d'albero. Quando questo non sia possibile, si può ricorrere ad altre specie nell'ambito dello stesso gruppo. E' preferibile utilizzare alberi del gruppo 2, ed in particolare *Tilia*.

4.3 Metodica di rilevamento

Il rilevamento delle comunità licheniche di ogni albero viene effettuato utilizzando un reticolo di campionamento costituito da quattro elementi rettangolari, ciascuno formato da una serie lineare di cinque quadrati di 10x10 cm, che sono disposti verticalmente sul tronco in corrispondenza dei quattro punti cardinali (figura 7). La parte inferiore di ciascun elemento è disposto ad un metro dalla superficie del suolo. Una rotazione di 20° in senso orario è ammessa per poter eliminare eventuali parti del tronco non idonee ad essere campionate.

Nel posizionare i quattro elementi della griglia vanno evitate, anche se con forte copertura lichenica:

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

Vengono annotate tutte le specie licheniche (inclusi i licheni crostosi sterili) presenti all'interno di ciascuna unità di rilevamento e la loro frequenza, calcolata come numero di quadrati in cui ogni specie è presente; i valori di frequenza di ciascuna specie variano quindi tra 0 e 5.

Il valore di Biodiversità Lichenica (BL) della stazione di campionamento viene così calcolato:

1. sommare le frequenze delle specie rilevate nei 4 elementi di campionamento posti su ciascun albero della stazione (BL rilievo);
2. calcolare la media dei valori di BL rilevati nello stesso punto cardinale in tutti i forofiti della stazione, ottenendo i valori di BL dei 4 punti cardinali;
3. sommare i 4 valori di BL dei punti cardinali, ottenendo il valore di BL dell'UCP.

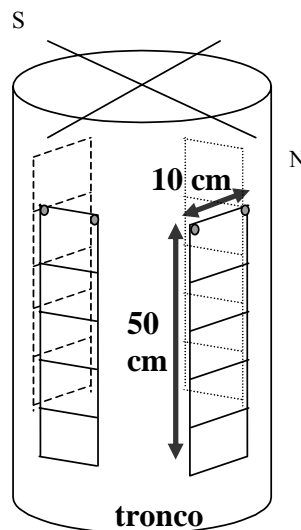


Fig. 7 Caratteristiche del reticolo di rilevamento

4.4 Elaborazioni statistiche

4.4.1 Analisi multivariata

L'individuazione delle principali comunità licheniche dell'area di studio fornisce utili informazioni sulle condizioni ecologiche prevalenti. Variazioni vegetazionali possono essere indotte da fenomeni di eutrofizzazione o inquinamento. A tal fine si sottopone la matrice dei dati delle specie nelle stazioni ad analisi multivariata tramite classificazione numerica. Questa è stata realizzata in base a dati di frequenza utilizzando come misura di somiglianza la *Distanza Euclidea* e come algoritmo di clustering il *Metodo di Ward*. In questo modo dalla matrice sono stati ottenuti il dendrogramma delle specie, che individua gruppi di specie con ecologia simile nell'area di studio, ed il dendrogramma delle stazioni, che individua gruppi di stazioni floristicamente simili.

Per le elaborazioni sono stati utilizzati i programmi del Package STAT 6.0 (STAT Italia S.r.L.).

4.4.2 Cartografia

Tutte le elaborazioni cartografiche (calcolo e resa grafica) sono state effettuate con il package di programmi SURFER 6.0 per Windows (Golden Software Inc.), che comprende software per la cartografia bi- e tridimensionale. Il metodo di interpolazione utilizzato per creare una maglia regolare di punti interpolati a partire da punti (le stazioni di campionamento) disposti irregolarmente nell'area di studio è quello dell'Inverso della Distanza, basato sui valori di Biodiversità Lichenica nelle sette stazioni più vicine al punto considerato. L'influenza di un dato punto sugli altri è inversamente proporzionale alle loro distanze. Il risultato è un reticolo regolare sovrapposto all'area considerata, in base al quale vengono successivamente elaborate le carte, in cui possono venire messe in evidenza fasce di diverso significato, caratterizzate da retinature distinte. Le carte sono basate su una griglia di interpolazione con maglie di 100 m di lato.

5. RISULTATI

In totale sono stati eseguiti 356 rilevamenti su 89 forofiti, di cui 86 *Tilia sp* e 3 *Quercus sp*, con una media di 3,6 alberi per UCP.

Segue un'analisi dettagliata dei dati rilevati.

5.1 Analisi della flora lichenica

In totale nell'area di studio sono state rinvenute 35 specie di licheni epifiti, un numero piuttosto basso se paragonato ad analoghi studi svolti in Regione. In Provincia di Trieste sono state rinvenute 69 specie (Skert et al. 2006****), in Provincia di Gorizia 46 (Nimis et al., 2001), in uno studio transfrontaliero tra il Comune di Gorizia (ITA), Nova Gorica (SLO) e Sempeter Vrtojba (SLO) 49 (Skert, 2003). In uno studio svolto da Nimis nel 1986 nel Comune di Udine erano state rilevate 52 specie (Nimis 1986). Il motivo di questa maggiore ricchezza è imputabile esclusivamente alle diverse metodiche di rilevamento adottate. Lo studio di Nimis era focalizzato sulla individuazione della biodiversità lichenica epifita totale su tutti i forofiti. Lo studio di cui il presente testo non comprende ovviamente tutti i licheni epifiti dell'area di studio, poiché la metodica standardizzata di rilevamento esclude alcune nicchie ecologiche.

E' da sottolineare tuttavia che il numero di specie individuato in questa ricerca è relativamente elevato se paragonato sia alle piccole dimensioni del territorio di studio che al suo grado di antropizzazione. L'area è da un punto di vista ecologico omogenea, sostanzialmente occupata dal tessuto urbano di Udine e da un territorio periferico a distribuzione urbana lassa, omogeneamente diffusa, ad industrializzazione moderata.

In Tab. 1 sono riportate le caratteristiche biologiche delle specie ricavate da: "ITALIC. The Information System on Italian Lichens" (Nimis & Martellos 2005). Le informazioni riguardano il tipo di fotobionte, forma di crescita e strategia riproduttiva. La legenda delle abbreviazioni è disponibile in Tab. 2, in cui sono calcolate le percentuali riferite al numero di specie appartenenti alle categorie di Tab. 1. Il 45,5 % è rappresentato da licheni crostosi, il 51,5 % da licheni fogliosi, di cui più della metà a lobi stretti, il 3% da squamulosi. Tutte le specie hanno come simbionti alghe verdi, tranne *Arthonia radiata*, *Graphis scripta* e *Opegrapha atra* il cui simbionte è del genere *Trentepohlia*. Il 42,4% delle specie ha riproduzione asessuata tramite soredi, il 6,1% tramite isidi, il 51,5% sessuata.

La Tab. 3 riporta i valori di frequenza media delle 68 specie nelle 31 stazioni di campionamento. Nella seconda colonna sono riportate le frequenze percentuali delle specie calcolate sui 356 rilievi vegetazionali. Solo 4 specie hanno frequenza

superiore al 20 % (*Candelara concolor*, *Hyperphyscia adglutinata*, *Phaeophyscia chloantha*, *Phaeophyscia orbicularis*).

