



Dipartimento di Trieste



Provincia di Trieste

**BIOMONITORAGGIO
DELL'INQUINAMENTO DA GAS FITOTOSSICI
DELLA PROVINCIA DI TRIESTE
TRAMITE LICHENI COME BIOINDICATORI**

**RELAZIONE FINALE
2006**

Nordio Miani

Nicola Skert

Roberto Grahonja

Marika Mariuz

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 RECENTI.....	12
4. MATERIALI E METODI.....	17
4.1 STAZIONI DI CAMPIONAMENTO	17
4.2 SCELTA DEGLI ALBERI DA CAMPIONARE	19
4.3 METODICA DI RILEVAMENTO	20
4.4 ELABORAZIONI STATISTICHE.....	21
4.4.1 Analisi multivariata	21
4.4.2 Cartografia.....	22
5. RISULTATI	23
5.1 ANALISI DELLA FLORA LICHENICA	23
5.2 DISTRIBUZIONE DELLE 10 SPECIE PIÙ FREQUENTI.....	28
5.3 ANALISI DELLA BIODIVERSITÀ LICHENICA DELLE STAZIONI	31
5.3.1 Analisi multivariata	31
5.3.1.1 Classificazioni	31
5.3.1.2 Ordinamento delle UCP.....	38
5.4 CARTE DI BIODIVERSITÀ LICHENICA (BL)	40
5.5 INTERPRETAZIONE DEI VALORI DI BL.....	42
5.6 CONFRONTO TEMPORALE.....	45
6. CONCLUSIONI.....	47
7. BIBLIOGRAFIA	49

1. PREMESSA

Il presente lavoro è stato affidato dalla Provincia di Trieste all'Agenzia Regionale per la Protezione dell'Ambiente del Friuli Venezia Giulia (ARPA FVG), Dipartimento di Trieste, tramite apposita Convenzione. Essa prevede la realizzazione di diversi studi di biomonitoraggio, da eseguire nell'ambito del territorio provinciale, che riguardano tutte le matrici ambientali: aria, acqua, suolo. Le metodiche utilizzate in questi studi sono sia standardizzate che sperimentali. Quella utilizzata nel presente caso è una metodica standardizzata e si avvale di licheni come bioindicatori della qualità dell'aria.

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 è resa quindi necessaria una nuova mappatura della Biodiversità Lichenica sul territorio provinciale, dopo quella eseguita nel 2000-2001 con la vecchia procedura, sia per riaggiornare i dati coerentemente con le nuove linee guida ufficiali, sia per evidenziare il trend temporale della qualità dell'aria dopo quattro anni dalla precedente campagna di monitoraggio.

Il campionamento è stato eseguito tra gennaio e settembre 2005.

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), 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 nei limiti amministrativi della Provincia di Trieste. Ha una superficie di 212 km² e rientra nella fascia climatica submediterranea.

Questo territorio può essere suddiviso in quattro distretti:

- 1) **Altopiano Carsico:** inizia presso il confine con la Provincia di Gorizia ad un'altezza inferiore ai 100 m, per innalzarsi in modo progressivo sino a più di 500 m a sud-est di Basovizza. Un'altra elevazione notevole è data dal M. Lanaro, che supera i 500 m, ed è posto presso il confine di stato a nord-est di Rupingrande. L'altopiano carsico è oggi largamente occupato da una boscaglia dominata da specie submediterranee e centroeuropee.
- 2) **Costiera Triestina:** comprende una stretta fascia di territorio, caratterizzata in genere da una forte declività e da substrati diversi: prevalenza di calcari da Duino a Marina di Aurisina, di Flysh da Marina di Aurisina a Barcola. Nella parte più settentrionale vi sono estesi relitti di vegetazione mediterranea sempreverde.
- 3) **Conca di Trieste:** corrisponde alle aree urbana e industriale di Trieste. È caratterizzata da elevazioni inferiori ai 100 m e da una prevalenza di Flysh come substrato principale.
- 4) **Comune di Muggia:** coincide essenzialmente alla parte più meridionale dell'area di studio. In questo territorio, costituito da basse colline di Flysh, la vegetazione naturale è stata largamente sostituita da coltivazioni.

In Fig. 1 è riportata la localizzazione delle 31 stazioni di campionamento in cui è stata eseguita l'analisi della Biodiversità Lichenica.

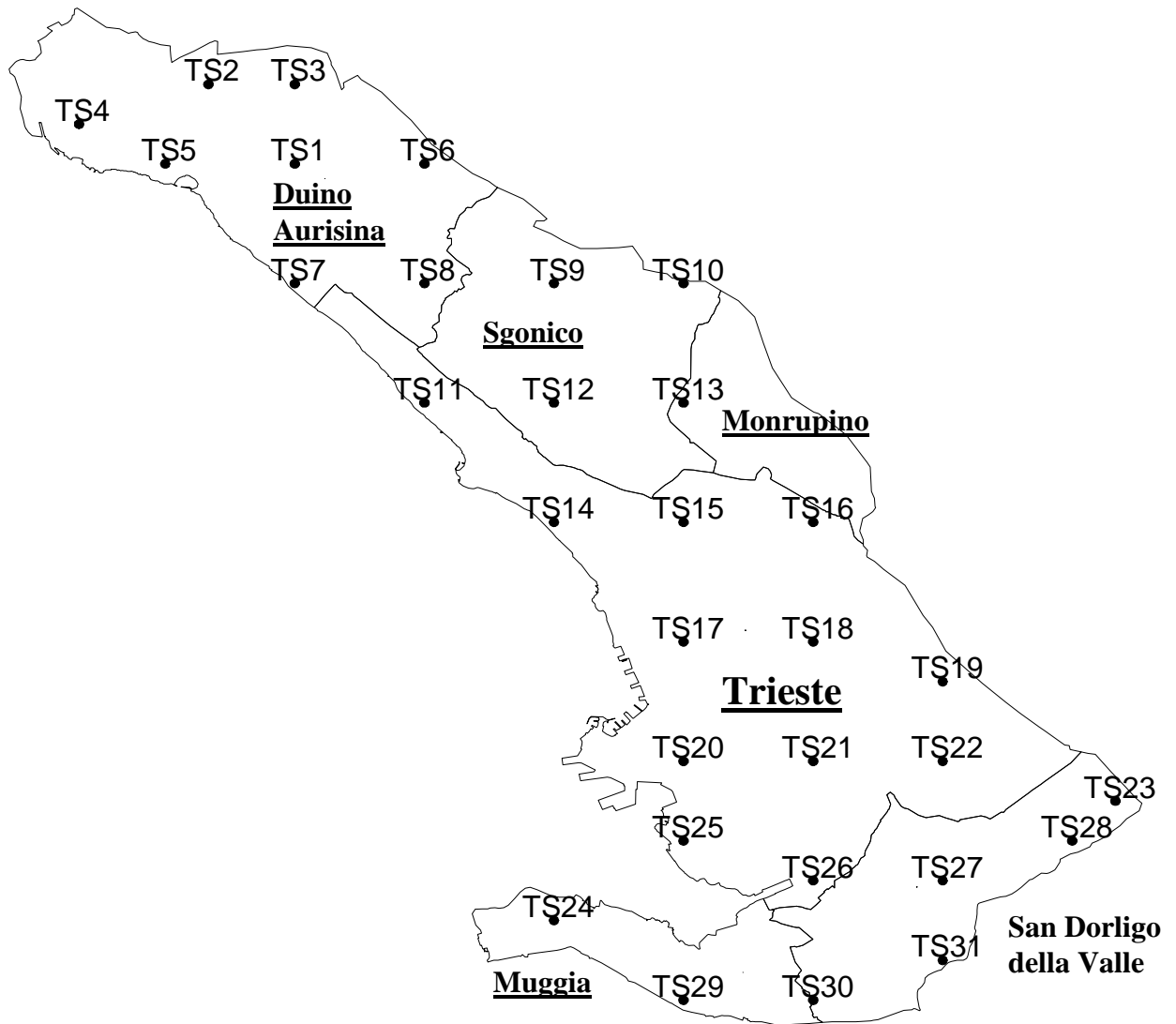


Fig. 1. Localizzazione delle stazioni di campionamento della Biodiversità Lichenica (UCP) nella Provincia di Trieste

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).

La piovosità cresce rapidamente dalla costa verso l'interno; pur mantenendosi su valori abbastanza elevati (nel triennio 1998-2000 esattamente 832,6 mm/anno nel centro di Trieste, rispetto ai 1357,5 mm/anno della stazione di Sgonico sul Carso) essa viene contrastata dalla grande percolabilità dei substrati calcarei e dal vento freddo e secco di Bora.

Mentre il clima della zona costiera è essenzialmente marittimo-mediterraneo, quello dell'altopiano presenta caratteri di più spiccata continentalità.

Il valore medio dell'umidità relativa, nel triennio 1998-2000, è stata per Trieste di 64,6 % e per il Carso di 65,6 %.

Tutti i dati climatici ci 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. 7 riporta i diagrammi climatici delle due stazioni OSMER dell'area di studio: Trieste e Sgonico.

I dati sono quelli medi mensili del triennio 1998-2000. Questi diagrammi sono stati costruiti secondo il metodo di Walter Gaussen, che consiste nella scelta del rapporto-scala $P:T = 2:1$, dove P = precipitazioni e T = temperature. Esso consente di mettere in evidenza un eventuale periodo di siccità estiva rilevante per la vegetazione. I diagrammi, sostanzialmente simili, hanno la piovosità distribuita in due periodi stagionali (inizio estate ed autunno), dimostrando un tipo pluviometrico equinoziale submediterraneo. 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 luglio, coincidente con il minimo stagionale di piovosità. Già a poca distanza dal mare, a quote relativamente moderate, le stazioni presentano un clima più rigido e più continentale rispetto a quello costiero. Tali caratteri, più che dalla temperatura media, dipendono dalla maggiore ampiezza dell'escursione giornaliera. La situazione di transizione tra un clima oceanico-mediterraneo ed uno continentale-submediterraneo è forse la

caratteristica più originale del clima locale; ad essa corrisponde sul piano florovegetazionale la compenetrazione di specie dell'elemento floristico mediterraneo e dell'elemento submediterraneo (supramediterraneo), ed il costituirsi di gradienti cenologici dalla costa verso l'interno.

Le Fig. 8 e Fig. 9 si riferiscono alle stazioni ed al periodo già considerato per i diagrammi precedenti e mostrano le velocità medie del vento a 10 m dal suolo e le frequenze prevalenti del regime di venti. Questo si caratterizza per la netta predominanza dei venti da NE ed E; si tratta di venti secchi e freddi che spirano con particolare veemenza in inverno.

Le brezze di mare e di terra sono meno sensibili lungo la costiera data la particolare conformazione orografica, mentre si fanno sentire maggiormente nelle zone a bassa altitudine della conca di Trieste.

