



**BIOMONITORAGGIO
DELL'INQUINAMENTO DA GAS FITOTOSSICI
NELLA REGIONE FRIULI VENEZIA GIULIA
TRAMITE LICHENI COME BIOINDICATORI**

RELAZIONE FINALE

2013

Nicola Skert

Roberto Grahonja

INDICE

1. RIASSUNTO	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.....	12
4. MATERIALI E METODI	12
4.1 STAZIONI DI CAMPIONAMENTO	13
4.2 SCELTA DEGLI ALBERI DA CAMPIONARE	15
4.3 METODICA DI RILEVAMENTO	16
4.4 ELABORAZIONI CARTOGRAFICHE	17
5. RISULTATI	19
5.1 ANALISI DELLA FLORA LICHENICA	19
5.4 CARTE DI BIODIVERSITÀ LICHENICA (BL)	23
5.5 INTERPRETAZIONE DEI VALORI DI BL.....	30
6. CONCLUSIONI.....	32
7. BIBLIOGRAFIA	33

1. RIASSUNTO

Questo studio di biomonitoraggio è basato sull'analisi della biodiversità dei licheni che vivono sulla scorza degli alberi, organismi sensibili nei confronti di diversi gas tossici, principalmente anidride solforosa e ossidi di azoto. La metodica di campionamento e di rilevamento segue le linee guida del manuale operativo (ANPA, 2001) adottato dall'Agenzia per la Protezione dell'Ambiente e Servizi Tecnici (APAT), ora ISPRA. I risultati vengono interpretati in termini di "naturalità" (zone prive di attività antropiche e lontane da rilevanti fenomeni di dispersione di gas tossici) e di deviazione dalla condizione di naturalità, ovvero di "alterazione" ambientale.

Il campionamento è stato eseguito in 72 stazioni, distribuite in tutta la regione Friuli Venezia Giulia, tra marzo 2011 e ottobre 2012.

I valori registrati in Regione suggeriscono situazioni da buona a elevata naturalità nella zona montana, soprattutto occidentale, nonché in quella collinare, carsica e presso la bassa pianura friulana. Un'estesa fascia di naturalità media si estende lungo la direttrice sudovest-nordest. Le aree di maggiore alterazione riguardano la bassa pordenonese e alcuni spot presso alcune attività produttive che rappresentano fonti emittenti, quali cementifici e impianti siderurgici.

I valori peggiori si concentrano in prossimità della centrale termoelettrica di Monfalcone, presso la Ferriera di Trieste e Muggia.

E' da sottolineare che gli alti valori riscontrati nella bassa pianura friulana in Provincia di Udine, sono associabili a processi spinti di eutrofizzazione da agricoltura intensiva, piuttosto che ad alti valori di naturalità ambientale.

2. INTRODUZIONE

2.1. Biomonitoraggio ambientale

La crescente produzione di sostanze tossiche per l'uomo 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, Skert 2006, ined), Roma (Nimis & Tretiach 1987), regione Veneto (Nimis et al. 1989, 1991, 2000, Cislighi & 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, Skert et al. 2006) 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 nei limiti amministrativi della regione Friuli Venezia Giulia e pari a una superficie di 7845 km², con una popolazione residente di 1.236103 abitanti, equivalente a una densità abitativa di 157.57/km². Morfologicamente è distinguibile in 5 aree distinte:

- Area montana: comprende la Carnia, le Alpi Carniche e le Alpi Giulie. Caratterizzato prevalentemente da una rete urbana lassa, benché nella sua porzione orientale (Val Canale e Canal del Ferro) sia attraversata da infrastrutture viarie di importanza strategica nelle comunicazioni con il nord-est Europa.
- Area collinare: situata a sud di quella montana, è caratterizzata da un incremento delle realtà produttive soprattutto in ambito agricolo-enologico e industriale. Ne consegue un progressivo aumento della pressione antropica.
- Pianura: costituisce il lembo più orientale della grande pianura padano-veneta. È divisa in alta e bassa pianura, delimitate dalla cosiddetta "linea delle risorgive". L'alta pianura è costituita da depositi grossolani (ciottoli e ghiaia) costituendo terreni molto permeabili, quindi poveri e magri, causando tuttavia la formazione di un'imponente falda freatica. La bassa pianura è costituita invece da argille, limi e sabbie, che la rendono impermeabile e fertile; il brusco passaggio da una condizione geologica all'altra, in concomitanza con una diminuzione progressiva dell'altimetria, provoca la formazione di risorgive perenni e di terreni grassi e umidi. La pianura nel suo complesso è caratterizzata da un intenso sfruttamento del suolo legata all'agricoltura, industria, insediamenti urbani e infrastrutture viarie. I maggiori centri abitati sono rappresentati dai capoluoghi provinciali di Pordenone e Udine.
- Carso: caratterizzato da numerose cavità e fiumi sotterranei, si estende nell'entroterra delle province di Trieste e Gorizia, con un'altitudine compresa tra 300 e 600 m. La pressione antropica, escludendo la città di Trieste, è moderata.
- Zona costiera: da un punto di vista morfologico può essere distinta in due sotto aree separate dalla foce del fiume Isonzo. A ovest di questa la costa è bassa e sabbiosa con ampie lagune (laguna di Grado, Marano Lagunare) e località balneari. A est la costa è incisa nell'altipiano carsico, caratterizzata da scogliere fino al confine con la Slovenia. In questa sezione costiera sono presenti importanti insediamenti urbani e produttivi, quali Monfalcone e il Capoluogo di Regione, Trieste.

In Fig. 1 è riportata la localizzazione delle 72 stazioni di campionamento in cui è stata eseguita l'analisi della Biodiversità Lichenica.



Fig. 1. Localizzazione delle 72 stazioni di campionamento della Biodiversità Lichenica nella Regione Friuli Venezia Giulia.

3.2 Caratteristiche climatiche

La seguente sintesi è tratta dal sito di ARPA FVG relativamente al contesto meteo/clima. La regione Friuli Venezia Giulia è caratterizzata da una posizione geografica e da un'orografia che ne condizionano in modo determinante il tempo meteorologico ed il clima.

La regione è situata alle medie latitudini, dove è molto marcato il contrasto tra le masse d'aria polare e tropicale: tale contrasto genera frequentemente delle perturbazioni dello stato normale dell'atmosfera.

In zone orograficamente complesse, come il Friuli Venezia Giulia, i processi di formazione delle perturbazioni e la loro evoluzione sono influenzati fortemente dai rilievi e dalla loro disposizione rispetto alla circolazione prevalente delle masse d'aria.