Specie	Fo	F.cr	Ri
<i>Amandinea punctata</i>	Ch	Cr	S
<i>Arthonia radiata</i>	Tr	Cr	S
<i>Candelaria concolor</i>	Ch	Fol.n	A.s
<i>Candelariella reflexa</i>	Ch	Cr	A.s
<i>Candelariella xanthostigma</i>	Ch	Cr	S
<i>Flavoparmelia caperata</i>	Ch	Fol.b	A.s
<i>Hyperphyscia adglutinata</i>	Ch	Fol.n	A.s
<i>Graphis scripta</i>	Tr	Cr	S
<i>Lecanora allophana</i>	Ch	Cr	S
<i>Lecanora carpinea</i>	Ch	Cr	S
<i>Lecanora chlarotera</i>	Ch	Cr	S
<i>Lecanora pulicaris</i>	Ch	Cr	S
<i>Lecanora strobilina</i>	Ch	Cr	S
<i>Lecidella elaeochroma</i>	Ch	Cr	S
<i>Melanelia glabra</i>	Ch	Cr	S
<i>Normandina pulchella</i>	Ch	Sq	A.s
<i>Opegrapha atra</i>	Tr	Cr	S
<i>Parmelia sulcata</i>	Ch	Fol.b	A.s
<i>Parmelia quercina</i>	Ch	Fol.b	S
<i>Parmelina tiliacea</i>	Ch	Fol.b	A.i
<i>Pertusaria amara</i>	Ch	Fol.b	A.i
<i>Pertusaria leioplaca</i>	Ch	Cr	S
<i>Phaeophyscia chloantha</i>	Ch	Fol.n	A.s
<i>Phaeophyscia hirsuta</i>	Ch	Fol.n	A.s
<i>Phaeophyscia orbicularis</i>	Ch	Fol.b	S
<i>Physcia adscendens</i>	Ch	Fol.n	A.s
<i>Physcia aipolia</i>	Ch	Fol.n	A.s
<i>Physcia biziana</i>	Ch	Fol.n	S
<i>Physcia poeltii</i>	Ch	Fol.n	S
<i>Physcia tenella</i>	Ch	Fol.n	A.s
<i>Physconia grisea</i>	Ch	Fol.n	A.s
<i>Punctelia borreri</i>	Ch	Fol.b	A.s
<i>Punctelia subrudecta</i>	Ch	Fol.b	A.s
<i>Rinodina pyrina</i>	Ch	Cr	S
<i>Xanthoria parietina</i>	Ch	Fol.b	S

Tab. 1 Caratteristiche biologiche della florula rilevata nell'area di studio. In tabella sono riportate il tipo di fotobionte (Fo), la forma di crescita (F. cr), la strategia riproduttiva (Ri), la rarità (Ra) relativa alla fascia fitoclimatica in cui ricade l'area di studio. Per le abbreviazioni vedere Tab. 2.

A)		
FO	N	%
Ch	32	91.4
Cy.h	0	0.0
Tr	3	8.6
Tot	35	100
B)		
F. cr	n	%
Cr	15	42.9
Fol.n	10	28.6
Fol.b	9	25.7
Frut	0	0.0
Lepr	0	0.0
Sq	1	2.9
Tot	35	100
C)		
Ri	n	%
A.s	14	40.0
A.i	2	5.7
S	19	54.3
Tot	35	100

A) Ch: alghe verdi diverse da *Trentepohlia*
Cy.h: cianobatteri
Tr: *Trentepohlia*

B) Cr: tallo crostoso
Fol.n: tallo folioso a lobi stretti
Fol.b: tallo folioso a lobi larghi
Frut: tallo fruticoso
Lepr: tallo leproso
Sq: tallo squamuloso

C) A.s: asessuale con soreli
A.i: asessuale con isidi
S: sessuale

**Tab. 2 Spettri biologici della florula lichenica dell'area di studio: A) fotobionte (Fo), B) forma di crescita (F.cr.), C) strategia riproduttiva (Ri).
Le percentuali si riferiscono al numero di specie appartenenti alle rispettive categorie**

5.2 Distribuzione delle 6 specie più frequenti

Si descrive la distribuzione delle 6 specie più frequenti nel territorio studiato, ovvero (in ordine decrescente di frequenza) *Candelaria concolor*, *Hyperphyscia agglutinata*, *Phaeophyscia orbicularis*, *Phaeophyscia chloantha*, *Physcia adscendens* e *Lecidella elaeochroma*.

In Fig. 8 si riporta la distribuzione di frequenza di *Candelaria concolor*, *Hyperphyscia agglutinata* e *Phaeophyscia orbicularis*, tipiche delle sinusie dello *Xanthorion*. Sono specie molto comuni, ad ampia valenza ecologica, tossitolleranti e prediligono substrati eutrofici, spingendosi sino al limite delle zone di deserto lichenico. Nell'area di studio presentano una distribuzione omogenea su quasi tutto il territorio, spingendosi sino al centro dell'agglomerato urbano di Udine, dove sono stati registrati i più bassi valori di biodiversità lichenica.

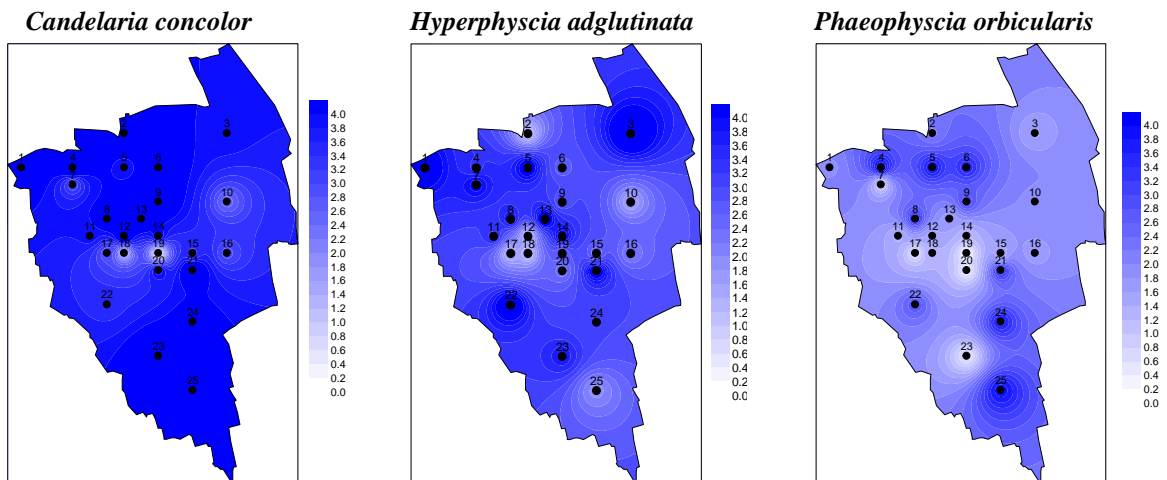


Fig. 8 Distribuzione di frequenza di *Candelaria concolor*, *Hyperphyscia adglutinata* e *Phaeophyscia adglutinata* nell'area di studio

In Fig. 9 sono raggruppate *Phaeophyscia chloantha*, *Physcia adscendens* e *Lecidella elaeochroma*. Sono specie che generalmente prediligono fenomeni più moderati di eutrofizzazione e inquinamento rispetto alle specie precedenti. Tranne *L. elaeochroma*, sono specie tipiche delle sinusie di *Xanthorion*. La loro distribuzione è molto più bassa rispetto alle specie di Fig. 8. La distribuzione di *Phaeophyscia chloantha* è pressoché speculare a quella di *Physcia adscendens* e *Lecidella elaeochroma*.