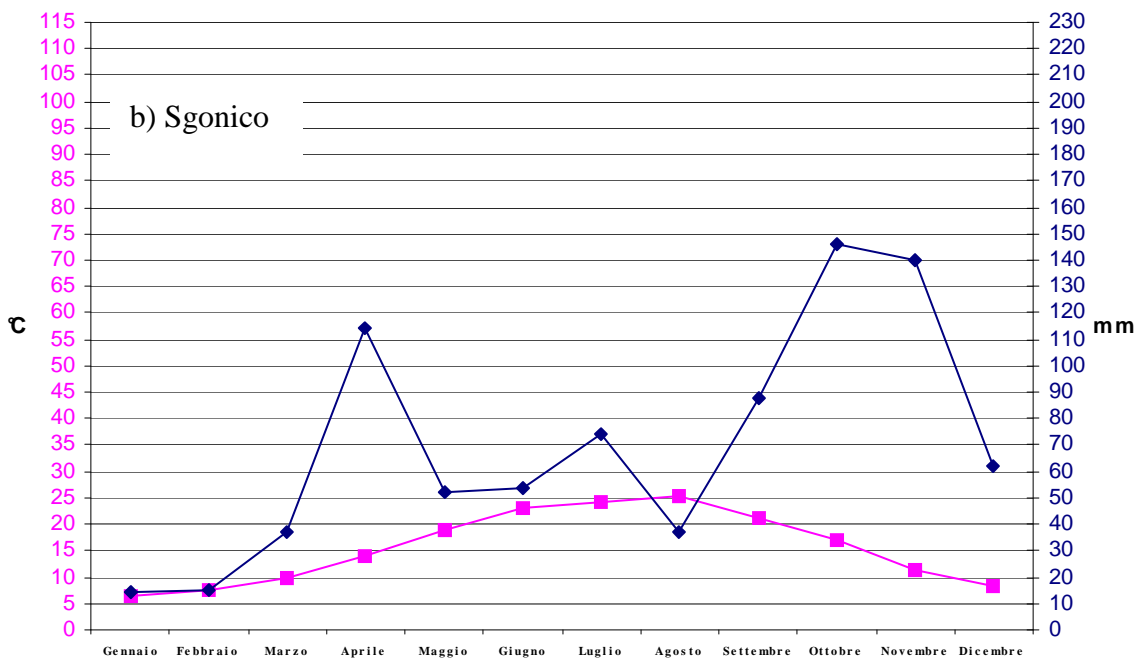
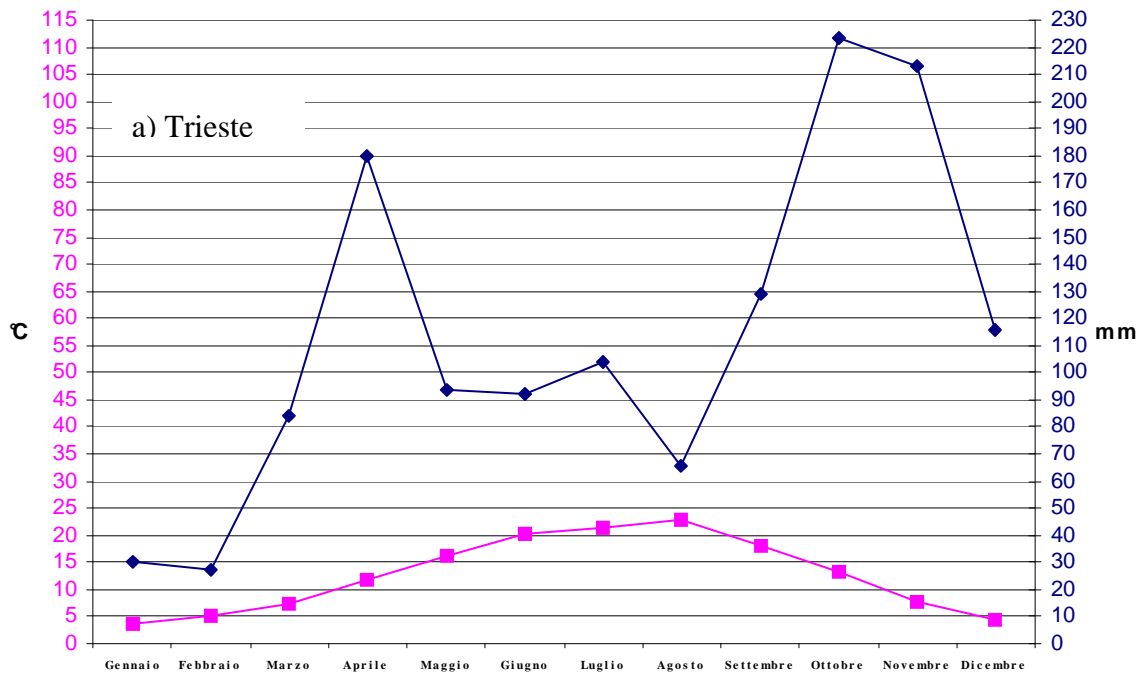


Figura . 2 Diagrammi climatici del triennio 1998-2000
a) Stazione meteorologica di Trieste (centro)
b) Stazione meteorologica di Sgonico (Carso)

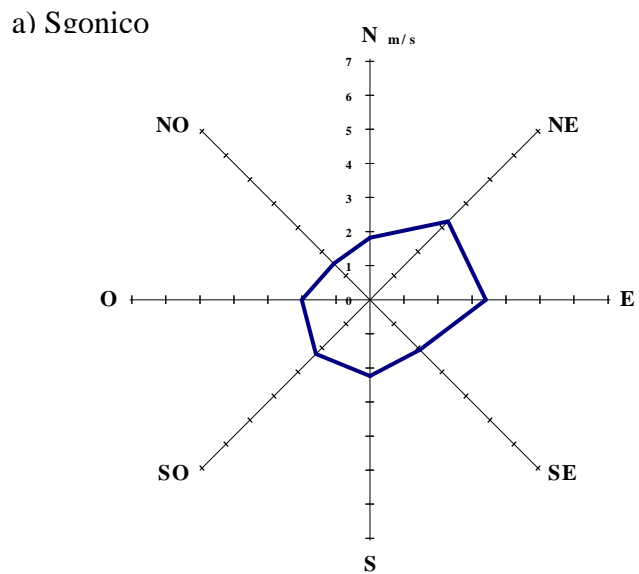
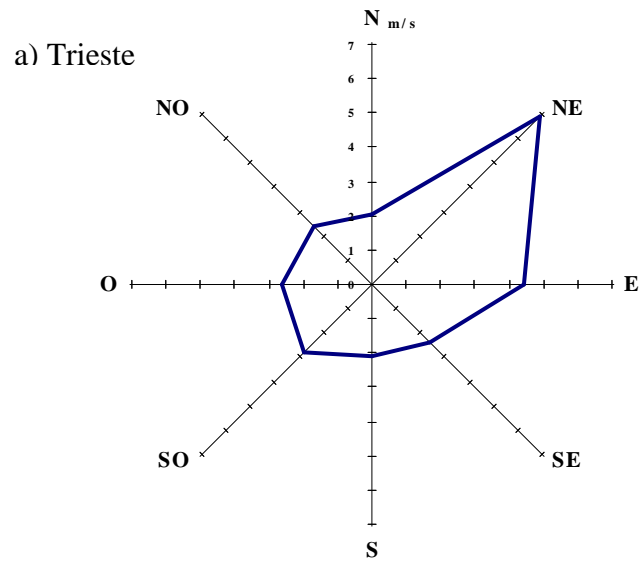


Fig. 3. Velocità medie del vento a 10 m dal suolo nel triennio 1998-2000.
 a) Stazione meteorologica di Trieste (centro)
 b) Stazione meteorologica di Sgonico (Carso)

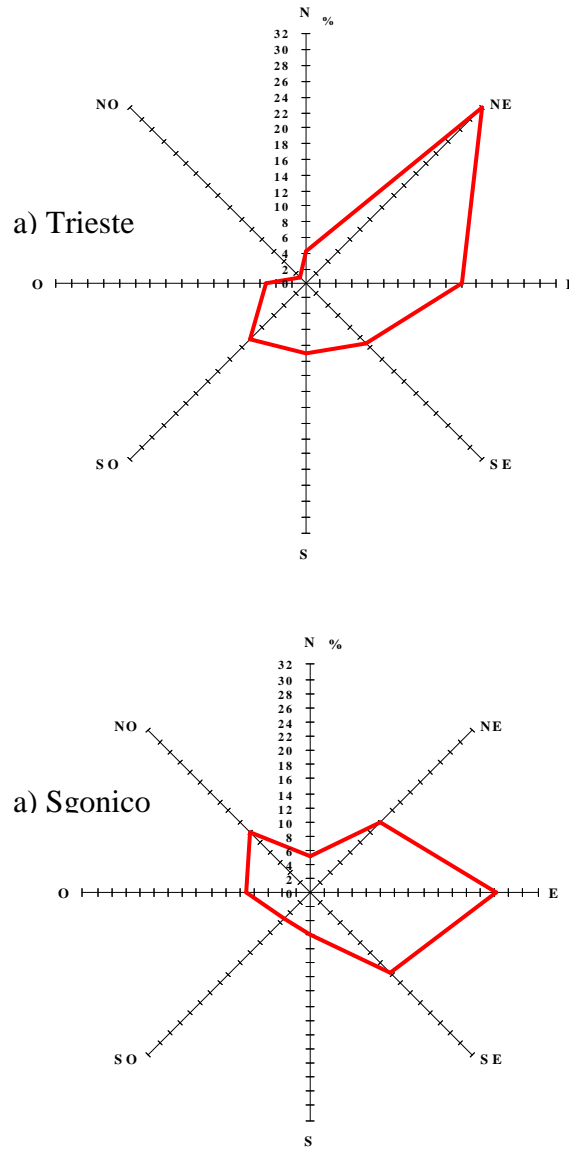


Fig. 4 Frequenze prevalenti del regime di venti nel trentennio 1998-2000
 a) Stazione meteorologica di Trieste (centro)
 b) Stazione meteorologica di Sgonico (Carso)

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 31 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. Per il presente studio si è applicato un reticolo geografico con maglia di 3 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. 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.

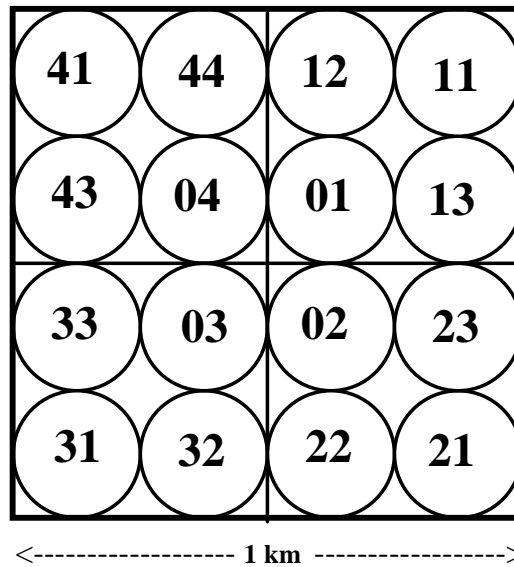


Fig. 5 UCS possibili in una UCP e schema di sostituzione

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.

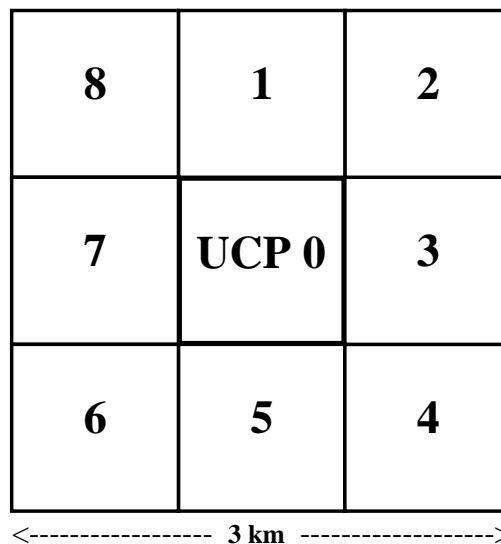


Fig. 6 Schema di sostituzione di una UCP

Nel presente studio sono state utilizzate 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.

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.

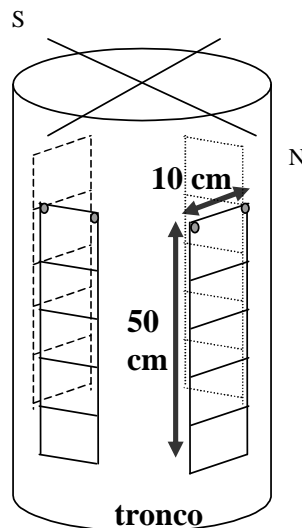


Fig. 7 Caratteristiche del reticolo di rilevamento

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 e ordinamenti. La classificazione numerica 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. Successivamente è stato effettuato un ordinamento delle stazioni, escludendo quelle a deserto lichenico, basato sui dati di frequenza, per individuare i principali gradienti di variazione floristica ed

ecologica. E' stata scelta l'Analisi delle Componenti Principali (PCA) utilizzando come misura di somiglianza la *Covarianza*.

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 1020 rilevamenti su 253 forofiti, di cui 212 *Quercus sp* localizzati prevalentemente nel Carso, 40 *Tilia sp* individuati prevalentemente in aree antropizzate e 1 *Olea Europaea*, con una media di 8 alberi per UCP. Si tratta di un numero di rilevamenti per stazione elevato per studi di biomonitoraggio eseguiti con questa metodica, il che garantisce una buona robustezza statistica ai dati di BL raccolti.

La rete provinciale a maglie di 3 km di lato è stato adattato alla forma particolare del territorio provinciale, per cui 8 UCP, che ricadevano sul mare o in Slovenia, sono state sostituite, secondo le regole delle Linee Guida, già in fase di programmazione dello studio.

Nel corso del lavoro sul campo una ulteriore UCP è stata sostituita per mancanza di forofiti idonei. Complessivamente in 17 UCP sono state rilevate tutte le 4 UCS, in 10 UCP solamente 3 ed in 4 UCP sono stati rinvenuti alberi idonei esclusivamente in 2 UCS. Delle 106 UCS considerate 26 sono UCS di sostituzione.

Segue un'analisi dettagliata dei dati rilevati.

5.1 Analisi della flora lichenica

In totale nell'area di studio sono state rinvenute 68 specie di licheni epifiti, il numero più elevato tra gli studi di biomonitoraggio eseguiti finora su tutto il territorio provinciale (62 specie, Castello et al., 1995; 53 specie, Miani et al., 2003).

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, strategia riproduttiva e rarità relativa alla fascia fitoclimatica in cui ricade l'area di studio. 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 34 % è rappresentato da licheni crostosi, il 51 % da licheni fogliosi, di cui più della metà a lobi grandi, il 6% da fruticosi, il 4% da squamulosi e il 1% da leprosi. Tutte le specie hanno come simbionti alghe verdi, tranne *Opegrapha atra* il cui simbionte è del genere *Trentepohlia*, e *Collema subflaccidum* con cianobatteri del genere *Nostoc*. Il 44% delle specie ha riproduzione asessuata tramite soredi, il 9% tramite isidi, il 47% sessuata. Le specie considerate molto rare nella fascia fitoclimatica in cui ricade l'area di studio sono 15, quelle molto comuni 19. La notevole presenza sia di specie rare che comuni indica una biodiversità lichenica ben strutturata e quindi aree di buona naturalità.