La presenza delle Alpi induce significativi cambiamenti della temperatura, umidità e ovviamente della direzione di moto delle masse d'aria che interessano la regione. I processi di

- foehn (vento caldo e secco discendente dalle Alpi) e
- stau (effetto di sbarramento dovuto a una catena montuosa, che costringe le correnti d'aria a innalzarsi raffreddandosi, dando spesso luogo a precipitazioni),

che hanno luogo su opposti versanti della catena montuosa, sono responsabili di profonde modifiche del contenuto relativo d'acqua nell'aria (umidità), attraverso processi di condensazione ed evaporazione dell'acqua stessa, i quali influenzano enormemente la temperatura dell'aria e di conseguenza la stabilità atmosferica.

Molto importanti sono anche le peculiarità locali del territorio, quali la presenza del mare Adriatico, poco profondo, e della laguna caratterizzata da considerevoli escursioni termiche. In estrema sintesi il clima della regione può essere considerato come un clima continentale moderato con connotazione umida.

La connotazione umida del clima è dettata dall'elevata piovosità dell'alta pianura friulana e della zona prealpina. Questa componente è il risultato sia dell'effetto che i rilievi hanno sui flussi di aria umida provenienti da sud, che sono forzati a moti verticali i quali si traducono in piogge copiose, sia dell'elevata frequenza di temporali primaverili ed estivi. Non va inoltre dimenticato che la grandine è tra i fenomeni caratterizzanti del clima estivo regionale.

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, 2011).

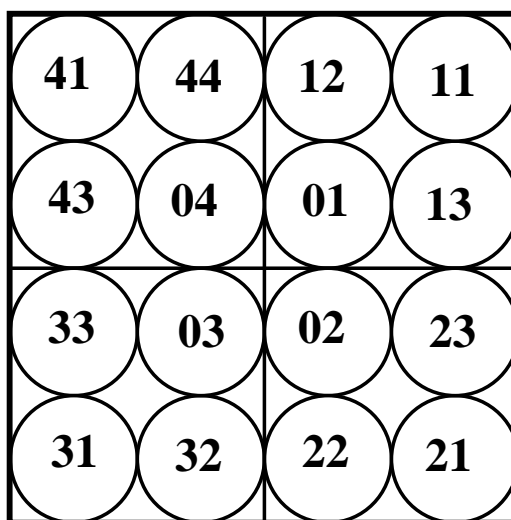
4.1 Stazioni di campionamento

Per lo studio di bioindicazione tramite licheni sono state individuate 38 stazioni di campionamento; la loro distribuzione nell'area di studio è mostrata in Fig. 1. In Tab. 1 vengono riportate per ciascuna stazione la località, le coordinate geografiche, l'altitudine, il valore di Biodiversità Lichenica (BL) rilevato.

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.

In questo studio la strategia di campionamento utilizzata è sia di tipo sistematico che preferenziale. La componente sistematica, afferente alla Rete Nazionale, è costituita da una griglia di passo 18 km per la porzione montuosa centro settentrionale della Regione, infittita a 9 km per la porzione centro-meridionale dove la pressione antropica è maggiore. All'interno della griglia, seguendo procedure operative standard, sono state individuate 38 stazioni di campionamento della Biodiversità Lichenica (BL). Qualora non fosse stato possibile operare secondo un campionamento sistematico, si è provveduto a sostituirlo con uno preferenziale che garantisse la massima regolarità geometrica della rete. Nella zona montana, mai monitorata precedentemente, si è preferito campionare in prossimità dei centri abitati in modo tale da verificarne l'impatto sulla qualità dell'aria.

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. 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. 2.



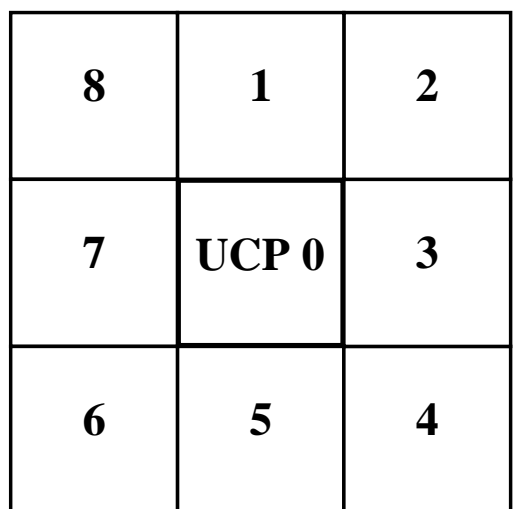
<----- 1 km ----->

Fig. 2 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. 3. 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.

Nel presente studio sono state utilizzate le classiche UCP di 1 km 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.



<----- 3 km ----->

Fig. 3 Schema di sostituzione di una UCP

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 4). 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.

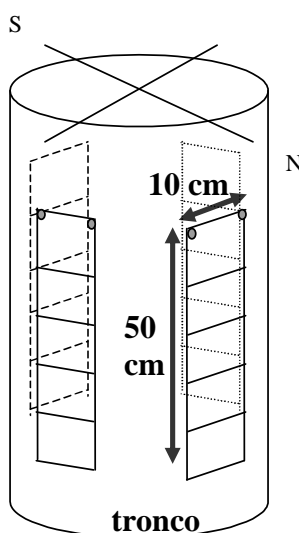


Fig. 4 Caratteristiche del reticolo di rilevamento

4.4 Elaborazioni cartografiche

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 1132 rilevamenti su 283 forofiti, di cui 225 *Tilia sp* E 55 *Quercus sp*. Segue un'analisi dettagliata dei dati rilevati.

5.1 Analisi della flora lichenica

In totale nell'area di studio sono state rinvenute 95 specie di licheni epifiti.

In Tab. 1 sono riportate le caratteristiche biologiche delle specie ricavate da: "ITALIC. The Information System on Italian Lichens" (Nimis & Martellos, versione 4.0, 2008). 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 55.8 % è rappresentato da licheni crostosi, il 40 % da licheni fogliosi, di cui più della metà a lobi stretti, il 1.1% da fruticosi, il 2.1% da squamulosi e il 1.1% da leprosi. Tutte le specie hanno come simbionti alghe verdi, tranne *Arthonia radiata*, *Arthonia dispersa*, *Graphis scripta*, *Opegrapha atra*, *rufescens* e *varia* il cui simbionte è del genere *Trentepohlia*, e *Collema subflaccidum* con cianobatteri del genere *Nostoc*. Il 37.9% delle specie ha riproduzione asessuata tramite soreddi, il 6.3% tramite isidi, il 53% sessuata.