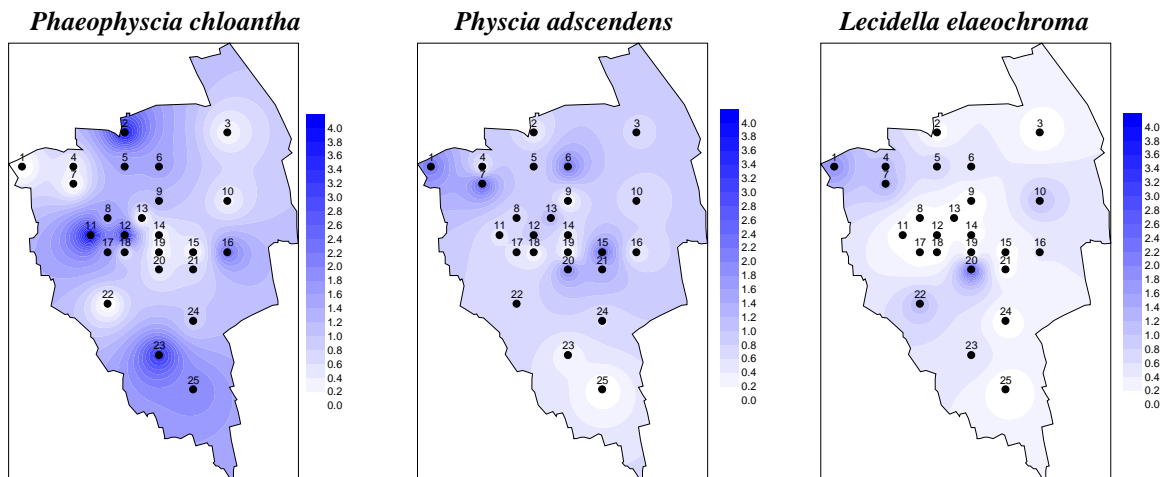


Fig. 9 Distribuzione di frequenza di *Phaeophyscia chloantha*, *Physcia adscendens*, *Lecidella elaeochroma* nell'area di studio

5.3 Analisi della biodiversità lichenica delle stazioni

5.3.1 Analisi multivariata

La matrice delle frequenze medie delle 35 specie nelle 25 stazioni è stata sottoposta ad analisi multivariata (classificazione) per individuare le principali componenti vegetazionali e i principali gradienti di variazione floristica ed ecologica. I risultati sono riportati nei paragrafi successivi.

5.3.1.1 Classificazioni

La classificazione delle specie ha prodotto il dendrogramma di Fig. 10, quello delle stazioni il dendrogramma di Fig. 11. La tabella delle stazioni e delle specie ordinata secondo i risultati della classificazione è riportata in Tab. 4.

Il dendrogramma delle specie evidenzia 4 gruppi principali (Fig. 10), caratterizzati come segue.

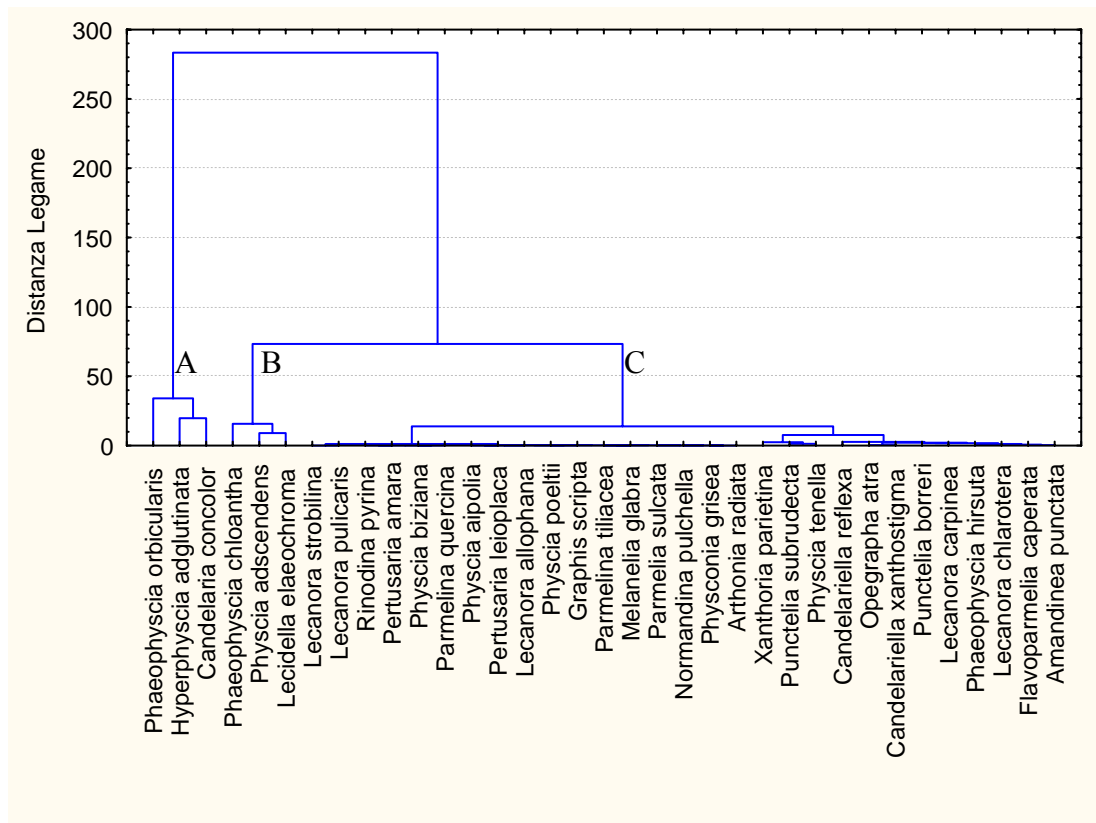


Fig. 10 Dendrogramma delle specie; si individuano 3 gruppi principali di specie, contrassegnati dalle lettere A, B, C.

Gruppo A. Raggruppa le 3 specie più diffuse nell'area di studio: *C. concolor*, *H. adglutinata*, *P. orbicularis*. Appartengono tutte alla comunità dello *Xanthorion*, l'elemento lichenico più diffuso in zone fortemente antropizzate di tutta Europa. Colonizzano alberi isolati, a scorza neutrobasica, eutrofizzata, in piena luce, e sono in grado di sopportare lunghi periodi di aridità. Questi licheni sono tra i più resistenti ai fenomeni di inquinamento da gas fitotossici, e molti di essi sono in grado di spingersi sino ai limiti del deserto lichenico all'interno di grossi centri urbani.

La loro diffusione nel Comune di Udine è pressoché ubiquitaria dal momento che sono state rinvenute in tutte le stazioni di campionamento.

Gruppo B. Raggruppa 3 specie. *P. adscendens* e *P. chloantha* sono specie sempre appartenenti alla comunità dello *Xanthorion* ma meno tolleranti fenomeni di eutrofizzazione e inquinamento rispetto alle specie del gruppo A. *L. elaeochroma* è una specie dall'ampia valenza ecologica seppur sensibile ai fenomeni di inquinamento. La sua frequenza diffusa, seppur bassa, (Tab. 4) indica l'assenza di forti pressioni antropiche.

Gruppo C. E' quello più numeroso e raggruppa 29 specie, generalmente le meno frequenti nell'area di studio. Il gruppo è rappresentato da specie afferenti al tipo vegetazionale dello *Xanthorion* (*C. reflexa*, *C. xanthostigma*, *P. tenella*, *P. borrieri*, *P. subrudecta*, *X. Parietina*), già precedentemente descritto. Ad esso si intercalano elementi del *Parmelion* (*F. caperata*, *N. pulchella*, *P. tiliacea*, *P. sulcata*), del *Graphidion*, (*O. radiata*, *P. amara*, *G. scripta*), del *Lecanorion* (*L. allophana*, *R. pyrina*). Il *Parmelion* è l'elemento mesofilo più diffuso nella vegetazione epifita della zona temperata, che si instaura su scorza acida o subacida, non particolarmente eutrofizzata, con prevalenza di luce diffusa, in siti a microclimi né particolarmente umidi né particolarmente secchi. La maggior parte delle specie di *Parmelion* sono sensibili ai fenomeni di inquinamento atmosferico. Le specie di *Graphidion* sono licheni crostosi pionieri che spesso precedono e si mescolano a specie di *Parmelion*. Prediligono boschi relativamente umidi e sono piuttosto rari in ambienti antropizzati. Le specie di *Lecanorion* appartengono alla comunità di licheni crostosi pionieri che spesso precedono e si mescolano a specie di *Xanthorion*, comunità, come vedremo in seguito, dominante nell'area di studio.

Come evidenziato in Tab. 4, i valori di frequenza dei gruppi A e B sono marcatamente maggiori rispetto al gruppo C. Questo evidenzia uno stato di disturbo della flora lichenica imputabile alle attività antropiche.