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 1012 rilievi vegetazionali. Solo 5 specie hanno frequenza superiore al 20 % (*Candelariella reflexa*, *Flavoparmelia caperata*, *Hyperphyscia adglutinata*, *Normandina pulchella*, *Physcia adscendens*), 3 specie appaiono in più di un decimo dei rilievi (*Lecidella elaeochroma*, *Lecanora expallens*, *Punctelia subrudecta*). Si tratta di specie piuttosto comuni nella fascia fitoclimatica considerata, inoltre *Flavoparmelia caperata*, *Normandina pulchella*, *Lecidella elaeochroma* sono specie piuttosto sensibili all'inquinamento e la loro forte presenza nell'area di studio indica situazioni diffuse di buona naturalità.

Specie	Fo	F.cr	Ri	Ra	Specie	Fo	F.cr	Ri	Ra
<i>Amandinea punctata</i>	Ch	Cr	S	rc	<i>Ocrolechia turneri</i>	Ch	Cr	A.s	vr
<i>Caloplaca ferruginea</i>	Ch	Cr	S	rc	<i>Opegrapha atra</i>	Tr	Cr	S	c
<i>Caloplaca flavorubescens</i>	Ch	Cr	S	rc	<i>Parmelia quercina</i>	Ch	Fol.b	S	rc
<i>Candelaria concolor</i>	Ch	Fol. n	A.s	vc	<i>Parmelia saxatilis</i>	Ch	Fol.b	A.i	r
<i>Candelariella reflexa</i>	Ch	Cr	A.s	vc	<i>Parmelia sulcata</i>	Ch	Fol.b	A.s	vc
<i>Candelariella xanthostigma</i>	Ch	Cr	S	vc	<i>Parmelina tiliacea</i>	Ch	Fol.b	A.i	c
<i>Cladonia coniocraea</i>	Ch	Frut	A.s	c	<i>Parmotrema chinense</i>	Ch	Fol.b	A.s	rr
<i>Cladonia fimbriata</i>	Ch	Frut	A.s	c	<i>Pertusaria albescens</i>	Ch	Cr	A.s	r
<i>Cladonia pyxidata</i>	Ch	Frut	S	ec	<i>Pertusaria amara</i>	Ch	Cr	A.s	c
<i>Collema subflaccidum</i>	Cy.h	Fol.b	A.i	vr	<i>Pertusaria leioplaca</i>	Ch	Cr	S	rr
<i>Evernia prunastri</i>	Ch	Frut	A.s	rr	<i>Petusaria pertusa</i>	Ch	Fol.b	A.i	c
<i>Flavoparmelia caperata</i>	Ch	Fol.b	A.s	c	<i>Phaeophyscia chloantha</i>	Ch	Fol.n	A.s	rr
<i>Flavoparmelia soredians</i>	Ch	Fol.n	A.s	rr	<i>Phaeophyscia ciliata</i>	Ch	Fol.n	S	vr
<i>Hyperphyscia adglutinata</i>	Ch	Fol.n	A.s	vc	<i>Phaeophyscia hirsuta</i>	Ch	Fol.n	A.s	vr
<i>Hypogymnia physodes</i>	Ch	Fol.n	A.s	rc	<i>Phaeophyscia orbicularis</i>	Ch	Fol.b	S	rc
<i>Hypogymnia tubulosa</i>	Ch	Fol.n	A.s	vr	<i>Phlycris argena</i>	Ch	Sq	A.s	vr
<i>Hypotrachina revoluta</i>	Ch	Fol.b	A.s	vr	<i>Physcia adscendens</i>	Ch	Fol.n	A.s	ec
<i>Lecanora albella</i>	Ch	Cr	S	vr	<i>Physcia aipolia</i>	Ch	Fol.n	A.s	rr
<i>Lecanora argentata</i>	Ch	Cr	S	vr	<i>Physcia biziana</i>	Ch	Fol.n	S	rc
<i>lecanora carpinea</i>	Ch	Cr	S	ec	<i>Physcia clementei</i>	Ch	Fol.n	A.i	er
<i>Lecanora chlarotera</i>	Ch	Cr	S	ec	<i>Physcia leptalea</i>	Ch	Fol.n	S	r
<i>Lecanora expallens</i>	Ch	Cr	A.s	c	<i>Physcia stellaris</i>	Ch	Fol.n	S	r
<i>Lecanora hagenii</i>	Ch	Cr	S	ec	<i>Physcia tenella</i>	Ch	Fol.n	A.s	rr
<i>Lecanora pulicaris</i>	Ch	Cr	S	vr	<i>Physconia distorta</i>	Ch	Fol.n	S	c
<i>Lecanora strobilina</i>	Ch	Cr	S	er	<i>Physconia grisea</i>	Ch	Fol.n	A.s	vc
<i>Lecanora symmicta</i>	Ch	Cr	S	rc	<i>Physconia servitii</i>	Ch	Fol.b	A.s	rr
<i>Lecidella elaeochroma</i>	Ch	Cr	S	ec	<i>Pleurosticta acetabulum</i>	Ch	Fol.b	S	rc
<i>Lepraria sp.</i>	Ch	Le	S	x	<i>Punctelia borrieri</i>	Ch	Fol.b	A.s	r
<i>Melanelia exasperata</i>	Ch	Cr	S	ec	<i>Punctelia subrudecta</i>	Ch	Fol.b	A.s	vc
<i>Melanelia exasperatula</i>	Ch	Fol.b	S	ec	<i>Ramalina farinacea</i>	Ch	Frut	A.s	er
<i>Melanelia glabra</i>	Ch	Cr	S	ec	<i>Ramalina fastigiata</i>	Ch	Frut	S	rc
<i>Melanelia glabrata</i>	Ch	Fol.b	A.i	vc	<i>Rinodina pyrina</i>	Ch	Cr	S	rc
<i>Melanelia subaurifera</i>	Ch	Fol.b	A.s	vc	<i>Xanthoria fallax</i>	Ch	Fol.n	A.s	r
<i>Normandina pulchella</i>	Ch	Sq	A.s	vr	<i>Xanthoria parietina</i>	Ch	Fol.b	S	ec

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	%	A) Ch: alghe verdi diverse da <i>Trentepohlia</i> Cy.h: cianobatteri Tr: <i>Trentepohlia</i>
	Ch	66	97	
	Cy.h	1	1.5	
	Tr	1	1.5	
	Tot	68	100	
B)	F. cr	n	%	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
	Cr	23	34	
	Fol.n	17	25	
	Fol.b	18	26	
	Frut	6	8.8	
	Lepr	1	1.5	
	Sq	3	4.4	
	Tot	68	100	
C)	Ri	n	%	C) A.s: asessuale con soreli A.i: asessuale con isidi S: sessuale
	A.s	30	44.1	
	A.i	6	8.8	
	S	32	47.1	
	Tot	68	100	
D)	Ra	n	%	D) Er: estremamente raro Vr: molto raro R: raro Rr: piuttosto raro Rc: piuttosto comune C: comune Vc: molto comune Ec: estremamente comune
	Er	4	5.9	
	Vr	11	16.2	
	R	6	8.8	
	Rr	8	11.8	
	Rc	11	16.2	
	C	9	13.2	
	Vc	9	13.2	
	Ec	10	14.7	
	Tot	68	100	

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

Specie	%	UCP																																		
		ts1	ts2	ts3	ts4	ts5	ts6	ts7	ts8	ts9	ts10	ts11	ts12	ts13	ts14	Ts15	ts16	ts17	ts18	ts19	ts20	ts21	ts22	ts23	ts24	ts25	ts26	ts27	ts28	ts29	ts30	Ts31				
Amandinea punctata	6.70	0.25	0.23	0.44	0.29	0.10	0.15		0.50	0.28	0.15	0.29	0.78	0.13	0.28	0.44	0.28		1.53	0.28	0.50	0.15	2.32	0.19	0.18	0.94			0.42	0.94	2.50	0.40				
Caloplaca ferruginea	1.30		0.14						0.50	0.28	0.50	0.36	0.42	0.13			0.58		0.28				0.31						0.16							
Caloplaca flavorubescens	0.14										0.15											0.14														
Candelaria concolor	37.23	1.07	1.43	0.17	0.40	3.50	0.69	1.40	2.10	2.35	1.15	3.50	3.67	2.71	1.14	3.61	4.54	0.20	3.88	1.00		1.17	4.50	1.47	0.18	0.13	1.07		1.54	2.34	1.83	3.55				
Candelariella reflexa	55.24	4.11	4.64	3.58	0.38	2.40	2.44	2.31	3.60	4.19	3.75	4.11	4.13	3.63	1.72	3.19	5.00	1.35	4.47	4.06	0.50	0.53	3.32	0.66	0.25		0.54	0.30	2.83	1.88	2.17	1.90				
Candelariella xanthostigma	4.13	0.50			0.28		0.13		0.50	0.83	0.50	0.71	0.17	0.83	0.28	0.50					1.56		0.50	0.42	0.75	0.31	0.25	0.31	0.71		0.42	0.44	0.33	0.10		
Cladonia coniocraea	0.20			0.42			0.14														0.63															
Cladonia fimbriata	0.20								0.10	0.83						0.56																				
Cladonia pyxidata	0.71		0.23				0.19	0.42			0.35											0.35														
Collema subflaccidum	0.71			0.44						0.15							0.42				0.28			0.19												
Evernia prunastri	0.28									0.28	0.50			0.28			0.28			0.31	0.42			0.17												
Flavoparmelia caperata	38.52	2.05	2.11	1.23		0.35	3.27	0.78	3.50	4.44	3.55	1.46	3.21	3.98	1.06	3.39	4.17	0.65	1.88	3.04		0.63	0.50	3.53	0.50				1.92	1.03	0.67	0.30				
Flavoparmelia soredians	0.16		0.14								0.71																									
Hyperphyscia adglutinata	30.95	1.43	0.35	0.88	1.60	3.80	0.29	1.06	1.25	0.14	1.35	3.00	3.02	0.28	2.72	1.86	1.75	1.60	0.19	0.14	0.80	3.58	1.29	0.81	0.28	0.63	1.36	1.50	2.54	2.69	4.58	4.00				
Hypogymnia physodes	0.20												0.28	0.83			0.28																			
Hypogymnia tubulosa	0.12										0.10			0.42			0.83																			
Hypotrachyna revoluta	0.18																				0.83															
Lecanora albella	0.57																					0.63														
Lecanora argentata	6.42			0.17																																
Lecanora carpinea	0.73						0.15								0.28	0.28			0.16	0.42			0.50						0.83	0.31						
Lecanora chlorotera	3.70	0.23	0.23			0.50			0.13	0.63		0.71	0.14				0.67			1.16	0.35		0.93	0.19				0.46	1.38	0.33	0.20					
Lecanora expallens	14.70	0.23	0.25	0.44	0.15	0.10	1.42	0.17	1.25	0.54	1.15	2.00		0.46	0.94	0.47	0.83	1.35	0.63	2.02			1.00	2.78				1.50	1.06	2.13	0.45					
Lecanora hagenii	0.02																													0.42						
Lecanora pulicaris	0.36		0.23						0.50											0.16			0.17						0.29							
Lecanora strobilina	0.73	0.25					0.28		0.10	0.42		0.71					0.42	0.10			0.14	0.42		0.28												
Lecanora symmicta	0.55													0.28				0.10	0.22											0.28	0.33	0.50				
Lecidella elaeochroma	16.21	0.50	0.30	0.28	0.63	1.50	0.31	0.28	0.48	0.25	0.35	1.36	0.79	0.31	0.89	0.53	3.13	0.20	1.75	0.31		0.28	2.32	0.50	0.95			2.08	2.94	3.63	3.00					
Lepraria sp	7.73	1.00	0.16	0.19	0.42	0.50	0.28	0.28	0.58	0.13	1.20	0.29	0.75	0.73	0.83	0.86	0.38	1.10	0.16	0.98		0.42	0.71	0.75	0.55		0.50	0.46	0.94	0.42	0.10					
Melanelia exasperata	0.28									0.83							0.83		0.31				0.63												0.50	
Melanelia exasperatula	0.18														0.56	0.28							0.63													
Melanelia glabra	1.46	0.45	1.00				0.63			0.29	0.55	0.36		0.13	0.56	0.83	0.17	0.50	0.19	0.15			0.36	0.13				0.13	0.63							
Melanelia glabratula	3.93	0.11		0.42	0.14		0.42	0.28		0.15	0.15	0.71	0.63	0.63	0.42	1.00	0.42	0.60	0.31	0.15			0.79	0.97				0.75	0.63					0.15		
Melanelia subaurifera	1.94		0.68	0.28			0.63		0.10	0.42		0.36	0.42		0.17	0.36	0.67			0.25	0.14		0.14	0.17	0.46							0.13				
Normandina pulchella	30.81	3.55	2.66	1.98		0.75	2.60	1.73	3.28	3.29	3.30		3.10	4.21	0.75	1.28	1.58			0.78	2.10				0.38			0.54								
Ochrolechia turneri	0.65			0.14			0.42					0.65										0.23				0.63										