La Tab. 3 riporta le frequenze percentuali delle 95 specie calcolate sui 1160 rilievi vegetazionali. Solo 3 specie hanno frequenza superiore al 20 % (*Candelaria concolor*, *Hyperphyscia adglutinata* e *Phaeophyscia orbicularis*), 5 specie appaiono in più di un decimo dei rilievi (*Lecidella elaeochroma*, *Physcia adscendens*, *Phaeophyscia cloantha*, *Xanthoria parietina*, *Phaeophyscia hirsuta*). Si tratta di specie piuttosto comuni soprattutto nella fascia submediterranea.

Specie	Fo	F.cr	Ri	Specie	Fo	F.cr	Ri
<i>Amandinea punctata</i>	Ch	Cr	S	<i>Ochrolechia alboflavescens</i>	Ch	Cr	A.s
<i>Arthonia radiata</i>	Tr	Cr	S	<i>Ochrolechia androgyna</i>	Ch	Cr	A.s
<i>Arthonia dispersa</i>	Tr	Cr	S	<i>Ochrolechia pallescens</i>	Ch	Cr	A.s
<i>Aplotomma turgida</i>	Ch	Cr	S	<i>Ochrolechia tumeri</i>	Ch	Cr	A.s
<i>Caloplaca cerina</i>	Ch	Cr	S	<i>Opegrapha atra</i>	Tr	Cr	S
<i>Caloplaca cerinella</i>	Ch	Cr	S	<i>Opegrapha rufescens</i>	Tr	Cr	S
<i>Caloplaca ferruginea</i>	Ch	Cr	S	<i>Opegrapha varia</i>	Tr	Cr	S
<i>Caloplaca flavorubescens</i>	Ch	Cr	S	<i>Parmelina quercina</i>	Ch	Fol.b	S
<i>Caloplaca herbidella</i>	Ch	Cr	S	<i>Parmelia saxatilis</i>	Ch	Fol.b	A.i
<i>Caloplaca hungarica</i>	Ch	Cr	S	<i>Parmelia sulcata</i>	Ch	Fol.b	A.s
<i>Caloplaca pyracea</i>	Ch	Cr	S	<i>Parmelina tiliacea</i>	Ch	Fol.b	A.i
<i>Candelaria concolor</i>	Ch	Fol.n	A.s	<i>Parmotrema perlatum</i>	Ch	Fol.b	A.s
<i>Candelariella reflexa</i>	Ch	Cr	A.s	<i>Pertusaria albescens</i>	Ch	Cr	A.s
<i>Candelariella xanthostigma</i>	Ch	Cr	S	<i>Pertusaria amara</i>	Ch	Cr	A.s
<i>Catillaria nigroclavata</i>	Ch	Cr	S	<i>Pertusaria coccodes</i>	Ch	Cr	A.i
<i>Chrysotrix candelaris</i>	Ch	Cr	A.s	<i>Pertusaria hymenea</i>	Ch	Cr	S
<i>Collema subflaccidum</i>	Cy.h	Fol.b	A.i	<i>Pertusaria leioplaca</i>	Ch	Cr	S
<i>Evernia prunastri</i>	Ch	Frut	A.s	<i>Pertusaria pertusa</i>	Ch	Cr	S
<i>Flavoparmelia caperata</i>	Ch	Fol.b	A.s	<i>Pertusaria pustulata</i>	Ch	Cr	S
<i>Flavoparmelia soledians</i>	Ch	Fol.b	A.s	<i>Phaeophyscia chloantha</i>	Ch	Fol.n	A.s
<i>Flavopunctelia flaventor</i>	Ch	Fol.b	A.s	<i>Phaeophyscia ciliata</i>	Ch	Fol.n	S
<i>Graphis scripta</i>	Tr	Cr	S	<i>Phaeophyscia hirsuta</i>	Ch	Fol.n	A.s
<i>Hyperphyscia adglutinata</i>	Ch	Fol.n	A.s	<i>Phaeophyscia orbicularis</i>	Ch	Fol.n	A.s
<i>Hypogymnia tubulosa</i>	Ch	Fol.n	A.s	<i>Phaeophyscia poeltii</i>	Ch	Fol.n	S
<i>Lecania cyrtella</i>	Ch	Cr	S	<i>Phaeophyscia pusilloides</i>	Ch	Fol.n	A.s
<i>Lecanora albella</i>	Ch	Cr	S	<i>Phlyctis argena</i>	Ch	Sq	A.s
<i>Lecanora allophana</i>	Ch	Cr	S	<i>Physcia adscendens</i>	Ch	Fol.n	A.s
<i>Lecanora argentata</i>	Ch	Cr	S	<i>Physcia aipolia</i>	Ch	Fol.n	A.s
<i>Lecanora carpineae</i>	Ch	Cr	S	<i>Physcia biziana</i>	Ch	Fol.n	S
<i>Lecanora chlarotera</i>	Ch	Cr	S	<i>Physcia clementei</i>	Ch	Fol.n	A.i
<i>Lecanora circumborealis</i>	Ch	Cr	S	<i>Physcia leptalea</i>	Ch	Fol.n	S
<i>Lecanora expallens</i>	Ch	Cr	A.s	<i>Physcia stellaris</i>	Ch	Fol.n	S
<i>Lecanora hagenii</i>	Ch	Cr	S	<i>Physcia tenella</i>	Ch	Fol.n	A.s
<i>Lecanora intumescens</i>	Ch	Cr	S	<i>Physcia vittii</i>	Ch	Fol.n	A.s
<i>Lecanora pulicaris</i>	Ch	Cr	S	<i>Physconia distorta</i>	Ch	Fol.n	S
<i>Lecanora sarcopis</i>	Ch	Cr	S	<i>Physconia grisea</i>	Ch	Fol.n	A.s
<i>Lecanora strobilina</i>	Ch	Cr	S	<i>Physconia perisidiosa</i>	Ch	Fol.n	A.s
<i>Lecanora symmicta</i>	Ch	Cr	S	<i>Pleurosticta acetabulum</i>	Ch	Fol.b	S
<i>Lecanora umbrina</i>	Ch	Cr	S	<i>Punctelia borrieri</i>	Ch	Fol.b	A.s
<i>Lecidella elaeochroma</i>	Ch	Cr	S	<i>Punctelia subrudecta</i>	Ch	Fol.b	A.s
<i>Lepraria sp</i>	Ch	Le	S	<i>Rinodina pyrina</i>	Ch	Cr	S
<i>Melanohalea exasperata</i>	Ch	Cr	S	<i>Rinodina sophodes</i>	Ch	Cr	S
<i>Melanohalea exasperatula</i>	Ch	Fol.b	S	<i>Strigula affinis</i>	Ch	Cr	S
<i>Melanelixia glabra</i>	Ch	Cr	S	<i>Xanthoria fallax</i>	Ch	Fol.n	A.s
<i>Melanelixia fuliginosa</i>	Ch	Fol.b	A.i	<i>Xanthoria fulva</i>	Ch	Fol.n	A.s
<i>Melanelixia subaurifera</i>	Ch	Fol.b	A.s	<i>Xanthoria parietina</i>	Ch	Fol.b	S
<i>Micarea prasina</i>	Ch	Cr	S	<i>Xanthoria ulophyllodes</i>	Ch	Fol.n	A.s
<i>Normandina pulchella</i>	Ch	Sq	A.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). Per le abbreviazioni vedere Tab. 2