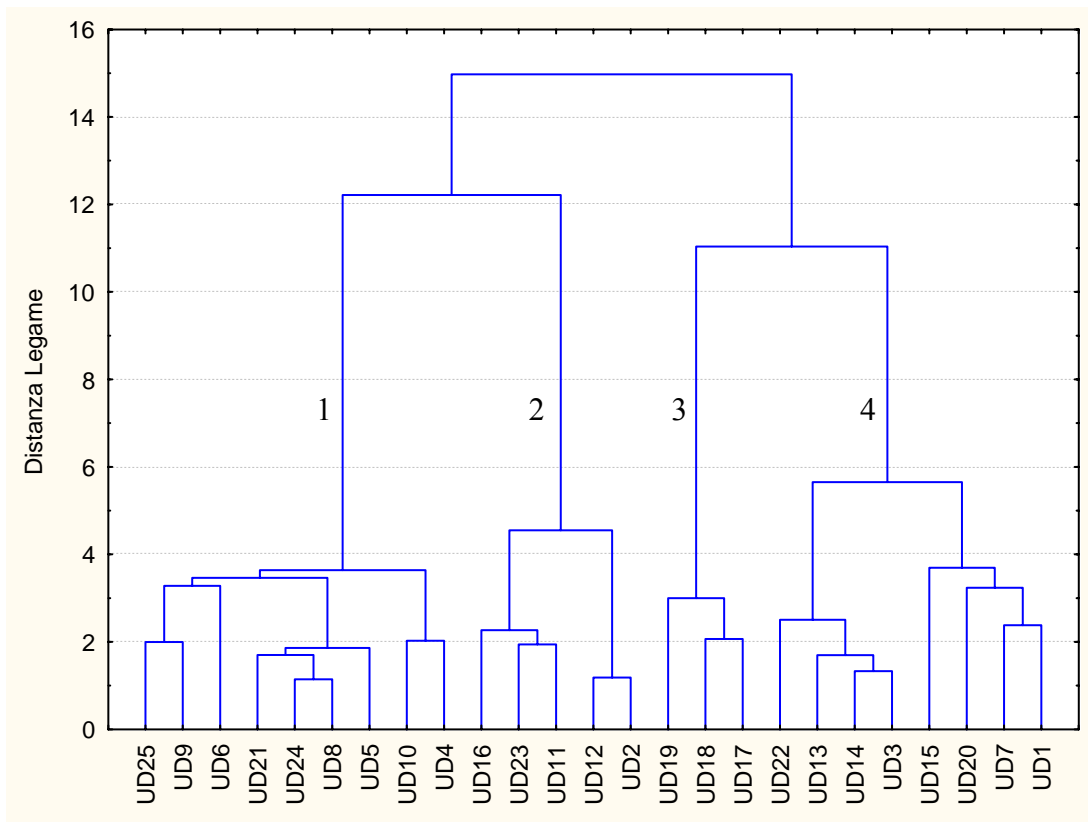


Fig. 11 Dendrogramma delle UCP; i numeri 1, 2, 3,4 indicano i 4 gruppi principali.

In Fig. 11 si riporta il dendrogramma risultante dalla classificazione numerica delle UCP. Si evidenziano 3 gruppi principali, la cui distribuzione nell'area di studio è riportata nella Fig. 13. I gruppi sono caratterizzati come segue.

Gruppo 1. Raggruppa 9 UCP. È il gruppo floristicamente più ricco dell'area di studio, caratterizzato da 28 specie con una frequenza di rilevamento rispetto al massimo teorico (tutte le specie in tutti i quadranti di rilevamento) del 8,98%. Il valore di BL medio è 62,8, con un minimo di 52,0 ed un massimo di 79,7 registrato presso il cimitero di Paderno (UCP UD3), corrispondente al valore più alto registrato in tutta l'area di studio. È dominato dalle specie tossitolleranti accorpate nel gruppo A della rispettiva classificazione numerica (Tab. 4), cui si intercalano elementi più sensibili all'inquinamento accorpate nel gruppo C. Queste stazioni sono localizzate nella porzione meridionale del Comune (UCP 21,24, 25), dove la pressione antropica è limitata da un tessuto urbano lasso, seppur la rete stradale sia piuttosto intensamente trafficata. Le rimanenti UCP (4, 5, 6, 8, 9, 10) sono localizzate principalmente nella porzione nord occidentale, dove le variabili antropiche della porzione meridionale invertono la loro intensità.

Gruppo 2. Raggruppa 5 UCP. È caratterizzato da 14 specie. La povertà floristica del gruppo è controbilanciata dalla notevole frequenza di rilevamento (8,10%). Il valore medio di Biodiversità Lichenica è 56,7, il valore minimo è 52,3, il massimo 64,0. Rispetto al gruppo precedente, diminuiscono le frequenze ed il numero di specie dei gruppi A, C e D, mentre aumentano quelle del gruppo B quali *Lecidella elaeochroma* e *Phaeophyscia chloantha*, specie generalmente più sensibili all'inquinamento atmosferico rispetto a quelle raggruppate nel dominante gruppo A.

Le UCP del gruppo presentano una distribuzione diffusa nell'area di studio, seppur si concentrino principalmente nella porzione centro-settentrionale.

Gruppo 3. Raggruppa 3 UCP. Sono caratterizzate dalla maggiore povertà floristica dal momento che contano solamente 9 specie con una frequenza di rilevamento del 2,78%. Il valore medio di BL è 17,4, con un massimo di 29,3 ed un minimo di 6,2. Da un punto di vista floristico rappresenta una variante fortemente impoverita delle stazioni del gruppo 2. Le specie rilevate individuano esclusivamente specie tossitolleranti della comunità dello *Xanthorion*, senza alcuna contaminazione di specie rare o comunque sensibili ai gas fitotossici o a fenomeni di eutrofizzazione pronunciati.

La loro distribuzione è lungo l'asse orizzontale centrale all'area di studio, in prossimità o lungo arterie cittadine di grande comunicazione.

Gruppo 4. Raggruppa 8 UCP. In esse sono state rinvenute 19 specie, la cui frequenza di rilevamento è pari a 7,5%. Il valore medio di BL è 52,4, con un minimo di 49,0 ed un massimo di 68,8. Alle specie dei gruppi A e B si intercalano, seppur a basse frequenze, specie di *Lecanorion* quali *L. carpinea*, *L. chlarothesa*, *L. allophana*, *R. pyrina*, specie colonizzatrici che suggeriscono un miglioramento della

qualità dell'aria negli ultimi anni nelle stazioni del gruppo, miglioramento che ha consentito una riconolizzazione delle scorze degli alberi altrimenti caratterizzate esclusivamente dalle specie più tolleranti della comunità dello Xanthorion.

Queste stazioni sono localizzate sia in periferia (1, 3, 7) sia in profondità nel tessuto urbano della città di Udine. La loro distribuzione suggerisce pertanto un miglioramento diffuso avvenuto negli ultimi anni.

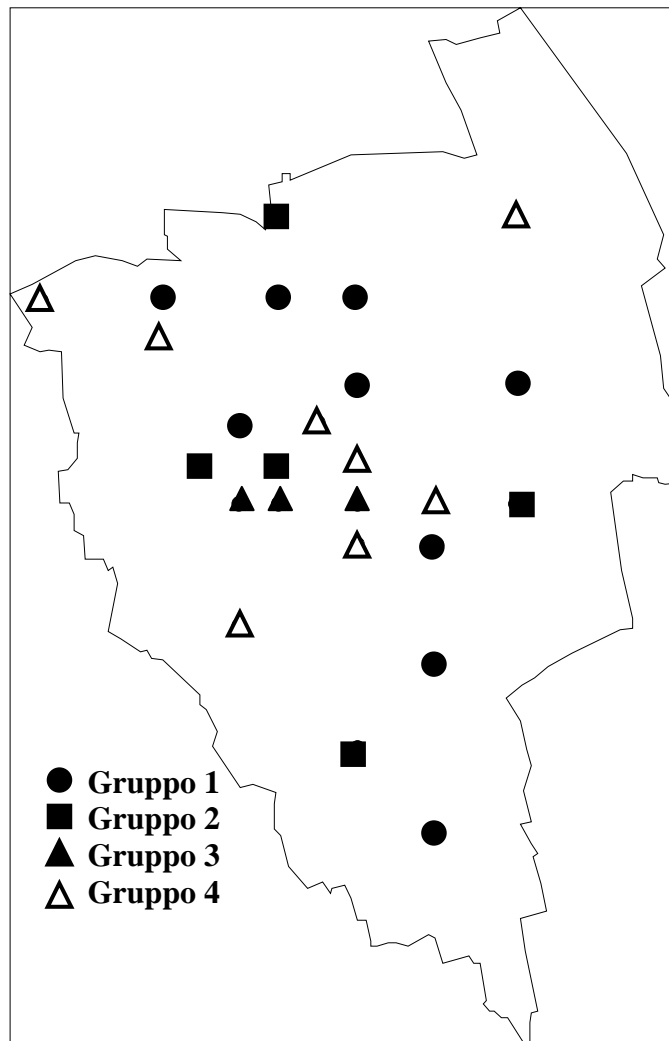


Fig. 12 Distribuzione dei 4 gruppi di UCP come da dendrogramma di Fig. 11.
In basso a sinistra è riportata la legenda di identificazione dei gruppi.