Specie	%	UCP																																	
		ts1	ts2	ts3	Ts4	Ts5	ts6	ts7	ts8	ts9	ts10	ts11	ts12	ts13	ts14	ts15	ts16	ts17	ts18	ts19	ts20	ts21	ts22	ts23	ts24	ts25	ts26	ts27	ts28	ts29	ts30	ts31			
Opegrapha atra	0.02			0.28																															
Parmelia saxatilis	0.26															0.42			0.23				0.31												
Parmelia sulcata	6.58		0.45				0.17	0.13	0.13	0.54	0.55	0.71	0.13	0.48		1.31	1.13		1.91	0.48			0.32	1.00					1.13	0.46	0.13	0.10			
Parmelina quercina	0.02																															0.31			
Parmelina tiliacea	3.72								0.13		1.55		0.28	0.25	0.28	0.56	0.78		1.25	0.58		0.14	0.39	0.16							0.94				
Parmotrema chinense	1.58	1.00	0.45	0.14			0.19		0.13	0.40	0.10		0.17	0.28			0.42				0.14			0.13					0.25						
Pertusaria albescens	0.57										0.50		0.17			0.14	0.83		0.31	0.42			0.29	0.31					0.42						
Pertusaria amara	0.34		0.25				0.42							0.42							0.83														
Pertusaria leioplaca	0.20										0.50						0.83								0.25				0.25						
Pertusaria pertusa	0.04																							0.63											
Phaeophyscia chloantha	2.53	0.30	0.23	0.83	0.25			0.17	0.40	0.42		0.21	0.33	0.25	0.36	0.50	0.13						0.36	0.63									0.50		
Phaeophyscia ciliata	0.02										0.50																								
Phaeophyscia hirsuta	0.47										0.50		0.28		0.33								0.25	0.63					0.42						
Phaeophyscia orbicularis	9.21	0.82	0.39	0.38	0.90	2.10	0.17	0.15	0.35			0.25	0.28	0.28	0.11	0.86		0.15		0.28	0.50	1.38	1.21	0.13	0.15		0.46	0.40	0.67		2.38	1.00			
Phlyctis argena	0.45		0.45				0.28	0.63		0.13			0.42	0.63	0.56		0.42				0.42									0.31					
Physcia adscendens	22.98	1.64	1.41	0.38		0.65	0.63	0.58	0.95	0.29	0.35	1.50	1.00	0.79	1.00	1.67	1.25		1.81	0.15		0.88	4.18	0.63	0.78	0.31	1.11	0.50	0.92	4.38	3.88	3.20			
Physcia aipolia	0.93		0.23	0.28					0.25						0.42	0.28		0.83		0.31			0.28	0.89						0.31			0.10		
Physcia biziana	3.10			0.14		0.15		0.42				0.18	0.28	0.28	0.17	0.17	0.17		0.38	0.28		0.73	1.07	0.94		0.17		0.46	0.59	0.83	0.40				
Physcia clementei	0.57	0.48									0.40																								
Physcia semipinnata	0.61								0.50			0.36			0.14								0.36					0.42	0.94						
Physcia stellaris	3.85																							0.94											
Physcia tenella	3.85	0.32		0.28	0.31		0.28					0.36	0.17	0.28	0.28	0.53			0.59			0.29	1.46	0.31	0.15	0.22	0.68				1.08	0.50			
Physconia distorta	1.17			0.42				0.83				0.36				0.28							0.54	0.31					0.31			0.80			
Physconia grisea	1.07		0.23					0.28						0.63	0.42		0.36	0.42					0.71	0.28							0.13	0.50			
Physconia servitii	0.12								0.15																										
Pleurosticta acetabulum	0.10																0.42			0.13															
Punctelia borreri	0.30	0.23		0.28					0.83				0.83			0.83	0.42	0.50																	
Punctelia subrudecta	13.02	0.35	0.50	0.83	0.28	0.20	0.28	0.67	0.75	0.56	0.35	1.32	0.73	1.79	0.97	1.22	2.92	0.35	1.66	0.92		0.15	0.75	1.03		0.17		0.33	0.53	0.29	0.20				
Ramalina farinacea	0.04																	0.83																	
Ramalina fastigiata	0.02																0.42																		
Rinodina pyrina	0.16																								0.25										
Xanthoria fallax	0.06																							0.71	0.31										
Xanthoria parietina	0.97					0.30		0.28	0.50								0.17		0.63	0.28		0.83	0.79					0.29							

Tab. 3 (continua). Matrice delle frequenze medie delle 68 specie nelle 31 stazioni. La seconda colonna riporta le percentuali di frequenza delle specie calcolate sui 1022 rilievi vegetazionali eseguiti nelle 31 stazioni di campionamento.

5.2 Distribuzione delle 10 specie più frequenti

Si descrive la distribuzione delle 10 specie più frequenti nel territorio studiato, ovvero (in ordine decrescente di frequenza) *Candelariella reflexa*, *Flavoparmelia caperata*, *Candelaria concolor*, *Hyperphyscia agglutinata*, *Normandina pulchella*, *Physcia adscendens*, *Lecidella elaeochroma*, *Lecanora expallens*, *Punctelia subrudecta* e *Phaeophyscia orbicularis*.

In Fig. 8 si riporta la distribuzione di frequenza di *Candelariella reflexa* e *Candelaria concolor*, 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 Trieste, dove sono stati registrati i più bassi valori di biodiversità lichenica.

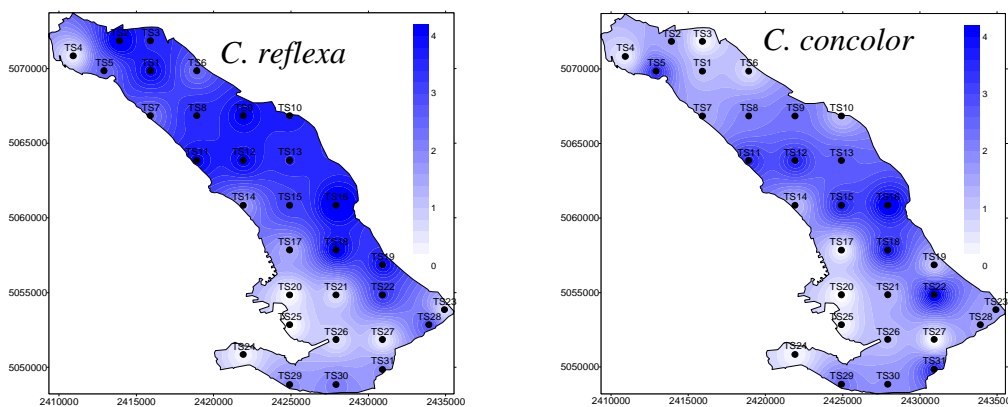


Fig. 8 Distribuzione di frequenza di *Candelariella reflexa* e *Candelaria concolor* nell'area di studio

In Fig. 9 sono raggruppate *Flavoparmelia caperata*, *Lecanora expallens* e *Normandina pulchella*. Sono specie che prediligono fenomeni moderati di eutrofizzazione e generalmente condizioni di buona naturalità. La loro frequenza è elevata sull'altipiano carsico per degradare repentinamente alle estremità meridionali e settentrionali della Provincia

La Fig. 10 raggruppa le rimanenti specie *Hyperphyscia adglutinata*, *Physcia adscendens*, *Lecidella elaeochroma*, *Punctelia subrudecta* e *Phaeophyscia orbicularis*, *Parmelia subrudecta*. Tranne *L. elaeochroma*, sono specie tipiche delle sinusie di *Xanthorion*, e sono accomunate dal fatto che, grazie alla loro tossitolleranza e xerofitismo sono in grado di spingersi in zone antropizzate. *H. adglutinata* e *P. orbicularis* hanno una distribuzione quasi speculare rispetto a quella delle specie di Figg. 8 e 9, mostrando i valori di frequenza minori sull'altipiano

carsico per aumentare avvicinandosi alle zone più antropizzate nel Nord e nel Sud della Provincia.

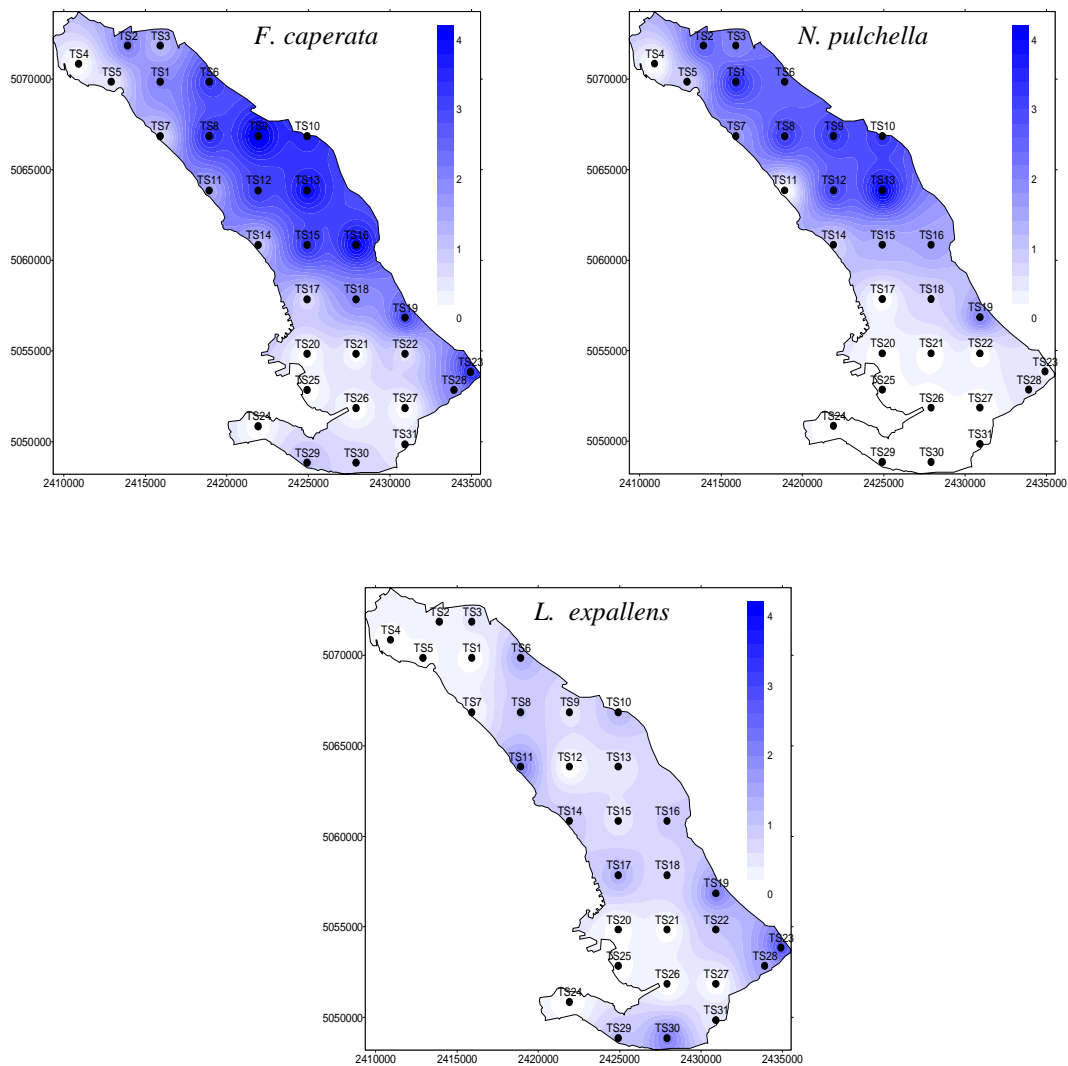


Fig. 9 Distribuzione di frequenza di *Flavoparmelia caperata*, *Lecanora expallens*, *Normandina pulchella* nell'area di studio