A)		
FO	N	%
Ch	88	92,6
Cy.h	1	1,1
Tr	6	6,3
Tot	95	100,0
B)		
F. cr	n	%
Cr	53	55,8
Fol.n	22	23,2
Fol.b	16	16,8
Frut	1	1,1
Lepr	1	1,1
Sq	2	2,1
Tot	95	100,0
C)		
Ri	n	%
A.s	36	37,9
A.i	6	6,3
S	53	55,8
Tot	95	100,0

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 soredi
 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**

Specie	%	Specie	%
<i>Candelaria concolor</i>	70,89	<i>Pleurosticta acetabulum</i>	0,29
<i>Hyperphyscia adglutinata</i>	39,17	<i>Lecanora hagenii</i>	0,28
<i>Phaeophyscia orbicularis</i>	26,59	<i>Parmotrema chinense</i>	0,28
<i>Physcia adscendens</i>	19,80	<i>Melanelia exasperata</i>	0,26
<i>Lecidella elaeochroma</i>	15,62	<i>Physconia grisea</i>	0,25
<i>Phaeophyscia chloantha</i>	11,07	<i>Rinodina pyrina</i>	0,23
<i>Xanthoria parietina</i>	10,55	<i>Melanelia exasperatula</i>	0,22
<i>Phaeophyscia hirsuta</i>	10,10	<i>Ramalina farinacea</i>	0,22
<i>Candelariella reflexa</i>	6,75	<i>Xanthoria ulophyllodes</i>	0,22
<i>Phaeophyscia poeltii</i>	5,34	<i>Pertusaria amara</i>	0,21
<i>Lecanora chlorotera</i>	4,83	<i>Physcia leptalea</i>	0,21
<i>Punctelia subrudecta</i>	4,78	<i>Pertusaria leioplaca</i>	0,17
<i>Phaeophyscia pusilloides</i>	4,20	<i>Lecanora umbrina</i>	0,17
<i>Normandina pulchella</i>	3,97	<i>Caloplaca cerinella</i>	0,15
<i>Candelariella xanthostigma</i>	3,91	<i>Pertusaria hymenea</i>	0,15
<i>Flavoparmelia caperata</i>	3,90	<i>Physconia perisidiosa</i>	0,15
<i>Phlyctis argena</i>	3,26	<i>Flavoparmelia soredians</i>	0,13
<i>Xanthoria fulva</i>	3,00	<i>Buellia griseovirens</i>	0,13
<i>Lecanora carpinea</i>	2,98	<i>Caloplaca hungarica</i>	0,12
<i>Pertusaria pustulata</i>	2,83	<i>Collema subflaccidum</i>	0,12
<i>Punctelia borrieri</i>	2,65	<i>Melanelia subaurifera</i>	0,12
<i>Physcia stellaris</i>	2,28	<i>Physcia semipinnata</i>	0,12
<i>Lecanora argentata</i>	2,21	<i>Caloplaca ferruginea</i>	0,12
<i>Xanthoria fallax</i>	2,15	<i>Melanelia glabra</i>	0,11
<i>Catillaria nigroclavata</i>	1,86	<i>Lecanora albella</i>	0,11
<i>Rinodina sophodes</i>	1,84	<i>Parmelina tiliacea</i>	0,10
<i>Lecanora expallens</i>	1,70	<i>Lecanora sarcopis</i>	0,10
<i>Amandinea punctata</i>	1,60	<i>Strigula affinis</i>	0,10
<i>Physcia tenella</i>	1,39	<i>Flavopunctelia flaventor</i>	0,09
<i>Phaeophyscia ciliata</i>	1,31	<i>Lecanora intumescens</i>	0,09
<i>Chrysothrix candelaris</i>	1,26	<i>Pertusaria pertusa</i>	0,09
<i>Lepraria sp</i>	1,07	<i>Ochrolechia turneri</i>	0,09
<i>Physcia biziana</i>	1,03	<i>Melanelia glabratula</i>	0,08
<i>Arthonia radiata</i>	0,84	<i>Pertusaria albescens</i>	0,08
<i>Physconia distorta</i>	0,84	<i>Lecania cyrtella</i>	0,07
<i>Caloplaca cerina</i>	0,66	<i>Lecanora pulicaris</i>	0,07
<i>Ochrolechia androgyna</i>	0,59	<i>Pertusaria coccodes</i>	0,07
<i>Physcia aipolia</i>	0,58	<i>Evernia prunastri</i>	0,06
<i>Opegrapha atra</i>	0,58	<i>Ochrolechia alboflavescens</i>	0,05
<i>Graphis scripta</i>	0,48	<i>Hypogymnia tubulosa</i>	0,04
<i>Physcia clementei</i>	0,46	<i>Lecanora circumborealisis</i>	0,04
<i>Arthonia dispersa</i>	0,42	<i>Caloplaca flavorubescens</i>	0,04
<i>Parmelia sulcata</i>	0,42	<i>Ochrolechia pallescens</i>	0,04
<i>Physcia vitti</i>	0,41	<i>Lecanora strobilina</i>	0,03
<i>Parmelina quercina</i>	0,35	<i>Caloplaca pyracea</i>	0,02
<i>Lecanora allophana</i>	0,33	<i>Opegrapha rufescens</i>	0,02
<i>Micarea prasina</i>	0,33	<i>Parmelia saxatilis</i>	0,02
<i>Lecanora symmetrica</i>	0,32		

5.4 Carte di Biodiversità Lichenica (BL)

I risultati dell'elaborazione cartografica dei valori di BL riferiti alle 72 stazioni di rilevamento sono riportati in Figg. 5 e 6.