5.4 Carta di Biodiversità Lichenica (BL)

I risultati dell'elaborazione cartografica dei valori di BL riferiti alle 25 stazioni di rilevamento sono riportati in Fig. 13. Essa è stata realizzata applicando la scala di interpretazione dei valori di BL proposta da Castello & Skert (2005), riportata in Tab. 5. La scala, valida solamente per la regione bioclimatica submediterranea nord adriatica, è ripartita in 7 classi delimitate da specifici valori di BL che esprimono il grado di deviazione da condizioni ritenute “naturali” (zone prive di attività antropiche e lontane da rilevanti fenomeni di dispersione di gas fitotossici). A ciascuna classe è associato un colore identificativo per i riporti cartografici. Dal momento che la metodica di rilevamento è molto recente, la scala è ancora in fase sperimentale e quindi suscettibile di perfezionamento. In questa sede la scala è stata parzialmente modificata alle classi di maggiore naturalità in modo da adattarla meglio sia alla fascia di transizione bioclimatica in cui ricade Udine sia alle sue caratteristiche ecologiche.

Classi	Valori BL	Colore
1. Naturalità molto buona	> 75	Blu
2. Naturalità buona	61 - 75	Verde scuro
3. Naturalità media	46 - 60	Verde chiaro
4. Natur. Bassa / Alter. Bassa	31 - 45	Giallo
5. Alterazione media	16 - 30	Arancione
6. Alterazione alta	1 - 15	Rosso
7. Alterazione molto alta	0	Cremisi

Tab. 5. Classi di naturalità/alterazione in relazione ai valori di BL

La carta di Fig. 13 suddivide il territorio in una serie di fasce di deviazione dalla naturalità ed evidenzia con diversi colori le varie situazioni ambientali. In Tab 6 si riporta dettagliatamente l'elenco delle stazioni, la località, il numero di alberi in cui è stato eseguito il rilevamento ed il valore di BL.

BL 0 (Classe 7): alterazione molto alta. E' il così detto “deserto lichenico”, cioè la totale assenza di licheni epifiti. Nessuna stazione rientra in questa classe.

BL 1-15 (classe 6): Alterazione alta. Solo la stazione UD19 rientra in questa fascia, con un valore di BL di 6,2. Essa è situata lungo il Viale Europa Unita, viale che scorre parallelamente alla stazione ferroviaria. Si tratta di un'arteria di forte comunicazione che collega la periferia al centro città, caratterizzata da traffico intenso particolarmente davanti alla Stazione Ferroviaria, in prossimità della quale è

situata anche un Autostazione con notevole movimento di mezzi di trasporto pubblici e privati.

BL 16-30 (classe 5): alterazione media. Raggruppa due UCP. Nell'UCP UD 17 è stato rilevato un valore di BL pari a 29.3. Essa ricade parzialmente lungo il Viale Venezia, via di ingresso in città dalla direzione Pordenone, caratterizzata da traffico veicolare intenso che deprime la flora lichenica in prossimità del valore di deserto. Un'altra UCS di rilevamento ricade invece in via della Roggia, una zona dove la crescita lichenica è favorita da una situazione di traffico veicolare modesto che va a controbilanciare quella registrata in Viale Venezia. L'altra UCP (UD18, BL=16,7) è situata in Piazza G. Cella, uno dei centri nevralgici di comunicazione della città, caratterizzato da traffico intenso in tutte le direzioni.

BL 31-45 (Classe 4): alterazione bassa-naturalità bassa. E' caratterizzata da una sola stazione (UD14, BL=41,0). Essa è situata in pieno contesto cittadino, il rilevamento è stato eseguito su forofiti situati in prossimità della palestra dell'Istituto Tomadini.

BL 46-60 (classe 3): naturalità media. E' la fascia che raggruppa il maggior numero di UCP (15), uniformemente distribuite sul territorio, molte delle quali situate in pieno contesto urbano.

BL 61-75 (classe 2): naturalità buona. Raggruppa 4 UCP. Due sono situate nella porzione Settentrionale dell'area di studio, l'UCP UD1 con BL pari a 68,8 situata nel Parco del Cormor, in una zona verde attrezzata prossima alla tangenziale, e l'UCP n. 5 con BL pari a 64.0 localizzata presso lo stadio di Rugby cittadino. Le rimanenti due sono situate nella porzione centro-orientale dell'area di Studio, corrispondenti alla UCP UD21 (BL=64,3) in Baldasseria Media nella omonima via, e l'UCP UD16 (BL=64.0) il cui rilevamento è stato eseguito presso l'asilo **** di Laipacco, in una zona periferica ad urbanizzazione moderata ed impatto antropico soprattutto di natura agricola.

BL >75 (classe 1): naturalità molto buona. Raggruppa 2 UCP, entrambe posizionate nella porzione nord-orientale del Comune di Udine. L'UCP UD6 registra il valore più alto di tutta l'area di studio, pari a 79.7. Il rilevamento è stato eseguito presso il cimitero di Paderno, attorno al quale scorre una rete stradale lassa e poco trafficata, in cui si intercalano poche abitazioni, incolti e piccoli arativi. L'altra UCP (UD10, BL= 76,3) è situata lungo il Viale delle Forze Armate nel quartiere popolare di ****. Anche questa è un'area periferica di Udine che gode di un tasso di urbanizzazione elevato ma in un contesto verde, poco trafficato da veicoli a motore, aperto ai venti dominanti.