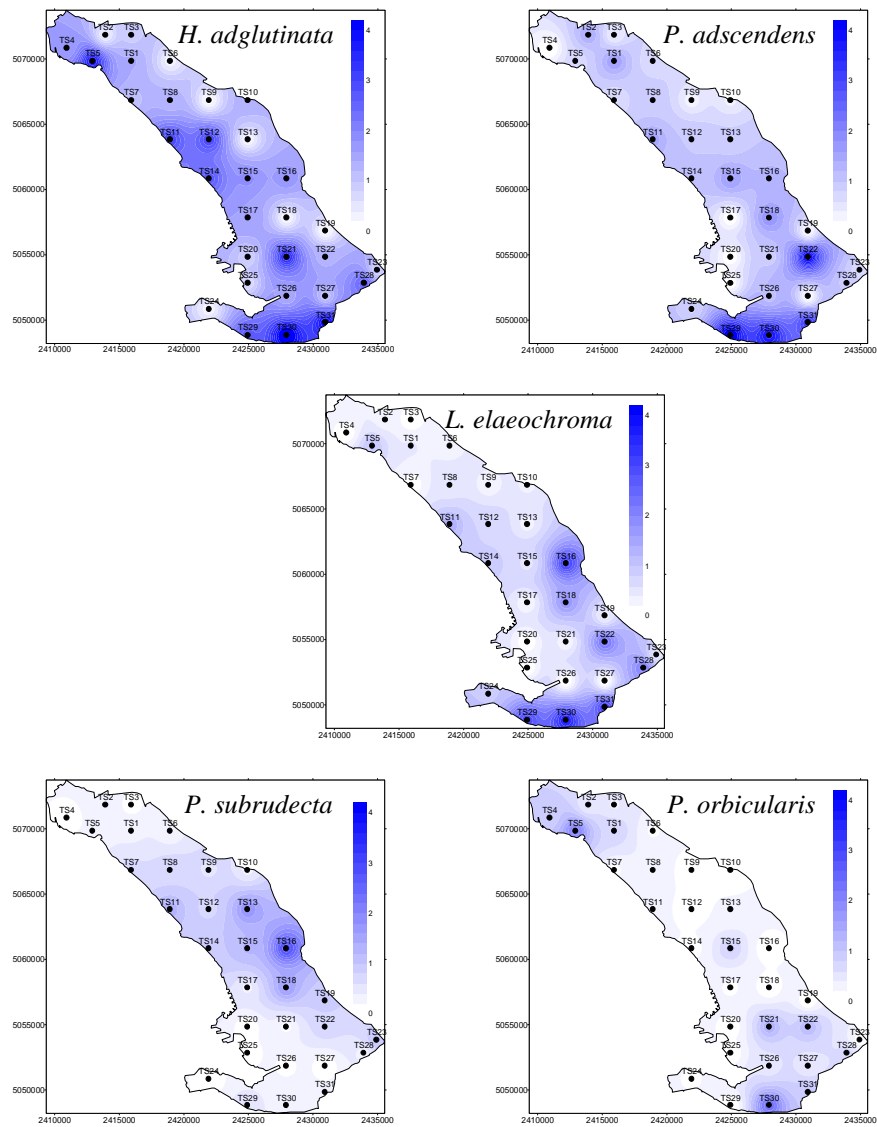


Fig. 10 Distribuzione di frequenza di *Hyperphyscia adglutinata*, *Physcia adscendens*, *Lecidella elaeochroma*, *Punctelia subrudecta* e *Phaeophyscia orbicularis*, nell'area di studio

5.3 Analisi della biodiversità lichenica delle stazioni

5.3.1 Analisi multivariata

La matrice delle frequenze medie delle 68 specie nelle 31 stazioni è stata sottoposta ad analisi multivariata (classificazione e ordinamento) 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. 11, quello delle stazioni il dendrogramma di Fig. 12. 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. 11), caratterizzati come segue.

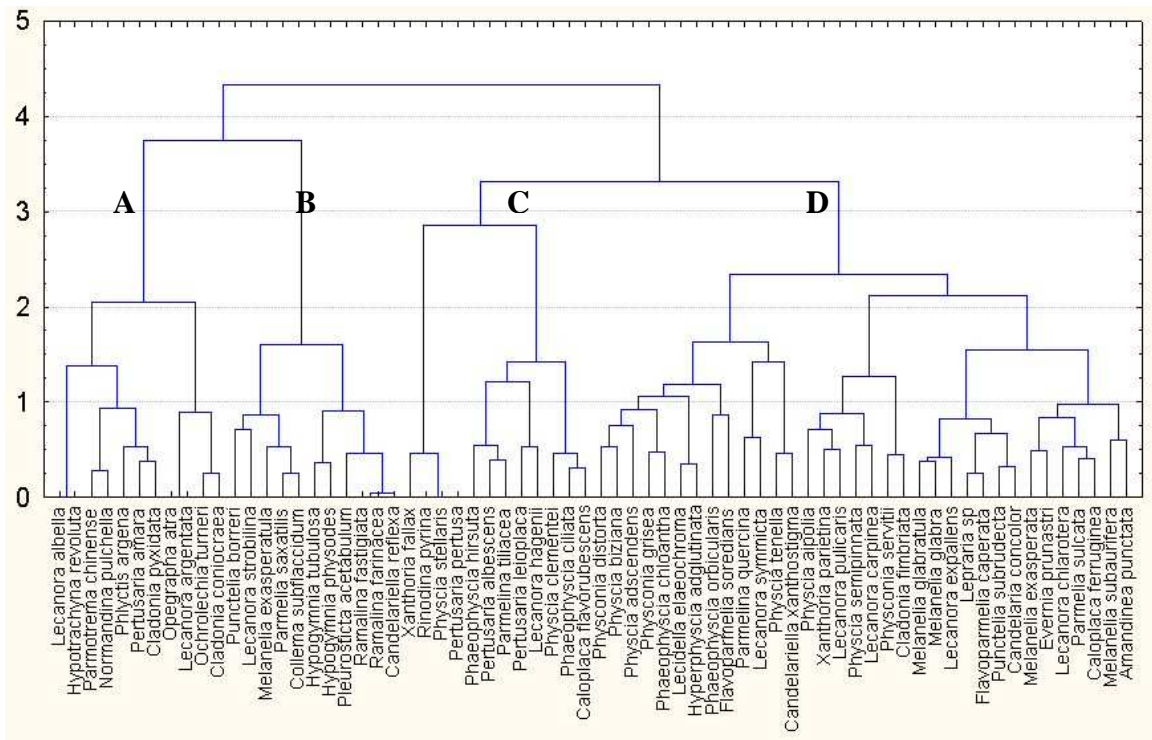


Fig. 11 Dendrogramma delle specie; si individuano 4 gruppi principali di specie, contrassegnati dalle lettere A, B, C, D.

Tab. 4. Tabella ordinata della matrice specie-stazioni come da classificazione numerica

Specie	ts4	ts14	ts17	ts20	ts21	ts24	ts25	ts26	ts27	ts4	ts5	ts11	ts12	ts14	ts15	ts16	ts17	ts18	ts20	ts21	ts22	ts23	ts24	ts25	ts26	ts27	ts28	ts29	ts30	ts31	ts1	ts2	ts3	ts6	ts7	ts8	ts9	ts10	ts13	ts19			
Lecanora albella																																										0,63	
Hypotrachyna revoluta																																										0,83	
Phlyctis argena		0,56											0,42	0,56		0,42																									0,42		
Parmotrema chinense													0,17			0,42																										0,42	
Normandina pulchella		0,75									0,75		3,10	0,75	1,28	1,58		0,78																								0,13	
Pertusaria amara																																										0,25	
Cladonia pyxidata																																										0,31	
Opegrapha atra																																										0,25	
Lecanora argentata																																										0,31	
Ochrolechia turneri																																										0,25	
Cladonia coniocraea																																										0,54	
Punctelia borrieri			0,50										0,83		0,83	0,42	0,50																									0,23	
Lecanora strobilina			0,10		0,42							0,71				0,42	0,10				0,42																					0,25	
Melanelia exasperatula																0,56																										0,28	
Parmelia saxatilis																	0,42																									0,42	
Collema subflaccidum																	0,42																									0,42	
Hypogymnia physodes													0,28			0,28																										0,28	
Hypogymnia tubulosa													0,42			0,83																										0,42	
Pleurosticta acetabulum																	0,42	0,13																								0,13	
Ramalina farinacea																0,83																										0,83	
Ramalina fastigiata																0,42																										0,42	
Candelariella reflexa	0,38	1,72	1,35	0,50	0,53	0,25		0,54	0,30	0,38	2,40	4,11	4,13	1,72	3,19	5,00	1,35	4,47	0,50	0,53	3,32	0,66	0,25		0,54	0,30	2,83	1,88	2,17	1,90	4,11	4,64	3,58	2,44	2,31	3,60	4,19	3,75	3,63	4,06	0,63		
Rinodina pyrina																																											0,25
Xanthoria fallax																																										0,31	
Pertusaria pertusa																																										0,63	
Physcia stellaris																																										0,94	
Phaeophyscia hirsuta		0,33											0,28	0,33																											0,42		
Pertusaria albescens													0,17		0,14	0,83		0,31																							0,29		
Parmelina tiliaea		0,28			0,14								0,28	0,28	0,56	0,78		1,25		0,14	0,39	0,16																		0,31			
Pertusaria leioplaca						0,25										0,83																									0,25		
Lecanora hagenii																																									0,42		
Physcia clementei																																										0,25	
Phaeophyscia ciliata																																										0,42	
Calopha flavorubescens																																										0,14	
Amandinea punctata	0,29	0,28		0,50	0,15	0,18	0,94			0,29	0,10	0,29	0,78	0,28	0,44	0,28	1,53	0,50	0,15	2,32	0,19	0,18	0,94				0,42	0,94	2,50	0,40	0,25	0,23	0,44	0,15		0,50	0,28	0,15	0,13	0,28			
Calopha ferruginea																	0,58	0,28																								0,31	
Candelaria concolor	0,40	1,14	0,20		1,17	0,18	0,13	1,07		0,40	3,50	3,50	3,67	1,14	3,61	4,54	0,20	3,88		1,17	4,50	1,47	0,18	0,13	1,07	1,54	2,34	1,83	3,55	1,07	1,43	0,17	0,69	1,40	2,10	2,35	1,15	2,71	1,00				
Candelariella santhostigma	0,28	0,28		0,50	0,42	0,25	0,31	0,71		0,28		0,71	0,17	0,28	0,50	0,56	1,56	0,50	0,42	0,75	0,31	0,25	0,31	0,71	0,42	0,44	0,33	0,10	0,50											0,50			
Cladonia fimbriata																																										0,83	
Evernia prunastri																	0,28	0,31																								0,10	
Flavoparmelia caperata		1,06	0,65		0,63	0,50					0,35	1,46	3,21	1,06	3,39	4,17	0,65	1,88		0,63	0,50	3,53	0,50				1,92	1,03	0,67	0,30	2,05	2,11	1,23	3,27	0,78	3,50	4,44	3,55	3,98	3,04			
Flavoparmelia soredians																																										0,71	
Hyperphyscia adglutinata	1,60	2,72	1,60	0,80	3,58	0,28	0,63	1,36	1,50	1,60	3,80	3,00	3,02	2,72	1,86	1,75	1,60	0,19	0,80	3,58	1,29	0,81	0,28	0,63	1,36	1,50	2,54	2,69	4,58	4,00	1,43	0,35	0,88	0,29	1,06	1,25	0,14	1,35	0,28	0,14			
Lecanora carpinea																	0,16	0,16																								0,16	
Lecanora chlorotera																	0,28	0,28																								0,63	
Lecanora expallens	0,15	0,94	1,35								0,15	0,10	2,00		0,94	0,47	0,83	1,35	0,63	1,00	2,78						1,50	1,06	2,13	0,45	0,23	0,25	0,23	0,44	1,42	0,17	1,25	0,54	1,15	0,46	2,02		
Lecanora pulicaris																																										0,16	
Lecanora symmicta																																										0,22	
Lecidella elaeochroma	0,63	0,89	0,20		0,28	0,95				0,63	1,50	1,36	0,79	0,89	0,53	3,13	0,20	1,75		0,28	2,32	0,50	0,95				2,08	2,94	3,63	3,00	0,50	0,30	0,28	0,31	0,28	0,48	0,25	0,35	0,31	0,31			
Lepraria sp	0,42	0,83	1,10		0,42	0,55			0,50	0,42	0,50	0,29	0,75	0,83	0,86	0,38	1,10	0,16	0,42	0,71	0,75	0,55				0,50	0,46	0,94	0,42	0,10	1,00	0,16	0,19	0,28	0,28	0,58	0,13	1,20	0,73	0,98			
Melanelia exasperata																	0,83	0,31																								0,63	
Melanelia glabra		0,56	0,50										0,36		0,56	0,83	0,17	0,50	0,19																						0,31		
Melanelia glabratula	0,14	0,42	0,60							0,14		0,71	0,63	0,42	1,00	0,42	0,60	0,31																							0,13		
Melanelia subaurifera		0,17			0,14								0,36	0,42	0,17	0,36	0,67	0,25	0,14	0																							

Gruppo A. Raggruppa 11 specie. E' ben rappresentato da specie afferenti al tipo vegetazionale del *Parmelion* (*H. revoluta*, *N. pulchella*, *P. chinense*) e del *Graphidion*, (*O. atra*, *P. amara*, *P. argena*). 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. .

Gruppo B. E' composto da 10 specie. Come il cluster precedente anche questo è caratterizzato da specie del *Parmelion* (*H. tubulosa*, *H. physodes*, *P. saxatilis*, *R. fastigiata*, *R. farinacea*) seppur si differenzi per l'assenza di specie del *Graphidion*, sostituite da altre non pioniere ma comunque igrofile e mal tolleranti fenomeni di eutrofizzazione quali *L. strobilina*, specie suboceanica particolarmente rara in provincia di Trieste, e *C. subflaccidum*.