La Fig. 5 rappresenta la distribuzione dei valori di BL, la Fig. 6 è stata realizzata applicando la scala di interpretazione dei valori di BL proposta da Castello & Skert (2005), riportata in Tab. 4. 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 recente, la scala è ancora in fase sperimentale e quindi suscettibile di perfezionamento. La scala, in una prima approssimazione, si è dimostrata compatibile anche per la fascia montana.

In Tab 5 si riporta dettagliatamente l'elenco delle stazioni, la località, le coordinate del punto centrale e il valore di BL. La Carta di Fig. 7 favorisce la comprensione indicando esclusivamente le stazioni di campionamento con un cerchio di colore coerente con la classe di BL.

Classi	Valori BL	Colore
1. Naturalità molto alta	> 75	Blu
2. Naturalità alta	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. 4. Classi di naturalità/alterazione in relazione ai valori di BL

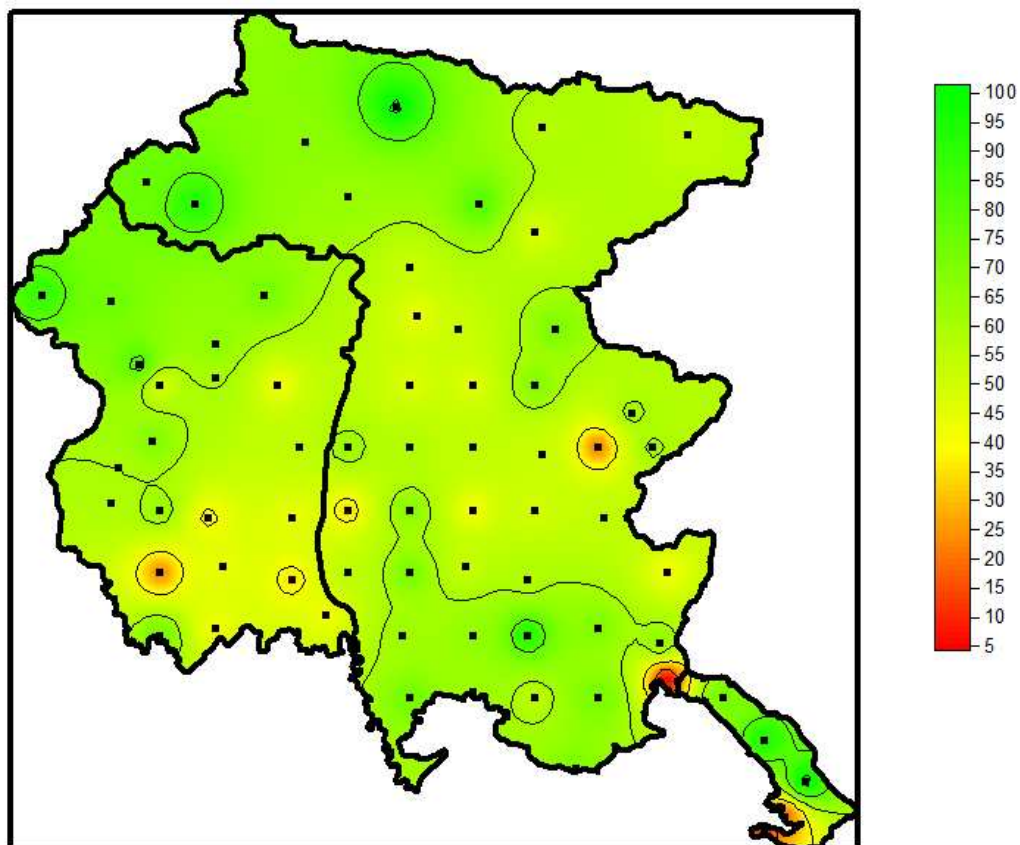


Fig. 5. Mappa di distribuzione dei valori di BL nella Provincia di Udine.

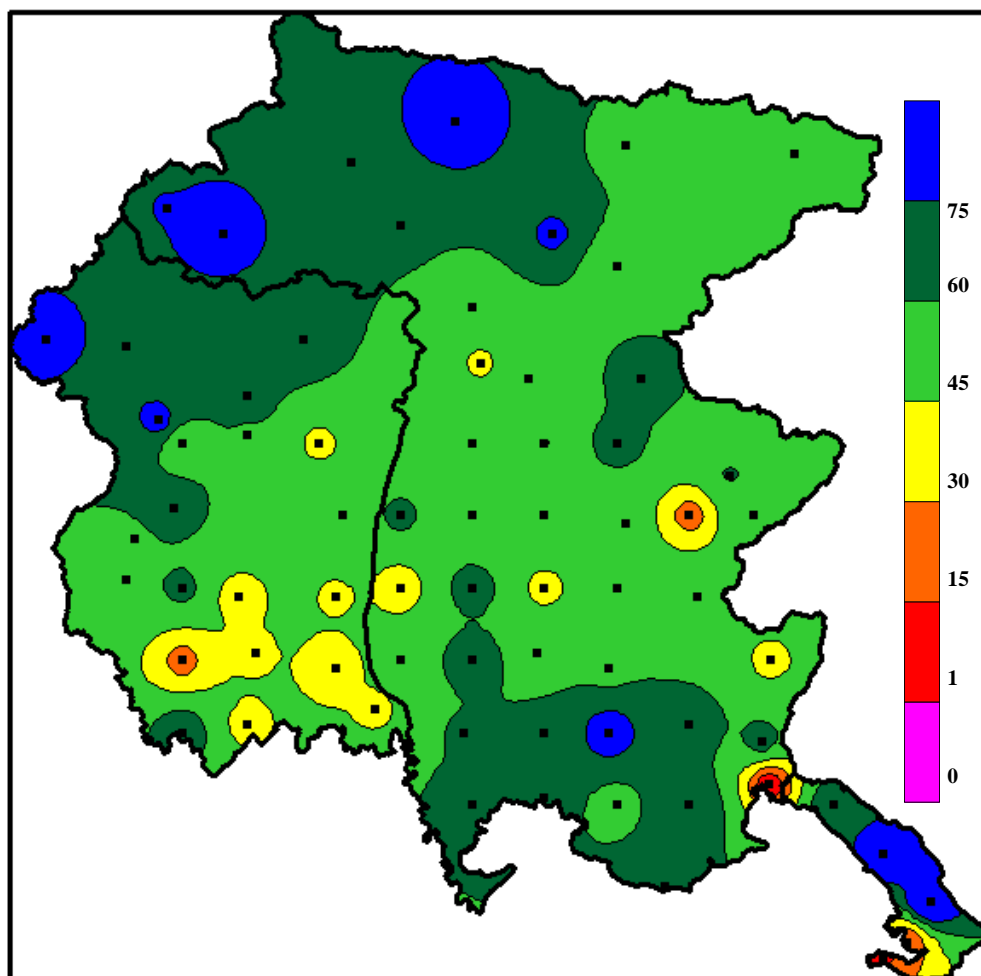


Fig. 6 Suddivisione del territorio in fasce di deviazione dalla naturalità, per specifici valori di BL, secondo la metodica proposta da Castello & Skert (2005)