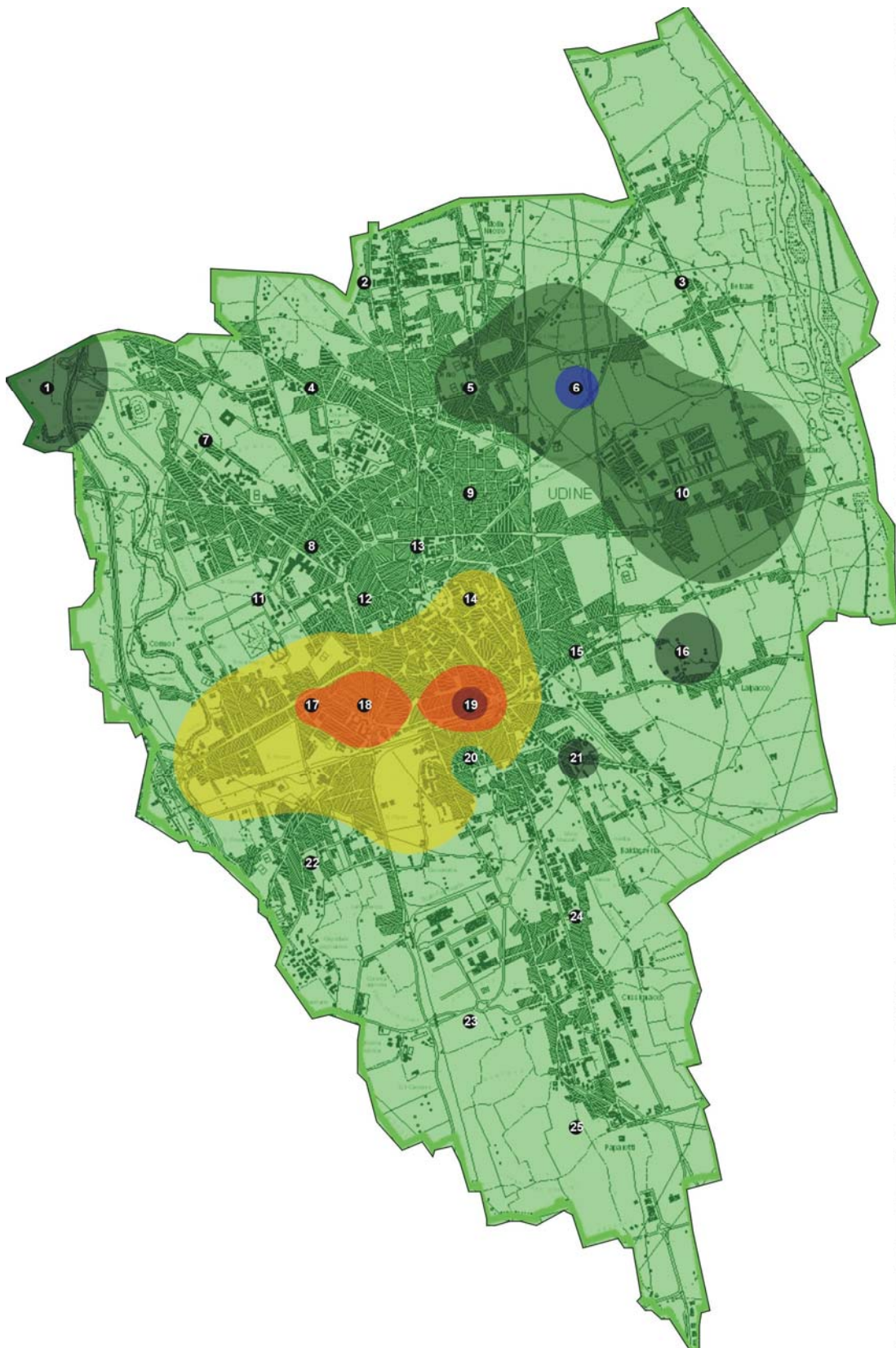


Fig. 13 Suddivisione del territorio in fasce di deviazione dalla naturalità, per specifici valori di BL, secondo la metodica proposta da Castello & Skert (2005)

Stazione	Località	BL
1	Parco del Cormor	68.8
2	Via Tavagnacco	53.7
3	Beivars	52.0
4	Via Colugna – Scuola Divisione Julia	60.0
5	Stadio Rugby Udine – via del Maglio	64.0
6	Cimitero di Paderno	79.7
7	Villaggio del Sole	49.0
8	Viale Leonardo Da Vinci – Complesso Scolastico (Malignani, Marinelli, Zanon)	58.2
9	Via Franzolini, Via Monte Ortigara	56.7
10	Viale Forze Armate	76.3
11	Collegio Bertoni	58.3
12	Via Marco Volpe	52.3
13	Scuola Media G. Ellero	55.3
14	Istituto J. Tomandini	41.0
15	Via G. Mameli	51.3
16	Laipacco - Asilo *****	64.0
17	Viale Venezia, Via della Roggia	29.3
18	Piazzale Gio Batta Cella	16.7
19	Viale Europa Unita – Stazione ferroviaria	6.2
20	Parco Ilaria Alpi	50.0
21	Via Baldasseria Media – Baldasseria Media	64.3
22	Auditorium Menossi	52.0
23	Cimitero di Cussignacco	55.0
24	Viale Palmanova	54.3
25	Via della Roggia – Paporotti	52.0

Tab. 6 Stazioni di campionamento utilizzate per il biomonitoraggio, località e valori di BL.

5.5 Interpretazione dei valori di BL

I risultati dello studio di bioindicazione individuano una situazione di disturbo della comunità lichenica imputabile principalmente al contesto cittadino, quindi molto probabilmente riconducibile a fonti di inquinamento quali traffico veicolare e riscaldamento domestico. La presenza di fasce concentriche di BL non distorte lungo una direttrice cardinale (Fig. 13), suggerisce una bassa influenza dei venti dominanti nel disperdere gli inquinanti, che piuttosto tendono a congestionarsi presso le fonti emittenti. Non si evidenziano dei pattern di trasporto e deposizione di gas fitotossici a lunga distanza né fenomeni di deriva di inquinanti da fonti esterne all'area di studio.

Nel Comune di Udine si individuano situazioni di naturalità da buone a molto buone, che presentano una distribuzione non continua bensì a spots. Queste

situazioni sono imputabili a microcondizioni ambientali che favoriscono lo sviluppo di comunità licheniche quali migliori condizioni ecologiche e basse concentrazioni locali di gas fitotossici. E' da sottolineare tuttavia che la presenza di una sola comunità lichenica (*Xanthorion*), tra l'altro la più tollerante ai fenomeni di inquinamento, è indice di una situazione di naturalità disturbata anche nelle migliori condizioni.

Escludendo le due situazioni estreme di maggiore e minore alterazione ambientale, il territorio comunale presenta una situazione piuttosto omogenea e dominante di media naturalità.

Data la mancanza di studi pregressi non è possibile valutare direttamente il trend temporale di BL, trend che ci permette di individuare una situazione stazionaria, di peggioramento o miglioramento della qualità dell'aria. Tuttavia è da sottolineare che la Provincia di Trieste è stata mappata interamente per tre volte negli ultimi quindici anni di cui l'ultima nel 2005. Tali studi sono stati eseguiti con analogia metodica a quella adottata nel presente lavoro. Questo ha permesso un confronto temporale che per analogia può essere applicato al Comune di Udine. Complessivamente sul territorio provinciale si è assistito ad un forte miglioramento della Biodiversità Lichenica dal 1992 al 2001, ma la situazione si è stabilizzata nel 2005 rispetto al 2001, anzi in alcune aree urbanizzate si riscontra un concreto peggioramento della qualità dell'aria.

Questo può essere imputabile al fatto che i veicoli a scoppio di ultima generazione che si avvalgono di dispositivi utili all'abbattimento di emissione di polveri sottili hanno lo svantaggio di incrementare l'emissione di NO_x, sostanze inquinanti fitotossiche a cui i licheni sono sensibili. In effetti le centraline di rilevamento disposte nella conurbazione del capoluogo provinciale di Trieste stanno evidenziando un significativo aumento di concentrazione in aria di tali sostanze (Fonte ARPA FVG, Dipartimento di Trieste) e questo potrebbe portare, dopo oltre un decennio di miglioramento, ad un decremento della qualità dell'aria anche nei centri urbani e nelle zone limitrofe alle principali vie di scorrimento veicolare.