Gruppo C. Raggruppa 13 specie ed è il meno caratterizzato in termini di tipi vegetazionali. Agli elementi del *Parmelion* (*P. tiliacea*) e *Graphidion* (*P. pertusa*), si mescolano quelli dello *Xanthorion* (*C. reflexa*, *L. hagenii*, *P. stellaris*, *X. fallax*), comunità di specie xerofitiche, fotofitiche, tolleranti i fenomeni di eutrofizzazione ed in grado di spingersi in ambienti antropizzati. Si tratta di un gruppo di transizione tra i tipi vegetazionali caratterizzanti i gruppi A e B con quello delineato nel successivo gruppo D.

Gruppo D. E' il gruppo più numeroso e conta 34 specie. Tra queste molte individuano la comunità dello *Xanthorion* (*C. xanthostigma*, *C. concolor*, *H. adglutinata*, *P. orbicularis*, *P. adscendens*, *P. aipolia*, *P. biziana*, *P. tenella*, *P. subrudecta*, *P. grisea*, *P. distorta*, *X. parietina*). Queste specie rappresentano 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. Sono ampiamente diffuse in tutta l'area di studio. 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. Alla comunità dominante di *Xanthorion* si mescolano elementi del *Lecanorion* (*L. allophana*, *L. chlarofera*, *L. carpinea*, *L. elaeochroma*), comunità di licheni crostosi pionieri che spesso precedono e si mescolano a specie di *Xanthorion*.

In Fig. 12 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. E' il gruppo floristicamente più povero dell'area di studio, caratterizzato da 28 specie con una frequenza media di rilevamento del 12%. Il valore di BL medio è 24,5, con un minimo di 4 ed un massimo di 61,1. E' dominato da specie tossitolleranti, accorpate nel gruppo D della rispettiva classificazione numerica (Tab. 4). Queste stazioni sono localizzate nella porzione meridionale della provincia e ricadono nell'area più densamente industrializzata e urbanizzata (Trieste e San Dorligo della Valle). Le rimanenti UCP sono localizzate una presso l'agglomerato urbano di Muggia (TS 24) e una nell'estremità settentrionale della provincia, in località Villaggio del Pescatore (TS 4). Per quanto concerne Trieste, la situazione floristica degrada dalle zone periferiche (Barcola, Roiano, Rozzol, rispettivamente TS 14, 17, 21) al centro di Trieste dove si concentrano le due stazioni a minore biodiversità (TS 20 e 25, rispettivamente San Giacomo e Servola).

Gruppo 2. E' il gruppo più numeroso (12 UCP) e quello caratterizzato dal maggior valore medio di Biodiversità Lichenica, pari a 93,3. Il valore di BL minimo è 62,2, il massimo 129,0 registrato presso la località confinaria di Ferneti, corrispondente al valore più elevato rilevato in tutta l'area di studio. Il gruppo comprende 59 specie con una frequenza media di rilevamento del 18%. Rispetto al gruppo precedente aumenta notevolmente la frequenza delle specie appartenenti a tutti i gruppi della rispettiva classificazione numerica. Dominano specie tossitolleranti caratteristiche dello *Xanthorion*, quali *Candelaria concolor* e *Candelariella reflexa*, e specie generalmente più sensibili all'inquinamento atmosferico quali *Flavoparmelia caperata*, *Lecidella elaeochroma* e *Normandina Pulchella*.

Le UCP del gruppo sono collocate nella porzione centro-meridionale dell'altipiano carsico (TS 12, 15, 16, 18, 22, 28), a ridosso del ciglione carsico (TS 11) e nell'estremità marginale dell'altipiano tra il confine con la Slovenia e la conca di Trieste che declina al mare (TS 29, 30, 31).

Gruppo 3. Raggruppa 10 UCP. E' il gruppo floristicamente più ricco, con 67 specie seppur con una frequenza media di rilevamento inferiore al gruppo precedente (16%). Il valore medio di BL è 71,76, con un minimo di 53,9 ed un massimo di 87,2. Da un punto di vista floristico rappresenta una variante arricchita delle stazioni del gruppo 2. La comunità dominante è sempre lo *Xanthorion*, ma queste stazioni sono ben caratterizzate dalle specie del gruppo A della rispettiva classificazione numerica. Esse individuano principalmente le comunità del *Parmelion* (*H. revoluta*, *N. pulchella*, *P. chinense*) e del *Graphidion*, (*O. atra*, *P. amara*, *P. argena*), specie generalmente sensibili all'inquinamento che prediligono ambienti poco antropizzati e

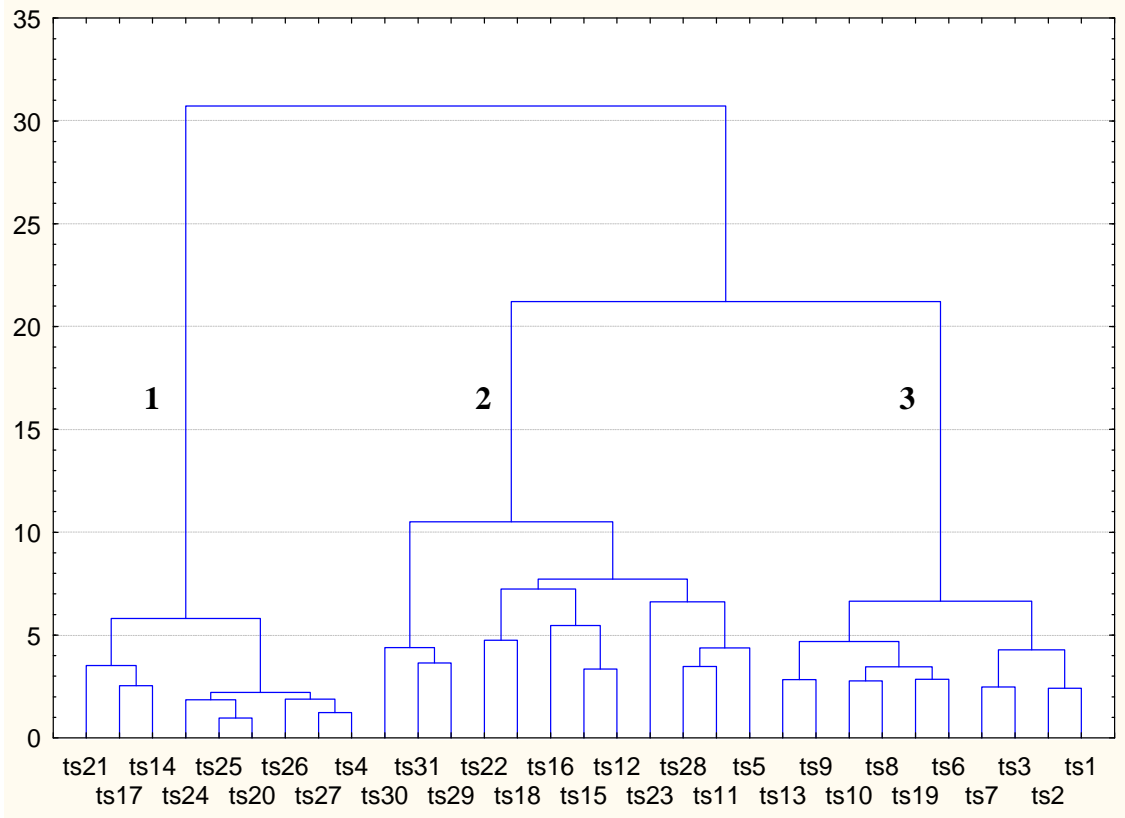
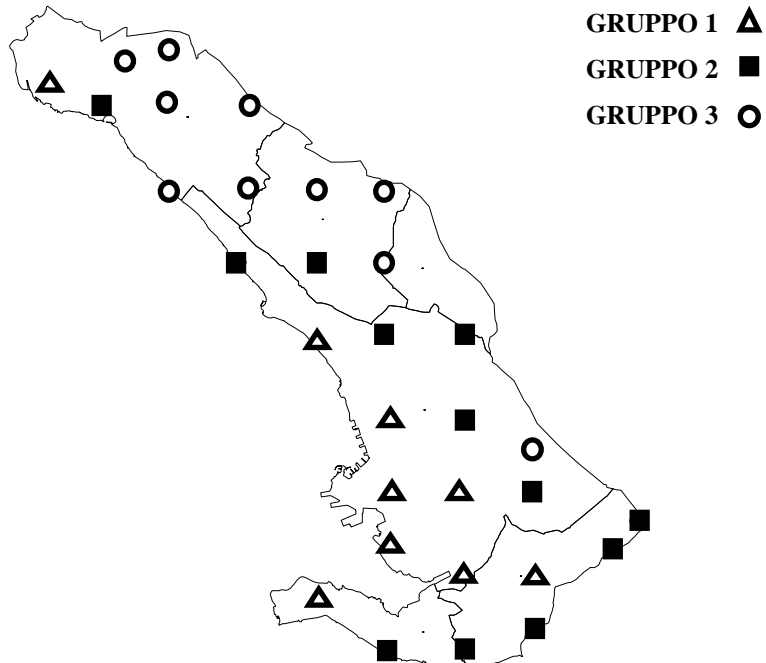


Fig. 12 Dendrogramma delle UCP; i numeri 1, 2, 3 indicano i 3 gruppi principali.

Fig. 13 Distribuzione dei 3 gruppi di UCP come da dendrogramma di Fig. 5.



In alto a destra è riportata la legenda di identificazione dei gruppi.

privi di pronunciati fenomeni di eutrofizzazione. Tranne la stazione 16, le rimanenti sono tutte situate nella porzione settentrionale della Provincia. Una è localizzata lungo la costiera (TS 7), le altre sull'altipiano carsico che degrada verso Monfalcone in Provincia di Gorizia.

5.3.1.2. Ordinamento delle UCP

In Fig. 14 è rappresentato l'ordinamento delle UCP rappresentate da un simbolo indicante l'appartenenza ai gruppi evidenziati dalla classificazione numerica di Fig.6. La Prima Componente Principale spiega il 37,94% della varianza totale, la Seconda il 28,39%. L'ordinamento pone in evidenza una netta separazione dei 3 gruppi di stazioni evidenziati dalla classificazione numerica. Le stazioni del gruppo 1 occupano sostanzialmente il II quadrante, quelle del gruppo 2 il I e IV, quelle del gruppo 3 il III. Questa distribuzione riflette la marcata differenza floristica tra il gruppo 1, caratterizzato da poche specie con frequenze basse, e i rimanenti due gruppi caratterizzati da maggiore ricchezza floristica e frequenze di specie marcatamente più elevate, soprattutto per quelle sensibili all'inquinamento. La Prima Componente Principale separa il gruppo di stazioni 2 dai gruppi 1 e 3. Il gruppo 2 posizionato ai valori positivi della Seconda Componente Principale, rappresenta una variante floristicamente meno ricca del gruppo 3, concentrato ai valori negativi di entrambi gli assi. In sintesi, la distribuzione delle stazioni identifica un progressivo impoverimento floristico per valori crescenti della prima Componente Principale. Si osservano due principali gradienti, ben rappresentati nell'ordinamento di Fig. 15, dove ad ogni stazione è associato un circoletto di dimensioni proporzionali al corrispondente valore di BL. Il primo corrisponde ad un progressivo degrado della Biodiversità Lichenica procedendo dal quadrante IV (gruppo 2, BL medio di 93,3), dove si concentrano le stazioni con i valori più elevati, al quadrante II (gruppo 1, BL medio di 24,5). Il secondo gradiente indica una evidente diminuzione dei valori di Biodiversità Lichenica procedendo dai valori negativi della Prima Componente Principale (gruppo 3, BL medio di 71,8), dove si concentrano UCP floristicamente più ricche di quelle del cluster 2 ma con frequenze inferiori, a quelli positivi del primo asse (cluster 1). I due gradienti di diversità lichenica pongono in evidenza una situazione di disturbo della flora lichenica che aumenta spostandosi da aree seminaturali o naturali, rappresentate dalle stazioni dei gruppi 2 e 3, all'agglomerato urbano di Trieste e località contigue in cui sono concentrate la maggior parte delle UCP del gruppo 1, caratterizzate dai valori di BL più bassi di tutta l'area di studio.

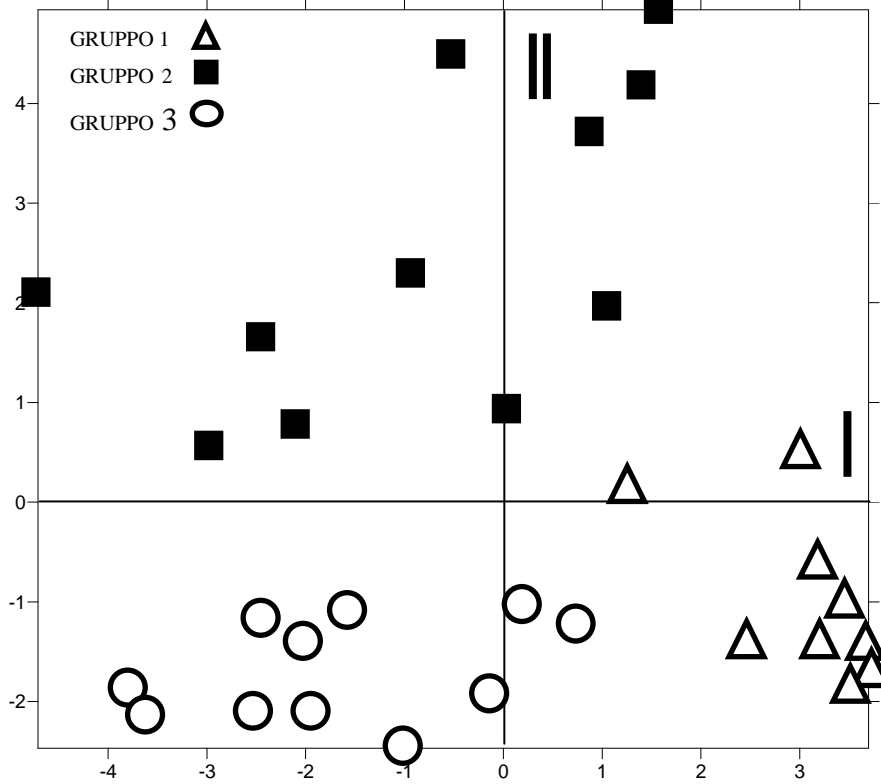


Fig. 14 Ordinamento delle UCP, i cui simboli indicano l'appartenenza ai 3 gruppi identificati dalla classificazione di Fig. 6. In alto a sinistra è riportata la legenda di identificazione dei gruppi.