Fig. 7. Suddivisione cromatica delle UCP secondo le classi di deviazione dalla naturalità, per specifici valori di BL, come da Tab.4.

coord x	coord y	Stazioni	Località	BL
5058000	408000	TS18	PADRICIANO	110
5154825	2368919	UD2	PALUZZA	102
5078830	2387933	UD41	CERVIGNANO DEL FRIULI	96
5140830	2339936	NA1	FORNI DI SOTTO	94
5064000	402000	TS12	PROSECCO	91
5127825	2317931	PN6	ERTO	89
5086829	2396934	GO22	MEDEA	87
5117816	2331926	PN9	BARCIS	84
5140830	2380932	NA3	MOGGIO	81
5144076	2332935	UD12	FORNI DI SOPRA	77
5126823	2327931	NA10	CLAUT	75
5069827	2370932	UD42	PALAZZOLO DELLO STELLA	75
5087830	2370932	UD37	TALMASSONS	74
5078830	2334933	PN22	PASIANO DI PORDENONE	74
5127823	2349935	PN8	TRAMONTI DI SOTTO	73
5069828	2415935	TS1	SLIVIA	73
5069829	2397936	GO16	ISOLA MOROSINI	72
5069829	2397936	NA16	SAN CANZIAN D'ISONZO	72
5122791	2391883	UD22	TAIPANA	71
5059828	2394936	GO4	GRADO	71
5079829	2397933	GO2	VILLESSE	71
5106790	2333934	PN14	AVIANO	70
5114829	2388932	UD25	ATTIMIS	70
5096829	2370932	UD33	BASILIANO	70
5149830	2355927	UD4	OVARO	67
5120760	2342934	NA6	POFFABRO	67
5077831	2406932	GO3	DOBERDO DEL LAGO	67
5078830	2379932	UD40	PORPETTO	66
5096829	2334933	PN17	ROVEREDO IN PIANO	66
5105828	2361934	NA8	DIGNANO	65
5141829	2361932	NA4	VILLA SANTINA	64
5070823	2379932	NA15	VILLA BRUNA (MARANO)	63
5078830	2369933	UD39	TEOR	63
5110823	2402938	UD27	SARZENTO	62
5105827	2405933	UD31	CASTELMONTE	61
5115828	2342932	PN11	MANIAGO	60
5102862	2328897	NA11	BUDOIA	60
5097829	2327930	PN16	FONTANAFREDDA	59

coord x	coord y	Stazioni	Località	BL
5105827	2370932	UD29	FAGAGNA	58
5151829	2389931	UD8	PONTEBBA	57
5086834	2387927	UD38	SANTA MARIA LA LONGA	57
5087828	2361933	NA13	CAMINO AL TAGLIAMENTO	55
5095830	2398932	UD36	CORNO DI ROSAZZO	54
5105826	2354930	PN15	BARBEANO	54
5105829	2379934	NA7	MARTIGNACCO	54
5069827	2388932	UD43	TERZO D'AQUILEIA	54
5150829	2410927	UD10	TARVISIO	53
5104828	2389931	UD30	REMANZACCO	52
5131834	2370932	UD17	TRASAGHIS	52
5088828	2378937	NA12	CASTIONS DI STRADA	51
5122832	2377935	NA17	ARTEGNA	51
5096841	2388899	UD35	PRADAMANO	49
5136823	2388932	UD19	RESIA	47
5114829	2334933	PN10	MONTEREALE VALCELLINA	47
5114829	2370932	UD23	MAJANO	46
5114829	2379932	UD24	CASSACCO	45
5088829	2343933	NA14	FIUME VENETO	44
5095830	2353930	PN19	VALVASONE	43
5124832	2371921	UD21	OSOPPO	43
5079830	2342940	PN23	CHIONS	41
5081830	2358936	PN24	MORSANO AL TAGLIAMENTO	41
5087831	2407932	GO1	MOSSA	41
5114829	2351933	PN12	SEQUALS	41
5096829	2379930	UD34	CARPENETO	39
5095830	2341938	PN18	CORDENONS	37
5086831	2353931	PN21	SAN VITO AL TAGLIAMENTO	34
5096829	2361932	UD32	SEDEGLIANO	33
5087832	2334933	PN20	VALLE NONCELLO	22
5150830	2397935	NA18	CIVIDALE DEL FRIULI	20
5052828	2424935	TS25	TRIESTE	18
5050828	2421935	TS24	MUGGIA	17.3
5072811	2406930	GO5	MONFALCONE	2

Tab. 5. Stazioni di campionamento utilizzate per il biomonitoraggio. BL = Biodiversità Lichenica. Coordinate geografiche espresse in UTM (WGS 84). Le stazioni sono organizzate in ordine decrescente di BL. Nei codici stazione NA= rete nazionale, UD/PN/GO/TS= rete Provinciale.

Il valore maggiore di BL è stato registrato a Padriciano (TS18, BL=110), il minore a Monfalcone (GO5, BL=2). Il valore medio è piuttosto elevato, pari a 59.81, e una deviazione standard di 19.71. La carta di Fig. 5 individua le situazioni di maggiore BL nelle porzioni nord occidentale (Alpi Carniche e Dolomiti Friulane), meridionale (Bassa Pianura) e centro-orientale (Valli del Natisone e Alta Val Torre). La carta di Figura 6 suddivide il territorio in una serie di fasce di deviazione dalla naturalità ed evidenzia con diversi colori le varie situazioni ambientali, di cui si propone una breve descrizione per fasce.

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. Una sole UCP rientra in questa classe, Monfalcone, BL=2.