6. CONCLUSIONI

I risultati dello studio di bioindicazione sono riassunti come segue:

- La flora dell'area di studio è piuttosto bassa se paragonata ad altri studi svolti in Friuli – Venezia Giulia, ma relativamente elevata se si prende in considerazione le piccole dimensioni dell'area di studio e il livello di urbanizzazione diffuso.
- La comunità di licheni meglio rappresentata è quella dello *Xanthorion*, nitrofitico, basifitico, xerofitico, fotofitico. Questa vegetazione si sviluppa preferenzialmente su alberi isolati ed è legata ad ambienti antropizzati dove si verifica un aumento nell'apporto di nutrienti; il fenomeno dell'eutrofizzazione dei substrati è molto rilevante in aree agricole, soprattutto per l'impiego di fertilizzanti, e nelle aree urbanizzate, dove è dovuto principalmente alla notevole presenza di polveri. Nell'area di studio sono presenti stadi più o meno deteriorati riferibili a questa comunità, interpretabili come diverse situazioni di alterazione ambientale. Numerose specie, seppur a basse frequenze, si intercalano tra le poche dominanti appartenenti allo *Xanthorion*. Si tratta di elementi che individuano il *Parmelion*, comunità di licheni che mal tollerano elevati fenomeni di eutrofizzazione ed inquinamento atmosferico, nonché il *Lecanorion*, comunità di licheni colonizzatori che spesso precedono e si mescolano allo *Xanthorion*.
- I valori di Biodiversità Lichenica individuano una situazione di alterazione pronunciata solo nella porzione centrale dell'area di studio, lungo una fascia che si estende da Ovest (viale Venezia) verso Est (Piazzale G.B. Cella e Viale Europa Unita), con un progressivo deterioramento della qualità ambientale lungo le vie di maggiore scorrimento del traffico veicolare. Una vasta area di media naturalità si estende dall'area centrale maggiormente alterata fino ai confini comunali. Alcuni spots di buona naturalità si rinvencono nella porzione settentrionale del Comune ma non vanno a formare una fascia uniforme.
- La distribuzione della Biodiversità Lichenica individua una situazione piuttosto omogenea con un progressivo deterioramento verso il centro del Comune, in prossimità o lungo arterie di grande comunicazione. Questa distribuzione della biodiversità lichenica indica un inquinamento non disperso dal regime prevalente dei

venti bensì congestionato in prossimità dei punti di emissione di gas fitotossici, in questo caso imputabili per la loro distribuzione principalmente all'attività veicolare.

La mancanza di studi analoghi svolti precedentemente sul territorio comunale impedisce un confronto temporale che consenta di attribuire un miglioramento od un peggioramento della qualità dell'aria. In studi analoghi svolti in Provincia di Trieste dal 1992 al 2005 è stato riscontrato dopo un decennio di miglioramento una sostanziale stabilizzazione della Biodiversità Lichenica se non un deterioramento in alcune aree cittadine. In effetti le centraline di rilevamento disposte nella conurbazione del capoluogo provinciale di Trieste stanno evidenziando un significativo aumento di concentrazione in aria di NO_x (Fonte ARPA FVG, Dipartimento di Trieste), probabilmente imputabile ai motori di nuova generazione che abbattano l'emissione di polveri sottili ma hanno lo svantaggio di incrementare l'emissione di questa sostanza gassosa fitotossica. Per analogia è possibile che pure in Comune di Udine si possa assistere ad un decremento della qualità dell'aria. La presenza di poche specie tossitolleranti, dominanti ad elevatissima frequenza, e la presenza di molte specie a bassa frequenza indica una situazione di disturbo probabilmente in aumento che va ad avvalorare questa ipotesi. Si consiglia di ripetere lo studio fra due-tre anni in modo tale da avvalorare o respingere questa ipotesi.

7. BIBLIOGRAFIA

- Asta J., Erhardt W., Ferretti M., Fornasier F., Kirschbaum U., Nimis P.L., Purvis O.W., Pirintsos S., Scheidegger C., Van Haluwyn C, Wirth W., 2002. Mapping lichen diversity as an indicator of environmental quality. In: Nimis P.L., Scheidegger C., Wolseley P.A. (eds). *Monitoring with Lichens-Monitoring Lichens*: pp 273-279.
- ANPA, 2001. I.B.L Indice di biodiversità lichenica. ANPA, Manuali e linee guida 2/2001, pp 85.
- Bargagli R., 1998. Trace elements in terrestrial plants. An ecophysiological approach to biomonitoring and biorecovery. Springer, 324 pp.
- Brunialti G., Giordani P., 2002. Applicabilità del nuovo protocollo di campionamento del metodo di Biodiversità Lichenica (BL). In: Verso una rete nazionale per il rilevamento della qualità dell'aria mediante l'indice di biodiversità lichenica. Una valutazione preliminare per la progettazione e le procedure di assicurazione di qualità (M Ferretti, Fornasier F, eds): 85–105. Roma: ANPA.
- Castello M., Nimis P.L., Alleteo D & Bellio MG, 1994. Biomonitoring of SO₂ and metal pollution with lichens and barks in Savona (N Italy). *Boll. Soc. Adriatica* 75: 73-83.
- Castello M., Nimis P.L., Cebulec E., Mosca R., 1995. Air quality assessment by lichens as bioindicators of SO₂ and bioaccumulators of heavy metals in the province of Trieste (NE Italy). *Agr. Med. Special Volume*: 233-243.
- Castello M., Skert N., 2005. Evaluation of lichen diversity as an indicator of environmental quality in the North Adriatic submediterranean region. *Science of the Total Environment* 336: 201– 214
- Cislaghi C., Nimis P.L., 1997. Lichens, air pollution and lung cancer. *Nature*, 387: 463-464.
- Comune di Piombino, Amministrazione Provinciale di Livorno, ENEL, 1979. Profilo meteorologico dell'area di Piombino. A cura dell'osservatorio Meteorologico di Brera (Mi), allegato n. 8.
- Deruelle S., 1977. Influence de la pollution atmosferique sur la végétation lichénique des arbres isolées dans la region de Mantes (Yvelines). *Rev Bryol Lichénol* 43 (2): 137-158.
- Del Guasta M., Sbrilli G., 1990. Distribuzione di licheni epifiti in un'area industriale dotata di rete di monitoraggio chimico dell'inquinamento atmosferico. *Acqua aria* 9: 787-797.
- Emili, 2004. Modelli di Dispersione degli Inquinanti in Atmosfera: applicazione del codice ISC3 ad Emissioni Puntuali di un impianto industriale nella Provincia di

- Trieste. Tesina di laurea in scienze ambientali, Università degli Studi di trieste, pp 54.
- Farrar J.F., 1973. Lichen physiology: progress and pitfalls. In: Ferry B.W., Baddeley M.S., Hawksworth D.L. (eds.), *Air pollution and Lichens*. Univ. Toronto Press. Toronto: 238-282.
- Ferry B.W., Baddeley M.S., Hawksworth D.L. (eds.), 1973. *Air pollution and Lichens*. Univ. Toronto Press, Toronto, 390 pp.
- Gasparo D., Castello M., Bargagli R., 1989. Biomonitoraggio dell'inquinamento tramite licheni. Studio presso un inceneritore (Macerata). *Studia Geobotanica* 9: 153-233.
- Hawksworth D.L., Rose L, 1970. Qualitative scale for estimating sulphur dioxide air pollution in England and Wales using epiphytic lichens. *Nature*, 227: 145-148.
- James P.W., 1973. The effects of air pollutants other than hydrogen fluoride and sulphur dioxide on lichens. In: Ferry B.W. et al (eds.) op. cit.
- Liška J., 1985. On the occurrence and ecology of lichen in Prague. *Prirod Vyznam Prahy*: 93-102.
- Loppi S., 1999. Licheni come bioaccumulatori di elementi in traccia: stato dell'arte in Italia. In: Piccini C., Salvati S. (eds.), *Atti del Workshop Biomonitoraggio della Qualità dell'Aria sul territorio Nazionale*. Roma 26-27 novembre 1998. ANPA, Ser. Atti 2/1999: 123-143.
- Loppi S., Francalanci C., Pancini P., Marchi G., Caporali B., 1996. Lichens as biomonitors of air quality in Arezzo (central Italy). *Ecol Medit* 12: 11-16.
- Loppi S., Giordani P., Brunialti G., Isocrono D., Piervittori R., 2002. Identifying deviations from naturalness of lichen diversity for bioindication purposes. In: Nimis P.L. et al. (eds) op. cit.
- Loppi S., Ivanov D., Boccardi R., 2001. Biodiversity of epiphytic lichens and air pollution in the town of Siena (Central Italy). *Environmental pollution* 116: 123-128.
- Loppi S., Nascimene J., 1998. Lichen bioindication of air quality in the Mt. Amiata geothermal area (Tuscany, Italy). *Geothermics* 27 (3): 295-304.
- Loppi S., Putorti E., Signorini C., Fommei S., Pirintsos S.A., De Dominicis V., 1998. A retrospective study using epiphytic lichens as biomonitors of air quality: 1980 and 1996 (Tuscany, central Italy). *Acta Oecologica* 19 (4): 405-408.
- Lorenzini G., Soldatini G.F. (eds.), 1995. Responses of plants to air pollution. Biological and economic aspects. *Agr. Med. Special Volume*, 415 pp.
- Manning W.J., Feder W.A., 1980. *Biomonitoring air pollutants with plants*. Applied Science Publishers LTD, London.
- Markert B. (ed.), 1993. *Plants as biomonitors*. VCH Publishers, 644 pp.