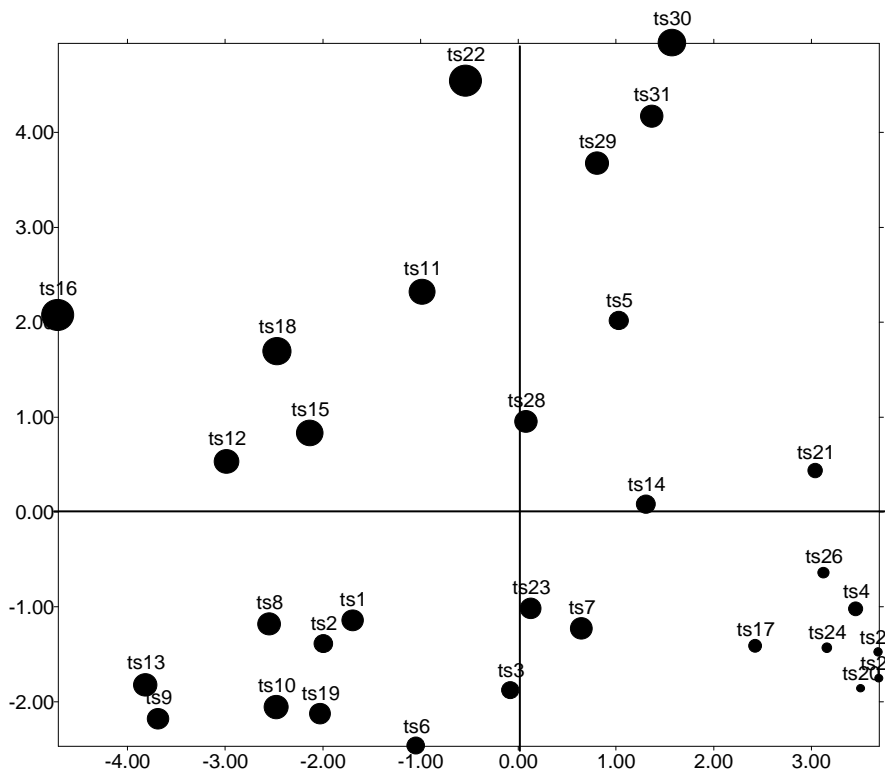


Fig. 15 Interpretazione dell'ordinamento delle UCP tramite i valori di BL. Ogni stazione è rappresentata da un circoletto di dimensioni direttamente proporzionali al suo valore di BL.

5.4 Carte di Biodiversità Lichenica (BL)

I risultati dell'elaborazione cartografica dei valori di BL riferiti alle 31 stazioni di rilevamento sono riportati in Fig. 15. 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.

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

La carta di Fig. 16 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, le coordinate del punto centrale, 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. Raggruppa 4 UCP (UCP 20, 24, 25, 27). Due sono situate nel tessuto urbano di Trieste. La stazione TS 20, con BL=4, è localizzata nel rione di San Giacomo, e la stazione TS 25, con BL=4,5, a Servola in prossimità della ferriera. Le rimanenti due UCP sono situate in prossimità della zona industriale di San Dorligo della Valle (TS 27, BL=7,4) e a Muggia in località Zindisi (TS 24, BL=14,2).

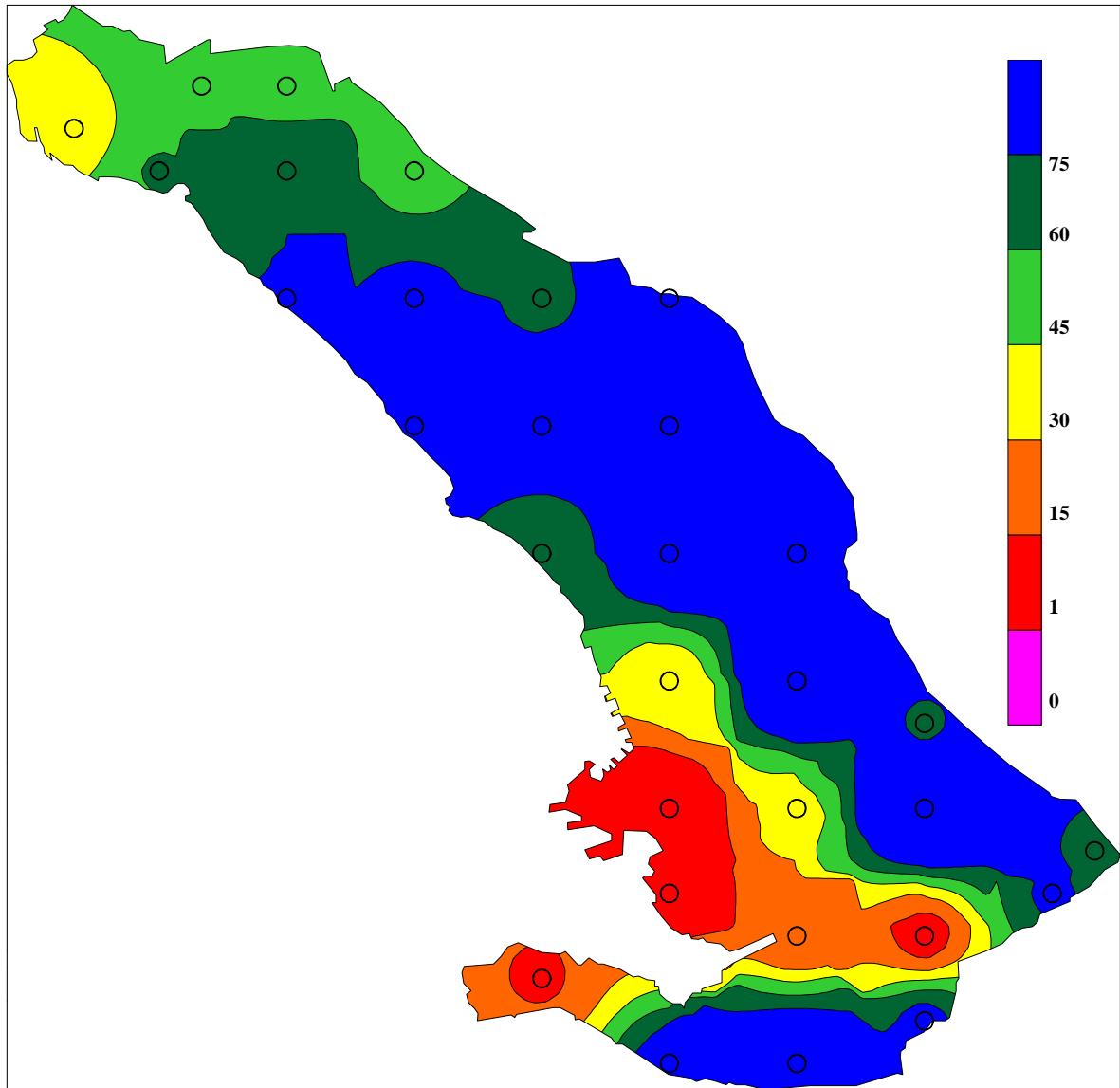


Fig. 16 Suddivisione del territorio in fasce di deviazione dalla naturalità, per specifici valori di BL, secondo la metodica proposta da Castello & Skert (2005)

BL 16-30 (classe 5): alterazione media. Raggruppa solo 1 UCP (TS 26, BL = 14,2), situata in prossimità della zona industriale ad est della città di Trieste.

BL 31-45 (Classe 4): alterazione bassa-naturalità bassa. Raggruppa 3 UCP (TS 4, 17, 21), di cui 2 nell'area urbana di Trieste e precisamente TS 17 (BL= 31,4), situata a Roiano, e TS 21 (BL=39,7), a Rozzol. La terza stazione del gruppo è delocalizzata nell'estremo occidentale della Provincia, presso la località Villaggio del Pescatore (TS 4, BL= 36,2)

BL 46-60 (classe 3): naturalità media. Raggruppa 3 stazioni (TS 2, 3, 6), tutte situate nel comune di Duino-Aurisina, alle propaggini dell'altipiano carsico triestino. La stazione 3 (BL=53,9) è situata in prossimità dell'abitato di Malchina, la 6 (BL= 54,6) in prossimità di San Pelagio, la 2 (BL=59,9) presso Ceroglie.

BL 61-75 (classe 2): naturalità alta. Raggruppa 6 UCP (TS 1, 5, 9, 14, 19, 23). Le stazioni 1, 9, 19 e 23, a naturalità più elevata all'interno del gruppo, sono tutte situate sull'altipiano carsico, le rimanenti due sono situate lungo la linea di costa e precisamente a Sistiana (TS 5, BL= 62,2) e Barcola (TS 14, BL= 61,1)

BL >75 (classe 1): naturalità molto alta. E' il gruppo più corposo con 14 stazioni di rilevamento, tutte situate sull'altipiano carsico.

5.5 Interpretazione dei valori di BL

I risultati dello studio di bioindicazione coincidono con il regime prevalente dei venti e la geomorfologia del territorio, i quali condizionano direzione e dispersione degli inquinanti. Le UCP con minore Biodiversità Lichenica sono localizzate principalmente nella porzione meridionale della provincia, dove si concentrano i maggiori insediamenti urbani e industriali del comune di Trieste e di San Dorligo della Valle. Questi sono localizzati nella conca pianeggiante e collinare delimitata verso Sud Ovest dal mare e agli altri punti cardinali dal ciglione che porta all'altipiano carsico. Il notevole gradiente altimetrico favorisce da una parte lo stazionamento degli inquinanti nella conca di Trieste, dall'altra un repentino miglioramento della qualità dell'aria spostandosi dal centro cittadino alle prime pendici dell'altipiano carsico. Il gradiente è ben ricalcato dalla carta di Biodiversità Lichenica di Fig. 16. I valori di BL passano repentinamente da un valore medio di 4 nelle UCP situate nel centro cittadino (TS 20 e 25, San Giacomo e Servola rispettivamente) a valori da 25 a 30 volte superiori a pochi chilometri di distanza, rilevati nelle stazioni 18 e 22 (Padriciano, BL=109,8; Basovizza, BL= 128,4). Le fasce con bassi valori di BL interessano anche l'abitato di Muggia, il quale seppur non presenti insediamenti industriali e urbani consistenti, risente dei venti che convogliano gli inquinanti dalla città di Trieste e dalla attigua area industriale, posta a Sud Est della medesima. Questa ipotesi è confermata dalla carta di Fig. 17, in cui si

riporta un modello puntuale di dispersione di NO₂ dalla zona industriale di Servola (Emili, 2004). Il modello ricalca fedelmente i valori di BL della carta di Fig. 17. I venti dominanti convogliano gli inquinanti in direzione Sud Est interessando l'abitato di Muggia.

I maggiori valori di Biodiversità Lichenica di tutta l'area di studio sono stati registrati nella porzione centrale dell'altipiano carsico, dove la pressione antropica è modesta. I valori diminuiscono spostandosi verso Nord dove l'altipiano carsico degrada progressivamente verso la città di Monfalcone. I venti possono veicolare inquinanti fitotossici, provenienti da Nord Ovest dove notevole è la pressione antropica sia di matrice industriale che urbana, provocando una loro parziale ricaduta nella porzione settentrionale della Provincia.