BL 16-30 (classe 5): alterazione media. Raggruppa 4 UCP: (TS24 BL=17.3; TS25, Trieste, BL=18; NA18, Cividale del Friuli BL = 20.3; PN20, Valle Noncello, BL=22).

BL 31-45 (Classe 4): alterazione bassa-naturalità bassa. Raggruppa 12 stazioni. Sette sono concentrate in Provincia di Pordenone, sostanzialmente nella porzione meridionale, eccetto Sequals (PN12, BL= 41). Quattro sono quelle che individuano due aree di bassa alterazione in provincia di Udine, rispettivamente in zona pedemontana e in alta pianura. Una sola in provincia di Gorizia, presso Mossa a Ovest del capoluogo (GO1, BL=41).

BL 46-60 (classe 3): naturalità media. Raggruppa 19 UCP, formando una fascia che comprende la pianura friulana pordenonese, l'alta udinese, le Valli del Natisone, la zona collinare-pedemontana e montana lungo la direttrice SW-NE del Canal Del Ferro-Valcanale.

BL 61-75 (classe 2): naturalità alta. E' il gruppo più numeroso con ben 25 UCP, individuando sostanzialmente tre aree distinte. Una attraversa la bassa pianura friulana in provincia di Udine estendendosi sino alla parte settentrionale del carso triestino, un'altra interessa l'alta Val del Torre, la più estesa tra le dolomiti friulane e la porzione orientale delle Alpi Carniche.

BL >75 (classe 1): naturalità molto alta. E' caratterizzato da 10 UCP, 2 nella porzione centro settentrionale dove le Alpi Carniche incontrano le Alpi Giulie (NA2, Paluzza; NA3, Moggio Udinese), 4 nella cinturazione del Parco Naturale delle Dolomiti Friulane (NA1, Forni di Sotto; PN6, Erto; PN9, Barcis; UD9, Forni di Sopra), una nella bassa friulana (UD41, Cervignano), 1 in Provincia di Gorizia (GO22, Medea), due in Provincia di Trieste sul carso triestino (TS12, Prosecco, TS18, Padriciano, il valore più alto registrato in tutta la regione).

5.5 Interpretazione dei valori di BL

La distribuzione dei valori di BL riscontrata nella regione FVG è modellata essenzialmente da due fattori principali: l'orografia del territorio e il livello di pressione antropica. I maggiori valori di BL si concentrano nella porzione centro-settentrionale della regione (Dolomiti Friulane e Alpi Carniche), Alta Val Torre, Carso Triestino e bassa pianura friulana in provincia di Udine. Le prime tre aree sono indubbiamente associabili a buoni e alti valori di naturalità, dal momento che la pressione antropica in tali zone è piuttosto bassa, riconducibile essenzialmente a una rete urbana e di comunicazione lassa, con sporadica presenza di insediamenti produttivi soprattutto legati al turismo, alla lavorazione del legno o di materie prime alimentari. Le comunità licheniche presenti sono associabili allo *Xanthorion*, al quale si mescolano elementi del *Lecanorion* e del *Graphidion*. Lo *Xanthorion* è una comunità di licheni dal carattere chiaramente 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. Il *Lecanorion* è caratterizzato da specie crostose pioniere che spesso precedono e si mescolano allo *Xanthorion*, il *Graphidion* da specie crostose che prediligono zone umide e boschive, raro in ambienti antropizzati dal momento che mal tollerano elevati fenomeni di eutrofizzazione ed inquinamento atmosferico. Come già riscontrato nella precedente campagna di monitoraggio della Provincia di Udine (Skert & Grahonja, 2011), gli alti valori di BL riscontrati nella bassa pianura friulana sono più correlabili con l'attività agricola intensiva che ad alti livelli di naturalità. Si rilevano infatti pochi ma abbondanti elementi chiaramente nitrofitici e ascrivibili allo *Xanthorion* (*X. parietina*, *C. concolor*, *L. chlarotera*, *C. reflexa*, *H. adglutinata*, *L. Elaeochroma*, *P. orbicularis*, *P. Cloantha*, *P. adscendens* etc.), specie che non sono certo indicatori di elevata naturalità, bensì di eutrofizzazione (Ruisi et al, 2005, Frati et al., 2008). Come già riportato nella succitata relazione, si consiglia di usare cautela nella interpretazione della BL in condizioni di elevata eutrofizzazione.

Si individua una fascia di direttrice sud-est caratterizzata da valori di BL che riflettono un impoverimento floristico, correlabili a stadi più o meno degradati dello *Xanthorion* e conseguenti fenomeni di alterazione ambientale.

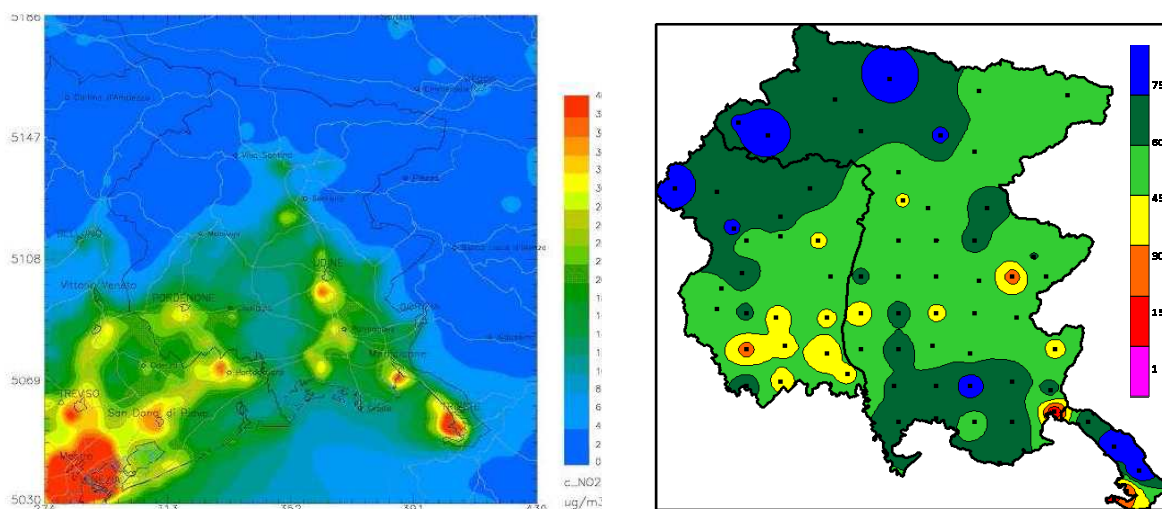
I valori di BL inferiori alle attese riscontrati lungo la Val Canale-Canal del Ferro può essere correlato al fatto che i punti di campionamento sono tutti concentrati a fondovalle, solcata da importanti vie di comunicazione veicolare. Inoltre il Canal del Ferro è per la maggior parte del suo percorso profondamente inciso e stretto, favorendo l'incanalamento degli inquinanti derivanti non solo dall'intenso traffico

veicolare dell'autostrada e superstrada, ma anche al loro ristagno nei periodi invernali. Non è da escludere, per analogia, il ristagno di inquinanti in vallata derivanti dal riscaldamento domestico durante i periodi invernali.