- Miani N., Morgan B., Grahonja R., Fragiacomio L., 2003. Monitoraggio dell'inquinamento della Provincia di Trieste tramite la biodiversità dei licheni epifiti. *Biologi Italiani* anno XXXIII n. 1: 56-60.
- Nylander W., 1886. Les lichens du Jardin de Luxembourg. *Bull. Soc. Bot. Fr.*, 13: 364-372.
- Nimis P.L., 1986. Urban lichen studies in Italy. II. The town of Udine. *Gortania* 7: 147-172.
- Nimis P.L., 1990. Air Quality Indicators and Indices. The use of plants as bioindicators and biomonitors of air pollution. In: Colombo A. & Premazzi G. (eds.): *Proceedings International Workshop on Indicators and Indices*, JRC Ispra, EUR 13060 EN: 93-126.
- Nimis P.L., 1993. *The Lichens of Italy. An annotated catalogue*. Mus. Reg. Sci. Nat. Torino. Monogr. XII, 897 pp.
- Nimis P.L., 1999a. Il biomonitoraggio della "qualità dell'aria" in Italia. In: Piccini C. & Salvati S. (eds.), *Atti del Workshop Biomonitoraggio della Qualità dell'Aria sul territorio Nazionale*, Roma 26-27 novembre 1998. ANPA, Ser. Atti 2/1999: 267-277.
- Nimis P.L., 1999b. Linee-guida per la bioindicazione degli effetti dell'inquinamento tramite la biodiversità dei licheni epifiti. In: Piccini C. & Salvati S. (eds.), *Atti del Workshop Biomonitoraggio della Qualità dell'Aria sul territorio Nazionale*, Roma 26-27 novembre 1998. ANPA, Ser. Atti 2/1999: 267-277.
- Nimis P.L., Bargagli R., 1999. Linee-guida per l'utilizzo di licheni epifiti come bioaccumulatori di metalli in traccia. In: Piccini C. & Salvati S. (eds.), *Atti del Workshop Biomonitoraggio della Qualità dell'Aria sul territorio Nazionale*, Roma 26-27 novembre 1998. ANPA, Ser. Atti 2/1999: 279-289.
- Nimis P.L., Tretiach M., 1987. I licheni nell'area urbana di Roma. In: Bonnes M. (ed.) *Urban ecology applied to the city of Rome*, UNESCO-MAB Pr.11.3: 161-168
- Nimis P.L., Bargagli R., Benedet A., Castello M., Ciccarelli A., Gasparo D., Lausi D., Lazzarin G., Olivieri S., Tretiach M., 1989. I licheni come bioindicatori di inquinamento atmosferico nell'area di Schio-Thiene-Breganze (Vicenza). *Boll. Mus. Civ. St. Nat. Verona*, 16: 1-154.
- Nimis P.L., Castello M. & Perotti M., 1991. Lichens as biomonitors of sulphur dioxide pollution in La Spezia (Northern Italy). *Lichenologist*, 22 (3): 333-344.
- Nimis P.L., Castello M., Perotti M., 1993. Lichens as bioindicators of heavy metal pollution: a case study at La Spezia (N Italy). In: Markert B. (ed.), *Plants as biomonitors. Indicators for heavy metals in the terrestrial environment*. VCH, Weinheim: 265-284.
- Nimis P.L., Lazzarin A., Lazzarin G., Gasparo D., 1991. Lichens as bioindicators of air pollution by SO₂ in the Veneto region (NE Italy). *Studia Geobotanica* 11: 3-76.

- Nimis P.L., Lazzarin A., Gasparo G., Gasparo D., 1996. Biomonitoring of SO₂ and metal pollution with lichens in the Province of Treviso (NE Italy). In: Azzoni R. et al. (eds.): *Dalla Tossicologia alla Ecotossicologia*, Pordenone: 9-27.
- Nimis P.L., Lazzarin G., Lazzarin A., Skert N., 2000. Biomonitoring of trace elements with lichens in Veneto (NE Italy). *The Science of the Total Environment* 255: 97-111.
- Nimis P.L., Skert N., Castello M., 1999. Biomonitoraggio di metalli in traccia tramite licheni in aree a rischio del Friuli-Venezia-Giulia. *Studia Geobotanica* 18: 3-49.
- Nimis P.L., Ianesch L., Rucli A., Skert N., 2001. La qualità dell'aria in Provincia di Gorizia. Licheni come sentinelle ambientali. *Laboratorio dell'Immaginario Scientifico*, pp 60.
- Nimis P.L., Martellos S., 2005. *Italic, International System of Italian Lichens* University of Trieste, Dept. of Biology, IN3.0/2 (<http://dbiodbs.univ.trieste.it/>).
- Piccini C., Salvati S., 1999. *Atti del Workshop Biomonitoraggio della Qualità dell'Aria sul territorio Nazionale*. Roma 26-27 novembre 1998. ANPA, Ser. Atti 2/1999, 337 pp.
- Piervittori R., 1999. Licheni come bioindicatori della qualità dell'aria: storia dell'arte in Italia. In: Piccini C. & Salvati S. (eds.), *Atti del Workshop Biomonitoraggio della Qualità dell'Aria sul territorio Nazionale*. Roma 26-27 novembre 1998. ANPA, Ser. Atti 2/1999: 97-122.
- Purvis W., 2000. *Lichens*. Natural History Museum, London/Smithsonian Institution, London, Washington D.C., 112 pp.
- Recchia F., Castello M., Gasparo D., 1993. Biomonitoraggio dell'inquinamento atmosferico tramite licheni nella provincia di Pescara. *Studia Geobotanica* 13: 313-348.
- Rose C.I., Hawksworth D.L., 1981. Lichen recolonization in London's cleaner air. *Nature*, 289: 289-292.
- Seaward M.R.D., 1996. Lichens and environment. In: Sutton B (ed.), *A century of micology*. Cambridge University Press, UK: 293-320.
- Seaward M.R.D., Letrouit-Galinou MA, 1991. Lichen recolonization of trees in the Jardin du Luxembourg, Paris (France). *Lichenologist*, 23 (2), 181-186.
- Skert N, 2003. Il biomonitoraggio ambientale tramite licheni come bioindicatori: studio metodologico ed applicativo del nuovo protocollo ANPA. Dottorato di Ricerca in Metodologie di Biomonitoraggio dell'Alterazione Ambientale, XV Ciclo. Università degli Studi di Trieste, Dipartimento di Biologia, pp 101.
- Skert N., Miani N., Mariuz M., Grahonja R., 2006. Biomonitoraggio dell'inquinamento da gas fitotossici nella Provincia di Trieste tramite licheni come bioindicatori. *Biologi Italiani*, anno XXXVI n. 5, maggio 2006, 65-74.

-
- Steubing L., Jaeger H.J., 1982. Monitoring air pollutants by plants. Methods and Problems. Jaeger, The Hague.
- Van Dobben H.F., De Bakker A.J., 1996. Re-mapping epiphytic lichen biodiversity in the Netherlands: effects of decreasing SO₂ and increasing NH₃. Acta Botanica Neerlandica, 45: 55-71.
- Van Dobben H.F., Wolterbeek H.T.H., Wamelink G.W..W, Ter Braak CJF, 2001. Relationship between epiphytic lichens, trace elements and gaseous atmospheric pollutants. Environ. Pollut., 112: 163-169.
- Wildi O., Orloci L., 1990. Numerical exploration of community patterns. The Hague, SPB Academic Publishing, The Netherlands: pp 124.
- Wirth V., 1980. Flechtenflora. Ulmer. Stuttgart: 552 pp.