Stazione	Località - Comune	Longitudine	Latitudine	Alt	n. alberi	BL
1	Slivia – Duino Aurisina	396000	5070000	170	11	74.9
2	Ceroglie dell'Armada – Duino Aurisina	394000	5072000	167	11	59.9
3	Malchina – Duino Aurisina	396000	5072000	162	10	53.9
4	Villaggio del Pescatore – Duino Aurisina	391000	5071000	27	6	36.2
5	Sistiana – Duino Aurisina	393000	5070000	54	5	62.2
6	San Pelagio – Duino Aurisina	399000	5070000	220	12	54.6
7	Costiera – Trieste	396000	5067000	75	6	76.7
8	Aurisina – Duino Aurisina	399000	5067000	189	10	79.9
9	Sales – Sgonico	402000	5067000	282	12	73.5
10	Monte Lanaro – Sgonico	405000	5067000	450	5	87.2
11	Santa Croce – Trieste	399000	5064000	96	6	96.8
12	Prosecco – Trieste	402000	5064000	220	12	91.3
13	Rupingrande – Monrupino	405000	5064000	308	12	84.7
14	Barcola – Trieste	402000	5061000	59	8	61.1
15	Opicina – Trieste	405000	5051000	302	9	100.7
16	Ferneti – Trieste	408000	5061000	320	6	129.0
17	Roiano – Trieste	405000	5058000	151	5	31.4
18	Area di Ricerca Padriciano – Trieste	408000	5058000	387	8	109.8
19	Gropada – Trieste	410900	5056800	400	12	72.3
20	San Giacomo – Trieste	405000	505500	43	5	4.0
21	Rozzol – Trieste	408000	505500	180	12	39.7
22	Basovizza – Trieste	411000	505500	360	7	128.4
23	Grozzana – San Dorligo della Valle	415000	505400	476	8	71.5
24	Zindis – Muggia	402000	505100	100	10	14.2
25	Servola – Trieste	405000	505300	8	8	4.5
26	Zona industriale – Trieste	408000	505200	10	7	22.0
27	Dolina – San Dorligo della Valle	411000	505200	66	5	7.4
28	Draga sant'Elia, Pesek – San Dorligo della Valle	414000	505300	434	6	78.7
29	Santa Barbara – Muggia	405000	504900	208	8	83.0
30	Valle delle Noghère – Muggia, S. Dorligo della V.	408000	504900	5	6	106.5
31	San Dorligo della Valle	411000	504500	215	5	80.8

Tab. 6 Stazioni di campionamento utilizzate per il biomonitoraggio. Alt= altitudine s.l.m., BL = Biodiversità Lichenica. Coordinate geografiche espresse in UTM (WGS 84)

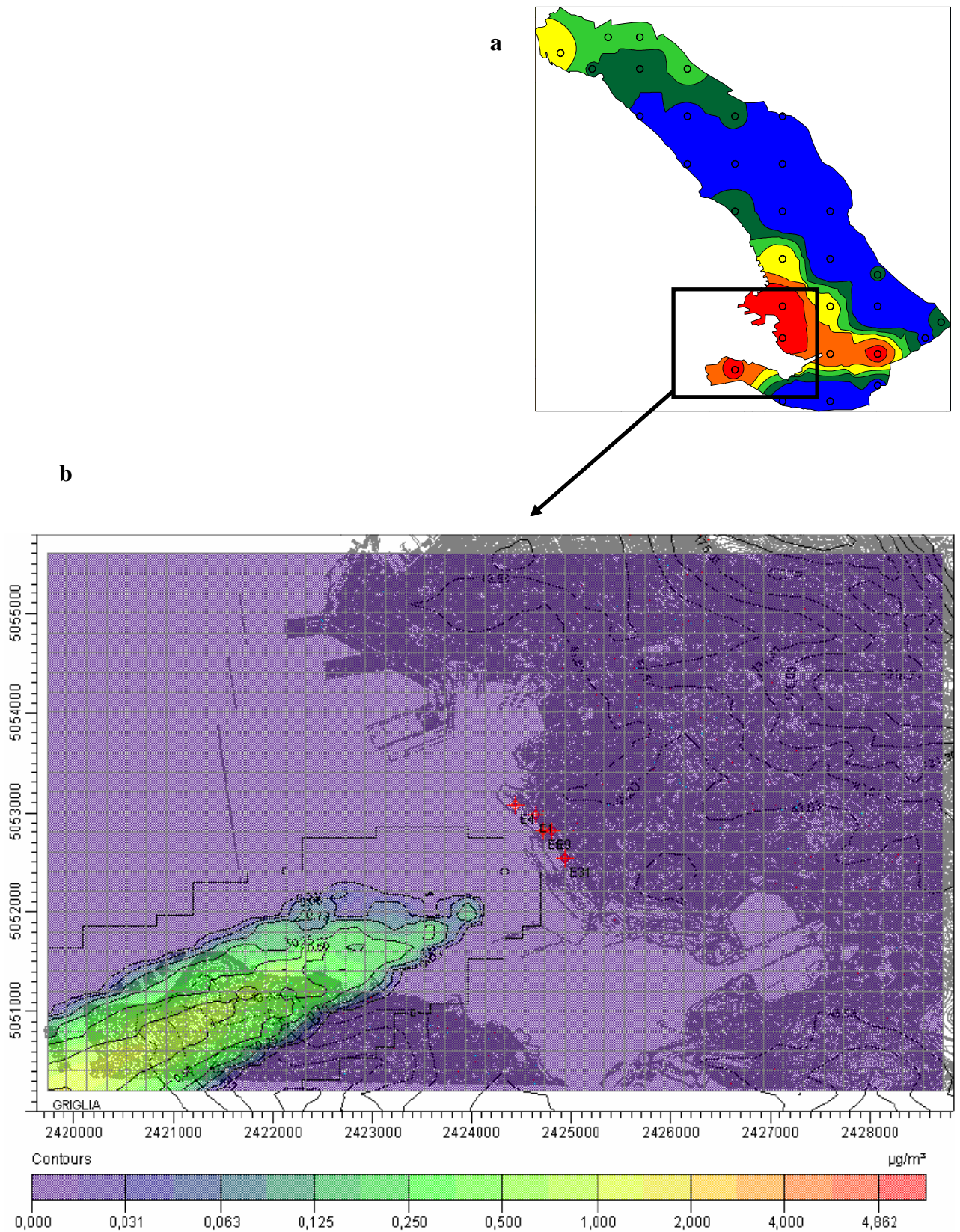


Fig. 17a,b. Inquadramento territoriale della carta di Biodiversità Lichenica (a) e modello puntuale di dispersione di NO_x (b) dalla zona industriale di Servola (Emili, 2004)

5.6 Confronto temporale

Nel corso del 1992 e del 2001 sono stati eseguiti due studi della Biodiversità Lichenica su tutto il territorio provinciale. I primi due studi sono stati eseguiti utilizzando la stessa metodica, adottata dall'ANPA per gli studi di biomonitoraggio tramite licheni fino al 2001. Inoltre in questi studi sono state rilevate le medesime stazioni di campionamento, mentre per la presente indagine ci si è avvalsi di una rete di rilevamento e di una metodica di campionamento differenti. Le carte non sono quindi direttamente confrontabili, tuttavia il giudizio di qualità attribuito alle fasce è medesimo e quindi è possibile individuare le eventuali variazioni temporali della qualità dell'aria.

Il confronto tra le tre carte di Biodiversità Lichenica è riportato in Fig. 18. Dal 1992 al 2001 si è osservato un marcato incremento di biodiversità su tutto il territorio provinciale, dovuto probabilmente ad un abbattimento delle emissioni di SO_2 e NO_x come peraltro già evidenziato nello studio di Miani et al. (2003). Negli ultimi quattro anni questo miglioramento tende a rallentare o addirittura a fermarsi nella valutazione globale del territorio provinciale.

Sostanzialmente le fonti di produzione di sostanze fitotossiche sono rimaste sempre le stesse. Il traffico ed il riscaldamento domestico come fonti diffuse, ma concentrate massivamente nel centro urbano di Trieste, e la zona industriale, da Servola a Zaule e fino a S. Dorligo, e la centrale termica di Monfalcone come fonti puntiformi.

Con il miglioramento della qualità dei carburanti per i veicoli e la conversione degli impianti per il riscaldamento domestico da gasolio a metano l'inquinamento diffuso e particolarmente concentrato nel centro urbano è diminuito, ma questi risultati erano già evidenti nel 2001 e da questo punto di vista la situazione è rimasta stabile. Va notato che la scomparsa delle zone di color cremisi (Classe 7 o "deserto lichenico") dal centro di Trieste sono dovute non ad un effettivo miglioramento delle condizioni di salubrità atmosferica, ma alla diversa metodica di rilevamento usata nella campagne 2005. Questa, considerando come stazione unitaria l'UCP, rappresentata da un'area quadrata di 1 km di lato, tende ad appiattare i risultati ed a mascherare i valori estremi ottenuti nelle singole UCS che, con i loro 3 alberi in un'area circolare di 125 m di raggio, corrispondono sostanzialmente alle classiche "stazioni" della vecchia metodica. In effetti prendendo in considerazione i valori delle UCS rilevati nel 2005, si ritrovano alcuni uguali a 0, corrispondenti cioè al "deserto lichenico", nelle UCP situate nel centro urbano e nella periferia industriale (TS 20, 25 e 26).

Considerazioni contrastanti valgono per le fonti puntiformi di inquinamento. Nella parte Nord Ovest della provincia i risultati del 2005 indicano un'influenza meno estesa della zona industriale di Monfalcone. Infatti se la fascia di Classe 4 rimane sostanzialmente costante si nota un evidente avanzamento di quelle di Classe 1 e 2.

La zona industriale di Trieste e le aree bersaglio della dispersione degli inquinanti evidenziano dei risultati opposti. La piana di Zaule ed il territorio di Bagnoli, sede di insediamenti industriali, presentano un peggioramento, passando dalla Classe 4 alla 5 e, in un'area limitata, alla 6 (TS 27). Analogamente la parte più orientale del comune di Muggia, che corrisponde esattamente all'area interessata alla dispersione degli inquinanti fitotossici emessi dalla zona industriale di Servola, secondo il modello sopra riportato (Emili 2004), evidenzia un peggioramento di BL rispetto al 2001 passando a valori di Classe 5 e 6.

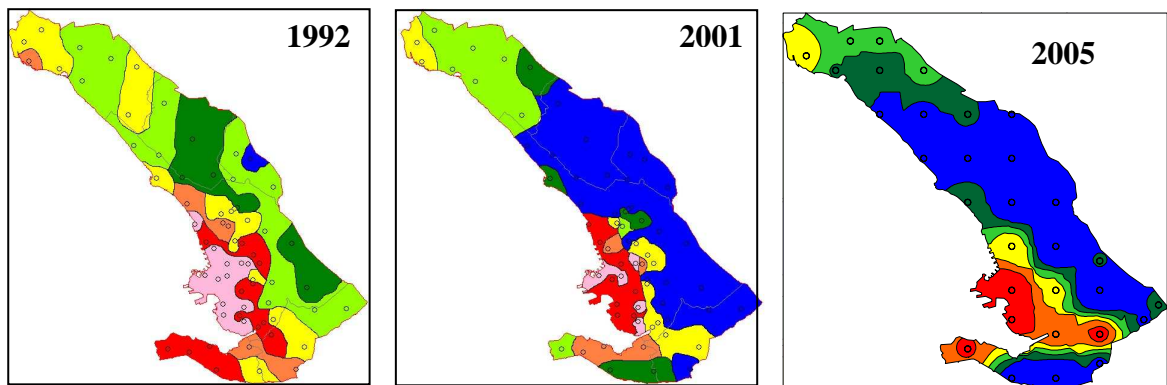


Fig.18 Confronto temporale tra gli studi di biomonitoraggio tramite licheni eseguiti su tutto il territorio provinciale

6. CONCLUSIONI

I risultati dello studio di bioindicazione sono riassunti come segue:

- La flora dell'area di studio è particolarmente ricca se confrontata con quella riscontrata in analoghi studi svolti precedentemente in Provincia di Trieste. Questo suggerisce un miglioramento della qualità dell'aria nelle aree più naturali dell'aria di studio.
- 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. La comunità del *Parmelion*, costituita da elementi che mal tollerano elevati fenomeni di eutrofizzazione ed inquinamento atmosferico, è generalmente rappresentata nelle stazioni localizzate sull'altipiano carsico, indicando una situazione di buona naturalità.
- I valori di Biodiversità Lichenica individuano una situazione di alterazione pronunciata solo nella porzione meridionale dell'area di studio, con un progressivo deterioramento della qualità ambientale avvicinandosi al fitto tessuto urbano della città di Trieste, caratterizzato da arterie di comunicazione a traffico intenso e svariate attività industriali. La zona di maggiore naturalità ambientale si estende su gran parte dell'altipiano carsico, per poi degradare nuovamente verso condizioni di naturalità da buona a bassa spostandosi verso il confine con la Provincia di Gorizia.
- La distribuzione della Biodiversità Lichenica ricalca bene il regime prevalente dei venti e la morfologia del territorio che vanno ad influenzare la dispersione e ricaduta di gas fitotossici.
- Come dettagliatamente esposto nel capitolo precedente, complessivamente sul territorio provinciale non si è assistito ad un sostanziale aumento della Biodiversità Lichenica rispetto al 2001, anzi relativamente alla zona industriale di Trieste, pur con i limiti già ricordati della non perfetta sovrapponibilità dei dati ottenuti

nelle due campagne di monitoraggio, nel 2005 si riscontra un concreto peggioramento della qualità dell'aria.

Un'ulteriore motivo di preoccupazione è dato dal 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 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.

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 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 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., Putortì 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., Fragiaco 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 Luxenbourg. 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.
- 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.