Le aree di maggiore alterazione riscontrate in Regione, tra bassa e media, riguardano la bassa pordenonese (Valle Noncello, Chions, Cordenons, Aviano, Morsano al Tagliamento, San Vito al Tagliamento, Valvasone) e alcuni spots riferibili alle UCP di Sequals, Pozzuolo del Friuli, Cividale e Osoppo, presso le quali si trovano alcune attività produttive che rappresentano fonti emittenti di gas fitotossici, quali cementifici e impianti siderurgici, infine Camino al Tagliamento e Mossa, il primo che probabilmente risente dell'area di alterazione riscontrata nella bassa pordenonese e la seconda della città di Gorizia posta a pochi km a est del sito di campionamento.

I minori valori di BL di tutta la Regione si concentrano in prossimità della centrale termoelettrica di Monfalcone, presso la Ferriera di Trieste e Muggia. Sono da sottolineare due tendenze rispetto all'analisi puntuale che è stata eseguita in Provincia di Trieste nel 2005 (Skert et al, 2006). La prima, il netto miglioramento del valore di BL presso la stazione situata a ridosso della ferriera di Servola (da 4.5 a 18) indicante un processo di ripopolamento, benché costituito da elementi tossitolleranti quali *Candelaria concolor* e *Phaeophyscia orbicularis*. La seconda tendenza, riguarda la stazione situata in località Zindis a Muggia, presso cui il valore di BL è cresciuto da 14.2 a 17.3, un miglioramento decisamente inferiore rispetto a quello registrato presso la ferriera. E' già stato suggerito nello studio precedente che il motivo di un tale valore di alterazione della BL è da imputare al regime dei venti prevalenti che tendono a convogliare le emissioni dal vicino stabilimento siderurgico proprio nella zona di maggiore sofferenza della biodiversità lichenica.

In merito alle previsioni modellistiche è da apprezzare la sovrapposibilità tra il modello di dispersione degli NO_x (Del Frate et al, 2009) e la carta di Naturalità/Alterazione della BL (Figg. 8 e 9 rispettivamente). I valori di BL inferiori all'atteso individuati in Val Canale e Canal del Ferro suggeriscono il posizionamento di sistemi di rilevamento mobili al fine di avvallare il modello di dispersione.



Figg. 8 e 9. Comparazione tra il modello di dispersione degli NO_x e le fasce di BL.

6. CONCLUSIONI

I risultati dello studio di bioindicazione sono riassunti come segue:

- La comunità dominante nell'area di studio è indubbiamente lo *Xanthorion*, nitrofitico, basifitico, xerofitico, fotofitico. Si tratta di una vegetazione caratterizzata da elementi capaci di penetrare in profondità nelle aree a maggiore pressione antropica. Questo è principalmente legato al fatto che ben tollerano anche elevati apporti di nutrienti, rilevanti 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. Elementi della comunità del *Graphidion*, costituita da elementi che mal tollerano elevati fenomeni di eutrofizzazione ed inquinamento atmosferico, è generalmente rappresentata nelle stazioni localizzate nella porzione nord-occidentale della Regione (Alpi Carniche e Dolomiti Friulane), indicando una situazione di elevata naturalità.
- I valori di BL suggeriscono situazioni da buona a elevata naturalità nel Parco delle Dolomiti Friulane, Carso Triestino, Carnia, Alta Val Torre e Valli del Natisone, bassa pianura friulana. Un'estesa fascia di naturalità media si estende lungo la direttrice sudovest-nordest, dalla pianura alla Val Canale, Canal del Ferro e Val Resia.
- Le aree di maggiore alterazione riscontrate in Regione, tra bassa e media, riguardano la bassa pordenonese e alcuni spots presso alcune attività produttive che rappresentano fonti emittenti di gas fitotossici, quali cementifici e impianti siderurgici.
- I minori valori di BL di tutta la Regione si concentrano in prossimità della centrale termoelettrica di Monfalcone, presso la Ferriera di Trieste e Muggia.
- Gli alti valori di BL riscontrati nella bassa pianura friulana in Provincia di Udine sono associabili a processi spinti di eutrofizzazione da agricoltura intensiva, piuttosto che ad alti valori di naturalità ambientale.

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.
- Deruelle S., 1977. Influence de la pollution atmospherique sur la végétation lichénique des arbres isolées dans la region de Mantes (Yvelines). *Rev Bryol Lichénol* 43 (2): 137-158.
- Del Frate S., Gallai I., Montanari F., 2009. Classificazione del territorio della regione Friuli Venezia Giulia in zone omogenee per il parametro NO₂. Centro Regionale di Modellistica Ambientale, ARPA FVG, pp 12. http://www.arpa.fvg.it/fileadmin/Informazione/Report/Report_propedeutici_Piano_Regionale_Tutela_Aria/ZONIZZAZIONE_NO2.pdf
- 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.

- 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.
- Frati L, Brunialti G., Loppi S. Effects of reduced nitrogen compounds on epiphytic lichen communities in Mediterranean Italy. *Science of The Total Environment* Volume 407, Issue 1, 15 December 2008, Pages 630-637.
- 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 naturality 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 biondication 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., Fragiacomò 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.
- Ruisi S., Zucconi L., Fornasier F., Paoli L., Frati L., Loppi S., 2005. Mapping environmental effects of agriculture with epiphytic lichens. *Israel Journal of Plant sciences. Volume: 53, Issue: 2. Pages: 115-124.*
- 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 / Nicola Skert ; tutore: Pier Luigi Nimis ; coordinatore: Enrico Feoli ; sede amministrativa: Università degli studi di Trieste .*

- 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.
- Skert N., Grahonja R., 2011. Biomonitoraggio della Provincia di Udine tramite licheni come bioindicatori. Relazione finale. http://www.arpa.fvg.it/fileadmin/Temi/Aria/biomonitoraggio_licheni/LICHENI_PROVINCIA_UDINE.pdf
- 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.